

2010-2017 後壁湖海洋資源保護示範區白棘三列海膽與 喇叭毒棘海膽調查報告

Survey of Sea Urchin, *Tripneustes gratilla* and *Toxopneustes pileolus*, in Houbi Lake Marine Resource Reserve Exhibition Center, 2010-2017

陳瑞谷* 劉培東

Ruei-Gu Chen* and Pei-Tong Liu

墾丁國家公園管理處 屏東縣恆春鎮墾丁路 596 號

Kenting National Park Headquarter, Hengchun, Taiwan

*通訊作者：aplysia0@gmail.com

*Corresponding author: aplysia0@gmail.com

摘要

墾丁國家公園管理處自 2010 年開始在後壁湖海洋資源保護示範區進行海膽數量調查，分析發現海膽族群變動很大。白棘三列海膽 (*Tripneustes gratilla*) 月密度介於 0.1-7 顆/10 m² 之間，總平均密度是 1.4 顆/10 m²，月別樣區出現率則在 8%-73% 之間。喇叭毒棘海膽 (*Toxopneustes pileolus*) 波動較輕微月密度介在 0.3-2.6 顆/10 m² 之間，平均密度為 1.1 顆/10 m²，月別樣區出現率在 22%-85% 之間。我們發現兩種海膽族群都是密集結群且不均勻地散佈在監測區中，海膽族群呈現明顯的塊狀分布現象，且有族群常見出沒海域，但在 2013 年 8 月後出現族群量驟減與熱點偏移情形，這可能是颱風造成的影響。唯有連續不中斷的長期調查才能夠作為資源變動的參考基準，因此發展可行的長期監測策略是必要的。本文顯示由國家公園管理處人員加上志工的參與，是未來達成長期監測當地環境的可行策略。

Abstract

Kenting National Park Headquarters have been conducting a monthly sea urchin monitoring survey in Houbi Lake Marine Resource Reserve Exhibition Center since 2010. As of 2017, the results show that sea urchin populations fluctuate widely from month to month. The average density of *Tripneustes gratilla* is 1.4 individuals/10 m², ranging between 0.1 and 7 individuals/10 m², and the monthly distribution occurrence ranges between 8% and 73% of the survey area. The monthly population fluctuation of *Toxopneustes pileolus* is less than that of *T. gratilla*, which ranges between 0.3 and 2.6 individuals/10 m², with an average density of 1.1 individuals/10 m². Distribution occurrence ranged between 22% and 85% of the survey area. We found that the two sea urchin species populations are highly aggregated and unevenly distributed in the surveyed area. Both sea urchin populations show a greatly patched distribution and commonly occurred in certain habitats. There was an abrupt population decline and a shift in distribution hotspot after August 2013, which may be due to typhoon. As a reference for resource fluctuation of sea urchins, continuous and long-term observation are required. It is necessary to develop sustainable strategies to maintain a long-term survey, and this report shows that the involvement of National Park staff and volunteers is a suitable strategy to carry on a long-term environment monitoring project in the future.

關鍵字：後壁湖海洋資源保護示範區、白棘三列海膽、喇叭毒棘海膽、長期調查、塊狀分布

Keywords: Houbi Lake Marine Resource Reserve Exhibition Center, *Tripneustes gratilla*, *Toxopneustes pileolus*, long-term survey, patchy distribution

收件日期：2017年9月19日

接受日期：2017年12月11日

Received: September 19, 2017

Accepted: December 11, 2017

緒 言

墾丁國家公園管理處與國立自然科學博物館、中山大學與水產試驗所東港繁殖中心在2002年放流了約5000個人工繁殖培育的白棘三列海膽 (*Tripneustes gratilla*, Linnaeus

1758), 成為本海域第一批海膽種苗。趙(2004)的調查中發現白棘三列海膽已恢復至當時20年前的數量, 並有小型海膽出現, 表示白棘三列海膽已經順利在本海域內建立族群並成功繁衍。後壁湖海洋資源保護示範區在2005年成立, 這是臺灣少數嚴格執法的保護區, 經過

國家公園警察隊 2 年持續地巡查，自 2005 年 3 月至 2009 年 4 月已累積取締 230 件盜採案，當地居民、遊憩業者與遊客也開始發覺保育成效已形成新興的觀光景點，使得後壁湖海洋資源保護區成爲第一件正向回饋的保育成功案例 (Soong 2012)。

