

RES072

保育研究報告第72號



RES072

(47.P)

中華民國自然

生態保育協會

合作

墾丁國家公園海域尖枝列孔珊瑚及
其共棲甲殼類之生態研究

張 崑 雄 鄭 明 修

內政部

墾丁國家公園管理處
營建署

中華民國七十九年十月

墾丁國家公園海域尖枝列孔珊瑚及 其共棲甲殼類之生態研究

執行單位：中華民國自然生態保育協會

計劃主持人：張崑雄 教授

協同計劃主持人：鄭明修

參與研究人員：詹榮桂、陳仲吉、翁啟山、
陳淑珍、湯程進

內政部
墾丁國家公園管理處
營建署

中華民國七十九年十月

目錄

中文摘要	1
英文摘要	2
緒言	4
研究項目及方法	9
結果與討論	12
一、尖枝列孔珊瑚成長的研究	12
二、尖枝列孔珊瑚與水溫的關係	13
三、共棲甲殼類種類之分析	19
四、共棲十腳類群聚結構之分析	21
結果與建議	23
參考文獻	28
圖表說明	33

摘 要

本研究針對墾丁國家公園海域所產尖枝列孔珊瑚，調查其成長情形及其對較高水溫的殘存反應，並分析其共棲甲殼類的種類和數量，進而探討共棲十腳類與宿主珊瑚彼此之間相互依存的關係。研究結果將可提供做為墾丁國家公園海域珊瑚礁生態系環境監測及擬定指標生物的基礎資料。

尖枝列孔珊瑚是墾丁國家公海域內常見的石珊瑚種類之一，其群體的成長為半球體狀；在12個標識群體所測得的年成長率約在4.8~10.9cm/year，平均值為7.2cm/year。

根據自1987年至1990年，核三廠出水口西側淺灣至貓鼻頭附近，珊瑚類受熱排水污染而有白化或死亡現象的調查結果中，發現尖枝列孔珊瑚對水溫昇高的反應特別敏感，而且在水深5公尺以深處，僅有尖枝列孔珊瑚有白化現象。

在逐漸加溫實驗中得知尖枝列孔珊瑚在32℃水溫下24小時，有白化現象。在34℃水溫下，則只需6小時，就有白化現象產生，同時其共棲甲殼類也有逃逸和死亡的情形。

共棲十腳類的種類和個體數均隨宿主珊瑚群體大小的增大而增加。在21種主要共棲動物中，個體數最多的前十種均為十腳類；其中包括2種槍蝦(珊瑚槍蝦和鮮紅假槍蝦)以及3種扇蟹類(毛掌梯形蟹、網紋梯形蟹、和白背梯形蟹)。上述這些十腳類可能與尖枝列孔珊瑚有著共生的關係。

ABSTRACT

This report presents results from a preliminary study on some aspects of the ecology of the bushing coral, Seriatopora hystrix Dana, at Kenting National Park area. These include the growth rate, its survival responses to thermal effluent, and the living association with crustaceans.

S. hystrix is a stony coral commonly found in the marine regime of the Kenting National Park. The living colony holds a hemispheric form. The yearly growth rate based on diameters of 12 tagged colonies ranged between 4.8 and 10.9 cm. The mean value is 7.2 cm/year.

Results from surveys conducted during 1987-1990 at the western side of the opening of the thermal discharge canal of the Third Nuclear Power Plant showed that in the summer seasons most coral living in the depth less than 3 m bleached. Moreover, in the local coral community S. hystrix is by far the most sensitive one to the thermal changes. Thus at some places only S. hystrix were found bleached in the depth of 6 m.

When colonies of S. hystrix were exposed to each final temperature by gradually increasing temperature in the laboratory, bleaches occurred at 32°C after 24 hour exposure, whereas at 34°C colonies bleached

after 6 hour exposure. In the later case, crustaceans which inhabited the coral colony would either leave the colony or died.

In the field totally 21 species of coral-inhabiting crustaceans were found in S. hystrix colonies. In addition, both the species number and the abundance of the coral-inhabiting crustacean increased with the increase of the colony size. All the ten crustaceans which were decapods. Among the ten decapods, 2 alpheid shrimps (Alpheus lottini and Synalpheus charon) and 3 xanthid shrimps (Trapezia cymodoce, T. areolata, and T. guttata) were likely to be obligatory symbionts of S. hystrix.

墾丁國家公園海域尖枝列孔珊瑚及其共棲

甲殼類之生態研究

緒言

墾丁國家公園是目前我國唯一涵蓋珊瑚礁海域的國家公園，由於該海域的水溫適宜，水質清澈，又有充足的光照，因此，環境條件頗適合於珊瑚類的生長；然而，珊瑚本身不但是構成整個海域生態系的基本架構，提供其他海洋生物，如：魚類、蝦蟹類、貝類、棘皮動物、多毛類等棲息、覓食、繁殖和蔽護的場所，而且也有積極建造珊瑚礁的功能。因此，墾丁國家公園海域也是台灣本島珊瑚類生長最佳和珊瑚礁發育最完整的地區，其生態資源保育和合理利用的重要性，自不待言。

尖枝列孔珊瑚(*Seriatopora hystrix*)是一種廣泛分佈於印度、太平洋珊瑚礁區的珊瑚種類，也是墾丁國家公園海域內優勢的珊瑚種類。它可生活在各種不同的珊瑚礁環境中，其中以水深 2~10 公尺處生長較為茂盛；其群體分枝交錯分佈，呈灌木叢狀，形態富於變化，且隨生長環境而異，尤以海流的強弱和沉積物的多寡，對其形態有決定性的影響。其珊瑚石在分枝上縱向排成列狀為該屬珊瑚之明顯特徵；生活群體為淡褐色或黃褐色（戴，1986，1987；張和戴，1987）。

在尖枝列孔珊瑚的分枝間和其骨骼中棲住著許多動物，而這些動物和珊瑚之間的關係因種類不同而異，它們倆之間

可能發展出某種程度的互利共生，片利共生或寄生等共棲關係(association)(Garth, 1964; Kundsén, 1966; Roberson, 1970; Bruce, 1977, 1980; Gastro, 1976; Patton, 1976; Glynn, 1983)。

有關造礁珊瑚共棲動物的研究，國內外學者們最近二十年來陸續發表了許多報告，其中大部份以分枝狀造礁珊瑚之共棲十腳類甲殼動物做為研究對象。縱觀其研究範圍，大多數集中在於共棲動物的種類、數量、分佈和其宿主珊瑚(host coral)的種類、群體大小和生長環境之間的關係上。此外，有些報告則涵蓋了共棲動物群聚的組成及其宿主專一性(host specificity)的研究(Garth, 1964; 1974a; 1974b; Kundsén, 1966; Patton, 1976; Bruce, 1976a, 1976b, 1977; Castro, 1976; Austin et al., 1980; Abele and Patton, 1976; Coles, 1980; Sloan, 1982, Chang et al., 1987)。

一般常見的分枝狀造礁珊瑚的共棲動物群聚以十腳類甲殼動物為主，並且其中又以屬於扇蟹科(Xanthidae)之Trapemonidae亞科的蟹類(Trapeziz及Tetralia)，長臂蝦科(Palaemonidae)之Pontoninae亞科的蝦類及槍蝦科(Alpheidae)等種類及數量最多；至於共棲動物群聚的豐富量，則和珊瑚群體的大小有關(Patton, 1974; Abele, 1976; Abele and Patton, 1976; Austin et al., 1980; Edwards and Emberton, 1980)。同時，珊瑚成長所在的深度對其共棲動物的組成有所影響(Edwards and Emberton, 1980)。除此之外，珊瑚群體的生長狀況是否良好亦顯著地影響此群聚之組成(Coles, 1980)。

珊瑚因遭受環境壓力而產生褪色變白的現象謂之白化 (bleaching)；事實上，白化是因為共生藻被珊瑚蟲排出所造成的，而且珊瑚會因為高溫和低鹽度的刺激而發生白化現象。根據廖(1986)實驗結果顯示白化珊瑚顏色的差異，並非共生藻色素量的變化所造成而是其它的機制所控制；在白化過程中除了共生藻數目逐日減少外，共生藻外表形態和色素的組成都有顯著的變化。在國外報告中，以低鹽度所造成的白化現象最常為人所發現，並加以報導(Goreau, 1964; Coles and Jokiel, 1978; Jaap, 1979; Egana and DiSalro, 1982; Harriot, 1985)。然而由於高溫致使珊瑚白化的報告則越來越多，也有更多的證據支持海水溫度的升高，會造成珊瑚的白化(Coles et al., 1976; Jokiel and Coles, 1974, 1977; Glynn, 1984; Lasker et al., 1984; Atwood et al., 1988; Causey, 1988; Causey et al., 1988; Hoegh-Guldberg and Smith, 1989)。但現有的報告都是探討珊瑚外表顏色變化的觀察結果，而無具體的實驗數據資料；尤其是水溫升高時，珊瑚從共生藻被排出變白，以致於珊瑚群聚內共生動物的遷移行為反應，都一直未曾有學者在這方面研究探討過。

在國外，從十九世紀就有學者開始研究魚蝦貝類的溫度適應，在實驗室的條件下，發展出各式各樣的方法來度量魚蝦貝類溫度適應的能力。其中有的以致死溫度限制(thermal lethal limit)做為實驗設計。最早是由定速率加溫或減溫方式，直到目前仍有許多人採用此一方法 (Menasveta, 1981

; Feminella and Matthew, 1984; Matthews, 1986)。所得的訊息中以「最大臨界溫度」(the critical thermal maximum; CTM)最足以說明魚類在生理上所受的壓力及適應(physiological stress and adaptation)的情形(Paladino et al., 1980)。另一種方法,把魚從馴養溫度直接放入設定溫度中。我們可稱之為「急速變溫」,根據所得的資料可得到「最初上限致死溫度」(the upper incipient lethal temperature; UILT)和「最初下限致死溫度」(the lower incipient lethal temperature; LILT)。由於珊瑚種類不像魚類能自由移動,而且魚類的死亡判定以鰓蓋不動和魚體受物理刺激不再有所反應即可,但是珊瑚的死亡判斷並不像其他動物來得容易。

根據 Yang 等人於 1980 年所發表『南灣沿海的珊瑚與水溫的關係』的報告中,是以選擇南灣沿海所產的九種造礁珊瑚及五種軟珊瑚為實驗材料,在後壁湖港附近之臨海實驗室內,進行一連串珊瑚與水溫關係的生物分析(biossay),但是在當時南灣海域內並沒有珊瑚白化事件發生,所以在其選定實驗用珊瑚種類中,就沒有考慮到以對水溫最具敏感性的種類——尖枝列孔珊瑚作為材料。

然而,最近兩年來,每逢七月炎夏季節,核能三廠熱廢水由出水口排放入灣內時,常導致出水口西側凹灣至貓鼻頭近岸處,水深0至5公尺的造礁珊瑚白化死亡(蘇等,1988);根據實地潛水調查發現,在所有白化的珊瑚種類中,又以尖枝列孔珊瑚(Seriatopora hystrix)最為顯著,而且其所

