

台灣東北部卯澳灣海域之海膽生物多樣性研究

Biodiversity of Sea Urchins in the Maoaw Bay of the Northeastern Taiwan

陳高松 李英周*

Kao-Sung Chen and Ying-Chou Lee*

國立台灣大學漁業科學研究所 台北市羅斯福路四段1號

Institute of Fisheries Science, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

* 通訊作者

* Corresponding author

摘要

本研究以二階段方式調查台灣東北部卯澳灣海域的海膽種類及數量。首先依據該海灣底質特性劃分為第 I、II、III、IV 及 V 區五個小海區。第一階段，在第 I、II、IV 區三個小海區中分別隨機選取 1 個點，第 V 區隨機選取 2 個點，以長 100m，寬 1m 的穿越線，進行垂直海岸的抽樣調查；第二階段再依據第一階段的結果，分別選取水深 3m、6m、9m 三種深度，進行等深線的詳細抽樣調查。調查過程中，記錄海膽的種類、數量及深度，並輔以拍照。

在第一階段垂直海岸的抽樣調查中，所有海膽種類密度隨著深度的不同呈現顯著差異。在第二階段 27 條等深線的調查中，共記錄了 5 科 11 種 2,901 隻海膽，其中以白尖紫叢海膽(*Echinostrephus aciculatus*) 的密度最高，其密度為 88.81 隻/100m²，梅氏長海膽(*Echinometra mathaei*) 次之，其密度為 16.33 隻/100m²，其餘種類密度均低於 10 隻/100m²，依序分別為紫海膽(*Anthocidaris crassispinata*)、紫叢海膽(*Echinostrephus molaris*)、口鰓海膽(*Stomopneustes variolaris*)、環鋸棘頭帕海膽(*Pionocidaris baculosa*)、刺冠海膽(*Diadema setosum*)、冠棘真頭帕海膽(*Ecuidaris metularia*)、白棘三列海膽(*Tripeustes gratilla*)、環刺棘海膽(*Echinothrix calamaris*) 及藍環冠海膽(*Diadema seivignyi*)。在整個海域中，白尖紫叢海膽的密度與其他 10 種海膽的密度有顯著差異，其數量在第 I、II、IV 區，大多數集中在 3m 的深度，6m 次之，9m 非常少，而在第 V 區則大多集中在 9m 的深度。歧異度指數值無論在小海區或深度均低，而整個海域歧異度指數值隨著優勢種白尖紫叢海膽密度增加呈現遞減趨勢，顯示本海域海膽種類隨著海區、深度及底質不同，呈現多樣性分布。

Abstract

The community structure and abundance of sea urchins in the Maoaw Bay of the northeastern Taiwan was surveyed in July to September 2002. A total of 2,901 individuals in 11 species of five families were collected. *Echinostrephus aciculatus* was the most dominant species and had an average density of 88.81 individuals/100m², while *Echinometra mathaei* was the secondly abundant at 16.33 individuals/100m². They were followed by the remaining nine species in a decreasing order from *Anthocidaris crassispina* to *Echinostrephus molaris*, *Stomopneustes variolaris*, *Pionocidaris baculosa*, *Diadema setosum*, *Ecuidaris metularia*, *Tripeustes gratilla*, *Echinothrix calamaris*, and then to *Diadema seigny*. Average densities of these species were less than 10 individuals/100m². There were low values in species richness indices (ranged between 1.51 and 2.84), Simpson's species diversity indices (0.12 and 0.36), Shannon's species diversity indices (0.12 and 0.28), and Pielou's evenness indices (0.17 and 0.37). The low values were primarily due to the low number of the species and a skew distribution of their abundance, resulted from the high dominancy of a single species *E. aciculatus*. Each of the indices showed a decreasing trend with the increase in the abundance of *E. aciculatus*. The abundance of sea urchins differed by species, depths and sampling areas, suggesting that local environmental and oceanographic conditions determine the sea urchin community structure and abundance in the Maoaw Bay of Taiwan.

關鍵詞：海膽、群聚結構、生物多樣性、台灣東北部

Key words : sea urchin, community structure, biodiversity, northeastern Taiwan

收件日期：92年4月8日

接受日期：92年10月22日

Received: April 8, 2003

Accepted: October 22, 2003

緒言

台灣東北部海域泛指東經121° 65' 至122° 15'，北緯24° 50' 至25° 25' 之間。範圍北起台北縣瑞芳鎮南雅里，南至宜蘭縣頭城鎮之狹長海岸線，全長約66 km。海域範圍由鼻頭角至三貂角一線，約計4,275 ha。在這一山海交錯、峽灣凹凸的崎嶇海岸線中，擁

有海灣、斷崖、溪流、海蝕平台、礫石灘、沙灘、珊瑚礁等豐富地形和不同的生態環境，尤其本區位處黑潮暖流與大陸沿岸冷流的交會地區，不同的海流與充足的營養鹽造就了豐富又多樣的海洋生物資源(黃 2000)。

台灣東北部海域靠近三貂角田寮鼻一側有一個狹小的卯澳灣，該海灣擁有相當豐富的海洋生物資源，例如九孔、龍蝦、海膽、

石花菜等等，於1976年起已被公告畫設為漁業資源保育區。以往曾經有許多調查與研究在此海灣進行，包括有魚類相(邵 1989；何 1994)、仔稚魚苗相(曾 1985)、海藻種類(王 1978；黃 1999)、珊瑚種類(楊及戴 1982)、九孔資源(曾 1994，1996；林 2001；辜 2002；Lee *et al.* 2002)，與全面性的自然資源與環境調查(曾 1990，1991；張等 1992；鄭等 1994，1996，1997，1998)。其中有關該海域的海膽研究也曾被調查與研究(陳及張 1981；白 1982；游等 1992；鄭等 1994，1996，1997，1998；Chao 2000)。

海膽在分類上是屬於棘皮動物門(ECHINODERMATA)、海膽綱(ECHINOIDEA)，全世界約有900種，分屬於13個目，其個體呈半球型或平扁型，可區分為體輻對稱之對稱亞綱(Regularia)的正型海膽，及不對稱之歪型亞綱(Irregularia)的歪型海膽(Pechenik 2000)。在關於台灣海膽的研究中，日籍學者早阪一郎曾發表了13種台灣產的正型海膽報告(Hayasaka 1948)，為第一篇關於海膽的分類研究；陳及張(1981)曾進行台灣正型海膽的種類調查，共記錄了21種，其中8種為新紀錄種；Chao (2000)也發表了台灣有19種歪型海膽，其中6種為新紀錄種。除了上述分類學的調查研究外，有關海膽生殖生物學的相關研究也有多篇報告(葛 1980；林 1995；Chen 1989；Chen and Chen 1993；Chen and Chen 1995)。

