

綠島珊瑚及星野黑皮海綿覆蓋率之空間分布 及年間變動調查

陳淑麗¹，郭兆揚¹，陳昭倫^{1,2}

¹中央研究院生物多樣性研究中心；²通訊作者 (cac@gate.sinica.edu.tw)

[摘要] 綠島周圍海域珊瑚礁生態系受到星野黑皮海綿大量出現的威脅，所以星野黑皮海綿在綠島的空間分布與年間的變化須進一步的調查。本研究分別於 2007 和 2008 年在綠島，包括北岸的柴口、公館、龍門岩；東岸的柚子湖、睡美人、朝日溫泉、西岸的大白沙與石朗等 8 個樣點，使用隨機穿越線攝影調查法，針對珊瑚礁底棲群聚、星野黑皮海綿覆蓋率、活珊瑚受星野黑皮海綿覆蓋率及星野黑皮海綿覆蓋珊瑚生長形專一性進行隨機穿越線攝影普查，此外也進行不同深度(1-3 m、5-6m、8-10m)的調查。其中公館在 2008 年進行重複調查，以了解各指數在地點間、深度間與時間尺度上是否具有顯著性差異。底棲群聚調查結果顯示，各樣點皆是以珊瑚為主，其中在大白沙、龍門岩、公館、石朗和柚子湖的珊瑚覆蓋率超過 50%，此外軟珊瑚在石朗為 28.63%，顯著高於其他海域。星野黑皮海綿分布在 8 個地點間的覆蓋率亦有顯著的差別。整體而言在北岸與東岸較西岸高，其中柚子湖(東) 12.09%最高、其次為公館(北) 10.92%、睡美人(東) 9.78% 與柴口(北) 6.95%。星野黑皮海綿的分布會隨著深度遞減，顯示其好發在非常淺(1-3 m)的海域。而星野黑皮海綿對覆蓋不同生長形的珊瑚並無專一性，但多覆蓋在表覆形軸孔和表覆形珊瑚上，推測由於這兩種珊瑚在淺水域為優勢，因此此現象可能為海綿與優勢珊瑚在空間上的競爭結果。在公館進行不同年度重複調查結果顯示，底棲群聚及星野黑皮海綿覆蓋率在不同年間皆無顯著差異($F = 2.46, p = 0.08, F = 3.04, p = 0.09$)。整體而言，星野黑皮海綿好發的地區，可能和當地的底棲群聚組成、珊瑚生長形及深度有很大的關係。珊瑚群聚功能群分析(r-K-S analysis)顯示綠島海域中，珊瑚生長形多樣性較高的地點為龍門岩、柚子湖和睡美人，並非是珊瑚覆蓋率高的大白沙與石朗。生長形多樣性高不僅表示當地海域的珊瑚功能群種類較多，受到環境影響時的耐受力(resistance)較佳，也會增加棲地複雜度，提供生物生存、發育的空間，因此應將龍門岩、柚子湖和睡美人列為重點保育標的。此外，r-K-S 分析也顯示綠島底棲群聚受到環境的影響而面臨緊迫，包括颱風、季風、環境變遷與人為活動影響等。

關鍵字：底棲群聚、星野黑皮海綿、石珊瑚生長形、珊瑚群聚功能群

Spatial Distribution and Temporal Variation of the Cyanobacteriosponge, *Terpios hoshinota*, and Benthos Composition on the Coral Reefs of Green Island

Shu-Li Chen¹, Chao-Yang Kuo¹ and Chaolun Allen Chen^{1,2}

¹Biodiversity Research Center, Academia Sinica, Nangang, ² Corresponding author
(cac@gate.sinica.edu.tw)

ABSTRACT Coral reefs around Green Island have been threatened by a massive outbreak of *Terpios hoshinota*, a cyanobacteriosponge, but there is little baseline information on this outbreak. The spatial distribution of benthos around Green Island was initiated in 2007. The distribution of horizontal coverage and depths of *T. hoshinota*, *T. hoshinota* that had invaded coral and other benthos community were studied using random video transect method at eight sampling sites at various depths (1-3m, 5-6m and 8-10m). The investigation also included *scleractinia* morphology and specific invasion behavior in relation to coral morphologies. The eight sites were distributed in three regions, i.e. north coasts of Gongguan (GN), Chaiko (CK), and Longmenyan (LY); east coasts of Youzhu (YH), Shuimeiren (SR) and Wenquan (WQ); and west coasts of Daibaisha (DS) and Shilang (SL). The same investigation was repeated in Gongguan (GN) in 2008 to examine yearly variation. Results showed that benthos community, regardless of sites, were dominated by corals, with over 50% at 4 sites (i.e. DS, LY, GN, and YH) and 35.53% at SL. As for soft coral coverage, SL showed largest coverage with 28.63%. Area covered with *T. hoshinota* varied significantly with sites. The coverage of *T. hoshinota* was found larger at northern and eastern coastal sites than at the western coastal site of the Island. The highest coverages were 12.09%, 10.92%, 9.78% and 6.95% at YH, GN, SR and CK, respectively. All these sites were found in northern and eastern coasts of the Island. The coverage of *T. hoshinota*, more abundant at 1- to 3-m depths, decreased with depth. *T. hoshinota* was a non-specific species to the morphology of coral, but invaded massively on encrusting form of corals. This was perhaps due to the competition of *T. hoshinota* with dominant growth form of encrusting corals. The coverage of benthos communities including *T. hoshinota* at GN was not significantly different between the two-year investigation. It was concluded that the distribution of *T. hoshinota* was controlled by the type of benthos, composition of coral morphology and depth. The r-K-S analyses indicated that biodiversity varied with sites with higher at LY, YZ, and SR, and lower at DS and SL sites that were higher in coral coverage. The r-K-S analyses also indicated benthos community of Green Island has been subjected to natural disturbances (such as typhoon, monsoon) and anthropogenic disturbances at various intensities.

