

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-216-022-

執行期間：92年09月01日至93年08月31日

執行單位：中華大學土木工程學系

計畫主持人：郭一羽

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 29 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

海岸淺灘之生態工法研究-總計劃

The studies of Ecological Engineering method on a shallow water zone

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC-92-2211-E-216-022

執行期間：2003年9月1日至2004年8月31日

計畫主持人：郭一羽

共同主持人：朱達仁、張憲國、張睿昇、簡文達

計畫參與人員：施君翰、李宗儒

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學土木工程學系

中華民國九十三年十一月三十日

海岸淺灘之生態工法研究-總計劃

The studies of Ecological Engineering method on a shallow water zone

執行單位：中華大學土木工程學系

計畫編號：NSC-92-2211-E-216-022

計畫主持人：郭一羽

聯絡方式：新竹市香山區東香里五福路二段 707 號

Tel : (03) 5377506 Fax : (03) 5378192

Email : kuoyiyu@chu.edu.tw

摘要

國內一般海岸工程之規劃設計尚未充分考慮生態機能，主要原因是本土化和具正確觀念的生態工法技術尚未建立。本計畫擬配合台南安平海岸的海岸淺灘環境創造計畫，進行生態保育技術之研究。本計畫為一整合性研究計畫，在生態環境面的考量上，利用對底棲生物、附著生物、微生物的調查分析，建構指標生物分析準則，提出重要之生物指標，並進行生態環境潛能評估及環境影響評估模式的開發，最後以實際工程設計案例檢討其有效性。本計畫為總計畫結合下列三項子計畫共同執行。

(子計畫一) 淺灘生態環境創造之研究。

(子計畫二) 附著生物在海岸淺灘的生態效果分析研究。

(子計畫三) 微生物在海岸淺灘的生態評估之研究。

本研究總計畫期望建立生態系資料庫、生態調查技術準則、整合性的生態潛能分析評估模式，以及環境影響評估模式等，供海岸工程進行生態工法之規劃設計時參考使用。

關鍵詞：海岸、生態、工程

Abstract

The general design of the coastal and ocean engineering usually not consider about the ecological function properly, because the localized ecological engineering with correct concepts has not been constructed. This plan will research the ecological preservation with the project of artificial seashore establishment of the Anpin in Tainan County. The plan is an integrated research plan, which investigates and analyses invertebrates, fouling organisms, micro organisms, construct the rule of biological index and provides important biomarker, evaluates ecosystem potentials and develops the model of environmental impact assessment, and finally examine the effectiveness by a real engineering design. The plan includes three parts and describe as follows:

(1) The research of the shallow bar ecosystem environment creation.

- (2) Ecosystem effect of Invertebrates in the seashore shallow bar investigates and analyses.
- (3) Ecological evaluation of micro organisms in the seashore shallow bar investigates and analyses.

This research intent to establish the ecosystem system database and ecosystem potentials analysis to evaluate the modal, being provided for programming of coastal and ocean engineering of ecological engineering to consult.

keywords : seashore, ecology, engineering

目 錄

一、緒論.....	1
二、國內外文獻資料彙集整理.....	2
三、研究內容.....	2
3-1 研究項目.....	2
3-2 研究計劃的執行.....	3
3-3 總體目標.....	4
3-4 整體分工合作架構及各子計劃間之相關性.....	4
四、底棲生物研究成果.....	5
4.1 底棲生物研究方法.....	5
4.1.1 生物調查.....	5
4.1.2 環境因子調查.....	5
4.1.3 生物相似性及多樣性分析.....	5
4.1.4 底棲生物整合指標法評估.....	5
4.2 底棲生物研究結果.....	6
4.2.1 水質調查.....	6
4.2.2 底質調查.....	7
4.2.3 底棲生物之種類組成.....	7
4.2.4 測站間相似度變化.....	8
4.2.5 測站間生物多樣性變化.....	11
4.2.6 底棲生物與環境間之關係.....	12
4.2.7 生態效果評估.....	13
4.3 底棲生物研究結論.....	14
五、附著生物成果.....	14
5.1 附著生物研究方法.....	14
5.2 附著生物研究結果.....	15
5.3 附著生物研究結論與建議.....	21
六、微生物成果.....	22
6.1 微生物摘要.....	22
6.2 微生物研究目的.....	22
6.3 微生物研究結果與討論.....	23
6.4 計畫成果自評.....	25
七、計畫成果自評.....	25
7.1 各子計畫研究成果說明.....	25
7.2 研究內容與原計畫相符程度.....	26
7.3 達成預期目標情況.....	26
7.4 研究成果之學術或應用價值.....	27
7.5 研究成果發表期刊.....	27
謝誌.....	27

一、緒論

高雄港務局於民國 80 年完成「安平港整體規劃」，並依序推動安平港之開發，以擔負高雄港輔助港的角色。港務局計畫將安平港擴建發展所產生之工程剩餘土善加利用，增加人工養灘，以降低海岸侵蝕風險，並同時將營造優質海岸，樹立生態、景觀與防災共存之典範。因此，短期計畫將以安平港北防波堤側至安平漁港南防波堤間之海岸為標的，而中長期部分再以安平港南防波堤以南至二仁溪口以北區域逐步實施。從海岸永續利用的觀點來看，海岸工法或其結構物不應以防災之單一目的而建造，所考慮之工程必須滿足多元性之需求，即海岸結構物應與海岸生態及人類生活並存，因此海岸景觀的美化、海岸結構的親水性及海岸生態的維持為海岸永續利用中不可或缺之考慮要素。

海岸工程的設計，以往只需考量外力的因素，即潮位、波力等。而具有生態性的海岸工程除了外力條件之外，尚須多考慮生物的棲息環境條件。因為工程的建設會使棲地環境產生變化，如何設計工程才對生物不會有害甚至有利，此即所謂生態工法，亦即本研究計畫的主要目標。

在國內一般海岸工程之規劃設計尚未充分考慮生態機能情形下，本研究配合上述計畫進行海岸淺灘生態工法技術，提出一個整合性的計畫，在生態環境面的考量上，本研究利用底棲動物、附著生物、微生物作為指標生物，進行生態環境潛能的評估。並進一步嘗試建立海岸工程的生態環境復育措施，以做驗證。

本計畫為整合性計畫之總計畫，結合下列三個子計畫共同執行以期相輔相乘。(一) 淺灘生態環境創造之研究 (二) 附著生物在海岸淺灘的生態效果分析研究 (三) 微生物在海岸淺灘的生態評估之研究。本計畫之目的為

- (1) 建立安平港附近與海岸工程相關之海洋生物(底棲動物、附著生物、微生物)資料庫，並瞭解其與環境條件之相關性，作為該海岸實施生態工法治理之依據。
- (2) 制定適用於海岸工程之生態調查的作業程序、方法或施作綱要，以利以後其他地方參考使用。
- (3) 建立海岸生態工法之環境潛能評估模式。
- (4) 利用本研究建立生態型人工海灘(人工潮池)之案例。
- (5) 建立海岸淺灘之生態環境潛能評估模式。

二、國內外文獻資料彙集整理

在國內目前海岸工程的研究皆著重於推估當地及鄰近海岸之輸砂量與缺少量、評估當地海灘底質性質、評估養灘料性質、前灘坡度與剖面預測(郭, 2003)。但對於考量生態性人工養灘則仍未見發展。國外在 1980 年代後,亦陸續因為暴風、海平面線改變、潮汐、流、砂供應等因素等造成沙灘侵蝕(Bird, 1983; NRC, 1990),築堤保護而掀起養灘研究的風潮,特別於技術性與經濟性考量的觀點大量增加,隨後有許多的養灘設計及評價模式(Capobianco M., et al.)。同樣地,防災仍是第一考量。直至近十年,灘岸的改變或人工養灘是一項生物棲地改變的重要議題,故而逐漸受到重視。美國大洋洲漁業協會(2002)特別撰寫一份技術手冊針對養灘所產生之生物及物理衝擊提出討論,同時提出養灘在生物及物理衝擊的研究需求是非常的重要,項目中包含標的海灘、沉積物問題、濁度、海灘推平、底棲生物、海鳥、漁業、物理棲地等。然而關於養灘的衝擊評估則仍付闕如,只有其他棲地問題的生態研究、或生態衝擊分析、或環境影響評估(EIA)。故本研究希望對於我國執行人工養灘的海岸工法能適切地考慮到生態性工法技術,並能發展養灘的評估準則或模式,以健全生態人工養灘的功能與效能。

國外最初由 James Karr 博士(1981)提出生物整合性指標(Index of Biotic Integrity, IBI)進行溪流魚類之棲地影響評估,原始的分析法中必須發展 12 個表現生物多樣性、生物性及族群結構等之分析矩陣(Metrics),以調查的現況來綜合給分,最後累加積分並分列等級來做影響評估。生物整合性指標法從發展開始二十年中很快地被廣泛應用在各種棲地的影響評估(Karr et al., 1986; Ohio EPA, 1987; Plafkin et al. 1989; Fausch et al., 1984; 1990),國內亦有本方法修正檢討的研究(Liang and Menzel, 1997)。直至最近已經有一些被應用在海域底棲生物棲地評估上之底棲生物整合性指標法(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)來進行環境影響評估之探討。成功的案例如應用於 Chesapeake Bay 之評估(Llanos et al., ; 2001; 2002),南美河口區域(Weisberg et al., 1997; Van Dolah et al., 1999)等。本研究擬應用該項 B-IBI 分析方法,從調查研究中建構基礎之生物指標及所需之矩陣資料,以作為評估研究之準備。並檢討本方法在國內水域之適用性,可能地進一步加以發展修正。

三、研究內容

3-1 研究項目

(1) 生態資料庫的建立

本研究之總體計畫擬利用各子計畫之調查結果,加以彙整,建構安平海岸生態環境資料庫,包括底棲生物、附著生物、微生物等生物資料,水質、水位、波浪、底質等非生物資料,以及生物指標系統等,分析整理和分類形成海岸淺灘生態系的完整資料,除可供本計畫各子計畫相互交流外,亦可提供其他相關研究使用,尤其是資料庫的建構與使用方法,可供其他計畫執行時參考使用。

(2) 研擬生態調查技術準則

目前土木工程實施時所進行的環境影響評估，雖然都要求做生態調查，生態調查也確實是環境保育最重要的工作。但生態調查的結果往往與工程所需的資料脫節。故同時兼顧工程需要與生態專業的調查方法急需建立。本計畫結合生態與工程背景的研究者共同商討，以訂出有關海岸淺灘生態系調查之項目、標準作業程序及統一的規格等，以利資料的整合運用。

(3) 建構生物整合性指標法 (IBI)

本研究計畫以國外逐漸發展完備之生物整合性指標法 (Index of Biotic Integrity,) 及底棲生物整合性指標法 (Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI) 來綜合底棲生物、附著生物及微生物三者進行綜合矩陣的建構，並以此進行環境影響評估之探討。本模式之發展最初由 James Karr 博士 (1981) 以使用生物整合性指標 (Index of Biotic Integrity, IBI) 進行溪流之棲地影響評估，原始的分析法中必須發展 12 個表現生物多樣性、生物性及族群結構等之分析矩陣 (Metrics)，以調查的現況來綜合給分，最後累加積分並分列等級來做影響評估。生物整合性指標法從發展開始二十年中很快地被廣泛應用在各種棲地的影響評估，直至最近已經有一些被應用在海域底棲生物棲地評估上成功的案例 (如 Weisberg et al., 1997; Van Dolah et al., 1999; Llanso et al., 2001; 2002)。因此，本研究擬從子計畫 (二)、(三) 的調查研究中所建構基礎之生物指標及生物與環境之相關性等資料，進行 IBI 分析及生態潛能評估之研究。

(4) 各種分析評估模式的運用檢討

本研究在各子計畫中將建立各種模式 (model)，如整合性生物指標模式、生物與棲地環境條件之相關性的定量或非定量模式、棲地潛能評估模式、生態環境影響評估模式等。各種模式的建立是基於調查資料的分析，而各種模式的目的是在工程設計的應用。各種模式間需要有效的橫向與縱向連結，才能有效發揮實用上的功能。本計畫需負責協調各子計畫的研究方向，使成果得以落實。