海膽為底棲性生物，在底棲生態系上扮演著很重要的角色(Sammarco 1980；McClanahan 1997)。由於海膽多半為藻食性或以有機碎屑為食，藉由高度特化之口部構造(Aristole's lantern)在礁岩表面刮食，會間接地影響許多藻食性魚類及其他底棲性無脊椎動物的豐富度(Fletcher 1987；Holbrook *et al.* 1990；Jones and Andrew 1990)。海膽亦會造成生物侵蝕(bioerosion)，其攝食的過程中除

了會刮食藻類外，也同時移除底質上的碳酸鹽類，對珊瑚礁的成長及珊瑚礁生態系中有機碳與無機碳的轉換(turnover)造成影響。至於人類對海膽之掠食者的漁撈行為則會間接地造成其族群數量的增加，最終可能導致整個底棲生態系的崩解(Silva and McClanahan 2001)。

在卯澳灣中，過去曾盛產數量眾多且優質的海膽資源，近年來在人類大量採捕與海域棲息環境變動下，可能也會造成資源量衰減與群聚結構的改變。然而海膽具有不任意變換巢穴的習性(Mortensen 1943；Grunbaum *et al.* 1978；Russo 1980；Carpenter 1981)，其種類與數量可相當程度反應環境的變化。另一方面，過去台灣東北部海域有關海膽群聚分布的研究多是研究計畫中的一部分，且多為定性的種類描述，少有定量的調查與分析。因此本研究針對卯澳灣海域的海膽種類、族群數量與分布進行調查，並探討海膽種類的歧異度，以期對該海域的海膽群聚結構有更進一步的了解。

材料與方法

卯澳灣為一個三角形海灣，灣口朝向北北東方，灣內左深右淺，底質環境並非均質(圖1)，過去針對該海域九孔資源的調查研究，將該海灣劃分為五個小海區，其中第I區為整個海灣水深較淺的區域，近岸附近有沙石分布，其餘底質以礁岩為主，第II區的底質除礁岩外，並有些許沙地交錯其中，靠灣口處則有一些大型鵝卵石，第III區位在灣口，水深較深，兩側為礁岩，中間也有些許沙地分布其間，第IV區的地勢落差大，近岸處有許多大型的鵝卵石，離岸較遠處為平坦的礁岩，及第V區是卯澳灣左側之外的一個小海灣，其底質多為開闊的礁岩平台(Lee *et al.* 2002)。

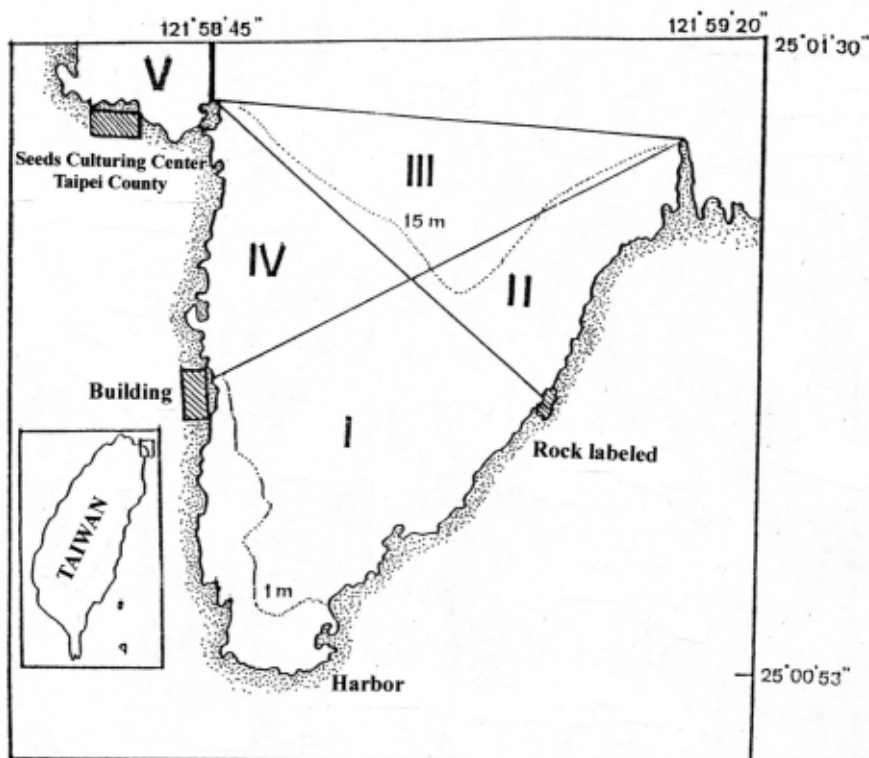


圖 1. 台灣東北部卯澳灣調查海域 (引述自Lee *et al.* 2002)。

Fig. 1. The study area: the Maoaw Bay in the northeastern Taiwan (After Lee *et al.* 2002).

本研究亦按照上述五個小海區的劃分方式，分別調查海膽的種類與數量。自2002年7月至9月，分兩個階段進行調查。第一階段，在第 I、II、IV 區三個小海區中分別隨機選取 1 個點，第 V 區隨機選取 2 個點，以長 100m，寬 1m 垂直海岸的穿越線 (transect line)，調查各小海區的海膽種類、數量與深度，並輔以拍照記錄。接著，根據第一階段的結果，選擇三種深度，以進行第二階段分區、分深度的詳細調查。第二階段的調查，由一位熟悉卯澳灣海域的漁民陪同研究人員，分別沿著三種深度的等深線進行調查，其中 3m 等深線有 14 條，6m 等深線有 8 條，9m 等深線有 5 條，合計有 27 條 100m² 抽樣調查線；若依據小海區統計，則第 I 區有 9 條，第

II 區有 8 條，第 IV 區有 8 條，第 V 區有 2 條抽樣調查線。每次調查皆以水肺潛水與船潛的方式在當天的 09:00 至 14:00 之間進行。

海膽歧異度的估算係採用生態學中常用的四個指數：種豐富度指數 (Species richness index)、歧異度指數 (Simpson's index)、歧異度指數 (Shannon's index)，及均勻度指數 (Pielou's evenness index) 進行。四個指數之定義如下：

Species richness index:

$$d = (S-1) / \log N, \text{ } S \text{ 為種數, } N \text{ 為總隻數} \\ \text{(Margalef 1958);}$$

Simpson's index:

$$c = 1 - \sum_{i=1}^s (n_i / N)^2, \text{ 其中 } n_i \text{ 為第 } i \text{ 種隻數,} \\ N \text{ 為總隻數 (Simpson 1949);}$$

Shannon's index:

$H = - \sum_{i=1}^s (ni / N) * \log(ni / N)$, 其中 ni 為第 i 種隻數, N 為總隻數 (Shannon and Weaver 1949) ;

Pielou's evenness index:

