

臺灣綠島沿岸砵磔貝的分布密度特徵

楊清閔¹·陳高松^{2*}·陳岳川³·黃星翰¹·黃建智¹·吳龍靜¹

¹行政院農業委員會水產試驗所沿近海資源研究中心

²行政院農業委員會水產試驗所企劃資訊組

³行政院農業委員會水產試驗所澎湖海洋生物研究中心

摘要

砵磔貝是體型最大的雙殼貝，是海域中珊瑚礁生態系的健康指標性生物之一。為了評估綠島沿岸砵磔貝的分布密度與分析保護區對砵磔貝的保護效力，本研究於 2015 至 2016 年間利用穿越線調查法，以水肺潛水方式於綠島沿岸 24 個測站調查砵磔貝的分布密度特徵。結果顯示，2016 年砵磔貝的平均密度為 1.5 顆/100 m²，較 2015 年之 2.5 顆/100 m²，減少甚多。主要種類為長砵磔貝 (*Tridacna maxima*) 約佔 70% 以上；其次為諾亞砵磔貝 (*Tridacna noae*) 約佔 20%。石朗保護區的密度高且是殼長 15 cm 以上的種貝熱區，顯示對砵磔貝具有保護效力；但龜灣保護區的密度則較低，推測其保護效力尚未發揮作用，因此更應落實保育宣導。本調查結果將有助於保育綠島之砵磔貝資源，作為往後長期監測海洋棲地環境與評估珊瑚礁健康情形之參考資料。

關鍵詞：長砵磔貝、諾亞砵磔貝、不可採捕區、分布密度、砵磔貝

前言

砵磔貝 (Tridacnidae, 砵磔蛤科) 是體型最大的雙殼貝，其外套膜顏色鮮豔顯目，殼定著於礁岩底質，常見於珊瑚礁繁盛的海域中。砵磔貝的生活史相當長，可供長期追蹤且監測容易，因此經常被當作判定珊瑚礁生態系健康與否的指標性生物之一 (Rosewater, 1965; Apte *et al.*, 2010)。大型的砵磔貝具有較高的生殖潛力，有助於維持族群數量的穩定 (Chambers, 2007)，若族群數量低於一定水平，可能會導致區域性滅絕 (Lucas, 1988)。然而，砵磔貝因為成長緩慢且浮游期與幼貝期階段的死亡率高達 9 成以上 (LaBarbera, 1975; Beckvar, 1981)，再加上自然環境事件(颱風、季風及海表面溫度上升等) (Andréfouët *et al.*, 2005) 以及過度採捕 (Calumpong *et al.*, 2002) 等因素的影響，導致野生砵磔貝的數量不斷減少，因此已於 1985 年被

納入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；簡稱為華盛頓公約) 附錄二 (Appendix II) 的保護物種名單中 (Tisdell and Menz, 1992)，國際上的貿易管理日趨嚴格。

臺灣臺東縣的綠島鄉位處世界上海洋生物多樣性最高的珊瑚大三角 (Coral Triangle) 頂端上方，海洋溫度終年溫暖，擁有兩百多種珊瑚與種類繁多的珊瑚礁魚類和海洋生物，海底景觀相當引人入勝。有鑑於此，臺東縣政府近幾年積極投入維護生物多樣性之保育工作，2013 年起，開始與行政院農業委員會水產試驗所合作進行綠島砵磔貝的生態資源調查 (Yang *et al.*, 2015)，藉由瞭解綠島現有的砵磔貝生態資源量，作為未來保育工作的規劃依據。臺東縣政府在 2014 年 4 月 25 日公告修正綠島漁業資源保育區相關規定，將砵磔貝增列為保育對象，因此目前綠島全島沿岸潮間帶及自平均低潮線向外海延伸 200 m 範圍內均禁止採捕殼長 15 cm 以下砵磔貝。另將柴口、石朗及龜灣等區域規劃為漁業資源保育區，為不可採捕的

*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號, TEL: (02) 2462-2101 ext. 2519; FAX: (02) 2462-4627; E-mail: kschen@mail.tfrin.gov.tw