3-2 研究計劃的執行

本研究計畫執行中，嘗試發展一套環境潛能分析評估模式，所設定之準則包含考慮底棲動物、附著生物、微生物等作為指標生物。步驟如下

- (1) 本研究總計畫及子計畫 (二)、(三) 在安平港北堤至漁港南堤原規劃之人工養灘區，按季進行水質及底質之調查，及底棲生物、附著生物、微生物之採樣。
- (2) 各生物子計劃以生物性資料及環境資料析出指標生物。並建構生物整合性指標法 (Index of Biotic Integrity, IBI) 所需之矩陣資料，來進行生態潛能的分析和評估。
- (3) 建構安平海岸之淺灘生態系的資料庫。
- (4) 研擬生態調查技術準則。
- (5) 各種分析評估模式的運用檢討。
- (6) 利用擬建立之人工潮池案例來檢討和評估研究功效，包括資料的運用和模式的運用。

3-3 總體目標

生態工法的特點是需要不同專業領域的整合。生態系的調查分析需要生態學的專業人才來完成，海洋生態學又包括藻類、螺貝類、魚類、多毛類等很多不同的專業，生態學者的調查資料往往又與工程設計所需的參考資料脫節。故結合不同專業的人才，基於各自的專長，搭配其他專業的研究，同步執行才會有具體的成果。故本計劃結合兩位海岸工程背景的研究人員（總計劃、子計劃一），三位海洋生物背景的研究人員（子計劃二、三）共同執行。總體目標是為創造海岸淺灘生態環境時，建立所需的分析評估模式，以供工程設計時參考使用，並以實際案例檢討其有效性。

3-4 整體分工合作架構及各子計劃間之相關性

本研究的子計劃二、三分別負責海岸淺灘的附著生物、微生物的調查和分析工作，決定目標物種和指標生物，及建立生物與環境條件的相關性。由於底棲生物亦為評估生態的重要項目之一，因此增加底棲生物相關之研究。

資料調查分析過程與結果，由本計劃（總計劃）加以整合，包括調查項目規格的統一、資料庫的建立、模式的整合等，再將整合結果提供子計劃一進行案例應用和檢討，最後，再由總計劃進行功效評估。其架構及各計劃之相關性。此外，各子計劃在進行中必須隨時請教和參考其他計劃主持人的意見，不同專業領域的知識交流非常重要。

子計畫二、三分別對底棲性生物、附著性生物及微生物作調查和分析，研究成果除了有各自的學術和應用價值外，主要提供總計畫進行綜合性分析，以建立模式供工程設計使用。同時各子計畫的調查方法、資料整理方法等，可相互交流研商出成熟的技術供他人參考。子計畫一的工程案例，一方面可應用總計畫和其他子計畫的研究成果，來獲得生態環境條件，協助工程規劃設計的考慮，另一方面，在研究過程中發現的問題可回饋至總計畫和其他子計畫，以做更進一步的研究，使最後發展出的模式確實可行。

四、底棲生物研究成果

4.1 底棲生物研究方法

4.1.1 生物調查

按季進行底棲生物之採樣。以租用民間漁船前往調查海域，航速以 2 節 (knots)，使用底棲生物採樣器進行拖網約五分鐘，採得之生物以封口袋裝入並以福馬林固定及冰藏於冰箱，帶回實驗室進行種類之鑑定、鑑定時乃依據各類圖鑑及有關報告 (邵等, 1996; 賴, 1999; 黃, 2000; 陳, 2001)。樣本之處理，藻類則測量濕重，貝類則測量殼長、體重等，其他生物則測量體長、體重，並計算數量，以求得各種類的數量組成，求取豐度及生物量，藉以了解調查區域內的生物群聚結構。

4.1.2 環境因子調查

為了解各測站水質環境對底棲生物的影響，按季進行水質及底質之調查，其項目包含：溫度、鹽度、電導度、溶氧、硝酸鹽、磷酸鹽、濁度、BOD、COD 等，而底質調查包含顆粒大小。檢測方式分為現場操作部分與採樣後於實驗室再行分析。

4.1.3 生物相似性及多樣性分析

為探討兩兩測站間生物群聚之相似度 (Similarity)，分別以共有種率 (Percentage of species shared) (Rosenberg, 1973) 及 Czeknowski 相似度係數 (Odum, 1971) 進行分析。生物多樣性以下列之指數進行分析，分別為優勢度指數 (Dominance Index, C)、Shannon 種歧異度指數 (Shannon diversity, H')、均勻度指數 (Evenness index, J') 及種數的豐富指數 (Species richness index, SR) 來進行分析 (Ludwing and Reynolds, 1988)。

4.1.4 底棲生物整合指標法評估

本研究以底棲生物整合性指標法 (Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI) 來進行生態評估。由於安平附近海域屬於高鹽開放海域砂質底質環境系統，因此 B-IBI 評估表棲地分級 (Habitat Class) 選擇高鹽砂環境系統 (HM sand)，表 4.1-1 顯示高鹽砂評估項目矩陣及配分標準。應用矩陣前必須參考生物的特性資料表，如污染性指標種、污染性感度種等提供作為分類對照 (Llanso et al., 2002)。

依上述矩陣給分標準予以給分，當給分完成後進行 B-IBI 分數之累加求取平均值，再由分數判斷環境狀況，環境狀況之分級列為四等，如表 4.1-2。

表 4.1-1 高鹽砂環境評估項目及評分標準

Scoring Criteria	5	3	1
Shannon-Wiener	>3.2	2.5-3.2	<2.5
Abundance (#/m ³)	>1500	1000-1500	<1000
Biomass (g/m ³)	>3	1-3	<1
Abundance of pollution-indicative taxa (%)	<10	10-25	>25
Abundance of pollution-sensitive taxa (%)	>40	10-40	<10
Abundance of carnivores and omnivores (%)	>35	20-35	<20

表 4.1-2 B-IBI評估等級及分數範圍

B-IBI	Benthic Community Condition	Habitat Class
≥3.0	Meets restoration goals	A
2.7-2.9	Marginal	B
2.1-2.6	Degraded	C
≤2.0	Severely degraded	D

4.2 底棲生物研究結果

4.2.1 水質調查

本研究分別於 92 年 5 月(春季)、7 月(夏季)、10 月(秋季)及 93 年 1 月(冬季)在安平港週圍海域 12 個測站進行水質調查之採樣，其中測站 A1~D1 為水深 1m 處之海岸表水採樣，測站 A2~D2 為水深 3m 處之表水採樣，測站 A3~D3 為水深 5m 處之表水採樣。結果如下：

在春季氣溫平均在 31℃，而水溫在 29.9-28.7℃ 間。而鹽度平均值為 34.23，其中 A 區的海水鹽度較其他區低，顯示鹽水溪的注入致使本區海水鹽度下降。至於 pH 值在 7.42-8.07。導電度在 50.5-52.3 間，數值變化並不大。COD 值在 42-253 (mg/L)之間，差異較大。BOD 值在 1.1-2.63 (mg/L)間。在夏季氣溫平均在 32℃，而水溫在 30.0-31.5℃ 間。鹽度平均值為 32.65。pH 值在 7.46-8.53，其平均值為 8.24，較春季平均值 7.97 高。導電度在 42.9-52.3 間。COD 值在 11.0-908.9 (mg/L)之間，差異較大。BOD 值在 7.14-9.48(mg/L)間，較春季 1.1-2.63 (mg/L)為高。樣品所分析之 COD、BOD 數值相當高，因此可知已經受到污染。

另外可以發現總磷之濃度相當高，顯然有許多陸源物質流滯於此，造成相當大的耗氧

量。氮氮濃度較低，其原因應是受到植物吸收之結果，由溶氧皆過飽和狀態證明水體中光合作用旺盛，由上列各指數可以概括的認定此處擁有陸源注入之營養鹽，受到藻類的吸收而相當高的生產力。

秋季水溫在 27.5-28.2 間。鹽度介於 33.4‰~33.8‰。pH 值在 8.17-8.23。導電度在 51.2-52.0 間。COD 值在 258-554 (mg/L)之間，平均值為 390.58，數值相當高。BOD 值在 1.78-4.27 (mg/L)間，平均值為 2.43。岸邊 SS 過高之現象是由於漂沙及採樣所激起之混濁程度有關。而 B、C 施工區仍未有明顯之工程施作，因此 SS 並沒有較其他高的現象，但整體水質透明度有較春夏為低情形。水體之總磷、BOD、氮氮皆較春夏有較低之現象，顯現此處水域受到陸域排放之水減少有關。此外由營養鹽分布情況可以了解，硝酸鹽、亞硝酸鹽及正磷酸鹽之分布也較春夏有較低之現象，亦顯現此處水域受到陸域排放之水減少有關。

冬季鹽度相當均一，並無大量淡水注入情形，本季鹽度如春季有較高之數值，夏季及秋季鹽度數值減小，此應與季節性洋流有關。樣品所分析之 COD、BOD 數值仍相當高，但自秋季後有減小情形，另外亦可以發現總磷之濃度自秋季後有減小情形，值介於 0.015-0.041 (mg/L)之間，測站間仍以靠鹽水溪口之測站有較高數值，顯然仍有許多陸源物質流滯於此。而 B、C 施工區因在本季已開始有工程之施作，但 SS 並沒有較其他高的現象，整體水質透明度與春夏相同無較低情形，顯示工程之施作對於本區目前而言無明顯之影響。

由環保署海域環境分類及海洋環境品質標準可以得知，本海域四季之環境屬於乙級至丙級環境品質標準。

4.2.2 底質調查

各測站四季之底質粒徑分析所計算出中值粒徑，春季之中值粒徑呈現近岸顆粒較大，隨水深增加顆粒變細。其中 A 區之平均中值粒徑約為 0.153mm~ 0.169mm，B 區約為 0.15mm~ 0.172mm，C 區約為 0.153mm~ 0.167mm 及 D 區約為 0.177mm~ 0.188mm。其中位於海岸邊水深 1m 採樣處之測站 A1、B1、C1 及 D1 底質粒徑分佈相當類似，呈現細砂為主。而其他水深 3m 及水深 5m 之測站底質之粒徑分佈亦相當類似，亦呈現細砂及極細砂分佈。由於四個季節之粒徑呈現稍有不同，其整體趨勢皆呈現隨水深增加顆粒變細的情形，而施工區 (B 及 C 區) 目前僅在岸邊堆置砂堆，並沒有推入至海裡，因此粒徑之變化並非工程所造成影響。

4.2.3 底棲生物之種類組成

四季所採獲之生物種類有硬骨魚類(Osteichthyes)、節肢動物(Arthropoda)、軟體動物(Mollusca)及多毛環節動物(Polychaeta)等四大類 10 目 23 科 31 種 1671 個生物個體。春季所採獲之生物樣本計三大類 5 目 11 科 16 種，總個體數為 670 隻。夏季計四類 10 目 23 科 30 種，總個體數為 417 隻。種類的出現較春季為多，但採樣總個體數明顯減少。秋季總個體數為 249 隻，計四類 8 目 16 科 23 種，採樣總個體數亦明顯減少。冬季所採獲總個體數為 335 隻，計四類 8 目 14 科 24 種。種類的出現較前兩季為少，而採樣總個體數亦少於春夏兩季。

在不同區域的生物的出現比較，種類數都在 10 至 14 種間，但其中 A 區出現的種類數較少，且採樣個體數亦較其他區域少。而目標養灘區 (B、C 區) 與 D 區種類數及採樣個

體數無明顯差異。在不同等深線的生物的出現比較，水深 1m 處種類較少。而水深 3m 及水深 5m 之測站比較，3m 水深出現的採樣個體數最多，而種類數與 5m 之測站無明顯差異。兩等深線均以二枚貝類之物種最多。

4.2.4 測站間相似度變化

為探討四季各測站間底棲生物種類空間分佈之相似性，以 CZ 及共有種率 PS 分析，結果如圖 4.2-1 (a、b) 至圖 4.2-4 (a、b) 所示。各測站間的相似度介於 0~100% 之間，其中以區域與水深來分析，水深 1m 處之測站彼此的 CZ 相似係數較高，而與水深 3m、5m 處，相似性低。表示水深 1m 處之生物與水深 3m、5m 處生物截然不同。水深 3m 處的測站彼此之間的 CZ 相似係數為 78.57~96.55%，水深 5m 處的測站彼此之間的 CZ 相似係數為 75.00~95.24%，各水深生物相似性極高。再以水深 3m 處的測站與水深 5m 處的測站比較，彼此之間的 CZ 相似係數為 71.43~100.00%，顯示兩水深的相似性極高。