$e = H / \log S$, 其中 H 為 Shannon's index, S 為種數 (Pielou 1966)。

並利用Kruskal-Wallis test (Sokal and Rohlf 1995) 無母數統計分析法檢定各小海區間、各深度間, 以及各種類間的密度差異。

結果

第一階段在第 I、II、IV 區各一條穿越線, 及第 V 區二條穿越線調查中, 共記錄了 850 隻海膽, 其中大多數為白尖紫叢海膽 (*Echinostrephus aciculatus*) 與梅氏長海膽 (*Echinometra mathaei*)。所有海膽種類的密度隨著深度的不同呈現顯著差異 ($p=0.03 < 0.1$) (圖 2), 其中水深 0-4.5m, 平均 3m 的密度為

79.80 隻/100m²; 水深 4.5-7.5m, 平均 6m 的密度為 87.20 隻/100m²; 水深 7.5m 以下, 平均 9m 的密度為 0.60 隻/100m², 其中水深 3m 與 6m 的密度間 ($p=0.40 > 0.1$) 及 6m 與 9m 的密度間 ($p=0.13 > 0.1$) 無顯著差異, 但是水深 3m 與 9m 的密度間有顯著差異 ($p=0.01 < 0.1$) (表 1)。

依據第一階段調查的結果, 顯示平均水深 3m、6m、9m 深度的海膽呈現不同密度值, 因此本研究再選取 3m、6m、9m 三個深度作為第二階段依據等深線的抽樣調查。

在第二階段 27 條抽樣調查線中, 共記錄了 5 科 11 種 2,901 隻海膽, 其中以長海膽科的白尖紫叢海膽數量最多, 其密度為 88.81 隻/100m², 梅氏長海膽密度 16.33 隻/100m² 次之, 其餘 9 種海膽的密度均低於 10 隻/100m², 其密度依序為, 紫海膽 (*Anthocidaris crassispina*) 1.11 隻/100m², 紫叢海膽 (*Echinostrephus molaris*) 0.30 隻/100m², 口鰓海膽 (*Stomopneustes variolaris*) 0.26 隻/100m², 環鋸棘頭帕海膽 (*Pionocidaris baculosa*) 0.19 隻

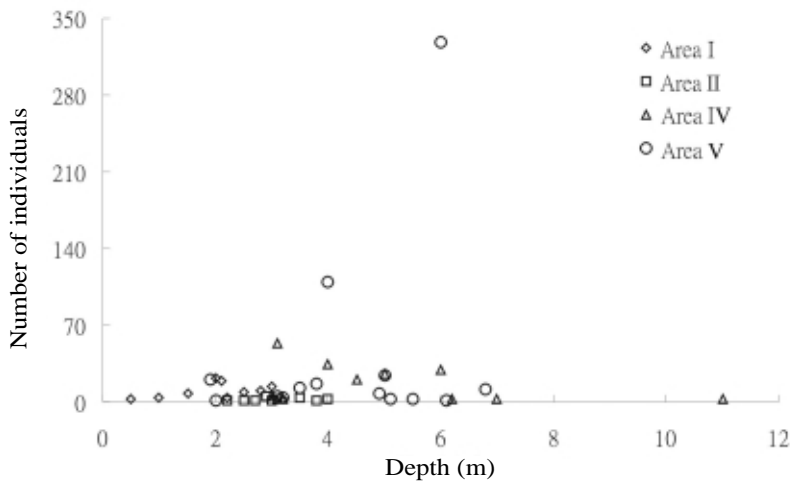


圖 2. 台灣東北部卯澳灣海域第一階段垂直海岸穿越線調查各種深度之海膽數量。

Fig. 2. The relationship between the number of sea urchin and depth at the four sampling areas of the Maoaw Bay in the northeastern Taiwan obtained in the preliminary survey.

/100m²，刺冠海膽(*Diadema setosum*) 0.15隻/100m²，冠棘真頭帕海膽(*Ecuidaris metularia*) 0.11隻/100m²，白棘三列海膽(*Tripeustes gratilla*) 0.11隻/100m²，環刺棘海膽(*Echinothrix calamaris*) 0.04隻/100m²，及藍環冠海膽(*Diadema sevignyi*) 0.04隻/100m²。在整

個卯澳灣海域中，白尖紫叢海膽的密度與其他10種海膽的密度間有顯著差異($p < 0.1$) (表2)。在第 I、II、IV區，海膽大多數分布在3m的深度，6m次之，9m除在第IV區有少數外幾乎無海膽分布；然而在第V區，則是完全相反，海膽幾乎集中在9m深度。若就整個

表 1. 台灣東北部卯澳灣海域第一階段垂直海岸穿越線調查各種深度之海膽密度

Table 1. Densities (mean \pm standard deviations; maximum and minimum in parentheses) of sea urchins obtained from the preliminary phase of the survey at different depths along the vertical transects in the Maoaw Bay of the northeastern Taiwan

Depths (m)	Number of samples	Density (ind./100m ²)
3	5	79.80 \pm 50.93 (134 - 18) ^a
6	5	87.20 \pm 144.61 (342 - 0) ^{ab}
9	5	0.60 \pm 1.34 (6 - 0) ^b

a,b : Mean densities followed by the same superscripts, a or b, are not significant difference (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$).

表 2. 台灣東北部卯澳灣海域各種海膽全海區密度

Table 2. Densities (mean \pm standard deviations; maximum and minimum in parentheses; ind./100m²) of sea urchins by species in the Maoaw Bay of the northeastern Taiwan

Species	Chinese name	Replications	Density
<i>Echinostrephus aciculatus</i>	白尖紫叢海膽	27	88.81 \pm 142.69 (465 - 0) ^a
<i>Echinometra mathaei</i>	梅氏長海膽	27	16.33 \pm 31.02 (153 - 0) ^b
<i>Anthocidaris crassispina</i>	紫海膽	27	1.11 \pm 1.63 (6 - 0) ^b
<i>Echinostrephus molaris</i>	紫叢海膽	27	0.30 \pm 0.87 (4 - 0) ^b
<i>Stomopneustes variolaris</i>	口鰓海膽	27	0.26 \pm 0.53 (2 - 0) ^b
<i>Prionocidaris baculosa</i>	環鋸棘頭帕海膽	27	0.19 \pm 0.56 (2 - 0) ^b
<i>Diadema setosum</i>	刺冠海膽	27	0.15 \pm 0.36 (1 - 0) ^b
<i>Ecuidaris metularia</i>	冠棘真頭帕海膽	27	0.11 \pm 0.42 (2 - 0) ^b
<i>Tripeustes gratilla</i>	白棘三列海膽	27	0.11 \pm 0.42 (1 - 0) ^b
<i>Echinothrix calamaris</i>	環刺棘海膽	27	0.04 \pm 0.19 (1 - 0) ^b
<i>Diadema sevignyi</i>	藍環冠海膽	27	0.04 \pm 0.19 (1 - 0) ^b

a,b : Mean densities followed by the same superscripts, a or b, are not significantly difference (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$).