白棘三列海膽俗稱馬糞海膽，會在海底不斷爬行啃食礁石上的藻類，讓珊瑚幼苗能附著生長，是珊瑚礁區的關鍵物種 (趙 2009)。墾丁海域每年 5 月間白棘三列海膽開始繁殖，6-7 月出現小海膽，並向其他海域擴散拓殖，到 12 月又回到穩定數量，早年白棘三列海膽在南臺灣數量很多，在 1984 年調查到最高密度爲 17 隻/m² (趙 2009)，隨後因爲當地居民過度撿捕而變得稀少難見。在 2002 年進行放流以前，在後壁湖瀉湖區幾乎記錄不到白棘三列海膽的個體 (Chen *et al.* 2010)。

喇叭毒棘海膽 (*Toxopneustes pileolus*, Lamark 1816) 與白棘三列海膽同屬於毒棘海膽科，喜生活在水流平緩的淺海，白天以碎礁塊半掩蓋躲藏不太移動，晚上才在海底爬行，主要刮食石塊上的鈣質珊瑚紅藻。生殖季爲 3-6 月，有集團排精的行爲 (Soong 2009; 趙 2010)。

Lawrence and Agatsuma (2007) 彙整了毒棘海膽科歷年來的研究發現，白棘三列海膽在適當棲地的分布無特定模式，且族群量隨著時間有極大變化，發現毒棘海膽類在適當的異地環境族群量差距甚大 (0-28.6 顆/m²) 且不同海域族群偏好不同的底質環境，如海藻床、海草床及瀉湖等，而非當地有海草床就一定可在海草床找到最多個體。

後壁湖瀉湖區底質平坦，主要是由珊瑚砂和珊瑚碎塊組成，零星散佈死珊瑚礁與團塊珊瑚，沙地間雜海草生長，屬於相對低複雜度的棲地類型，探究海膽在此區是群集分布或均勻

散布，都能提供有用的生態資訊。長期密集地調查有助於釐清海膽族群量波動原因，也是目前海膽研究較闕如的一環。

要有效保護海洋生物多樣性，不能只單純地劃設保護區，Edgar *et al.* (2014) 指出強而有力的經營管理與遵守才能達到期望中的保育價值。墾丁國家公園管理處在成立本示範區後，在 2010 年開始逐月進行海膽數量調查，由國家公園管理處與所屬海洋志工共同參與的長期調查，如此公民參與公共事務一同保育海洋資源的模式在臺灣尙屬難能可貴。本文在此展示初步調查成果，期供經營管理與後續研究調查參考。

材料與方法

自 2010 年 4 月開始，在後壁湖海洋資源保護示範區內，以垂直海岸線的方向拉取 8 條 100 m 長的穿越線，各穿越線間距離 50 m，在減少傷及現有生物原則上將鐵釘敲入岩盤固定穿越線，以確保後續調查的位置是一致的。自 2011 年 5 月開始在原設立的 8 條穿越線離岸端，增設 2 條 100 m 長與海岸線平行的穿越線 A1 與 B1，穿越線詳細位置請參見圖 1，爲製圖方便，將 H 測線定義爲 0 m 起點，G 測線爲 50 m，依此遞增。

固定每個月由墾丁國家公園管理處保育科進行一次穿越線法調查，以浮潛方式計數穿越線左右兩側各 1 m 寬區間內白棘三列海膽和喇叭毒棘海膽數量，每 10 m 記錄一筆數量，因此每條穿越線兩種海膽各有 10 筆數量資料，視爲 10 個樣點，用以計算海膽族群之密度。每次調查都是涵蓋樣區內所有樣點，自 2010 年 4 月至 2017 年 3 月期間有 12 個月未執行調查，詳細的調查月份請參見表 1。

表1. 調查資料概況

Table 1. Survey Data Summary

Year	Month	Mon.ND*	Transect Lines
2010	Apr-Dec	-	A/B/C/D/E/F/G/H
2011	Jan-Feb	-	A/B/C/D/E/F/G/H
	Mar-Dec	Apr/Oct	A/B/C/D/E/F/G/H/A1/B1
2012	Jan-Dec	Sep	A/B/C/D/E/F/G/H/A1/B1
2013	Jan-Dec	-	A/B/C/D/E/F/G/H/A1/B1
2014	Jan-Dec	Apr	A/B/C/D/E/F/G/H/A1/B1
2015	Jan-Dec	May/Dec	A/B/C/D/E/F/G/H/A1/B1
2016	Jan-Dec	Feb/Apr/Jun/Nov/Dec	A/B/C/D/E/F/G/H/A1/B1
2017	Mar	Jan/Feb	A/B/C/D/E/F/G/H/A1/B1

