

RES 034-6



RES03406

(65.P)

保育研究報告第34號之六

國立中山大學合作

墾丁國家公園海域珊瑚礁及海洋生物
生態研究—珊瑚保育及生理生態研究
(續)

張崑雄 方力行

內政部 墾丁國家公園管理處
營建署

中華民國七十五年七月

墾丁國家公園海域珊瑚礁及海洋生物
生態研究—珊瑚保育及生理生態研究
(續)

(計畫分支六)

委 託 單 位：內政部營建署墾丁國家公園管理處

執 行 單 位：國立中山大學海洋科學學院

計畫總主持人：張崑雄

分支計畫負責人：方力行

研究助理人員：黃瑞傑 陳燕婉 廖至維

執 行 期 間：中華民國74年7月至75年6月

目 錄

摘要.....	1
英文摘要.....	2
前言.....	3
材料與方法.....	6
結果與討論.....	9
參考文獻.....	18
附錄（珊瑚能量之測定—國外論文發表）.....	53

摘 要

珊瑚組織體內能量因子ATP含量之測定，經分析技術不斷改進後，已能準確測得不同環境狀況影響下ATP的存量。此能量因子不僅與珊瑚組織量呈正關係，同時該能量指標也與珊瑚組織體內諸重要生理因子如：蛋白質、有機碳、葉綠色素及水螅體個數等有著密切關係。而環境不良所造之壓力也能經由ATP之含量的減少來顯示出。此外，在珊瑚體中其共生藻色素與脂肪酸之組成與含量的測試方面已獲基礎性成果，而對於如何利用其為生態生理指標，則有待更進一步之研究。

海域中珊瑚相分佈多以造礁性石珊瑚類為主，*Acropora spp.*、*Montipora spp.*為其中最易被發現之種類，尤其以紅柴、潭子、小灣、鵝鑾鼻等區域之石珊瑚類生長數量最為豐盛，珊瑚礁景觀也最具特色。肉質軟珊瑚類與海扇、海鞭等角珊瑚類群聚明顯地分佈於貓鼻頭至後壁湖一帶海底，其特殊的生長型態與色彩，更增添了海中珊瑚世界光彩鮮麗之風貌。此外，珊瑚相及其數量之區域性分佈與水中營養塩及浮游性植物生物量之變異，未見明顯之關係，其影響珊瑚分佈差異之因素，實值得深入探討。

ABSTRACT

Information is given to show that ATP contents in hermatypic corals *Acropora* spp. are highly correlated with their physiological parameters, such as tissue weight, surface area, polyp number, total protein, total organic carbon and chlorophyll a; the corals taken from the study site were also analyzed for the compositions of fatty acid and zooxanthellae pigments. Based on this fact, a new approach to evaluate the living condition of corals for resources conservation could be straightforward to apply.

In addition, coral fauna around the fringing reef of Ken-Tin National Park in the Southern Taiwan are described. Which reveals that *Acropora* spp., *Montipora* spp. and *Heliopora* spp. are the most abundant corals in this area, and the soft corals or gorgonian were mainly observed at Mao-Pi-Tou through Hou-Pi-Hu. However, to further achieve an ecological understanding of the factors responsible for the distributional pattern in the coral community requires details of study.

前 言

當一個研究著眼於珊瑚礁的保育與監測時只引用一般調查性的生物相組成表，覆蓋面積、變異度、均勻值、相似度等生態常數來作調查基準是不甚合宜的，它的理由有五：(1)珊瑚，尤其是造礁性石珊瑚，它的生長期非常的慢，一個全新的、最基本的片狀群社從發展到穩定，最快也要 50 年(Grigg, 1983)。若要長成特性群聚，如裙礁、環礁、堡礁，則更要長達數百萬年的發展期，是以前一、兩年，甚至三、五年的調查中希望獲知此一群社是消是長，幾乎是不可能的。(2)群社中邊緣種(或稀少種)的消長，無法在短期的環境調查中，判斷其為自然消長、競爭或受環境壓力而變化，而要調查完成一個循環(succession cycle)，幾乎是不可能的。(3)珊瑚浮游性幼生的加入，受水流、風向、溫度、捕食者……等許許多多的因子所控制，因此調查值與基準值的變異程度，受逢機因素的影響，不一定是由不利的環境所造成。(4)珊瑚的生長方式具“補償生殖”之特性，即當環境不適時，殘體可再發育，如斷裂生殖(Highsmith, 1982)，跳出生殖(Sanmarco, 1982)……等，不利的環境，反而造成更多的個體，影響一般的計量。(5)石珊瑚的覆蓋面積只會因生長而增，不會因死亡而減，造成計量上之誤導。因此，若僅墨守於一般用於性質完全不同的生物上之調查監測方式來度量珊瑚，其能提供之訊息是極為有限的。

同時，正因為珊瑚的生長與發育非常緩慢，若是一旦死亡，要再等待一個新的完熟群社產生，需時久遠，且無法加速，故真正的保育之道，乃在於在珊瑚接受了環境壓力，但尚未死亡之前，如何發現此一現象，並加以補救，方是研究發展之正途。

綜上所述，本研究除了在墾丁地區作了一般性珊瑚種屬組成之調查記錄外，並致力開發研究新的監測方法，期能克服前述諸缺點，達成生態保育上“防患於未然”的積極目的。其開發之方向如下：

(一)真實生物量之測定：

珊瑚之持續生長，大到可以造成一個島嶼，但其中真正的活珊瑚體可能不及全重的 0.01%，其餘 99.99% 都是礦化物，而珊瑚體死後，這殘存的 99.99% 的物質仍然存在，故以傳統之重量法，勢必無法表現珊瑚之生物量，而珊瑚真實生物量的消長，又直接反映此一群社是生長中或消退中，故本研究擬以①溶化礦物質後之細胞重量②細胞體中蛋白質之總含量之測定，來

作為珊瑚真實生物量之指標。

(二)珊瑚體之活力：

所有的生命活體中都含有核苷三磷酸(ATP)，而ATP量之多寡又直接與其活力有關，簡而言之，活力愈旺盛的生物，其單位質量中之ATP愈多。設若珊瑚受到不利環境的影響，在其未死之前，當可以ATP之含量為指標來看出其衰弱狀況，故如何致力發展一套測定珊瑚ATP的方法，也是本實驗努力的目標。

(三)珊瑚中共生藻類色素的研究：

現今珊瑚死亡與否，通常皆用所謂“白化”來判定。不但主觀，而且報告中指出白化後，二星期到四個月後，珊瑚又有復甦(*recover*)的現象。因此顯然白化並不代表死伺，可是要研究這個問題，首先需要知道正常珊瑚中之色素組成及其含量，才可能進一步瞭解這個生物反應。因此，如何萃取、分離、純化、分析及鑑定珊瑚中的色素，乃是本實驗中之另一重點。

以上所有的生理生化實驗材料，皆以綠石珊瑚類為主，其鑑定以骨骼構造輔以生態狀況行之。但實則此類生理生化實驗之確實種屬並非絕對重要，猶如人類之驗血其主要正常值並不在乎人種之不同。蓋因為細胞之基本組成及能量利用(ATP)來源類似之故。

生態之保育，預防遠重於事後之補救，尤以珊瑚為甚，因為一個珊瑚群聚的形成最快也需五十年，慢則千年以上。是以一旦死亡，幾乎無法補救，因而在一般的傳統生態調查以外，如何能在珊瑚群社受到壓力的初期建立“預警”的指標，遠勝於事後的檢討死亡原因，追究責任。

珊瑚是墾丁國家公園海域中最重要的自然資源，近因墾丁南灣海域核三廠高溫廢水的排放，海水溫度將大為提高，由於珊瑚是一個固著性底棲生物在不利的環境下無法逃避，是以環境中的變化在珊瑚的生理及生長狀態中能很忠實的反映出來，作為生態保育及管理最基本、最直接的資料。

本計劃為墾丁國家公園海域珊瑚保育及生理生態研究整體計劃之一部份，持續第一年度之珊瑚生理生態及其組成研究(張，方等，1985.)後，進行第二階段環境壓力與珊瑚生理指標關係之深入探討。研究中係以珊瑚活體組織中

ATP能量之變異情形來了解環境壓力對珊瑚活體之影響程度；並從珊瑚組織體中的共生藻色素、含碳量、脂肪酸、蛋白質、水螅體數及珊瑚組織表面積分析中，試圖尋找珊瑚活體生長狀況與其生理新陳代謝物質之相關性，並以此作為長期環境壓力下，珊瑚生理生態之偵測指標。

此外，研究期間並對墾丁國家公園海域之珊瑚相分佈進行調查，收集沿岸各地之珊瑚種類、生長數量及群聚特徵等資料，以為未來珊瑚保育工作之基礎，並提供國家公園有關海域遊憩區及特別景觀區的規劃參考。

材料與方法

(一)自然景觀之調查及標本採集

在墾丁國家公園沿岸海域，依各地生物相及地形之不同，分段潛水調查及拍攝“特徵生物”製作系列之生態分佈圖，以爲日後觀光遊覽之規劃。

所採得的珊瑚標本以漂白劑浸泡3~4天後，再以water pik沖洗珊瑚體表之藻類及骨骼內的肉質組織，沖淨後的珊瑚曬乾，即可著手進行分類及鑑定。對於較難沖洗的珊瑚種類，則先浸泡在氫氧化鈉溶液(3N NaOH)會有較好的結果。

(二)珊瑚生理因子之測定：

(1)珊瑚體內蛋白質的測定：

將採得的珊瑚標本，放入沸騰的氫氧化鈉溶液內，經1小時左右，將萃取液冷卻，以Lowry method (Lowry et al, 1951)測定蛋白質含量。

(2)珊瑚水螅體之有機含碳量之測定：

珊瑚標本稱重後，以噴水式(water pik)汲取體組織，在4,500rpm，5°C下離心10分鐘，所得之沈澱即是珊瑚肉質組織與共生藻類。將此沈澱物加入磷酸(phosphoric acid)溶液，除去鹵素的干擾，加入硫酸—重酪酸氧化劑(sulfuric acid-dichromate oxidant)，於100°C水浴下反應1小時，冷卻後以電光比色計(spectrophotometer)於波長440nm下測吸光量並求取有機含碳量(Johannes, 1970; Strickland and Parsons, 1968)。

(3)珊瑚活體組織ATP的測定：

因只有活體有ATP分子的產生，是以若能測出珊瑚中的ATP量則可知珊瑚是否爲活的，並由ATP與有機碳的比值估算珊瑚活體之生物量。

珊瑚ATP的測定分二大類進行，第一大類利用陽離子交換樹脂法(Lee et al, 1971a)將採得的珊瑚樣品立即放入萃取液內萃取，分三種不同的萃取方式：

(a)於4°C下，以硫酸溶液萃取10分鐘，其間並攪動5分鐘(Karl and LaRock, 1975; Eiland, 1979)。

(b)於 4°C 下，以 90% 的 DMSO 溶液萃取 10 分鐘 (*Eiland, 1979*)。

(c)以沸滾的 NaHCO₃ 溶液萃取 10 分鐘，即刻放入 0°C 的水浴中冷卻 (*Bancroft et al., 1976*)。

將(a)、(b)、(c)所得萃取液分別與陽離子交換樹脂混合攪拌 3 分鐘，經由過濾潤濕，萃取液以氫氧化鈉溶液調到 pH 7·8，個別以 EDTA-Tris buffer 稀釋 5 倍、10 倍及 50 倍，以 ATP 試劑及分析儀測試含量，並求出其回收率 (%)。

第二大類利用活性碳吸附法萃取 (*Ireland and Mills, 1966*)，將採集之珊瑚立即放入 0°C 硫酸溶液內 10 分鐘，在 0°C 下於 7 小時內將 ATP 萃取液通入微量管柱 (*micro-column*)，以 7 毫升蒸發溶液 (*volatile sol'n*) 將 ATP 沖出，立即在 37°C 至 40°C 水浴下烘乾即得 ATP，利用 ATP 試劑及分析儀測試含量，並求其回收率 (%)。

(4)珊瑚水螅體重量之測定：

將珊瑚測得總重後，計算其個體數，再加入酸性溶液將珊瑚骨骼溶解，取出其水螅體稱重記錄。

(5)珊瑚表面積估算法：

珊瑚體表面積估算，採用錫薄紙估算法。將錫薄紙剪裁包於珊瑚外表，利用表面積與重量關係，間接求得珊瑚的體表面積。

(6)Glycerol-relet metabolites:

此為測定珊瑚與共生藻之間能量互通的主要方法之一。將採得之珊瑚於室溫下加 3N HCl，經 18 小時，使其骨骼溶解後，經一系列繁雜處理工作以 GC 來分析探討 *Glycerol reated metabolites*。

(三)葉綠素及色素之分析：

(1)葉綠素 A 之測定：

採得稱重，並以 water pik 處理，離心 10 分鐘，4,500 rpm，取其沈澱物，放入 100 % 丙酮內此為第一組。將原珊瑚之骨骼亦放入另一 100 % 丙酮內，此為第二組以超音波振盪二十分鐘，於 4°C 下靜置 24 小時，利用電光比色計 (*spectrophotometer*) 在波長 630nm，663nm 及 750nm 處，依 Jeffery 與 Humphrey 所發表的公式 (*Jeffery and Humphrey, 1975*)，求得葉綠素 A 的含量，重覆數次，直到萃取無法測得葉綠素 A 含量為止。

(2)色素分析之測定：

敲碎的珊瑚，加入 90 % 丙酮 (*acetone*) 及數滴碳酸鎂，用超音波振盪 10 分鐘後取水溶液，重覆以上萃取步驟，直到珊瑚呈現白色為止。所得之溶液再加入等量之乙醚 (*diethylether*) 及 4 ~ 5 倍 10% NaCl 溶液，於 4° C 下，4,500 rpm 離心 10 分鐘。取上層液，再用氮氣吹乾取濃縮後色素，進行色素色層分析。

取 20 × 20 cm Whiteman 1 號濾紙，放入內有展開劑 4 % 的正丙烷 (*n-propanol*) 及輕油 (*light petroleum*) 展開槽內數小時，待整個容器達飽和狀態後，以微量吸管將濃縮色素點在濾紙上，利用溶質與溶劑不同之親和力作用，將色素 (溶質) 分離，層析後自然風乾，此為第一級展開。第二級展開步驟同上，唯展開劑換成 40 % 之氯烷 (*Chlorform*) 及輕油 (*light petroleum*) (Jeffrey, 1968; Muscatine, 1967)。計算 Rf 值，並利用電光比色計找出各種色素之波長以鑑定色素之種類。並另以液相層析法 (HPLC) 分析共生藻色素之種類，並進而求其各組成之含量。

結果與討論

(一) 珊瑚生理因子的測試

在珊瑚生物量測定中，我們選用墾丁國家公園海岸種類繁多的枝狀造礁珊瑚 (*Acropora sp.*) 為樣品 (*sample*)。以重鉻酸鉀氧化方法，測定珊瑚組織內有機碳的含量，經多次的試驗，對枝狀造礁珊瑚而言，樣品的量最多不可超過 1 公克。在整個實驗過程中，大量的鹵素干擾會造成很大的誤差，故利用海水汲取 (*water pik*) 組織體，會使測驗的靈度大大的降低，基於此，我們選用自來水汲取珊瑚組織體，但也往往使珊瑚體內之共生藻發生分解現象 (*cytolize*)。當利用海水汲取時，珊瑚有機碳含量與其總重，則會因靈敏度的降低，無法看出珊瑚有機碳與重量間有何關係。

珊瑚 ATP 的測定，乃利用生物發光原理 (*bioluminescence*) 自生物體內萃取 ATP 的酵酶 (*firely luciferase*) 作用，在適當狀況下，ATP 放出高能的磷酸鍵激發電子，隨後電子自激態返回基態，將能量以光子形式釋出，由分析儀感應並記錄之，如此間接求得 ATP 的含量。利用陽離子交換樹脂測得之 ATP 含量之回收率如表 1 所示，當稀釋倍率愈大時，回收率也就愈高，顯示除了陽離子外，溶液中的陰離子對於 ATP 的測定亦造成不可忽視的干擾。採用本法，每一次大約會有 15 % ATP 的流失量，且 ATP 萃取液只能稀釋無法濃縮，當珊瑚內所含的 ATP 量低時，勢將無法測得。萃取過程中，ATP 自行分解成 ADP，AMP 亦是一個令人頭痛的因素，為了防止 ATP 磷酸鍵的解離，萃取液以在 $pH < 2$ 以下的酸性溶液為佳，在此強酸溶液下，非但能進一步防範磷酸根的水解，更能使 ATPase 變性。