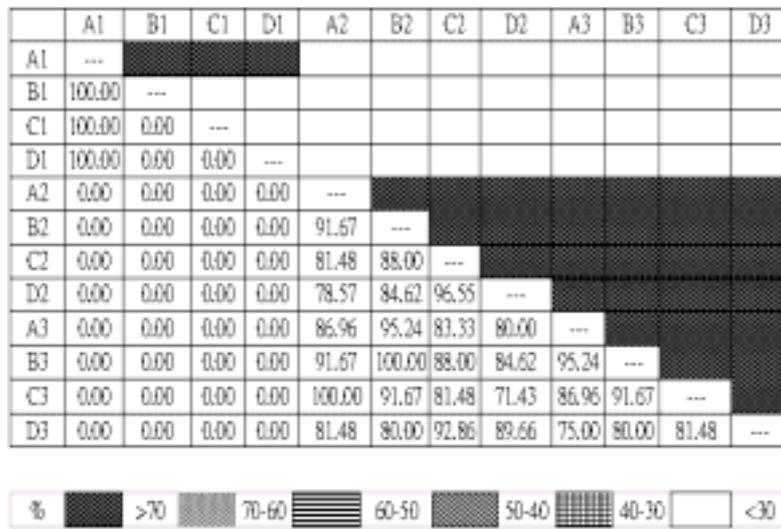


圖 4.2-1 (a) 春季各測站間 CZ 相似係數示意圖

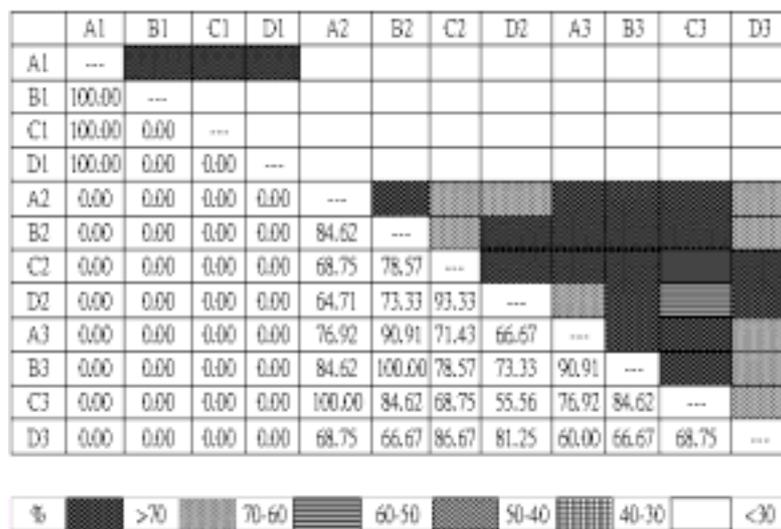


圖 4.2-1 (b) 春季各測站間共有種率示意圖

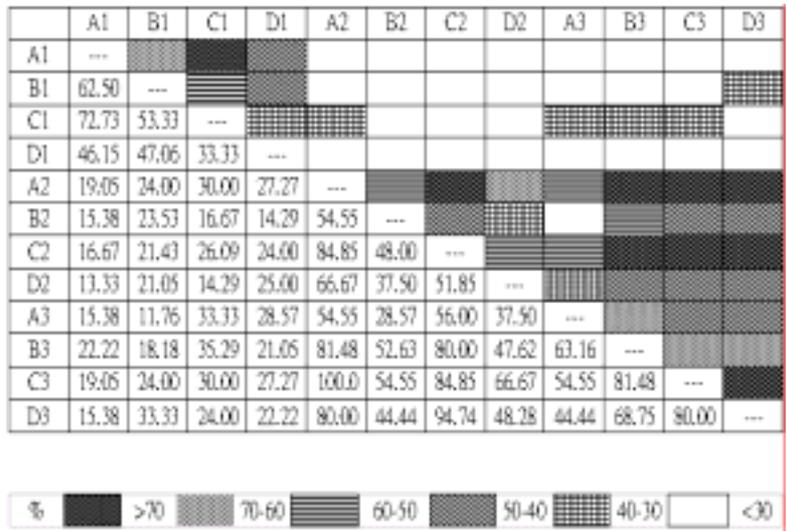


圖 4.2-2 (a) 夏季各測站間 CZ 相似係數示意圖

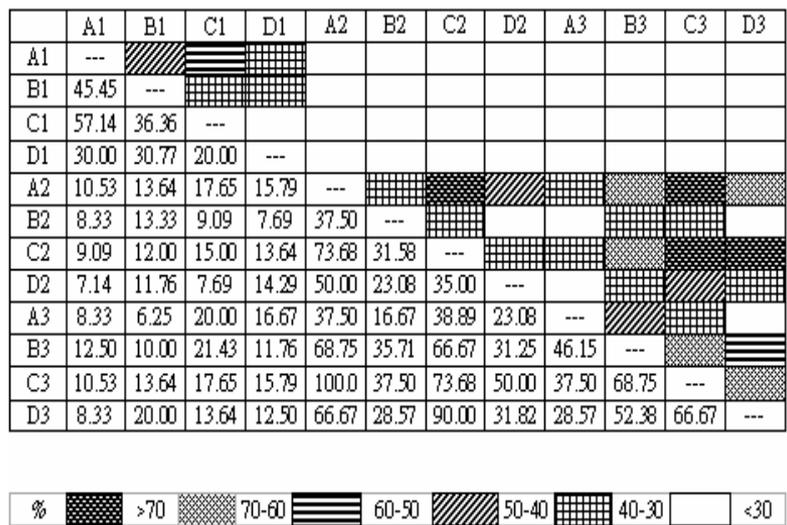


圖 4.2-2 (b) 夏季各測站間共有種率示意圖

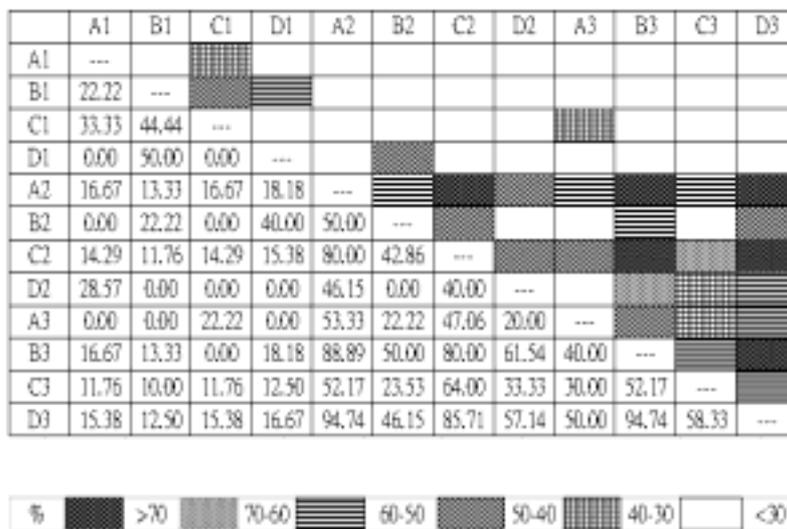


圖 4.2-3 (a) 秋季各測站間 CZ 相似係數示意圖

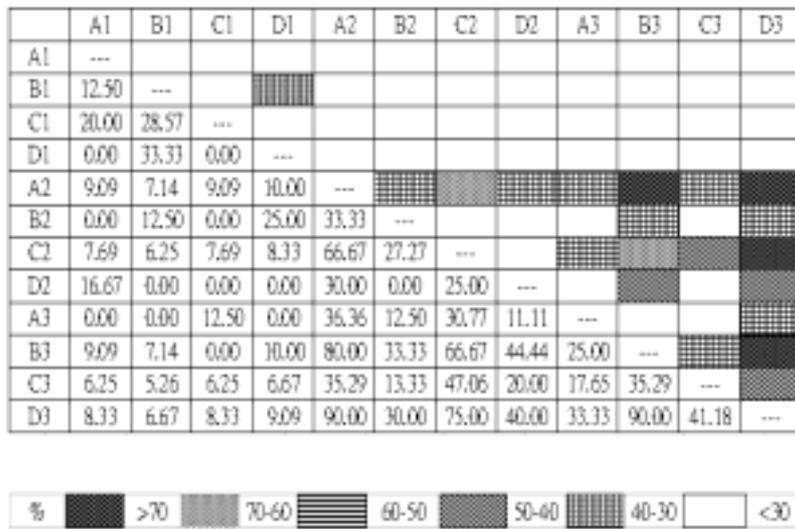


圖 4.2-3 (b) 秋季各測站間共有種率示意圖

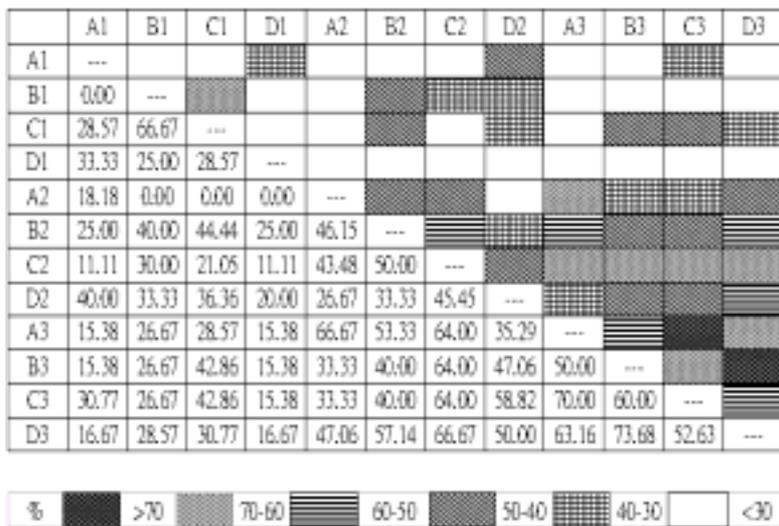


圖 4.2-4 (a) 冬季各測站間 CZ 相似係數示意圖

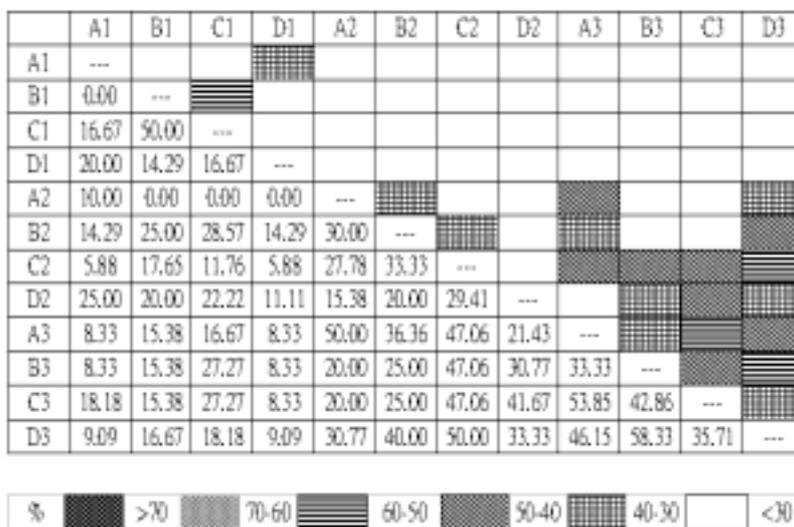


圖 4.2-4 (b) 冬季各測站間共有種率示意圖

另外以各測站間之共有種率圖圖 4.2-1 (b)~圖 4.2-4 (b)，其值介於 55.56~100.00%間，而共有種率之結果與前述一致。水深 1m 處之生物與水深 3m、5m 處生物截然不同。水深 3m 處的測站彼此之間的 PS 相似係數為 64.71~93.33%，水深 5m 處的測站彼此之間的 PS 相似係數為 60.00~90.91%，各水深生物相似性極高。再以水深 3m 處的測站與水深 5m 處的測站比較，彼此之間的 PS 相似係數為 55.56~100.00%，顯示兩水深的相似性極高。各區域的相似性比較，B 區與 C 區相似性高。兩項指數的結果顯示除 A 區外，空間的相似性相當的高，探討原因為北側有鹽水溪的匯入，鹽度變化較大，蟹類種類較多，形成差異的種類群聚，因此反應在空間的分佈上。

4.2.5 測站間生物多樣性變化

生物多樣性分析結果如圖 4.2-5 至圖 4.2-8。首先，優勢度指數(C)之結果如圖 4.2-5 所示，隨各季節及各測站有不同之差異，數值愈大顯示該測站有明顯優勢種出現，春季中各測站值均非常小，其中測站 B2 及測站 C3 有較高之數值。各季中以秋季整體數值較高，次之為冬季，再次之為夏季。各水深比較以近岸數值較高，隨之為 3m 水深，5m 水深數值較小。區域之比較，C、D 區之測站其數值相對於其他測站低。種歧異度指數(H')之結果如圖 4.2-6 所示，數值愈大顯示該測站有較豐富的種類出現，亦表示該測站具有生物多樣性，各季中較大值出現在夏季，春季則在四季的比較中數值較小。各區域比較，則較大值出現在水深 3m 及水深 5m 的測站，其中以測站 A2、C2、C3 及測站 D3 較高，而 B2 及 D2 相對較小，最高值出現在夏季測站 D3。由種類組成看出，夏季測站 D3 最高主要為螺類之加入及本區出現之蟹類，而形成較高之數值。另比對養灘區與非養灘區，除 A 區較低外，可能受溪水匯流注入的影響，顯示目前進行養灘的工作仍無明顯影響。