* month without investigation

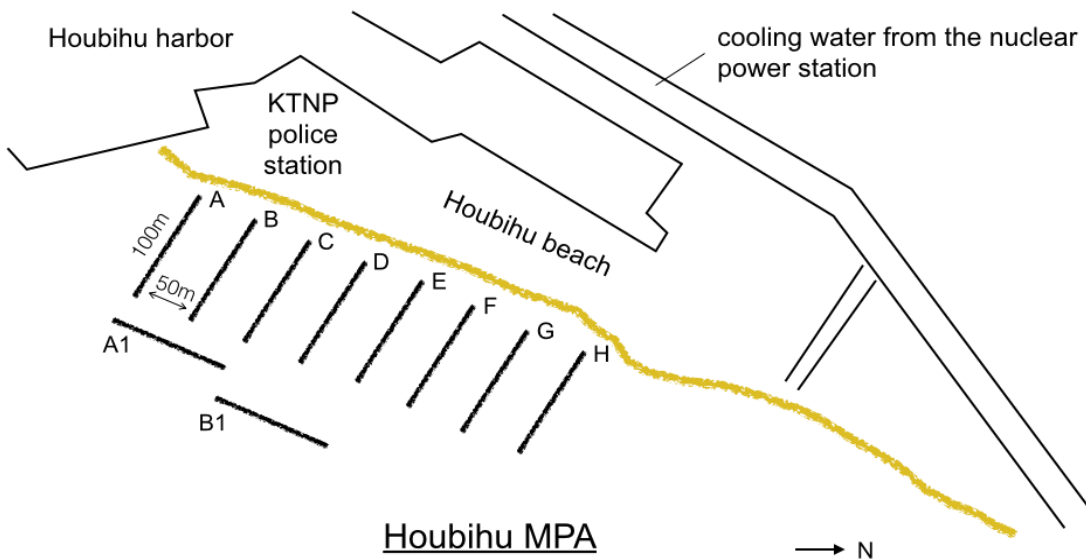


圖 1. 後壁湖海洋資源保護示範區內穿越線位置示意圖。

Fig. 1. Sea urchin survey transect lines in Houbi Lake Marine Resource Reserve Exhibition Center. KTNP, Kenting National Park. MPA, Marine Protected Area.

在繪製各變數時間軸變化時，未調查的月份直接空白，連續的調查區間以實線相連，未連續者則以黑點表示，時間間隔計算至日。從2010年4月至2011年4月期間是採用8條穿越線（80個樣點）的調查結果來計算，從2011年5月至2017年3月期間則是採用10條穿越線（100個樣點）的調查結果來計算月平均密度。樣區內出現率定義為該月有記錄到1隻以上海膽的樣點數量，佔該月總樣點數（80或100個）的百分比。

因8年來2種海膽在平均密度與出現率上變動起伏，為了進一步清楚地呈現與比較2種海膽間互動，故將數值標準化至8年平均為0與1單位變異數，以便了解哪些時段的海膽數量或出現率是高於或低於8年平均值。

標準化後發現在2013年8月至2013年9月間數值出現大幅轉折，因此將時間軸切割成兩段，2010年4月至2013年8月當作第1段區間，2013年9月至2017年3月作為第2段區間，在兩段時間區間中分別處理各樣點計數到的海膽數量與累積目擊出現次數，該樣點記錄到1隻以上海膽即視為1次目擊，代表該種海膽正利用該樣點棲地，再以圓圈圖呈現2種海膽在空間上熱點與棲地位置的改變。

本研究利用R version 3.4.0軟體（R Core Team, 2017）進行繪圖分析。

結 果

自2010年4月至2017年3月為止，後壁湖海膽調查因天候因素影響與人力不足，僅2013年順利完成全年度12個月的調查監測，8年來至截稿累積調查71個月，共計白棘三列海膽與喇叭毒棘海膽各6,880筆數量資料，調查期間也持續記錄到入添的小體型海膽出現。