改良以活性碳吸附法萃取 ATP，結果顯示萃取液吸附濃縮 0.2 倍後，ATP 仍具有 63 % 的回收率，可見利用活性碳吸附法，確實可使 ATP 回收率達 85 % 以上。使用本法仍會有 ATP 的流失，對於流失量的估算，可以 P^{32} 標定測，唯實驗設備所限，無法引用此法估算。

本研究在本質上即屬於開發性的實驗，所以使用之方法，除少部份之色素分析外，多為第一次在珊瑚中使用，故不但方法本身需做設計、修正，還做了許多準確度、回收率、干擾係數等之檢定，以建立最適之步驟，其中尤以 ATP 之測定最為困難，因為活體本身不但易受到操作不當之影響，ATP 又容易分解。且大量之無機物 (如碳酸鈣) 常會干擾萃取物，故不但設計了不同之萃取配

方，且引入微量管柱濃縮及層析技術，終而獲至甚佳之效果，ATP含量已可與生物量呈極高之正相關（圖1）。

引用此一技術及觀念，我們做了一個原始實驗，即珊瑚在有環境壓力（*stress* 一於低潮露出水面時）和正常狀況時（滿潮在水中）之ATP含量比，結果發現，環境不適時其體內ATP之含量果然減少（圖3），這是一個非常令人鼓舞的結果，顯示出此一方式之可行性。當然，正確的結論，有待更進一步的研究支持。

珊瑚中蛋白質量，細胞體量和傳統重量之正相關，也是很令人欣慰的結果，更進一步的資料收集當可建立正常相關的範圍，就如建立正常人的身高體重比一樣。當環境惡劣時，群社生物量開始減低。但礦物質量是不會變。就如人生病時體重減輕而身高不變。就各比值的改變，就可以做一個有效的消長指標。而不必仰賴變異大，原因不明，而且會因每個人鑑定結果不同而產生差異的族群指數方法。

色素的分析也非常複雜，經過各種不同萃取液之配方，萃取時間，萃取情況及分析、開展過程，從單一珊瑚種中可分離出八種不同的色素（圖6，表2），就如人類檢驗血紅素一樣，更深入的研究可能發現在不同的環境條件下，珊瑚及其共生藻的色素含量會對應的產生許多變化，讓我們在問題嚴重到不可挽回之前，讀出許多訊息，預做防範。

(二)珊瑚生理預警系統

第二年度對於珊瑚活體組織ATP能量之測定技術，我們作了某些改進。採樣時，爲了保持珊瑚組織體於最原始未受干擾狀態，以免其中ATP迅速解離而影響以後的分析工作，在野外立即將採得的珊瑚以液態氮冰凍處理後，再攜回實驗室，進行ATP含量的測試。結果發現，單位組織重量中，ATP含量較以往未冷凍處理時高出甚多（圖4），顯示珊瑚組織ATP爲極敏感性物質，易因環境的改變而發生分解。以ATP含量相對於其他生理因子如：蛋白質、葉綠素A、碳含量、組織體淨重、水螅體數、骨骼表面積作迴歸分析，發現其間有很高的相關性（ $r^2 > 0.8$ ）（圖5）這也證明我們欲藉珊瑚體中各項生理因子來評估珊瑚活體之生物量的研究工作極爲可行。

此外，爲了解環境壓力下，ATP在珊瑚組織體中的改變情形，於測試珊瑚能量的過程中，先將一批採集之珊瑚群體暴露在空氣中20分鐘，而後再冷凍攜回測試。結果顯示暴露於空氣中之珊瑚組織ATP平均含量（ $0.42\mu\text{g/g}$ ）遠低於未暴露於空氣者（ $3.35\mu\text{g/g}$ ）（表3），這也更進一步說明了ATP會受環境

壓力的影響而迅速分解降低。至於其他環境條件的改變如混濁度、光線、溫度等對 ATP 的影響程度，則將在往後研究中進行測試。

以枝狀珊瑚 *Acropora spp.* 組織作柱狀色層分析及液相層析所得之共生藻色素達 10 種（表 4），顯示其分析效果較濾紙層析法為佳。而各色素在液相層析中呈現之吸收強度有很大差別這可能是因各別含量差異性大之結果（圖 7），由於色素對光線的反應極為敏感，在實驗過程中，我們發現共生藻放置 1 天後，即有色素解離的現象發生。

令人感興趣的是，其中是以何種共生藻色素成份最易被分解，或何種色素成份較為穩定，若珊瑚在遭遇外界壓力時（如光線、強度、溫度等）或生長環境不同時，是否其共生藻各類色素組成也隨之改變，這些問題都亟待吾人再一步探討。因此，目前對於珊瑚共生藻色素的分析工作，我們將試著去尋找此等色素組成中，何者對於環境因子的敏感性較大，亦即可作為珊瑚及其共生藻之生理指標。

珊瑚組織之脂肪酸組成，以飽和性脂肪酸類為主，但其中飽合性與非飽合性脂肪酸的比率組成會因珊瑚種類和環境變異而有所差別（*Meyers, 1974*）。本實驗分析了兩種枝狀珊瑚 *Acropora spp.* 的結果也發現，飽和性脂肪酸類如 *Myristic acid-palmitic acid* 及 *Stearic acid* 等為其主要組成份，三者佔全部脂肪酸量的 70% 左右，而其他各類非飽和性脂肪酸相對含量均甚低（表 5）。

本實驗所進行的氣相層析法，因限於設備之故，只採用單一種層析管柱（*Column*）作為脂肪酸分離之用，這可能影響到低含量脂肪酸的測試效果（圖 8），雖然如此，我們仍可確定此等生長於淺水區的枝狀珊瑚 *Acropora spp.* 脂肪酸之利用是以飽和性者為主。*Meyers (1979)* 曾發現深水區（25~30 公尺）的珊瑚之合成脂肪酸機制，主要依賴捕食水中的動物性浮游生物，而獲得以非飽和性脂肪酸（*Polyunsaturated fatty acid*）為主的能源基礎，此乃因深水區光線不足，共生藻合成飽和性脂肪酸的功能受到限制之故。由此推論，珊瑚脂肪酸的種類差異是與其體內共生藻的“活性”相關，而共生藻本身亦為珊瑚在正常生存下所依賴者（*Barnes, 1973*），是故，經由珊瑚脂肪酸組成變化應可了解珊瑚所生長的环境狀況。

有關珊瑚生態生理指標的研究，到目前為止已進行了兩年的研究，這期間一直在嘗試建立各項生理因子的分析方法，而對於難度較高的 ATP 能量測試技術已可確定，且我們也發現珊瑚組織的能量狀態是可作為其生長環境壓力之生理指標。

在生態環境中，生物體受到環境多方面因素的交互影響，這使得正常情況下，生物體內各生理因子也有其一定的變異範圍。因此，若欲了解環境壓力對生物體的作用程度，須事先對正常環境條件下，生物生理變異的背景資料有所了解，才能訂下生物生理指標之警戒值。但基於經濟實用上的考慮，我們所能監測的珊瑚種類，應以環境的優勢種類為主，以墾丁國家公園海域為例，如 *Acropora spp.*、*Montipora spp.*、*Helipora sp.* 等均可作為適當的指標生物。

研究期間，我們也觀察到萬里桐、紅柴、貓鼻頭、鵝鑾鼻等地之礁岩斜坡帶（水深 $> 10m$ ）有較多的漁群分佈，這種現象與邵等（1985）所指稱此生態交界區常可吸引大量的珊瑚礁漁群一致。此外，植物性浮游性生物在珊瑚相豐盛之區域如紅柴、後壁湖、潭子、鵝鑾鼻等地，未見有較高分佈量（李1985），顯示珊瑚之分佈量與各小區域之基礎生產量並無密切關係；亦即影響珊瑚分佈之環境因子可能尚有其他主要因素，而這答案，仍待日後的研究調查。

(三) 墾丁的珊瑚資源

台灣地理位置在北緯 $22 \sim 25^\circ$ 之間，為世界珊瑚相最重要分佈區—印度太平洋區中的一環。該島的珊瑚礁海洋又以南部恒春之裙礁區最為發達，其間生長著各類的石珊瑚、軟珊瑚及角珊瑚。

恒春半島從西岸的萬里桐區至東海岸的港口溪，長達約 50 公里之珊瑚礁海岸帶中，孕育著數量、種類豐富、樣式特異、多變化之珊瑚群聚。經各處潛水調查珊瑚相的結果顯示，墾丁國家公園裙礁帶之珊瑚種類及數量以分泌豐富鈣質骨骼之造礁性石珊瑚類（*stone corals*）為主，幾乎遍及全部珊瑚礁區；不具堅硬骨骼之軟珊瑚類（*soft corals*）及直立式生長含角質素之角珊瑚類（*Gorgonian*）則分佈呈區域性之生長或零星散佈式（圖 9）（表 6，7）。

在眾多的石珊瑚類中常見者有直立式或枝角狀生長之 *Acropora spp.*、*Seriatopora spp.*、*Pocillopora spp.*、*Heliopora sp.*、*Milleopora spp.*；平面覆蓋型（*encrusting*）或呈片狀生長之 *Montipora spp.*、*Tabinaria spp.*、*Pachyseris spp.*；外型為塊狀式的 *Favia spp.*、*Favites spp.*、*Porites spp.*、*Platygyra spp.*、*Fungia spp.* 等。這其中以 *Acropora spp.*、*Montipora spp.*、*Porites spp.*、*Heliopora spp.* 及 *Melleiopora spp.* 的大型群體最常見。軟珊瑚類常見之種類包括半直立式之 *Sacrophyton spp.* 平貼於礁岩生長之 *Lobophyton spp.* 與 *Sinularia spp.* 另外 *Dendronephtya spp.* 及 *Nephthea spp.* 為完全直立式之軟珊瑚，惟其群體不若前者普遍。與軟珊瑚經常共存的角

珊瑚類主要以海鞭 (*Junceella spp.*)、海扇 (*Melitheea spp.*) 及海柳 (*Chrysogorgia spp.*) 等種類為主要成員，其鞭狀或分枝型之軀幹以一端為固著點而聳立於岩石壁上，外型及顏色均十分特異美觀 (照片 1 ~ 10)。

石珊瑚相墾丁國家公園海域各區域裙礁帶珊瑚相特徵分佈如 (表 6) 所示。在各種礁岩地形中，石珊瑚群聚以萬里桐北段、紅柴、潭子、小灣灣內東側帶及鵝鑾鼻等處之珊瑚相為最豐富，萬里桐及紅柴區之海岸礁岩常呈巨石、裂溝，獨立礁或斜坡狀地形於岩石頂部及削壁上均可見各類石珊瑚生長，其中尤以蕈狀科 *Fungiidae* 珊瑚非固著性生長，為他處少見之種類，此外近岸之亞潮帶區更是 *Acropora spp.* 群集之所在。由萬里桐往南的紅柴地區，礁岩起伏較為平緩，珊瑚覆蓋率多維持 50% 以上，而在片狀 *Montipora spp.* 盛長之區域，珊瑚覆蓋率更達 80% ~ 90% 之間，生長其中的 *Acropora spp.* 直立頂著巨大平面型群體骨骼，加上悠游其間之色彩亮麗之各式珊瑚礁魚群，繽紛的景緻令人嘆為觀止。

從南灣向東至潭子一帶為另一石珊瑚相繁密的珊瑚礁區。綿延數公尺長之 *Acropora spp.* 的枝角狀群體及成小圓丘型之 *Porites spp.* 珊瑚群體經常可於此地區發現，它們與其他各式各樣之石珊瑚類如：*Montipora spp.*、*Goniopora spp.*、*Symphylia spp.*、*Lobophyllia spp.*、*Galexia spp.*、*Favites spp.* 等在此地形平緩的海底構成一個多采多姿的珊瑚礁景觀。而與此相似的珊瑚相也可在東方離此地數公里之小灣區灣內東側岸帶見到，惟後者珊瑚相分佈範圍較狹小且珊瑚礁間之魚類相也不若潭子地區豐富。小灣區經船帆石、砂島繞經鵝鑾鼻角至東海岸之風吹砂、港口溪處，除鵝鑾鼻一帶石珊瑚相較為繁盛以外，其餘地區珊瑚相分佈多在 50% 以下之覆蓋率。鵝鑾鼻角水域豐富之珊瑚礁以巨大石灰岩塊為其生長基底，其中 *Montipora spp.* 仍為優勢族群，且其生長外型多呈指狀凸出覆蓋，與他處片狀為主之情形差異極大；此外，*Merulina spp.* 片狀成叢之群體也是其他地方所少見的石珊瑚種類，這與恆春半島另一岬角處一貓鼻頭，以軟珊瑚及角珊瑚類分佈為主之情形成一明顯對比。

軟珊瑚相型態柔和，外型色彩多變化之軟珊瑚類在墾丁國家公園的大部份珊瑚礁區中並不常見，一般多以單獨群體點綴生長於石珊瑚群體間。由白沙往南繞經貓鼻頭至雷打石、後壁湖一帶，軟珊瑚的生長範圍與數量漸趨增加，尤其在核三出水口附近與後壁湖港外海底平台區軟珊瑚群聚大量滋長，群聚中的 *Lobophyton spp.*、*Sarcophyton spp.*、*Sinnularia spp.* 及 *Dendronephthya*

spp. 為常見之軟珊瑚，其富彈性的豐富組織矗立或匍匐蔓生於礁岩平台上，隨著流水婆娑，無形中為此原本美麗的海底世界，增添了動人的生趣。除上述軟珊瑚分佈地區外，在小灣灣口處及鵝鑾鼻附近仍可發現小型群聚的軟珊瑚相。此外，圍繞鵝鑾鼻角經東岸的龍坑北上往風吹沙一帶海域，珊瑚相分佈愈顯疏落。大小各類礁岩上常有石灰質紅藻類生長，而珊瑚以軟珊瑚中的 *Lobophyton spp.* 平鋪的群體生長較顯著，石珊瑚類則以 *Heliopora sp.* 生長最常見，其他如 *Favia spp.*、*Favites spp.*、*Platygyra spp.* 等塊狀珊瑚也生長其間，但大致而言，東海岸區可能因長期東北季風或河口沖出浮砂之結果而顯得水濁，致使珊瑚生長受到影響。

角珊瑚相除萬里桐巨石區及小灣口東側礁台區有少數角珊瑚外，在軟珊瑚生長茂盛的貓鼻頭到後壁湖一帶水域最常見海鞭、海扇及海柳等角珊瑚夾雜其間生長。由於角珊瑚之直立型群體，不若石珊瑚類或軟珊瑚類有綿延生長成為較大明顯群體之能力，因而其群聚型態常顯得疏稀分散，其中密集性以海鞭最為明顯，往往一海鞭生長區必有眾多的群體相鄰生長；而海扇群體常常是單獨側生於岩區上。角珊瑚類雖在分佈地區及數量上較石珊瑚或軟珊瑚相來得遜色，但以其突出的生長型態及“稀有”之特質，在墾丁國家公園綿延的海岸珊瑚相中，海鞭、海扇、海柳之角珊瑚類，不啻愈顯出其清新脫俗、風格非凡之特質。

*註：墾丁國家公園各區域珊瑚生物相調查結果包括海底景觀幻燈片一套共約 300 張。

(四)珊瑚資源之保育

珊瑚礁生態系為海洋中生產力較高之地區，但由於其食物鏈複雜，次級消費者大量捕食初級消費者，往往降低了珊瑚礁生態體系的生物量生產效率 (Kinsey, 1979)。再者，營養塩類在珊瑚礁區一般並不構成生產力的限制因子，而是常因珊瑚礁中棲息空間的不足，使許多底棲性生物難以生長發展 (Richard et al. 1984)。因此，對珊瑚礁區肉食性捕食者數量的控制，或提供各類的生存空間，將有助於珊瑚礁區可用資源量的增加。