Keywords: benthos community, *Terpios hoshinota*, hard coral morphology, r-K-S

前言

綠島位於台東的東南方海上，是一個屬於典形亞熱帶氣候的火山島嶼。綠島周圍多環繞以裙狀珊瑚礁，過去研究調查的結果發現綠島的珊瑚物種多樣性高，已記錄到石珊瑚 50 屬 168 種，水螅珊瑚 3 屬 6 種，屬於八放珊瑚的笙珊瑚與藍珊瑚各 1 屬 1 種，以及軟珊瑚 11 屬 27 種，所以綠島是台灣珊瑚分布與生物多樣性保育上重要的島嶼(張崑雄等 1991)，但至今尚未針對綠島不同海域的珊瑚群聚進行系統性的描述與調

查，因此造成保育策略或是保護標的選擇上的困難。

依照 1998 至 2004 年台灣珊瑚礁總體檢的活動成果報告，在綠島的珊瑚群聚均未發現有疾病發生的現象(Dai et al. 2005)。但在 2005 年的總體檢調查卻發現綠島的珊瑚可能感染疾病。經初步研究發現該珊瑚疾病是一種黑色的星野黑皮海綿(*Terpios hoshinota*)覆蓋在珊瑚上所造成(Liao et al. 2007)。

星野黑皮海綿為硬海綿目(*Hadromerida*)、皮海綿科(*Suberitidae*)的一種平鋪狀海綿，外觀顏色可能呈現從深灰到黑色，其中

具有特別的圓頭骨針，形狀像大頭針(tylostyle head)。星野黑皮海綿群體相當薄，厚度不到1mm，出水孔極小約3mm，體內含有大量的共生藍綠菌(cyanobacteria)(Rützler and Muzik 1993)。

在1985年關島首度報導星野黑皮海綿大量覆蓋珊瑚群體的現象，當地媒體以「黑病」形容。後續調查顯示星野黑皮海綿的分布甚廣，包括西北太平洋、琉球、台灣、菲律賓及美屬薩摩亞等地(Pulecr-Rosario 1987)。

針對星野黑皮海綿覆蓋珊瑚的現象所進行的生態監測，至今只有以下文獻可供參考。除了初步鑑種之外，Bryan (1973) 認為星野黑皮海綿覆著在石珊瑚比岩礁質上多，而提出星野黑皮海綿可能會利用珊瑚養份的假說。

但 Rosario (1987)提出海綿覆蓋在活珊瑚上是因空間競爭的結果，因經實驗證明，覆著在塑膠玻璃板或珊瑚上的星野黑皮海綿生長速度皆相似。

在關島海域造成星野黑皮海綿覆蓋率增加、海綿覆蓋珊瑚之作用機制仍未知，只推測可能是海洋環境惡化導致星野黑皮海綿大量增生，同時造成珊瑚的健康弱化而無法與星野黑皮海綿競爭空間(Rützler and Muzik 1993)。

在珊瑚礁保育標的的選取，一般評估珊瑚礁狀況使用的指標為活珊瑚覆蓋率(Gomez and Yap 1988)，活珊瑚覆蓋率高於75%視為優等的礁；50-75%為良好；25-50%為尚可；低於25%為貧瘠。

然而這樣的指標忽略了環境干擾、競爭和環境壓力等因子在調控珊瑚多樣性所扮演的角色(Huston 1994)。

因為在活珊瑚覆蓋率極高(高於75%)的地方，往往會有單一優勢種存在，如此不僅降低珊瑚多樣性(Connell 1978)，也會降低空間複雜度導致珊瑚礁魚類的棲地多樣性降低(Roberts and Ormond 1987)，進而減少珊瑚礁漁業的潛能(Munro and Polunin 1997)。

因此 Edinger and Risk (2000)將石珊瑚分為 r-K-S 三種不同功能群(表 1)，r 類(ruderals)，係指生長快速，適合環境擾動大型；K 類(competitors)係指競爭性較強的種類，外觀為葉狀或是分枝形的非軸孔珊瑚的類群、生長起伏較低的珊瑚群體較小形的種類；S 類(stress-tolerators)係指逆境忍受型，生長緩慢，但是可以承受逆境。

並使用 r-K-S 功能群分類評估調查樣點的保育等級之標準(表 2)，選擇最值得投入保育能量的地區。

本調查目的為針對綠島海域的底棲群聚組成與星野黑皮海綿的空間分布進行系統化的描述與調查，以及瞭解星野黑皮海綿覆蓋石珊瑚時是否對石珊瑚生長形有專一性。

因此在綠島的東岸、北岸、西南岸共選 8 個樣點，進行地點間及深度間的比較；此外在不同年度進行重複調查，以了解珊瑚底棲群聚之組成及星野黑皮海綿覆蓋率的消長。

材料與方法

一、調查樣點

在綠島(22° 37' -40'N ,121° 27' -30'E)東岸的朝日溫泉、睡美人與柚子湖；北岸的龍門岩、公館與柴口及西岸的石朗與大白沙共八個樣區(圖 1)，進行底棲群聚及星野黑皮海綿覆蓋率空間分布及年間變化之調查。

二、底棲群聚的定量調查

調查時間為 2007 年 6 月至 2008 年 8 月。在底棲群聚的定量調查上，使用隨機穿越線調查法，在每個調查深度放置 100 m 主線，主線左右各佈設三條 30 m 副線。以數位錄影機距底質上方 50 cm 沿副線拍攝影帶，每條副線的影帶約拍攝約 4 分鐘。

共計拍攝 204 條隨意穿越線。將每段影帶以麥金塔電腦 iMovie 程式輸出後隨機擷取 25 張照片，共 5100 張照片(25 × 25 cm²)，以 JPEG 格式輸出儲存。

表 1. 珊瑚群聚功能群分類表 (Endiger and Risk 2000)

	形態	rKS 類別	例子
軸孔珊瑚	分枝形	r	美麗軸孔珊瑚(<i>A. muricata</i>)
	瓶刷形	r	棘軸孔珊瑚(<i>A. echinata</i>)
	傘形	r	柔枝軸孔珊瑚(<i>A. tenuis</i>)
	指形	r	趾形軸孔珊瑚(<i>A. humilis</i>)
	桌形	r	桌形軸孔珊瑚(<i>A. hyacinthus</i>)
	楔形	r	籬枝同孔珊瑚(<i>Isopora palifera</i>)
	分枝形	K	細柱微孔珊瑚(<i>Porites cylindrical</i>)
非軸孔珊瑚	表覆形	K	網格柔紋珊瑚(<i>Leptoseria mycetoseroides</i>)
	盤形	S	瓣葉珊瑚(<i>Lobophyllia spp.</i>)
	團塊	S	團塊微孔珊瑚(<i>Porites lobata</i>)
	葉形	K	表孔珊瑚(<i>Montipora spp.</i>)
	桌形	R	表孔珊瑚(<i>Montipora</i>)
蕈珊瑚	楔形	S	管孔珊瑚、棘杯珊瑚(<i>Gonioora, Galaxea</i>)
	游離形	K	蕈珊瑚(<i>Fungia spp.</i>)
藍珊瑚		r	藍珊瑚(<i>Heliopora coerulea</i>)
火珊瑚		r	板枝千孔珊瑚(<i>Milleopora tenera</i>)

表 2. 珊瑚群聚功能群保育等級標準 (Endiger and Risk 2000)