調查期間各月平均密度變化，白棘三列海

膽從最低0.1顆/10 m²至7顆/10 m²，71個月的平均密度是1.4±1.4顆/10 m²。喇叭毒棘海膽的密度從0.3顆/10 m²至2.6顆/10 m²，71個月平均密度為1.1±0.5顆/10 m²，數量波動相對於白棘三列海膽來說比較小。調查期間白棘三列海膽在樣點上記錄到的最大密度為168顆/10 m²，喇叭毒棘海膽則為53顆/10 m²。

圖2與圖3是兩種海膽8年間的月平均密度變化與樣區出現率變動情形。白棘三列海膽在調查初期密度偏低，至2011年6月突然大量出現，整個海域平均密度達到7顆/10 m²，但隨之下降後持平至2013年初，整個海域維持在1-3顆/10 m²間震盪，直到2013年6月出現維持了3個月的高峰，卻隨之驟減至8年來最低的數量，維持在低族群密度（低於1顆/10 m²）一直到2016入夏後才增加，但隨後快速減少下來。

月別樣區出現率意即樣區內有多少樣點記錄到個體出沒。調查初期可在35%-45%樣點中看到白棘三列海膽，在2011年數量大增後出現範圍增加，來到8年中分布最廣的73%樣點，數量驟減也導致出現範圍降回40%上下，在2014年入夏時再次驟減至僅8個樣點有出現紀錄，這低族群量低分布範圍的情形一直到2016年中才改變，隨著月平均密度增減惟變動幅度較小較緩。

喇叭毒棘海膽在調查初期密度偏低（圖3），族群量逐年增加至在2013年6月達到最高（2.6顆/10 m²）後卻同樣驟減，隨後又恢復至每10 m²有1顆以上的水準，上下震盪至3月。8年來最低密度為0.3顆/10 m²。

喇叭毒棘海膽的月別樣區出現率與月平均密度更顯同步，從調查初期40%上下增加至2013年6月最廣佔據達85%樣點，卻隨即驟降至8年最低僅出現在22個樣點，接著平緩恢復至40%上下震盪至3月。

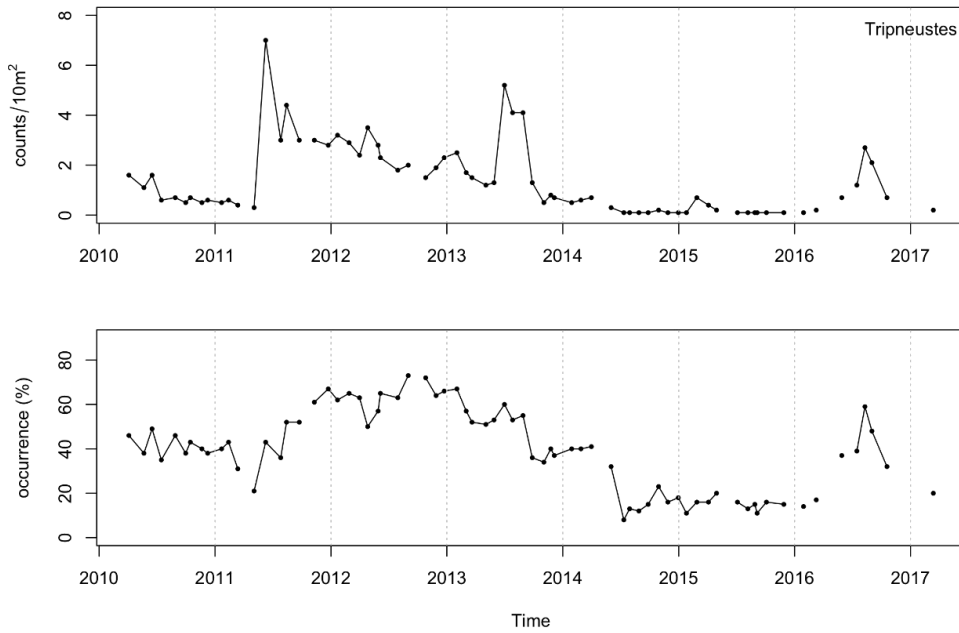


圖 2. 白棘三列海膽的月平均密度（上圖）與樣區內出現率（下圖）時間變化。

Fig. 2. Monthly average density (top chart) and distribution occurrence (bottom chart) changes over time of *T. gratilla*.