珊瑚礁岩區由於富含縫隙、洞穴等隱蔽場所，可提供各類海洋生物的良好棲息地，而此等生物在長久繁衍生長後，往往特化成為珊瑚礁區所特有的生物

種。再加上許多晝行性與夜行性生物，如魚類，交互利用同一棲地，使得珊瑚礁區所能負荷的生物種類及數量大大的增高，進而成爲人類重要的漁獲區。

對於珊瑚的保育，在世界各地已廣爲進行，同時也是最有效方法便是保護區的設立。珊瑚保護區設立之目的主要在防止人爲性的珊瑚破壞，這些行爲包括商業性開採，野外娛樂活動，不當的漁撈方式及海岸污染等，以確保珊瑚礁生態體系的自然運作，並提供人類在經濟、娛樂、教育及研究等多目標之利用。基於以上的因素，珊瑚礁生態保護區之設立應包括的範圍有：一選定珊瑚生長密度高、歧異性大或優勢群聚生長明顯地帶作爲主要核心區，並嚴格禁止人爲的干擾活動。二與此核心區鄰近而關係密切的生態體系如礁岩平台、海藻區、砂灘地、河口紅樹林帶等地列爲保護緩衝區。三其他對保護區直接或間接產生影響的地區如河流上游集水區、海岸線帶、海流路線、航道區等地。由此可知，珊瑚保護區的設立，除了珊瑚礁帶爲必要的保護對象外，還需檢視與此珊瑚礁有關的各生態因子，以作全面而整體之規劃維護，方可防止諸多潛在干擾因素對珊瑚產生之影響。

研究珊瑚礁區各類生物間因生存競爭而產生的生物抗生物質 (*antibiotics*) 發現，對於應用在醫學藥物的製造上如抗凝劑、抗癌物、抗生素等有極大的幫助。

珊瑚礁所形成的地質結構尚有保護海洋帶，使其免遭風浪侵蝕破壞。一般珊瑚礁區多以裙礁或堡礁的形態環繞於陸地四周，形成一天然的防坡堤以阻擋經常性波潮的沖擊，確保了海洋區地形的完整及海洋植物的正常生長。相對的，若海洋區珊瑚礁遭受人們破壞及濫採結果而造成大量岸沙流失入海，終將嚴重妨礙珊瑚與其他海洋生物之生長。

就珊瑚本身而言，其特殊的造型與生長方式成爲海洋中奇特的景觀資源，加上生活其間繁多的海洋生物，常令人們對此繽紛多采的景緻讚賞不已，因此，珊瑚礁海岸區已成了人們戶外活動的最佳遊憩場所。上述的珊瑚資源雖具有生物性持續再生的能力，但因其生長速率的遲緩且易敏感於外界環境壓力而使生長受到阻礙，故珊瑚亦應被視爲非再生性資源，值得人們珍惜保護，以期此種資源能提供我們永續的開發與利用。

生態環境中，生物體受到環境中多方面因素的交互影響，這使得正常情況下，生物體內各生理因子及群聚中的各種生態條件均有其一定的變異範圍。因此，若欲了解環境壓力對珊瑚體的作用程度，須事先對正常環境條件下，珊瑚

群聚及生理變異之背景資料有所了解，才能建立珊瑚生態保育的預警系統，以防患於未然。此外，對於人們有害於珊瑚族群的活動如：濫採、炸魚、拖網、船錨、污染等都應嚴加限制，以保持珊瑚於自然環境下生息滋育。

以台灣珊瑚礁最發達的恒春半島為例，珊瑚礁岩由半島東邊的龜山沿海岸綿延達西岸港口溪附近，形成一條長約40公里的裙礁帶。目前此珊瑚礁海岸已列入墾丁國家公園區域，並依其資源將特性劃分為生態保護區，特別景觀區及海域遊憩。雖然，這一帶珊瑚礁區受到國家公園法的管理及保護，但由於對整個海域珊瑚礁生態體系的作用仍未徹底了解，使得此地珊瑚是否受到環境壓力及其干擾原因經常成為衆人爭論的問題。諸如核電廠的排放熱水對附近海域珊瑚生長影響，珊瑚群聚受干擾程度的評估標準，及其他鄰近區域對珊瑚礁所造成的影響等都是在執行珊瑚保育工作時所亟須了解的事項。這其中尤以偵測珊瑚對環境壓力所產生之反應，最能直接明瞭外界環境因子與珊瑚群聚生長之關係。而此偵測預警系統的建立，長期上，有賴於對本地珊瑚群聚組成變異情形的了解，但若能以檢視珊瑚體內生理因子如共生藻類色素、種類、能量比、脂肪酸變異，則將可獲致立即性的預警效果。

墾丁國家公園最具特色的地方，就是它幾近一萬五千公頃的海域資源保護區。這片地區佔了全公園的百分之四十五以上，除了提供觸目可見的潔白沙灘、蔚藍的海水、壯麗的海岸外，它真正潛力最大、價值無限的質源，實在是水下那片生機滿眼、洋洋大觀的生物世界。那裏有全世界數一數二的軟珊瑚群聚，兩百多種的石珊瑚以及蘊孕著超過七百種各式各樣的熱帶魚和數不清的無脊椎動物。但是，這個美麗的世界，一直在直接、間接的受到各種形式的侵害而日漸萎縮。直接的破壞顯而易見：如無知百姓的濫採珊瑚、濫捕熱帶魚，毒、炸魚，以及濫採海中生物等等。至於間接的傷害，雖不易察覺，却有與日俱增的趨勢，而且在規模及影響上，更為深遠，那就是沿岸水質狀況的惡化。其惡化原因且不同於一般河川或海域由工廠、都市廢水的有害或毒性物質所造成；而是屬於「旦旦而伐之」形式，致使水中懸浮泥沙日漸增加，此可歸因於「有欠週詳的盲目建設」。墾丁地區近年來不論政府民間，都是一片建設之聲，大小工程，未嘗稍息。大小工程都需剷除植被，破壞水土保持，拋棄大量土方，一場大雨將翻起的泥沙大量沖入附近的溪流中，濁水滾滾，逕奔入海。但珊瑚本身又是只生長在「清澈」溫暖的海帶海域中的「固著性」生物，完全沒有逃避抵抗的能力。時間一久，墾丁海域的珊瑚及其他生物資源，終會失去生機。

因此，在各項工程建設之初，如何在事前做好周詳而專業性的規劃，以免屆時不經意的發現下期的建設計劃已成了上一期的犧牲品，那就難以挽救了。

墾丁國家公園除對海域生態、景觀進行保護外，為使珊瑚礁資源更有效的利用，有關珊瑚礁區的遊憩觀光應為其適合發展的活動，這些活動包括潛水、釣魚、遊艇觀光等，為防止此類遊憩活動影響及海域資源，對於遊憩活動地區路線，活動的時間、方式等應有明確的管理辦法，而此等辦法的建立則宜先對海域珊瑚礁生物生長之特性及其相互關係有更充分的認識。

參考文獻

- Bancroft, K., E. A. Paul and W. J. Wiebe (1976). The extraction and measurement of ATP from marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 21: 473-480.
- Barnes, D. J. (1973). Growth in colonial scleractinians. Coral reef project.
- Eiland, F. (1979). An improved method for determination of adenosine triphosphate (ATP) in soil. *Soil Biol. Biochem.* 11: 31-35.
- Grigg, R. W. (1983). Community structure, succession and development of coral reefs in Hawaii. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 11: 1-14.
- Highsmith, R. C. (1982). Reproduction by fragmentation in corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7: 207-226.
- Ireland, D. M. and D. C. B. Mills (1966). Detection and determination of adenosine diphosphate and related substances in plasma. *Biochem. J.* 99: 283-296.
- Jeffrey, S. W. (1968). Pigment composition of siphonales algae in the brain coral *Favia*. *Biol. Bull.* 135: 141-148.
- Jeffery, S. W. and G. F. Humphrey (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP)*, Bd. 167: S. 191-194.
- Johannes, R. E. and W. J. Wiebe (1970). Method of determination of coral tissue biomass and composition. *Limnol. Oceanogr.* 15: 822-824.
- Karl, D. M. and Paul A. LaRock (1975). Adenosine triphosphate measurements in soil and marine sediments. *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 599-607.
- Kinsey, D. W. (1979). Carbon turnover and accumulation by coral reef. Ph. D. dissertation, University of Hawaii, Honolulu.
- Lee, C. C., R. F. Harris, J. D. H. Williams, D. E. Armatrong and J. K. Syers (1971a). ATP in lake sediments; determination. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 35: 82-86.
- Lowry, O. H., N. J. Rosebrough, A. Lewis Farr and R. J. Randall (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275.
- Meyers, P. A., Quinn, J. G. and Marshall, N. (1974). A method for analysis of fatty acid in coral. *Limnol. Oceanogr.* 19: 846-848.

Meyers, Phillip A. (1979). Polyunsaturated fatty acids in coral: Indicators of nutritional sources. *Mar. Biol. Letter.* 1: 69-75.

Muscantine, Leonard (1967). Glycerol excretion by symbiotic algae from corals and tridacna and its control by the host. *Science* 156: 516-519.

Richard, W. G., J. J. Polovina and M. J. Atkinson. (1984). III. Resource limitation, community regulation, fisheries yield and resource management. *Coral reef* 3: 23-27.

Sammarco, P. W. (1982). Poly bail-out: and escape response to environmental stress and a new means of reproduction in corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 57-65.

Strickland, J. D. and T. R. Parsons (1968). A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167. 311 p.

- 邵廣昭 1985 墾丁國家公園海域魚類群聚調查報告。
內政部營建署 保育研究報告第19號，P 49 ~ 92。
- 李玉玲 1985 墾丁國家公園海域之植物性浮游生物研究報告。內政部營建署 保育研究報告第19號，P 193 ~ 224。
- 方力行 1985 墾丁國家公園珊瑚組或與生理生態研究報告。內政部營建署 保育研究報告第19號，P 261 ~ 292。

表1 利用不同方法萃取珊瑚 ATP 之回收率比較表

Method	% Recovery of added ATP, in samples diluted		
	5X	10X	50X
Cation ion exchange:			
DMSO (0.1N)	42	73	81
H ₂ SO ₄	76	87	—
NaHCO ₃	69	89	94
Charcoal column:			
H ₂ SO ₄	63(0.2X)		

表 3 珊瑚 *Acropora sp.* 於正常情況下與受到環境壓力時 (暴露於空氣中) , ATP 含量之比較。

Sample No.	Condition	ATP ug/g	Sample No.	Condition	ATP ug/g
1	no stress	4.126	1	stress	0.696
2	no stress	3.490	2	stress	0.897
3	no stress	3.119	3	stress	0.250
4	no stress	3.263	4	stress	0.096
5	no stress	3.513	5	stress	0.143
6	no stress	3.932			
7	no stress	2.019			
Mean		3.352	Mean		0.416

表 4 液相層析法分離出之珊瑚共生藻色素種類

No.	pigment
1	Chl a
2	Chl c
3	peridinin
4	dinoxanthin
5	carotene
6	diadinoxanthin
7	neo-dinoxanthin
8	neo-peridinin
9	unknown
10	unknown

表 5 珊瑚 *Acropora spp.* 組織中之脂肪酸組成及其相對含量

Fatty acids	Content (%)	
	sp. 1	sp. 2
Saturated		
Myristic (14:0) *	21.1	32.2
Palmitic (16:0)	45.0	31.2
Stearic (18:0)	12.9	8.6
Unsaturated		
Paimitoleic (16:1)	2.5	0
Linolenic (18:3)	1.2	0.9
Arachidonic (20:4)	3.8	0.7
Eicosapentaenoic (20:5)	6.8	11.6
Nervonic (24:1)	2.8	5.0
others	3.9	9.8
Total	100(%)	100(%)

※括號內數字分別代表脂肪酸碳鏈之碳原子總數：雙鍵之碳原子數。

表 6 墾丁國家公園海域裙礁帶之珊瑚相分佈

分佈地區 珊瑚相特徵	萬里桐 (一)	紅柴 (二)	白沙 (三)	貓鼻頭 (四)	雷打石 (五)
地形特徵	海蝕縱溝， 巨大礁石， 獨立礁。	礁岩斜坡帶， 礁石	礁丘，岩塊平台， ，砂地。	巨大，陡坡。	礁塊，礁岩斜坡 海底平台。
數量 (覆蓋率%)	30.~60. %	50.~80. %	20.~50. %	20.~60. %	30.~70. %
群聚型態	石 珊 瑚	石 珊 瑚	1. 石珊瑚 2. 軟珊瑚	1. 軟珊瑚 2. 石珊瑚	1. 軟珊瑚 2. 石珊瑚
生長特徵	1. 各類石珊瑚於礁 石上分佈，少有 優勢種類之龐大 族群。 2. 觸身海扇、海鞭 側生於礁石上。	1. 片狀生長之Montipora 覆蓋大部份礁岩。 2. 平而生長的Acropora 群體直徑常達1公尺 3. 南段礁石上，珊瑚種 類豐富。	1. 珊瑚類分佈疏；軟 珊瑚群體較石珊瑚 發育良好。	1. 陡坡，岩塊頂部 多為軟珊瑚類繁 生。 2. 海鞭、海扇於礁 岩頂部或側面生 長。	1. 石珊瑚在近岸 區岩塊上分佈 較密。 2. 斜坡帶起以軟 珊瑚為主，間 雜者海鞭生長。
主要種類 (屬)	Acropora Montipora Pocillopora Favia Fungig Lobophyton	Montipora Acropora Favites Porites	Lobophyton Sarcophyton Simularia Montipora Favia	Juncella Sarcophyton Lobophyton Simularia	Acropora Helipora Millepora Sarcophyton Lobophyton Juncella

*地區範圍見圖

表 6 (續)

珊瑚相 特徵	分佈地區					
	後壁湖 (A)	南灣 (B)	潭子 (C)	小灣 (D)	磐帆石 (E)	
地形特徵	礁丘、礁岩平台。	礁丘，小礁石， 砂地。	礁丘，礁岩緩坡。	礁丘、大礁石， 礁岩平台	礁塊，礁岩平台。	
數量 (覆蓋率%)	40 ~ 70 %	30 ~ 70 %	50 ~ 80 %	20 ~ 80 %	20 ~ 50 %	
群聚型態	1. 軟珊瑚 2. 石珊瑚	石珊瑚	石珊瑚	1. 石珊瑚 2. 軟珊瑚	石珊瑚	
生長特徵	五顏六色，質地柔軟的軟珊瑚群體平鋪或立於礁台上達 1 公尺以上。	枝角狀 <i>Acropora</i> spp. 族群常綿延達數公尺；其他各類石珊瑚間雜生長。	石珊瑚種類，數量甚為豐富， <i>Acropora</i> , <i>Porites</i> <i>Goniopora</i> 為常見之大型群體生長。	1. 灣內區東側珊瑚茂密 <i>Acropora</i> <i>Porites</i> <i>Seriatopora</i> 群體顯著。 2. 灣口帶巨石多軟珊瑚 3. 灣外東側，海鞭軟珊瑚常見。	岩塊頂部珊瑚少見，以 <i>Helioportia</i> 性較顯著。其他珊瑚多生長於礁岩斜而處。	
主要種類 (屬)	<i>Sarcophyton</i> <i>Lobophyton</i> <i>Sinularia</i> <i>Dendronephthya</i> <i>Nephtyas</i> <i>Favites</i>	<i>Acropora</i> <i>Porites</i> <i>Montipora</i> <i>Favia</i> <i>Helioportia</i>	<i>Acropora</i> <i>Porites</i> <i>Montipora</i> <i>Goniopora</i> <i>Synphyllia</i> <i>Lobophyllia</i> <i>Pachyseris</i> <i>Favia</i>	<i>Acropora</i> <i>Montipora</i> <i>Seriatopora</i> <i>Lobophyton</i> <i>Juncella</i>	<i>Montipora</i> <i>Helioportia</i> <i>Povites</i> <i>Favia</i>	

表 6 (續)

分佈地區 珊瑚特徵	香 蕉 灣 (台)	砂 島 (台)	鵝 鑾 鼻 (台)	龜 坑 (台)	風 吹 沙 (台)
地形特徵	礁岩, 礁丘。	礁岩起伏地	巨石、礁岩、平台	巨石、礁岩	礁岩、岩塊
數量 (覆蓋率%)	30 ~ 60 %	30 ~ %	30 ~ 70 %	10 ~ 30 %	10 ~ 20 %
群聚型態	石 珊 瑚	1. 石 珊 瑚 2. 軟 珊 瑚	石 珊 瑚	1. 石 珊 瑚 2. 軟 珊 瑚	1. 石 珊 瑚 2. 軟 珊 瑚
生長特徵	珊瑚分佈礁岩各處, 少密集式生長, 軟珊瑚偶亦見雜其間。	諸多石珊瑚種類生長, 但未見優勢種, 軟珊瑚類少, 但其群體蔓延範圍廣大。	礁石上珊瑚密布種類頗多, <i>Montipora</i> 多為枝狀凸起, <i>Merulina</i> 群體顯著; 平台區藻類生長, 珊瑚少見。	礁岩上佈滿石灰質藻類; 軟珊瑚群體為大較石珊瑚群體為大, 偶見海鞭出現。	以鈍頭指狀型之 <i>Helipora</i> 生長較顯著, 其他各類珊瑚發育不佳。
主要種類 (屬)	<i>Acropora</i> <i>Montipora</i> <i>Favia</i> <i>Favites</i> <i>Millepora</i> <i>Sarcophyton</i>	<i>Montipora</i> <i>Pachyseris</i> <i>Acropora</i> <i>Diploastrea</i> <i>Lobophyllia</i> <i>Lobophyton</i>	<i>Montipora</i> <i>Porites</i> <i>Acropora</i> <i>Helipora</i> <i>Pocillopora</i> <i>Pachyseris</i> <i>Merulina</i> <i>Favia</i>	<i>Acropora</i> <i>Favites</i> <i>Povites</i> <i>Lobophyton</i> <i>Sarcophyton</i> <i>Junceella</i>	<i>Helipora</i> <i>Favites</i> <i>Lobophyton</i> <i>Platygyra</i>