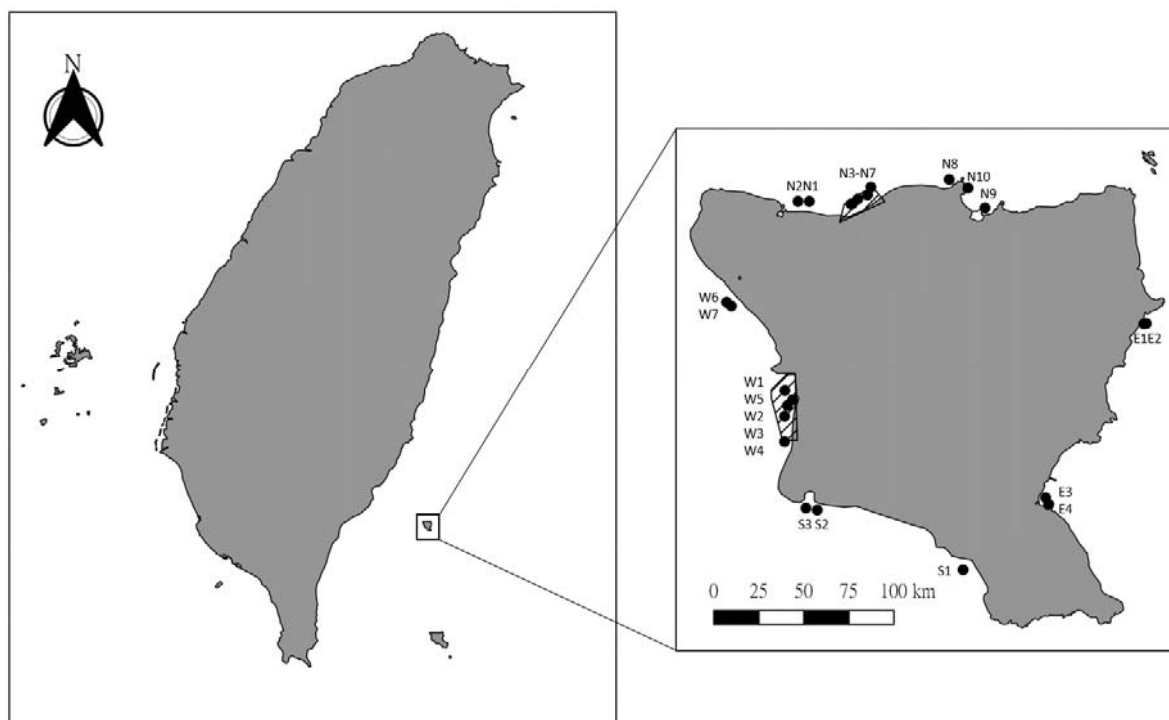


Fig. 1 The 24 observation stations of Green Island, Taiwan.

保護區 (NTAs; Non Taken Areas)，禁止採捕所有碑礫貝，違反規定者，核處新台幣三萬元以上十五萬元以下罰鍰。

訂定區域保育策略重要的第一步是確定該區域內受威脅、瀕危或分布侷限物種的組成、分布與豐度。本研究為能持續掌握與監測綠島碑礫貝資源現況，探討保護區對碑礫貝的保護能力，於 2015 至 2016 年間進行綠島碑礫貝的種類、族群密度與分布調查，將可提供當地碑礫貝復育工作的科學依據，協助保育當地碑礫貝資源，以及往後長期監測當地海洋環境與珊瑚礁健康情形之基礎資料，俾利綠島碑礫貝資源之管理保育。

材料與方法

一、調查測站

本研究首先將綠島沿岸劃分為東西南北 4 個區域，再於綠島區域「西」設置 7 個測站，分別為石朗保護區 (W1, W2, W3, W4, W5) 及航空站 (W6, W7)；區域「北」設置 10 個測站，分別為中寮港 (N1, N2)、柴口保護區 (N3, N4, N5, N6, N7)、

公館鼻 (N8, N9, N10)；區域「東」設置 4 個測站，分別為柚子湖 (E1, E2) 與溫泉港 (E3, E4)；區域「南」設置 3 個測站，分別為龜灣保護區 (S1) 及龜灣 (S2, S3)，共計設置 24 處調查測站 (Fig. 1)。調查期間為 2015 年 3、4、9 月以及 2016 年 3、4、10 月共計進行 6 次調查。在 2015 年 3 月首次進行調查時，先於水下以鐵樁定位 24 處調查測站，並施放浮球至水面進行 GPS 定位。惟 2016 年調查期間，因颱風影響及水下地貌變動緣故，導致 2015 年所設置鐵樁無法尋獲，因而依據 2015 年記錄之 GPS 資訊重新設置鐵樁，又 2016 年鐵樁再尋獲率為 54%。

二、種類與數量調查

參考許等 (2007)，以水肺潛水及穿越線法進行調查。先由 1 名潛水人員自調查測站起點沿等深線以捲尺佈放一條 50 m 長的穿越線，再由 4 - 6 位潛水人員以穿越線為中心於左右兩邊各 5 m 內範圍，以並排方式自穿越線起點等速沿著穿越線記錄碑礫貝種類、大小及其在穿越線上之位置，並以水下相機 (或水下攝影機) 與測量方框 (25×25 cm 或 50×50 cm) 輔以記錄。調查時間均