均勻度指數(J')表示群聚內種間分配之均勻度，其值與 C 值相反，J' 值愈大則表示個體數在種間分配愈均勻。結果如圖 4.2-7 所示，各季中較低值出現在春季，顯示群聚程度不均勻，其餘三季無明顯之差異。各區域比較，亦以近岸 1m 水深之測站其數值都相對於其他測站低，顯示群聚程度不均勻。最後，種類數的豐富指數 (SR)表示群聚內種類數的豐富情形，SR 值愈大則群聚內生物種類數愈多，結果如圖 4.2-8 所示。各季中較大值出現在夏季，春季則在四季的比較中數值較小。各區域比較，則較大值出現在水深 3m 及水深 5m 的測站，其中以測站 A2、C2、C3 及測站 D3 較高，而 B2 及 D2 相對較小，最高值出現在夏季測站 D3。近岸 1m 水深之測站測站其數值都相對於其他測站低。比較各測站季節之差異，顯示這些部分測站生物受到季節環境影響而導致指數上升或下降。

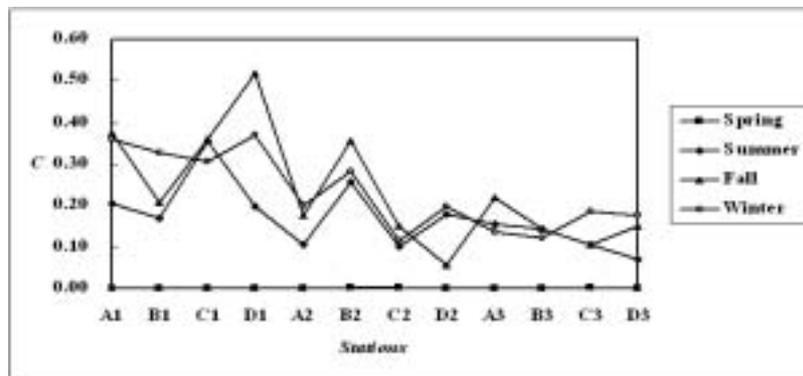


圖 4.2-5 四季各測站之優勢度指數分佈圖

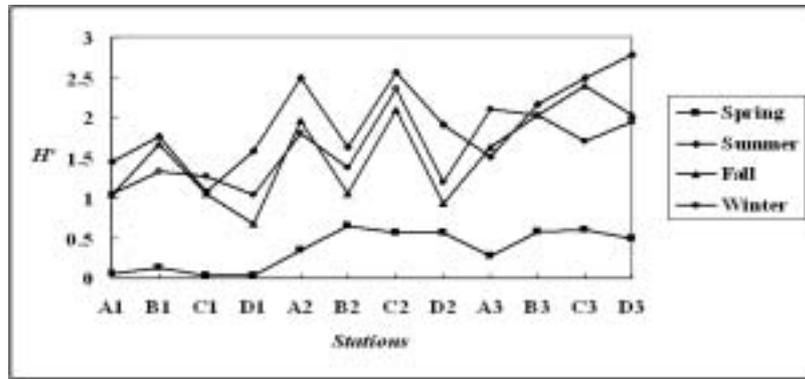


圖 4.2-6 四季各測站之種歧異度指數分佈圖

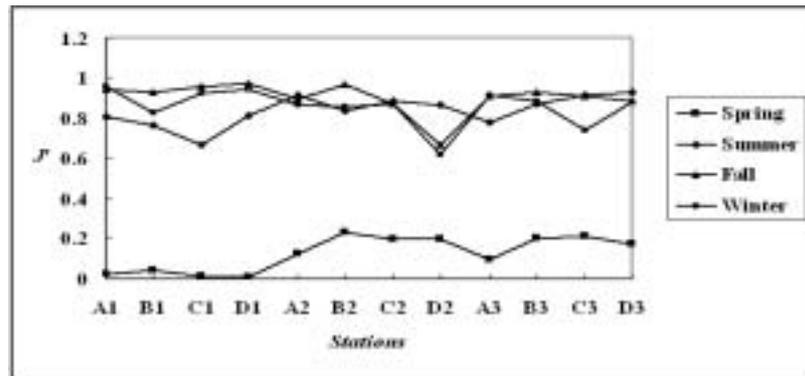


圖 4.2-7 四季各測站之均勻度指數分佈圖

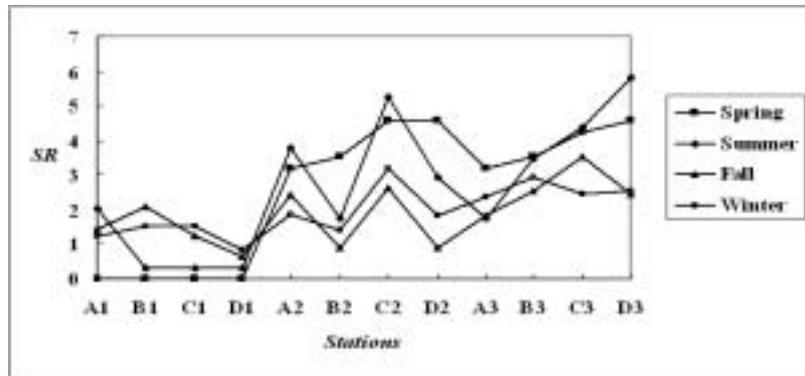


圖 4.2-8 四季各測站之豐富度指數分佈圖

4.2.6 底棲生物與環境間之關係

以四季之水質因子及多樣性指數間探討其相關如表 4.2-1。由表中顯示水質因子與種類數 S 達顯著正相關之因子有氨氮、總磷、溶養量與濁度。水質因子與個體數 N 達顯著正相關之因子有氨氮、硝酸鹽氮及總磷，顯示個體數與營養鹽有關。另探討生物多樣性指數與水質因子相關，其中優勢度指數 C 與水質因子有氨氮、硝酸鹽氮及總磷呈顯著負相關，與 pH 值呈顯著正相關。歧異度指數 H' 與 BOD、COD、pH 值及溶養量有顯著正相關，與氨氮、硝酸鹽氮、溶解性磷酸鹽及鹽度有顯著負相關。均勻度指數同歧異度指數與 BOD、

COD、pH 值及溶養量有顯著正相關，與氨氮、硝酸鹽氮、溶解性磷酸鹽、總磷及鹽度有顯著負相關。最後豐富度指數與氨氮、硝酸鹽氮、總磷及濁度呈正相關，且達顯著。

表 4.2-1 汕安平港四季各測站之生物多樣性指數與各項水質因子之相關係數

	BOD	COD	氨氮	亞硝酸鹽氮	硝酸鹽氮	溶解性磷酸鹽	總磷	水溫	pH 值	溶氧量	導電度	濁度	鹽度	SS
S	0.318*	0.27	0.309*	-0.325	0.291	-0.029	0.309*	0.239	0.017	0.416**	0.095	0.412*	-0.024	-0.222
N	0.084	0.021	0.47**	-0.197	0.589**	0.19	0.403**	0.178	-0.182	0.142	0.13	0.341	0.167	-0.2
C	0.024	0.044	-0.469**	0.154	-0.632**	-0.181	-0.549**	-0.271	0.395**	0.029	-0.115	-0.307	-0.152	0.261
H'	0.464**	0.504**	-0.477**	-0.283	-0.724**	-0.517**	-0.252	0.029	0.498**	0.509**	-0.42	-0.143	-0.3*	-0.102
J'	0.286*	0.418**	-0.655**	-0.05	-0.972**	-0.505**	-0.563**	-0.156	0.559**	0.33*	-0.098	-0.336	-0.293*	0.098
SR	0.2	0.14	0.47**	-0.195	0.578**	0.182	0.342*	0.224	-0.142	0.283	0.082	0.474**	0.048	-0.157

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$ 顯著相關; -: 負相關; 其餘為正相關。

4.2.7 生態效果評估

應用底棲生物整合指標法進行生態評估，結果如表 4.2-2。顯示安平漁港的評估結果介於第一級至第二級間，表示生物環境有受到影響。一般而言，生物受到環境的影響有空間佔據、遷移移動路線受阻、物化環境改變等，這些影響會從群聚的結構表現出來。由本研究結果顯示，砂質的海域環境，因港阜設施如突堤、防波堤、附近環境變化等均會影響及改變環境特性而影響生物群聚結構，而形成一至二級的評估等級。郭及朱（2004）亦曾應用 B-IBI 評估四個漁港：新竹、安平、興達及烏石，得到四個港在夏季的評估結果，安平漁港除附近環境受到溪流匯入而形成較差的水質環境外。由種類數的比較、歧異度指數、均勻度指數及豐富度指數等比較，皆顯示生態較佳。

表 4.2-2 安平四季應用底棲生物整合指標法評估項目及配分結果

項目	安平			
	Spring	Summer	Fall	Winter
Shannon-Wiener	1	3	1	1
Abundance (#/m ²)	1	1	1	1
Biomass (g/m ²)	5	5	5	5
Abundance of pollution-indicative taxa (%)	3	5	5	3
Abundance of pollution-sensitive taxa (%)	3	3	3	3
Abundance of carnivores and omnivores (%)	3	3	3	3
B-IBI Score	16	20	18	16
平均分數	2.7	3.3	3.0	2.7
等級	B	A	A	B

4.3 底棲生物研究結論

本研究目前已進行四季的底棲生物調查，水體水質部分包含溫度、鹽度、電導度、溶氧、硝酸鹽、磷酸鹽、濁度、BOD、COD 等及底質特性顆粒的大小。由目前四季的資料分析顯示，A 區由於位於漁港北面，水質受到鹽水溪流匯流出海的影響，鹽度、濁度、BOD、COD 變化較大，同時有較高的營養鹽。而養灘區內(B 區及 C 區)自秋季後才有小規模的施工，由於無明顯的施工，水質的變化並不大，而且亦無高的濁度值，故顯示施工仍無明顯影響。

五、附著生物成果

5.1 附著生物研究方法

5.1.1 生物因子調查

本研究針對安平漁港各測站消波塊上之附著生物分布情形，其中包含從上潮帶至低潮帶上的藻類、貝類及螺類等生物之種類調查，並估計各種類數量或覆蓋面積以推算其豐度。調查之進行，係參考潮汐表，選在大退潮時前往各測站，選定數個消波塊，觀察其結構物上之附著生物分布情形，觀測時由高潮位向低潮位方向，逐一記錄各生物種類的數量、出現位置及附著之基質，並於消波塊上中下各部位隨機選取 10cm×10cm 之方框大小採集數份樣本，經過刮取、裝袋及冷藏，將採樣之標本攜回實驗室鑑別其種類，鑑定時乃依據各類圖鑑及有關報告予以鑑定(邵等, 1996; 賴, 1999; 黃, 2000; 陳, 2001)。另由現場拍照之記錄，輔以瞭解結構物附著生物之分佈及估算覆蓋面積。

5.1.2 環境因子調查

為了解各測站水質環境對附著生物的影響，按季進行水質及底質之調查，其項目包含：溫度、鹽度、電導度、溶氧、硝酸鹽、磷酸鹽、濁度、BOD、COD 等，而底質調查包含顆粒大小。檢測方式分為現場操作部分與採樣後於實驗室再行分析。並依環保署(90)環署水字第 0081750 號公告之「國內海域環境分類」進行水質等級分類。

5.1.3 生物相似性及多樣性分析

為探討兩兩測站間生物群聚之相似度(Similarity)，分別以共有種率(Percentage of species shared) (Rosenberg, 1973)及 Czekanski 相似度係數(Odum, 1971)進行分析。生物多樣性以下列之指數進行分析，分別為優勢度指數(Dominance Index, C)、Shannon 種歧異度指數(Shannon diversity, H')、均勻度指數(Evenness index, J')及種數的豐富指數(Species richness index, SR)來進行分析(Ludwing and Reynolds, 1988)。