表 7 墾丁海域 15 個調查站記錄到之珊瑚類別及相對數量。珊瑚數量係以“+++”表常見，“++”表偶見，“+”表稀少。調查站順序名稱如表 5。

FAMILY & GENUS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
POCILLOPORIDAE															
Pocillopora	+++	++	+	+	++	+	++	+++	+	++	++	+	+	++	+
Seriatopora	+	+					++	++			+		+	+	
Stylophora	+	+			+			+						+	
Madracis					+	+	+							+	
ACROPORIDAE															
Acropora	+++	+++	++	++	++	+	+++	+++	+++	++	++	++	++	++	+
Montipora	++	+++	+		++	+	+++	+++	+++	++	++	+	+++	++	
Anacropora		+						+					+		
AGARICIIDAE															
Pavona		+					+	+	+		+		+		
Leptoseris	+	++			+		+	+	++				+		
Pachyseris	++	++			+		++	++	++	+	+		++	+	
Coeloseris	+	+			+		+	+	+		+				
SIDERASTREIDA															
Pseudosiderastrea		+			+			+	+				+		
Horastrea														+	
THAMNASTERIIDAE															
Psammocora		+					+	+					+		

表 7 (續)

FAMILY & GENUS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
FUNGIIDAE															
Cycloseris	+	+													+
Fungia	+	++		+											
Herpolitha		+													
Sandalolitha	+	+													
Lithophyllon	+	+													
PORITIDAE															
Goniopora	++	++			+		++	++	++	++	+	+	+		++
Porites															
Alveopora		+						+							
FAVIIDAE															
Favia	++	++	+	+	++	+	++	+++	++	++	+	+	+	++	++
Favites	++	++	+	+	++	+	++	+++	++	++	+	+	+	++	++
Gonlastrea	+	+			+		+	++	++	++	+	+	+	++	++
Platygyra	++	++	+		+		++	++	++	++	++	+	+	+	+
Leptoria	+	+			+		+	+	+	+	+				
Hydnophora		+			++	++	++	++	++	++	+	+	++	++	++
Montastrea	+	+			+		+	++	++	++	+	+	+		
Diploastrea		+			+		+	+	+	+	+				+
Cyphastrea	+	+			+		+	+	+	+	+				
Echinopora		++					+	++	++	++	+	+	++	++	++

表 7 (續)

FAMILY & GENUS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
OCULINIDAE															
Galaxea	+	++			++	++	++	++	+		+	+	+		
Aerhelia		+						+							
MERULINIDAE															
Merulina	+	++			+		+	++	++		+	+	++		
Clavarina		+							+				+		
MUSSIDAE															
Acanthastrea	+	+			+		+	+			+	+	++		
Lobophyllia	++	++			+		++	++	+		+	+	++		
Symphyllia	+	++			++		++	++	++		+	+	++	+	
PECTINIDAE															
Echinophyllia	+	+			+		+	++	++		+	+			
Oxypora	+	+						+							
Mycedium	+	+						+	+				+		
Pectinia		+			+	+	+		+				+		
CARYOPHYLLIDAE															
Eupyllia		+					++	++			+				
DENDROPHYLLIDAE															
Dendrophyllia					+			+	+				++	+	+
Tubastraea															

表 7 (續)

FAMILY & GENUS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Turbinaria</i>	+	++	+	+	+		+	++	++		+		+		
MILLEPORIDAE															
<i>Millepora</i>	++	++	+	+	+		++	++	++	+	++	+	++	++	+
HELIOPORIDAE															
<i>Heliopora</i>	++	+++	+	++	++	+	++	+	+++	+	+	+	++	++	++
TUBIROPIDAE															
<i>Tubipora</i>	+	+			++			+	+						
STYLASTERIDAE															
<i>Distichopora</i>														++	++
ALCYONIIDAE															
<i>Sacrophyton</i>	+	+	++	++	++	+++	++	+	+	+	+	+	++	++	++
<i>Lobophyllum</i>	++	+		++	++	+++	+		+		+		++	+++	++
<i>Simularia</i>			+	++	++	++	++	++	+	+		+	+	+	
NEPHEIDAE															
<i>Dendronephthya</i>	+		+	+	+	+++	+	+	+	+	+	+	++	++	+
<i>Nephthea</i>	+	+	+	++	++	++	+		+	+	+	+	++	+	
<i>Stereonephthya</i>				+		+									
ELLISELLIDAE															
<i>Juncella</i>	+			++	++	++			+				+		++

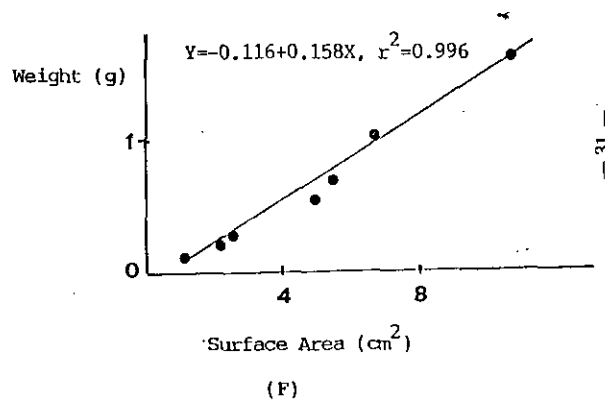
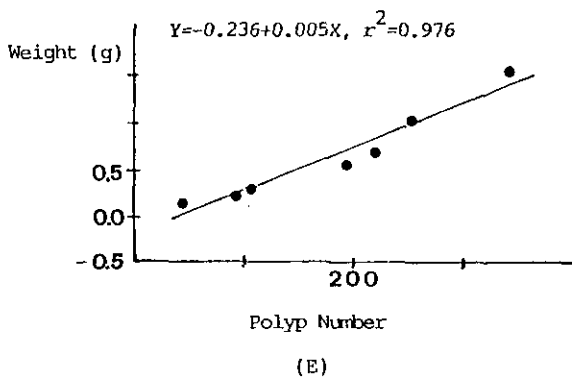
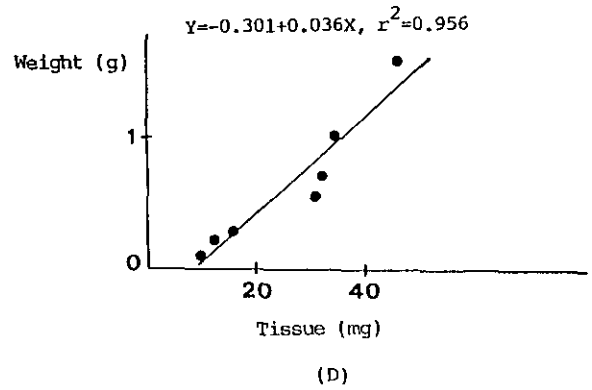
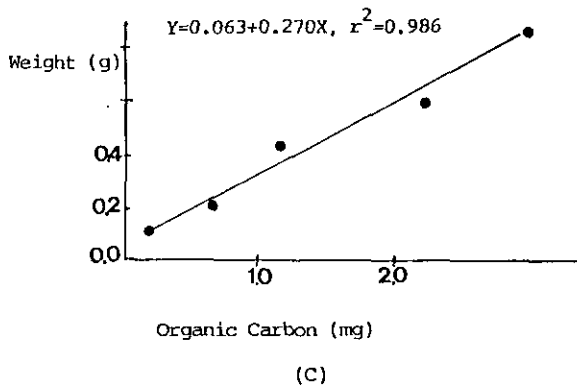
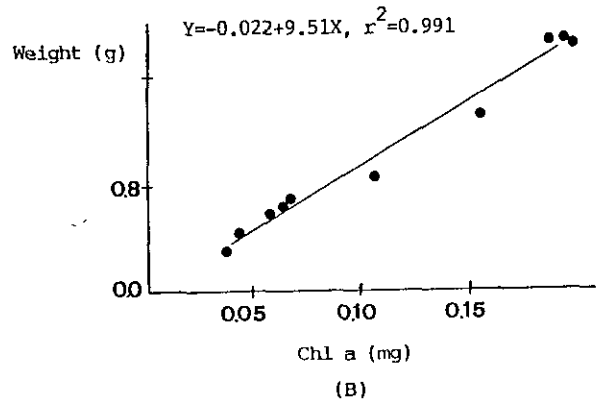
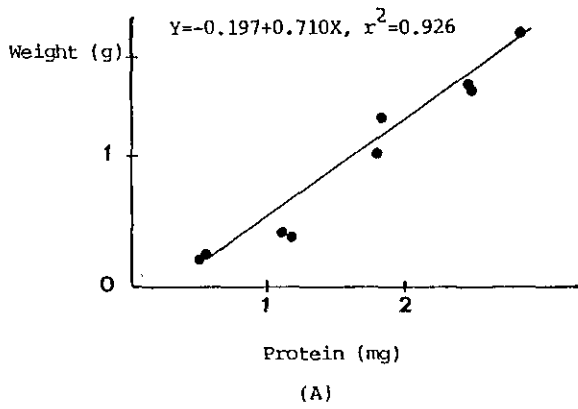
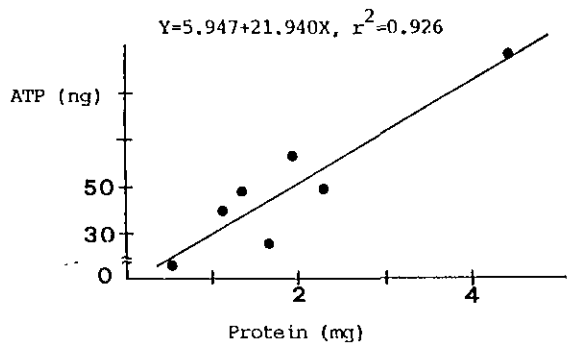
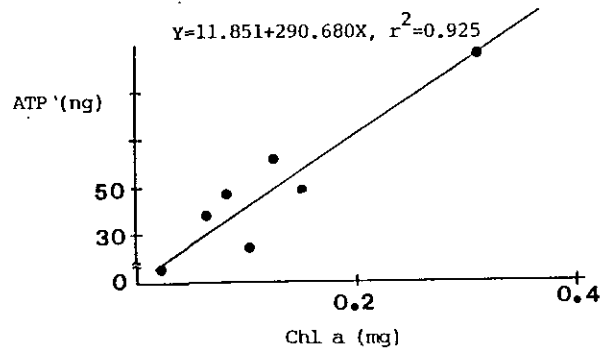


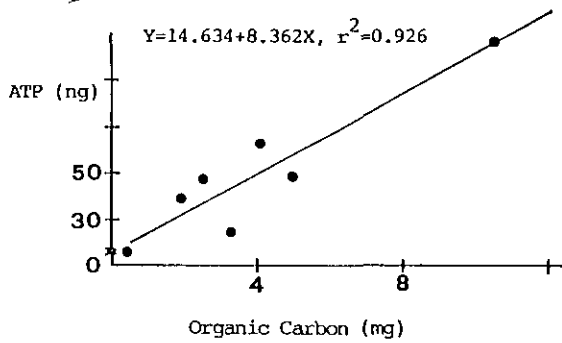
圖 1 珊瑚各生理生態因子與其總量（含骨骼）之關係。



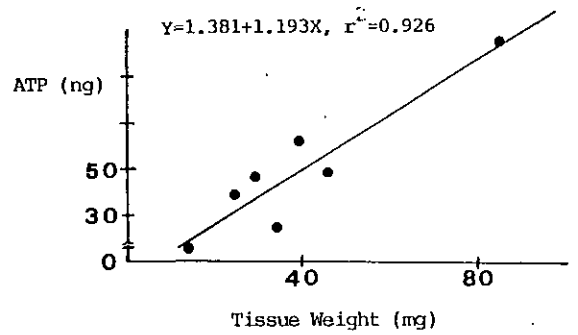
(A)



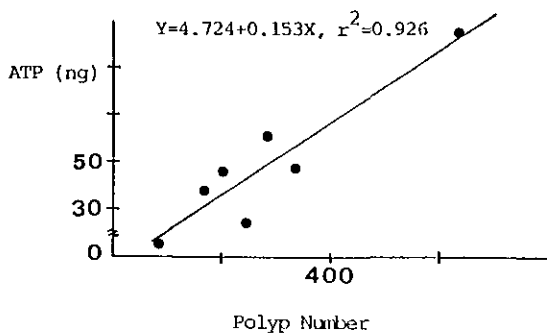
(B)



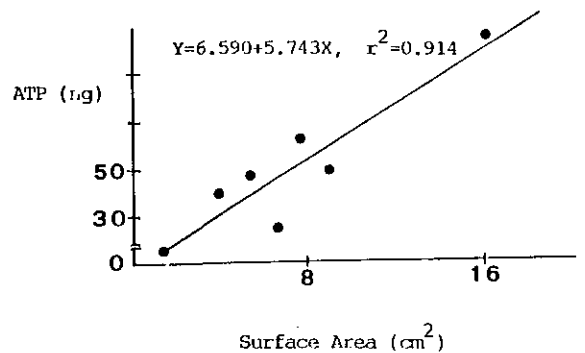
(C)



(D)



(E)



(F)