Table 1 Results of survey of giant clams around Green Island

Sections	Stations	Number of clams		Average of shell length (mm)		Density (number/100m ²)		Starting found point	Quantity increase or decrease
		2015	2016	2015	2016	2015	2016		
West	W1*	29	13	127.4	168.2	5.8	2.6	○	↘
	W2*	12	14	137.3	129.7	2.4	2.8	×	↗
	W3*	14	12	142.2	150.5	2.8	2.4	○	↘
	W4*	16	7	109.0	127.4	3.2	1.4	○	↘
	W5*	16	12	126.6	137.8	3.2	2.4	×	↘
	W6	4	4	96.0	141.8	0.8	0.8	○	-
	W7	7	3	144.1	158.7	1.4	0.6	○	↘
North	N1	12	8	96.8	92.1	2.4	1.6	×	↘
	N2	10	5	83.6	91.4	20	1	×	↘
	N3*	9	4	132.6	158.5	1.8	0.8	○	↘
	N4*	2	2	166.5	90.0	0.4	0.4	×	-
	N5*	5	1	140.4	88.0	1.0	0.2	×	↘
	N6*	13	6	149.3	145.2	2.6	1.2	○	↘
	N7*	9	5	142.2	167.6	1.8	1.0	×	↘
	N8	20	12	100.0	109.8	4.0	2.4	○	↘
	N9	21	21	81.4	98.8	4.2	4.2	○	-
	N10	34	10	95.4	81.1	6.8	2.0	○	↘
East	E1	7	6	101.0	94.2	1.4	1.2	×	↘
	E2	6	9	72.5	112.1	1.2	1.8	○	↗
	E3	18	5	112.6	146.2	3.6	1.0	○	↘
	E4	8	6	108.3	61.8	1.6	1.2	×	↘
South	S1*	15	3	120.2	166.0	3.0	0.6	○	↘
	S2	9	4	108.4	116.5	1.8	0.8	○	↘
	S3	8	2	65.3	87.5	1.6	0.4	×	↘
All	Total	304	174	115.0	121.7	2.65	1.45	(○)54%	(↘)79%

*Non taken areas

選擇在平潮時進行。返回實驗室後，再利用影像與水下紀錄重複確認碑磔貝之種類及數量。各調查測站之碑磔貝數量利用無母數統計分析 (Wilcoxon signed rank test) 進行統計檢定。

三、殼長測量與頻度分析

碑磔貝個體大小係利用水下影像及測量方框作為比例尺，於 Image J 影像分析軟體進行殼長計測。殼長頻度分析以 Sturges 法 (組數 = $1 + 3.322$

$\log_{10}n$, n = 總顆數)，將所記錄到之碑磔貝依殼長分為 9 組，以 30 mm 為組距，進行殼長頻度分布與統計檢定。

結 果

一、碑磔貝密度與分布

2015 年共發現碑磔貝 304 顆，殼長介於 27 - 225 mm，平均殼長為 115.0 mm，平均密度為 2.65

Table 2 The density and species of giant clam (*Tridacna* spp.) in protected and non-protected areas around Green Island

Year	Area	Number	Density (number/station)	Density (number/100m ²)	Range of Shell length MAX - MIN (mm)		Average of Shell length (mm)	SD of Shell length (mm)	<i>T. maxima</i>	<i>T. noae</i>	<i>T. crocea</i>	<i>T. squamosa</i>
2015	Shilang (5 stations)	87	17.4	3.5	225	28	128.5	42	72	5	4	6
	Chaikou (5 stations)	38	7.6	1.5	214	46	146.2	38	33	3	2	0
	Gueiwan (1 stations)	15	15.0	3.0	200	60	120.2	43	14	1	0	0
	Not NTA (13 stations)	164	12.6	2.5	209	27	97.3	33	113	40	10	1
2016	Shilang (5 stations)	58	11.6	2.3	319	51	142.7	48	49	4	1	4
	Chaikou (5 stations)	18	3.6	0.7	250	75	129.9	28	15	3	0	0
	Gueiwan (1 stations)	3	3.0	0.6	176	161	166.0	9	3	0	0	0
	Not NTA (13 stations)	95	7.3	1.5	212	34	107.1	33	62	26	4	3

顆/100 m²。2016 年共發現 174 顆，殼長範圍介於 34 - 319 mm，平均殼長為 121.7 mm，平均密度 1.45 顆/100 m²。24 個調查測站中，有 19 個測站的砵磔貝數量呈現顯著下降趨勢 ($p \leq 0.001$) (Table 1)。

不同測站間的砵磔貝密度，2016 年數量最多的地點為西邊石朗保護區中的 5 個測站 (W1 - W5) 及北邊公館鼻的 3 個測站 (N8 - N10)，平均密度分別為 2.3 與 2.9 顆/100 m²。數量最多者為 N9，即柴口保護區往東之公館鼻至將軍岩間的狹灣處，共發現 21 顆砵磔貝，平均密度為 4.2 顆/100 m²，種類以長砵磔貝居多，平均殼長為 98.8 mm，但超過 150 mm 者僅有 2 顆，分別是 158 mm 的諾亞砵磔貝及 154 mm 長砵磔貝。數量次多的是石朗保護區內的 W2 測站，密度為 2.8 顆/100 m²，種類仍以長砵磔貝佔大多數。石朗保護區內的 5 個測站有 4 站的密度在 2 顆/100 m² 以上，平均殼長 127 mm 以上，殼長超過 150 mm 以上的有 24 顆。南邊的 3 測站砵磔貝的平均密度僅在 0.6 顆/100 m²，是砵磔貝分布密度最低的區域。龜灣保護區僅有 1 測站 (S1)，位於大白沙處，調查時僅發現 3 顆砵磔貝，但殼長已達到 150 mm 以上，在同區亦發現死貝殼長已達 220 mm 以上。

