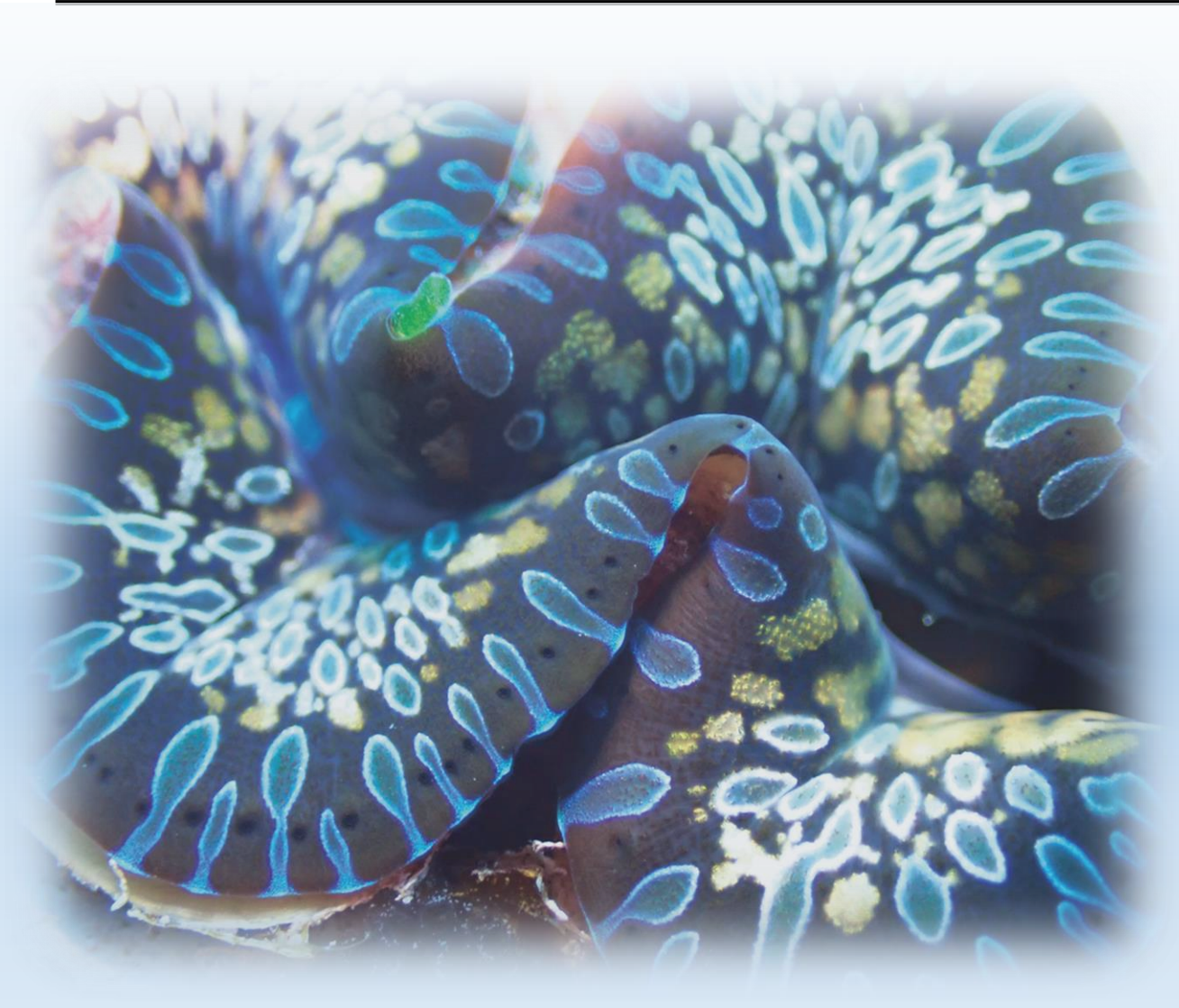


碑磔貝保育計畫

Conservation Plan for the Giant Clams



海洋委員會

Ocean Affairs Council

113 年 5 月

誌謝

國立中山大學 劉麗蓮教授

國立中山大學 蔡鋒樺助理教授

國立中山大學 塗子萱助理教授

國立臺灣大學 戴昌鳳教授

國立嘉義大學 邱郁文副教授

中央研究院生物多樣性研究中心 巫文隆研究員

中央研究院生物多樣性研究中心 邵廣昭研究員

中央研究院生物多樣性研究中心 鄭明修研究員

中央研究院生物多樣性研究中心 陳國勤研究員

國立中山大學

農業部水產試驗所

目錄

圖目錄	III
表目錄	IV
縮寫	V
前言	1
摘要	2
第一章 物種概述	3
第一節 物種介紹	3
一、菱碑磔貝	4
二、圓碑磔貝	4
三、扇碑磔貝	5
四、巨碑磔貝	5
五、長碑磔貝	5
六、諾亞碑磔貝	5
七、鱗碑磔貝	5
第二節 分布區域及密度變化	6
第三節 碑磔貝與臺灣原住民傳統文化	15
第二章 生存威脅	16
第一節 氣候變遷與碑磔貝白化現象	16
第二節 海洋污染	17
第三節 人為過度採捕	18

第四節 野外資源密度過低.....	18
第三章 保育行動	20
第一節 法令規範與執法.....	20
一、 滾動更新保育等級評估.....	20
二、 運用現行法令並落實執法.....	20
第二節 調查監測與基礎研究.....	21
一、 基礎資訊蒐集.....	21
二、 碑礫貝人工繁養殖復育	21
三、 建立專家諮詢小組.....	22
第三節 棲地維護及在地守護	22
一、 成立重點保護區.....	22
二、 在地守護.....	22
第四節 擴大參與	23
一、 社會參與及海洋公民科學家.....	23
二、 國際交流.....	23
參考文獻.....	26

圖目錄

圖 1 臺灣碑磔貝有文獻紀錄之物種分布圖.....	3
圖 2 碑磔貝屬及碑蠟貝屬.....	4
圖 3 新北市歷年碑磔貝平均密度變化.....	8
圖 4 臺東歷年碑磔貝平均密度變化.....	8
圖 5 墾丁歷年碑磔貝平均密度變化.....	8
圖 6 綠島歷年碑磔貝平均密度變化.....	9
圖 7 蘭嶼歷年碑磔貝平均密度變化.....	10
圖 8 小琉球歷年碑磔貝平均密度變化.....	11
圖 9 澎湖各物種碑磔貝平均密度變化.....	11
圖 10 2021 年臺東各樣點碑磔貝密度.....	13
圖 11 2021 年墾丁各樣點碑磔貝密度.....	13
圖 12 2021 年蘭嶼各樣點碑磔貝密度.....	13
圖 13 2021 年澎湖七美各樣點碑磔貝密度.....	14
圖 14 2022-2023 年蘭嶼各海域深度穿越帶之碑磔貝密度	14

表目錄

表 1 臺灣碑礫貝紀錄種之形態特徵表.....	6
表 2 全世界碑礫貝之現生種列表及國際保育等級。	19
表 3 碑礫貝保育行動方案.....	24

縮寫

全名	縮寫
Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora／瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約（華盛頓公約）	CITES
International Union for Conservation of Nature and Natural Resources ／國際自然與自然資源保護聯盟（國際自然保護聯盟）	IUCN
原住民族委員會	原民會
環境部（前行政院環境保護署）	環境部
農業部漁業署（前行政院農業委員會漁業署）	漁業署
農業部水產試驗所（前行政院農業委員會水產試驗所）	水試所
海洋委員會海洋保育署	海保署
國家海洋研究院	國海院
海洋委員會海巡署	海巡署
交通部觀光署（前交通部觀光局）	觀光署
內政部國家公園署（前內政部營建署國家公園管理處）	國家公園署
野生動物保育法	野保法

前言

碑礫（讀音ㄉㄛˊㄌㄧˊㄎㄨㄣˊ）貝屬（*Tridacna*）是世界上最大型的雙殼貝，主要分布在印度洋、太平洋地區，海水溫度介於 24~30℃ 的熱帶珊瑚礁淺海域。碑礫貝體內有共生藻與其共生，共生藻可提供碑礫貝生長所需的有機碳及有機氮源，碑礫貝也會將代謝廢物給共生藻利用。此外，碑礫貝仍維持主動攝取水中浮游性藻類和有機物為食之習性。碑礫貝的生長速度隨種類、水溫以及生長階段而異，幼貝生長速率比成體高，以鱗碑礫貝為例，殼長 13 公分以內時，每年生長速率約 3.8 公分，但隨著體長增加，生長速率也跟著下降，到殼長為 20 公分左右時，其生長速率下降為每年 1.9 公分(Beckvar, 1981)。

在珊瑚生態系中，碑礫貝可作為營養來源，提供捕食者吃食，其排放的共生藻、排泄物及配子亦供隨機攝食者使用；此外，其外殼除了能保護自身，亦是其它生物的居所，供給珊瑚、藻類、海綿、管蟲、海鞘、苔蘚蟲等生物附生，共棲生物則有魚、豆蟹、蝦等，因此，碑礫貝具有穩定珊瑚礁生態系統的功能，其受採捕壓力而呈現的生存狀況，則可反應珊瑚礁生態系統受人為活動影響的程度，故也被視為珊瑚礁健康狀況的指標物種之一(Hodgson, 2002)，並在 2000 年之前已被列為「瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約」(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES) 附錄二的保護物種，表示其族群數量稀少須進行有效管制。

為保護碑礫貝族群，各界在復育工作不遺餘力。自 2006 年起澎湖縣農漁局水產種苗場即開始嘗試進行碑礫貝復育，海洋保育署 2021 年委託國立中山大學劉莉蓮教授團隊進行「臺灣碑礫貝及其他重要螺貝類調查及保育評估計畫」，並參考國內外碑礫貝調查、監測、保育及復育措施相關文獻資料等，研提碑礫貝保育計畫草案（以下稱本保育計畫），並於同年起與農業部水產試驗所合作進行「澎湖南方四島海域碑礫蛤復育計畫」、「111 年澎湖南部海域碑礫蛤監測與復育評估計畫」及「112-113 年度澎湖碑礫貝復育及放流試驗」等復育計畫，各地方政府及團體亦積極辦理復育工作或宣導活動，足見各界對於碑礫貝保育的重視。

保育行動需要各方團隊參與，包括中央及地方政府機關、民間團體及學術單位等，從保育策略的擬定、執行至教育推廣，都仰賴跨部門且公私協力的配合。碑礫貝在國際貿易上已受到重視及管制，爰此，本保育計畫回顧歷來碑礫貝調查情形與主要威脅原因等，並提出提升族群數量等保育行動，以健康棲地及穩定族群為目標，邀請各方團隊，包括中央、地方、民間、學術單位，共同推動碑礫貝保育行動。

摘要

資源狀態

臺灣曾有 7 種碑礫貝紀錄，分別為菱碑礫貝、圓碑礫貝、扇碑礫貝、巨碑礫貝、長碑礫貝、諾亞碑礫貝、鱗碑礫貝，歷年碑礫貝分布資料大多未敘明是何物種，類群密度為 0-11.2 隻/100m²；根據 2019 至 2021 年文獻，有觀察記錄到 5 種，無扇碑礫貝與巨碑礫貝。

根據海保署（2021）「臺灣碑礫貝及其他重要螺貝類調查及保育評估計畫」調查結果，碑礫貝普遍有成體比例偏低、密度低的情形，加上海洋污染、氣候變遷、採捕壓力、人為活動干擾造成生存威脅，碑礫貝應有族群數量快速下降的危機。

目標 恢復碑礫貝野外族群數量。

保育指標

- 1) 減少人為破壞，減緩碑礫貝物種數量衰退。
- 2) 提升野外資源密度，維護棲地

保育行動

- 1) 滾動評估保育方針，運用現有法令並落實執法
- 2) 持續監測建立基礎生物學資料，加強人工繁養殖復育
- 3) 棲地維護與在地守護
- 4) 擴大社會參與及國際交流