海域來說，海膽的分布以3m最多，9m次之，6m最少(圖3)。其中數量最多的優勢種白尖紫叢海膽的分布亦與全海區所有海膽的分布呈現相似的趨勢，即在第 I、II、IV區，大多數集中在3m的深度，而在第V區則集中在9m的深度(圖4)。

在四個小海區種類間的密度比較中，密度最高的白尖紫叢海膽在小海區間的密度並無顯著差異($p=0.13>0.1$)。密度次高者為梅氏

長海膽，其第 I 區與第IV區($p=0.09<0.1$)，及第II區與第IV區($p=0.09<0.1$)之間的密度有顯著差異。其餘種類的密度均低，且在小海區之間均無顯著差異($p>0.1$) (圖5)。

在三種深度種類間的密度比較中，亦皆以白尖紫叢海膽的密度最高，梅氏長海膽次之，其餘種類的密度均低，且在三種深度間均無顯著差異($p>0.1$) (圖6)。

歧異度指數方面，四個小海區的Species

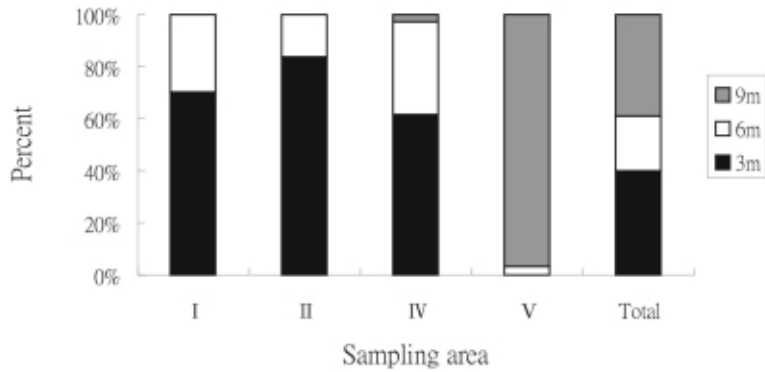


圖 3. 台灣東北部卯澳灣海域第二階段調查各小海區與三種深度所有海膽數量百分比。

Fig. 3. Percentage distribution of sea urchin by three depths (3, 6 and 9m) at the five sampling area in the Maoaw Bay of the northeastern Taiwan.

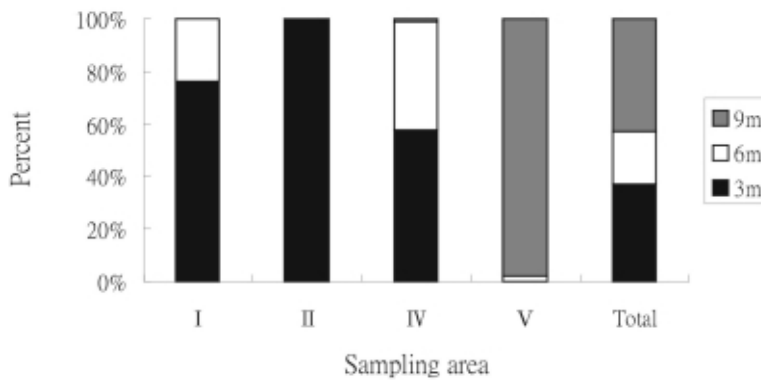


圖 4. 台灣東北部卯澳灣海域白尖紫叢海膽數量在各小海區與三種深度所占百分比。

Fig. 4. Percentages distribution of *Echinostrephus aciculatus* by three depths at the five sampling areas in the Maoaw Bay of the northeastern Taiwan.

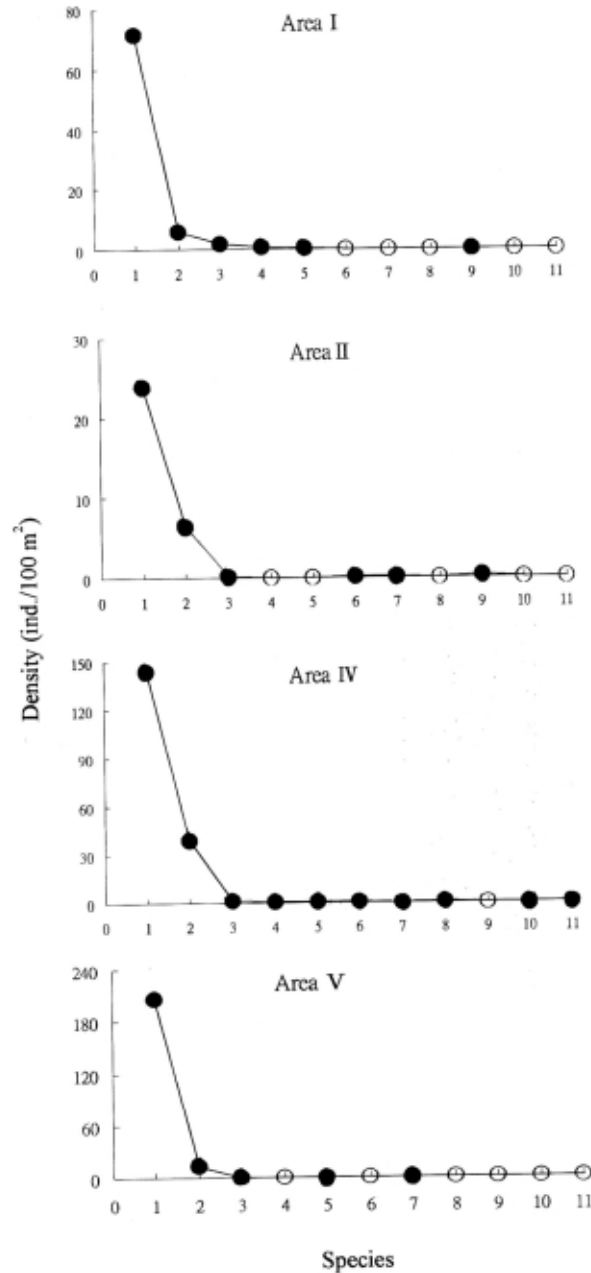


圖 5. 台灣東北部卯澳灣海域各種海膽各小海區之密度。實心圓表示有海膽，空心圓表示無海膽。

Fig. 5. Densities of sea urchins by species in the five sampling areas of the Maoaw Bay in the northeastern Taiwan (solid circles, present; open circles, absent; 1, *Echinostrephus aciculatus*; 2, *Echinometra mathaei*; 3, *Anthocidaris crassispina*; 4, *Echinostrephus molaris*; 5, *Stomopneustes variolaris*; 6, *Pionocidaris baculosa*; 7, *Diadema setosum*; 8, *Ecuidaris metularia*; 9, *Tripeustes gratilla*; 10, *Echinothrix calamaris*; 11, *Diadema seivignyi*).