二、種類組成與殼長頻度分析

砵磔貝的種類組成方面，2015 年記錄的 304 顆砵磔貝中，76% 為長砵磔貝 (232 顆)，16% 為諾亞砵磔貝 (49 顆)，5% 為圓砵磔貝 (16 顆)，2% 為鱗砵磔貝 (7 顆)。2016 年記錄的 174 顆砵磔貝中，74% 為長砵磔貝 (129 顆)，19% 為諾亞砵磔貝 (33 顆)，3% 為圓砵磔貝 (5 顆)，4% 為鱗砵磔貝 (7 顆) (Table 2)。

因為長砵磔貝與諾亞砵磔貝為優勢物種，所以僅選擇該兩種砵磔貝進行殼長分析。長砵磔貝 2015 年殼長集中於 90 - 120 mm (64 個體)，平均殼長為 114.8 ± 39.5 mm；2016 年殼長集中於 120 - 150 mm (38 個體)，平均殼長為 122.0 ± 44.0 mm (Fig. 2)。諾亞砵磔貝 2015 年殼長集中於 60 - 90 mm (16 個體)，平均殼長為 115.3 ± 42.8 mm；2016 年殼長集中於 90 - 120 mm (9 個體)，平均殼長為 114.7 ± 42.0 mm (Fig. 3)。

三、漁業資源保護區內外的砵磔貝密度

本研究設置的 24 個調查測站中，有 11 個位於漁業資源保護區 (石朗 5 個、柴口 5 個、龜灣 1 個)、13 個位於非保護區。調查分析結果顯示

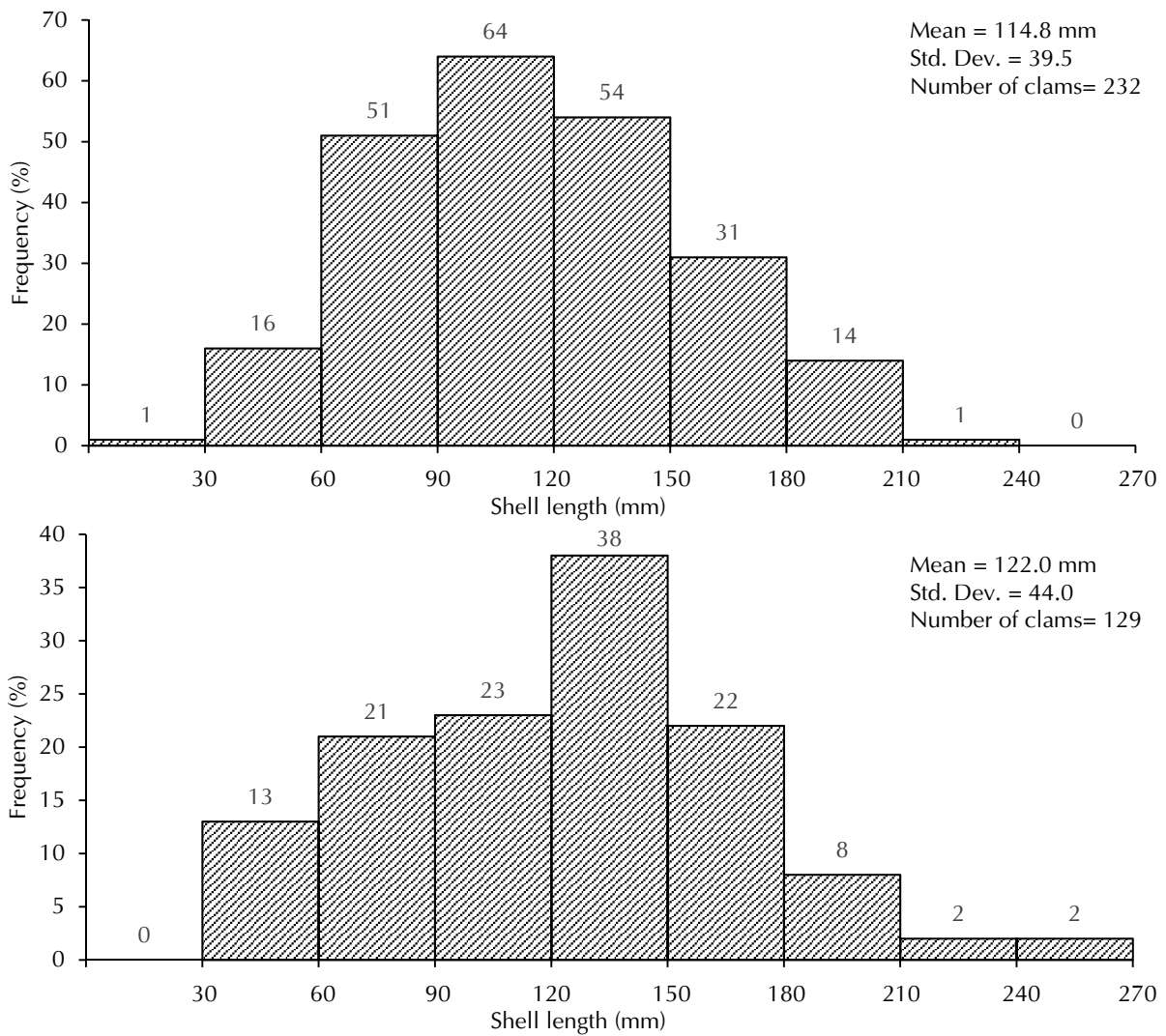


Fig. 2 The shell length distributions of *Tridacna maxima* around Green Island for 2015 (up) and 2016 (below).