第一章 物種概述

第一節 物種介紹

「碑磔貝」一詞包含雙殼貝綱 (Bivalvia)、鳥尾蛤科 (Cardiidae)、碑磔貝亞科 (Tridacninae) 下 2 屬 12 種物種。臺灣碑磔貝的物種紀錄有 6 種 (邵等, 2008)，分別為菱碑磔貝、鱗碑磔貝、圓碑磔貝、長碑磔貝、巨碑磔貝和扇碑磔貝，其中有一種在過去被認為是長碑磔貝內之隱蔽種，後續研究確認為諾亞碑磔貝 (*Tridacna noae*) (Su et al., 2014)，故臺灣應有 7 種碑磔貝，各物種之分布如圖 1 所示。

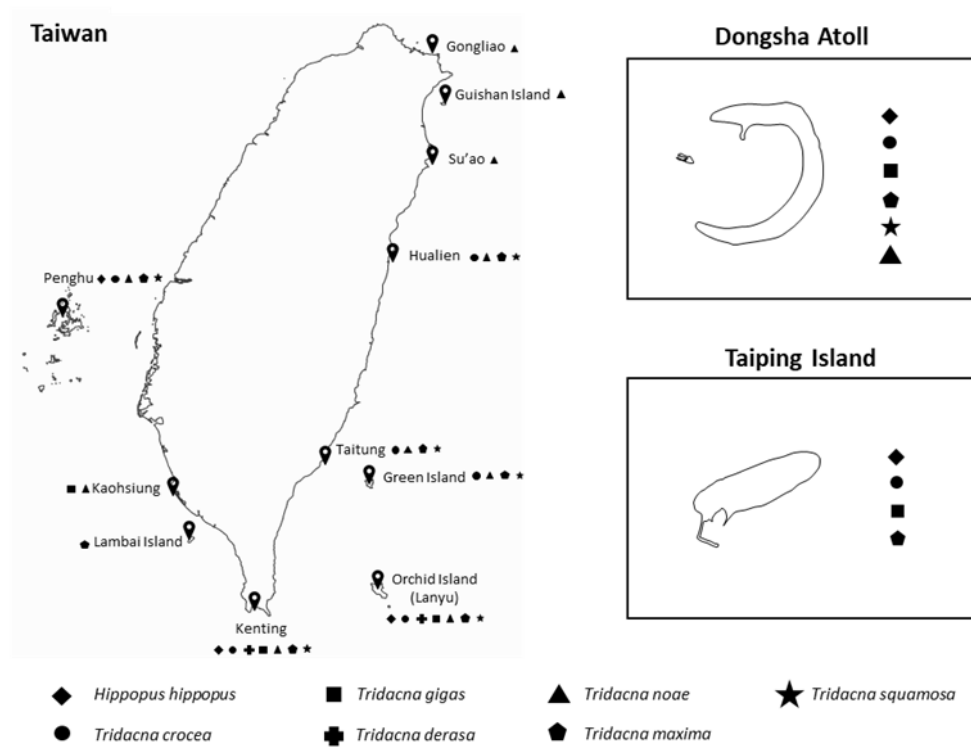


圖 1 臺灣碑磔貝有文獻紀錄之物種分布圖

Hippopus hippopus：菱碑磔貝；*Tridacna gigas*：巨碑磔貝；*Tridacna noae*：諾亞碑磔貝；*Tridacna squamosa*：鱗碑磔貝；*Tridacna crocea*：圓碑磔貝；*Tridacna derasa*：扇碑磔貝；*Tridacna maxima*：長碑磔貝。

碑磔貝以是否具有足絲孔，與外套膜完全展開是否超過外殼邊緣，可分為具有足絲孔且外套膜可超過外殼邊緣的碑磔貝屬 *Tridacna*，及不具有足絲孔且外套膜不會超過外殼邊緣的碑蠟貝屬 *Hippopus*（圖 2）。碑磔貝的物種鑑定及分類特徵包括外殼的放射肋數量、足絲孔大小、鱗片發達程度等，活體外套膜的花紋、眼點排列方式等也是物種鑑定的依據，臺灣有紀錄的碑磔貝物種形態特徵如表 1 所示。以下針對這 7 個物種的外部形態加以介紹：

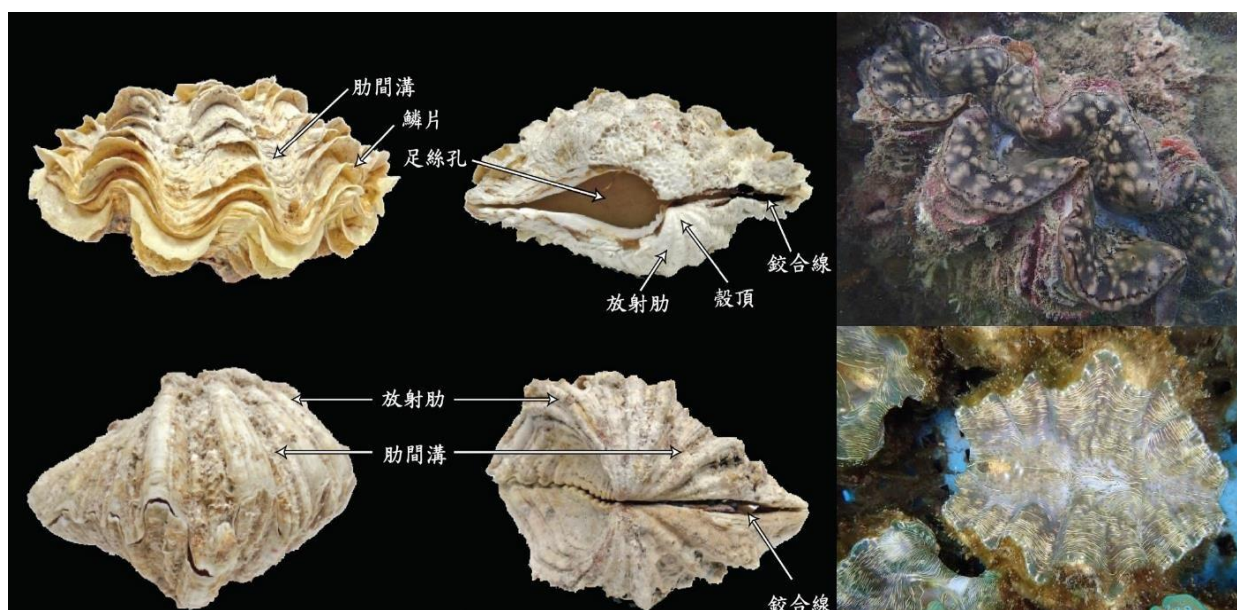


圖 2 碑磔貝屬 (*Tridacna*，上圖) 及碑蠟貝屬 (*Hippopus*，下圖)

一、 菱碑磔貝

菱碑蠟貝 (*Hippopus hippopus*)，又稱 Horse's Hoof Clam 或 Strawberry Clam，生活於珊瑚礁底質上，無足絲孔，不會分泌足絲將自己固定在底質上 (Rosewater, 1965)，最大可達 50 公分 (Mingoa-Licuanan & Gomez, 2007)，呈三角形，殼上有明顯的放射肋，肋上有紅或褐色斑塊，外套膜底色有黃棕色或深咖啡色，上有細橫線條，外套膜完全展開不會超過外殼邊緣。

二、 圓碑磔貝

圓碑磔貝 (*Tridacna crocea*)，最大 15 公分 (Rosewater, 1965)，本種部分或全部殼在珊瑚礁底質內，外殼放射肋上有鱗片，足絲孔長橢圓形，會分泌足絲將自己固定在底質上外套膜底色有藍、綠、棕色，外套膜上有點狀或斑塊狀花紋，外套膜邊緣之眼點密集，外有一圈深或淺色花紋。

三、 扇碑磔貝

扇碑磔貝 (*Tridacna derasa*)，又稱 Smooth Giant Clam，最大可達 60 公分 (Lucas, 1988)，本種生活於珊瑚礁底質上，外殼放射肋不明顯，足絲孔小，外套膜底色有藍、綠、棕色，外套膜邊緣有一窄藍色條帶，上有眼點分布。

四、 巨碑磔貝

巨碑磔貝 (*Tridacna gigas*)，體長最大的個體有 137 公分長、230 公斤重 (Rosewater, 1965)，最重的個體有 500 公斤、106 公分長 (Lucas, 1994)，本種生活於珊瑚礁底質上，外殼放射肋非常明顯，外套膜底色有藍、綠、棕色，外套膜邊緣有一窄藍色條帶，外套膜邊緣眼點稀疏，且外有一圈藍色花紋，幼貝時期足絲孔小，隨成長逐漸癒合。

五、 長碑磔貝

長碑磔貝 (*Tridacna maxima*)，最大的記錄是 42 公分 (Stasek, 1965)，本種部分或全部殼在珊瑚礁底質上，外殼外殼有 4-6 個放射肋，放射肋上有鱗片，足絲孔大，會分泌足絲將自己固定在底質上，外套膜底色有藍、綠、棕色，外套膜上有點狀或斑塊狀花紋，外套膜邊緣之眼點密集。

六、 諾亞碑磔貝

諾亞碑磔貝 (*Tridacna noae*)，最大達 28 公分 (Borsa et al., 2015)，本種部分或全部殼在珊瑚礁底質上，外殼外殼有 5-7 個放射肋，放射肋上有鱗片，足絲孔大，會分泌足絲將自己固定在底質上，外套膜底色有藍、綠、棕色，外套膜上有水滴狀花紋，外套膜邊緣之眼點不密集。

七、 鱗碑磔貝

鱗碑磔貝 (*Tridacna squamosa*)，又稱 Fluted Giant Clam，最大達 43 公分 (Hutsell et al., 1997)，本種部分或全部殼在珊瑚礁底質上，外殼有 4-5 個放射肋，放射肋上有很發達的鱗片，足絲孔明顯，外套膜底色有藍、綠、棕色，外套膜上有斑塊狀花紋，外套膜邊緣之眼點稀疏。

表 1 臺灣碑磔貝紀錄種之形態特徵表

特徵	中文名	菱碑磔貝	圓碑磔貝	扇碑磔貝	巨碑磔貝	長碑磔貝	諾亞碑磔貝	鱗碑磔貝
最大殼長 (cm)		50	15	60	137	42	28	43
足絲孔		無	大	小	幼貝小，成貝癒合	大	大	中等
棲息處		底質上	多於底質內	底質上	底質上	部分或全部於底質上	部分或全部於底質上	底質上
放射肋		8-12	4-5	無或不明顯	4-5	4-6	5-7	4-5
鱗片		不發達	發達或不發達	不發達	發達或不發達	通常發達	通常發達	大且發達
外套膜伸展		不超過殼緣	超過殼緣	超過殼緣	超過殼緣	超過殼緣	超過殼緣	超過殼緣
外套膜底色		綠、棕	藍、綠、棕	藍、綠、棕	藍、綠、棕	藍、綠、棕	藍、綠、棕	藍、綠、棕
外套膜邊緣花紋		淡色細長條紋	點狀或斑塊狀花紋	藍色細條帶	深色寬條帶	點狀或斑塊狀花紋	水滴狀花紋	斑塊狀花紋
外套膜邊緣眼點		無	密集外有一圈深或淺色花紋	排列鬆散	稀疏藍色空心或實心圓點	排列密集	排列鬆散	排列稀疏