5.1.4 底棲生物整合指標法評估

本研究以底棲生物整合性指標法(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)來進行生態評估。由於安平附近海域屬於高鹽開放海域砂質底質環境系統，因此 B-IBI 評估表棲地分級(Habitat Class)選擇高鹽砂環境系統(HM sand)，表 5.1-1 顯示高鹽砂評估項目矩陣及配分標準。應用矩陣前必須參考生物的特性資料表，如污染性指標種、污染性感度種等提供作為分類對照(Llanos et al., 2002)。

依上述矩陣給分標準予以給分，當給分完成後進行 B-IBI 分數之累加求取平均值，再由分數判斷環境狀況，環境狀況之分級列為四等，如表 5.1-2。

表 5.1-1 高鹽砂環境評估項目及評分標準

Scoring Criteria	5	3	1
Shannon-Wiener	>1.5	1.0-1.5	<1.0
Abundance (#/m ²)	>1500	1000-1500	<1000
Biomass (g/m ²)	>5	3-5	<3
Abundance of pollution-indicative taxa (%)	<10	10-25	>25
Abundance of pollution-sensitive taxa (%)	>40	10-40	<10
Abundance of carnivores and omnivores (%)	>35	20-35	<20
Abundance of Algae taxa (%)	>18	10-18	<10

表 5.1-2 B-IBI 評估等級及分數範圍

B-IBI	Benthic Community Condition	Habitat Class
≥ 3.0	Meets restoration goals	A
2.7-2.9	Marginal	B
2.1-2.6	Degraded	C
≤ 2.0	Severely degraded	D

5.2、附著生物研究結果

5.2.1 附著生物之種類組成

本研究從至 2004 年 5 月間依季節進行附著生物生態監測調查，調查結果顯示，附著動物共紀錄到 2 門 7 科 13 種；附著植物有 3 門 3 科 3 種，種類包括，(1) 軟體動物門的笠螺科 (Patellidae) 的 *Cellana toreuma*；蟹螺科 (Neritidae) 的 *Nerita chamaeleon*、*Nerita balteata*；玉黍螺科 (Littorinidae) 的 *Granulilittorina exigua*、*Littoraria scabra*、*Granulilittorina millegrana*、*Nodilittorina pyramidalis*、*Littoraria undulata*、*Tectarius coronatus*、*Echininus cumingii f. spinulosus*；骨螺科 (Muricidae) 的 *Thais clavigera*；牡蠣科 (Ostreidae) 的 *Crassostrea gigas*；殼菜蛤科 (Mytilidae) 的 *Perna viridis* (2) 節肢動物門的小藤壺科 (Chthamalidae) 的 *Balanus amphitrite*、*Chthamalus pilsbryi*。附著植物部分 (1) 綠藻植物門的腸澀苔 (*Eenteromorpha intestinales*) (2) 紅藻植物門的縱胞藻 (*Centroceras clavulatum*) (3) 褐藻植物門的馬尾藻 (*Sargassum sp.*)。

在不同測站的生物的出現比較，種類數在 3 至 15 種間，但其中 ST3、ST4 區出現的種類數較少，且採樣個體數亦較其他區域少。而目標養灘區 ST2 區種類數及採樣個體數無明顯

差異。在不同潮位線的生物的出現比較，高潮處種類較少，而中潮位採樣個體數最多。低、中潮位兩潮位線均以固著性藤壺之物種最多；而高潮位則以移動性的玉黍螺為最優勢。

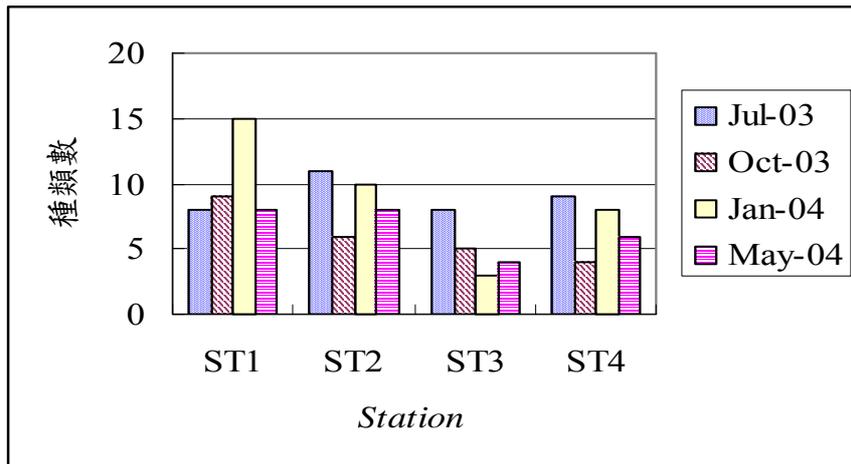


圖 5.2-1 四季各測站之種類數

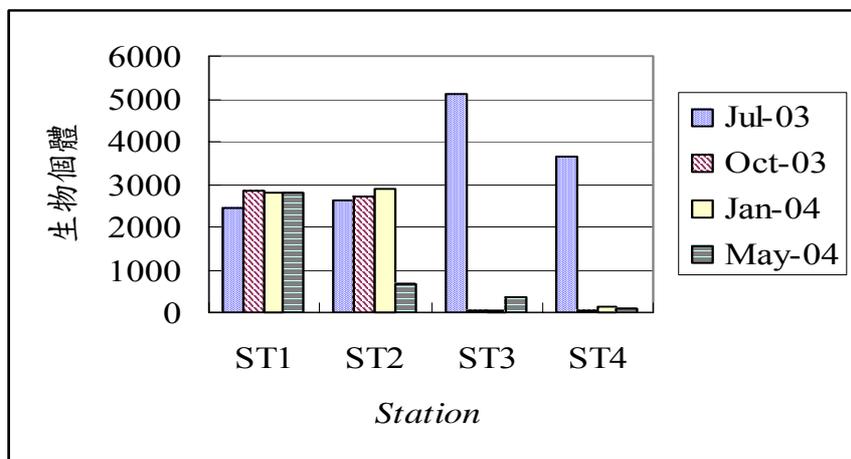


圖 5.2-2 四季各測站之生物個體

5.2.2 測站間相似度變化

為探討四季各測站間附著生物種類空間分佈之相似性，以 CZ 及共有種率 PS 分析，結果如圖 5.2-3 至圖 5.2-10 所示。各測站間的四季相似度介於 52.17~88.89%之間，其中以 St1 與 St2 的 CZ 相似係數較高，另測站 3 與測站 4 彼此的 CZ 相似係數較高。

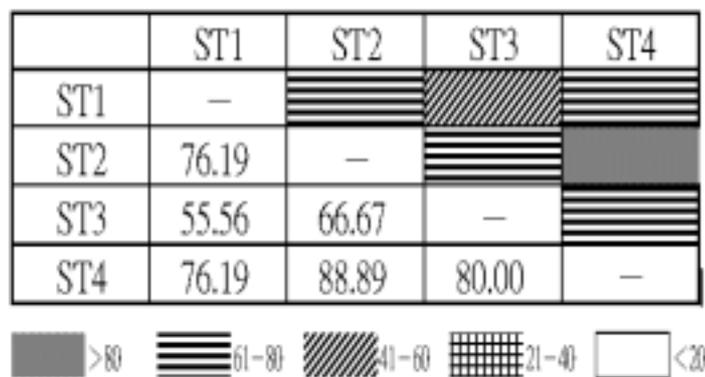


圖 5.2-3 春季 (May-04) 各測站間 CZ 相似係數示意圖

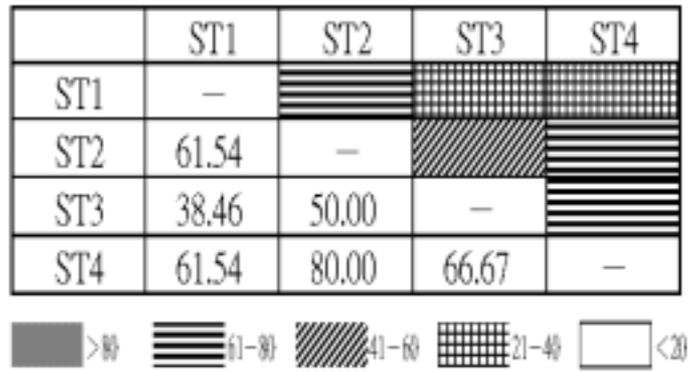


圖 5.2-4 春季 (May-04) 各測站間共有種率示意圖

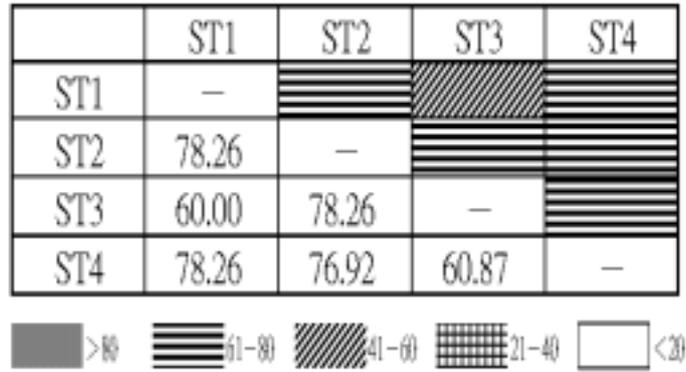


圖 5.2-5 夏季 (Jul-03) 各測站間 CZ 相似係數示意圖

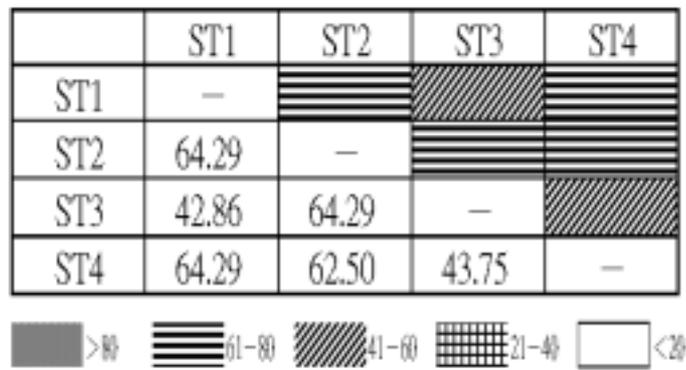


圖 5.2-6 夏季 (Jul-03) 各測站間共有種率示意圖

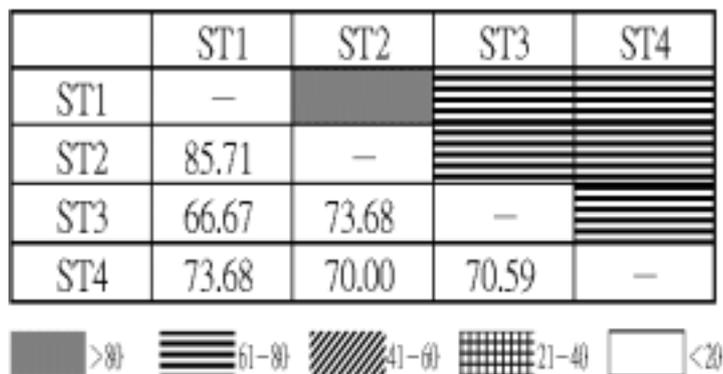


圖 5.2-7 秋季 (Oct-03) 各測站間 CZ 相似係數示意圖

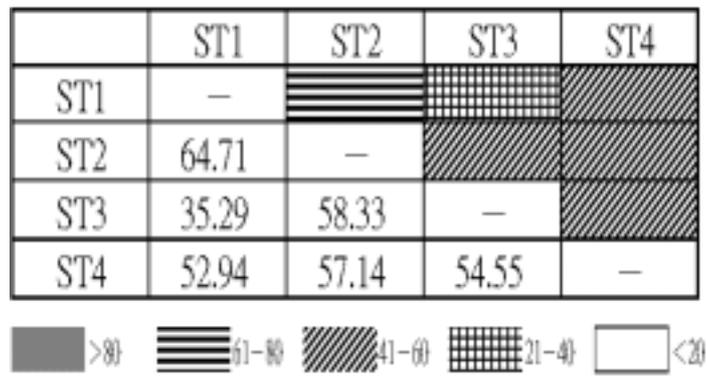


圖 5.2-8 秋季 (Oct-03) 各測站間共有種率示意圖

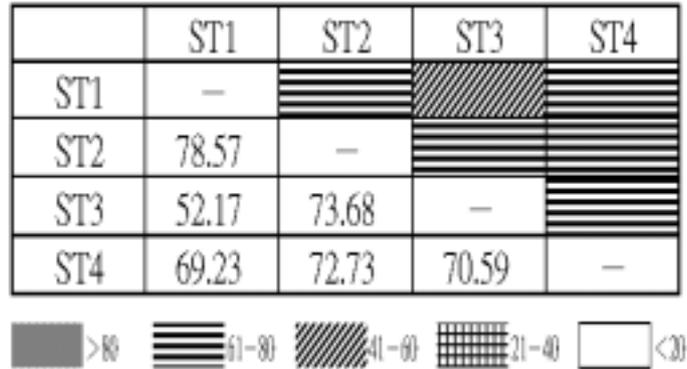


圖 5.2-9 冬季 (Jan-04) 各測站間 CZ 相似係數示意圖

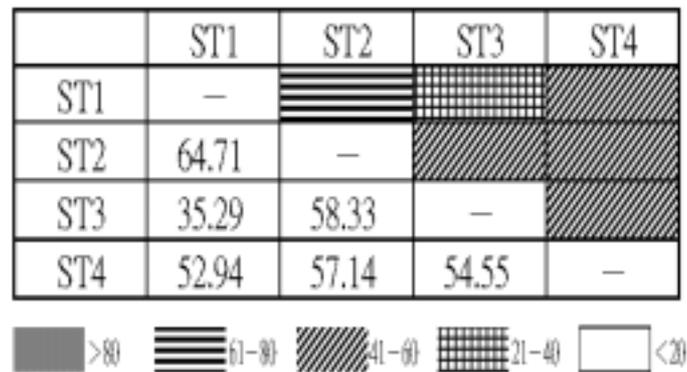


圖 5.2-10 冬季 (Jan-04) 各測站間共有種率示意圖

另外，以各測站間之共有種率圖圖 5.2-4、圖 5.2-6、圖 5.2-8、圖 5.2-10，其值介於 35.29~80.00% 間，而共有種率之結果與前述一致，探討原因為本研究區域內新設置之消波塊，生物的種類數也較少，空間的相似性相當的高。