(Table 2), 石朗漁業資源保護區內的 5 個調查測站在 2015 與 2016 年分別記錄到 87 與 58 顆碑磔貝，密度為 17.4 與 11.6 顆 / 每測站；柴口漁業資源保護區內的 5 個調查測站在 2015 與 2016 年分別記錄到 38 與 18 顆碑磔貝，密度為 7.6 與 3.6 顆 / 每測站；龜灣漁業資源保護區在 2015 與 2016 年分別紀錄到 15 與 3 顆碑磔貝，密度為 15 與 3 顆 / 每測站；非漁業資源保護區內的 13 測站在 2015 與 2016 年分別記錄到 164 與 95 顆碑磔貝，密度為 12.6 與 7.3 顆 / 每測站。

討 論

本研究於 2015 至 2016 年間利用穿越帶調查

法，以水肺潛水方式於綠島沿岸 24 個調查測站調查碑磔貝的分布密度特徵的結果顯示，2015 年為 2.51 顆/100 m²，2016 年為 1.45 顆/100 m²。相較於 2015 年，2016 年綠島沿近海域平均每 100 m² 減少 1 顆碑磔貝，差異甚大。再與 Yang *et al.* (2015) 2013 年於綠島沿岸保護區內外共 19 個測站調查碑磔貝的平均密度 2.2 顆/100 m² 相較，呈現年間震盪的趨勢。推測可能為自然環境變動，例如颱風，或是人為採捕所導致。此外，在各調查測站中，以石朗保護區內的 5 個測站具有較高的碑磔貝密度，平均殼長 127 mm 以上，殼長超過 150 mm 以上的有 24 顆，顯示本保護區內的碑磔貝較多，體型亦較大，建議可規劃為保育碑磔貝種貝的熱點區。至於龜灣漁業資源保護區與柴口漁業資源保護區的碑