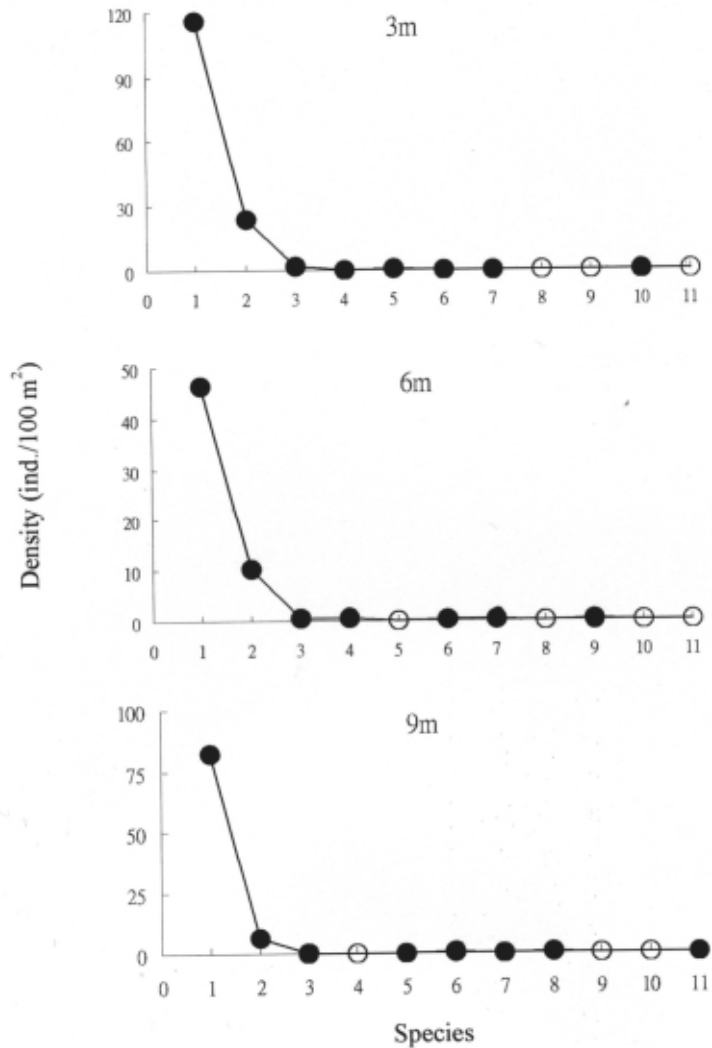


圖 6. 台灣東北部卯澳灣海域各種海膽各種深度之密度。實心圓表示有海膽，空心圓表示無海膽。
Fig. 6. Densities of sea urchins by depths in the Maoaw Bay of the northeastern Taiwan (solid circles, present; open circles, absent; 1, *Echinostrephus aciculatus*; 2, *Echinometra mathaei*; 3, *Anthocidaris crassispira*; 4, *Echinostrephus molaris*; 5, *Stomopneustes variolaris*; 6, *Pionocidaris baculosa*; 7, *Diadema setosum*; 8, *Ecuidaris metularia*; 9, *Tripeustes gratilla*; 10, *Echinothrix calamaris*; 11, *Diadema seignyi*).

richness index均不高，以第IV區有最大值2.84，第V區有最小值1.51，Simpson's index以第II、IV區有最大值0.36，第V區有最小值0.12，Shannon's index以第IV區有最大值

0.28，第V區有最小值0.12，Pielou's evenness index以第II區有最大值0.35，第V區有最小值0.17。但是四個歧異度指數在四個小海區間均無顯著差異($p>0.1$) (表3)。

三種深度的Species richness index以9m有最大值2.64，6m有最小值2.20，Simpson's index以3m有最大值0.32，9m有最小值0.17，Shannon's index以3m、6m有最大值0.25，9m有最小值0.17，Pielou's evenness index以6m有最大值0.30，9m有最小值0.18。且四個歧異度指數在三種深度間也均無顯著差異 ($p>0.1$) (表4)。

就整個海域來說，Species richness index ($p = 0.08 < 0.1$) 與 Simpson's index ($p =$

$0.001 < 0.1$) 指數值隨著優勢種白尖紫叢海膽的密度增加而呈遞減的趨勢 (圖 7)。

討論

本調查中，4種歧異度指數值無論在小海區或深度均低，而且整個海域歧異度指數值也隨著優勢種白尖紫叢海膽密度增加呈現遞減趨勢，這些現象顯示本海域海膽種類會隨著海區、深度及底質不同呈現多樣性分布。

表 3. 台灣東北部卯澳灣海域各小海區之歧異度指數比較

Table 3. Number of species and number of individuals collected, and estimated Species richness indices (d), Simpson's species diversity indices (c), Shannon's species diversity indices (H), and Pielou's evenness indices (e) of the sea urchins in the five sampling areas of the Maoaw Bay in the northeastern Taiwan

Sampling Area	Number of samples	Number of species	Number of individuals	d -value	c -value	H -value	e -value
I	9	6	723	1.75	0.20	0.20	0.26
II	8	6	248	2.09	0.36	0.27	0.35
IV	8	10	1490	2.84	0.36	0.28	0.28
V	2	5	440	1.51	0.12	0.12	0.17
Total	27	11	2901	2.88	0.29	0.26	0.24

表 4. 台灣東北部卯澳灣海域各深度之歧異度指數比較

Table 4. Number of species and number of individuals collected, and estimated Species richness indices (d), Simpson's species diversity indices (c), Shannon's species diversity indices (H), and Pielou's evenness indices (e) of the sea urchins in the three depths of the Maoaw Bay in the northeastern Taiwan

Depths (m)	Number of samples	Number of species	Number of individuals	d -value	c -value	H -value	e -value
3	14	9	1921	2.44	0.32	0.25	0.26
6	8	7	530	2.20	0.30	0.25	0.30
9	5	8	450	2.64	0.17	0.17	0.18
Total	27	11	2901	2.88	0.29	0.26	0.24