圖 2 珊瑚組織體經冷藏處理後，ATP 含量與各生理生態因子之關係。

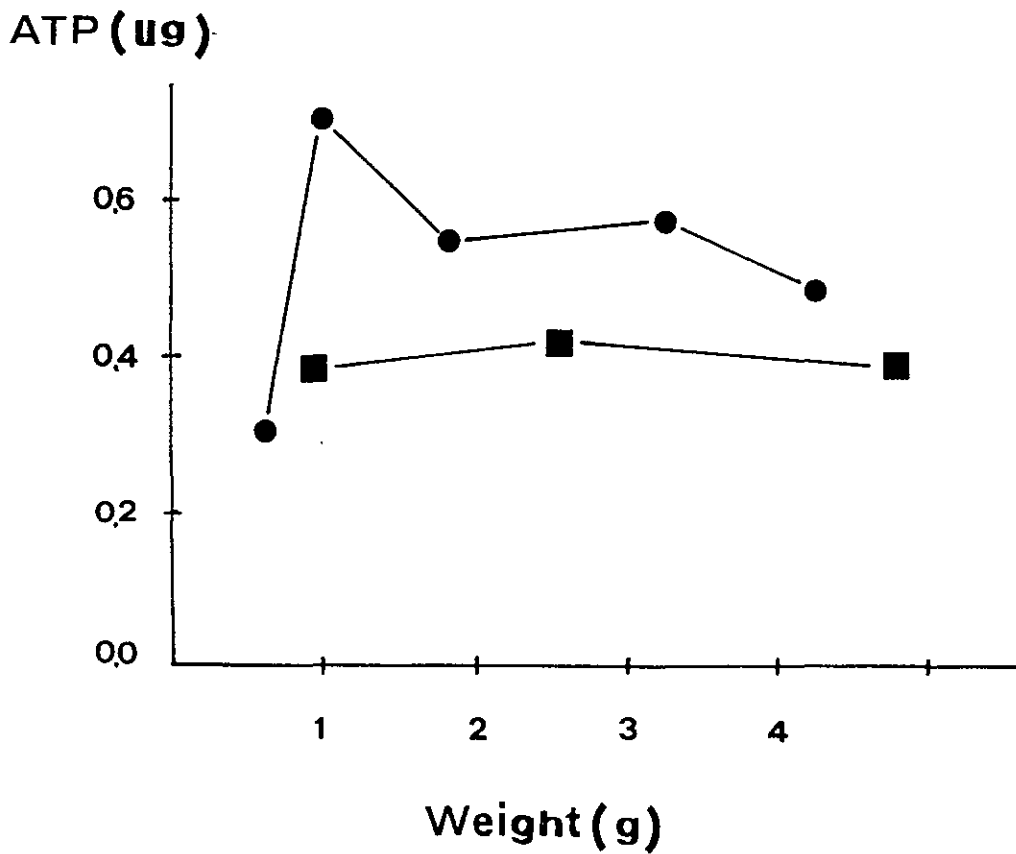


圖3 枝狀造礁珊瑚 (*Acropora sp.*)於退潮時露出水面與不露出之ATP含量比較。

- 露出水面之珊瑚
- 不露出水面之珊瑚

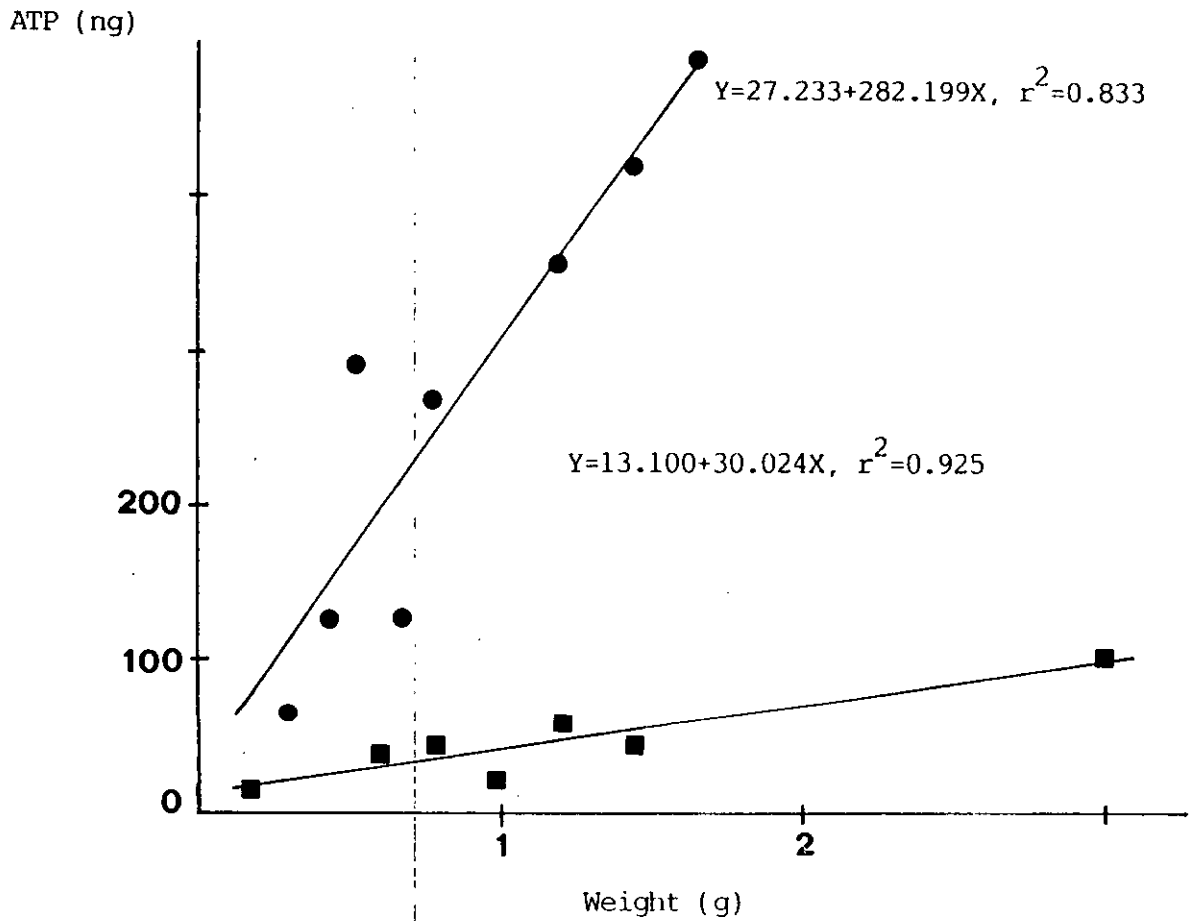


圖 4 珊瑚組織體以液態氮冷凍處理與否之 ATP 含量比較。

● — ● — ● 珊瑚組織體經液態氮冷凍處理。

■ — ■ — ■ 珊瑚組織體經冷藏處理。

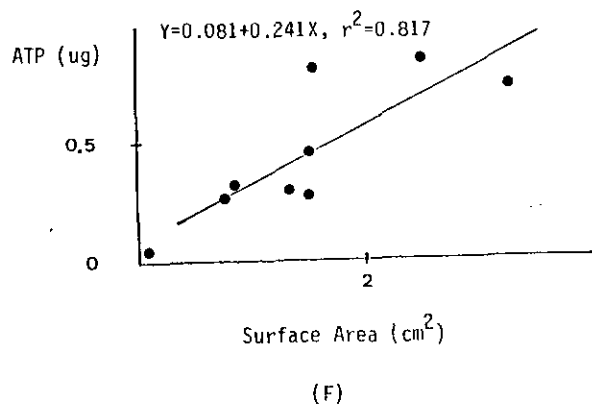
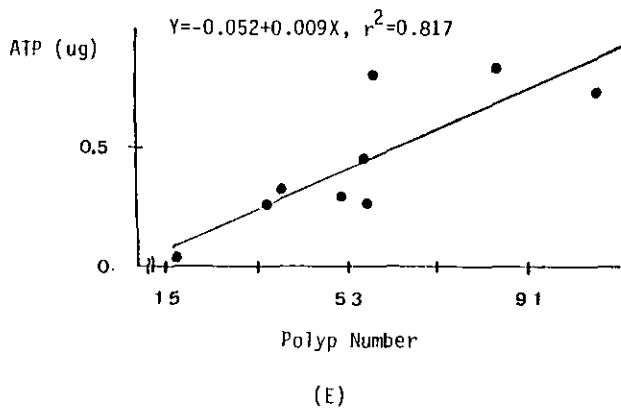
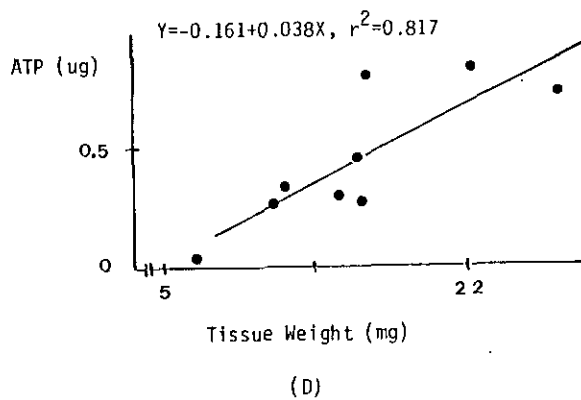
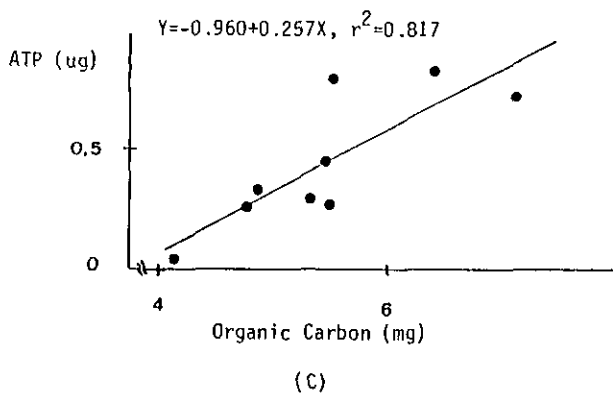
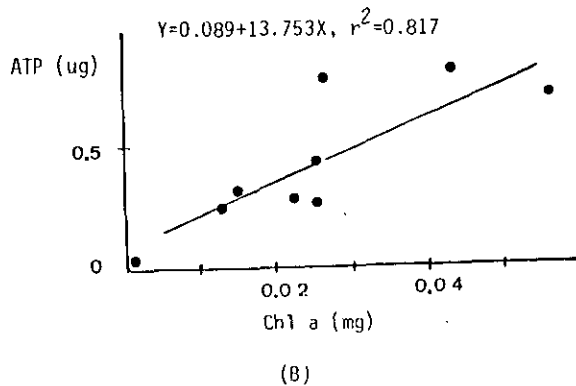
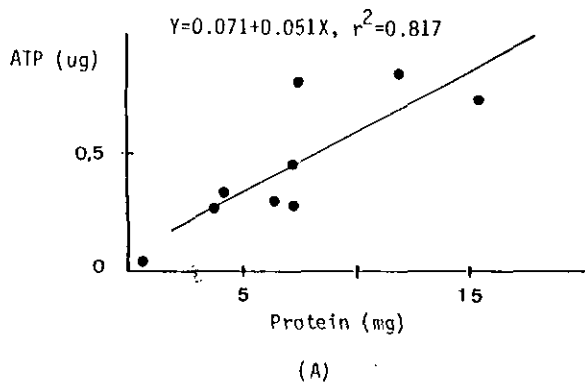
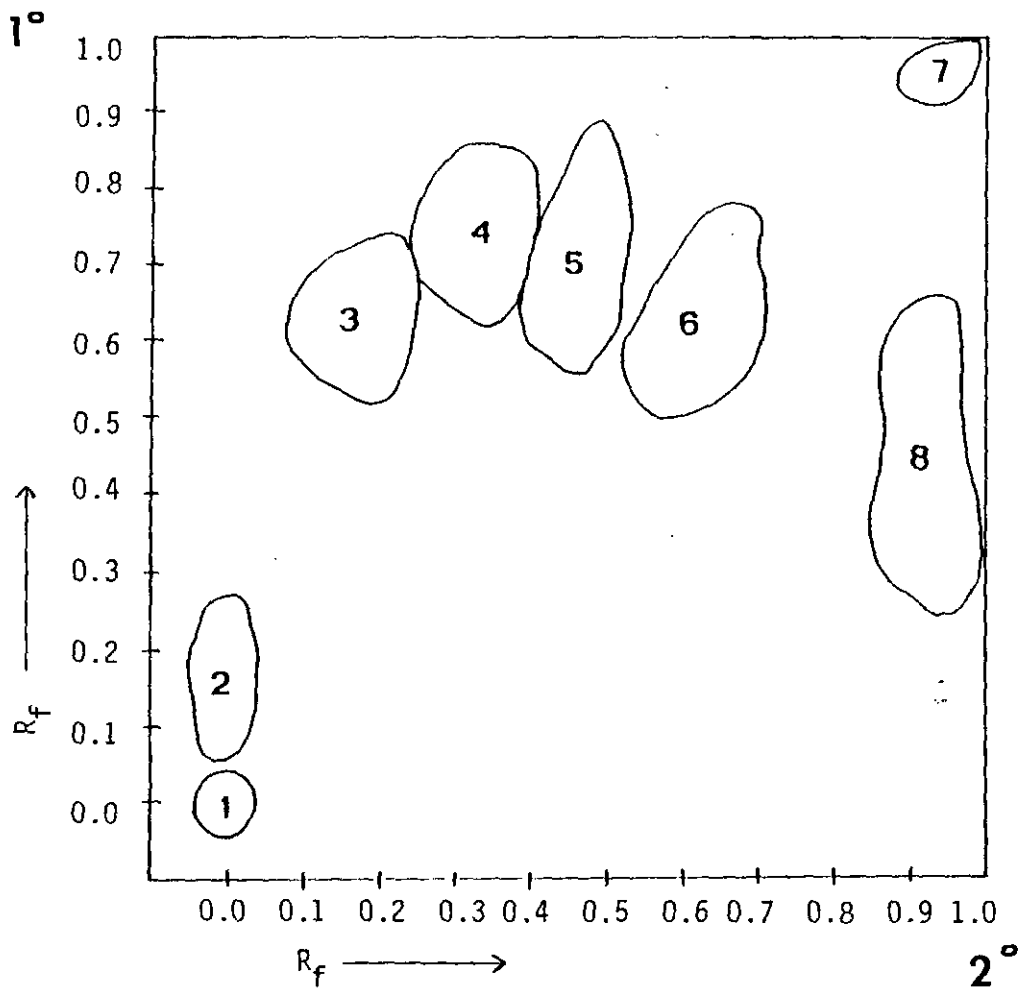


圖 5 珊瑚組織體經液態氮冷凍處理後，ATP 含量與各生理生態因子之關係。



Fraction	Color	R_f		Peak (nm)	Pigment
		1°	2°		
1	brownish-green	0.00	0.00		unknown
2	greenish	0.15	0.00	450, 580, 630	Chl c
3	brick red	0.65	0.20	475	peridinin
4	green	0.75	0.30	410, 430, 660	Chl a
5	yellow	0.70	0.40	418, 441, 470	dinoxanthin
6	yellowish	0.65	0.60		unknown
7	orange	1.00	1.00	430, 448, 475	carotene
8	none	0.50	1.00		fluorescence