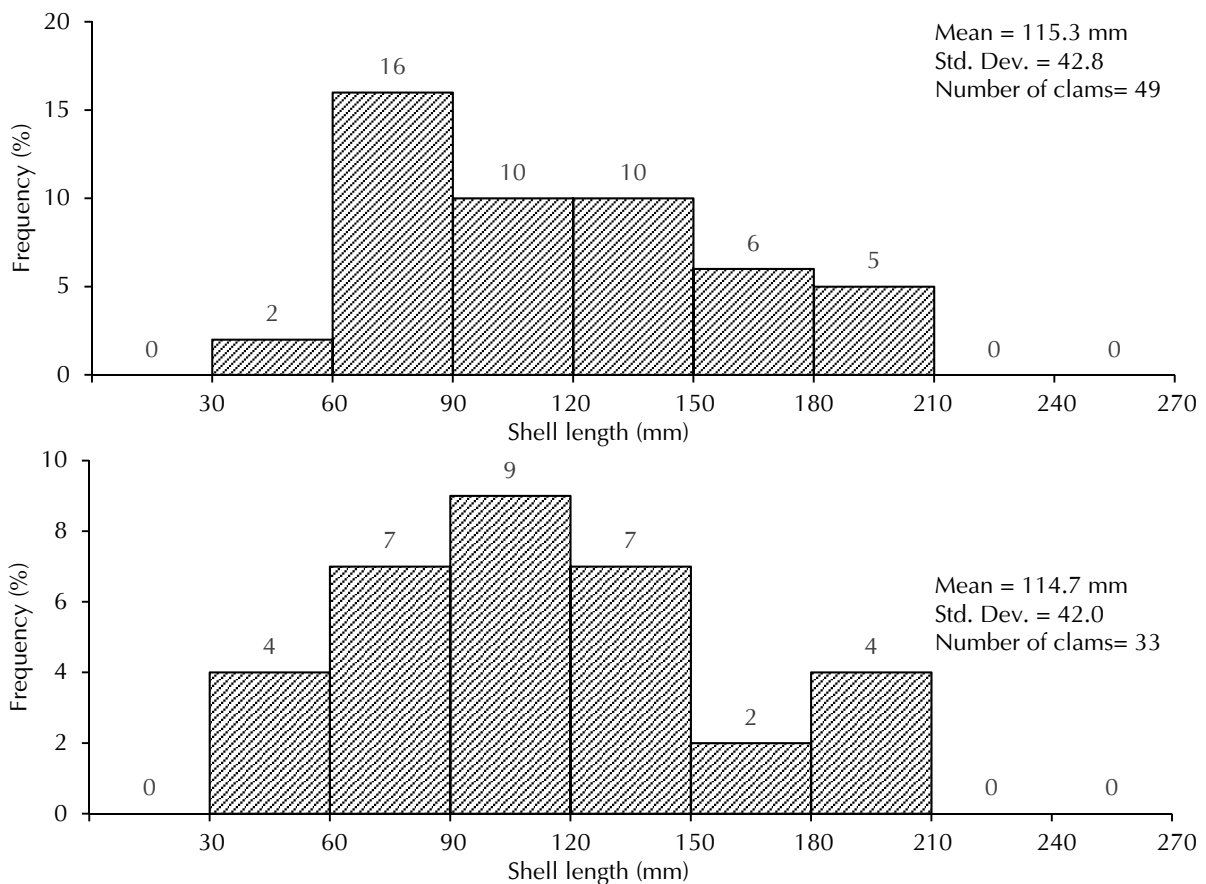


Fig. 2 The shell length distributions of *Tridacna noae* around Green Island for 2015 (up) and 2016 (below).

硨磲貝數量少，資源並不豐富，且分布密度極低，甚或不及非保護區。

以連續 2 年的調查結果來看，石朗漁業資源保護區的硨磲貝密度減少了 1.2 顆/100 m²，柴口漁業資源保護區減少 0.8 顆/100 m²，龜灣漁業資源保護區減少 2.4 顆/100 m²，非保護區的硨磲貝密度則減少了 1 顆/100 m²。整體硨磲貝的資源量於 2016 年明顯下降許多，各區域的硨磲貝密度均減少，而以龜灣漁業資源保護區的硨磲貝密度下降最多，即龜灣漁業資源保護區的保護效果顯然不大。石朗漁業資源保護區在 5 測站的觀察之下，可確認硨磲貝分布密度確實較高，年間變動狀況相對穩定，顯示其保護能力較佳。2016 與 2015 年度之調查結果相較，雖整體數量減少，但其殼長頻度分布仍呈現常態分布，且殼長波峰有向右推移的傾向，推論硨磲貝在個體上有成長的趨勢。

硨磲貝的密度與分布常被認為與珊瑚的覆蓋率、健康狀態 (Apte *et al.*, 2010)、棲息地狀態或地

景特徵呈現相關性 (Van Wynsberge *et al.*, 2013)。各種環境水文條件 (溫度、深度、水流、濁度) 亦會影響硨磲貝的生長與族群拓殖 (LaBarbera, 1975; Hart *et al.*, 1998; Hean and Cacho, 2003)。過去的研究亦顯示，島嶼背風面的海灣因受海流與波浪的影響較小，常是硨磲貝的主要分布地點 (Harriott *et al.*, 1994; Smith, 2011)。本研究發現綠島海域的西區沿海的硨磲貝數量較豐，且該區之長硨磲貝殼長明顯大於北區，可能與綠島在冬季時受東北季風影響有關。此外，依邱 (1999) 研究指出，綠島北區的海水溫度系統性地較西部海水溫度低了約 2 °C，這可能是北向的黑潮流經綠島時，水流受綠島阻擋，在北方形成一遮蔽背流渦旋區，造成湧升，使得水溫經年較西方為低。傅 (2013) 亦指出綠島附近有海脊且水深較淺，造成黑潮流經時能產生更高的流速。綠島沿海的流場環境，位於東區與北區的海流較急且往東北方流去，除了影響硨磲貝的附著之外，東北方位無遮蔽

地形，導致碑磔貝於東區及北區的密度分布較低。但位於北區的公館鼻測站則有數量較多的碑磔貝分布，應是凸出的海岬灣地形減少了海流及波浪影響，讓此地新入添的碑磔貝容易附著岩盤。

長碑磔貝是碑磔貝類中分布範圍最廣泛的種類 (Munro *et al.*, 1993; Othman *et al.*, 2010)，常棲息於熱帶珊瑚礁海域 (McMichael, 1974; Lucas, 1994; Andréfouët *et al.*, 2009)。本研究的結果顯示，綠島的碑磔貝當中，亦以長碑磔貝為最常見，與上述文獻研究結果相類似。Chambers (2007) 研究指出，長碑磔貝之殼長達 100 mm 時，雌雄約有 50% 同時性成熟，而殼長大於 140 mm 者，則雌雄皆已性成熟。本研究發現的長碑磔貝殼長主要分布於 120 - 150 mm，在生殖學上，具有 50% 性成熟至完全成熟之間的機率。成貝數量過少及分散的型態，所能產出的精卵及雌雄相遇的比例可能更低，而種貝的熱區位於石朗保護區內。因此欲增加碑磔貝新入添量時，更應重視種貝熱區的保育及棲地改善，使整個族群量增加，並達到成熟比例更高的階段。