棲住的共生蝦蟹類會在珊瑚白化死亡之前遷移或逃逸。

有關尖枝列孔珊瑚對不同水溫所引起的反應情形，以及棲住在珊瑚裡面的蝦蟹類跟宿主珊瑚彼此之間的相互依存關係，一直未曾有這方面的研究報導過；因此，在白化事件發生前，並無任何指標生物或監測資料可以佐證，以便提供作為本海域海洋生物即將遭受生存威脅的預警。同時，為了充實墾丁國家公園海域珊瑚礁生態環境監測及指標生物的基礎資料，本研究即以尖枝列孔珊瑚在實驗室條件下，以逐漸加溫和急速變溫兩組在不同的水溫下實驗，並觀察記錄其群體(colonies)外表體色變化，以便進一步了解該種珊瑚在失去共生藻(zooxanthellae)，經過褪色(pale)，白化(bleached)，死亡等各階段情形。所以本調查研究旨在了解尖枝列孔珊瑚對較高水溫的殘存反應，以及其共生蝦蟹類與宿主珊瑚彼此之間相互依存的群聚行為，其結果將可充實墾丁國家公園海域珊瑚礁生態系環境監測及指標生物的基礎資料，並做為環境評估，資源保育和學術研究的依據。

研究項目及方法

一、尖枝列孔珊瑚成長率的測定

珊瑚類的成長率，可經由測量其線性、面積、體積及重量的增加表示。由於尖枝列孔珊瑚的群體是以團塊狀成長，較常使用的方法為面積測量法，以水肺潛水方式至現場，以游標尺測量所測量所標識珊瑚群體的長和寬。然而為求其群體在現場的增加量，顯示整個群體蓄積鈣質的鈣化速率 (calcification rate)，在採用測量直徑方法時，仍將測量群體的高度，以探討尖枝列孔珊瑚在自然環境下的成長情形。

標識尖枝列孔珊瑚成長的群體標本有兩處：一處位在出水口右側淺灣內，水深4~8公尺之礁石或水泥塊上；另一處則位在南灣靠近入水口海域，水深約10公尺之礁石上。每隔兩個月測量一次。

二、尖枝列孔珊瑚與水溫的關係之實驗

實驗所需要的標本是搭船前往採樣區，在水深 3-6 公尺之淺水珊瑚礁區，以水肺潛水方式 (SCUBA)，先利用封口塑膠袋包裹珊瑚群體，防止共棲動物的逃逸，再以潛水刀挖取健康完整之群體，帶至船上水槽內，立刻攜回實驗室水族箱中蓄養。每個實驗用珊瑚群體的濕重約 0.8~1.0Kg 範圍內。實驗用水族箱大小為長60公分，寬30公分、高45公分。實驗期間一直有光照、打氣。

本實驗共分成兩組：

A、逐漸加溫組：

本組實驗又分為兩種加溫範圍：28→32℃和28→34℃，每種加溫範圍又分成4種時間的加溫速度，即以6、12、24、和48小時的時間，分別加溫達到該項實驗所需溫度的上限、再觀察記錄珊瑚群體的狀況。每項實驗重覆一次，每個水族箱均放置2個珊瑚群體。

B、急速變溫組：

本組實驗是先將五個水族箱中的海水加溫，使成為五種不同溫度(30~38℃，每隔2℃為一種測試溫度)；再將蓄養在28℃海水一天的尖枝列孔珊瑚群體，分別放入不同溫度的水族箱中各2個；實驗期間均為6小時，實驗重覆一次；觀察記錄每個水族箱中珊瑚群體的反應情形。

三、共棲甲殼類種類之鑑定與分析

為了解白化後之尖枝列孔珊瑚群體與健康珊瑚群體之間，甲殼類種類之群聚變異情形，則分別檢視採集白化死亡的珊瑚與健康珊瑚群體，先測量其濕重，再行敲碎，並仔細檢取棲住於分枝間之共棲動物，攜回實驗室。在解剖顯微鏡下進行各種類的鑑定，並記錄各種類的個體數與其大小。從這些資料中再分析何種共棲動物對宿主珊瑚有否相互依存的關係。

四、共棲十腳類群聚結構之分析

尖枝列孔珊瑚共棲十腳類的群聚結構以種歧異性指數 (species diversity index) 及其內的兩種成份：均衡成份 (evenness) 及差異成份 (heterogeneity) 來表示。歧異指數 (H') 以 Shannon-Weaver 之訊息理論的有偏估值計算 (Pielou, 1966a, 1966b; Dickman, 1968), 其計算式如下：

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln (n_i/N)$$

P_i 為第 i 個共棲十腳類所佔的比率

n_i 為第 i 個共棲十腳類的個體數

N 為共棲十腳類的總個體數

S 為共棲十腳類的種數

均衡成份 (e) 以 Pielou (1966) 的公式計算如下：

$$e = H' / \ln S$$

差異成份 (d) 以 Margalef (1958) 的公式計算：

$$d = (S - 1) / \ln N$$

共棲十腳類的豐富量 (abundance) 定義為每公升生活空間內棲住之十腳類的個體數；生物量 (biomass) 則定義為每公升生活空間內棲住的十腳類總重量。

佔所有尖枝列孔珊瑚共棲十腳類之總個體數的 1% 以上，且個體數多於 2 隻的十腳類，為尖枝列孔珊瑚的主要共棲十腳類。佔採樣之所有共棲動物總數的 0.5% 以上的共棲十腳類，為採樣所有珊瑚的主要共棲十腳類。

結果與討論

一、尖枝列孔珊瑚成長的研究

本項研究共標識20個尖枝列孔珊瑚的群體，自1989年10月25日起，於1990年2月6日、4月4日、5月23日、7月18日，至9月28日止，共計測量6次。期間因受風浪影響、致使標識牌脫落或遭受破壞而無法使用的群體共有8個；因此，具有連續成長資料的群體只有12個，其成長結果如圖1所示。

若就一年資料所得，以每一個群體最長直徑的差值表示其成長速度，則12個群體的年成長值約在4.8~10.9cm/year；平均值7.2cm/year；標準偏差值(standard deviation)為1.82。就整個群體成長方向而言，在其群體週遭若無任何珊瑚或藻類與其競爭時，則成長方向為半球體狀發展，且長和寬值趨向於均等，但是長和寬的測量值均比向上成長的高值要來的大。

另外為了解南灣海域內尖枝列珊瑚群體大小的分佈情形，選擇南灣海域水深約10公尺的礁盤上，測量約5x5m²範圍內，30個大小不等的群體，若以長和寬表示其群體大小，則如圖2所示。其中有5個群體與周遭其他種珊瑚有重疊競爭，導致於長和寬值差異較大，另外以25個群體求得長和寬兩者之間的直線迴歸關係式為：

$$Y_{\text{寬}} = -0.658 + 0.938 X_{\text{長}}$$

相關係數(correlation coefficient) r 為 0.985，

positive correlation)。

尖枝列孔珊瑚在墾丁國家園海域各種不同的珊瑚礁環境中均可發現，群體形態亦隨生長環境而異，尤其以海流的強弱和沈積物的多少，對其形態有決定性的影響。雖然珊瑚的成長並非立即反應環境的狀況，但卻能提供長期累積性的資料，作為生態研究的重要依據，所以說珊瑚的成長是其反應環境條件的綜合記錄，而尖枝列孔珊瑚對環境的敏感度非常高，成長又快，對於評估長期性的影響，具有重要的意義。

二、尖枝列孔珊瑚與水溫的關係

(1) 珊瑚與水溫的關係：

珊瑚同魚類和其他海洋無脊椎動物一樣，都是水生的外溫動物 (ectotherm) 或稱變溫動物 (poikilotherm)，缺乏一個維持體溫的調節機構，所以周遭水溫的溫度深深的影響到珊瑚的發生、成長、生理與分佈等等。但是珊瑚類並不能像魚類和其他可移動或游動之無脊椎動物，能夠遷移或選擇適合其生理運作最佳的水溫區域棲息，而完全被動地受周遭的水溫所左右。因此，溫度是影響珊瑚生長的重要因子。一般而言，造礁珊瑚在水溫 $23\sim 28^{\circ}\text{C}$ 之間生長最佳， 18°C 以下的低溫和 30°C 以上的高溫，都不利於珊瑚的生存。

珊瑚蟲綱各類珊瑚的顏色呈現變異頗大，例如葡根珊瑚目 (Stolonifera)、藍珊瑚目 (Coenothecalia) 和柳珊瑚目 (Gorgonacea) 等五顏六色變化繁多，它們的顏色呈現主要是由骨骼或骨片中含有各種的類胡蘿蔔素及動物性蛋白

色素所致 (Kennedy, 1979)。但石珊瑚的變化則不然，因其碳酸鈣骨骼呈白色，故其顏色的呈現當肇因於共生藻光合色素 (Jaap, 1973)。石珊瑚的共生藻是屬於渦鞭毛藻門，所有石珊瑚都有共生藻共生，也都是屬於同一種共生藻 Symbiodinium microadriaticum Freudenthal (Blank and Trench, 1985)。共生藻在珊瑚細胞內是一不具鞭毛的形態，呈球形，直徑約 $10\sim 15\mu m$ ，黃褐色 (Kevin et al., 1969)，然而這些共生藻能隨環境差異而呈現不同的顏色，因此也使得石珊瑚具有許多種色彩，同時共生藻更對珊瑚的新陳代謝和骨骼的堆積具有非常重要的貢獻，不過當珊瑚在環境不適宜的時候，也會失去它們的共生藻，形成「白化」現象。

石珊瑚因受環境壓力而褪色變白的現象謂之白化(bleaching)，白化是因共生藻被珊瑚蟲排出所造成。根據國外學者報導，石珊瑚會因為高溫和低鹽度的刺激而發生白化，其中以低鹽度降低所造成的白化現象最為人所發現；然而國內目前所發生珊瑚白化現象，並沒有因大量雨水或河川水造成海水鹽度降低，而導致珊瑚白化。至今國內曾經發生過珊瑚白化的現象，則為核能電廠熱排水影響和船帆石附近因落山風吹襲所導致冷水團上升所造成的，此乃海域內水溫不正常的高低溫造成珊瑚本身無法適應所引起的白化現象。茲就上述兩種高低溫造成珊瑚本身無法適應所引起的白化現象，在此作簡單說明：

a. 高水溫

自從1987年7月初首次發現在核能三廠排水口附近，電廠

排水口以西至雷打石西側沿岸的珊瑚群聚，在水深5公尺以淺處呈現大量白化現象，部份珊瑚種類的白化且延伸至水深8~9公尺之間（張和戴，1987；Fan, 1988）。而後，除1990年外，每年七月均有白化現象在該海域發生（圖3.），其中又以1988年8月，珊瑚白化現象的海域擴展至貓鼻頭北邊影響範圍最為寬廣（鄒，1988，1989）。經實地潛水勘查結果發現，在此範圍內以0~3公尺處的珊瑚白化率幾乎達100%；3~5公尺間約有50%的珊瑚群體白化，而5公尺以深白化比例甚低，且僅有尖枝列孔珊瑚有白化現象。