圖 6 與表 2 珊瑚共生藻色素之層析結果。

Relative Concentration ↑

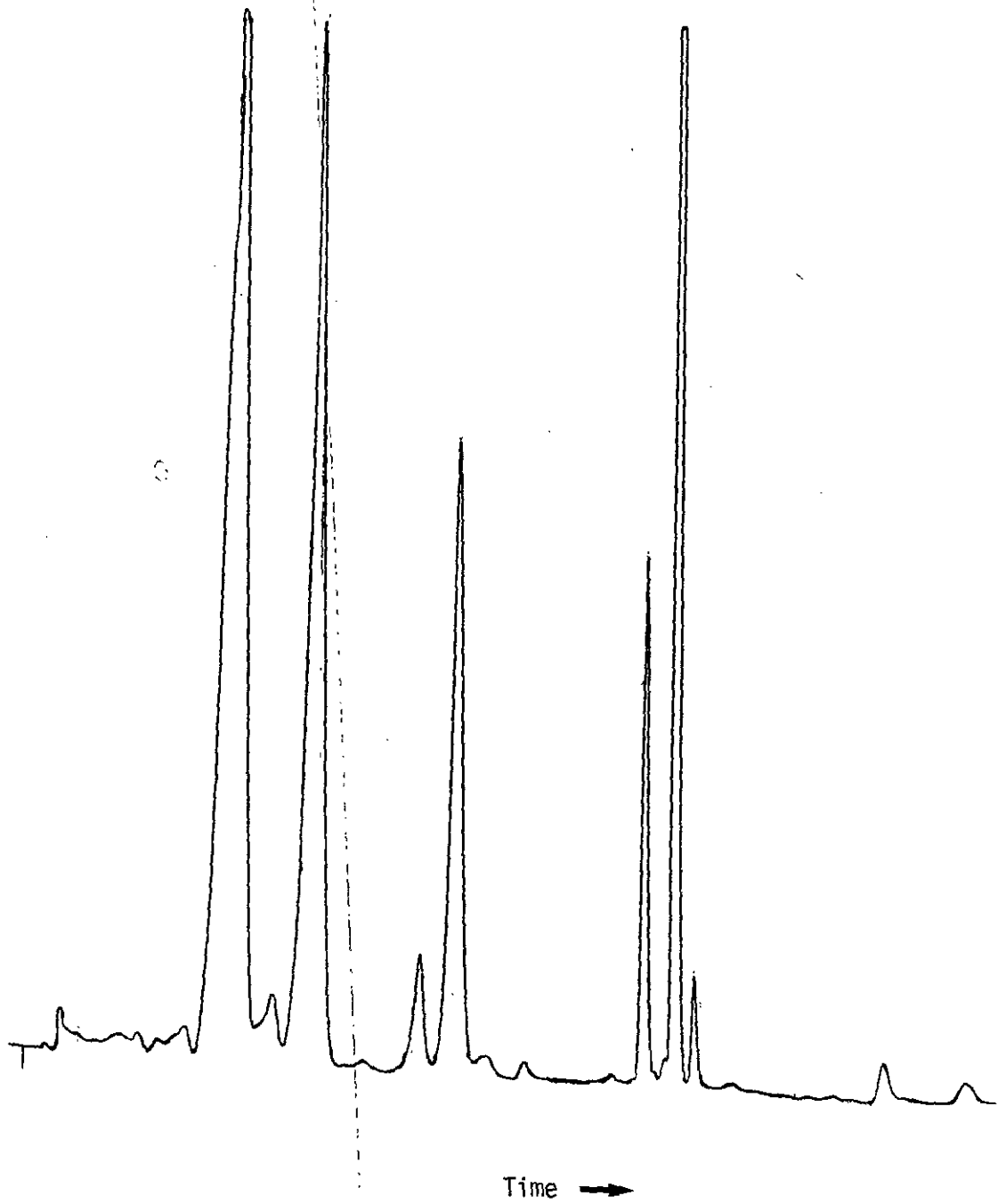


圖7 液相層析分離珊瑚 *Acropora* sp. 共生藻之各類色素吸收峯。

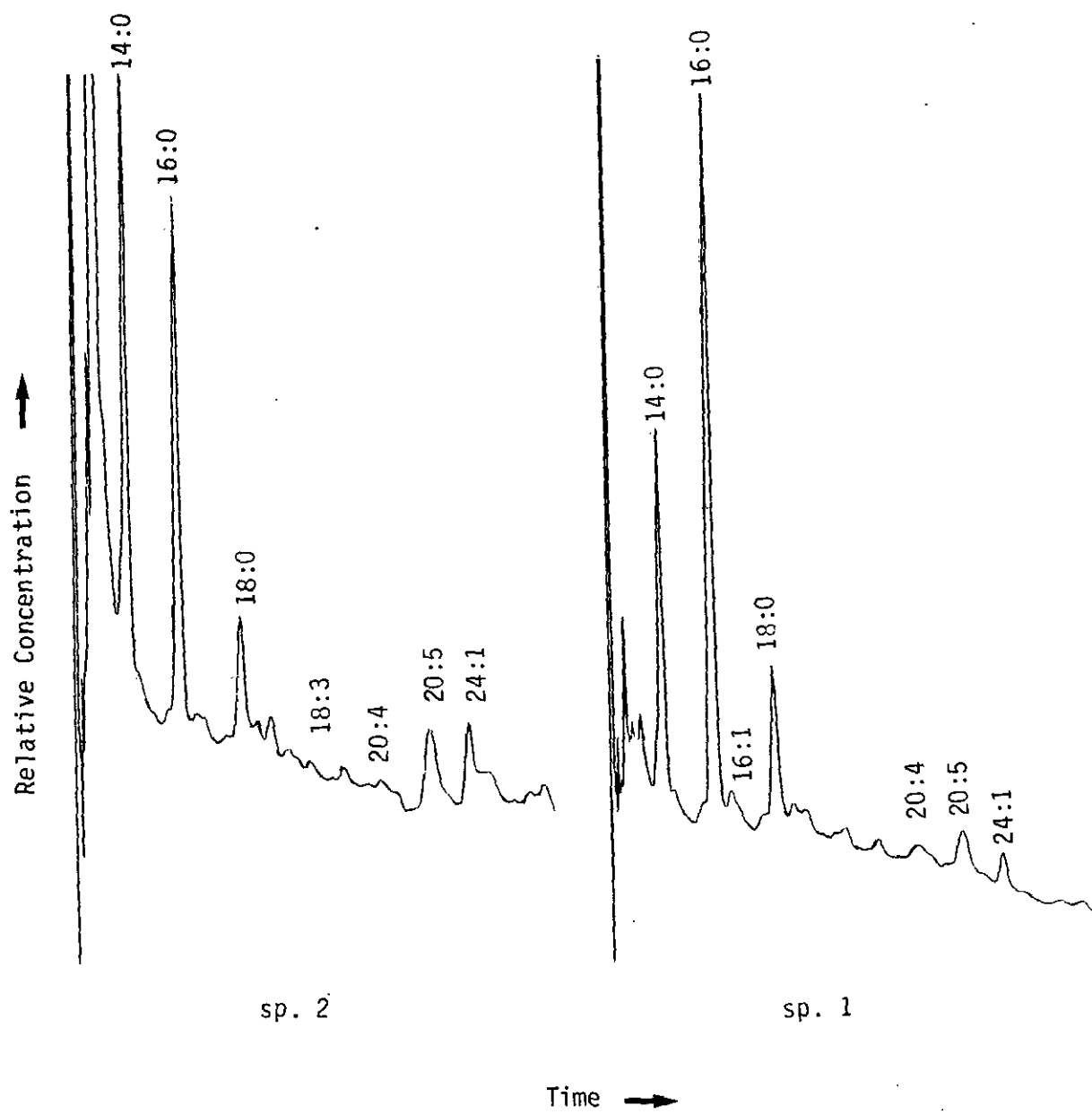


圖 8 氣相層析分離珊瑚 *Acropora* sp. 之各類脂肪酸吸收峯。

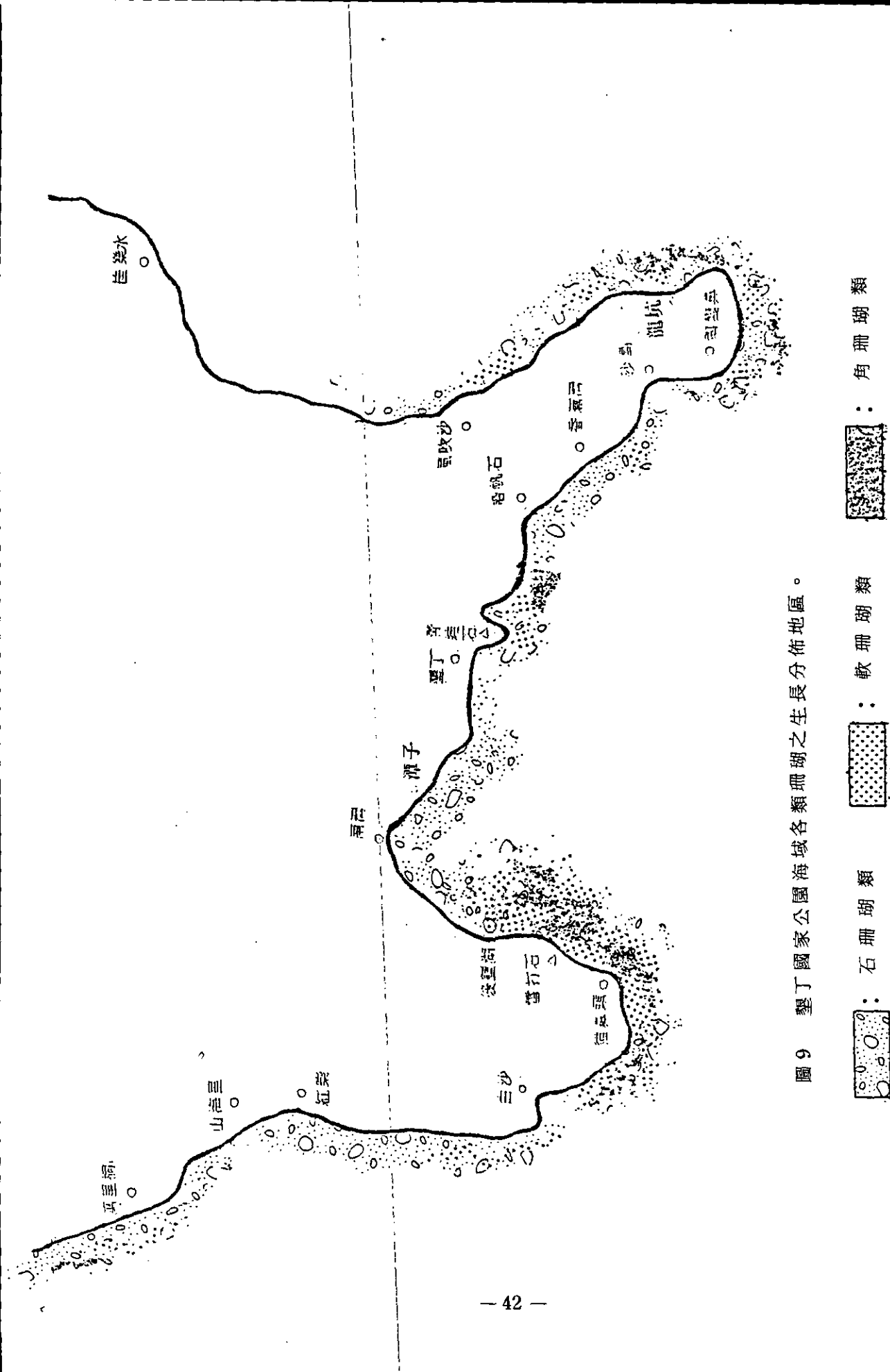
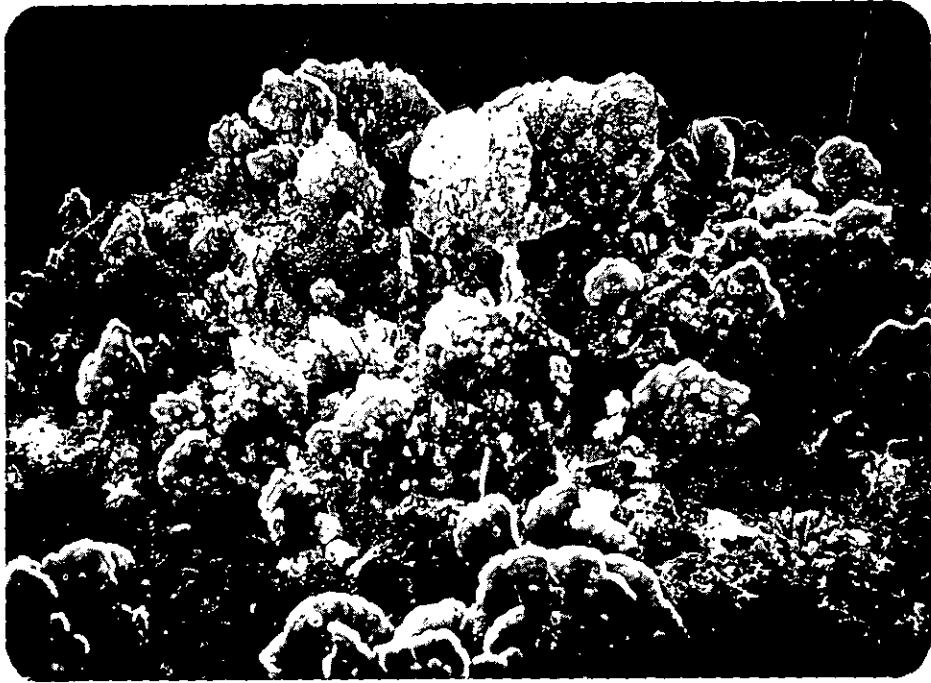
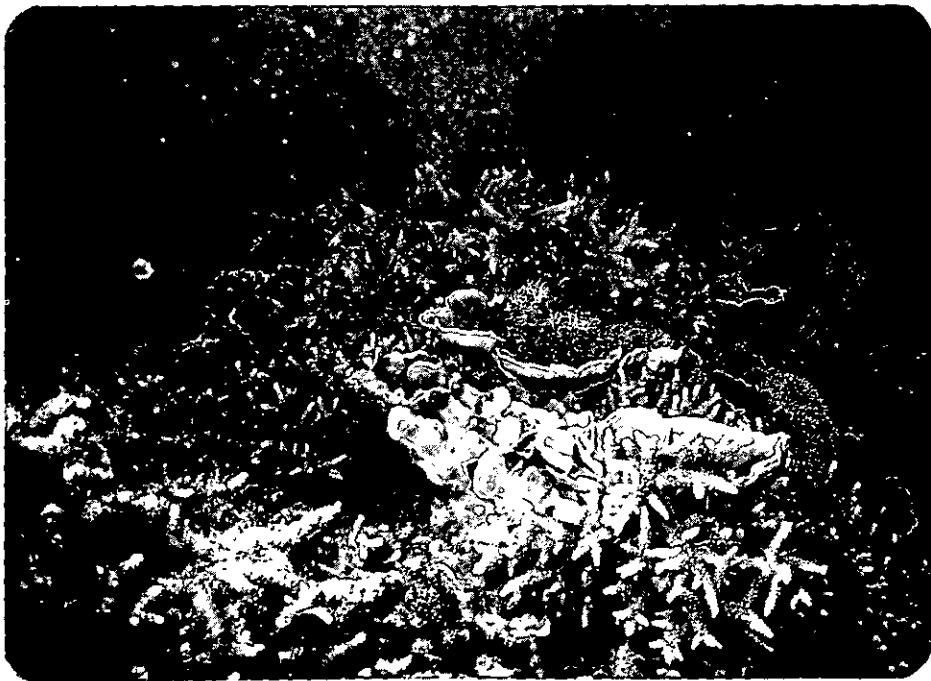


圖9 墾丁國家公園海域各類珊瑚之生長分佈地區。

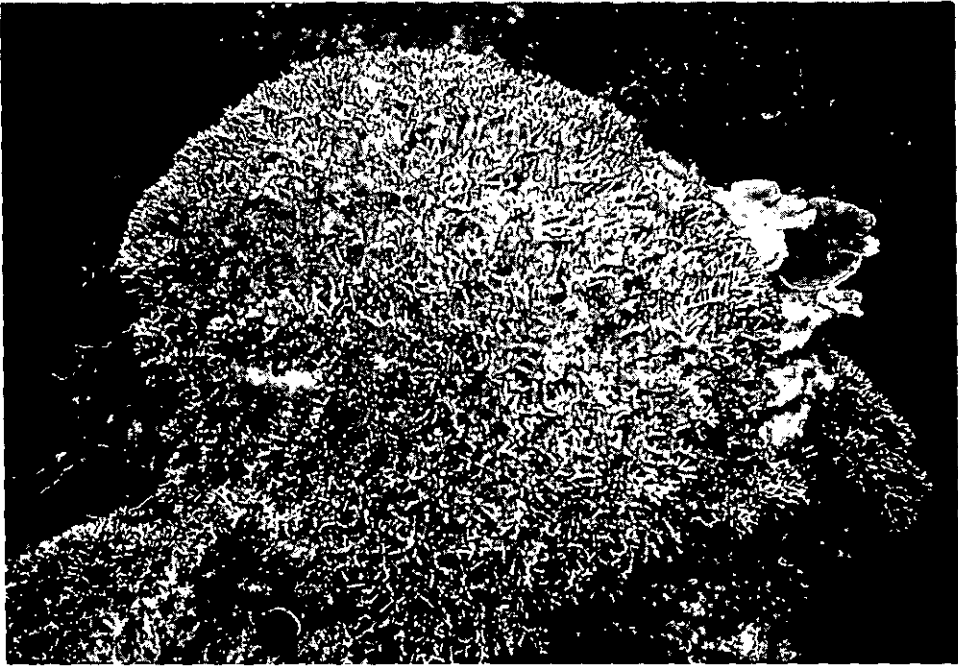
- ：石珊瑚類
- ：軟珊瑚類
- ：角珊瑚類



照片 1 扇形的 *Millepora* spp. 於礁岩頂部繁衍，
狀極崢嶸。（紅柴）



照片 2 *Montipora* spp. 與 *Acropora* spp. 族群密生，
極易為外力所折損。（紅柴）



照片 3 *Millepora* sp. 的大型群體 (雷打石)



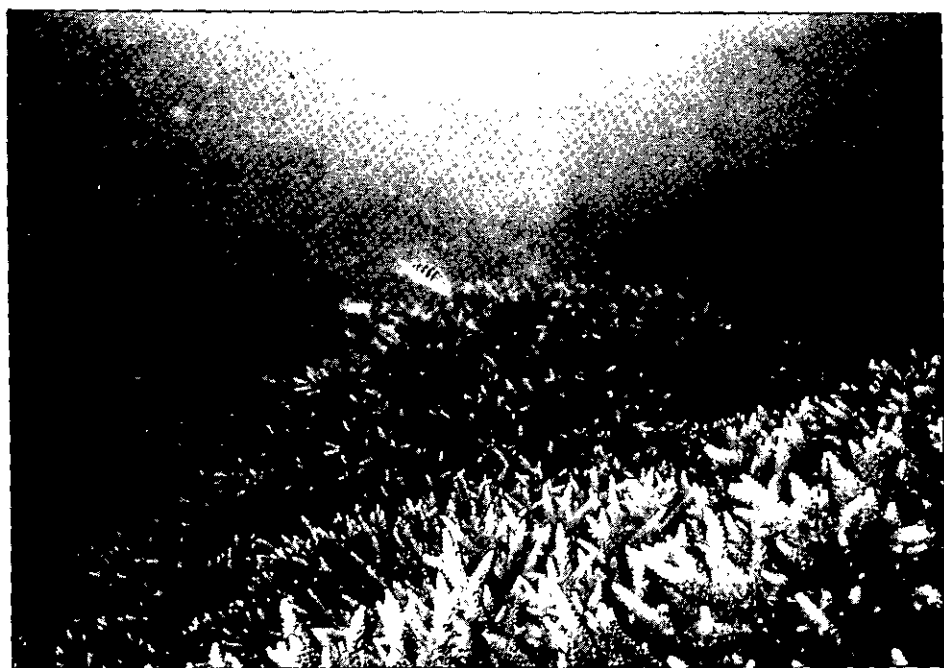
照片 4 海鞭經常與軟珊瑚群聚混合生長。(後壁湖)