保育等級	珊瑚覆蓋率	珊瑚物種豐度	功能群
一 (CC1)	低	低	超過 60%皆為耐受型珊瑚 (stress tolerant)
二 (CC2)	高	低	50%為競爭型珊瑚 (competitive)
三 (CC3)	中低	中高	50%為快速生長型珊瑚 (ruderal)
四 (CC4)	中度	高度	擁有耐受型、競爭型、快速生長型三類功能群珊瑚

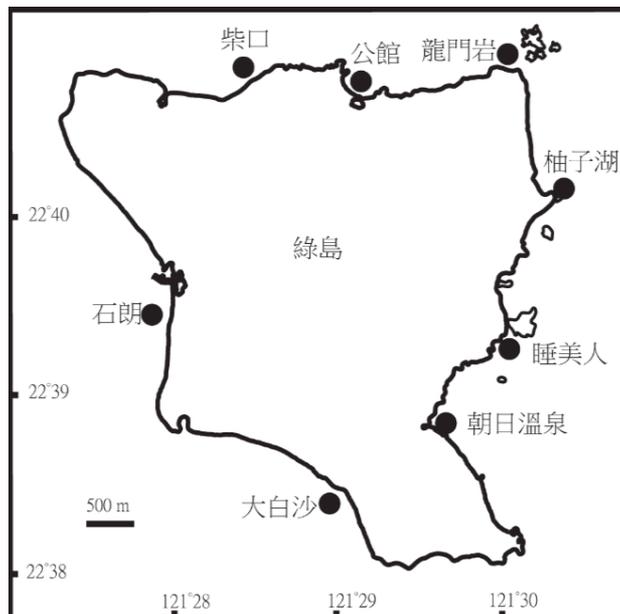


圖 1. 綠島調查地點

使用 CPCe (Coral Point Count with Excel extension, Kohler and Gill 2006)軟體，在每一張圖片中以簡單隨機方式(simple random)灑下 30 個隨機樣點，辨識紀錄每一隨機樣點的底棲類別。

根據 English et al (1997)，將底棲類別區分為石珊瑚、軟珊瑚、藻類〔包括大形海藻(macroalgae)及草叢海藻(turf algae)與殼狀珊瑚藻(crustose coralline algae)〕、星野黑皮海綿(*Terpios hoshinota*)、沙、底質、石礫及其他生物，並進一步計算各石珊瑚生長形的覆蓋率，以及被星野黑皮海綿覆蓋之珊瑚生長形的數量。

石珊瑚生長形依照 Edinger and Risk (2000)的分類方式(表 1)，將軸孔珊瑚以生長形分類為分枝形軸孔、指形、表覆形、楔形、桌形；非軸孔珊瑚類則分為分枝形、表覆形、葉形、團塊形、藍珊瑚、火珊瑚、蕈珊瑚。

三、空間分布

1. 1-3m 深底棲群聚與星野黑皮海綿之空間分布

為了瞭解綠島周邊 1-3 m 深海域底棲類別與星野黑皮海綿覆蓋率的空間分布，使用單因子變異數分析(one-way ANOVA)比較各底棲類別覆蓋率在 8 個地點間是否有顯著差異，並進一步使用 Duncan 事後檢定比較地點間差異。

2. 不同深度底棲群聚與星野黑皮海綿之空間分布

不同深度底棲群聚組成及覆蓋率及被星野黑皮海綿覆蓋之活珊瑚數量：為瞭解綠島的底棲群聚在不同深度的空間變化，使用單因子變異數分析(one-way ANOVA)分別比較公館、柴口和石朗三個地點各地點內，底棲類別覆蓋率在不同深度(1-3 m、5-6 m、8-10 m)間是否有顯著差異，並進一步使用 Duncan 事後檢定比較各地點內深度間差異。

並以地點、深度和底棲類別分別作為三因子，使用三因子變異數分析(three-way

ANOVA)討論底棲類別覆蓋率在三因子間的相互關係。

而在星野黑皮海綿覆蓋率(在基質上+在活珊瑚上，圖 2.1)及被星野黑皮海綿覆蓋之活珊瑚(圖 2.2)數量在不同深度的覆蓋率調查，選擇在 1-3 m 處星野黑皮海綿分布較多的地點，公館、柴口、睡美人、朝日溫泉及柚子湖，進行不同深度(1-3 m、5-6 m、8-10 m)的調查。

分別使用單因子變異數分析(one-way ANOVA)比較五個地點在不同深度海域，星野黑皮海綿覆蓋率及被星野黑皮海綿覆蓋之活珊瑚數量是否有顯著差異，並了解星野黑皮海綿造成活珊瑚威脅概況。

3. 不同石珊瑚生長形覆蓋率及星野黑皮海綿覆蓋石珊瑚生長形專一性分析

為了瞭解星野黑皮海綿在覆蓋石珊瑚時，對石珊瑚生長形是否有專一性，因此選擇公館、柴口、柚子湖、睡美人及朝日溫泉 1-3 米處，為有較多受星野黑皮海綿覆蓋之珊瑚較多的地點，進行不同石珊瑚生長形的覆蓋率的分析，再進一步分析各石珊瑚生長形被星野黑皮海綿覆蓋的數量。

4. 珊瑚群聚功能群分析及保育標的之選擇

為了解八個樣點之珊瑚群聚功能群組成及保育等級，將石珊瑚生長形分為r、K、S三類進行珊瑚群聚功能群分析繪圖，並配合各地點1-3 m之石珊瑚覆蓋率，進行保育標的的選擇。

四、底棲群聚與星野黑皮海綿分布之年間變化

於 2008 年在公館三個深度 (1-3 m、5-6 m、8-10 m)重新進行隨機穿越線調查，以三因子變異數分析(three-way ANOVA)比較底棲群聚覆蓋率、星野黑皮海綿覆蓋率(基質上+活珊瑚上)及活珊瑚被星野黑皮海綿覆蓋率在不同深度、年間、底棲類別間的變化。

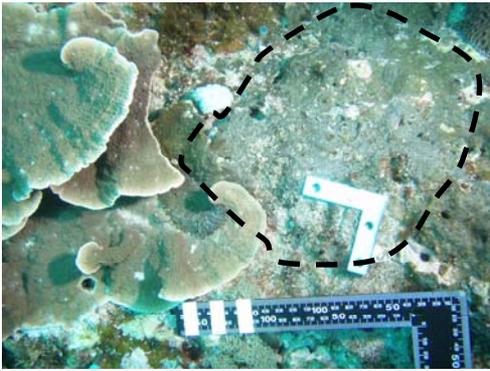


圖 2.1 虛線內為星野黑皮海綿覆蓋在基質上



圖 2.2 虛線內為被星野黑皮海綿覆蓋的活珊瑚

表 3. 1-3m 處底棲類別覆蓋率 (%)