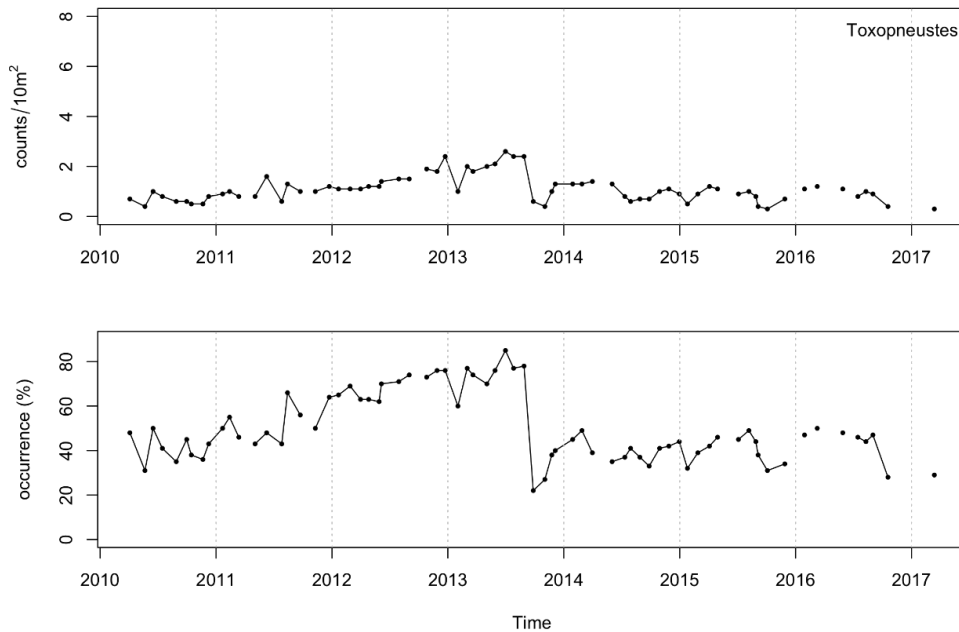


圖 3. 喇叭毒棘海膽的月平均密度（上圖）與樣區內出現率（下圖）的時間變化。

Fig. 3. Monthly average density (top chart) and distribution occurrence (bottom chart) changes over time of *T. pileolus*.

將歷年數據進行標準化轉換可更清楚地看出兩種海膽的變動模式，從圖 4 可看出當月平均密度高於歷年平均時，樣區出現率也會在歷年平均之上。兩種海膽在調查初期都略低於歷年平均，而在 2011 年中至 2013 中

屬於族群量高分布廣，卻在 2013 年 8 月後都有突然巨幅減少的現象（圖 4 直虛線），開啓爾後持續維持在低族群量低出現範圍的時期直至 3 月。

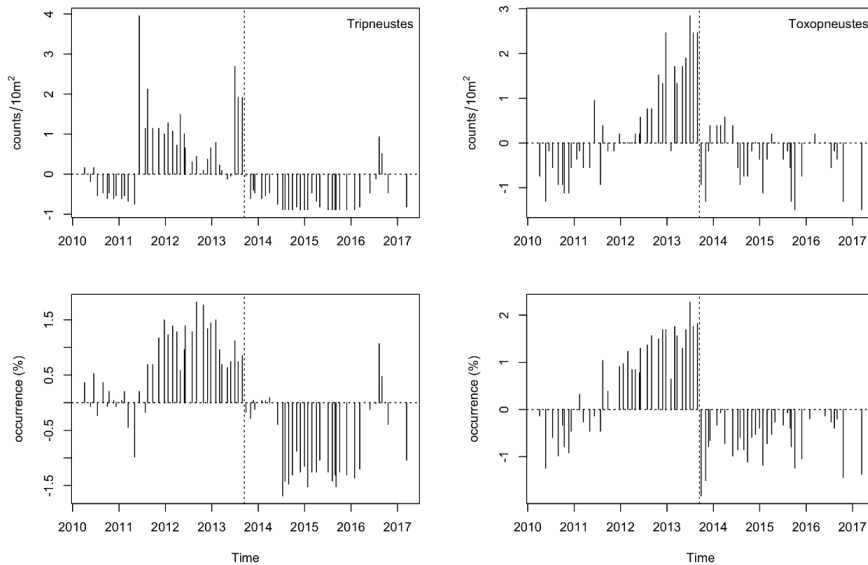


圖 4. 白棘三列與喇叭毒棘海膽的平均密度與樣區內出現率經標準化後的时间變化，各海膽兩數值是標準化至 8 年平均為 0 與 1 單位變異數。圖中直虛線介在 2013 年 8 月與 9 月調查之間。

Fig. 4. Standardized average density and distribution occurrence changes over time of *T. gratilla* and *T. pileolus*. The eight-year values are standardized to zero mean and unit variance for each species. The vertical dotted lines indicate the time between August and September in 2013.