核能三廠所排放出之冷卻廢水流入南灣海域後，會遭受地形、海流等因素影響擴散至他處。根據湯和黃（1979）的報告中指出在出水口處漲退潮時的潮流都是北向南潮流，流經貓鼻頭外海再與東向西（漲潮潮流流向）或西向東（退潮潮流流向）會合後流向灣外，由此可知溫排水流向都靠近雷打石至貓鼻頭岸邊水域，所以在珊瑚白化現象發生時，所測量該處表層海水的溫度在34~35℃之間。如此高溫的海水，滯留在電廠排水口至雷打石間的灣內，或擴展至貓鼻頭，由於得不到適當的稀釋，再加上天候炎熱，持續高溫使得珊瑚群體無法忍受生理上的壓力而排出其共生藻，於是呈現白化現象。

經過調查結果顯示，對溫度升高最敏感的珊瑚種類為尖枝列孔珊瑚，接著為板葉千孔珊瑚（Millepora platyphylla），其次為細枝鹿角珊瑚（Pocillopora damicornis）、萼形柱珊瑚（Stylophora pistillata）、疣鹿角珊瑚（Pocillopora

verrucosa)、桌形軸孔珊瑚(Acropora hyacinthus)、細枝軸孔珊瑚(A. nana)和盤枝軸孔珊瑚(A. latistella)等。軟珊瑚類對高水溫也很敏感，但僅少數種類分佈於淺水域中，它們大致都已受熱排水的影響而白化，有些甚致崩解死亡，這些種類包括：聚指形軟珊瑚(Sinularia numerosa)，分離指形軟珊瑚(S. exilis)、簡易指形軟珊瑚(S. facile)和藍綠肉質軟珊瑚(Sarcophyton glaucum)。

若能使水溫不再升高，則部份白化不嚴重的珊瑚種類將可重新獲得共生藻，並逐漸恢復顏色，倘若因水溫持續過高時，部份珊瑚因無法抗拒絲狀藻或珊瑚藻的侵入而死亡。此一事件，讓我們了解，珊瑚類對溫度的敏感程度並不一致；對溫度敏感的種類，顯然可以做為未來監測溫度對珊瑚影響的指標生物；同時珊瑚體的白化，可以做為它們受到環境壓力的預警指標，只要後續的處置得當，珊瑚或許可以恢復生機。

b. 低水溫

1988年11月24日於南灣船帆石一帶海域曾發生深海冷水團上升，以致於發生魚類死亡或游動遲緩的現象，根據當天測得水溫為 14°C ，比平時冬季南灣最低水溫 20°C 左右低了許多。根據黃（1989）的研究指出台灣沿岸表面水溫與海岸外一、二十公里的海面水溫非常接近，而唯一的例外是在鵝鑾鼻附近海面，鵝鑾鼻西側表面水溫一般比其東南方約20公里外的海面水溫低約 $1\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，也就是在船帆石至鵝鑾鼻沿岸，在有東北季風時，所產生的落山風吹襲易引起表面海水吹

離岸邊，引入較低溫之深層海水補充（此種現象稱為湧升流 upwelling）有著密切的關係（圖4）。根據當時潛水者觀察發現在香蕉灣、船帆石一帶有部份珊瑚開始有白化現象，顯然是因寒冷水團侵入岸邊所致（珊瑚適溫在 18°C 以上）。

(2) 逐漸加溫組：

將採獲完整之活體尖枝列孔珊瑚樣本放入 28°C 水槽中蓄養一天之後，再進行實驗。本組共有8個水族箱進行連續加溫觀察，每個水族箱中放入了2個珊瑚群體，並觀察記錄不同時間下珊瑚群體分泌粘液、珊瑚白化和共棲甲殼類死亡等3種現象，代表珊瑚群體遭受溫度壓力的反應，其結果如表1所示。

由逐漸加溫組之實驗結果中得知尖枝列孔珊瑚在 31°C 水溫下，即產生生理上不適宜的反應，因此若長期暴露於 $30\sim 31^{\circ}\text{C}$ 之溫度下，珊瑚將逐漸失去共生藻，經過褪色（pale）、白化（bleached）等階段、終告死亡。若在24hrs 短時間內， 32°C 水溫亦將引起白化現象。Yang(1980)報告中指出南灣珊瑚對水溫之反應，因種類及溫度高低而有差異，在 33°C 以上時，珊瑚反應強烈，死亡急速，但 *Fungia* spp. 等七種珊瑚在 33°C 維持六天後，驟然降回常溫，亦能恢復健康，由此可見尖枝列孔珊瑚對水溫反應為高敏感的種類。

對於棲住在尖枝列孔珊瑚群體內之共棲甲殼類，對水溫增高之反應，在水溫 33°C 以上時即有逃逸和死亡現象，尤其是長臂蝦類、槍蝦類和扇蟹類反應較快，先逃離珊瑚群體，然後逐漸死亡，而其中不乏與尖枝列孔珊瑚有共生關係的種類，例如：*Alpheus lottini*、*Trapezia areolata*、*T.*

guttata 和 T. cymodoce 等。

(3) 急速變溫組

本組試驗所用之尖枝列孔珊瑚群體，先在28℃水槽中蓄養一天之後，在五個加好不同溫度的水族箱內各放入2個群體，觀察珊瑚及其共棲甲殼類之反應。在五種固定溫度中，30℃和32℃組珊瑚在六小時觀察期間並無任何明顯反應發生。在34℃組，全部甲殼類都未逃離宿主珊瑚群體，經過6小時後，全部甲殼類都未見死亡，珊瑚則有白化現象。當珊瑚群體放入36℃組時，從珊瑚群體內立即有2尾長臂蝦，1尾扇蟹，2尾槍蝦逃離珊瑚群體，6小時後水變濁，珊瑚有白化現象，除了寄居蟹（hermit crab）未見死亡個體外，其餘甲殼類全部死亡。

在38℃組，則發現全部甲殼類種類逃離珊瑚群體，蟹類立即倒地，1分鐘後死亡；槍蝦類的大小螯先自割，1分半鐘後死亡；寄居蟹類脫離貝殼，4分鐘後死亡；海水於1小時後有明顯混濁及珊瑚白化現象。由上述觀察結果中，可以發現急速變溫對珊瑚影響很大，當水溫超過34℃以上時，不但珊瑚在短時間內有白化現象，同時共棲甲殼類亦無法適應，紛紛逃離宿主珊瑚或產生劇烈刺激，進而死亡。

Hoegh-Guldberg(1989)曾經以尖枝列孔珊瑚和萼形柱珊瑚(Stylophora pistillata)在溫度、光照和鹽度突然改變下，觀察其共生藻的族群密度和排出所受到的影響，結果得知光照和鹽度並沒有明顯影響其共生藻的族群密度；然而若是兩種珊瑚從控制組27℃水溫中，突然轉移至30℃和32℃的水中，其共

生藻被逐出珊瑚體的速率將比控制組高過1000倍以上，並且白化的速度也變得較快，很顯然溫度對這兩種珊瑚而言，都是極為敏感的。再根據核三廠出水口西側珊瑚白化的種類中，會在水深6公尺的深處有白化現象者，只有發現到尖枝列孔珊瑚一種而已；因此當我們在選擇海域環境監測的指標生物時，可以優先考慮到它。相信以尖枝列孔珊瑚對環境如此敏感，它們的生長和生存的良好否將可做為環境品質的指示燈。

溫度的適應(thermal tolerance)是受基因的控制(Brett, 1970)，所以研究珊瑚的溫度適應，將可進一步了解珊瑚的生理生態，在實際應用價值上，將可作為環境監測上的指標生物，提供核能電廠設計運轉冷卻系統的 ΔT (出入水口溫度差)標準的參考，以減輕對當地海域海洋生物資源的危害 (Haven and Ginn, 1978)。

三、共棲甲殼類種類之分析

自從1987年8月以後，因海水溫度升高，而引起白化死亡的尖枝列孔珊瑚群體，則分佈在出水口西側淺灣內，經過3年來利用另案計劃前往該處採集，如今已採獲因白化而死亡的群體計有10個。但是健康的珊瑚群體則分別採自墾丁國家公園海域各處，其中以南灣、雷打石、紅柴、小灣、香蕉灣和萬里桐為主要調查測站，共計32個群體。將所採獲的珊瑚群體，檢視每一個群體內棲住的甲殼類種類，經過鑑定分類和計數個體數量，目前已發現有16種共棲的槍蝦種類(表2)，其中只有2種只出現在健康的群體，在白化後死亡的群體中則

未曾發現；這兩種槍蝦分別是珊瑚槍蝦(Alpheus lottini)和鮮紅假槍蝦(Synalpheus charon)，可能與尖枝列孔珊瑚之間有共生的關係存在。在數量上，以珊瑚槍蝦最多，而且幾乎每個健康的群體中至少有1對以上；其次為細足槍蝦(Alpheus gracilipes)、厚螯槍蝦 (A. pachychirus)、和Synalpheus tumidomanus三種。然而細足槍蝦也是白化死亡珊瑚群體中的顯著種類，因為在同樣大小的珊瑚群體中，在白化死亡珊瑚內它的個體數比較多。

雖然共棲十腳類的個體總數，有隨著宿主珊瑚群體大小的增大而增多的情形，但是其中共棲槍蝦種類的個體數量，則未隨著增多(圖5)；同時，共棲槍蝦的數量佔其十腳類總數量的百分比與其宿主珊瑚群體的重量大小，彼此之間亦無顯著的相關性存在(圖6)。在共棲槍蝦數量上佔最多數的珊瑚槍蝦，其棲位於每個尖枝列孔珊瑚群體內的個體數量，並未明顯隨著宿主珊瑚群體的增大而增多(圖7)，此種原因可能是與珊瑚槍蝦有強烈的領域行為有著密切關係。

在蟹類方面，目前已鑑定出5科26種，其中以扇蟹科的種類和數量最為豐富，其中又以梯形蟹屬(Trapezia)的種類與尖枝列孔珊瑚之間具有共生關係，例如：毛掌梯形蟹(Trapezia cymodoce)、網紋梯形蟹(T. areolata)、和白背梯形蟹(T. guttata)等棲息於健康的群體，而未見於白化死亡的群體；而且在健康的群體中，這3種扇蟹在數量上佔有顯著的地位。根據潛水實地觀察甲殼類的遷入情形，發現扇蟹類比槍蝦類較早出現在尖枝列孔珊瑚群體的分枝間；目前曾發現在群體直徑

5公分以上，即有扇蟹類的毛掌梯形蟹和白背梯形蟹進住。至於槍蝦類則在直徑約8公分以上的群體才可發現。

在共棲蝦蟹類中，除了扇蟹和槍蝦外，就以寄居蟹、瓷蟹、和長臂蝦類較為常見。寄居蟹在白化死亡的群體內個體數量有明顯增多。長臂蝦類，則以白背珊瑚蝦(*Coralliocaris superba*) 偶而可以見到。