底棲類別/地點	柴口	公館	龍門岩	柚子湖	睡美人	朝日溫泉	大白沙	石朗	F 檢定	自由度	顯著性
石珊瑚	40.65 ^{c,d}	55.34 ^b	58.35 ^{a,b}	48.74 ^{b,c}	36.68 ^{d,c}	27.26 ^c	67.94 ^a	35.53 ^{d,e}	13.92	7	<0.01**
星野黑皮海綿	9.44 ^{b,c}	16.30 ^{a,b}	0.07 ^c	18.39 ^{a,b}	19.99 ^a	13.76 ^{a,b}	1.82 ^c	0.15 ^c	6.46	7	<0.01**
軟珊瑚	1.79 ^b	1.72 ^b	5.56 ^b	2.68 ^b	2.47 ^b	3.55 ^b	7.14 ^b	28.63 ^a	15.27	7	<0.01**
藻類	16.71 ^a	5.62 ^{a,b}	7.51 ^{a,b}	10.87 ^{a,b}	14.43 ^a	2.70 ^b	0.98 ^b	0.49 ^b	2.80	7	<0.05*
殼狀珊瑚藻	3.00 ^c	1.37 ^c	0.42 ^c	6.42 ^b	1.79 ^c	11.62 ^a	0.67 ^c	1.80 ^c	18.01	7	<0.01**
砂、底質、石礫	27.84 ^{b,c}	19.08 ^{b,c}	25.15 ^{b,c}	12.85 ^c	24.00 ^{b,c}	40.36 ^a	20.73 ^{b,c}	26.47 ^{b,c}	3.34	7	<0.05*
其他	0.54 ^b	0.54 ^b	2.91 ^b	0.02 ^b	0.62 ^b	0.71 ^b	0.85 ^b	6.89 ^a	3.24	7	<0.05*

p<0.05 為顯著差異, abc 為組間差異度

結果

一、1-3 m 深處底棲群聚與星野黑皮海綿之分布

底棲群聚結果顯示 8 個樣點中，公館、柴口、龍門岩及大白沙等 4 個地點的石珊瑚覆蓋率皆超過 40%，在不同地點間，珊瑚覆蓋率有顯著差異(F = 13.92, p < 0.01, one-way ANOVA, 表 3)。底質以珊瑚(石珊瑚與軟珊瑚)

為主(覆蓋率高於 50%)的地區，覆蓋率由高到低依序為大白沙(75.1 ± 3.5%)、龍門岩(63.92 ± 3.00%)、公館(57.07 ± 1.56%)與柚子湖(51.42 ± 4.51%)石朗(64.16 ± 1.90%)；朝日溫泉(30.8 ± 3.22%)的珊瑚覆蓋率最低。石朗擁有最高的軟珊瑚覆蓋率(28.63 ± 5.24%)。七個地點皆以石珊瑚為優勢，只有朝日溫泉珊瑚覆蓋率較低，而是以殼狀珊瑚藻和沙、底質與石礫基質為主(40.36 ± 4.03%)。藻類的覆蓋率在石朗最低

($0.49 \pm 0.30\%$)、柴口最高($16.71 \pm 2.99\%$)。星野黑皮海綿覆蓋率(在底質上+在活珊瑚上)在地點間有顯著差異($F = 6.46, p < 0.01, \text{one-way ANOVA}$)，覆蓋率由高到低依序為睡美人($19.99 \pm 4.03\%$)、柚子湖($18.39 \pm 5.27\%$)、公館($16.30 \pm 3.18\%$)、朝日溫泉($13.76 \pm 4.58\%$)與柴口($9.44 \pm 2.64\%$)，而石朗則只有少數的星野黑皮海綿 ($0.2 \pm 0.1\%$)，大白沙無星野黑皮海綿之分布。

二、不同深度底棲群聚與星野黑皮海綿之分布

1. 石朗、柴口與公館在不同深度間進行底棲類別調查結果(圖 3)，柴口的石珊瑚覆蓋率在不同深度有顯著差異($F = 5.09, p < 0.05, \text{one-way ANOVA}$, 圖 2)。在 5-6 m ($61.29 \pm 4.7\%$)與 8-10 m ($58.24 \pm 5.36\%$)的石珊瑚覆蓋率顯著高於 1-3 m ($40.65 \pm 4.68\%$)。

公館的石珊瑚覆蓋率在不同深度有顯著差異 ($F = 4.21, p < 0.05, \text{one-way ANOVA}$)。1-3 m 覆蓋率為 $55.34 \pm 2.24\%$ ，5-6 m 為 $45.57 \pm 3.12\%$ ，8-10 m 為 $51.15 \pm 1.51\%$ 。

石朗的石珊瑚覆蓋率在不同深度有顯著差異($F = 23.38, p < 0.01, \text{one-way ANOVA}$)。在 1-3 m 為 $35.53 \pm 1.90\%$ ，5-6 m 為 $39.16 \pm 3.62\%$ ，8-10 m 為 $14.87 \pm 2.29\%$ 。而軟珊瑚覆蓋率以 8-10 m ($57.97 \pm 2.77\%$)最高，1-3 m ($28.63 \pm 5.24\%$)次之，5-6 m ($12.60 \pm 3.99\%$)最低，在三個深度間有顯著差異($F = 31.06, p < 0.01, \text{one-way ANOVA}$)。

以地點、深度與底棲類別為因子對底棲類別覆蓋率進行的三因子變異數分析顯示，地點間($F = 62.40, p < 0.01, \text{three-way ANOVA}$, 表 4)、深度($F = 5.80, p < 0.05$)與底棲類別 ($F = 327.98, p < 0.01$)對底棲類別覆蓋率皆有顯著影響。但地點間與深度的交互作用對底棲類別覆蓋率無顯著影響($F = 2.01, p = 0.09$)。其餘地點間與底棲類別($F = 6.23, p < 0.01$)、深度與底棲類別($F = 7.18, p < 0.01$)和三因子間($F = 12.69, p < 0.01$)的交互作用皆對