不可採捕的保護區 (NTAs) 成功管理要素取決於生態恢復能力和保護區治理和執法效率 (Bellwood *et al.*, 2004; Mora *et al.*, 2006)。依據 Gomez and Mingoa-Licuanan (2006) 的研究指出，碑磔貝放流一開始的高死亡率來自於非法採捕，若經過與當地個人或團體等關係利益者的合作，並將碑磔貝移植到受保護且可監控的地方，可增加其生存率，而海洋保護區是適合移植放流的地點之一。從現場訪問調查得知，石朗漁業資源保護區因業者及遊客多，時常有人員監視中，故知法犯法的人會減少，使得其保護能力較佳。不可採捕的保護區在保護海洋生物資源上，現在已受到重視且被認為是有效的工具之一，亦有許多研究強調其有積極效果 (Bohnsack, 1998; Cocklin *et al.*, 1998)，可有效提升在其範圍內海洋生物的存活率及生長狀況 (Castilla and Fernandez, 1998; Hawkins *et al.*, 2006; McClanahan *et al.*, 2006)。但對於生活史較長的物種，則需要更長時間來驗證 NTAs 的積極效果 (Kaplan, 2009; Cohen and Foale, 2013)。此外，綠島碑磔貝平均密度降低的原因，推測除了是 2014 年臺東縣政府公告對碑磔貝不可採捕的尺寸及區域後，其保護效力尚未發揮作用

之外，2016 年 7 月的尼伯特颱風重創臺東縣，加上 9 月直接襲臺的莫蘭蒂颱風與梅姬颱風，接連風災與降雨帶來的水質混濁、泥沙覆蓋、垃圾汙染或大塊建築用鐵板等材料散落海底，均可能讓碑磔貝數量減少。惟除了上述的推論因子之外，應尚有其他因素如調查位置偏移等未釐清，仍需逐步系統性與持續性的調查，才能推斷綠島碑磔貝數量減少的真正原因。

謝 辭

本研究承蒙臺東縣政府委辦研究計畫「綠島碑磔貝生態資源調查及種貝照護」提供經費 (105 年度「離島建設基金補助計畫」)，特此申謝。

參考文獻

- 邱景星 (1999) 利用珊瑚鋸鈣比重重建綠島長時間尺度海表溫度記錄之研究. 國立臺灣大學海洋研究所博士論文. 162 pp.
- 張國亮 (2008) 澎湖海域碑磔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.
- 許鐘綱, 陳岳川, 蘇懿忠, 黃金峰, 蔡萬生 (2007) 澎湖海域碑磔貝生態調查. 水試專訊, 20:1-5.
- 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, 487 pp.
- 傅彬豪 (2013) 利用 GIS 結合 POM 模式評估綠島海域之黑潮流能. 成功大學海洋科技與事務研究所碩士論文, 93 pp.
- 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.
- Andréfouët, S., K. Friedman, A. Gilbert and G. Remoissenet (2009) A comparison of two surveys of invertebrates at Pacific Ocean islands: the giant clam at Raivavae Island, Australes Archipelago, French Polynesia. ICES J. Mar. Sci., 66: 1825-1836.
- Apte, D., S. Dutta and I. Babu (2010) Monitoring densities of the giant clam *Tridacna maxima* in the Lakshadweep Archipelago. Mar. Biodivers Rec., 3: 1-9.
- 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, D., T. Hughes, C. Folke, and M. Nyström,