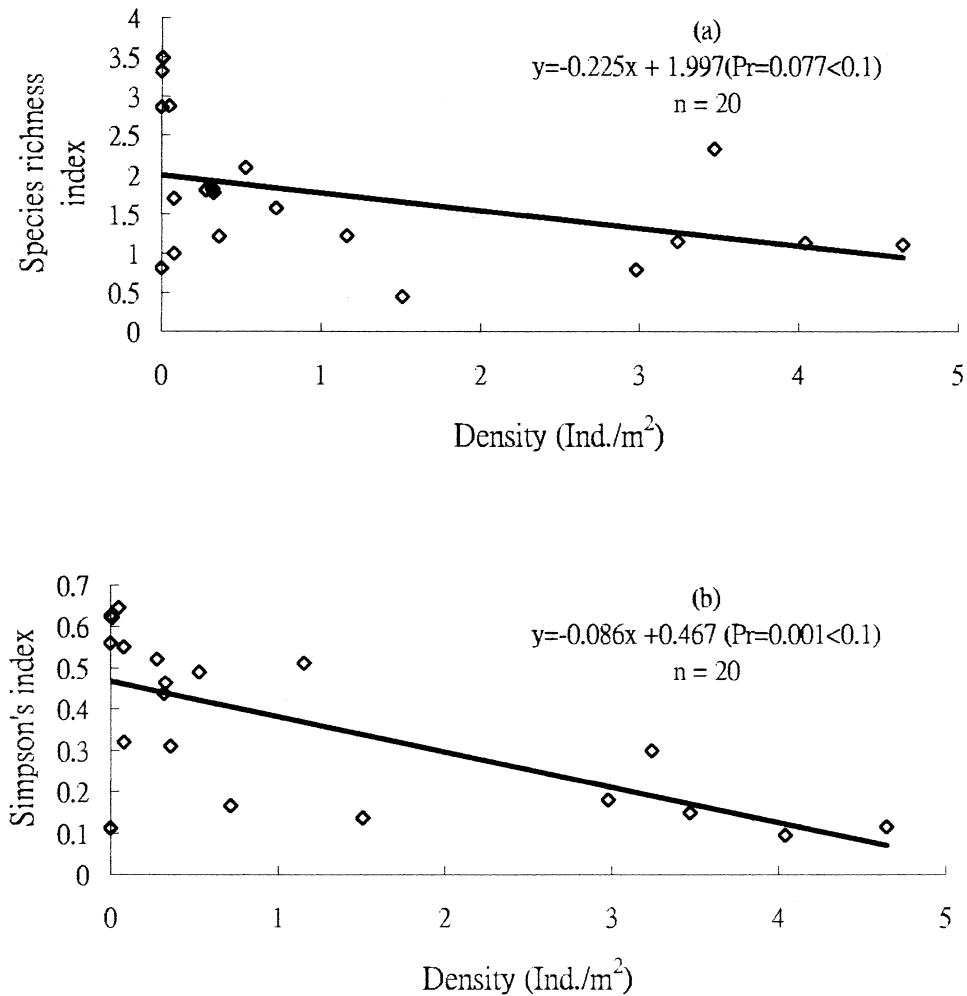


圖 7. 台灣東北部卯澳灣海域白尖紫叢海膽密度與歧異度指數的關係。(a) Species richness index , (b) Simpson's index 。

Fig. 7. Relationships between the density of *Echinostrephus aciculatus* to the Species richness index (a) and to the Simpson's index (b) for sea urchins in the Maoaw Bay of the northeastern Taiwan.

台灣東北部海域由於地理位置特殊，除夏季之外，終年吹拂強勁東北風，海象惡劣，不易從事海上潛水調查工作，而本研究調查期間集中在夏季進行，因此目前尚無法探討本區海膽群聚結構是否存在季節差異。

本研究調查共記錄了5科11種的海膽，與

之前的研究(鄭等 1994, 1996, 1997, 1998)記錄6科14種接近。其中減少了冠海膽科(Diadematidae)的冠刺棘海膽(*Echinothrix diadema*)、刻肋海膽科(Temnopleuridae)的芮氏刻肋海膽(*Temnopleurus reevesi*)，與毒棘海膽科(Toxopnerstidae)的喇叭毒棘海膽

(*Toxopneutes pileolus*)。此外，在本研究調查所有種類均為正型海膽目，而無歪型海膽目的種類。其可能原因，或許是該海域原本就沒有歪型海膽種類棲息，或是因為歪型海膽為夜行性，且生活在沙地中(李及陳 1994)，導致目前的調查方法未能發現該目的種類。

在海膽的分布方面，本研究第一階段調查的結果發現海膽的密度，以平均水深6m處最高，3m次之，9m最低(表1)；而第二階段的調查結果，卻呈現水深3m密度最高，9m次之，6m最少的現象(圖 3)，二次調查的結果並不一致。其差異來源，主要是因為第V區存在數量眾多的海膽分布在9m的水深，而在第一階段的調查，深度僅止於水深7m左右。因此未來進行海膽數量調查時，深度至少應達9m以上，才能涵蓋海膽的棲息深度。

又在第二階段調查的結果中，第I、II、IV區海膽的密度在三種深度間，以3m處最高，6m次之，9m最少，其數量隨著深度的增加而遞減，但統計上並無顯著差異，其原因可能來自海膽呈塊狀分布，即使在同一深度內仍有很大的差異，使得三種深度密度間並無顯著差異存在。曾有研究指出夏威夷兩種海膽(*Echinometra* spp.)的分布和豐富度與水流及伴隨水流而來的藻類碎片有密切的關係，在水流較急促的地方，海膽的數量較豐富(Russo 1977)。本調查結果在3m水深處，由於水淺，受到海浪攪拌的影響較大，水流較強，藻類亦較容易破碎而漂浮在水中，或藻類的生物量較豐富，而較易為海膽所攝食，唯隨著深度的增加，受到海浪的影響隨之遞減，而造成海膽數量在深度上也呈現相似的趨勢。這種數量隨著深度增加而減少的趨勢，也曾在地中海的海膽研究中被發現(Turon *et al.* 1995)。

另外，在卯澳灣外的第V區，海膽大部分集中在9m的深度，推測其原因可能是本區海膽密度受海底底質的影響比水深來得重

要。在第V區海底底質主要為大片礁岩平台所構成，礁岩隨著水深增加平緩下降，約在水深9m左右，礁岩呈現陡降分布。而本區海膽在水深6m以上較少被發現，而在水深9m左右，有許多的海膽分布在礁岩的垂直面上，而此微棲地分布上的差異可能是造成本區海膽的分布與其他第I、II、IV區有如此大的差異結果。

無論就整個海域或小海區或深度來看，種類間均是以白尖紫叢海膽的密度最高，是數量最多的優勢種類。若從小海區間的差異來看，則白尖紫叢海膽在第IV區的密度最高，第I區次之，第V區第三，第II區最少，但是在統計上並無顯著差異(圖 5)。其原因在於該種類的分布為塊狀分布，因此，縱使在某一小海區或某一深度內仍有很大的變異，使得統計檢定上無法顯出差異來。以往曾有研究以10m x 10m的正方形採樣面積調查塊狀分布的海膽，並認為此種大面積的採樣法可以改善採用穿越線法調查海膽的數量時，若穿越線恰好越過海膽群時，數量就高，反之數量就很低，可以因此降低採樣的誤差(Moses and Bonem 2001)。然而若在本海域採用上述大面積樣區以進行調查，似乎也不太適合，因為該海灣除了在第I區地勢較為平緩外，其他各小海區的地勢均很陡峭，因此若採用這種大面積調查法，反而很容易涵蓋到其他深度而造成另一個因子的誤差。為了減小採樣誤差，或許只能藉由增加穿越線的重複數來達成，唯必須投入更多的人力、物力與時間。