底棲類別覆蓋率無顯著影響。

2. 不同深度間星野黑皮海綿覆蓋率(在底質上+活珊瑚上)調查結果

在 1-3m 處有較多星野黑皮海綿分布的地點(公館、柴口、睡美人、朝日溫泉及柚子湖)進行不同深度上的分布調查結果顯示(圖 4)，除了柴口以外，其餘地點星野黑皮海綿主要集中於淺水域且隨著深度增加而顯著減少。公館 1-3 m 為 $16.31 \pm 3.25\%$ 、5-6 m 為 $1.73 \pm 1.01\%$ 及 8-10 m 為 $0.08 \pm 0.08\%$ ($F = 10.34, p < 0.05$)。柴口 1-3 m 為 $9.44 \pm 2.65\%$ 、5-6 m 為 $12.32 \pm 2.36\%$ 、8-10 m 為 $6.24 \pm 2.87\%$ ($F = 1.33, p = 0.29$)。朝日溫泉 1-3 m 為 $13.76 \pm 4.19\%$ 、5-6 m 為 $4.81 \pm 1.68\%$ ($t = 3.42, p < 0.05$)；睡美人 1-3 m 為 $19.3 \pm 3.75\%$ 、5-6 m 為 $4.23 \pm 1.10\%$ ($t = 3.86, p < 0.05$)，柚子湖 1-3 m 為 $18.35 \pm 4.82\%$ 、5-6 m 為 $12.13 \pm 3.34\%$ ($t = 4.7, p < 0.01$)。

3. 不同深度間活珊瑚被星野黑皮海綿覆蓋之比例

在 1-3m 處有較多星野黑皮海綿分布的地點(公館、柴口、睡美人、朝日溫泉及柚子湖)，受星野黑皮海綿覆蓋之活珊瑚的比例，在深度上統計結果顯示(圖 4)，除了公館沒有差異以外，其餘地點是集中於淺水域且隨著深度增加的數量即減少，均有顯著差異，。公館 1-3 m 為 $9.87 \pm 2.25\%$ 、5-6 m 為 $1.52 \pm 1.07\%$ 、8-10 m 為 0% ($F = 0.89, p = 0.51$)。柴口 1-3 m 為 $2.30 \pm 1.17\%$ 、5-6 m 為 $1.19 \pm 0.36\%$ 、8-10 m 為 $0.45 \pm 0.22\%$ ($F = 4.32, p < 0.05$)。朝日溫泉 1-3 m 為 $5.55 \pm 1.25\%$ 、5-6 m 為 $1.3 \pm 0.82\%$ ($F = 3.338, p < 0.05$)；睡美人 1-3 m 為 $4.65 \pm 1.06\%$ 、5-6 m 為 $4.15 \pm 1.89\%$ ($F = 0.881, p < 0.05$)及柚子湖 1-3 m 為 $7.73 \pm 2.21\%$ 、5-6 m 為 $2.75 \pm 2.01\%$ ($F = 3.01, p < 0.05$)。

三、不同石珊瑚生長形覆蓋率及星野黑皮海綿覆蓋石珊瑚生長形專一性分析

柴口、公館、柚子湖、睡美人及溫泉為

表 4. 底棲類別覆蓋率在地點間、深度、底棲類別的三因子變異數分析

受試者間效應項的檢定					
依變數: 底棲類別覆蓋率					
來源	形 III 平方	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
校正後的模式	1108.25(a)	35	31.66	38.89	<0.01**
截距	3175.74	1	3175.74	3900.82	<0.01**
地點	101.61	2	50.80	62.40	<0.01**
深度	9.45	2	4.72	5.80	<0.05*
底棲類別	801.06	3	267.02	327.98	<0.01**
地點*深度	6.56	4	1.64	2.01	0.094
地點*底棲類別	30.43	6	5.07	6.23	<0.01**
深度*底棲類別	35.10	6	5.85	7.18	<0.01**
地點*深度*底棲類別	124.02	12	10.33	12.69	<0.01**
誤差	146.54	180	0.81		
總和	4430.54	216			
校正後的總數	1254.80	215			

形 III 平方為此效應的平方和是其他效應和與任何包含此效應正交整後的平方和。

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

a $R^2 = .883$ (Adjusted $R^2 = .861$)

表 5. 不同珊瑚形態及被星野黑皮海綿覆蓋之珊瑚形態之數量(不同珊瑚形態/被星野黑皮海綿覆蓋之珊瑚)

	柴口	公館	柚子湖	睡美人	溫泉
表覆形非軸孔	0.5 / 0.2	0.3 / 0.6	0.2 / 0.3	0.3 / 0.9	0.3 / 0.3
表覆形籬枝軸孔	0	0.5 / 0.1	0.1 / 0	0.4 / 0.1	0.5 / 0.02
團塊形非軸孔	0.1 / 0.4	0.03 / 0.1	0.1 / 0.2	0.2 / 0.2	0.1 / 0.2
楔形非軸孔珊瑚	0.2 / 0.1	0.1 / 0.1	0.3 / 0.2	0.1 / 0.1	0.1 / 0.1
楔形軸孔	0	0	0.2 / 0	0	0.1 / 0
分枝形軸孔	0	0	0	0	0
指形軸孔	0	0	0	0	0
桌形軸孔	0.1 / 0	0.1 / 0	0.1 / 0	0	0
分枝形非軸孔	0.1 / 0	0	0	0	0
葉形非軸孔	0	0.01 / 0.1	0	0	0
藍珊瑚	0	0.01 / 0	0	0	0
火珊瑚	0	0.03 / 0.3	0.1 / 0	0	0

星野黑皮海綿 1-3m 處分布較多星野黑皮海綿分布。其主要石珊瑚的生長形及星野黑皮海綿覆蓋石珊瑚生長形專一性分析分析結果(表 5)，在這五個地點的淺水域以非軸孔的表覆形珊瑚、表覆形籬枝軸孔、團塊形非軸孔、楔形非軸孔為主要的石珊瑚生長形。

且主要以表覆形非軸孔珊瑚及表覆形籬枝軸孔珊瑚最容易被星野黑皮海綿覆蓋，其中，公館為珊瑚生長形歧異度最高，但也是最多不同石珊瑚生長形被星野黑皮海綿所覆蓋，包括表覆形非軸孔、表覆形籬、表覆形非軸孔、表覆形籬枝軸孔、團塊形非軸孔、楔形非軸孔、葉形非軸孔及火珊瑚。