在珊瑚礁生態系中，存在著許許多多有趣的共生關係，其中甲殼類和珊瑚之間的互利共生關係，是許多學者所樂於探討的問題。Glynn(1983)提到甲殼類與珊瑚的共生關係有助於保護珊瑚，其中分枝狀珊瑚中的槍蝦和扇蟹能攻擊侵略者棘冠海星(*Acanthaster planci*)，並以其大螯鉗剪斷海星的棘；例如棲住在尖枝列孔珊瑚上珊瑚槍蝦(*Alpheus lottini*)和梯形蟹(*Trapezia* spp.)都有此種共演化(coevolution)的行為反應發生。同時這些共生的蝦蟹本身在分枝狀空間裡，亦有一雌一雄的配對現象和領域行為，對外來的蝦蟹亦有攻擊和防衛的本能。根據調查分析的結果顯示，有共生關係的蝦蟹類除了對宿主可能有專一性外，本身亦可能有遷移的習性；同時在尖枝列孔珊瑚白化死亡的群體中，可能因食物來源的中斷，而使得這些共生的蝦蟹類遷移至其它的健康群體。

四、共棲十腳類群聚結構之分析

採樣期間自1987年起迄今，共計採獲32個健康群體和10個白化死亡群體。其群體濕重約在0.4~2.5Kg範圍內。由這32個健康的尖枝列孔珊瑚群體中，一共採得共棲動物約85種

，合計2148隻。其中以十腳類為主，共約53種，計1860隻，佔總個體數的86.6%。在這些共棲動物中，大部份種類所出現的個體數較少，是為偶發性的共棲動物；而出現的個體數超過總個體數的0.5% (11隻) 的主要共棲物共有21種。

在這21種主要共棲動物中，個體數最多的前10種均為十腳類，共有997隻，佔十腳類總個體數的53.6%或所有共棲動物46.6%。在這10種中，有五種為槍蝦：Alpheus lottini、A. gracilipes、A. pachyurus、Synalpheus tumidomanus、和S. charon等；三種梯形蟹：Trapezia cymodoce、T. guttata和T. areolata等；一種為寄居蟹Calcinus seurati及一種瓷蟹Lithoporcellana spinuligera (表 3)。

尖枝列孔珊瑚之共棲十腳類的種類及個體數均隨珊瑚群體的大小增大而增加，此與Abele and Patton (1976)及Austin (1980)研究Pocillopora damicornis的結果一致。同樣的Edwards and Emberton (1980)研究Stylophora pistillata共棲十腳類的個體數和種類均隨珊瑚群體增大而增加。就比較整個白化死亡珊瑚群體與健康體內十腳類的組成而言，其種的歧異度在白化死亡群體比健康體要來得高，顯然經過白化死亡的群體內，十腳類重新補充加入群體空間的種類要比逃離的種類來的多。

結論與建議

珊瑚類是墾丁國家公園海域生態系中最重要自然資源之一。其多彩多姿的形態、鮮艷的色彩和亮麗的外觀，是海洋中最引人注目的焦點，足以提供人們休憩活動的場所，而成為非常重要的景觀和生態資源。然而珊瑚礁是一個敏感而脆弱生態系，它極易受環境條件變動的影響，也經不起輕微的打擊，任何環境因子的變動都會對其造成嚴重的影響，其主要原因有三：(1)在生理上，適合珊瑚生存的環境條件很狹窄；(2)珊瑚礁生物間相互依存的關係，易受污染物的加入而改變，而污染物只要破壞珊瑚礁生態系中的一環，整個生態系都會面臨崩潰的危機；(3)污染物質的作用，往往隨著溫度的升高而增加，珊瑚礁溫暖的海水，會加強污染物的效應（張和戴，1987）。

近年來，墾丁國家公園的旅遊人口與日俱增，所帶來的污染源也日益增多；瞭解這些污染源及其可能帶來的危害，是資源保育和環境監測的第一步。茲將墾丁國家公園海域內已發生及具有潛在威脅的污染的類別及其對珊瑚的可能影響，以及環境監測與指標生物，分述如下：

1、熱排水污染：

由於珊瑚只能生長在狹窄的溫度範圍內，因此熱帶地區的電廠排放高於環境溫度的海水，對珊瑚可能造成的破壞是劇烈的，

大部份的珊瑚若暴露在 32°C 的海水中，24小時之內就會有白化現象，這個溫度只比夏天的平均水溫高出少許，因此值得特別重視。珊瑚對溫度升高的反應，首先是失去其共生藻而白化，接著其生理代謝作用受影響而中止，最後死亡，而且珊瑚幼蟲在水溫升高的情況下，也不會附着。

核能三廠的熱排水，曾於1987年至1989年，每年七月初水溫升高時，造成珊瑚的大量白化現象，甚至部份珊瑚種類因而死亡；雖然1990年七月未再發生白化現象，而且有部份珊瑚種類恢復生機，但是曾經有過珊瑚白化的海域已無往日蓬勃的生機和優美的景觀。然而此事件，仍然值得我們警惕，在未來水溫較高的夏季六、七、八、九月份，應該實施密集的監測，隨時注意水溫的升高，適度採集降載措施，或啟用噴灑系統，以輔助熱廢水水溫之降低，或將核三廠現有兩部機之大修時間，調至六至九月間，以有效解決熱廢水之排放；惟有如此；方能確保排放口附近珊瑚的永續利用。

2、沉積物污染：

清澈水質是珊瑚生長的先決條件；雖然珊瑚對於輕微的沉積物具有自淨的能力，但是它們並不能忍受水質混濁及沉積物多的環境，而且由於它們是固著生活的生物，當環境中的沉積物增多時，它們無法逃避，所受到的影響包括（1）多量的沉積物把珊瑚掩埋而窒息死亡；（2）較少量的沉積物會降低珊瑚的成長速率；（3）沉積物會阻礙珊瑚幼蟲的附着；（4）改變珊瑚群聚的種類組成。此外，由於泥沙等沉積物不易被分解或清除，因此一旦它們流

入沿岸水域後，其影響是持久的。

墾丁國家公園最近正從事大規模的土木建設，如觀光大飯店、沿岸的景觀道路和港澳擴建等，這些工程的水土保持工作，應該予以嚴格管制，才能確保沿岸的珊瑚群聚，不受沉積物增加的危害。

3、有機污水的污染：

污水對珊瑚礁生態系的影響，依其作用過程，可分為三大類，即營養鹽的加入，有機顆粒的沉積和毒素的產生等，而且這些影響作用都會危害到珊瑚的生存。污水一般來自於家庭、工廠、旅館、社區、餐廳等的排水，這些都是人為的活動所造成的，也隨著人為活動的增加而增加，對於開發做為觀光區的珊瑚礁生態系而言，這是很難避免的污染，也可以說是隨著旅遊人口的增加，污水的污染也日益嚴重。

墾丁國家公園海域有污水污染之虞的地區，主要在於住家、飯店和旅館集中的沿岸區，如：墾丁青蛙石附近、南灣附近、後壁湖港及山海港口附近等，瓊麻工廠的排水口也是有機污水的污染源。

4、油污染

珊瑚礁油污染的可能來源，包括：船隻擱淺、港口船隻廢棄油、油輪滲出、海底輸油管破裂等。油污染對珊瑚短期的影響包括油污染會破壞珊瑚組織，使珊瑚黏液的分泌大量增加，使珊瑚蟲的活動遲緩，改變或破壞珊瑚的表層細胞等。許多報導皆指出

油污染的珊瑚群聚，珊瑚的死亡率會增加，覆蓋率減低，繁殖能力降低，珊瑚幼體大量減少等。油污染的長期影響，則反映在珊瑚礁生物群聚結構、種類和數量上的改變上。從以上資料顯示珊瑚礁生態系易受油污染的影響。

墾丁國家公園海域雖不曾有嚴重油污染的記錄，但是油污染的來源仍須密切注意，尤其是漁港內船隻的廢棄油及水上摩托車的廢棄機油等應予妥善管制。

環境監測與指標生物：

環境監測的目的在偵知環境壓力的存在及其對生物體或生物群聚的影響。化學和物理方法的監測，能夠區別環境中污染物的量、種類、甚至於來源，但是唯有生物監測，才能告訴我們這些污染物質如何對生物體產生不良的影響及影響有多大等；而且生物體可做為追蹤污染物質在環境中的移動、聚集，轉化及其對生物體的影響等。

生物監測在追蹤污染物質的作用過程中，不但是必需的步驟，同時它有許多優於物理或化學監測的優點，例如：(1) 生物體能提供連續的記錄，生物聚積污染物的過程和歷史，能提供環境中污染物的長期而且連續的記錄；(2) 生物體能增加監測的敏感度；(3) 生物體能提供污染物質交互作用的複雜訊息；(4) 生物體能提供污染物質在自然環境下綜合影響的訊息 (張和戴, 1987)。

就選擇海域環境監測的指標生物而言，珊瑚具有成為良好指標生物的潛力；因為珊瑚是行固著生活的生物，群體的年齡長，

分佈廣泛，對污染物也很敏感，因此才能成為優良的指標生物。但是在墾丁國家公園海域內眾多種類的珊瑚中，那一種才是最佳的指標生物呢？根據最近四年來的調查結果顯示，對於水溫升高最為敏感的珊瑚種類，首推尖枝列孔珊瑚(圖7A)。從核三廠出水口西側白化珊瑚種類中(圖7B.C)，在水深 6公尺以深處，只有發現到尖枝列孔珊瑚有白化現象(圖7D)；而且當海水溫度高達 30°C 以上時，則其群體有快速白化現象，其共生藻的族群密度亦隨之有明顯減少的情形。

根據實驗室的實驗結果，則顯示出尖枝列孔珊瑚在水溫 32°C 中，只需24小時即有白化現象，顯然尖枝列孔珊瑚是一種對水溫升高極為敏感的種類，同時由於它們的分佈相當廣泛，而且群體成長的速率又快，因此可能是良好的指標生物種類；同時與其共棲的甲殼動物種類中，可能至少有二種槍蝦和三種扇蟹類(圖7E.F.G.H.1)與它之間有相互依存的共生關係存在，是值得我們繼續探討的方向，以期能更有效達成海域環境監測的目的。

參考文獻

- 陳育賢 1983, 台灣分枝狀造礁珊瑚共棲十腳類甲殼動物之研究, 台灣大學海洋研究所碩士論文。66pp.
- 張崑雄, 戴昌鳳 1987, 墾丁國家公園海域珊瑚礁及海洋生物生態研究……海域珊瑚類的分佈及群聚生態學之研究, 內政部營建署墾丁國家公園管理處保育研究報告第42之4號, 77pp.
- 黃世任 1989, 台灣附近海域水面溫度分析及衛星遙測之應用, 國立台灣海洋學院海洋研究所, 碩士論文, 48pp.
- 湯麟武, 黃煌輝, 1979, 台灣電力公司核能三廠熱污染擴散研究試驗及林口火力電廠實測分析研究報告。成功大學, 台南水工試驗所, 研究試驗報告第42號 157pp.
- 鄒燦陽 1988, 墾丁國家公園海域熱排水對珊瑚種類敏感度之調查分析, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第1號, 17pp.
- 鄒燦陽 1989, 墾丁國家公園海域珊瑚白化調查分析, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第2號, 31pp.
- 戴昌鳳 1986, 墾丁國家公園海域珊瑚礁類分類學暨生態學之研究。內政部營建署墾丁國家公園管理處保育研究報告第30號, 158pp.
- 戴昌鳳 1987, 珊瑚與珊瑚礁, 墾丁國家公園解說手冊 VI, 100 pp.
- 廖至維 1987, 石珊瑚共生藻光合色素分析及其白化現象之研究, 中山大學海洋生物研究所碩士論文, 45pp.
- 蘇仲卿, 洪楚璋, 江永棉, 譚天錫, 張崑雄, 邵廣昭, 黃鵬鵬, 李國添, 黃哲崇, 黃奇瑜, 范光龍, 葉顯極, 1988, 台灣南部核能電廠附近海域之生態研究。第九年執行報告及電廠運轉對生態環境之初步評估報告。中央研究院環科會, 專刊第五十九號。394pp.