第二節 分布區域及密度變化

早期雖有很多文獻提到碑磔貝，但量化資料主要來自珊瑚礁體檢調查。「臺灣珊瑚礁學會」於 2001 年開始在全臺各地多個地點，每年固定進行珊瑚礁體檢調查，碑磔貝為珊瑚礁體檢紀錄項目之一，因此可從歷年珊瑚礁體檢的資料中蒐集碑磔貝於臺灣周邊海域的密度資料，惟珊瑚礁體檢主要目標為調查珊瑚覆蓋率變化，故碑磔貝密度記錄是以涵蓋所有碑磔亞科物種的方式呈現，不同年間的調查範圍亦有所差異，且部分報告並無量化資料，僅以有或無的方式紀錄，因此，以下的密度分析是碑磔亞科下所有物種的密度紀錄，並轉換為每一百平方公尺的隻數（隻/100m²）表示，此部分已蒐集近二十年的資料（2001 年至 2020 年無 2006 年），調查地點包含 6 個縣市 66 個調查地點，有本島及離島測站，如基隆嶼、蘭嶼、綠島、小琉球等 87 個調查測站。

臺灣北部測站位於基隆市以及新北市。基隆市的調查測站位於潮境海洋公園周邊，以及蝙蝠洞一帶，調查年份包含 2017、2019 以及 2020 三年，在調查中未發現碑磔貝。新北市的調查測站位於野柳以及東北角龍洞一帶，其中 2005 至 2008 年無調查資料。大部分測站並未記錄到碑磔貝，僅在龍洞灣附近測站有觀察紀錄，族群密度為 0.125 隻/100m²（圖 3）。

東部的宜蘭、花蓮、臺東等三縣市在過往珊瑚礁總體檢調查中皆被涵蓋在內。宜蘭縣調查測站位於南方澳的豆腐岬及內碑一帶，2001 至 2004 年的調查紀錄顯示豆腐岬測站碑礫貝密度為 0.4 隻/100m²。花蓮縣測站則位於石梯坪周邊，調查時間包含 2001 至 2004 年，以及 2014 至 2020 年兩個時間區段，在 2001 至 2004 年間，花蓮縣內調查地點並未發現碑礫貝，後續於 2017 年有零星觀察紀錄，密度僅 0.03 隻/100m²。臺東調查測站接近三仙台的基翬漁港，以及鄰近臺東市區的杉原以及加母子灣附近，其中基翬測站從 2011 年開始至 2020 年有連續觀察紀錄，在調查年份內皆有碑礫貝的觀察紀錄，密度介於 0.125 至 1 隻/100m² 不等，杉原測站則有幾年並未記錄到碑礫貝，有觀察紀錄的密度變化則介於 0.2 隻/100m² 左右（圖 4）。

南部珊瑚礁調查主要在屏東縣墾丁地區，近 20 年的調查時間共累積了 21 個調查測站，主要集中在國家公園西側，東側測站僅有佳樂水一點，南側測站則包含香蕉灣、跳石、出水口、後壁湖等。過往調查結果顯示，位於墾丁國家公園西側的合界測站，碑礫貝密度最高，可記錄到 2.65 隻/100m²，且淺水測站（5 公尺內），碑礫貝密度高於深水測站（10 公尺）。在 2001 年到 2004 年的調查則顯示無碑礫貝的觀察紀錄，爾後缺乏相關的調查紀錄（圖 5）。

在離島測站中，以綠島的調查資料最豐富，歷年珊瑚礁體檢一在綠島地區調查了 30 個測站，其中以位於北側的中寮港、南側的大白沙，以及東側的石朗為碑礫貝密度最高的地點，最高可達 11.2 隻/100m²，平均而言，綠島測站在大部分調查時間碑礫貝的密度大於 1 隻/100m²（圖 6）。

蘭嶼周邊歷年來一共有 35 個調查測站，碑礫貝密度介於 0.25 到 3.25 隻/100m²，以南獅測站的密度最高（圖 7）。

小琉球則包含了 21 個測站，每個測站都有碑礫貝的觀察紀錄，但是有些年未紀錄到碑礫貝的分佈，密度變化則介於 0.2 至 1.5 隻/100m²，厚石群礁以及漁埕尾兩地皆有 1 隻/100m²，或大於 1 隻/100m² 的觀察紀錄（圖 8）。

澎湖縣是離島中調查紀錄最完整的地點，可能因曾在 2008 年經歷寒災侵襲，以及澎湖南方四島國家公園設立規劃有關。澎湖本島周邊及各離島共有 109 個調查測站，包含目斗嶼、吉貝嶼、姑婆嶼和鳥嶼等。本島北邊的測站在過去調查紀錄中無碑礫貝的觀察紀錄，其他周邊測站則以杭灣以及鎖港兩地在 2005 年記錄到 4 隻/100m² 最高，但大部分測站及時間則是未記錄到，或是密度低於 1 隻/100m² 以下。南方諸島大部分測站皆有碑礫貝的觀察紀錄，但密度變化差異大，在東吉嶼周邊測站有 5 隻/100m² 以上的觀察紀錄，但其它大部分地點密度範圍介於 0.25 到 1 隻/100m² 左右（圖 9）。

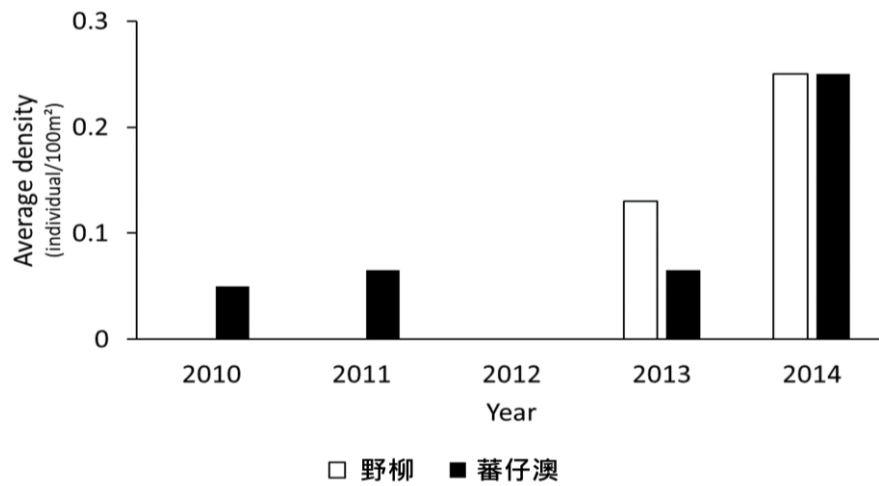


圖 3 新北市歷年碑礫貝平均密度變化

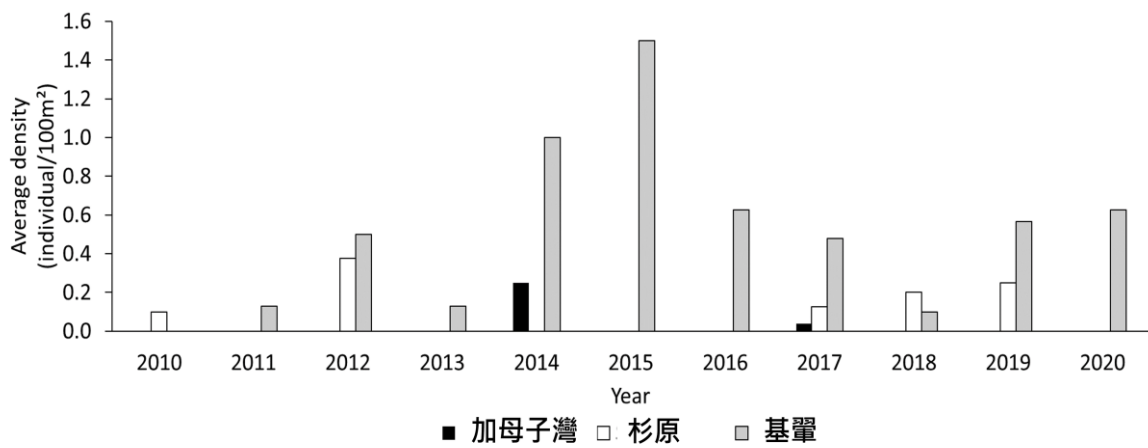


圖 4 臺東歷年碑礫貝平均密度變化

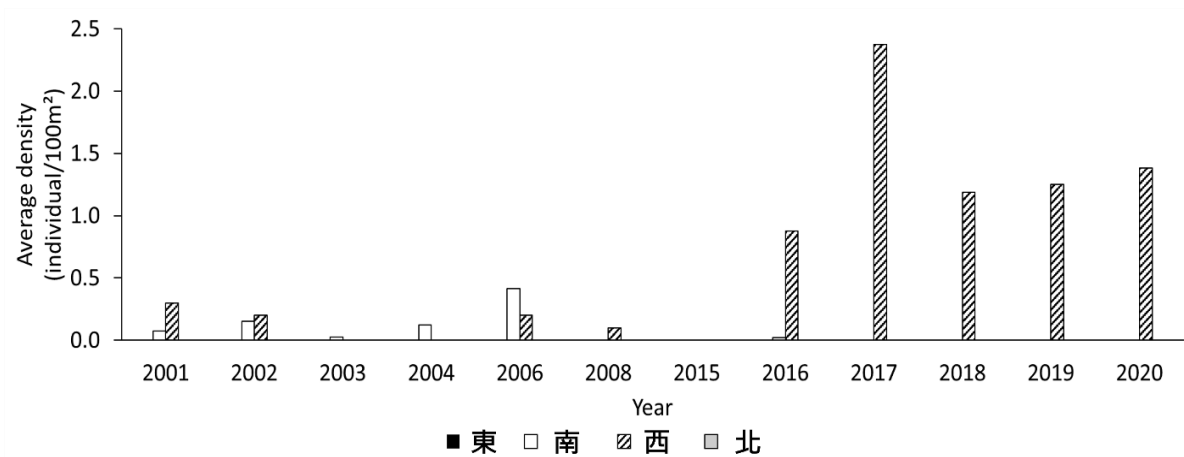


圖 5 墾丁歷年碑礫貝平均密度變化

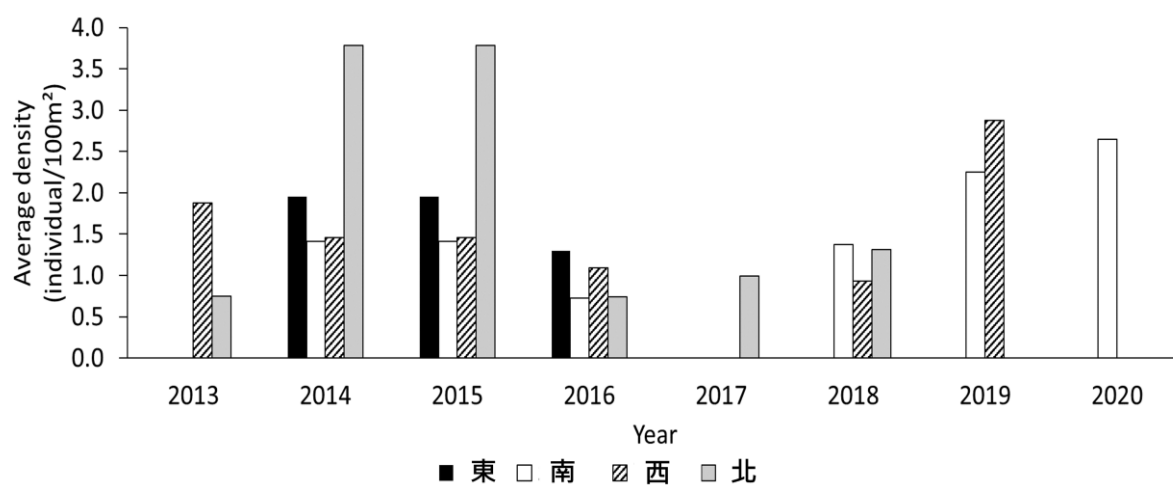
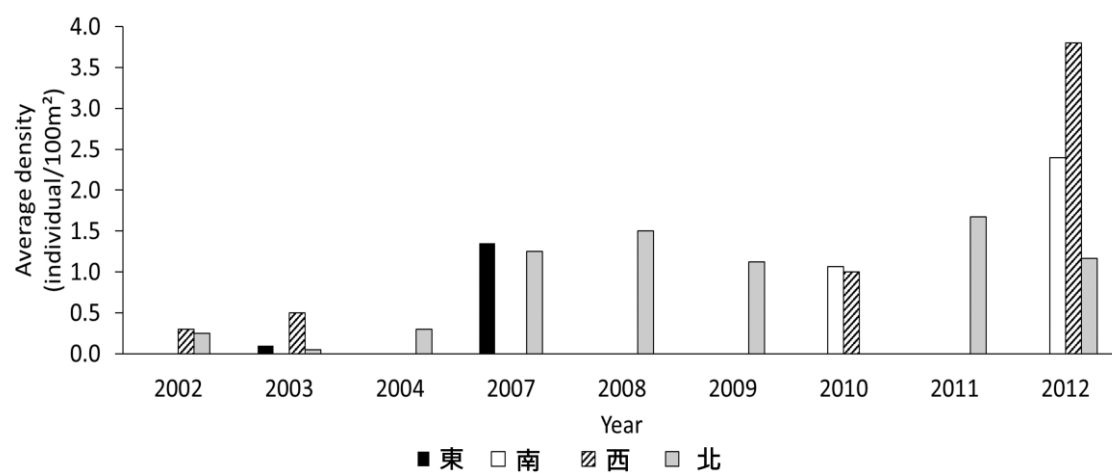