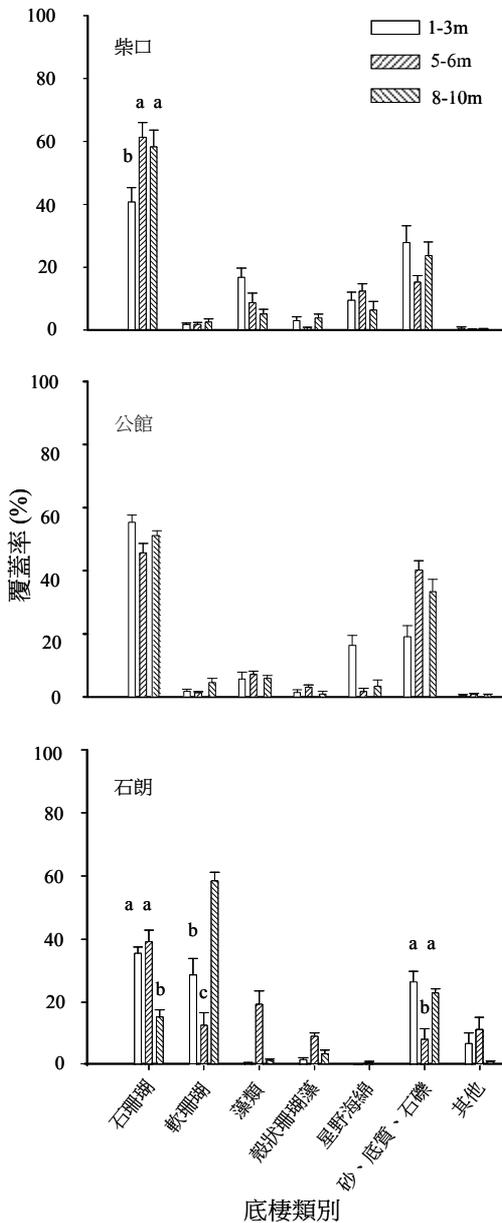


圖 3. 柴口、公館和石朗各底棲類別覆蓋率在不同深度的比較，abc 為組間差異度

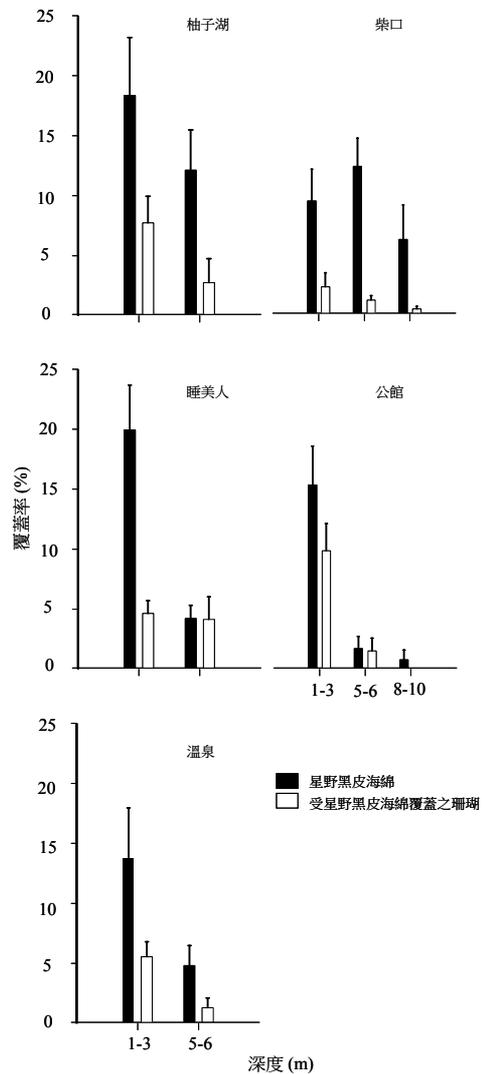


圖 4. 星野黑皮海綿覆蓋率(底質上+活珊瑚上)與被星野黑皮海綿覆蓋之活珊瑚在不同深度的比例

四、珊瑚群聚功能群分析及保育標的之選擇

在八個調查地區，朝日溫泉和公館的石珊瑚中，超過 50%屬於快速(ruderals)生長型的珊瑚(圖 5)，屬於競爭型(competitors)和逆境忍受型(Stress-tolerators)的比例分別為 29.75%與 13.72%，因此屬於保育分類 3(CC = 3)的珊瑚礁。

大白沙、石朗和柴口的石珊瑚中，競爭型的比例皆超過 50%，因此屬於保育分類 2(CC = 2)的珊瑚礁。在龍門岩、柚子湖與睡美人，柚子湖快速生長型的珊瑚和逆境忍受型的比例最高(48.01%與 29.68%)；在龍門岩競爭型的比例最高(43.45%)，且珊瑚覆蓋率為中等，皆屬於保育分類 4(CC = 4)的珊瑚礁。

五、底棲群聚與星野黑皮海綿分布之年間變化

公館海域珊瑚群聚在深度、時間與底棲類別的三因子變異數分析結果顯示，底棲類別覆蓋率在不同深度間相似($F = 2.46, p = 0.08$, three-way ANOVA, 圖 6、表 6)；不同年間無顯著差異($F = 1.24, p = 0.26$)；深度與年份間的交互作用($F = 0.96, p = 0.38$)與深度、年份與底棲類別間的交互作用($F = 2.13, p = 0.05$)皆對底棲類別覆蓋率無顯著影響。但在不同底棲類別間覆蓋率有顯著差異($F = 216.34, p < 0.01$)。石珊瑚為 $42.21 \pm 1.98\%$ ；藻類為 $7.06 \pm 0.71\%$ ；星野黑皮海綿為 $9.33 \pm 2.00\%$ ；沙、底質與石礫為 $37.11 \pm 2.36\%$ 。

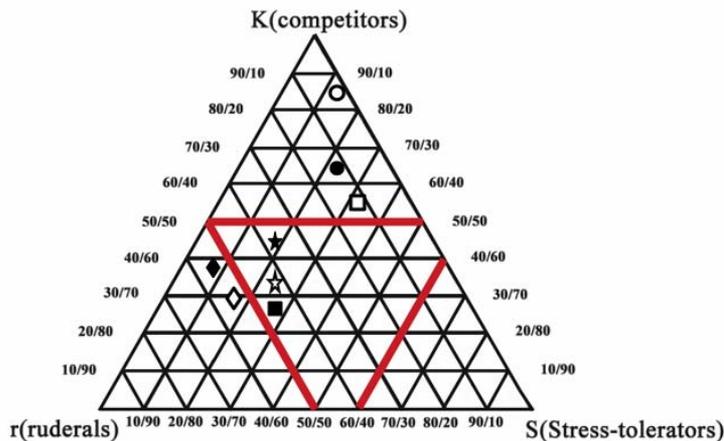


圖 5. 各地點珊瑚群聚功能群 r-K-S 分布圖。○大白沙 ●石朗 ★ 龍門岩 ☆睡美人 ■柚子湖 □柴口 ◇朝日溫泉 ◆公館

表 6. 底棲類別覆蓋率在公館不同深度、年間和底棲類別的三因子多變量變異數分析

受試者間效應項的檢定					
依變數: 底棲類別覆蓋率					
來源	形 III 平方	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
校正後的模式	669.313(a)	23	29.10	36.77	<0.01**
截距	2682.57	1	2682.57	3389.82	<0.01**
深度	3.90	2	1.95	2.46	0.08
年	0.98	1	0.98	1.24	0.26
底棲類別	513.62	3	171.20	216.34	<0.01**
深度* 年	1.52	2	0.76	0.96	0.38
深度* 底棲類別	108.81	6	18.13	22.91	<0.01**
年 * 底棲類別	30.31	3	10.10	12.76	<0.01**
深度* 年 * 底棲類別	10.15	6	1.69	2.13	0.05
誤差	94.96	120	0.79		
總和	3446.85	144			
校正後的總數	764.27	143			
a	R ² = .876 (Adjusted R ² = .852)				