經初步分析發現兩種海膽的數量在空間分布上極不均勻，離岸遠近不是影響海膽分布的主要因子，但在不同穿越線間數量差異很大。於是基於前段分析所得，將 8 年數據分成兩時期，用以探討 2013 年 8 月以前 (A) 的分布概況與 2013 年 9 月以後 (B) 是否有所不同。從圖 5 中可以看出白棘三列海膽在 A 時期族群量主要集中在 200-300 m 這 3 條測線，常出現在 150-300 m 這 4 條測線與兩條與海岸平行的測線上，但在 B 時期這些熱點幾乎

不再有也不再常見到白棘三列海膽出現，分布位置向左方偏移至 100-200 m 間，空間分布顯得相對均勻。

喇叭毒棘海膽同樣也出現族群熱點變遷的現象（圖 6），在 A 時期族群主要出沒在右方 4 條測線與兩條平行測線，左方 50-150 m 等 3 條測線則是數量較少但穩定出沒分布，但在 B 時期右邊 4 條測線已不再容易看到，僅 200 m 測線仍維持一定數量與出沒頻度，族群出沒偏向左方 100 m 與 150 m 兩條測線上。

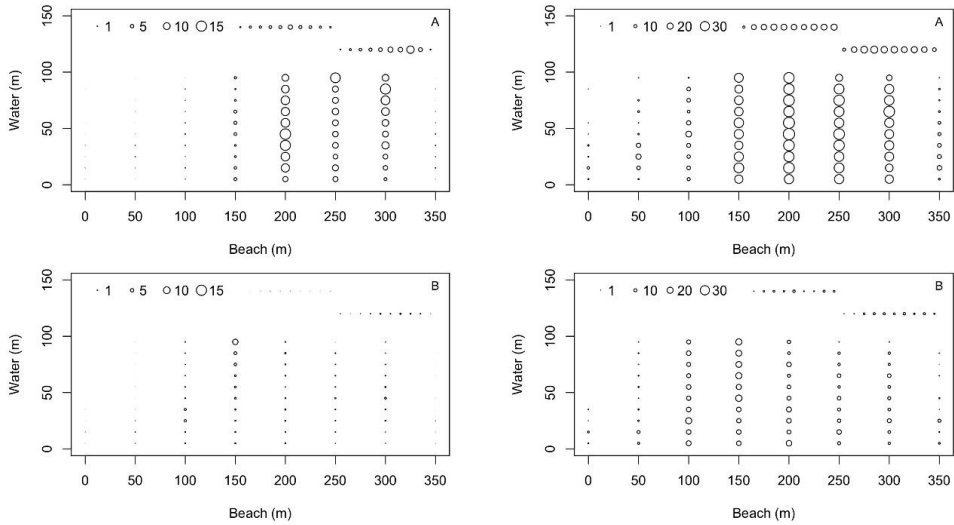


圖 5. 白棘三列海膽在 2013 年 8 月以前(A)與 2013 年 9 月以後(B)兩時期在樣區內各樣點平均密度(左)與目擊出沒次數(右)的空間分布變化。圓圈大小表示每 10 平方米個體數(左)或目擊次數(右)。
Fig. 5. spatial distribution of *T. gratilla* average density (left) and individual sightings (right) during two periods, (A) before Aug/2013 and (B) after Aug/2013. Circle size is proportional to counts/10 m² (left panel) and sightings (right panel).