圖 6 綠島歷年碑礫貝平均密度變化

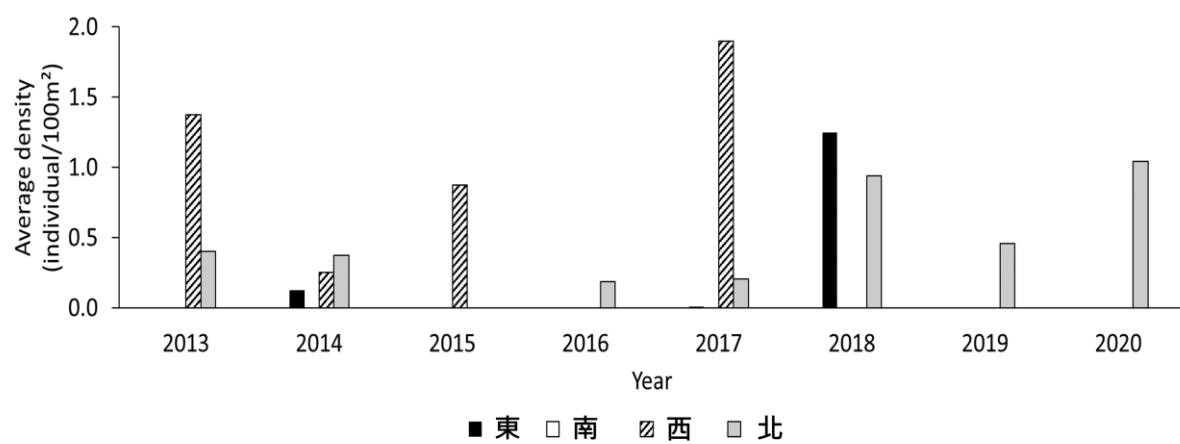
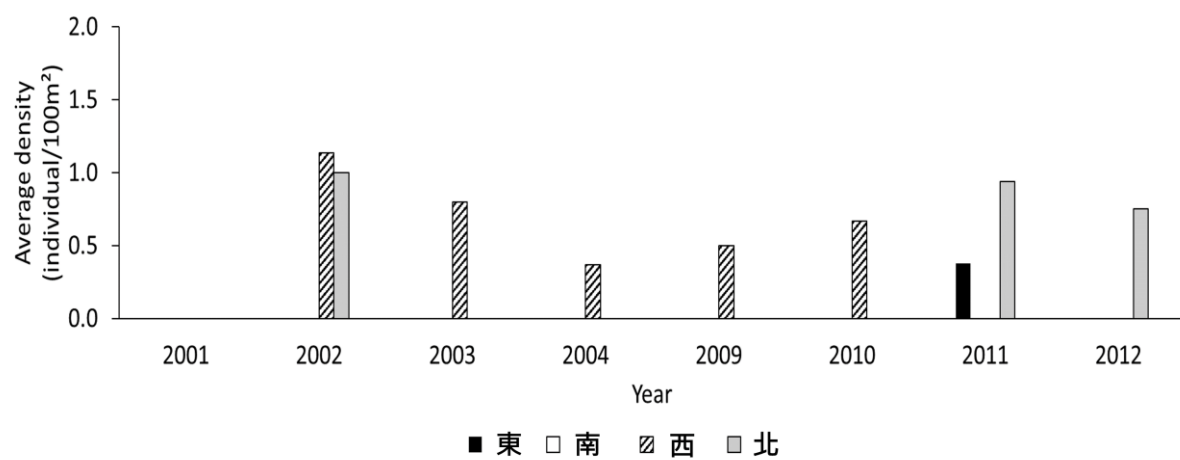


圖 7 蘭嶼歷年碑礫貝平均密度變化

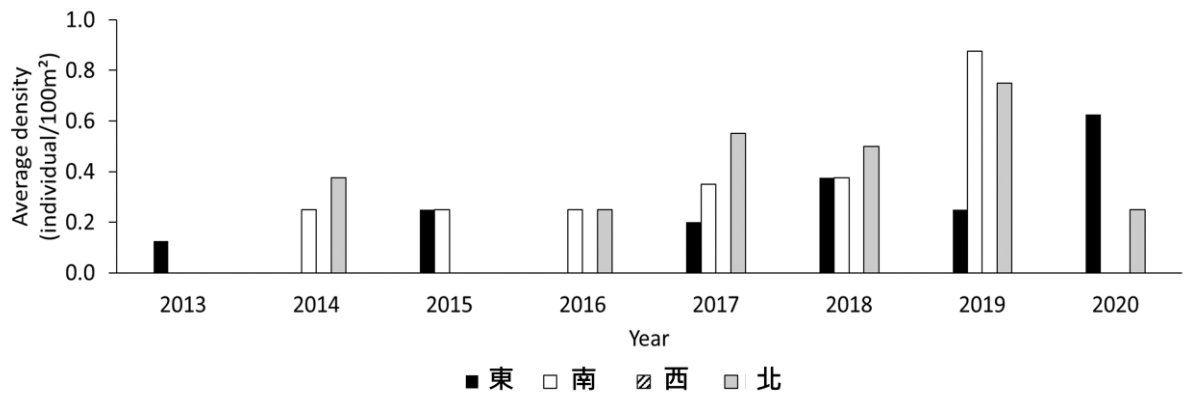
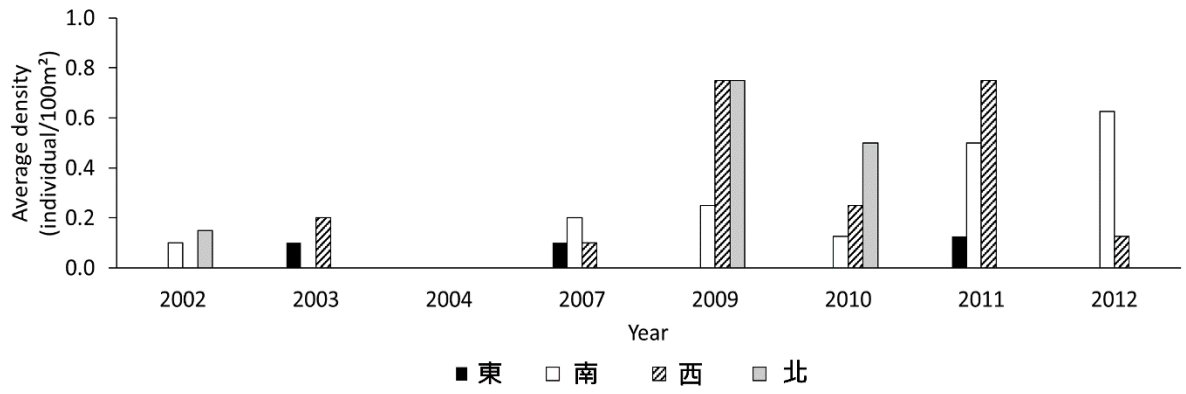


圖 8 小琉球歷年碑磔貝平均密度變化

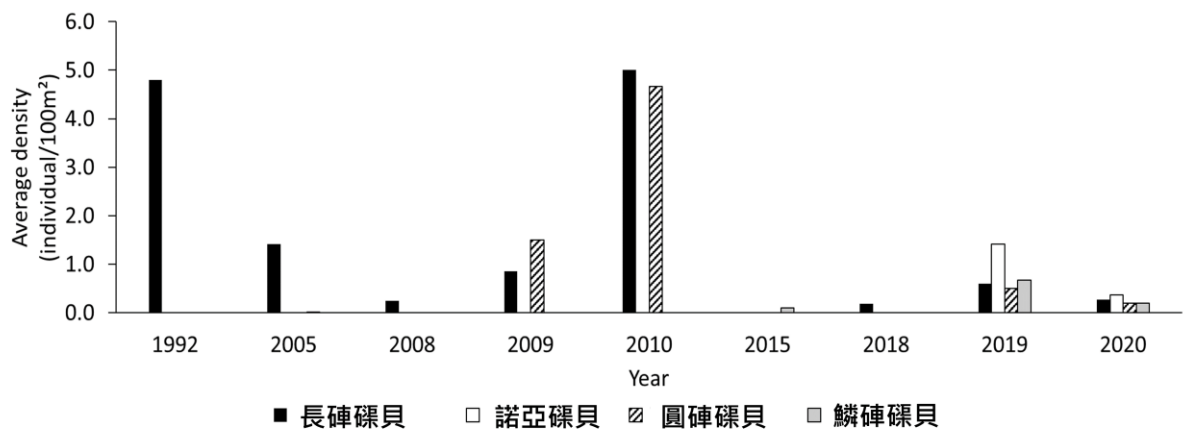


圖 9 澎湖各物種碑磔貝平均密度變化

海洋保育署 2021 年「臺灣碑磔貝及其他重要螺貝類調查及保育評估計畫」調查臺灣本島及離島共 12 個測站，分別為臺東杉原和基翬，墾丁後壁湖、紅柴坑、後灣、香蕉灣和入水口，蘭嶼玉女岩、開元港和小蘭嶼，澎湖七美小臺灣和月鯉灣。臺東地區長碑磔貝的密度為 0.25-1 隻/100m²，諾亞碑磔貝 0-3.75 隻/100m²、鱗碑磔貝 1 隻/100m²（圖 10）；墾丁地區諾亞碑磔貝之密度為 0.2-0.6 隻/100m²，長碑磔貝之密度為 0.2-2 隻/100m²，鱗碑磔貝之密度為 0.2-0.8 隻/100m²（圖 11）；蘭嶼諾亞碑磔貝之密度為 0.2-1 隻/100m²，長碑磔貝之密度為 1-1.6 隻/100m²（圖 12）；七美諾亞碑磔貝之密度為 0.6-1.6 隻/100m²，長碑磔貝之密度為 0.2-0.8 隻/100m²，鱗碑磔貝之密度為 0.2 隻/100m²（圖 13）。調查結果觀察到 4 種碑磔貝，分別為圓碑磔貝、長碑磔貝、諾亞碑磔貝、鱗碑磔貝，碑磔貝平均密度為 0.25-6.75 隻/100m²，普遍有成體比例低，密度亦低的情形。