形 III 平方為此效應的平方和是其他效應和與任何包含此效應正交整後的平方和

*p<0.05

**p<0.01

星野黑皮海綿的分布(圖 7)，1-3 m 處由 $16.31 \pm 3.25\%$ 增加至 $25.09 \pm 6.24\%$ ，5-6 m 處由 $1.73 \pm 1.01\%$ 增加至 $8.36 \pm 2.66\%$ ，8-10 m 處由 $0.80 \pm 0.8\%$ 減少至 $0.76 \pm 0.41\%$ 。以年度及深度對星野黑皮海綿覆蓋率進行二因子變異數分析結果，在年度之間並無顯著差異，但在深度之間有顯著的差異($F = 20.77, p < 0.01$)，範圍為至 $8.36 \pm 2.66\%$ 至 25.09% ，在星野黑皮海綿的年度與深度之交互作用並無顯著差異($F = 0.55, p = 0.583, \text{two-way ANOVA}$)。被星野黑皮海綿覆蓋的珊瑚的數量(圖 7)，1-3 m 處由 $9.87 \pm 2.25\%$ 降至 $9.5 \pm 3.9\%$ 。5-6 m 處由 $1.52 \pm 1.07\%$ 增加至 $2.86 \pm 1.13\%$ 。8-10 m 處由 0% 增加至 $0.77 \pm 0.46\%$ 。以年度及深度對被星野黑皮海綿覆蓋的珊瑚的數量進行二因子變異數分析結果，

年度之間並無顯著差異，但深度之間有顯著的差異($F = 20.77, p < 0.01$)，被星野黑皮海綿覆蓋的珊瑚的界於為 $0.76 \pm 0.41\%$ 至 $2.86 \pm 1.13\%$ ，被星野黑皮海綿覆蓋的珊瑚的比例在年度與深度，並無顯著交互作用($F = 0.55, p = 0.58, 14$)。

討論及建議

2004 年綠島珊瑚礁總體檢在 1-3 m 深石珊瑚之覆蓋率，在公館 55.5 %、石朗 31.5 % 及柴口 71.9 %。在此次調查，柴口嚴重下降至 40.65 %，而公館及石朗的石珊瑚覆蓋率則無顯著差異，而石朗仍是軟珊瑚分布最多的樣點(戴昌鳳等 2004)。但由於只以覆蓋率作為珊瑚礁評估準仍顯不足，因覆蓋率無法表

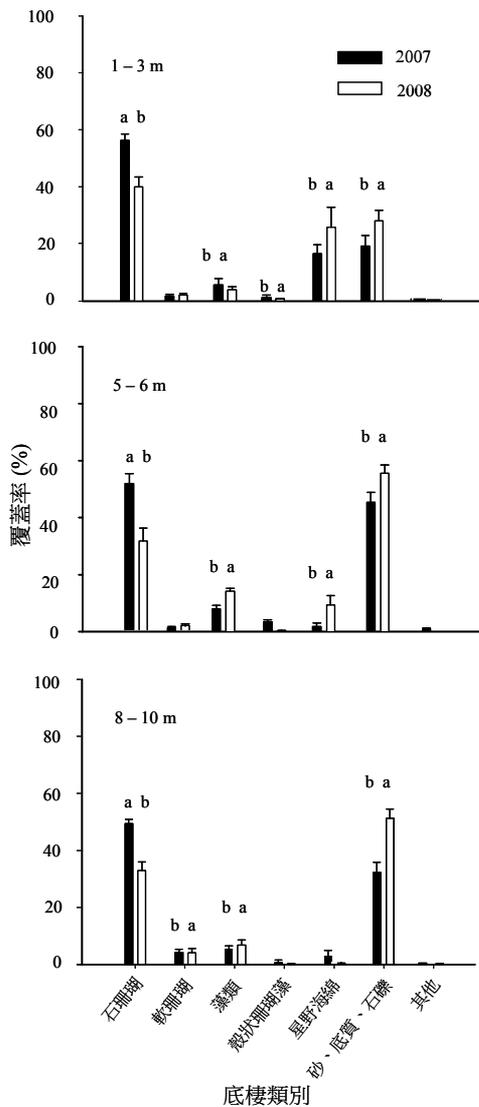


圖 6. 公館在不同深度的底棲類別覆蓋率之年間變化，abc 為組間差異度

現出珊瑚群聚的功能群多樣性，即使覆蓋率高，但若群聚組成為單一或少數物種，這樣生態系的功能並不健全，在面對環境衝擊時的抵抗力(resistance)以及受到衝擊後的回復力(resilience)皆偏低。因此結合珊瑚覆蓋率與生長形功能群資料交互比較，評定綠島之珊瑚礁狀況決定珊瑚礁保育優先順序，結果顯示綠島不同海域間生長形組成有顯著的差異，且多數的珊瑚礁都受到環境壓力的影響

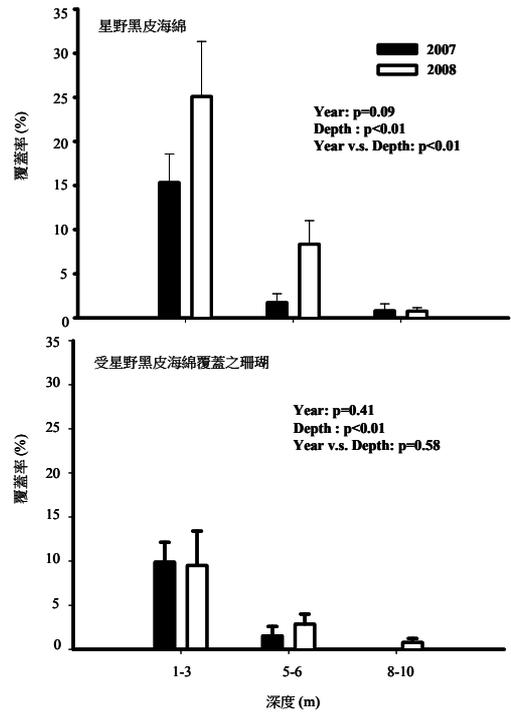


圖 7. 星野黑皮海綿覆蓋率(底質上+活珊瑚上)和被覆蓋珊瑚在公館不同深度、不同年間的比較

而呈現緊迫的狀態，以列入優先保育的龍門岩、柚子湖及睡美人因珊瑚覆蓋率中等，且生長形包含競爭型、快速生長型及逆境低抗型，多樣性較高，能夠提供生物多樣的棲地選擇，所以珊瑚礁群聚較為健全，但其中柚子湖與睡美人正高度受到星野黑皮海綿之威脅，所以應立即進行珊瑚礁群聚保育之行動。