本海區所計算的海膽歧異度指數，不論是在單一小海區或單一深度，其數值均不高，並且會隨著白尖紫叢海膽密度的增加，歧異度指數均呈現顯著的減少趨勢，顯示優勢種白尖紫叢海膽對該海域的海膽生物多樣性造成明顯地影響。在肯亞海域中的梅氏長海膽優勢種對冠海膽與藍環冠非優勢種的影

響也曾被提出過 (McClanahan 1988)。

海膽的豐度受掠食者影響很大(Carpenter 1981 ; Lewis 1986 ; McClanahan 1989 , 1995 , 1998 ; McClanahan and Muthiga 1989 ; Morrison 1988 ; Neudecker 1979 ; Pain 1966 ; Wellington 1982)。曾有研究指出, 在未被保護而嚴重過漁的海域, 海膽的密度約為受保護海域的20倍, 其原因為人類的漁撈行為使其主要掠食者數量減少所造成(Silva and McClanahan 2001)。海膽主要的掠食者包括有板機魷(Balistidae)、隆頭魚(Labridae)與龍占(Lethrinidae), 及一些無脊椎動物, 如海星、頭足類等等(McClanahan 2000)。縱使在台灣過去並無關於海膽掠食者的調查研究, 但是本海域優勢種白尖紫叢海膽的掠食者推測也應該包括這些魚類, 這些掠食者魚類以往經常可以在漁船漁獲中被發現, 但是在本調查的過程中卻不常發現到。此外, 白尖紫叢海膽也具有在底質上挖出較本身軀體大2至3倍深的圓柱狀棲息洞穴, 藉此躲避掠食者的攻擊(Russo 1980)。因此本研究推測本海域由於掠食者數量減少, 再加上白尖紫叢海膽特有挖洞穴的生態習性, 使其較能抵禦掠食者的攻擊, 而得以成為本海域的優勢種。

過去的調查指出白尖紫叢海膽、梅氏長海膽、環鋸棘頭帕海膽及白棘三列海膽是屬於豐富常見的種類, 每次調查均可發現10隻以上, 其餘種類則在10隻以下(鄭等 1994 , 1996 , 1997 , 1998), 但是在過去的調查中並無明確敘述所投入的努力量, 如調查面積、人力與時間等有多少, 因此無法與本研究直接作比較。在本研究中, 除了白尖紫叢海膽與梅氏長海膽外, 其餘9種海膽的密度均少於10隻/100m², 數量均相當稀少, 由於海膽是一種晝伏夜出的生物, 到了晚上才開始覓食, 而本調查進行的時間都在白天進行, 可能造成某些種類數量的偏差。

具有經濟價值的種類, 如白棘三列海膽

(*Tripeustes gratilla*)、紫海膽(*Anthocidaris crassispina*)及口鰓海膽(*Stomopneustes variolaris*), 由當地漁民口述及調查(鄭等 1994 , 1996 , 1997 , 1998)得知該海域過去的數量相當豐富, 只因人為過度採捕造成目前數量稀少, 因此, 就物種的保育與資源管理利用而言, 本海域的海膽資源值得未來投入更多心力加以維護。

未來將針對該海域優勢種白尖紫叢海膽進一步探討其族群調節的機制、競爭者、掠食者與微棲地的選擇, 將有助了解海膽在底棲生態系所扮演的角色。

引用文獻

- 王繼忠。1978。台灣東北部岩岸潮間帶底棲無脊椎動物及藻類相群聚結構之研究。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。
- 白振宇。1982。鹽寮灣沿岸底棲無脊椎動物之分布與生態。中國文化大學海洋生物研究所碩士論文。
- 何林泰。1994。台灣東北部岩礁性魚類群聚結構之研究。國立台灣海洋大學海洋生物研究所碩士論文。
- 李坤瑄、陳章波。1994。台灣常見棘皮動物。國立海洋生物博物館籌備處。62頁。
- 林政偉。2001。台灣東北部卯澳灣九孔(*Halotis diversicolor supertexta* Lischke)放流最適體長之研究。國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文。
- 林順康。1995。紫海膽*Anthocidaris crassispina*和口鰓海膽*Stomopneustes variolaris*的生殖週期和晚期幼生餌料實驗。國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文。
- 邵廣昭。1989。台灣魚類之演化與生態-I台灣沿岸魚類之分布、資料庫與群聚生態

- 學之研究(I)：北部、東北部。行政院國家科學委員會科學技術資料中心。
- 張崑雄、詹榮桂、鄭明修、陳育賢、曾晴賢。1992。東北角海岸風景特定區海域、溪流生態及解說資源運用之調查研究。交通部觀光局東北角海岸風景特定區管理處。
- 陳章波、張崑雄。1981。台灣正型海膽。中央研究院動物所專刊20(2): 79-86。
- 曾榮政。1985。台灣東北部沿岸岩礁性仔稚魚苗資源調查。農委會漁業特刊第二號。
- 曾榮政。1990。台北縣、宜蘭縣及花蓮縣沿岸漁業資源保育區生態環境調查及經濟效益評估。台灣省漁業局。
- 曾榮政。1991。台北縣貢寮、萬里及宜蘭縣頭城沿岸漁業資源保育區生態環境調查及經濟效益評估。台灣省漁業局。
- 曾榮政。1994。台北縣水產種苗繁殖場附近卯澳灣及消波塊附近之海域生態調查。中國文化大學生物系。21頁。
- 曾榮政。1996。台灣東北部卯澳灣附近海域九孔放流試驗。中國文化大學生物系。23頁。
- 游祥平、吳錫圭、巫文隆、戴昌鳳、陳章波。1992。台灣生物資源調查及資訊管理研習會論文集—台灣海洋無脊椎動物相之研究概況。中央研究院植物研究所專刊 11: 159-171。
- 辜俊益。2002。台灣東北部海域九孔放流與環境因子關係之研究。國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文。
- 黃淑芳。1999。台灣東北角海藻群聚結構及植物地理之研究。植物科學期刊44(2): 271-298。
- 黃淑芳。2000。台灣東北角海藻圖錄。國立台灣博物館。
- 楊榮宗、戴昌鳳。1982。鹽寮灣的珊瑚群聚。台灣大學海洋研究所報告第13集。
- 葛正中。1980。台灣北部海域馬糞海膽 (*Tripneustes gratilla* (L.)) 生殖生態學研究。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。
- 鄭明修、詹榮桂、馮豐隆、曾晴賢、楊正澤。1994。東北角海岸風景特定區自然生態資源調查與監測(一)。交通部觀光局東北角海岸風景特定區管理處。
- 鄭明修、詹榮桂、馮豐隆、曾晴賢、楊正澤。1996。東北角海岸風景特定區自然生態資源調查與監測(二)。交通部觀光局東北角海岸風景特定區管理處。
- 鄭明修、詹榮桂、馮豐隆、曾晴賢、楊正澤。1997。東北角海岸風景特定區自然生態資源調查與監測(三)。交通部觀光局東北角海岸風景特定區管理處。
- 鄭明修、吳聲海、邵廣昭、曾晴賢、馮豐隆。1998。東北角海岸風景特定區自然生態資源調查與監測(四)。交通部觀光局東北角海岸風景特定區管理處。
- Carpenter, R. C. 1981. Grazing by *Diadema antillarum* Philippi and its effects on the benthic algal community. *Journal of Marine Research* 39: 749-765.
- Chao, S. M. 2000. The irregular sea urchins (Echinodermata: Echinoidea) from Taiwan, with descriptions of six new records. *Zoology Study* 39(3): 250-265.
- Chen, B. Y., and C. P. Chen. 1993. Reproduction and development of a miniature sand dollar, *Sinaechinocyamus mai* (Echinodermata: Echinoidea) in Taiwan. *Bulletin of Institute of Zoology, Academia Sinica* 32(2): 100-110.
- Chen, C. P. 1989. Reproductive biology of echinoderm in Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica* 24: 133-138.