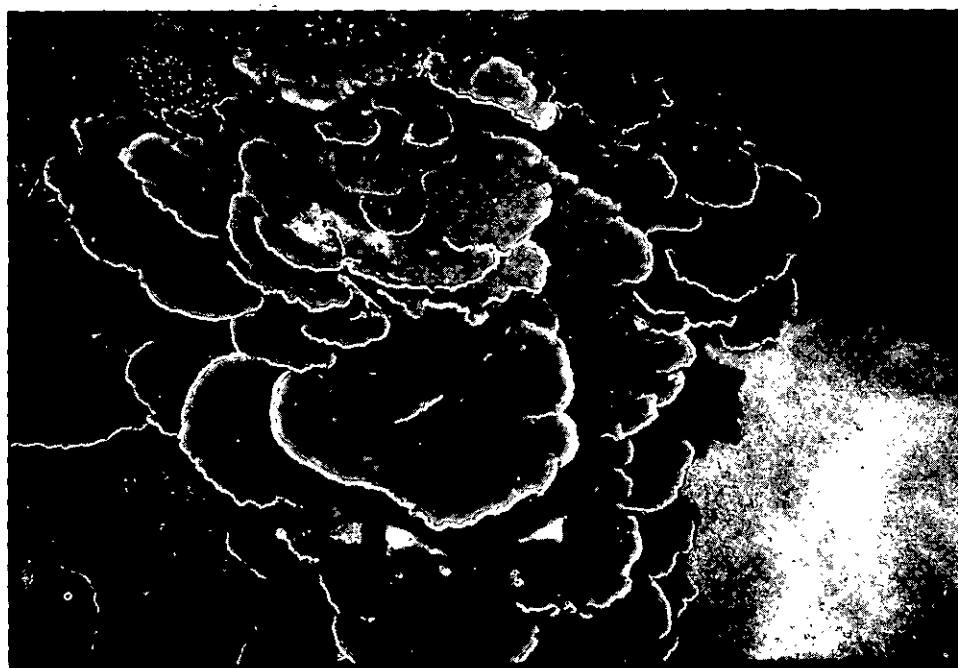
照片 5 海柳 *Suberogorgia* sp. 之外型，顏色美觀
優雅，令人嘆為觀止。（後壁湖）



照片 6 巨石上側伸而出的海扇與海鞭。
（貓鼻頭）



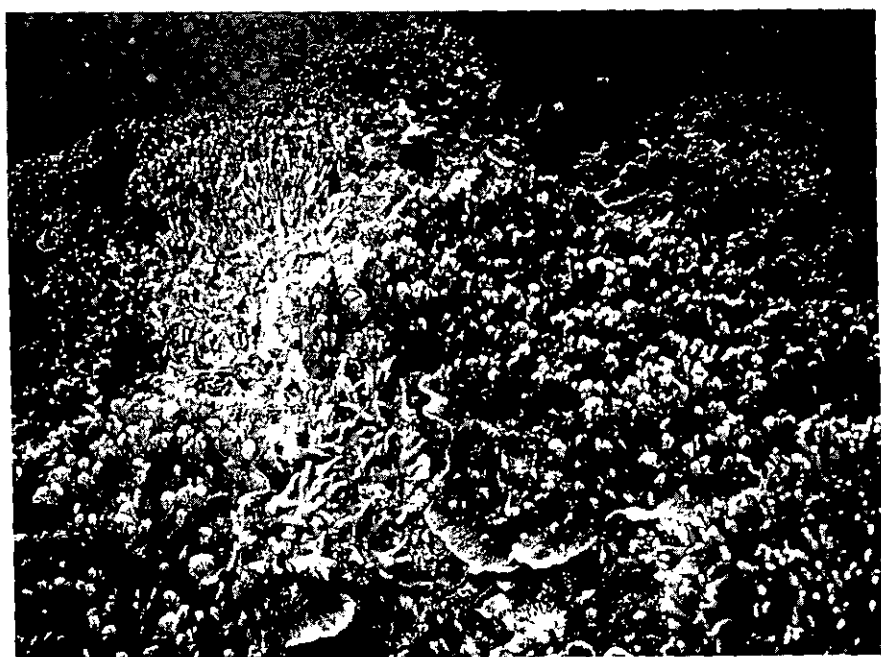
照片 7 龐大的枝狀造礁珊瑚 *Acropora* sp. 族群
綿延達數公尺。(南灣)



照片 8 片狀的 *Montipora* sp. 常生於礁岩壁上。
(小灣)



照片9 細長的海鞭 *Juncella* sp. 群體密生於礁岩斜坡處。(小灣)



照片10 大片的 *Montipora* sp. 群體蔓延於礁石頂部，群體並呈密生的指狀突起。(鵝鑾鼻)

附 錄

珊瑚能量之測定(國外論文發表)

Methodology and measurement of ATP in coral

In

Bulletin of Marine Sciences Vol: 47(2), 00-00, 1987 (in press)

Abstract

Informations about coral physio-biochemistry is not only important for pure scientific interest, but also critical for many practical purposes. In which, the amount of ATP in living coral is an important one because this universal energy-supply molecule could become a physiological index for coral conservation. However, coral samples usually contain less than 0.01% living tissue out of the total weight. There is no ATP measuring method had been applied on corals before. In this research, various methods for ATP extraction were examined. Techniques to concentrate ATP by column chromatography was also developed. It was found that extraction with H_2SO_4 then concentrated with charcoal-celite column give good results. Data obtained by this method were further calibrated with other morphological and physiological parameters of corals such as weight, surface, polyp number, total protein, total organic carbon and chlorophyll a. The high correlation between these data indicated the feasibility of the method. And the development of this may have provide a new approach - a physiological parameter for coral conservation.

Introduction

The conservation of coral is one of the most difficult task in natural resources conservation. The reasons are:

- (1) Corals are very slow growing animals. A damaged reef will take hundreds of years to recover (Grigg, 1983).
- (2) Corals are primitive and sessile organisms, mostly live only in warm, clear, unpolluted waters. They can not escape and hardly have any effective defense mechanism to unfavorable conditions.
- (3) The conventional monitoring index for endangered wildlife or community such as the fluctuation of number, diversity, evenness, coverage -- are not suitable for coral monitoring because the succession time of coral communities is too long to obtain any significant data if the sampling time is only a few years.
- (4) It is very hard to tell whether a coral is healthy or dying. Presently, this is mainly diagnosed in the field by the visual observation of a diver. A sign of "whitening" of a coral is usually considered to be unhealth. However, living polyps are only a small layer on the calcareous base, and the coloration of coral varies with different environmental conditions. Therefore, a chronic damage of coral community such as the deterioration of water quality may not be awared untill the situation is already very bad.

Based on all these facts, it is necessary that a parameter which can effectively reflects the living or health condition of coral should be developed for the conservation of them. We decide to use ATP, the most basic and universal energy-supplying molecule, as the indicator. ATP is a molecule

exists only in living cells. Its ratio to ADP and AMP, the energy charge index, generally reflects the vitality of the cell. Young, active, healthy cells have a ratio between 0.7-0.9. Old, stressed, weak cells have a ratio below 0.6. The lower the ratio, the worse the condition. If this concept could be applied to coral and a method to measure ATP in coral could be developed (which is not easy, because 99.99% of a coral sample is mineral materials), then, it is possible to tell whether the coral is alive, is it healthy or under stress? To what degree it is under stress? And if proper sampling is performed in a community, it is even possible that the community is expanding or shrinking could be estimated.

In this research, we have established a procedure to extract, concentrate and detect ATP in living coral. The data obtained by this method were further checked with other conventional biomass parameters used in coral such as weight, surface, polyp number, total protein, total organic carbon, chlorophyll a and total weight of living tissue to determine the accuracy of the method.

Materials and Methods

Living coral samples of Acropora gravida were collected from subtidal zone (1-4m deep) in Ken-ting area. They were either kept in 0°C sea water and immediately shipped back to laboratory for further experiment.

(1) ATP extraction and concentration:

Coral samples were extracted with (a) 0.6N H_2SO_4 in 4°C for 10 min (Karl and LaRock, 1975; Eiland, 1979) or (b) 90% DMSO in 4°C for 10 min (Eiland, 1979) or (c) boiling $NaHCO_3$ for 10 min then cool with ice water (Bancroft et al, 1975). These extractant were stirred with cation ion exchange resin for 3 minutes, then, the resin was packed into minicolumn and eluted with redistilled water. The elutant was adjusted to pH 7.8, diluted with EDTA-Tris buffer, then measuring its ATP content by luminometric method (Lumac enviromental applications, 1980).

To examine the recovery rate of ATP in these procedures, ATP standards were processed by the same procedure and their recovery rate was calculated.

After preliminary examination, H_2SO_4 extraction method was found most applicable. However, since the living material of coral is very little. A method to concentrate the ATP extracted from the samples seems necessary. A chacoal-celite micro-column was used (Ireland and Mills, 1966; Hodson et al., 1976) to achieve this purpose. H_2SO_4 extractant was passed through micro-column, then the column was eluted with a solution of ethanol: water: ammonium hydroxide (150:95:1,v/v). The elutant was subsequently blow dry by N_2 in 37°C water bath. The ATP residue was further dissolved in EDTA-Tris buffer for concentration analysis.

(2) Measurement of chlorophyll a:

The chlorophyll a in a coral sample was measured by two ways:

(A) Direct extraction: weighted sample was soaked in 100% acetone, ultrasonicated for 20 min, then stored in 4°C at dark for 24 hours. The amount of chlorophyll a was estimated as by Jeffery and Humphrey (1975).

(B) Indirect method: coral polyps was washed off from the skeleton by water pik, collected by centrifuge, then extracted with acetone. The skeleton was also extracted with acetone as specified above.

(3) Measurement of total protein:

Coral samples were boiled with NaOH (Lowry et al., 1951) for 1 hour. Total protein was determined as Lowry et al. (1951).

(4) Measurement of total carbon:

Living tissues of coral sample was washed off with water pik, collected by centrifuge, then its total organic carbon was measured according to Johannes (1970) and Strickland and Parsons (1968).

(5) Weight and number of polyps:

The number of polyps on a coral sample was first counted, then the skeleton was dissolved by 6N HCl. The polyp left was collected and their total weight was measured.

(6) Surface area:

Using aluminium foil to cover the sample, then calculate its surface by a surface-weight regression equation.

Results and Discussions

The best result of ATP extraction was obtained by using cold H_2SO_4 . The reason maybe that in acid solution ($pH < 2$), the degradation of ATP to ADP and AMP was inhibited. Also, strong acid will denature the endogenous ATPase.

The recovery rates increased along with the dilution rate (Table 1). This is due to the interference of ion in the solution was reduced by dilution. However, the more the dilution was, the lower the ATP concentration became. It seems that only the charcoal-celite column can solve the problem, which not only concentrated the ATP, but also decreased the interference of ions by selective absorption. The recovery rate was around 80 %.

From Fig. 1, it can be seen that total protein, total organic carbon, total living tissue weight (or polyp weight), surface, and chlorophyll a are all lineally corelated with total weight of the samples. In addition, ATP content is also lineally corelated with total weight (Fig. 2). Thus, with a transformation through total weight, the ATP content of coral can be checked against all the other conventional biomass parameters (Fig. 3). The results were very consistant, demonstrating this ATP extraction method for coral is highly accurate.

However, there is a phenomenon in coral which could not be ignored, i.e. what is the influence of zooxanthellae on these data? From Fig. 3-B it can be seen that the chlorophyll a is highly corelated with ATP content. So does the total protein, total organic carbon and total living tissue weight. No sign of significant difference can be detected. This maybe because that the

zooxanthellae is highly specified in the symbiotic life so its healthy status, as reflected by the amount of ATP is coincide with that of its host. Plus, the amount of living materials of zooxanthellae in the coral actually replaces the same amount of living tissue of the host. Therefore, the measurement of ATP as a whole did not biased by the symbiotic relationship.

Nevertheless, other independent boring algae in the coral could have bias the data. From Fig. 4, it was noticed that after the polyps were washed off, the coral skeleton along did not content significant amount of chlorophyll a, indicating the interference from boring algae was not important.

With the development of this method and the concept of using ATP as an indicator for environmental stress, a preiliminary experiment by collecting samples from low tide (coral exposed) and high tide (coral submerged) to measure their ATP content was performed. The results showed that (Fig. 5) coral under stress (exposed) do have a lower ATP content then that of the normal ones. Altugh more rigid experiments are needed to obtain sufficient data, the development of this method could have lead to an effective and reliable way to measure the degree of stress on living coral.

Acknowledgement

We thank Mr. Jei-Chei Hwang, Jiang-Shiou Hwang, and Miss Li-Lian Liu for much technical help. This research was supported (by National Ken-tin Park, Burea of Construction, Ministry of Interior via Dr. K.H. Chang.

Literature Cited

- Bancroft, K., E.A. Paul, and W.J. Wiebe. 1976. The extraction and measurement of ATP from marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 21: 473-480.
- Eiland, F. 1979. An improved method for determination of adenosine triphosphate (ATP) in soil. *Soil Biol. Biochem.* 11: 31-35.
- Grigg, R.W. 1983. Community structure, succession and development of coral reefs in Hawaii. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 11: 1-14.
- Hodson, R.E., O. Holm-Hansen, and F. Azam. 1976. Improved methodology for ATP determination in marine environments. *Mar. Biol.* 34: 143-149.
- Ireland, D.M., and D.C.B. Mills. 1966. Detection and determination of adenosine diphosphate and related substances in plasma. *Biochem. J.* 99: 283-296.
- Jeffery, S.W., and G.F. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll a,b,Vc in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP)*, Bd. 167: 191-194.
- Johannes, R.E., and W.J. Wiebe. 1970. Method for determination of coral tissue biomass and composition. *Limnol. Oceanogr.* 15: 822-824.
- Karl, D.M., and Paul A. LaRock. 1975. Adenosine triphosphate measurements in

soil and marine sediments. J. Fish. Res. Bd. Can. 32: 599-607.

Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A. Lewis Farr, and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.

Lumac environmental applications. 1980. Lumac System, Inc., Titusville, U.S.A..

Strickland, J.D., and T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 167. 311p.

Table 1 Recovery of ATP extraction by different methods

Method	% Recovery of added ATP, in samples diluted		
	5X	10X	50X
Cation ion exchange:			
DMSO (0.1N)	42	73	81
H ₂ SO ₄	76	87	--
NaHCO ₃	69	89	94
Charcoal column:			
H ₂ SO ₄	63 (0.2X)		

List of Figures

Fig. 1 Correlation between total protein contents, chlorophyll a contents, organic carbon contents, tissue weight, polyp number , surface area, and crude weight of Acropora gravida .

Fig. 2 Correlation between ATP contents and crude weight of Acropora gravida .

Fig. 3 The correlation of ATP contents with other biomass parameters of Acropora gravida after transformation through crude weight.

Fig. 4 Absorption spectra of extracted coral tissue and skeletons pigments in 100% acetone.