在星野黑皮海綿數量異常增加研究方面，除了珊瑚疾病以外，食珊瑚生物如：棘

冠海星(*Acanthaster planci*)(Endean 1973)及白結螺(*Drupella cornus*)(Stoddart 1989)都有可能因海洋水質惡化，而導致族群數量異常增加，許多的珊瑚因而受到威脅。對照 Brayn (1973)的研究結果，在關島的星野黑皮海綿主要也是分布在近岸；離岸處及水流較急處則顯少有星野黑皮海綿分布，而綠島的星野黑皮海綿也是集中在 1-3 m 處，地點主要在北岸(公館及柴口)及東岸(朝日溫泉、睡美人及柚子湖)，北岸為人為活動區，東岸推測可能是綠島的垃圾掩埋場有關。在西岸之石朗雖然也是人為活動地區，但星野黑皮海綿覆蓋率低，推測因其星野黑皮海綿主要覆蓋在硬的基質上，而西岸的珊瑚礁群聚則以非硬基質的異軟珊瑚(*Xeniidae*)為主，而在綠島星野黑皮海綿調查計畫之海洋物理分支計畫進行的綠島水流速度初步調查結果，也發現石朗之水流速度也較快(7.7 m s^{-1})，並且 Coll (1982)認為因為軟珊瑚通常具有毒性的化合物，是星野黑皮海綿不會生長在軟珊瑚上的可能原因。本調查結果發現星野黑皮海綿主要生長在硬的底質上，所以星野黑皮海綿大量的增生可能除了海洋物理環境因子還需與棲地組成結合才是主要因素。

在 Rützler (1993)初步調查，星野黑皮海綿會覆蓋在微孔珊瑚、軸孔珊瑚、表孔珊瑚、角星珊瑚、繩紋珊瑚及瓣葉珊瑚上。本實驗量化星野黑皮海綿覆蓋珊瑚形態分類結果顯示，以公館活珊瑚被覆蓋的生長形來看，星野黑皮海綿覆蓋石珊瑚時似乎對生長型沒有專一性，但主要以表覆形珊瑚及表覆形軸孔珊瑚最容易被覆蓋，可能跟這兩類形為綠島珊瑚礁淺水域優勢群，或生長形和星野黑皮海綿相似，較容易拓殖覆蓋有關。

依據調查結果，顯然在短時間內無法得知星野黑皮海綿對珊瑚礁覆蓋率在年度間的影響。所以可能需進一步研究星野黑皮海綿之生理上的消長速度。所以期望在未來能夠建立固定穿越線，針對嚴重感染區定時定點觀察星野黑皮海綿之消長並配合海洋化學物

理研究，建立長期生態監測以了解星野黑皮海綿大量繁生與覆蓋活珊瑚的機制。

致謝

感謝內政部營建署國家公園提供計畫(編號 96 營署 A-058 號)研究調查經費，綠島居福潛水蔡居福船長以及蔡新洋先生協助潛水作業，使本計畫的野外調查工作得以順利完成；營建署國公園組王俊堯先生及余澄堉先生，在計畫執行期間提供行政支援與寶貴的意見；感謝中央研究院生物多樣性研究中心綠島珊瑚礁實驗室協助野外調查，在此一併鳴謝。本文為中央研究院生物多樣性研究中心綠島珊瑚礁實驗室著作號壹號。

引用文獻

- 張崑雄、詹榮桂、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。
- 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。行政院農業委員會。
- Bryan PG. 1973. Growth rate, toxicity, and distribution of the encrusting sponge *Terpios* sp. (Hadromerida: Suberitidae) in Guam, Mariana Islands. *Micronesica* 9:237-242
- Coll J. 1982. Chemical defenses in soft corals (Coelenterata: Octocorallia) of the Great Barrier Reef: a study of comparative toxicities. *Marine Ecology Progress Series* 8: 271-278
- Connell JH. 1978. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science* 199, 1302 – 1320
- Dai CF, TY Fan, HY Hsieh, S Hong and AY Jeng. 2005. Report of Reef Check 2005 in Taiwan. The 11th Taiwanese Coral Reef Conference, 20 p. (abstract in Chinese)
- Edinger EN and MJ Risk. 2000. Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biological Conservation* 92:1-13.
- English S, C Wilkinson and V Baker. 1997. Survey manual for tropical marine resources 2nd Edition: Australia Institute of Marine Science, pp.34-51.
- Endean R. 1973. Population explosions of *Acanthaster planci* and associated destruction of

- hermatypic corals in the Indo West Pacific region. In: O. A. Jones and R. Endean (eds.) Gomez ED and HT Yap. 1988. Monitoring reef condition In: Kenchington, R.A. and Hudson, B.E.T. Editors, 1988 Coral reef management handbook UNESCO regional office for science and technology for southeast Asia (ROSTSEA), Jakarta, pp. 171-178.
- Huston MA. 1994. Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes. Cambridge Univ. Press, New York, 681 pp.
- Kohler KE and SM Gill. 2006. Coral point count with excel extensions (CPCe): A visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers Geosciences* 32:1259-1269.
- Liao, MH, SL Tang, CM Hsu, KC Wen, H W, WM Chen, JT Wang, PJ Meng, WH Twan, CK Lu, CF Dai, K Soong, CA Chen. 2007. The "Black Disease" of reef-building corals at Green island, Taiwan- outbreak of a Cyanobacteriosponge, *Terpios hoshinota* (Suberitidae: Hadromerida). *Zoological Studies* 46: 520.
- Munro JL and NCV Polunin. 1997. A decade of progress in coral reef fisheries research: 198-1995. Proc. 8th Intl. Coral Reef Sym. 2, 2003-2008.
- Plucer RG. 1987. The effect of substratum on the growth of *Terpios*, an encrusting sponge which kills corals. *Coral reefs* 5: 197-200.
- Roberts CM and RFG Ormond. 1987. Habitat complexity and coral reef fish diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. *Marine Ecology Progress Series* 41, 1-8.
- Rützler K and K Muzik. 1993. *Terpios hoshinota*, a new cyanobacteriosponge threatening Pacific reefs. *Scientia Marina* 57: 395-403.
- Stoddart JA. 1989. Fatal attraction. *Landscape* 4(4): 14-20.