- Abele, L. G. 1976. Comparative species richness in fluctating and constant environments: Coral-associated decapod crustaceans. *Science* 192:461-463.
- Abele, L. G. & W. K. Patton 1976. The size of coral heads and the community biology of associated decapod crustaceans. *J. Biogeography* 3: 35-47.
- Atwood, D. K., J. C. Sylverster, J. M. Morell, A. Mendez, W. J. Nodal, B. E. Huss & C. Foltz 1988. Sea surface temperature anomalies for the Caribbean, Gulf of Mexico, Florida Reef Track and the Bahamas considered in the light of the 1987 regional coral bleaching event. *Proc. Assoc. Is. Mar. Lab. Caribb.*, Vol. 21, p.47.
- Austin, A. D., S. A. Austin & P. F. Sale 1980. Community structure of the fauna associated with the coral *Pocillopora damicornis* (L.) on the Great Barrier Reef. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 31: 163-174.
- Bruce, A. J. 1976a. Coral reef caridea and "commensalism". *Micronesica* 12:83-98.
- Bruce, A. J. 1976b. Shrimp and prawns of coral reefs, with special reference to commensalism. In: Johns, O. A. & R. Endean (eds) *Biology and geology of coral reefs*, Vol. III, Biology II, pp. 37-94. Academic Press, New York.
- Bruce, A. J. 1977. The hosts of the coral-associated Indo-West Pacific pontonine shrimps. *Atoll Research Bull.* No. 205.
- Bruce, A. J. 1980. The pontonine shrimp fauna of Hong Kong. *Proc. 1st Internatl. Mar. Biol. Workshop: The marine flora and fauna of Hong Kong and Southern China*, Hong Kong. (Eds. B. S. Morton and C. K. Tseng) pp. 233-384. Hong Kong, Hong Kong Univ. Press.
- Brett, J. R. 1970. Temperature; Animal; Fishes, In O. Kinne (ed.) *marine ecology*. Wiley-Interscience. London-New York. 1:525-573.
- Castro, P. 1976. Brachyuran crabs symbiotic with scleractinian corals: A review of their biology. *Micronesica* 12 (1): 99-100.
- Causey, B. D. 1988. Observations of environmental conditions preceding the coral bleaching event of

1987. Proc. Assoc. Is. Mar. Lab. Caribb., Vol. 21, p. 48.
- Causey, B. D., J. C. Halas, J. H. Hudson & W. C. Jaap 1988. Zooxanthellae expulsions in Florida reefs during 1987. Proc. Assoc. Is. Mar. Lab. Caribb., Vol. 21, p. 51.
- Chang, K. H., Y. S. Chen & C. P. Chen 1987. Xanthid crabs in the corals, Pocillopora damicornis and P. verrucosa of Southern Taiwan. Bull. of Marine Science, 41(2): 214-220.
- Coles, S. L. 1980. Species diversity of decapods associated with living and dead reef coral Pocillopora meadrina. Mar. Ecol. Prog. Ser. 2: 281-291.
- Coles, S. L., P. L. Jokiel & C. R. Lewis 1976. Thermal tolerance in tropical versus subtropical Pacific reef coral, Pacific Science. 30(2): 159-166.
- Coles, S. L. & P. L. Jokiel 1978. Synergistic effects of temperature, salinity and light on the hematypic coral Montipora verrucosa. Marine Biology. 49: 187-195.
- Edwards, A. & H. Emberton 1980. Crustacea associated with scleratinian coral, Stylophora pistillata (Esper), in the Sudanese Red Sea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 42: 225-240.
- Egana, A. C. & L. H. Disalvo 1982. Mass expulsion of zooxanthellae by easter island corals. Pacific Science. 36(1): 61-63.
- Fan, K. L. 1988. The thermal effluent incident of the third nuclear power plant in southern Taiwan. Acta Oceanographica Taiwanica. 20: 117-125.
- Feminella, J. W. and W. J. Matthews 1984. Intraspecific differences in thermal tolerance of Ethostoma spectabile (Agassize) in constant versus fluctuating environments. J. Fish Biol. 25: 455-461.
- Garth, J. S. 1964. The Crustacea Decapod (Brachyura and Anomura) of Enowetok, Marshall Islands, with special reference to the obligate commensals of branching corals. Micronesica 1: 137-144.
- Garth, J. S. 1974a. On the occurrence in the eastern tropical Pacific of Indo-West Pacific decapod

- crustaceans commensal with reef-building corals. Proc. 2nd International Coral Reef Symp. 1: 397-404.
- Garth, J. S. 1974b. Decapod crustaceans inhabiting reef-building corals of Ceylon and Maldive Islands. J. Mar. Biol. Ass. India 15: 195-212.
- Glynn, P. W. 1983. Crustacean symbionts and the defense of corals: Coevolution on the reef? Edited by M. H. Nitecki. Coevolution. The Univ. of Chicago Press. pp. 111-178.
- Glynn, P. W. 1984. Widespread coral mortality and the 1982-1983 El Niño warming event. Environ. Conserv., 11: 133-146.
- Harriott, V. J. 1985. Mortality rates of scleractinian corals before and during a mass bleaching event. Marine Ecology. 21: 81-88.
- Haven, K. F. and T. C. Ginn 1978. A mathematical model of the interactions of an aquatic ecosystem and a thermal power station cooling system. Fourth National Workshop on Entrainment and Impingement (ed. by L. D. Jensen). New York. p.321-342.
- Hoegh-Guldberg, O. and G.J. Smith 1989. The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef corals Stylophora pistillata Esper and Seriatopora hystrix Dana. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 129: 279-303.
- Japp, W. C. 1979. Observations on zooxanthellae expulsion at Middle Sambo Reef, Florida Keys. Bulletin of Marine Science. 29(3): 414-422.
- Jokiel, P. L. & S. L. Coles 1974. Effects of heated effluent on hermatypic corals at Kāne'ohe Point, Oahu. Pacific Science. 28:1-18.
- Jokiel, P. L. & S. L. Coles 1977. Effects of temperature on the mortality and growth of Hawaiian reef corals. Marine Biology. 43: 201-208.
- Kennedy, G. Y. 1979. Pigments of marine invertebrates, Adv. Marine Biology. 16: 309-381.
- Kundsen, J. W. 1966. Trapezia and Tetralia (Decapod, Brachyura, Xanthidae) as obligate ectoparasites of pocilloporid and acroporid corals. Pacif. Sci.

21: 51-57.

- Lasker, H. R., E. C. Peters and M. A. Coffroth 1984. Bleaching of reef coelenterates in the San Blas Islands, Panama. *Coral Reefs*, 3:183~190.
- Matthews, W. J. 1986. Geographic variation in thermal tolerance of a widespread minnow *Notropis lutrensis* of the North American mid-west. *J. Fish Biol.* 28: 407-417.
- Menasveta, P. 1981. Lethal temperature of marine fishes of the Gulf of Thailand. *F. Fish Biol.* 18: 603-607.
- Paladino, F. V., J. R. Spotila, J. P. Schubauer, and K. T. Kowalski 1980. The critical thermal maximum: A technique used to elucidate physiological stress and adaptation in fishes. *Rev. Can. Biol.* 39:115-122.
- Patton, W. K. 1974. Community structure among the animals inhabiting the coral *Pocillopora damicornis* at Heron Islands, Australia. In: W. B. Vernberg, ed. *Symbiosis in the sea*, Belle W. Baruch Library in Marine Science, 2: 219-243. Univ. South Carolina Press, Columbia, S. C.
- Patton, W. K. 1976. Animal associates of living reef corals. In: Jones, O. A. & R. Endean (eds) *Biology and geology of coral reefs, Vol. III, Biology II*, PP. 1-36. Academic Press, N. Y.
- Robertson, R. 1970. Review of the predators and parasites of stony corals, with special reference to symbiotic prosobranch gastropods. *Pac. Sci.* 24: 43-54.
- Sloan, N. A. 1982. Size and structure of echinoderm populations associated with different coexisting coral species at Aldabra Atoll, Seychellers. *Mar. Biol.* 66: 67-75.
- Yang, R. T., S. Z. Yeh and C. L. Sun 1980. Effect of temperature on reef corals in the Nan-Wan Bay, Taiwan. Institute of Oceanography, National Taiwan University. Special Publication No. 23. 27pp.