Fig. 5 ATP contents of exposed coral and immerged coral for Acropora gravida

■—■ exposed coral
●—● immerged coral

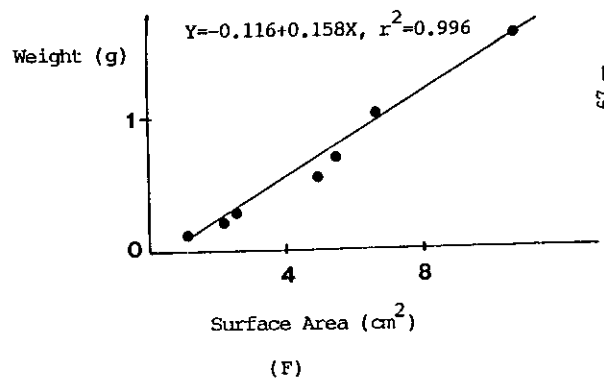
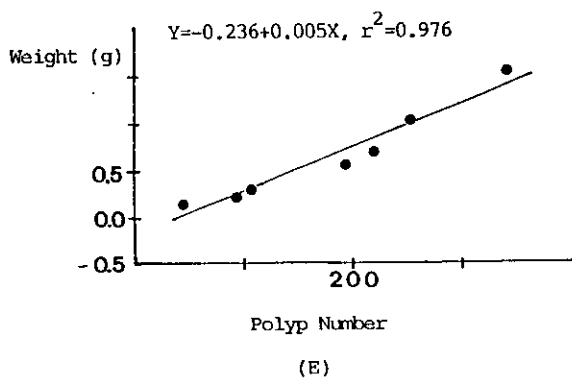
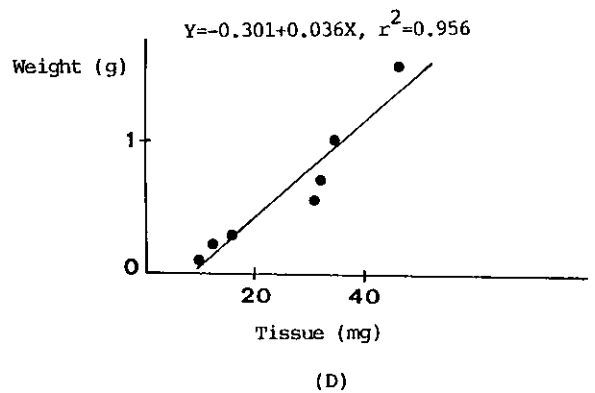
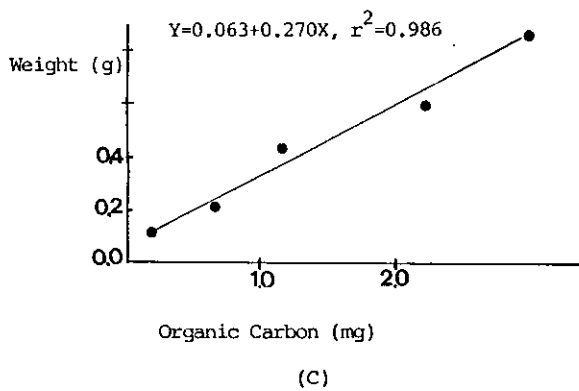
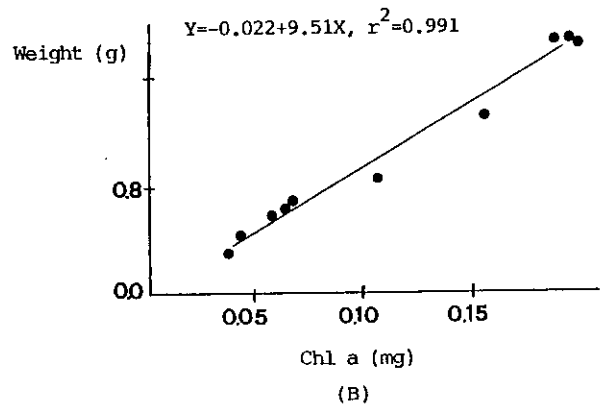
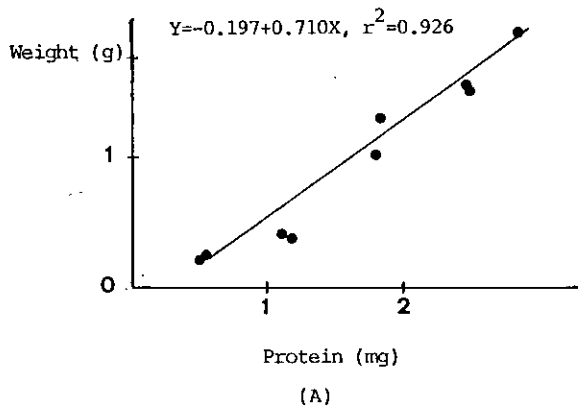


Fig. 1.

Weight (g)

$Y = -0.207 + 0.029X, r^2 = 0.926$

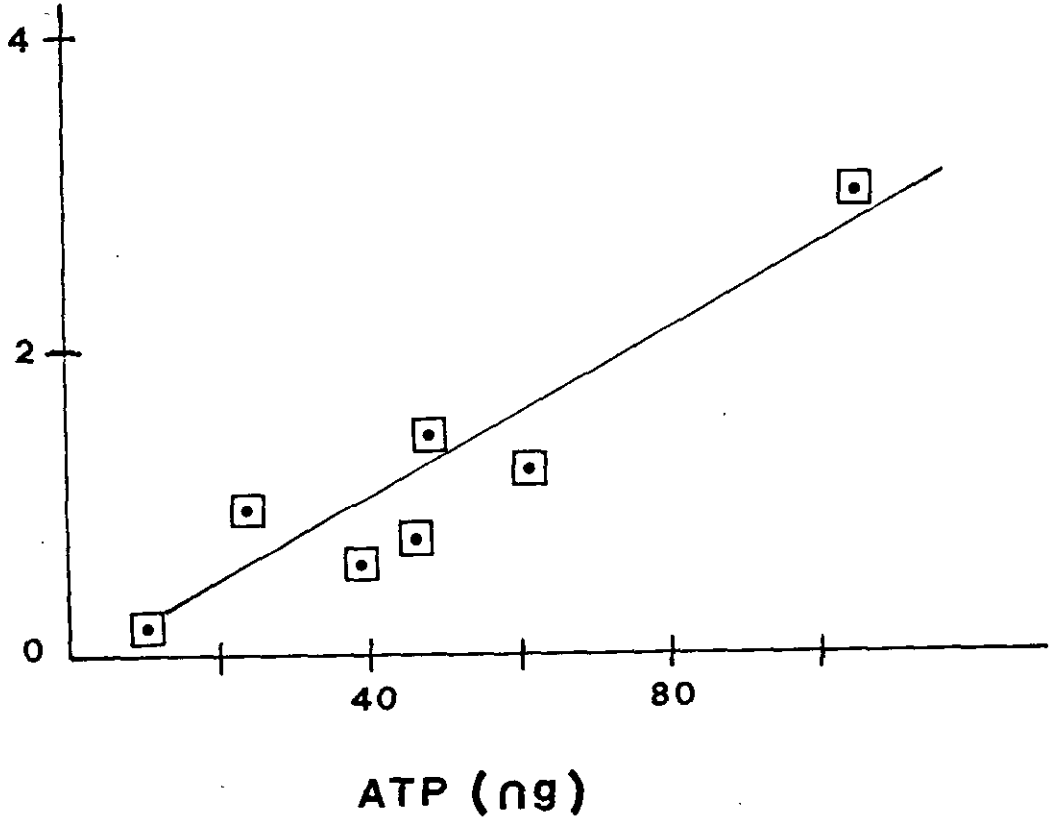
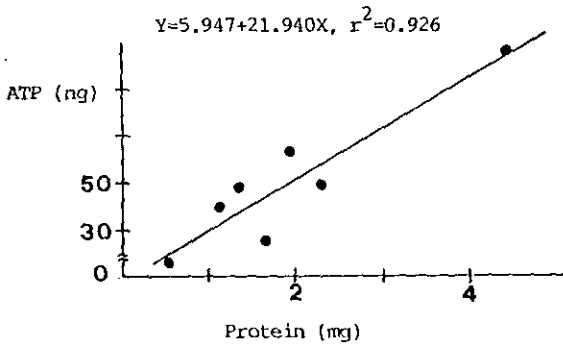
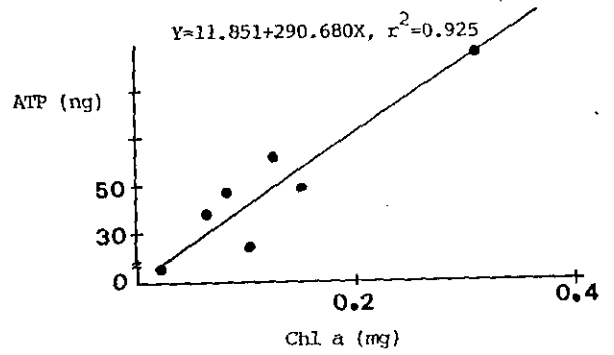


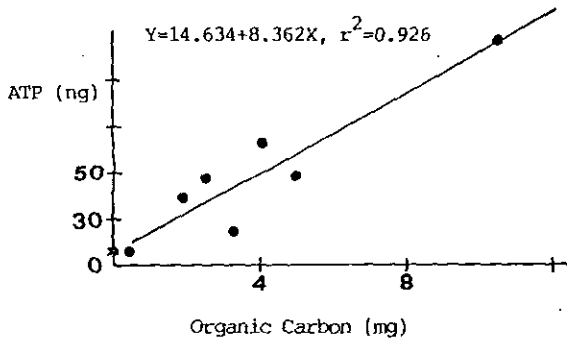
Fig. 2.



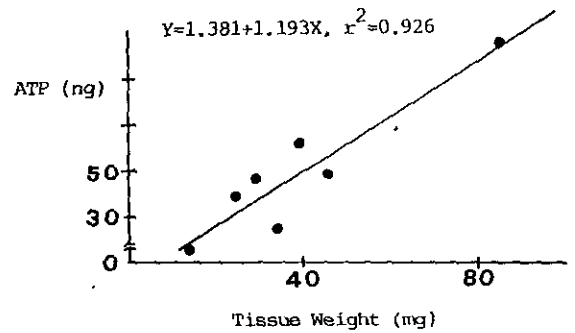
(A)



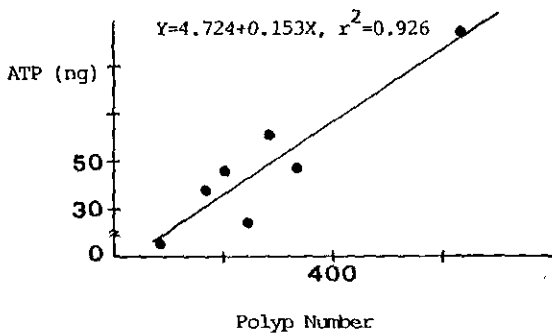
(B)



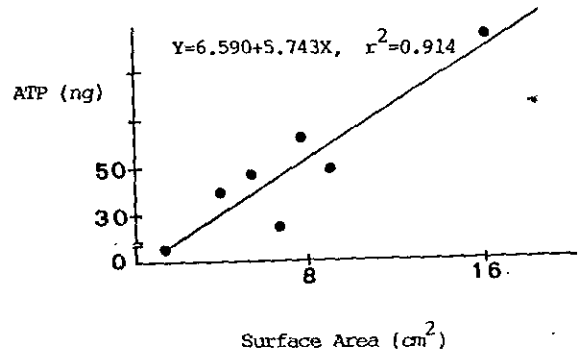
(C)



(D)



(E)



(F)

Fig. 3.

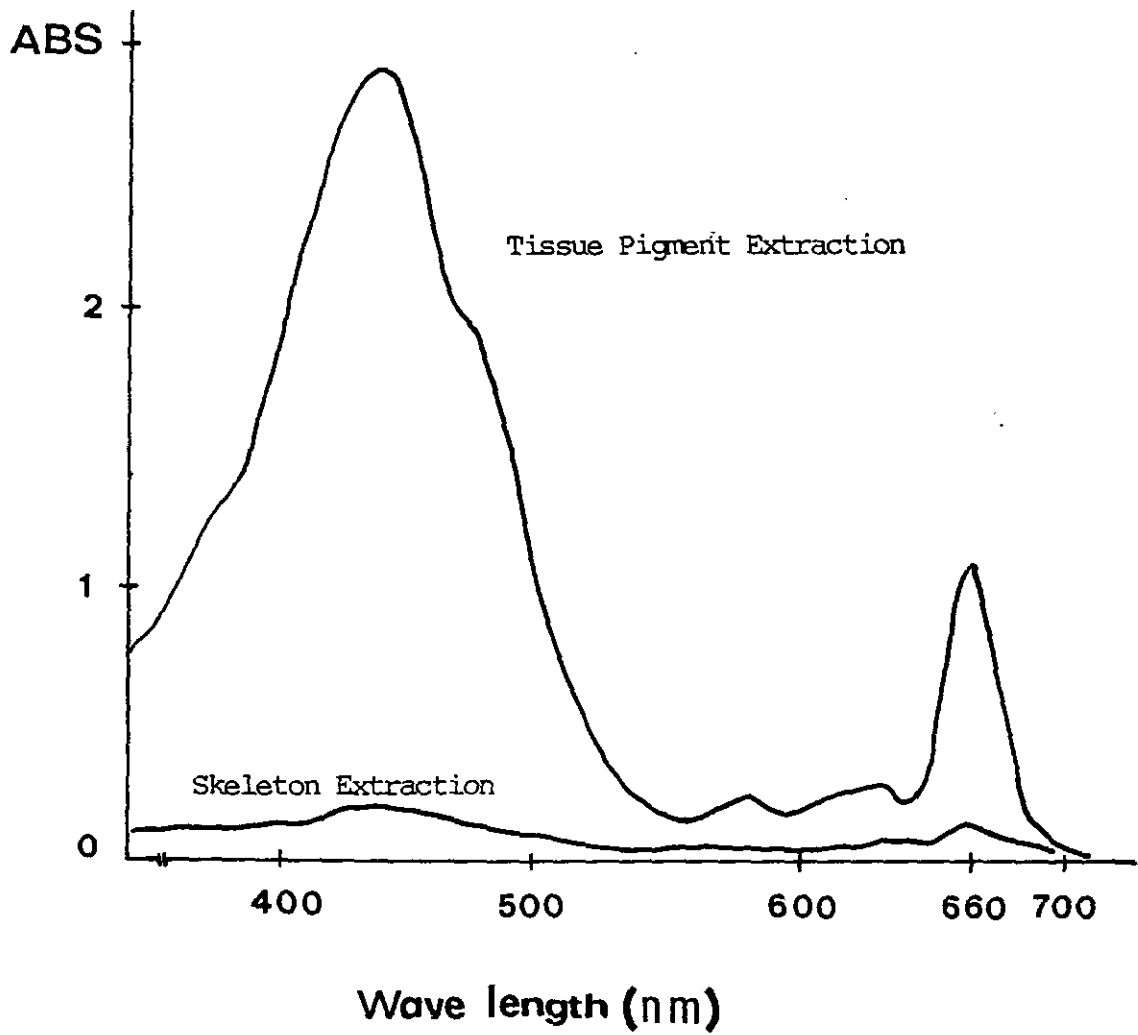


Fig. 4.

ATP (μg)

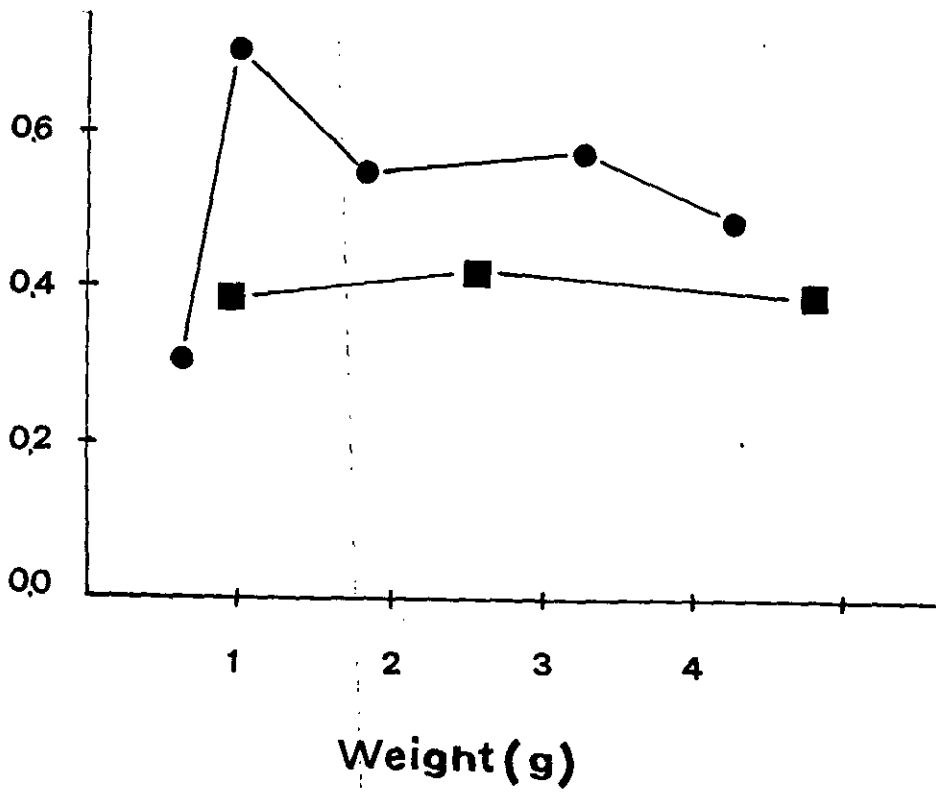


Fig. 5.