同（2021）年執行「澎湖南方四島海域碑磔貝復育計畫」，於東吉嶼鄰近海域調查 5 個測站，結果顯示在東吉嶼西南邊海域測站數量分布最豐富，平均密度為 0.4 隻/100m²，其中以長碑磔貝及諾亞碑磔貝為主要種類。2022 年「澎湖南部海域碑磔蛤監測與復育評估計畫」於澎湖本島南側沿岸、澎湖南海進行碑磔貝資源調查，共計 12 個測站的穿越線調查，結果顯示在鎖港海域之東側、南側測站平均密度為 2.6-2.8 隻/100m²，而在香爐嶼海域測站之數量分布最豐富，平均密度為 3.4 隻/100m²。其中長碑磔貝及諾亞碑磔貝為主要物種數量較多，再次之為鱗碑磔貝，此外在鎖港南側有發現 1 個罕見之圓碑磔貝。

2022-2023 年「蘭嶼周邊海域底棲無脊椎動物資源調查」計畫，共記錄 137 筆碑磔貝資料，以長碑磔貝 97 筆為主、其次為諾亞碑磔貝 39 筆、鱗碑磔貝 1 筆則屬罕見。在潮間帶區域（包括潮池及碎浪區海岸）及水深 3m 以上遠離岸邊的亞潮帶，不同的碑磔貝之分布狀況不同。物種以長碑磔貝數量多，區域上則以亞潮帶較多，諾亞碑磔貝以潮間帶略多，長碑磔貝則以離岸的亞潮帶數量較多。該計畫執行的亞潮帶碑磔貝定量調查，紀錄到長碑磔貝及諾亞碑磔貝兩種，90 筆資料，平均每 100m² 有 7.5 隻碑磔貝，密度以開元港海域較高（圖 14）。

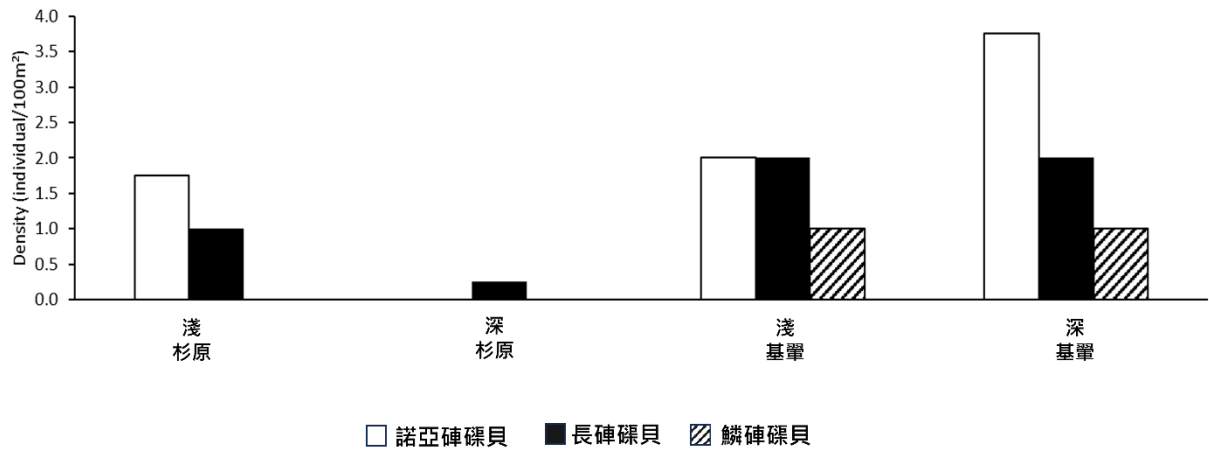


圖 10 2021 年臺東各樣點碑礫貝密度

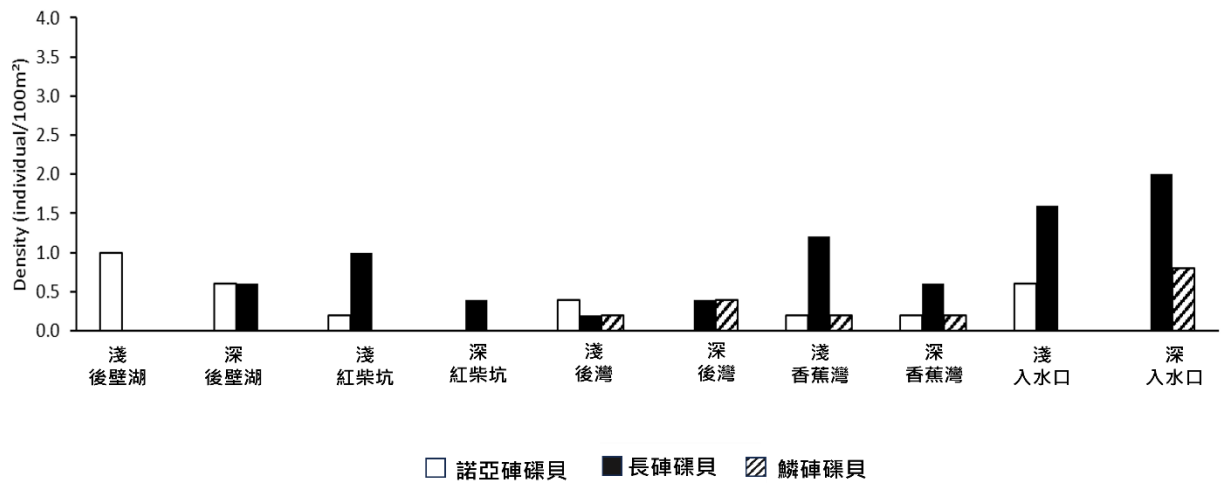


圖 11 2021 年墾丁各樣點碑礫貝密度

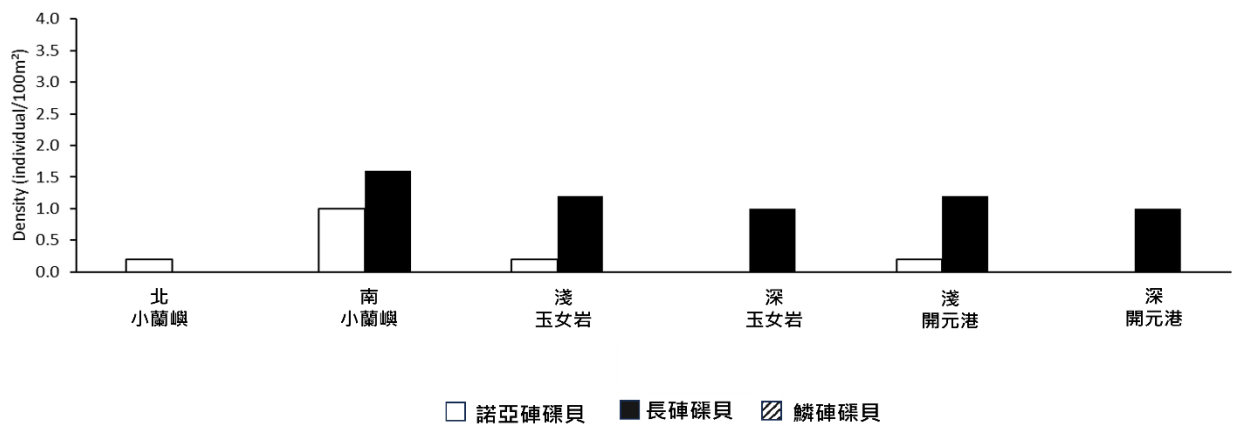


圖 12 2021 年蘭嶼各樣點碑礫貝密度

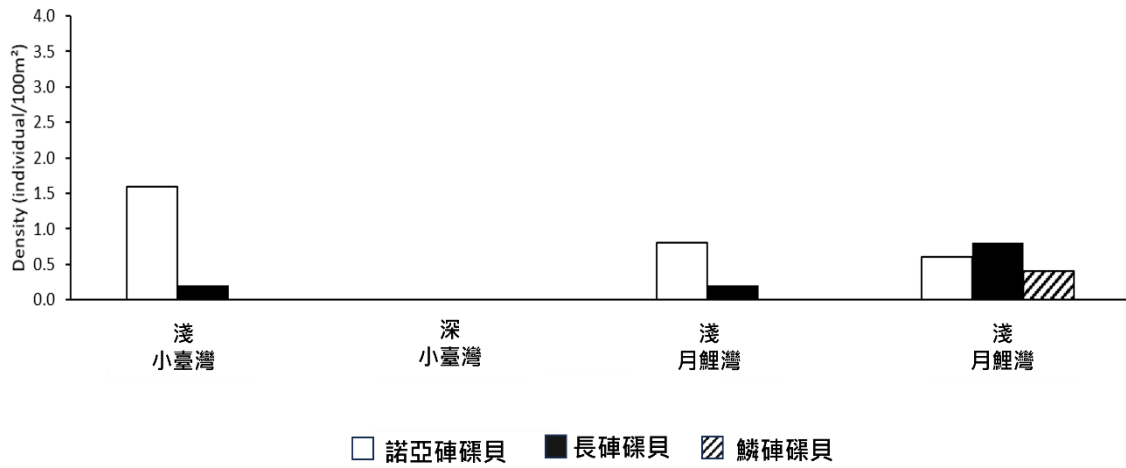


圖 13 2021 年澎湖七美各樣點碑磔貝密度

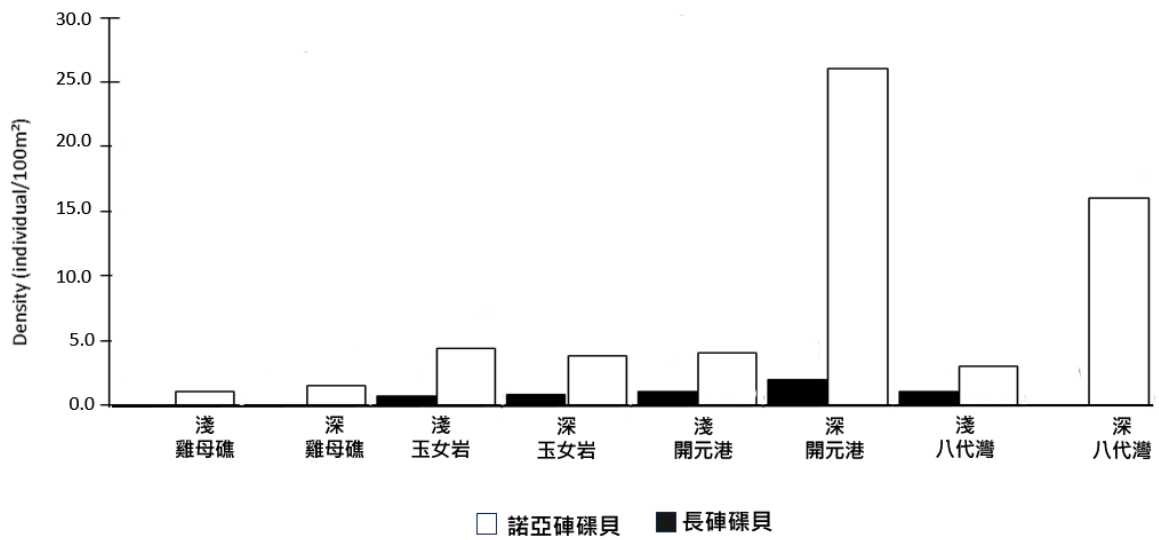


圖 14 2022-2023 年蘭嶼各海域深度穿越帶之碑磔貝密度

第三節 碑礫貝與臺灣原住民傳統文化

臺灣原住民族傳統上即有利用碑礫貝的習慣，泰雅族、阿美族、雅美（達悟）族等族群皆有使用紀錄，其中，又以蘭嶼的達悟族人使用最為廣泛。達悟族會在每年的傳統時節—嘎呢曼（kaneman）時期（大約是國曆 10 月），燒製貝灰（mabcik），材料主要使用碑礫貝（kono）、大岩螺（kamanomanok）這兩種貝類的殼，因為燒製貝灰必須使用最結實和耐燒的木材，傳統上多使用食茱萸和茄冬樹等幾個特定樹種。傳統製作貝灰的時間與地點也有嚴格的限制，一定會選在新月剛出來的 15 日內，選擇一個晴天，到自己部落內固定燒製貝灰的地點，大都是靠近海邊，因為燒製前會先用海水洗淨碑礫貝，在燒製時也需一邊添加海水來製作貝灰（mabcik）。