另外，值得進一步分析探討的是，北側有鹽水溪的匯入，鹽度變化較大，形成差異的種類群聚，反應在空間的分佈上。

5.2.3 測站間生物多樣性變化

生物多樣性分析結果如圖 5.2-11 至圖 5.2-12。優勢度指數(C)之結果如圖 5.2-11 所示，隨各季節及各測站有不同之差異，數值愈大顯示該測站有明顯優勢種出現，各季中以夏季整體數值較高，次之為春季，再次之為冬季。其中測站 3 及測站 4 的數值有逐漸下降的趨勢。種歧異度指數(H')之結果如圖 5.2-12 所示，數值愈大顯示該測站有較豐富的種類出現，亦表示該測站具有生物多樣性，各季中較大值出現在夏、秋季二季，春季則在四季的比較中數值較穩定。另比對養灘區與非養灘區，除 St1 區可能受溪水匯流注入的影響外，其餘測點顯示目前進行養灘的工作仍無明顯影響。

均勻度指數(J')表示群聚內種間分配之均勻度，其值與C值相反， J' 值愈大則表示個體數在種間分配愈均勻。結果如圖 5.2-12 所示，各季中較低值出現在秋季，顯示群聚程度不均勻，其餘三季無明顯之差異。最後，種類數的豐富指數(SR)表示群聚內種類數的豐富情形，SR值愈大則群聚內生物種類數愈多，結果如圖 5.2-13 所示。各季中秋季各測點的變動最大。比較各測站季節之差異，顯示這些部分測站生物受到季節環境影響而導致指數上升或下降。

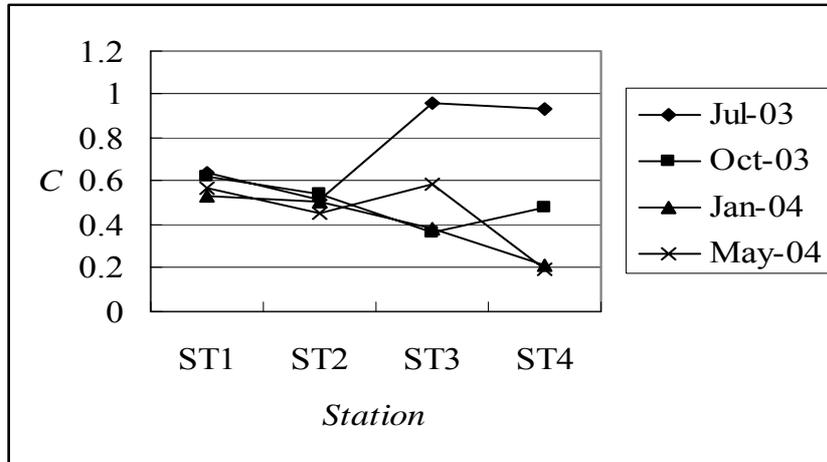


圖 5.2-11 四季各測站之優勢度指數分佈圖

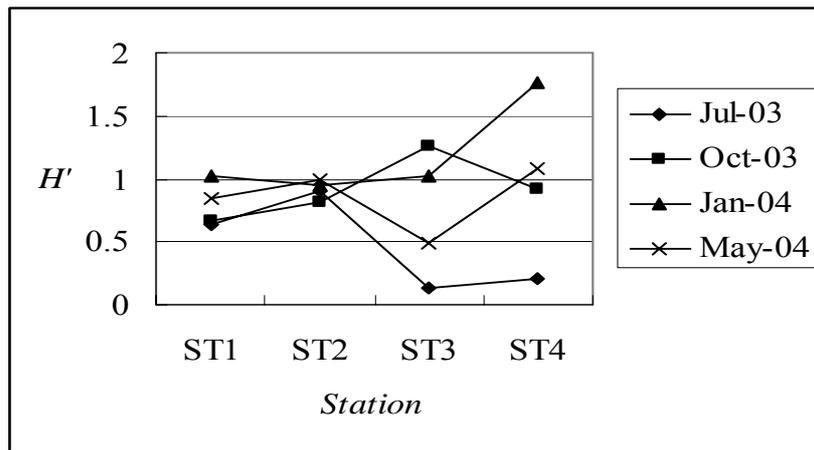


圖 5.2-12 四季各測站之種歧異度指數分佈圖

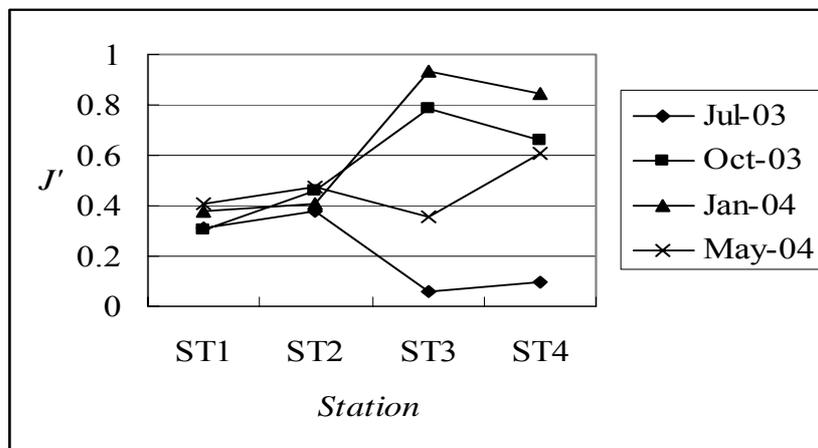


圖 5.2-13 四季各測站之均勻度指數分佈圖

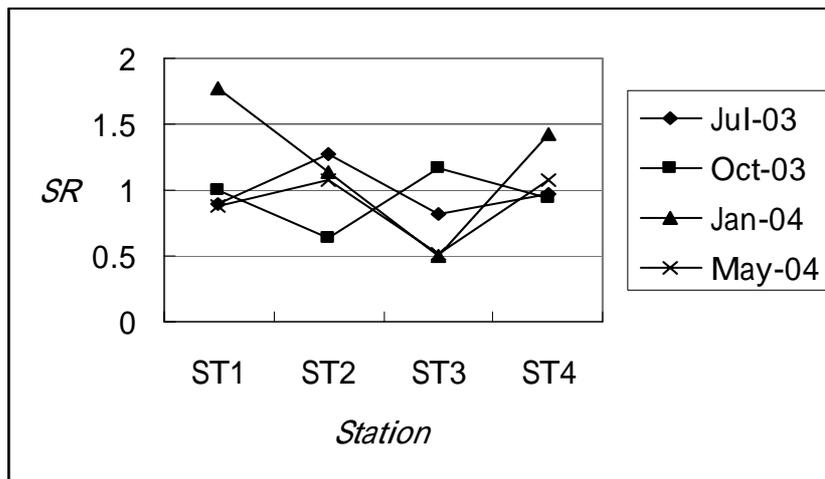


圖 5.2-14 四季各測站之豐富度指數分佈圖

5.2.4 附著生物作為指標生物之考量

附著生物 (sessile organisms) 通常是指一群經過在水中的漂浮時期後，會在堅硬的基質附著，同時改變外部型態，並固定於該處不再移動，直到死亡的生物。附著生物的種類繁多，扮演生產者角色的大型海藻是海岸重要的附著生物之一；而海洋的無脊椎動物中，從構造較簡單的海綿、水螅至構造複雜的膝壺、牡蠣、貽貝及海鞘等都是屬於常見的附著生物種類。附著生物在固著於基質後，由於長期固著於該環境而不再遷徙，因此附著生物生長的過程與族群的分佈等生物特性，將可以反應出當地海域環境的狀況，而做為海岸環境的生態指標。所以附著生物的種類與族群數量的分佈是環境改變評估的重要指標之一。

5.2.5 生態效果評估

在生物指標的評價方法上，目前在國外已經有幾個相當成熟的評估指標，可區分為定性模式分析及定量模式分析，其中定性的部分主要是考量生物特性及生態習性分析；而定量部分則有棲地適合度評價法 (Habitat Evaluation Procedur, HEP)，此模式需由大量精確的數據來建立，將生物特性當作主變數，棲息條件作依變數，模式建立以後其做定量的預測。HEP 評價手法為利用環境因子 (如水質、水溫等) 及所調查之生物種數算出棲地適合地指數 H S I (Habitat Suitability Index)，主要目的是評估棲地之適合棲息度；另可利用生物整合性指標法 (Index of Biotic Integrity, IBI) 及底棲生物整合性指標法 (Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI) 來綜合底棲生物、附著生物進行綜合矩陣的建構，並以此進行環境影響評估之探討。本模式之發展最初由 James Karr 博士 (1981) 使用生物整合性指標 (IBI) 進行溪流之棲地影響評估，原始的分析法中必須發展 12 個表現生物多樣性、生物性及族群結構等之分析矩陣 (Metrics)，以調查的現況來綜合給分，最後累加積分並分列等級來做影響評估。生物整合性指標法從發展開始二十年中很快地被廣泛應用在各種棲地的影響評估，直至最近已經有一些被應用在海域底棲生物棲地評估上成功的案例 (如 Weisberg et al., 1997; Van Dolah et al., 1999; Llanso et al., 2001; 2002; 郭等, 2002; 朱等, 2003)。

由本研究結果顯示，砂質的海域環境，因港阜設施如突堤、防波堤、附近環境變化等 (例如：新拋消波塊) 均會影響及改變環境特性而影響生物群聚結構，因此，干擾 (disturbance) 或稱擾動是自然界普遍的現象，它能破壞群聚的平衡狀態，特別是人為的干擾，如漁業、污染、築堤、建港等等。干擾的結果會使連續的群聚產生空隙 (gaps)，而提供後繼者一個入侵的機會。如後繼者並非原來的物種，而是競爭力更強的其他物種，則可能會使整個群聚的結果為之改變 (邵, 1998)。而本研究針對安平漁港利用底棲生物整合指標法 (B-IBI)

評價的結果顯示，各測點在四季的棲地等級都落在 C 至 D 級的評估等級之間(如表 5.2-1)，生態效益由於環境的劇烈改變，因此，未來仍需進一步的調查研究。

表 5.2-1 安平四季應用 B-IBI 評估項目及配分結果

項目	安平漁港															
	Jul-03				Oct-03				Jan-04				May-04			
	St1	St2	St3	St4												
Shannon-Wiener	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	3	3	1	1	1	3
Abundance (#/m ²)	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Biomass (g/m ²)	3	3	5	3	3	3	1	1	3	3	1	1	3	1	1	1
Abundance of pollution-indicative taxa (%)	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Abundance of pollution-sensitive taxa (%)	3	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Abundance of carnivores and omnivores (%)	3	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Abundance of Algae taxa (%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
總分	13	15	15	9	13	13	13	11	15	13	13	13	13	11	11	13
平均分數	1.9	2.1	2.1	1.3	1.9	1.9	1.9	1.6	2.1	1.9	1.9	1.9	1.9	1.6	1.6	1.9
評估等級	D	C	C	D	D	D	D	D	C	D	D	D	D	D	D	D