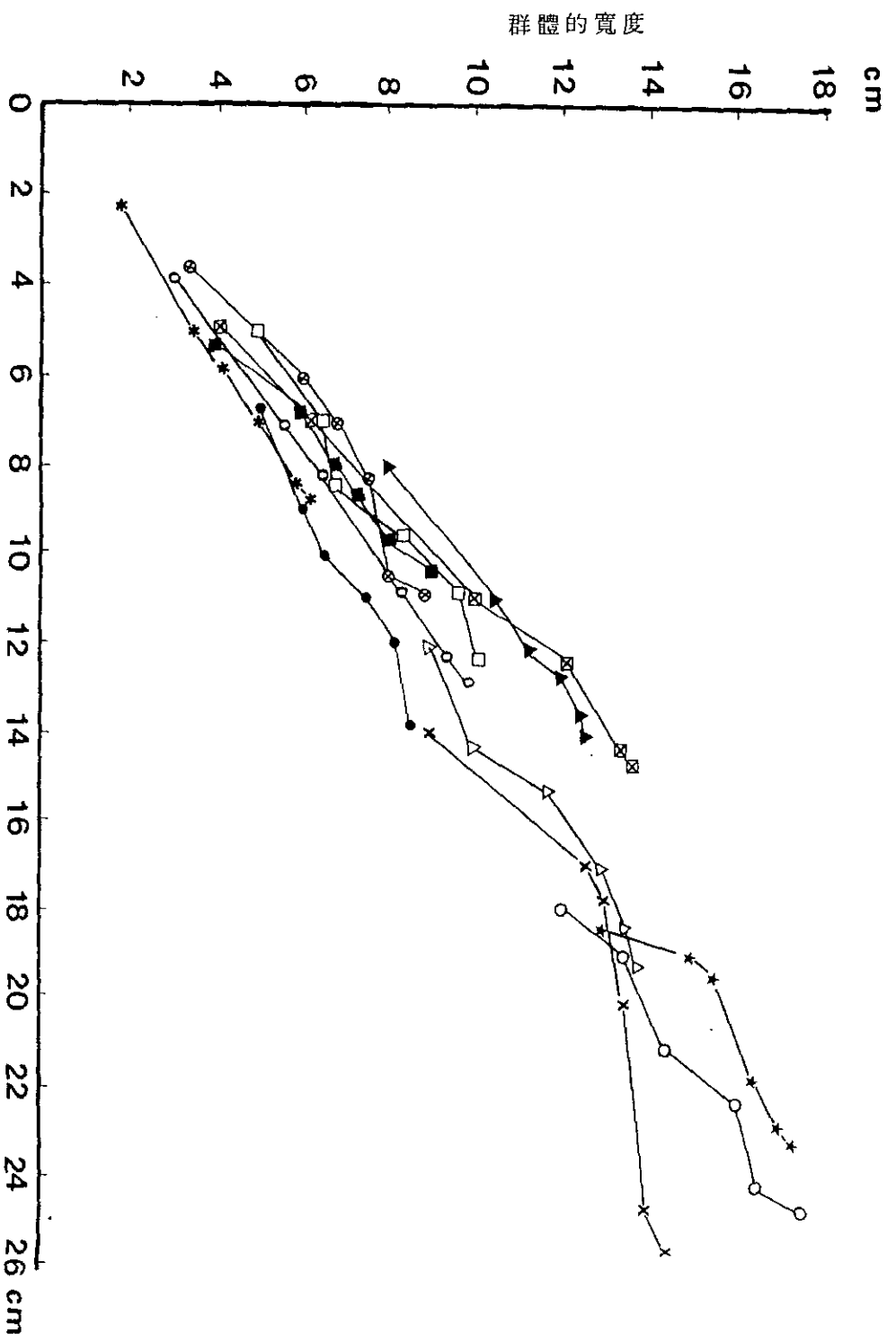


圖 1、自 1989 年 10 月 25 日起至 1990 年 9 月 28 日止，測量標識的尖枝列孔珊瑚群體共有 12 個（以不同符號代表），以 6 次不同時間下所測量群體的長寬值來表示其成長情形。

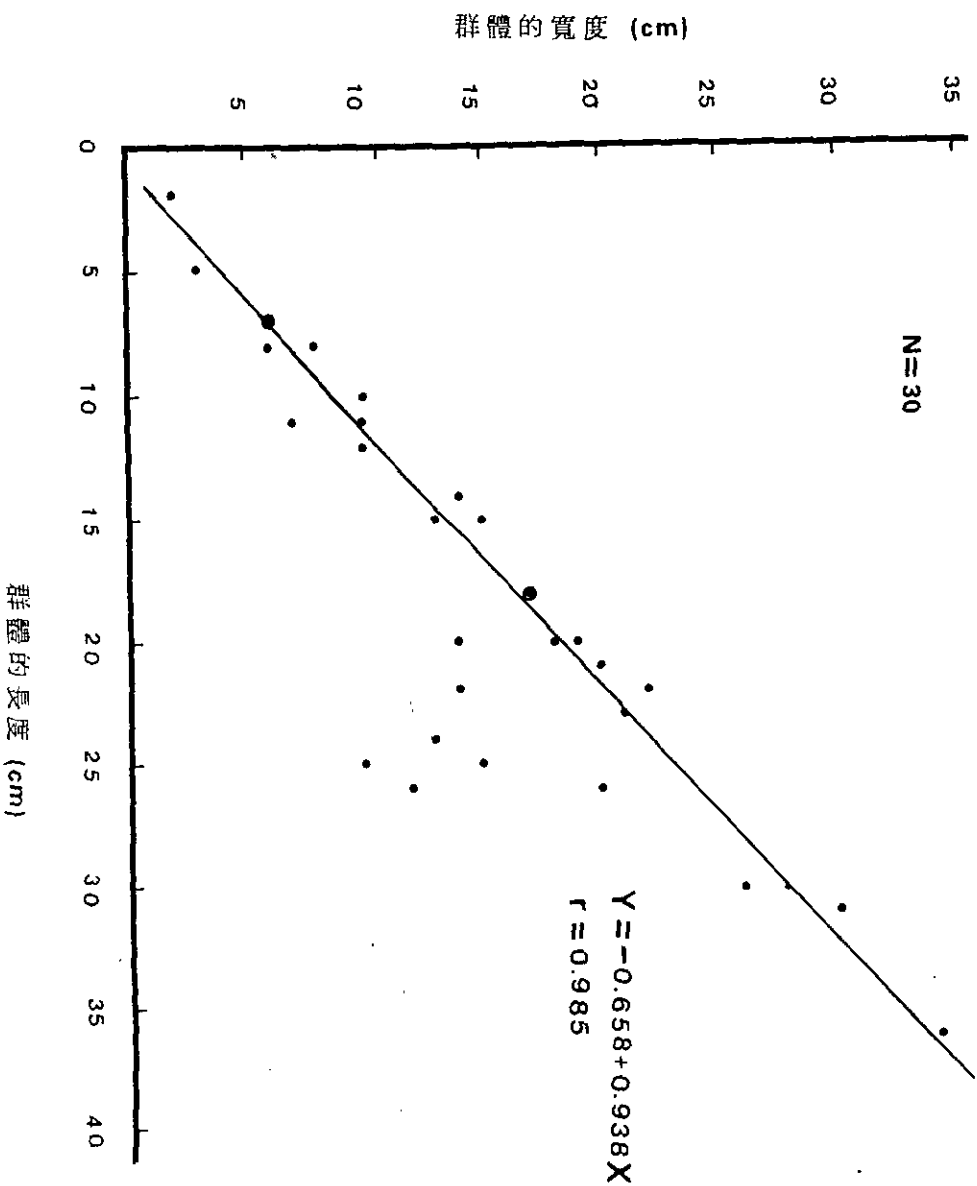
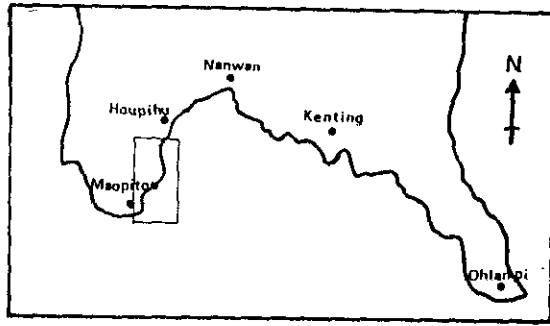
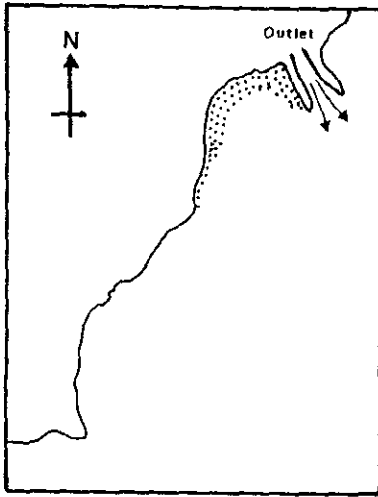


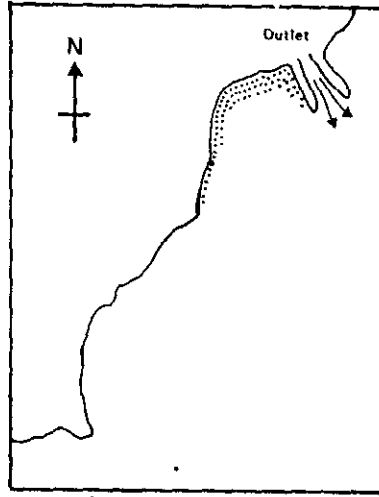
圖 2、南 灣 海 域 所 產 尖 枝 列 孔 珊 瑚 群 體 的 大 小 分 布 圖。



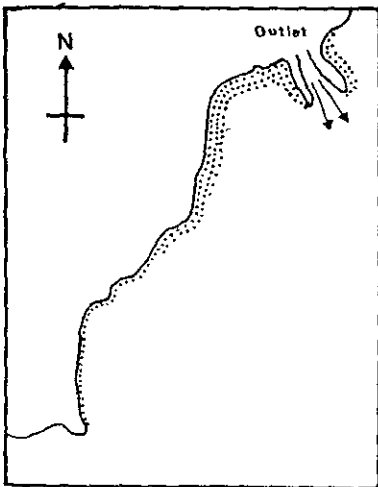
Map of Nanwan Bay area.