製作過程也必須遵守很多禁忌，貝灰有灰燼，隱含毀滅的意思，而女性是孕育生命來源，所以女性不能參與。燒製完成的貝灰有多種用途，除了作為拼板舟的白色原料，也有治病、驅魔的功效。家中有賓客到訪時，達悟族人就會拿出檳榔與貝灰請賓客享用，因此，達悟族有一個說法：「沒有貝灰，就不能成為人。」足見貝灰在達悟族傳統上的重要性，是不可或缺的生活必需品（國海院,2022）。

為了保存其獨特的傳統貝灰文化，雅美（達悟）族人在 2019 年 12 月 31 日，正式將「雅美族 Tao 貝灰（mabcik）文化及其製作」送件原民會，申請原住民族傳統智慧創作專用權，並在 2021 年 9 月 15 日公告通過。又依據原住民族基本法第 19 條規定：原住民得在原住民族地區及經中央原住民族主管機關公告之海域依法從事以下非營利行為，其中即包含獵捕野生動物、利用水資源等，但僅以傳統文化、祭儀或自用為限（原住民族傳統智慧創作保護資訊網）。因此，如何在尊重原住民族傳統文化的前提下，遏止因私利濫捕碑礫貝導致資源枯竭的行為，並加速復育的進程，正考驗著這個世代的智慧。

第二章 生存威脅

珊瑚礁生態系有超過 25% 以上的海洋生物物種居住，其中螺貝類有數百種之多，碑礫貝是較大型的物種，也是珊瑚礁健康狀況的指標物種，而珊瑚礁目前受到許多人為影響與環境的威脅，包括全球暖化、海洋酸化、海洋污染和過度採捕等 (Hoegh-Guldberg et al., 2007; Bellwood et al., 2012; Wenger et al., 2015; Hughes et al., 2018)。由於這些影響的交互作用，許多碑礫貝物種正遭受嚴重威脅。

第一節 氣候變遷與碑礫貝白化現象

自 18 世紀工業革命以來，人類活動產生大量的溫室氣體，使得地球溫度節節升高，海洋水溫也不例外。全球暖化對碑礫貝產生的負面效應，包括海洋熱浪、極端溫度、熱緊迫 (heat stress)、過量紫外線照射導致碑礫貝健康弱化。其中，碑礫貝最嚴重的大規模死亡事件主要與高溫熱緊迫有關 (Mies, 2019)，上述多種因素導致共生藻被驅逐或離開碑礫貝外套膜，形成白化現象 (bleaching)，最終造成死亡率上升 (Buck et al., 2002; Andréfouët et al., 2013; Junchompoo et al., 2013)。

嚴重衝擊碑礫貝生存的白化現象 (bleaching)，其成因碑礫貝共生藻損失或光合葉綠素蛋白複合物的降解 (Glynn, 1993)，在熱緊迫下，生物體產生活性氧 (ROS)，最終導致共生細胞的葉綠素含量減少並被排出，從而形成了一種無共生藻的碑礫貝，具有淡白色的外殼 (Mies, 2019)。此外，海洋暖化也會導致碑礫貝幼生和成貝族群個體白化，造成生產力下降或成長期族群存活率降低 (Wilkinson & Buddemeier, 1994; Gomez & Mingoa-Licuanan, 1998)。由於碑礫貝的白化研究遠少於珊瑚白化的研究，其耐受溫度閾值因物種和地理位置而異，相關研究顯示介於 29°C 至 35°C 之間 (Estacion & Braley, 1988; Braley, 1992; Addessi, 2001)，也有文獻記載，高於平均溫度約 5°C 會引發嚴重的白化 (Buck et al., 2002)。

在過去，碑礫貝白化現象往往未能及時有效記錄，主要是由於碑礫貝物種缺乏長期監測，且大多數保育工作多集中在珊瑚 (Siebeck et al., 2006; Van Wynsberge & Andréfouët, 2017)。由於海洋熱浪衝擊是造成全球造礁珊瑚大量減少的主要因素之一，在印度太平洋海域過去三十年間，曾經發生數次的全球性的珊瑚大白化和死亡事件，其中主要有紀錄的碑礫貝白化事件，包括與 1997-1998 年、2009-2010 年和 2015-2017 年的三個全球大規模珊瑚白化事件有關。而這幾次的碑礫貝白化事件主要發生在東南亞、澳洲大堡礁 (GBR) 和法屬波里尼西亞 (French Polynesia) (Mies, 2019)。

1997-1998 年聖嬰現象 (ENSO) 所引發印度太平洋海域許多海域的大規模珊瑚白

化 (Hoegh-Guldberg, 1999)，主要發生在澳洲大堡礁、東南亞、印度洋和南太平洋的七種硨磲貝物種，造成嚴重的白化和死亡 (Gomez & Mingoa-Licuanan, 1998; Addessi, 2001)。在同樣由 ENSO 引發的 2009-2010 年全球白化事件中，儘管法屬波里尼西亞的死亡率很高 (Andréfouët et al., 2013)，但硨磲貝白化的研究報告紀錄主要來自東南亞海域 (Mies, 2019)。

在 2015-2017 年的白化事件中，不同地理位置的硨磲貝白化發生率程度不一，受影響的區域涵蓋硨磲貝的整個分佈範圍 (Hughes et al., 2018)。在法屬波利尼西亞，分別有 94% 和 50% 的硨磲貝白化和死亡 (Andréfouët et al., 2018)。雖然長硨磲貝 (*T. maxima*) 在模里西斯 (Mauritius) 沒有發生白化，但是在新加坡、關島也有白化的情形 (Neo et al., 2017)。

海洋酸化也會對硨磲貝鈣化、殼成長以及幼生發育造成負面衝擊 (Waters, 2008; Watson et al., 2012)，實驗結果顯示在酸性條件下 ($\sim 600\text{--}1000\ \mu\text{atm}$ [$60.8\text{--}101.3\ \text{Pa}$] pCO_2)，硨磲貝幼生會出現負向殼成長 (殼溶解) 狀態以及低存活率。再者，依據本世紀末預測之氣候情境下，所進行溫度與 pCO_2 綜合影響結果顯示，鱗硨磲貝 (*T. squamosa*) 幼生的殼，其鈣與鎂離子含量將會明顯減少 (Armstrong et al., 2014)，存活率明顯下降 (Watson et al., 2012; Watson, 2015)。

另一方面，對於硨磲貝繁養殖產業亦可能帶來額外的經濟與發展壓力 (Neo et al., 2017)。例如孵化場水溫升高會導致藻類過度生長、殼體形成不良 (Schwartzmann et al., 2011) 以及產卵模式過早，不穩定的水溫迫使復育人員需要不斷調整其養殖方式和策略，無形中造成生產成本與風險管理增加，這些都是進行硨磲貝繁養殖不希望看到的結果。

第二節 海洋污染

隨著印度洋與西太平洋地區珊瑚礁的退化，硨磲貝的棲地也遭受到威脅 (Neo & Todd, 2012)。尤其人類活動的壓力威脅到珊瑚礁生態環境的健康，進而衝擊到棲息在其中的硨磲貝的生存和成長 (Neo, 2017)。2016 年 Van Wynsberge 等人應用全球統合分析 (global meta-analysis) 解析長硨磲貝 (*T. maxim*) 分布之結果，顯示除了人口密度極低的地區以外 (每公頃小於 20 人之珊瑚礁)，硨磲貝密度往往隨著人類活動的增加而降低。在埃及靠近紅海北部海域之研究顯示，在距離人為因素影響較遠的區域，硨磲貝的豐度較高，其中主要威脅來自於旅遊業、水肺潛水、水污染、懸浮污染物，以及石油鑽探生產 (Mekawy & Madkour, 2012)。

由於珊瑚生長的海域往往容易因為廢污水排放造成優養化，進而影響當地水質環境，舉凡家庭、商家、工業所排放的污水，以及假日期間遊客來訪，短時間內因遊憩活動累積之大量垃圾和廢水，皆對碑礫貝族群生存造成一定程度的衝擊。相關研究亦指出，碑礫貝暴露在高濃度銅（測試濃度為 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ ）和鹽度降低的環境中時，其存活率、成長率和光合作用效率會顯著降低（Elfwing et al., 2001）。此外，沿海城市化程度也會對碑礫貝族群產生負面影響。例如，在新加坡，由於大規模的填海造地工程，造成許多曾經記錄過碑礫貝的珊瑚礁被掩埋消逝（Neo & Todd, 2012）。

第三節 人為過度採捕

傳統上，碑礫貝的閉殼肌被華人視為高貴食材，而在亞洲美食中被視為美味佳餚，自古以來在多數地區被作為水產品捕撈（Lucas, 1994）。另一方面，碑礫貝殼作為珠寶和裝飾品在工藝品買賣中也越來越受歡迎（Larson, 2016），許多大型個體之貝類，經過加工研磨製成工藝品後，商業價值極高。由於國際上象牙買賣受到嚴格限制，因此碑礫貝殼也可能成為象牙的替代品（Larson, 2016），使得碑礫貝殼的需求量激增。

人為採集的碑礫貝大多從珊瑚礁中所採獲，由於碑礫貝外套膜的花紋和顏色多彩鮮艷，是水下觀光及潛水遊憩的關注點，在水族市場也是重要的展示品，為國際水族貿易重要經濟性商品，因而造成野外族群易遭採集或盜採，過去也曾在野外調查時目擊民眾潛水採集碑礫貝，顯示全球碑礫貝族群仍有龐大的人為採捕壓力。相關研究亦指出，東沙的四種碑礫貝數量減少，與人為捕撈有極大關聯性（Neo, 2018），且可能因此導致基因弱化。自 1980 年代以來，東沙海域之碑礫貝受到來自中國、香港、越南或臺灣的漁民持續捕撈，可能已導致族群數量大量減少（Dai, 2004）。

現階段，全球碑礫貝所面臨之商業過度捕撈壓力和盜獵，已經達到了無法永續的程度，多處海域野外族群正面臨大量資源枯竭（Neo et al., 2017）。過度捕撈往往造成嚴重的後果，包括補充群（recruitment）減少、資源大量降低，以及大型碑礫貝物種，如 *T. derasa* 和 *T. gigas* 的局部滅絕（Gomez & Mingoa-Licuanan, 2006；Van Wynsberge et al., 2016；Mies et al., 2017）。

第四節 野外資源密度過低

由於上述多重威脅的影響下，碑礫貝在其野外原生分布區密度大幅下降，對其族群在野外繁殖成功率造成嚴重衝擊（Munro, 1992）。野外受精卵之成功受精與否往往取決於該物種間的同步產卵機制（synchronized spawning）（Lucas, 1988；Gilbert et al., 2006），由於精子釋放的觸發因素大多取決於卵子釋放之化學物質（Munro et al., 1983）。一旦

啟動誘導機制，其它鄰近的成員也會釋放卵子，進一步驅動受精機制。在野外環境中，碑磔貝大多會呈現整群聚集的現象，也是由於成熟的個體需要彼此相互靠近，才能促使族群容易繁殖成功（Braley 1985；Huang et al., 2007；Soo & Todd, 2012、2014）。