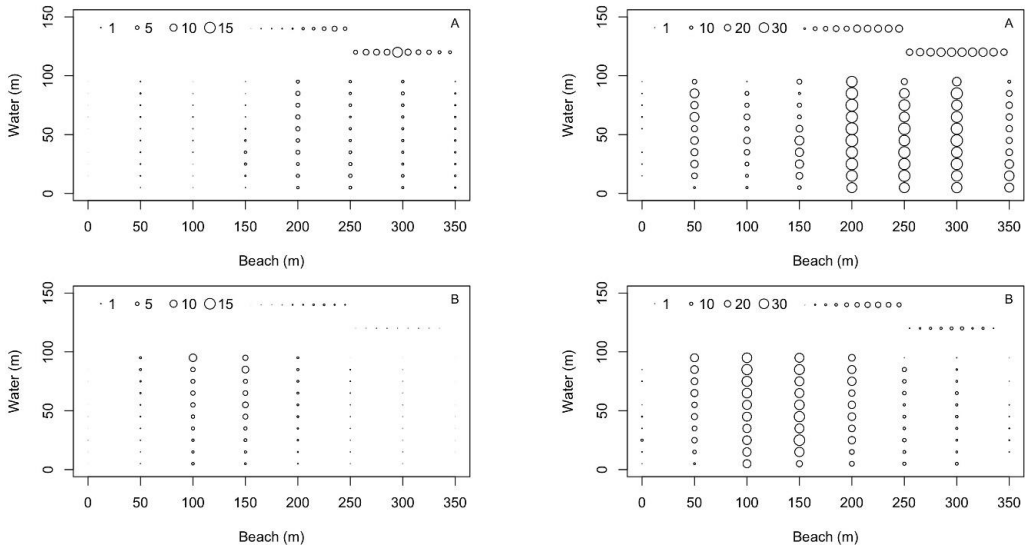


圖 6. 喇叭毒棘海膽在 2013 年 8 月以前(A)與 2013 年 9 月以後(B)兩時期在樣區內各樣點平均密度(左)與目擊出沒次數(右)的空間分布變化。圓圈大小表示每 10 平方米個體數(左)或目擊次數(右)。
Fig. 6. Spatial distribution of *T. pileolus* average density (left) and individual sightings (right) during two periods, (A) before Aug/2013 and (B) after Aug/2013. Circle size is proportional to counts/10 m² (left panel) and sightings (right panel).

討 論

在後壁湖瀉湖區針對白棘三列海膽的歷史調查紀錄，在 1984 年最高密度為 170 顆/10 m² (趙 2009)；趙 (2005) 指出 5 月與 10 月平均密度為 0.6 顆與 0.5 顆/10 m²，趙 (2009) 提到最高密度 130 顆/10 m²，在 2010 年平均數量為 3.1 顆/10 m² (Chen *et al.* 2010)。結合本調查成果可知，本海域白棘三列海膽的最高密度可達 170 顆/10 m² (高於本調查的 168 顆/10 m²)，平均密度最高為 7 顆/10 m² (本調查所得)。

白棘三列海膽高密度分布與見到新生海膽皆可反映復育成效，有助於當地珊瑚礁生態的恢復 (趙 2009)。後壁湖保護區能見到白棘三列海膽高密度聚集出現，每年也能觀察到新生入添小海膽，表示本地族群可穩定成長再生。

Muthiga (2005) 在肯亞東岸環礁調查到白棘三列海膽從 1994 年的 22 顆/10 m² 隔年減少至 5 顆/10 m² 以下，且低密度持續至 2003 年。本調查的最大震盪為一個月內從 0.3 顆/10 m² 增加至 7 顆/10 m²，還有數次變動起伏是發生在幾個月內而不是以年為單位，因此以單次調查來評估族群量，很可能囿於這些短暫現沒的誤導。

本分析發現，後壁湖保護區內海膽分布不均勻，海膽群集處密度很高但相鄰測線卻很少，有容易見到海膽的常用棲地存在，這個現象在白棘三列海膽比喇叭毒棘海膽強烈，這種族群緊密聚集的情況並無法以穿越線調查法準確呈現出來。Moses and Bonem (2001) 指出當海膽成塊狀分布時，即使在同一深度內數量差異都會很大，若穿越線正切過海膽群時數量就高，反之數量就低。因此以穿越線法調查

後推估整個海域海膽數量的做法會有很大的誤差，生物資源評估因塊狀分布明顯而有偏差時，應進一步釐清與了解聚集結群形成的原因以修正資源量評估。

分析顯示當白棘三列海膽族群量增加時，所佔據使用樣點數會增加，已佔據的棲地不會因為族群消滅有過大的變動，但當族群數量驟減時，族群所在棲地也變得狹隘。相較之下喇叭毒棘海膽屬於樣點密度低，集中度低，佔據較大範圍棲地的物種，當族群越來越多，所佔用的棲地逐步擴大，推論棲地破壞造成的族群損失會比白棘三列海膽相對輕微。

白棘三列與喇叭毒棘海膽在 2013 年 8 月前主要分布樣區南邊測線，數量多且易見，但在 2013 年 9 月後，南邊棲地的海膽變少也罕見出現，兩種海膽的族群數量與分布面積同時驟減低於歷年平均至今。造成這個重大傷害的可能原因推測是 2013 年 9 月 20 日直擊恆春海域的強烈颱風天兔，浪襲摧毀了大部分族群與棲地，造成海膽族群囿限於北方棲地，颱風對於後壁湖海域海膽的族群消長可能扮演關鍵角色。