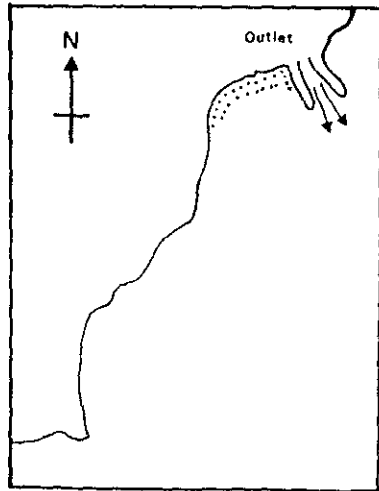
July 1987



July 1988



August 1988



July 1989

圖 3、1987 年至 1989 年核能三廠出水口西側發生珊瑚白化現象的海域範圍圖（點狀區域）。

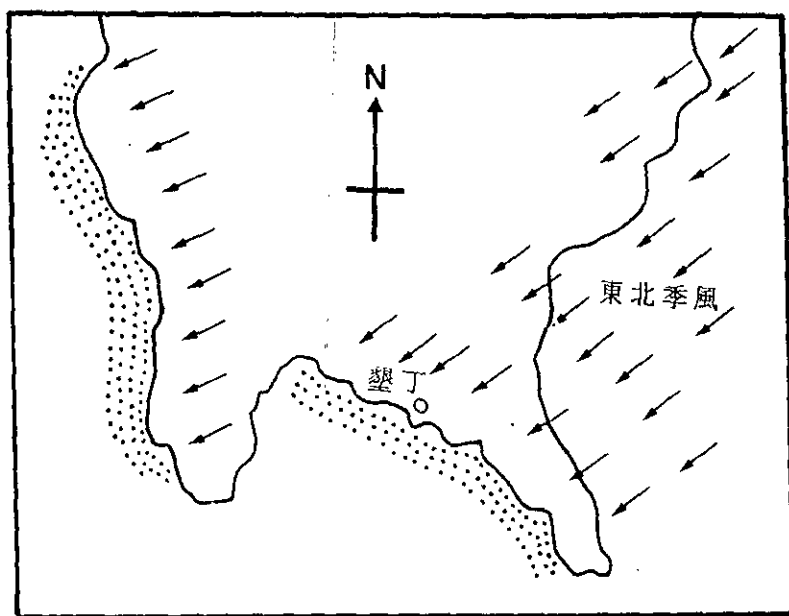
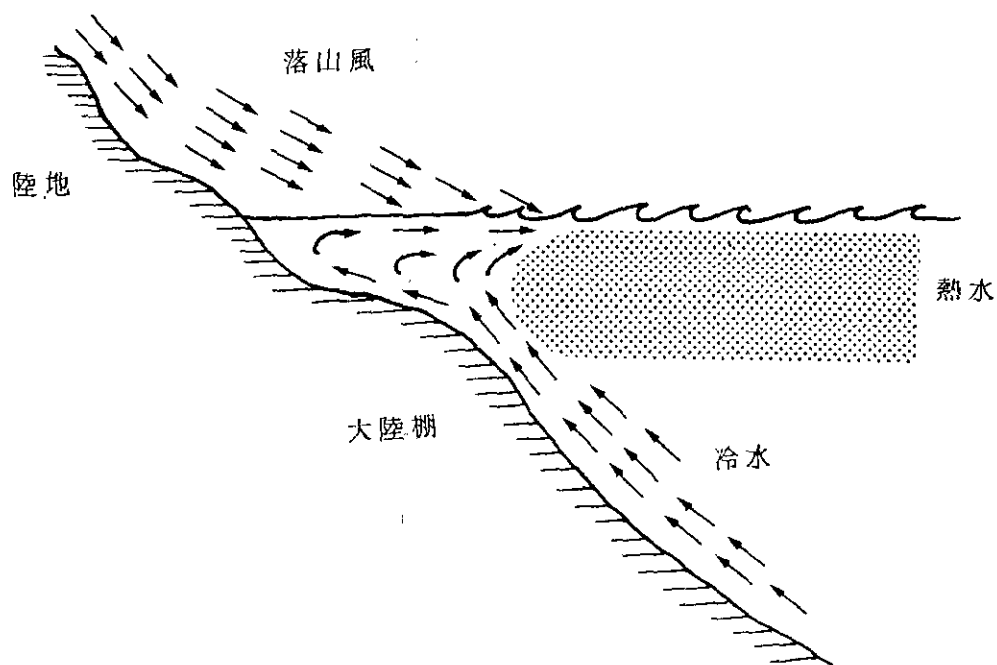


圖 4、上圖為位在恒春半島沿岸因落山風吹襲所引起的沿岸湧升流區域（點狀區域）；下圖為說明落山風吹襲沿岸海水，造成底部冷水團湧上海水表面附近補充的現象。



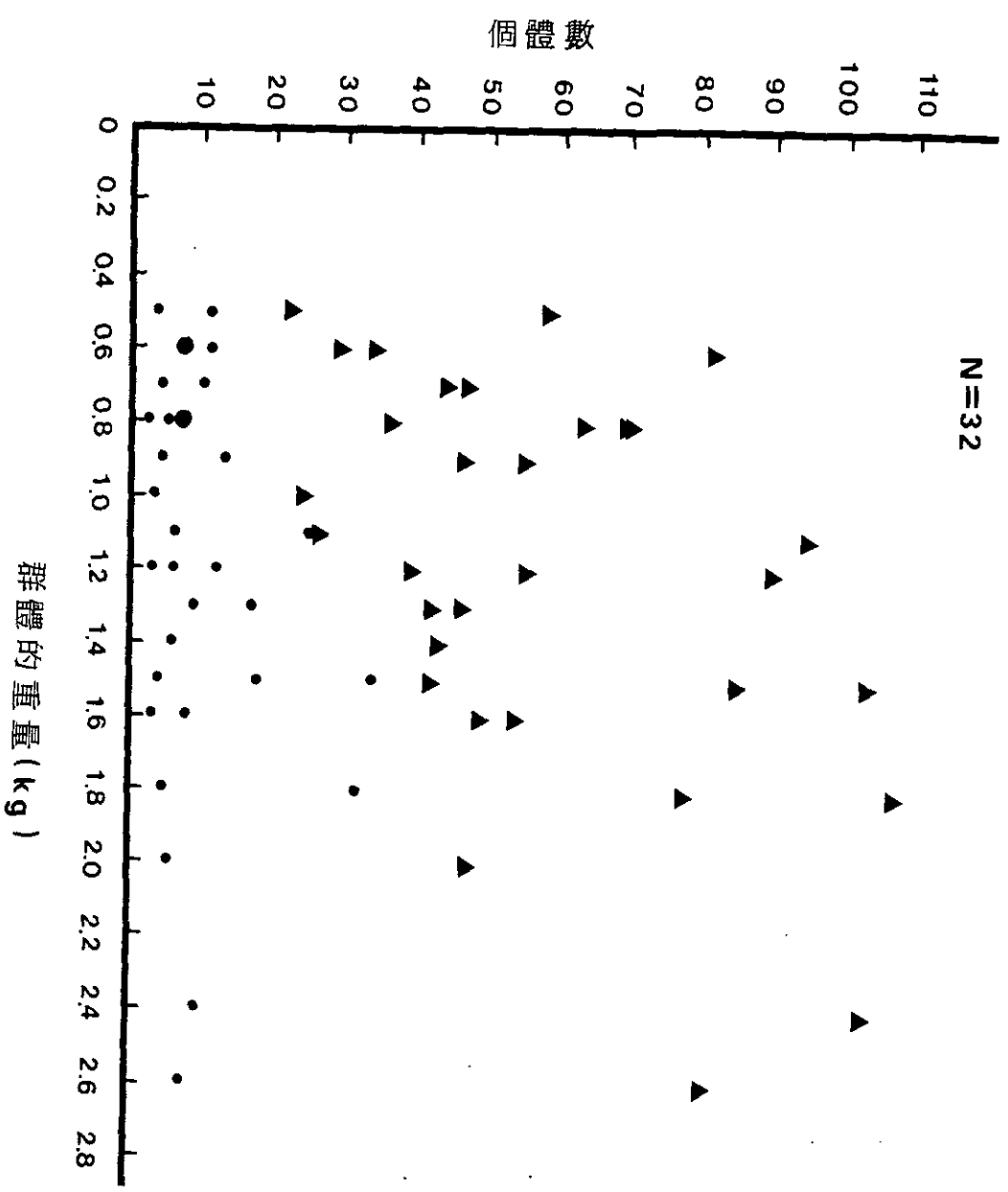


圖 5、尖枝列孔珊瑚群體重量及其共棲十脚類和槍蝦數量分佈圖。

- ：槍蝦類的個體總數
- ▲：十脚類的個體總數
- ：兩相同資料的點狀符號

N=32

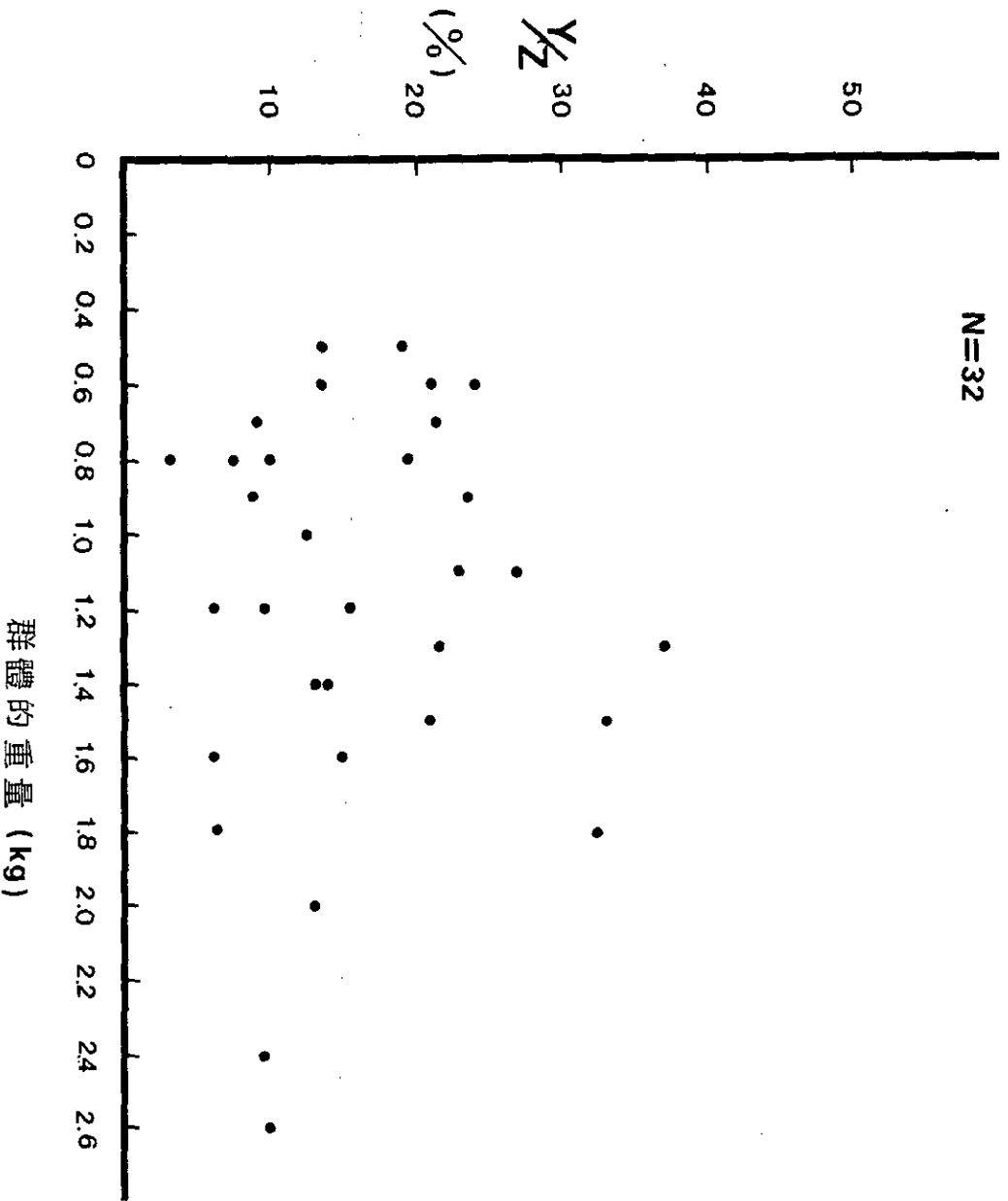
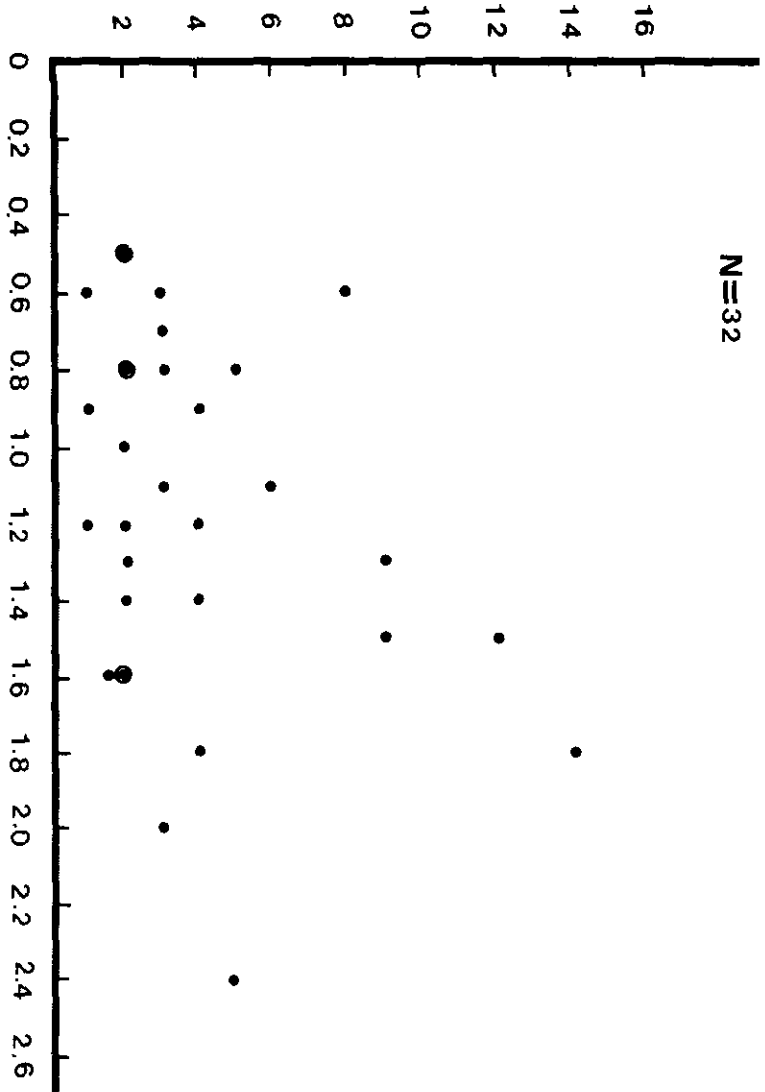