因此，碑磔貝野外族群之數量枯竭，將使得海域內成熟個體之成員族群密度過低，進而造成野外受精成功率降低，最終導致野外補充群（recruitment）大幅下降（Munro, 1992；Tan & Zulfigar, 1999；Neo et al., 2013）。更糟的是，隨著族群量變得越來越稀少，人們往往朝向更小的個體採捕，意味著在成熟個體可能性成熟之前就被捕獲，進一步降低繁殖成功率（Allee effects）（Stephens et al., 1999）。這可能造成族群區域性消失，最終導致整個族群滅絕（Frank & Brickman, 2000, Petersen & Levitan, 2001）。

表 2 全世界碑磔貝之現生種列表及國際保育等級

學名	中文名	IUCN 紅皮書 / 最後評估時間	華盛頓公約	IUCN 紅皮書（海保署計畫評估）
<i>Hippopus hippopus</i> (Linnaeus, 1758) *	菱碑磔貝	低危／1996	附錄二	CR(極危)
<i>Hippopus porcellanus</i> Rosewater 1982	瓷菱碑磔貝	無危		
<i>Tridacna crocea</i> Lamarck, 1819*	圓碑磔貝	無危／1996	附錄二	LC(無危)
<i>Tridacna derasa</i> (Röding, 1798) *	扇碑磔貝	易危／1996	附錄二	CR(極危)
<i>Tridacna elongatissima</i> Bianconi, 1856		無危		
<i>Tridacna gigas</i> (Linnaeus, 1758) *	巨碑磔貝	易危／1996	附錄二	CR(極危)
<i>Tridacna maxima</i> (Röding, 1798) *	長碑磔貝	低危／1996	附錄二	LC(無危)
<i>Tridacna mbalavuana</i> Ladd, 1934	魔鬼碑磔貝	低危／1996		
<i>Tridacna noae</i> (Röding, 1798) *	諾亞碑磔貝	低危／1996*	附錄二	LC(無危)
<i>Tridacna rosewateri</i> Sirenko and Scarlato 1991	羅氏碑磔貝	無危		
<i>Tridacna squamosa</i> Lamarck, 1819*	鱗碑磔貝	低危／1996	附錄二	LC(無危)
<i>Tridacna squamosina</i> Sturany 1899	似鱗碑磔貝	無危		

*臺灣有記錄之物種

第三章 保育行動

透過分析臺灣碑礫貝現況、所受威脅、相關調查研究及歷年國內外文獻等，以讓臺灣周邊海域碑礫貝族群數量恢復為目標願景，以下就：(1) 法令規範與執法、(2) 調查監測與基礎研究、(3) 棲地維護及在地守護、(4) 教育宣導及擴大參與，四大工作面向說明碑礫貝保育作為的現況及未來工作重點，分述如下。

第一節 法令規範與執法

一、 滾動更新保育等級評估

華盛頓公約（CITES）將碑礫貝列為附錄二的保護物種。海洋保育署兩度於海洋野生動物保育諮詢委員會上，請各方專家學者就評估是否將碑礫貝列入海洋保育類動物提出意見，後於 2023 年 4 月 10 日第 2 屆第 3 次定期會達成共識，持續與相關原住民族、專家學者及相關部門溝通及合作，研議多元利用及保育方案，以為決議。

將依據 2020 年 5 月 27 日公告之《海洋野生動物評估分類作業要點》，持續評估碑礫貝野生族群之分布趨勢、變動趨勢、特有性、面臨的威脅及國際保育現況等，適時更新保育等級並評估保育成效。

二、 運用現行法令並落實執法

(一) 原住民族基本法第 19 條規範原住民得於特定區域從事相關傳統獵捕、利用等非營利行為，且僅以傳統文化、祭儀或自用者為限。在尊重原住民族傳統文化的同時，竭澤而漁的商業行為，或因個人私利而破壞海洋環境的行為，才是執法目標。

(二) 利用漁業法相關規定，鼓勵地方政府發布禁採，降低碑礫貝野生族群採捕壓力。檢視現行相關法規，澎湖縣政府依據漁業法相關規定，公告禁止採捕碑礫貝；另一方面，臺東縣、屏東縣政府亦公告禁止於保育區範圍內，以任何方式採捕（含徒手）保育對象或破壞棲息地環境之行為；而高雄市政府亦公告於東沙群島特定區域內禁止採捕。

(三) 依據發展觀光條例裁罰標準第 13 條附表 9「違反本條例與風景特定區管理規則有關風景特定區及觀光地區管理規定裁罰基準表」裁罰事項第 4 項「於風景特定區內未經許可或同意，採捕魚、貝、珊瑚、藻類」，亦可處新臺幣五十萬

元以下罰鍰並責令回復原狀或償還修復費用。

- (四) 碑礫貝相關盜採案件仍時有所聞，應如何落實執法成為重要的課題。除加強宣導禁捕政策，及仰賴地方保育人員和巡邏警察的保護外，遊客熱心通報也是發現非法採捕行為的重要管道。藉由遊客協助巡視，適時通報當地主管機關，有助於降低碑礫貝野生族群盜捕壓力，並且在已公告禁捕之區域加強巡邏禁捕區域，強化通報查緝之執行流程。至於尚未劃設保育區範圍公告禁捕者，可鼓勵地方政府評估劃設保護區，通過宣傳活動和設立簡單的舉報機制來鼓勵遊客參與共同監督。

第二節 調查監測與基礎研究

一、 基礎資訊蒐集

- (一) 碑礫貝族群定期科學性監測是保護重要棲地環境不可或缺的一環。透過定期監測以了解碑礫貝的生存情形，包括數量、分布和健康狀況，有助於及早發現問題並採取相應的措施，並提供有效科學數據掌握長期族群變動。而長期性科學監測，可作為保育等級評估之依據並適時調整策略，進一步建構全臺灣各地碑礫貝重要棲息海域之各物種之族群數量、分布、生活史特徵等。
- (二) 釐清碑礫貝族群量降低之人為、環境影響因素，提供應對潛在問題的解決策略。掌握碑礫貝族群減少之影響關鍵，同時分析環境棲地、生物與生態學基礎數據，並藉由監測棲地環境變動因素，如颱風、風浪，及人為採捕威脅等衝擊因子，以提出整體族群變動關鍵之解決策略。此外透過風險評估，研擬適合之管理措施，以保護碑礫貝族群及其棲地完整度。

二、 碑礫貝人工繁養殖復育

臺灣在碑礫貝人工繁養殖等復育相關工作已有超過二十年的經驗，主要以諾亞碑礫貝與長碑礫貝為目標物種，但受寒害及病蟲害、缺乏適當的中間育成與種貝蓄養場地等問題影響，仍無法大量提供野放復育所需之資源量，其它物種之繁殖工作也需要持續開發。水試所長期發展碑礫貝種苗繁殖培育作業，海保署自 2021 年起委託水試所進行碑礫貝資源調查及復育工作，評估以人工繁殖之幼貝貝苗進行野外移植的可行性與適合野放之海域地點，2023 年開始進行將繁養殖培育的幼貝移植放流至野外，希冀訂定標準作業程序，進而提升復育技術，增加野外移植放流存活率。

三、建立專家諮詢小組

成立專家諮詢小組，不定期邀請各界專家學者參與，檢視調查成果，就海洋保護、資源永續及國內管理法規等面向，提出實務建議，並討論相關措施的必要性和可行性。持續實施滾動式的檢討，與時俱進地修正保育行動方案，以確保保育工作的時效性和有效性。

第三節 棲地維護及在地守護

一、成立重點保護區

棲息地的消失，是近來許多瀕危物種消失的重要原因。就碑礫貝合適生活環境而言，可優先考慮於現有水產動植物繁殖保育區、漁業資源保護區、野生動物保護區或國家公園範圍內之區域，劃設重點保護區域，與中央、地方政府，以及各權益關係人溝通協調及推動，並於重點區域進行復育，搭配定期監測確保其成效。

二、在地守護

運用社區力量，推動在地團體與關係人建立合作模式，建立在地認養與回報機制，藉由碑礫貝保育的志願者計畫，鼓勵當地居民實際參與保育行動，包含在地巡守隊、保護區解說員。透過講座及工作坊推廣生態調查監測、教育推廣，提升當地居民有關碑礫貝保育的知識，透過活動參與親身體驗碑礫貝保育的重要性。以日本沖繩縣為例，當地政府於石垣島進行碑礫貝的繁殖與復育，復育場海域則為當地數家浮潛業者主要帶遊客前往之浮潛點（井上, 2011）。

海保署自 2021 年起補助花蓮縣豐濱鄉港口社區發展協會，執行石梯坪海域碑礫貝在地守護計畫，進行該區海域內碑礫貝監測觀護，並不定期返回巡查，以了解該區碑礫貝遺失、盜採及新生之情形。更進一步鼓舞鄰近鄉鎮參與在地守護計畫，帶動地方共鳴，並凝聚海岸線整體向心力。

第四節 擴大參與

一、社會參與及海洋公民科學家

推廣環境教育活動，普及碑礫貝基礎知識。結合教研單位設計培訓課程，舉辦教育推廣活動，使保育理念得以扎根。邀請企業加入，實現企業責任，推動贊助碑礫貝在地保育團體，達成社會回饋的機制。

利用海洋公民科學的方法，推動在全臺各地碑礫貝重要棲息海域，不同的區域及時間，收集與碑礫貝相關的野外觀察資料，透過參與民眾於本署 iOcean 網站或海洋資料庫系統，利用數據統計分析，強化碑礫貝野外族群棲息環境監測能力。

二、國際交流

國際上成功的保育經驗，都值得我們學習效法。例如菲律賓南部的甘米銀省（Camiguin），所進行的巨碑礫貝（*T. gigas*）公民科學家計畫，係鼓勵漁民受培訓為公民科學家，而漁民作業時回報目擊之碑礫貝位置，能適度引進復育，或者將巨碑礫移至保護區內，數年下來，發現碑礫貝分布範圍得以擴大，顯示藉由當地組織和漁民之間的合作，能確保碑礫貝的永續保育。

透過與亞洲、南太平洋等相關國家或國際組織，進行碑礫貝養殖技術與復育政策的交流合作，例如菲律賓之東南亞漁業發展中心（SEAFDEC）、日本沖繩水產試驗單位、帛琉海洋資源局之 Malakal 水產養殖試驗場。以帛琉試驗場為例，具有碑礫貝之人工繁殖技術，每年約可生產殼長 10cm 左右之幼貝 20 萬粒，養殖一年半後免費提供幼貝給 50 家養殖場進行海上養殖（何，2010）。透過具有碑礫貝養殖技術之機關單位如水試所、澎湖縣種苗繁殖場，結合繁殖技術的推廣，搭配通盤復育計畫，有助於協助珊瑚礁復甦，提升生態服務價值，產生永續性藍色經濟。

表 3 碑礫貝保育行動方案

工作面向	保育行動	優先性 (1 最優先)	短中程 長期 經常性	2024	2025	2026	2027	2028	主辦機關	協辦機關
一、法令規範與執法										
滾動更新保育等級評估	持續評估其野生族群之分布及變動趨勢、面臨的威脅及國際保育現況等，適時更新其保育等級並評估保育成效。	1	經常性	V	V	V	V	V	海保署	原民會、學術研究單位、國海院
運用現有法令並落實執法	利用漁業法、發展觀光條例等相關規定，發布禁採，降低碑礫貝野生族群採捕壓力。	1	中		V	V	V	V	地方政府	原民會、漁業署、觀光署、海保署
	加強查緝非法採捕碑礫貝情事。	1	經常性	V	V	V	V	V		原民會、漁業署、海保署、海巡署
二、調查監測與基礎研究										
基礎資訊蒐集	科學性監測各物種之族群數量、分布等，建立碑礫貝生物學及資源分布資料庫。	1	經常性	V	V	V	V	V	海保署	學術研究單位、國海院
	釐清碑礫貝族群量降低之人為、環境影響因素，提供應對潛在問題的解決策略。	2	中		V	V	V			學術研究單位、國海院
碑礫貝人工繁養殖復育	持續研發碑礫貝人工繁養殖技術。	2	長	V	V	V	V	V	學術研究單位	海保署、水試所、澎湖縣水產種苗繁殖場