5.3 附著生物研究結論與建議

安平港沿岸人工結構物附著生物的調查，提供該海域生態評估之基礎資料，建議未來應再持續推動基礎生態調查工作。

1. 研究結果發現許多附著生物之分佈成聚集方式，而其中個體與群體間有自相關性 (autocorrelation) 之因素存在，因此取樣樣區之位置或大小會影響分析結果的正確性。
2. 研究結果發現附著生物的種類與分布會受到其週邊環境的季節溫度的影響而有所不同；甚至在離岸遠近的差異下，生物種類數亦有差異。
3. 研究結果發現空隙較大、表面較粗糙的消波塊，可促進海洋生物附著及群聚的機會。
4. 附著生物群聚之空間自相關性 (spatial autocorrelation) 可以用來分析測站或調查時間是否有相關的關係，亦即相距愈近的群聚結構，即愈相似之現象。
5. 研究結果發現海藻生存於水深 20 公尺以內，適合生長的地方在波高約為 2~3 公尺，而附著性動物多樣性高；但在波高 1.5~2 公尺的地方，附著性動物多樣性最高；而在波高 0.5 公尺以下，不論何種型式的構造物，附著性動物出現量都急減。
6. 應用底棲生物整合指標法進行生態評估，結果顯示安平漁港的附著生物評估結果介於第三級 (C) 至第四級 (D) 間，初步判斷推測可能由於調查地區的人工結構物物化環境改變 (例如；新拋消波塊群) 等，這些影響會從群聚的結構表現出來。
7. 養灘區內 St2、St3 區自秋季後才有小規模的施工，由於無明顯的施工，水質的變化並

不大，而且亦無高的濁度值，故顯示施工仍無明顯影響。

六、微生物成果

6.1 微生物摘要

本研究在台南安平港沿岸設立採樣地點，針對分布於此間細菌之生菌數和種多樣性進行調查，並期待能發掘出新型菌種。調查結果發現在各採樣點中，細菌之密度在 $4.3 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^7$ CFU/ml 之間。利用引子對 f27 及 r1488 進行部分分離株 16S rDNA 之序列解析，所增幅之長度約在 1,500 bp 之間，並以所定出分離株之基因序列約 750 bp，進行親緣關係分析。結果顯示沈積物分離株分屬於 *Vibrio*、*Photobacterium*、*Shewanella*、*Alteromonas*、*Bacillus* 等四屬之菌種，而海水樣本之分離株則屬於九個不同之菌屬，包括 *Vibrio*、*Pseudomonas*、*Shewanella*、*Rhodocista*、*Idiomarina*、*Oceanobacillus*、*Ruegeria*、*Alteromonas*、*Staphylococcus*。所有分離株中僅有部分是非好鹽性菌種，而海洋原生菌則以 *Vibrio* 為優勢菌種。將沈積物分離株 16S rDNA 進行 RFLP 分析，共可分為 13 個基因型，與所建構之親緣關係樹相符。在所有分離株中，計有 M21、M12、M23 等三菌株，與最近緣種之 16S rDNA 相似度值低於 95%，依據表型與 16S rDNA 分析的結果，此三分離株應可確認為新種菌。

6.2 微生物研究目的

高雄港務局在安平港的海岸整治方案中，規劃安平商港北堤至漁港南堤之間海域為人工養灘區，以海灘遮蔽方式及補充砂源處理來降低海岸侵蝕、保護海岸。除希望能滿足防災之多元性需求外，並著重海岸結構物應與海岸生態及人類生活並存之原則，期能達到海岸景觀美化、建物親水性及生態維持等永續發展之要求。由於微生物是生態系非常重要的一環，因此探討工程施作對環境所造成的衝擊，微生物是一項重要的可評估項目。本研究配合該興建計畫，調查養灘施工結構物與施工期間所造成對附近海域沈積物及海水中細菌多樣性之變動情形。在沿岸設置數個測站，首先利用 PY、PYG⁽⁸⁾ 及 TCBS (thiosulfate-citrate-bile salt-sucrose)⁽²⁾ 等培養基，估算沈積物及海水中異營性細菌之生菌數；同時選用 16S rRNA 基因為標的，結合 PCR 技術與 RFLP 法^(3, 10)，以瞭解細菌種群於不同季節的變動情形，並選出代表株進行其 16S rRNA 基因序列之解析，綜合分析結果俾做為養灘工法之生態效果評估參考。

6.3 微生物研究結果與討論

6.3.1 計數及分離

以 MPN 和平板計數法估算港樣區海水生菌數，其結果顯示菌數之多寡依季節、樣區及培養基成分而有不同（表一）。在沈積物樣本中，MPN 法所估得之異營性生菌數約介於 $4.3 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^7$ CFU/ml，兼性嫌氣性菌約介於 $3.6 \times 10^2 \sim 2.4 \times 10^5$ CFU/ml，水溫較低之(2004/1)時節，其生菌數明顯下降。而海水樣本中，MPN 法所估得之異營性生菌數約介於 $2.4 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^6$ CFU/ml，兼性嫌氣性菌約介於 $9.0 \times 10^2 \sim 1.5 \times 10^4$ CFU/ml。以 PY 培養基進行樣區之平板計數，沈積物之生菌數約為 $3.7 \times 10^4 \sim 1.7 \times 10^6$ CFU/ml，而海水樣本約為 $3.3 \times 10^4 \sim 1.8 \times 10^5$ CFU/ml。而 TCBS 培養基之平板計數估得沈積物菌數約為 $1.0 \times 10^4 \sim 7.5 \times 10^6$ CFU/ml，海水菌數約為 $3.3 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^4$ CFU/ml。

本實驗所採用之 PY、PYG 及 TCBS 等三種培養基，其成分差異大，其中以 TCBS 含有膽鹽及鈉鹽(3%)之鹼性培養基，可抑制大多數革蘭氏陽性細菌及腸內菌科之非好鹽性細菌⁽²⁾。計數結果顯示，TCBS 所估得生菌數約為 PY 培養基所估得生菌數之 1/6~1/10 之間，推測此類培養基應可抑制海水中一半以上無法耐受膽鹽之細菌。而 PYG 則針對能發酵葡萄糖之菌種進行估算，其菌數約為 PY 培養基所估得生菌數之 1/6~1/10 之間。

本研究自 PY 及 TCBS 培養基中共篩選出約二百株分離株，並將其繼代保存。經初步鑑定，僅有少數屬於非好鹽之革蘭氏陽性菌，大數菌種均屬於好鹽性之海洋細菌，其中分離自 TCBS 培養基之菌株，其來源不論是沈積物樣本或是海水樣本，均屬於革蘭氏陰性細菌。綜合上述，吾人認為 TCBS 培養基，應可應用於海洋環境中弧菌之分離，而弧菌之檢出率占總生菌數達 90%。

6.3.2 分離株親緣關係之決定

親緣關係決定是以 16S rDNA 為分析依據。選擇 *Escherichia coli* 16S rDNA 基因位置 8-27 (5'AGAGTTT-GATCMTGGCTCAG3') 和 1488-1511 (5'CGGTTACCTTGTTAGGACTTCACC3') 的序列作為引子對⁽¹⁾，將分離株基因放大後定序，再利用分離株 16S rDNA 序列前段約 750 bp，與 GenBank 現存標準菌株之 16S rDNA 序列資料比對，找出分離株之近緣種，藉以重建菌株間之親緣關係。

Neighbor-joining 法⁽⁶⁾所重建出沈積物分離株(共隨機挑取 38 株)的親緣關係樹狀圖(圖一)共分為 11 群，分屬於 *Vibrio*、*Photobacterium*、*Shewanella*、*Alteromonas*、*Bacillus* 等屬之菌種，而分離株與近緣之標準菌株 16S rDNA 序列之相似度均絕大多數在 97% 以上，其中以 *Vibrio* 屬之菌種最具多數，*Bacillus* 屬之分離株為非海洋原生種菌。就培養基之篩選性而言，由 PY 培養基所分得之菌株，散見於各群，而以選擇性培養基 TCBS 所分離出之菌株則僅侷限於 *Vibrio*、*Photobacterium*、*Shewanella* 等三屬之菌種。

海水樣本(共隨機挑取 15 株)之分離株在親緣關係樹狀上則可分為 9 群(圖二)，個別屬於九個不同之菌屬，包括 *Vibrio*、*Pseudomonas*、*Shewanella*、*Rhodocista*、*Idiomarina*、*Oceanobacillus*、*Ruegeria*、*Alteromonas*、*Staphylococcus*。其中僅 *Pseudomonas*、*Staphylococcus*

為非海洋原生菌種。檢視各群分離株與最近緣標準菌株之 16S rDNA 序列之相似度，其中六群之相似度均在 97%~99.5%之間，而其餘三群包括分離株 M21、M12、M23、M18、M26 等五菌株，其相似度值低於 95%，惟目前定序資料僅限於 16S rDNA 基因之前半段。其中吾人再進一步將 M21 進行較完整之定序，可發現它與近緣種標準株 *Altermonas macleodii* 之相似度仍維持在 93%。Schmidt *et al.* (1991)⁽⁷⁾指出只要分析 16S rDNA 序列較具變異的片段，便可了解細菌間的演化關係，而其結果與分析整段序列並無太大差異。本實驗參照該方法，只分析測試株之 16S rDNA 前段基因，並將序列增加至約 700 個鹼基對，經相互比對，測試株其表型特徵相似者，其類緣關係亦最為接近。吾人所分離出之 M21 菌株亦印證了此一方法之可行性。

同屬內之菌種，其 16S rDNA 序列相似度小於 97%者，一般可視為不同種⁽⁹⁾。本研究所得分離株中，至少有五菌株應屬於新發現之菌種，就目前之資料顯示，具有脫氮能力之 M21 與最近緣 *Altermonas* 之菌種，在生理及生化特性上均有顯著差異，應是一新種菌無誤，並有進一步定名為新屬之潛力。

基因定序分析之結果看來，若以菌屬作區分標準，沈積物中菌種之多樣性明顯低於海水，而其中又以弧菌在海洋中所占菌種之比例明顯較高，或可作為海洋環境變動的一項生物指標。另外，PY 培養基較不具選擇性，而以 TCBS 培養基所分離出來之菌種多屬於弧菌科之菌種，這點與李(2004)⁽¹²⁾在臺灣北部對海洋細菌所作的調查結果一致，是否可做為直接篩選培養基，應再進一步確認。

16S rDNA RFLP 分析

本研究將第二次採自沈積物之分離株(共計 30 株)進行 16S rDNA 限制酶切試驗。各菌株 16S rDNA 之 PCR 產物約 1.5 Kb，經由限制酶 *DdeI* 作用後，共可歸納為 7 種片段型式(圖三~1)，而 *RsaI* 及 *ScaI* 則分別出現 7 種及 5 種片段類型(圖三~2、圖三~3)。將此三種限制酶所剪切之片段模式歸納後，可將測試菌株區分為 13 種不同之基因型(genotype)(表二)。第 I、II、III、V、VII 型均包含兩株以上之菌株，其中以第 I 基因型包含最多數之 11 株分離株；其它基因型均僅獨有一菌株。分析後發現，在親緣關係樹上屬同一菌群之分離株，均落在同一基因型，惟不同菌群之菌株亦可能為相同之基因型，如第 I 基因型之 11 株分離株分別包括三群菌，其近緣種均為 *Vibrio* 屬之細菌，而第 V 基因型(4 分離株)則包括二群菌株，仍是屬 *Vibrio* 之細菌。此外，海水分離株 16S rDNA 限制酶切試驗共得九種基因型，與親緣關係之分群顯然一致。

Moyer *et al.*(1996)⁽⁴⁾以電腦模擬環境分離菌株之限制酶多型性分析，發現以三種限制酶之綜合比對，即可獲得菌株間良好之鑑別效果，而 Urakawa *et al.* (1997)⁽¹⁰⁾亦有類似之研究結論。雖然，吾人所測試之菌株數量並不多，惟綜合 16S rDNA 序列分析及 16S rDNA-RFLP 分析資料，仍支持吾人初步之鑑種結論。目前，GenBank 所載錄的有效菌種中，有些種類之基因序列相似度達 99%以上，但它們仍被依據表型及 DNA 雜合之相似度資料分列為不同菌種，因此，在親緣關係圖上各群菌株 16S rDNA 未發現較大之歧異性，其相似度多在 98%以上，是否存有不同之菌種，仍有待整合基因序列資訊與表型資料分析進一步釐清^(5, 11)。另外，第 II、V 基因型雖包含了二種以上之菌群，其主要原因可能是因為 16S rDNA 之切點雖然相異，惟限制片段長度差異卻不易在膠片上顯示，而導致誤判。