圖 6、尖枝列孔珊瑚群體的重量與其共棲槍蝦數量佔其十腳類總數量之百分比的關係圖。Y：槍蝦個體數；Z：十腳類總個體數。

珊瑚槍蝦的個體數



群體的重量 (kg)

圖 7、尖枝列孔珊瑚群體的重量與其共棲的珊瑚槍蝦 Alpheus lotitini

的個體數量分布圖。

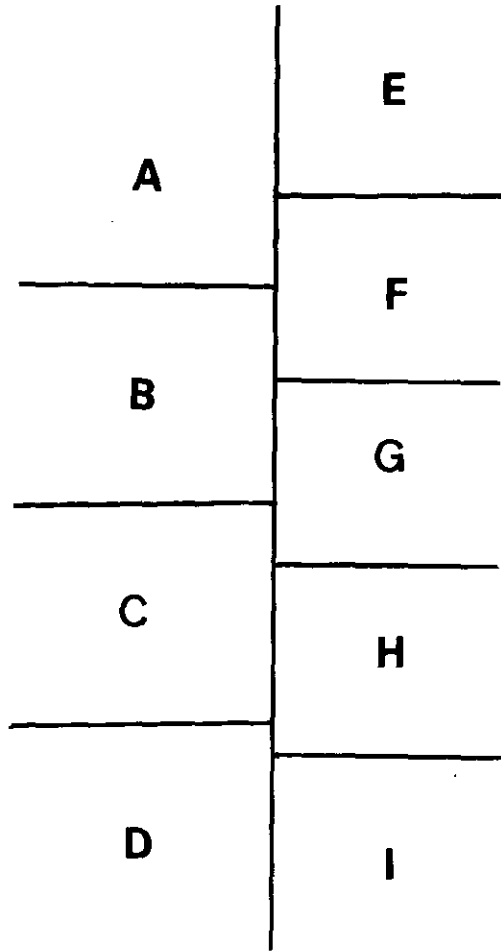
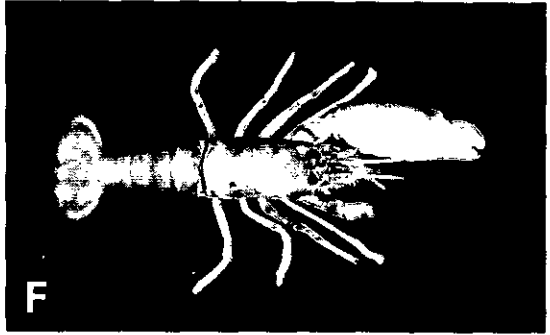


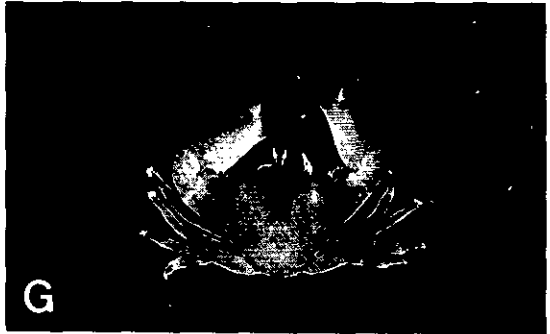
圖8. A:尖枝列孔珊瑚群體的分枝交錯分佈，呈灌木叢狀，是墾丁國家公園海域內常見的石珊瑚種類之一；B:核能三廠出水口西側淺灣，從岸上可看到水中珊瑚白化的情形(攝於1988年8月22日)；C:在淺灣內水深0至3公尺處，幾乎所有珊瑚種類都有白化現象(攝於1987年7月10日)；D:在水深6公尺的深處，只發現到尖枝列孔珊瑚一種有白化現象；E:珊瑚槍蝦(*Alpheus lottini*)；F:鮮紅假槍蝦(*Synalpheus charon*)；G:毛掌梯形蟹(*Trapezia cymodoce*)；H:網紋梯形蟹(*Trapezia areolata*)；I:白背梯形蟹(*Trapezia guttata*)。



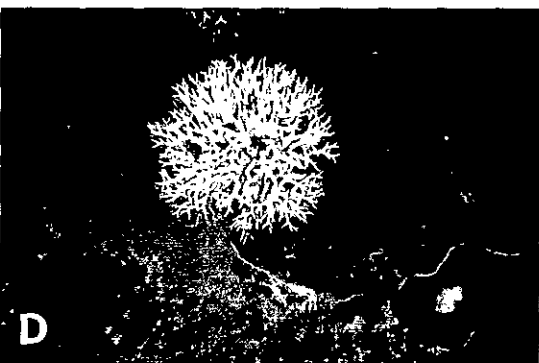
E



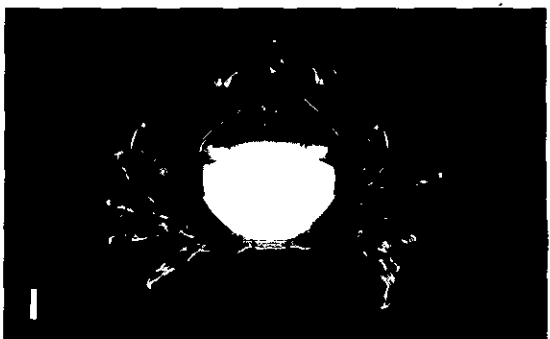
F



G



H



I

表 1、逐漸加溫組之實驗結果，表內數目即為不同時間下達到該種現象反應時的溫度。

溫度 時間(小時)	28 → 32°C				28 → 34°C			
	6	12	24	48	6	12	24	48
現象								
分泌黏液	32°C	31.5°C	31.5°C	31°C	33°C	33°C	32°C	31.5°C
白化			32°C	31.5°C	34°C	33.5°C	33°C	32°C
甲殼類死亡						34°C	34°C	33°C

表 2、在 32 個不同大小的尖枝列孔珊瑚中，所棲住的槍蝦種類和個體數，以及十腳類個體數。

數目	群體重量 (±0.1Kg)	槍蝦種名										槍蝦總 個體數	十腳類 總個體數					
		<i>Alpheus diadema</i>	<i>A. frontalis</i>	<i>A. gracilipes</i>	<i>A. latipes</i>	<i>A. lottini</i>	<i>A. pachychirus</i>	<i>Symalpheus charon</i>	<i>S. bituberculatus</i>	<i>S. hastilicrassus</i>	<i>S. pococki</i>			<i>S. tumidomanus</i>	<i>Athanas areiformis</i>	<i>A. granti</i>	<i>Metalpheus paragracilis</i>	<i>Alpheopsis equalis</i>
1	1.6			1	2	3			2								8	54
2	1.1		1			3					2						6	26
3	0.6			2		3		2									7	29
4	0.8			1		2		2				2					7	36
5	2.4					6	2	1			1						10	103
6	1.4					4		2									6	43
7	0.5	1				2											3	22
8	1.2	2				1											3	52
9	1.0	1				2											3	24
10	0.8					5		2									7	70
11	1.2			2		4											6	39
12	1.8			1		4											5	78
13	1.9	2		2		9	4										17	46
14	2.6					2	1										3	49
15	1.2			1		2					1						4	42
16	1.3		2	1		2	2		2								9	42
17	2.0			2		3			1								6	47
18	2.6	2		3						2	1						8	81
19	0.5			2		2	3	2			1	1					11	58
20	0.9	2		1		4	3		2							1	13	55
21	1.4	2	3	5		2											12	90
22	0.6	3				1	1			2							7	34
23	0.7	2		1													4	44
24	1.5			1		9	3	1			2					2	18	85
25	0.6			2		8					1						11	81
26	0.8					3				1	1						5	69
27	1.8			4		14	5	2	4	3							32	107
28	1.5			10		12	11				1						34	103
29	1.1			4		6	6	5		1	2			2			26	95
30	0.9					1			1		2						4	46
31	0.8					2											2	63
32	0.7			3		3		2		1			1				10	47

表 3、在 32 個尖枝列孔珊瑚，總數 1860 隻十脚類中，佔有 1% 以上個體數的種類，共計有十種，如表中所列。括符內為種類出現在 32 個群體的數目。

種名	數目	%	累積百分比
<u>Trapezia</u> <u>cymodoce</u>	(32) 252	13.5	13.5
<u>Trapezia</u> <u>guttata</u>	(31) 187	10.0	23.5
<u>Calcinus</u> <u>seurati</u>	(24) 169	9.1	32.6
<u>Alpheus</u> <u>lottini</u>	(30) 123	6.6	39.2
<u>Trapezia</u> <u>areolata</u>	(28) 92	4.9	44.1
<u>Alpheus</u> <u>gracillipes</u>	(20) 49	2.6	46.7
<u>Alpheus</u> <u>pachychirus</u>	(12) 44	2.4	49.1
<u>Lithoporcellana</u> <u>spinuligera</u>	(15) 42	2.3	51.4
<u>Synalpheus</u> <u>charon</u>	(10) 21	1.1	52.5
<u>Synalpheus</u> <u>tumidomanus</u>	(13) 18	1.0	53.5