- (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429(6994): 827-833.
- Bohnsack, J. A. (1998) Application of marine reserves to reef fisheries management. *Aust. J. Ecol.*, 23: 298-304.
- Calumpang, H. P., A. Apao, J. Lucanas, and J. Estacion (2002) Community-based giant clam restocking - hopes for biodiversity. In Proceedings of the ninth international coral reef symposium, Bali, 23-27 October 2000, 2002, pp. 783-800.
- Castilla, J. C. and M. Fernandez (1998) Small-scale benthic fisheries in Chile: on co-management and sustainable use of benthic invertebrates. *Ecol. Appl.*, 8: S124-S132.
- Chambers, C. N. (2007) Pasua (*Tridacna maxima*) size and abundance in Tongareva Lagoon, Cook Islands. *SPC Trochus Inf. Bull.*, 13: 7-12.
- Cocklin, C., M. Craw and I. McAuley (1998) Marine Reserves in New Zealand: Use rights, public attitudes, and social impacts. *Coast. Manage.*, 26: 213-231.
- Cohen, P. J. and S. J. Foale (2013) Sustaining small-scale fisheries with periodically harvested marine reserves. *Mar. Policy*, 37: 278-287.
- Copland, J. W. and J. S. Lucas (1988) Giant clams in Asia and the Pacific. *Aust. Cent. Int. Agric. Res.*, 274 pp.
- Gomez, E. D. and S. S. Mingoa-Licuanan. (2006) Achievements and lessons learned in restocking giant clams in the Philippines. *Fish. Res.*, 80: 46-52.
- Harriott, V., S. Smith and P. Harrison (1994) Patterns of coral community structure of subtropical reefs in the Solitary-Islands Marine Reserve, Eastern Australia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 109: 67-76.
- Hart, A. M., J. D. Bell and T. P. Foyle (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.
- Hawkins, J. P., C. M. Roberts, C. Dytham, C. Schelten and M. M. Nugues (2006) Effects of habitat characteristics and sedimentation on performance of marine reserves in St. Lucia. *Biol. Conserv.*, 127: 487-499.
- Hean, R. L. and O. J. Cacho (2003) A growth model for giant clams *Tridacna crocea* and *T. derasa*. *Ecol. Model.*, 163: 87-100.
- Kaplan, D. M. (2009) Fish life histories and marine protected areas: an odd couple. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 377: 213-225.
- LaBarbera, M. (1975) Larval and post-larval development of the giant clams, *Tridacna maxima* and *Tridacna squamosa* (Bivalvia: Tridacnidae). *Malacologia*, 15: 67-79.
- Lucas, J. S. (1988) Giant clams: description, distribution and life history. Giant clams in Asia and the Pacific. *ACIAR Monograph*, 9: 21-33.
- Lucas, J. S. (1994) The biology, exploitation, and mariculture of giant clams (Tridacnidae). *Rev. Fish. Sci.*, 2: 181-223.
- McClanahan, T. R., M. J. Marnane, J. E. Cinner and W. E. Kiene (2006) A comparison of marine protected areas and alternative approaches to coral-reef management. *Curr. Biol.*, 16: 1408-1413.
- McMichael, D. (1974) Growth rate, population size and mantle coloration in the small giant clam *Tridacna maxima* (Roding), at One Tree Island, Capricorn Group, Queensland, Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium 241-254.
- Mora, C., S. Andréfouët, M. Costello, C. Kranenburg, A. Rollo, J. Veron, K. Gaston and R. Myers (2006) Coral reefs and the global network of marine protected areas. *Science*, 312: 1750-1751.
- Munro, J. L. (1993) Giant Clams. In: *Nearshore Marine Resources of the South Pacific* (eds. A. Wright and L. Hill), 431-449.
- Othman, ASb., G. H. Goh and P. A. Todd (2011) The distribution and status of giant clams (Family Tridacnidae) - a short review. *Raffles Bull. Zool.*, 58: 103-111.
- Rosewater, J. (1965) The family Tridacnidae in the indo-pacific. *Indo-pacific Mollusca*, 1: 347-396.
- Smith, S. D. (2011). Growth and population dynamics of the giant clam *Tridacna maxima* (Röding) at its southern limit of distribution in coastal, subtropical eastern Australia. *Molluscan Res.*, 31: 37-41.
- Su, Y., J. H. Hung, H. Kubo and L. L. Liu (2014) *Tridacna noae* (Röding, 1798) – a valid giant clam species separated from *T. maxima* (Röding, 1798) by morphological and genetic data. *Raffles Bull. Zool.*, 62: 124-135.
- Tisdell, C. and K. M. Menz (1992) Giant clam farming and sustainable development: an overview. In: *Giant Clams in the Sustainable Development of the South Pacific* (eds. C. Tisdell), 3-14.
- Van Wynsberge, S., S. Andréfouët, A. Gilbert, A. Stein and G. Remoissenet (2013) Best Management Strategies for Sustainable Giant Clam Fishery in French Polynesia Islands: Answers from a Spatial Modeling Approach. *PLoS one*, 8: e64641.
- Yang, C. M., Y. H. Chen, Y. C. Chen, C. C. Lai, H. H. Huang and L. J. Wu (2015) A preliminary study of distribution and density of giant clams (*Tridacna* spp.) on Green Island, Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 42(3): 145-155.

The Distribution and Density of Giant Clams (*Tridacna* spp.) Around Green Island, Taiwan

Ching-Min Yang¹, Kao-Sung Chen^{2*}, Yuen-Chuan Chen³, Hsing-Han Huang¹,
Jian-Zhi Huang¹ and Long-Jing Wu¹

¹Coastal and Offshore Resources Research Center, Fisheries Research Institute

²Planning and Information Division, Fisheries Research Institute

³Penghu Marine Biology Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The giant clam (*Tridacnidae*) is the largest bivalve in the world and used to be one of the health index species of a coral reef ecosystem in sea areas. In order to evaluate the distribution and density of giant clams around Green Island, Taiwan, and to analyze the protective effect of conservation areas on giant clams, a transect belt survey method was implemented in 2015 and 2016. Twenty-four stations around Green Island conducted underwater surveys in order to obtain the basic distribution and density of giant clams around Green Island. The results showed that the average density of giant clams was 1.5 clams/100m² in 2016, which was lower than the 2.5 clams/100m² density reported for 2015. The dominant species was *Tridacna maxima*, which accounted for over 70% of the clams observed, followed by *Tridacna noae* at about 20%. The Shilang Conservation Area has a high density of and is a hot zone for sexually mature shellfishes with shells longer than 15 cm. The Shilang Conservation Area is effective at protecting giant clams, but the Guiwan Conservation area was found to have a low density of giant clams. Thus, its protective effect is insufficient, and so additional advocacy for conservation shall be implemented. The findings of this study will help conserve local giant clam resources and can be used as reference data for long-term monitoring of marine habitats and the health of coral reefs in the future for the sustainable utilization of ocean resources.

Key words: *Tridacna maxima*, *Tridacna noae*, not taken areas (NTAs), distribution density, giant clam

*Correspondence: 199 Hou-lh Road, Keelung 202, Taiwan. TEL: (02) 2462-2101 ext. 2519; FAX: (02) 2462-4627; E-mail: kschen@mail.tfrin.gov.tw