- Chen, C. P., and B. Y. Chen. 1995. Diverticulum sand in a miniature sand-dollar *Sinaechinocyamus mai* (ECHINODERMATA, ECHINOIDEA). *Marine Biology* 119(4): 605-609.
- Fletcher, W. J. 1987. Interaction among subtidal Australian sea urchins, gastropods, and algae: Effects of experimental removals. *Ecological Monographs* 57: 89-109.
- Grunbaum, H., G. Bergman, D. P. Abbott, and J. C. Ogden. 1978. Intraspecific agonistic behavior of the rock boring sea urchin *Echinometra lucunter* (L.). *Bulletin of Marine Science* 28: 181-188.
- Hayasaka, I. 1948. Notes on the Echinoids of Taiwan. *Bulletin of the Oceanographical Institute of Taiwan* 4: 1-35.
- Holbrook, S. J., M. H. Carr, R. J. Schmitt, and J. A. Coyer. 1990. Effect of giant kelp on local abundance of reef fishes: The importance of ontogenetic resource requirements. *Bulletin of Marine Science* 47: 104-114.
- Jones, G. P., and N. L. Andrew. 1990. Herbivory and patch dynamic on rocky reefs in temperate Australian: The role of fish and sea urchins. *Australasian Journal of Ecotoxicology* 15: 505-520.
- Lee, Y. C., H. H. Kuo, and Y. G. Chen. 2002. Discrimination and abundance estimation of wild and released abalone *Haliotis diversicolor* using stable carbon and oxygen isotope analysis in north-eastern Taiwan. *Fisheries Science* 68(5): 1020-1028.
- Lewis, S. A. 1986. The role of herbivorous fishes in the community organization of a Caribbean reef community. *Ecological Monographs* 51: 183-200.
- Margalef, R. 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. *In*: B. Traverso (ed.). *Perspectives in marine biology*. Berkeley, University of California Press. pp. 323-347.
- McClanahan, T. R. 1988. Coexistence in a sea urchin guild and its implication to coral reef diversity and degradation. *Oecologia* 77: 210-218.
- McClanahan, T. R. 1989. Kenyan coral reef-associated gastropod fauna: A comparison between protected and unprotected reefs. *Marine Ecology Progress Series* 53: 11-20.
- McClanahan, T. R. 1995. Fish predators and scavengers of the sea urchin *Echinometra mathaei* in Kenyan coral reef marine parks. *Environmental Biology of Fishes* 43: 187-193.
- McClanahan, T. R. 1997. Primary succession of coral-reef algae: Differing pattern on fished versus unfished reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 218: 77-102.
- McClanahan, T. R. 1998. Predation and the distribution and abundance of tropical sea urchin populations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 221: 231-255.
- McClanahan, T. R. 2000. Recovery of the coral reef keystone predator, *Balistapus undulates*, in East African marine parks. *Biological Conservation* 94: 191-198.
- McClanahan, T. R., and N. A. Muthiga. 1989. Patterns of predation on a sea urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville), on Kenyan coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 126: 77-94.
- Morrison, D. 1988. Comparing fish and urchin

- grazing in shallow and deeper coral algal communities. *Ecology* 69: 1367-1382.
- Mortensen, T. 1943. A monograph of the Echinoidea. *Camarodonta* 3(3): 189.
- Moses, C. S., and R. P. 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.
- Neudecker, S. 1979. Effects of grazing and browsing fishes on the zonation of corals in Guam. *Ecology* 60: 666-672.
- Pain, R. T. 1966. Food web complexity and species diversity. *American Nature* 100: 65-75.
- Pechenik, J. A. 2000. *Biology of the invertebrates*. 4th ed. McGraw-Hill international editions. 490 pp.
- Pielou, E. C. 1966. The measure of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13: 131-144.
- Ricklefs, R. E., and G. L. Miller. 2000. *Ecology*. 4th ed. W. H. Freeman and Company, New York. 547 pp.
- Russo, A. R. 1977. Water flow and the distribution and abundance of echinoids (Genus *Echinometra*) on an Hawaiian reefs. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 28: 396-702.
- Russo, A. R. 1980. Bioerosion by two rock boring echinoids, *Echinometra mathaei* and *Echinostrephus aciculatus*, on Enewetak Atoll, Marshall Island. *Journal of Marine Research* 38: 99-110.
- Sammarco, P. W. 1980. *Diadema* and its relationship to coral spat mortality: Grazing, competition, and biological disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 45: 245-272.
- Shannon, C. E., and W. Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press. 117 pp. (cited from Ricklefs and Miller 2000)
- Silva, M. C., and T. R. McClanahan. 2001. Echinoid bioerosion and herbivory on Kenyan coral reefs: The role of protection from fishing. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 262: 133-153.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1995. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*, 3rd edn. W. H. Freeman, New York.
- Turon, X., G. Giribet, S. Lopez, and C. Palacin. 1995. Growth and population structure of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. *Marine Ecology Progress Series* 122: 193-204.
- Wellington, G. M. 1982. Depth zonation of corals in the gulf of Panama: Control of facilitation by resident fishes. *Ecological Monographs* 52: 223-241.