本研究中有部分菌株進行定序時，在定序儀上出現雜訊，造成讀序時之誤判，成為無法利用之資料，因此本研究親緣關係之分析並無納入所有分離株，可能喪失完整顯現出菌種之多樣性之結果。若運用上述三種限制酶之 16S rDNA-RFLP 分析作為分離株之快速分群，應是一項便利及便宜之驗證方法，惟是否仍需以不同之限制酶加入鑑別，以增強其可信度，仍須累積更多之資料方可確立。

6.4 計畫成果自評

(A)執行本計畫已完成：

1. 安平港沿岸海水及沈積物的菌數及菌種調查，提供該海域生態評估之基礎資料。
2. 分離出 218 株菌株，並進行繼代保存。
3. 完成部分菌株 16S rDNA 之定序，並建立與近緣種之親緣關係。
4. 利用 16S rDNA 定序與其 RFLP 分析結果，初步確認快速菌種鑑定之可行性。
5. 估計至少有三株分離株為未知之新種菌。

(B)協助本計畫的工作人員，將習得許多研究細菌生態所需具備的知識和技術。

七、計畫成果自評

7.1 各子計畫研究成果說明

本研究各子計畫研究成果說明如下：

1.海岸淺灘之生態工法研究-子計畫二：附著生物在海岸淺灘的生態效果分析研究：

- (1) 安平港沿岸人工結構物附著生物的調查，提供該海域生態評估之基礎資料。
- (2) 研究結果發現許多附著生物之分佈並非逢機，而是成聚集方式或有自相關 (autocorrelation) 之因素存在因此取樣區之位置或大小會影響分析結果的正確性。
- (3) 研究結果發現附著生物的種類與分布會受到其週邊環境的季節溫度的影響而有所不同；甚至在離岸遠近的差異下，生物種類數亦有差異。
- (4) 研究結果發現空隙較大、表面較粗糙的消波塊，可促進海洋生物附著及群聚的機會。
- (5) 空間自相關 (spatial autocorrelation) 可以用來分析測站或調查時間是否有相關的關係，亦即相距愈近的群聚結構，即愈相似之現象。
- (6) 研究結果發現海藻生存於水深 20 公尺以內，適合生長的地方在波高約為 2~3 公尺，而附著性動物多樣性高；但在波高 1.5~2 公尺的地方，附著性動物多樣性最高；而在波高 0.5 公尺以下，不論何種型式的構造物，附著性動物出現量都急減。

- (7) 應用底棲生物整合指標法進行生態評估，結果顯示安平漁港的附著生物評估結果介於第一級至第二級間，初步判斷推測可能由於調查地區的人工結構物物化環境改變（例如；新拋消波塊群）等，這些影響會從群聚的結構表現出來。
- (8) 協助本計畫的工作人員，將習得許多研究附著動植物生態所需具備的知識和技術。

2. 海岸淺灘之生態工法研究-子計畫三：微生物在海岸淺灘的生態效果分析研究：

- (1) 安平港沿岸海水及沈積物的菌數及菌種調查，提供該海域生態評估之基礎資料。
- (2) 分離出 218 株菌株，並進行繼代保存。
- (3) 完成部分菌株 16S rDNA 之定序，並建立與近緣種之親緣關係。
- (4) 利用 16S rDNA 定序與其 RFLP 分析結果，初步確認快速菌種鑑定之可行性。
- (5) 估計至少有三株分離株為未知之新種菌。
- (6) 協助本計畫的工作人員，將習得許多研究細菌生態所需具備的知識和技術。

7.2 研究內容與原計畫相符程度

本研究的子計畫二、三分別負責海岸淺灘的附著生物、微生物的調查和分析工作，決定目標物種和指標生物，及建立生物與環境條件的相關性。本研究增加了底棲生物之研究。

資料調查分析過程與結果，由本計畫（總計畫）加以整合，包括調查項目規格的統一、資料庫的建立、模式的整合等，再將整合結果提供子計畫一進行案例應用和檢討，最後，再由總計畫進行功效評估。其架構及各計畫之相關性。此外，各子計畫在進行中必須隨時請教和參考其他計畫主持人的意見，不同專業領域的知識交流非常重要。

子計畫二、三分別對底棲性生物、附著性生物及微生物作調查和分析，研究成果除了有各自的學術和應用價值外，主要提供總計畫進行綜合性分析，以建立模式供工程設計使用。同時各子計畫的調查方法、資料整理方法等，可相互交流研商出成熟的技術供他人參考。子計畫一的工程案例，一方面可應用總計畫和其他子計畫的研究成果，來獲得生態環境條件，協助工程規劃設計的考慮，另一方面，在研究過程中發現的問題可回饋至總計畫和其他子計畫，以做更進一步的研究，使最後發展出的模式確實可行。

7.3 達成預期目標情況

本研究計畫執行中，嘗試發展一套環境潛能分析評估模式，所設定之準則包含考慮底棲動物、附著生物、微生物等作為指標生物。步驟如下

- (1) 本研究子計畫（二）、（三）在安平港北堤至漁港南堤原規劃之人工養灘區，按季進行水質及底質之調查，及底棲生物、附著生物、微生物之採樣。
- (2) 各生物子計畫以多變量方法從生物性資料及環境資料析出指標生物。並建構生物整合性指標法（Index of Biotic Integrity, IBI）所需之矩陣資料，來進行生態潛能的分析和評估。
- (3) 建構安平海岸之淺灘生態系的資料庫。
- (4) 研擬生態調查技術準則。
- (5) 各種分析評估模式的運用檢討。
- (6) 利用擬建立之人工潮池案例來檢討和評估研究功效，包括資料的運用和模式的運

用。

7.4 研究成果之學術或應用價值

生態工法的特點是需要不同專業領域的整合。生態系的調查分析需要生態學的專業人才來完成，海洋生態學又包括藻類、螺貝類、魚類、多毛類等很多不同的專業，生態學者的調查資料往往又與工程設計所需的參考資料脫節。故結合不同專業的人才，基於各自的專長，搭配其他專業的研究，同步執行才會有具體的成果。故本計劃結合兩位海岸工程背景的研究人員（總計劃、子計劃一），三位海洋生物背景的研究人員（子計劃二、三）共同執行。總體目標是為創造海岸淺灘生態環境時，建立所需的分析評估模式，以供工程設計時參考使用，並以實際案例檢討其有效性。因此，本研究之學術或應用價值的具體成果，乃在於成功整合各領域的專業人士的專業知識，跨領域的結合各學門的研究成果，以具體發展一套海岸淺灘生態環境時，建立所需的分析評估模式，以供海洋生態工程設計時參考使用。

7.5 研究成果發表期刊

本研究之研究成果總計畫連同各子計畫，目前已發表在第二十六屆海洋工程研討會，共計 4 篇，如下所示：

1. 「應用底棲生物整合指標法評估安平海岸淺灘的生態效果之研究」，第二十六屆海洋工程研討會，台灣大學工程科學及海洋工程學系，2004 年。
2. 「附著生物在海岸淺灘的生態效果分析研究—以安平漁港為例」，第二十六屆海洋工程研討會，台灣大學工程科學及海洋工程學系，2004 年。
3. 「漁港週邊消波塊附著生物的垂直分布生態特性之研究」，九十三年度農業工程研討會，中國農業工程學會，2004 年。
4. 「漁港生態工法應用類別之探討」，第一屆營建產業永續發展研討會，中華民國營建工程學會，2004 年。

謝誌

本研究部分經費受國科會贊助（專題研究計劃編號 NSC 92-2211-E-216-022）得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

- 1.戴昌鳳(1989)"臺灣的珊瑚"，臺灣省政府教育廳，195 頁。
- 2.邵廣昭等(1996)"台灣常見魚介貝類圖說(上)-海藻與無脊椎動物"，台灣省漁業局。
- 3.賴景陽(1999)"貝類(一)"，渡假出版社有限公司，200 頁。
- 4.黃淑芳(2000)"臺灣東北角海藻圖錄"，國立臺灣博物館，233 頁。

- 5.郭一羽等 (2001) "水域生態工程", 中華大學水域生態環境研究中心。
- 6.陳育賢 (2001) "海岸生物(一) - 台灣潮間帶生物 700 種(一)", 渡假出版社有限公司。
- 7.郭一羽、朱達仁、葉明典(2002)"新竹海岸消波塊之生態調查研究", 中華民國第二十四屆海洋工程研討會論文集, 第 477-484 頁。
- 8.郭一羽、朱達仁(2004)"漁港生態工法應用類別之探討", 第一屆營建管理研討會論文集, P3-155~3-164。
- 9.郭一羽、朱達仁、張憲國 (2004)「應用底棲生物整合指標法評估海岸淺灘的生態效果之研究」, 2004 第二十六屆海洋工程研討會論文集, p543-550。
- 10.張睿昇、郭一羽、朱達仁、施君翰 (2004)「附著生物在海岸淺灘的生態效果分析研究 - 以安平漁港為例」, 2004 第二十六屆海洋工程研討會論文集, p551-558。
- 11.張睿昇、朱達仁、郭一羽、施君翰、鄭安盛 (2004)「漁港週邊消波塊附著生物的垂直分佈生態特性之研究」, 九十三年農業工程研討會論文集, P1280-1291。
12. **Bennasar, A., Guasp, C. & Lalucat, J.** (1998). Molecular methods for the detection and identification of *Pseudomonas stutzeri* in pure culture and environmental samples. *Microb. Ecol.* **35**, 22-33.
13. **Kobayashi, T., Enomoto, S., Sakazaki, R. and Kuwahara, S.** (1963) . A new selective isolation medium for pathogenic vibrios: TCBS-Agar. *Jap. J. Bact.* **18**, 391-397.
14. **Maeda, T., Matsuo, Y., Furushita, M. & Shiba, T.** (2003). Seasonal dynamics in a coastal *Vibrio* community examined by a rapid clustering method based on 16S rDNA. *Fish. Sci.* **69**, 385-394.
15. **Moyer, C.L., Tiedje, J.M., Dobbs, F.C. and Karl, D.M.** (1996) .A computer-simulated restriction fragment length polymorphism analysis of bacterial small-subunit rRNA genes : efficacy of selected tetrameric restriction enzymes for studies of microbial diversity in nature . *Appl. Environ. Microbiol.* **62**, 2501-2507.
16. **Ruimy, R., Breittmayer, V., Elbaze, P., Lafay, B., Boussemart, O., Gauthier, M. and Christen, R.** (1994) . Phylogenetic analysis and assessment of the genera *Vibrio*, *Photobacterium*, *Aeromonas*, and *Plesiomonas* deduced from small-subunit rRNA sequences. *Int. J. Syst. Bacteriol.* **44**, 416-426.
17. **Saitou, N. & Nei, M.** (1987). The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.* **4**, 406-425.
18. **Schmidt, T. M., E. F. Delong, and N. R. Pace.** (1991). Analysis of a marine picoplankton community by 16S rRNA gene cloning and sequencing. *J. Bacteriol.* **173**: 4371-4378.
19. **Shieh, W. Y., Chen, Y.-W., Chaw, S.-M. & Chiu, H.-H.** (2003). *Vibrio ruber* sp. nov., a red, facultatively anaerobic, marine bacterium isolated from seawater. *Inter. J. Syst. Evol. Microbiol.* **53**, 479-484.
20. **Stackebrandt, E. and Goebel, B. M.** (1994) . Taxonomic note: a place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA sequence analysis in the present species definition in bacteriology. *Int. J. Syst. Bacteriol.* **44**, 846-849.
21. **Urakawa, H., Kita-Tsukamoto, K. and Ohwada, K.** (1997) . 16S rDNA genotyping using PCR/RFLP (restriction fragment length polymorphism) analysis among the family *Vibrionaceae*. *FEMS Microbiol. Lett.* **40**, 125-132.

22. **Vandamme, P., Pot, B., Gillis, M., De Vos, P., Kersters, K. and Swings, J.** (1996) . Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics. *Microbiol. Rev.* 60, 407–438.
23. 李晃銘 · (2004). 能生長於 TCBS 平板培養基的沿岸海水中細菌多樣性之探討。台灣大學海洋研究所論文