本調查僅侷限於海膽數量收集，會造成後壁湖保護區內海膽數量變動的相關因子，將尋求鄰近海域的長期水文記錄，如後壁湖氣象浮標等，來進行分析。未來更應優先評估新生海膽的年補充量，以及颱風巨浪的破壞與人為撿捕等移除程度。

發展可以持續監測的策略，才能找出長期現象與變遷以作為擾動的參考基準 (Müller *et al.* 2010)。墾丁國家公園管理處目前仍持續進行海膽調查，由管理處現有人力與志工所組成的調查團隊，能不間斷地累積數據，維持這件難能可貴的事。本研究說明適當地設計與採取策略，輔以充足地科學訓練，一般民眾的參與

會是長期監測各地環境的主力之一。

謝 誌

本研究由墾丁國家公園管理處約僱人員陳榮祥先生與郭志宏先生主導調查收集，加上海洋保育志工不畏水母叮蜇地協助，在此一併感謝。在此需特別感謝馬協群課長時任保育課時願意提供原始數據，也感謝現任保育課徐茂敬課長願意持續地更新歷年完整調查資料。而保育課謝桂禎小姐與董于瑄小姐的居中聯絡協助，與摯友侯力慈小姐與董盈岑小姐的審稿意見與字句斟酌，給予我信心和努力完成的勇氣。

引用文獻

- 趙世民。2004。海膽存亡記。國立自然科學博物館館訊（205）。國立自然科學博物館。
- 趙世民。2010。瀉湖五月雪-喇叭毒棘海膽生殖。國立自然科學博物館館訊（276）。國立自然科學博物館。
- 趙世民、陳邦欽。2009。遍地是「膽」。國立自然科學博物館館訊（262）。國立自然科學博物館。
- 趙世民。2005。墾丁國家公園海域底棲無脊椎動物之變遷-以棘皮動物為例。內政部營業署墾丁國家公園管理處委託研究報告。
- 陳高松、李英周。2004。台灣東北部卯澳灣海域之海膽生物多樣性研究。特有生物研究 6(1): 1-16。
- Chen, H. H., S. M. Chao and B. C. Chen. 2010. Unexpectedly high sea urchin diversity in Hou-Bi-Hu lagoon, southern Taiwan. *Collection and Research* 23: 31-36.
- Crawley, M. J. 2007. *The R Book*. John Wiley & Sons Ltd., The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Edgar, G. J., R. D. Stuart-Smith, T. J. Willis, S. Kininmonth, S. C. Baker, S. Banks, N. S. Barrett, M. A. Becerro, A. T. F. Bernard, J. Berkhout, C. D. Buxton, S. J. Campbell, A. T. Cooper, M. Davey, S. C. Edgar, G. Försterra, D. E. Galván, A. J. Irigoyen, D. J. Kushner, R. Moura, P. E. Parnell, N. T. Shears, G. Soler, E. M. A. Strain and R. J. Thomson. 2014. Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature* 506: 216:220.
- Lawrence J. M. and Y. Agatsuma. 2007. Ecology of *Tripneustes*. pp. 499-520. *In*: Lawrence J.M. (ed.). *Edible Sea Urchin: Biology and Ecology*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Moses, C. S. and R. M. Bonem. 2001. Recent population dynamics of *Diadema antillarum* and *Tripneustes ventricosus* along the north coast of Jamaica, W.I. *Bulletin of Marine Science* 68(2): 327-336.
- Muthiga, N. A. 2005. Testing for the effects of seasonal and lunar periodicity on the reproduction of the edible sea urchin *Tripneustes gratilla* (L) in Kenyan coral reef lagoons. *Hydrobiologia* 549(1): 57-64.
- Müller, F., C. Baessler, H. Schubert and S. Klotz. 2010. *Long-term Ecological Research, Between Theory and Application*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.

- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>.
- Russo, A. R. 1977. Water flow and the distribution and abundance of echinoids (genus *Echinometra*) on an Hawaiian reef. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 28(6): 693-702.
- Soong, K. Y. 2012. Houbihu MPA, the first one beyond the paper, in Taiwan. Kuroshio Science 6: 25-26.