建立專家諮詢小組	不定期召開會議，滾動式檢討修正保育方案。	2	經常性	V	V	V	V	V	海保署	國家公園署、觀光署、地方政府、學術研究單位
	盤點現行法規，討論補足之必要性及可行性	2	中		V	V	V			
三、棲地維護及在地守護										
成立重點保護區	優先考慮現有水產動植物繁殖保育區或國家公園，與中央、地方政府與權益關係人溝通協調，共同推動	1	長		V	V	V	V	地方政府	海保署、漁業署、國家公園署
在地守護	推動在地居民與團體，共同參與生態監測與調查，進行參與式保育行動	1	經常性	V	V	V	V	V	海保署	地方政府、各地方團體
四、擴大參與										
社會參與及海洋公民科學家	推廣環境教育活動，並鼓勵企業參與，建立社會回饋機制，打造長期推廣保育的基礎	1	經常性	V	V	V	V	V	海保署	地方政府
	培育公民科學家，協助監測工作，並定期舉辦人才培訓及增能工作坊。	2	中	V	V	V	V	V	海保署	地方政府
國際交流	進行硨磲貝養殖技術與復育政策的交流合作。	2	中		V	V	V	V	海保署	水試所、澎湖縣水產種苗繁殖場

參考文獻

- Addessi L. (2001) Giant clam bleaching in the lagoon of Takapoto atoll (French Polynesia).
- Andréfouët S, Van Wynsberge S, Gaertner-Mazouni N, Menkes C, Gilbert A, Remoissenet G (2013) Climate variability and massive mortalities challenge giant clam conservation and management efforts in French Polynesia atolls. *Biol Cons* 160:190–199
- Beckvar N, (1981) . Cultivation, spawning, and growth of the giant clams *Tridacna gigas*, *T. derasa*, and *T. squamosa* in Palau, Caroline Islands. *Aquaculture* 24: 21-30.
- Bellwood DR, Hoey AS, Hughes TP. (2012) . Human activity selectively impacts the ecosystem roles of parrotfishes on coral reefs. *Proc R Soc B* 279:1621–1629
- Borsa, P, Fauvelot C, Tiavouane J, Grulois D, Wabnitz C, Abdon Naguit M.R. Andrefouet S. (2015) . Distribution of Noah's giant clam, *Tridacna noae*. *Marine Biodiversity* 45: 339–344.
- Braley H, Anderson, TA. (1992) . Changes in blood metabolite concentrations in response to repeated capture, anaesthesia and blood sampling in the golden perch, *Macquaria ambigua*. *Comp. Biochem. Physiol.*
- Braley RD. (1985) . Serotonin induced spawning in giant. *Aquaculture* 47:32–325.
- Buck BH, Rosenthal H, Saint-Paul U. (2002) . Effect of increased irradiance and thermal stress on the symbiosis of *Symbiodinium microadriaticum* and *Tridacna gigas*. *Aquat Living Resour* 15:107–117
- Caroline Schwartzmann, Gilles Durrieu, Mohamedou Sow, Pierre Ciret, Claire E. Lazareth, Jean-Charles Massabuau. (2011) . In situ giant clam growth rate behavior in relation to temperature: A one-year coupled study of high-frequency noninvasive valvometry and sclerochronology
- Christina Larson. (2016) . Shell trade pushes giant clams to the brink. *Science* 351(6271):323-324
- Dai CF. (2004) . Dong-sha Atoll in the South China Sea: Past, Present and Future.

- Eric J Armstrong, Sue-Ann Watson, Jonathon H Stillman, Piero Calosi. (2022) . Elevated temperature and carbon dioxide levels alter growth rates and shell composition in the fluted giant clam, *Tridacna squamosa*.
- Estacion JS and RD Braley. (1988) . Growth and survival of *tridacna gigas* juveniles in an intertidal Pond.
- Elfwing, T, Plantman, P, Tedengren M, Wijnblad E. (2001) . Responses to temperature, heavy metal and sediment stress by the giant clam *Tridacna squamosa*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 34, 239–248.
- Gilbert A, Andréfouët S, Yan L, Remoissenet G. (submitted). (2006) .The outstanding giant clam *Tridacna maxima* populations of three French Polynesia islands: A comparison of their sizes and structures at the early stages of their exploitation. *ICES Journal of Marine Science*.
- Gomez ED, Mingoa-Licuanan SS. (1998) . Mortalities of giant clams associated with unusually high temperatures and coral bleaching.
- Gomez ED, Mingoa-Licuanan SS. (2006) . Achievements and lessons learned in restocking giant clams in the Philippines. *Fish. Res.*
- Glynn PW. (1993) . Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs* 12:1–17
- Hoegh-Guldberg O. (1999) . Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs.
- Hodgson, G, Liebler J. (2002) . The global coral reef crisis: trends and solutions.
- Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gomez E, Hatziolos M. (2007) . Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318 (5857) : 1737-1742.
- Huang, D, Todd P, Guest J. (2007) . Movement and aggregation in the fluted giant clam (*Tridacna squamosa* L.) . *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 342. 269-281. 10.1016/j.jembe.2006.10.051.

- Hughes TP, Anderson KD, Connolly SR, Heron SF, Kerry JT, Lough JM, Baird AH, Baum JK, Berumen ML, Bridge TC, Claar DC, Eakin CM, Gilmour JP, Graham NAJ, Harrison H, Hobbs J-PA, Hoey AS, Hoogenboom M, Lowe RJ, McCulloch MT, Pandolfi JM, Pratchett M, Schoepf V, Torda G, Wilson SK (2018) Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science* 359:80–83
- Hutsell KC, Hutsell LL, Pisor DL. (1997) . Registry of World Record Size Shell. San Diego, California: Snail's Pace Productions.
- Junchompoo C, Sinrapasan N, Penpian C, Patsorn P. (2013) . Changing seawater temperature effects on giant clams belaching, Mannai Island, Rayong Province, Thailand. In: Proceedings of the design symposium on conservation of ecosystem
- Frank KT, D Brickman. (2000) . Allee effects and compensatory population dynamics within a stock complex. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(3):513-517.
- Lucas JS. (1988) . Giant clams: description, distribution and life history. In *Giant Clams in Asia and the Pacific*, J.W. Copland & J.S. Lucas (eds) . Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 21-32.
- Lucas JS. (1994) . The biology, exploitation, and mariculture of giant clams (Tridacnidae) . *Reviews in Fisheries Science* 2: 181-223.
- Mekawy MS, HA Madkour. (2012) . Studies on the Indo-Pacific Tridacnidae (*Tridacna maxima*) from the Northern Red Sea, Egypt. *International Journal of Geosciences* 3:1089-1095.
- Mies M. (2019) . Evolution, diversity, distribution and the endangered future of the giant clam–Symbiodiniaceae association. *Coral Reefs*, 38 (6) : 1067-1084.
- Mies M, Dor P, Güth AZ, Sumida PYG. (2017) . Production in giant clam aquaculture: trends and challenges. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25 (4) : 286-296.
- Munro JL, Pauly D, (1983) . A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates.
- Munro P. (1992) . Genetic aspects of conservation and cultivation of giant clams.

- Neo ML, Liu LL, Huang D, Soong K. (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.
- Neo ML, Wabnitz CC, Braley RD, Heslinga GA, Fauvelot C, Van Wynsberge S, Todd PA. (2017). Giant Clams (Bivalvia: Cardiidae: Tridacninae): A Comprehensive Update of Species and their Distribution, Current Threats and Conservation Status. *Oceanography and Marine Biology*, 87-387.
- Neo ML, P Todd. (2012). Population density and genetic structure of the giant clams *Tridacna crocea* and *T. squamosa* on Singapore's reefs
- Petersen C, DR Levitan. (2001). The Allee effect: a barrier to repopulation of exploited species. Pages 281-300 in (J.D. Reynolds, G.M. Mace, K.H. Redford and J.G. Robinson eds.) *Conservation of Exploited Species*. Cambridge University Press.
- Requilme JNC, Conaco C, Sayco SLG, Roa-Quiaoit HA, Cabaitan PC. (2021). Using citizen science and survey data to determine the recruitment envelope of the giant clam, *Tridacna gigas* (Cardiidae: Tridacninae). *Ocean & Coastal Management*, 202, 105515.
- Philip A Stephens, William J Sutherland, (1999). Consequences of the Allee effect for behaviour, ecology and conservation
- Stasek CR. (1965). Behavioral adaptation of the giant clam *Tridacna maxima* to the presence of grazing fishes. *The Veliger* 8: 29-35.
- Siebeck UE, Marshall NJ, Klüter A. et al. (2006). Monitoring coral bleaching using a color reference card. *Coral Reefs* 25, 453–460
- Soo P, Todd PA, (2012). Nocturnal movement and possible geotaxis in the fluted giant clam (*Tridacna squamosa*). In: *Contributions to marine science. A commemorative volume celebrating 10 years of research on St John's Island*. Tropical Marine Science Institute, National University of Singapore, 159–162
- Soo P, Todd PA, (2014). The behaviour of giant clams. Bivalvia: Cardiidae: Tridacninae. *Mar Biol* 161, 2699–2717

- Van Wynsberge S, Gilbert A, Guillemot N. et al. (2017). Power analysis as a tool to identify statistically informative indicators for monitoring coral reef disturbances. *Environ Monit Assess* 189, 311
- Watson S, Southgate PC, Miller GM, Moorhead JA, Knauer J. (2012) Ocean acidification and warming reduce juvenile survival of the fluted giant clam, *Tridacna squamosa*. 32:177–180
- Watson SA. (2015) Giant clams and rising CO₂: Light may ameliorate effects of ocean acidification on a solar-powered animal. *PLOS One* 10:1–18. doi:10.1371/journal.pone.0128405
- Wenger A, Fabricius KE, Jones GP, Brodie JE. (2015) . Effects of sedimentation, eutrophication and chemical pollution on coral reef fishes. In: Mora C (ed) *Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 145–153
- Wilkinson CR, Buddemeier RW, (1994) . Global climate change and coral reefs: implications for people and reefs.
- Yang CM, Chen YH, Chen, YC, Lai CC, Huang HH, Wu LJ. (2015) . A Preliminary Study of Distribution and Density of Giant Clams (*Tridacna* spp.) on Green Island, Taiwan. *Journal of The Fisheries Society of Taiwan*, 42 (3) : 145-155.
- 井上 顕 (2011) 。石垣島における観光客のシャコガイ需要調査，沖縄水海研セ事報 72，p74-77。
- 水試所 (1999) 。110 年海洋生物資源調査及復育計畫—澎湖南方四島海域碑礫貝復育計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署行政協助計畫。
- 水試所 (2022) 。111 年海洋生物資源調査及復育計畫—111 年澎湖南部海域碑礫蛤監測與復育評估計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署行政協助計畫。
- 水試所 (2023) 。112-113 年碑礫蛤復育及放流試驗期中報告。海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫。
- 何源興 (2010) 。赴帛琉共和國考察水產養殖發展心得。水試專訊，31：29-33
- 原住民族委員會。原住民族傳統智慧創作保護資訊網。

海洋委員會國家海洋研究院（2022）。蘭嶼時令—達悟族海洋文化的傳承。

邱郁文、施習德（2022）。蘭嶼周邊海域底棲無脊椎動物資源調查成果報告。海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫。

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。

楊清閔、陳高松、陳岳川、黃星翰、黃建智、吳龍靜（2018）。臺灣綠島沿岸碑礫貝的分布密度特徵。水產研究, 26：43-51。

劉莉蓮（2021）。臺灣碑礫貝及其他重要螺貝類調查及保育評估計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫。