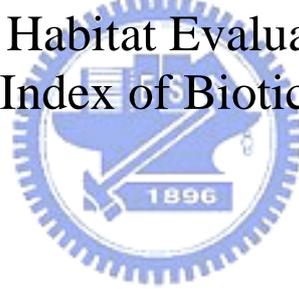


國立交通大學土木工程研究所
Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

碩士論文

底棲生物整合指標(B-IBI)之棲地評價模式(HEP)
研究

The research for Habitat Evaluation Procedure of
Benthic Index of Biotic Integrity



指導教授：郭一羽博士
研究生：孫伯賢

中華民國九十七年六月

底棲生物整合指標(B-IBI)之棲地評價模式(HEP)研究

研究生：孫伯賢

指導教授：郭一羽 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

在生態工程永續經營的概念下，海岸於開發時應儘量避免或減輕生態破壞，否則需以替代或補償的方式來保障生物的生存空間，也就是棲地代償措施(Mitigation)，亦即在施工前應先對現地棲地做生態上的評估，於施工完成後再盡力回復施工前棲地的生態，而較常用來擬定代償方案的手段為棲地評價模式(Habitat Evaluation Procedure, HEP)。

不同於過往使用單純的生態指標(如歧異度)來操作 HEP，本文以考慮整體生態環境較為周全的底棲生物整合指標法(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)做為棲地評估的目標，一方面可藉由 HEP 來監控環境的 B-IBI 值，另一方面可由棲地適宜度指數模式(HSI)擬定代償之替代方案。

國外建立 B-IBI 評價的資料來源與台灣在棲地條件上有所差異，因此本文將利用彰化芳苑海岸、高美溼地和台南安平漁港的現地資料來修訂 B-IBI 之評分區間與污染指標生物。B-IBI 之評分區間將以水質符合乙類測站為標準測站(reference site)的作法，再配合研究區資料來劃分；污染指標生物之訂定，並非以過往查詢國內外文獻的方式，而是以本研究區生物資料來修正，最後計算結果本研究區域共 82 種底棲生物中，低度污染指標(L)占 10 種，中度污染指標(M)占 48 種，高度污染指標(H)占 34 種。

The research for Habitat Evaluation Procedure of Benthic Index of Biotic Integrity

Author : Po-Hsien Sun

Advisor : Dr. Yi-Yu Kuo

Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

ABSTRACT

Under the continuing forever management of ecological engineering, it should avoid or abate the ecological destruction when the coasts develop, or the existence space necessary to be commuted and atoned. It is called the mitigation, that is, the ecological evaluation should be preceded before the construction of the habitat, and the ecological habitat should be restored when the construction completed. Therefore, HEP is more often to be used for mitigation.

It is different to control HEP by simply utilizing the ecological indicator (example: Shannon-Wiener species diversity). The paper uses the target of habitat by more complete and perfect B-IBI. In one side, we can monitor B-IBI of the environment by HEP. In another side, we can lay the alternative plan by HSI.

The source of building B-IBI value by foreigner is different from Taiwan. Therefore the paper revises the B-IBI value by referring the locality data of Coast of Chang-Hua Fang-Yuan, Gao-Mei wetland and Tai-Nan An-Pin fishing port. The scored interval utilizes the method of the water quality that is according with the reference site, and then cooperates to divide by the data of researching area. The revise of pollution-indicative taxa of B-IBI value is not through the searching of

literature in the world but through biological data in this researching area. Finally, in the calculating result from 82 kinds of benthic, there are 10 kinds of benthic belonging to low indicative (L), 48 kinds of benthic belonging to middle indicative(M), 34 kinds of benthic belonging to high indicative(H).



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 文章架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2-1 底棲生物整合指標(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI).....	4
2-2 棲地評價模式(Habitat Evaluation Procedure, HEP).....	4
第三章 研究區域與調查方法.....	6
3-1 研究區域簡介.....	6
3-2 資料調查方法.....	10
3-2-1 底棲生物調查.....	10
3-2-2 環境調查.....	10
第四章 底棲生物整合指標(B-IBI)之修訂.....	15
4-1 底棲生物整合指標(B-IBI)簡介.....	15
4-2 修訂底棲生物整合指標(B-IBI).....	19
4-2-1 建構污染指標生物.....	19
4-2-2 修訂評分區間.....	24

第五章 棲地評價模式(HEP)之建立.....	27
5-1 棲地適宜性分析.....	27
5-1-1 棲地適宜性指數(HSI)介紹.....	27
5-1-2 棲地適宜性指數(HSI)評估過程.....	27
5-2 模式建立.....	29
5-2-1 適合度指數(SI)模式建立.....	29
5-2-2 棲地適宜性指數(HSI)模式建立.....	31
第六章 結論.....	34
參考文獻.....	35



圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	3
圖 3.1 芳苑海岸測站位置.....	7
圖 3.2 高美溼地測站位置.....	8
圖 3.3 安平漁港測站位置.....	9
圖 3.4 粒徑分析實驗流程圖.....	14
圖 5.1 芳苑遠岸區酸鹼度SI指數包絡線圖.....	30
圖 5.2 HSI 與 B-IBI 值之相關性.....	32



表目錄

表 4.1 B-IBI 棲地類型選擇參考表.....	16
表 4.2 多鹽沙及多鹽泥評分項目.....	16
表 4.3 研究區域污染敏感性生物.....	18
表 4.4 研究區域深溝沉積物中消費者.....	18
表 4.5 海域環境分類及海洋品質標準.....	20
表 4.6 計算腰帶筆螺出現機率百分比.....	21
表 4.7 污染指標評估表.....	21
表 4.8 研究區生物污染指標.....	21
表 4.9 評分區間範圍.....	25
表 4.10 評分區間範圍.....	25
表 4.11 評分區間範圍.....	25
表 4.12 多鹽沙之評分矩陣.....	26
表 4.13 多鹽泥之評分矩陣.....	26
表 5.1 芳苑遠岸區酸鹼度 SI.....	30
表 5.2 芳苑遠岸區環境因子條件.....	32
表 5.3 芳苑遠岸區環境因子 SI 值.....	32
表 5.4 各區之皮爾森相關係數(r).....	33
表 5.5 HSI 之組成.....	33

第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

台灣四面環海，海洋與我們的生存發展息息相關，加上平地少而人口稠密，故對於海岸的開發需求特別強烈；但過往在開發時，常常忽略了當地原有的生態系統，在未了解其生物組成和棲地環境下，便使用人為的手段而達成工程的目的，以致於破壞了當地的生態環境而不知將會因此失去許多寶貴的自然資源；現今在生態工程永續經營的概念下，海岸於開發時應儘量避免或減輕生態破壞，否則需以替代或補償的方式來保障生物的生存空間，也就是棲地代償措施(Mitigation)(郭，2006)，亦即在施工前應先對現地棲地做生態上的評估，於施工完成後再盡力回復施工前棲地的生態。

本文在此提供由 Weisberg *et al.*(1997)所發展的底棲生物整合指標(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)做為棲地評估的手法。B-IBI 為一因人類活動而對底棲生物群集造成影響的整合性評估指標，除包含基本的生態指標如歧異度、種類豐富度之外，還有污染敏感和指標性生物的百分比等環境污染程度的項目，可以較完整得呈獻棲地條件的優劣；於海岸施工前先利用 B-IBI 給予一個定量的評價(B-IBI 值)，同時瞭解 B-IBI 值與棲地環境因子之定量關係，再以棲地評價模式(Habitat Evaluation Procedure, HEP) 藉由環境要因來預測 B-IBI 值，意即是以棲地品質作為監測基礎的評估方式，由棲地適宜度指數模式(HSI)擬定代償之替代方案。

本文利用底棲生物整合指標，探討棲地評價模式的適用性，建立 B-IBI 值與棲地環境的 HSI 模式，相較於過往使用物種數、生物個體數和歧異度等單一生態指標來建構 HSI 模式而言，此作法於棲地環境上，擁有較全面的評估與監控。在 B-IBI 中，建立評價的資料源為國外，與台灣在棲地條件上有所差異，因此本文也將利用彰化芳苑海岸、高美溼地和台南安平漁港的資料來修訂底棲生物整合指標，以供日後海岸開發時棲地環境評估和營造之參考。

1-2 文章架構

本文將利用底棲生物整合指標(B-IBI)，探討棲地評價模式(HEP)的適用性，建立 B-IBI 值與棲地環境的 HSI 模式，並使用台灣彰化芳苑海岸、高美溼地和台南安平漁港的現地資料來修訂 B-IBI。本文一共分為 5 個章節，第一章為研究動機與目的，介紹本文研究的基礎架構；第二章為文獻回顧，統整前人研究的精華；第三章為研究區域簡介和資料調查方式，除了對彰化芳苑海岸、高美溼地和台南安平漁港分別簡介外，也說明生物、水質和底質調查分析的方式；第四章為計算 B-IBI 的流程，希望以台灣現地的資料修訂其評分區間，並訂出污染指標生物；第五章為建立 B-IBI 值與棲地環境的 HSI 模式，並以皮爾森相關係數(r)來探討；第六章將綜合全文提出結論，並予以相關建議；本文研究流程如圖 1.1 所示。



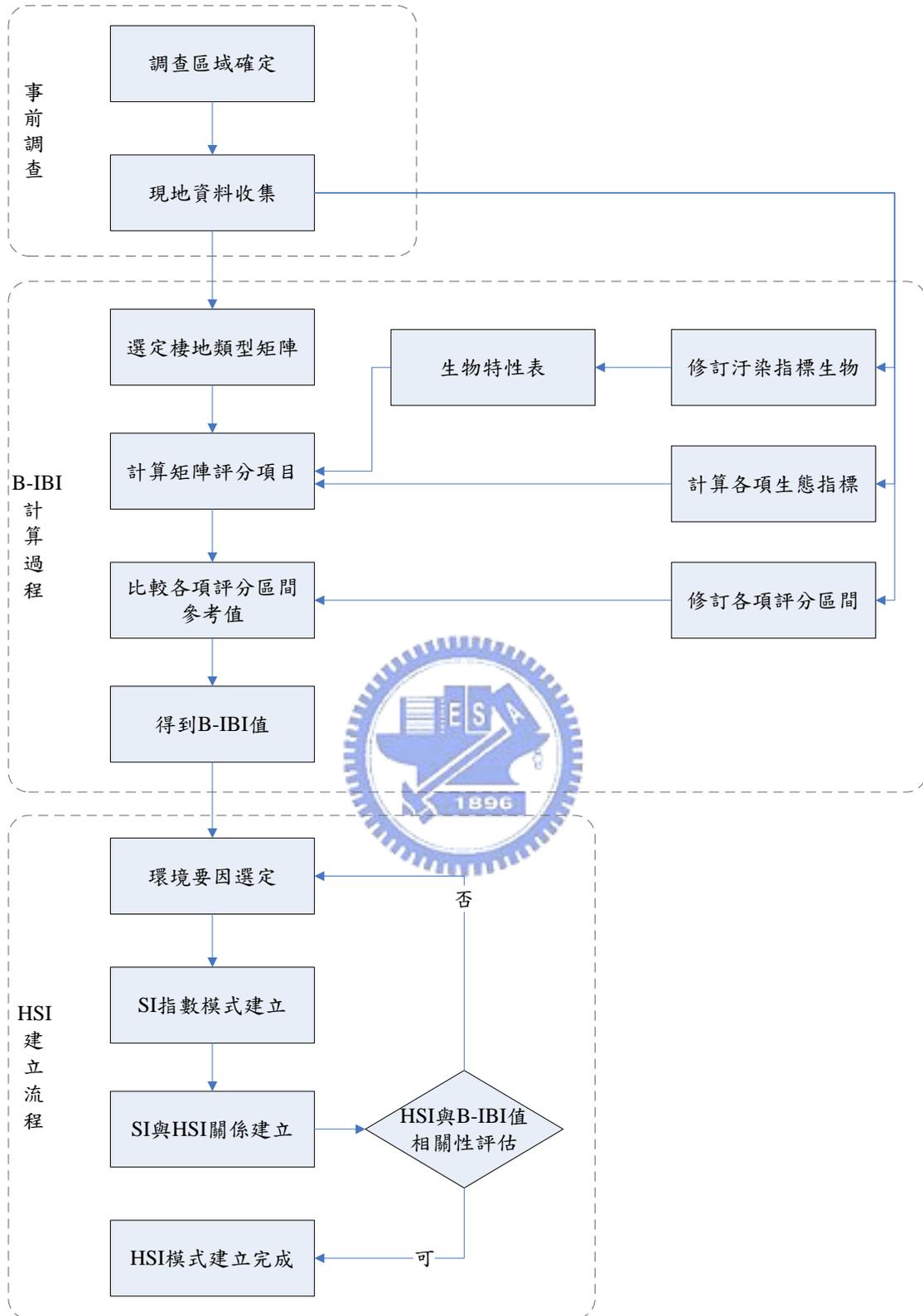


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2-1 底棲生物整合指標(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)

許多研究指出，底棲生物可以反應出各種自然及人為的壓力 (Pearson and Rosenberg 1978; Dauer 1993; Tapp *et al.* 1993; Wilson and Jeffrey 1994; Weisberg *et al.* 1997)，因此在海岸環境評估上發展出以底棲生物群聚為基礎的評估技術及應用指標，如 Weisberg *et al.*(1997) 將 James Karr(1981)使用在溪流的棲地評估之分析矩陣，應用於海岸及河口，發展出「底棲生物整合指標」(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)。

現今國外有許多研究修訂了 Weisberg *et al.*(1997)的 B-IBI，如 Alden *et al.*(2002)重新訂定了各棲地類型分級的區間；Christman *et al.*(2003)發展出如何分辨棲地是受到低溶氧或是底質污染的方法；而國內則有使用之案例，如朱達仁等(2005)在安平商港北堤至漁港南堤之間人工養灘區，以 B-IBI 評估其棲地並藉以瞭解該區域在不同環境條件下底棲生物分佈以及其與消波塊群與其週遭環境之相關性；朱達仁及郭一羽(2006)利用新竹漁港的附著生物調查，以 B-IBI 進行評估其棲地等級；朱達仁等(2007)利用安平漁港、興達漁港、烏石漁港和新竹漁港四個漁港的資料，以 B-IBI 進行評估其棲地等級；郭一羽等(2007)利用芳苑海岸底棲生物調查資料，以 B-IBI 進行棲地的評估。

2-2 棲地評價模式(Habitat Evaluation Procedure, HEP)

在 1980 年代，美國魚類及野生動物局改良發展一套有系統之棲地評價方法來評估開發計劃之衝擊程度，稱之為棲地評價模式 (Habitat Evaluation Procedure, HEP)(USFWS,1980)，評估棲地生態變化；棲地評價程式適用來選定合適野生動物棲地的方法，同時給予質與量的界定。

其後日本的一些海岸生態工程研究，將 HEP 法進一步推廣應用，如新保裕美等(2000)曾以二枚貝為探討對象，來評估日本橫濱之人工海岸及天然干潟之棲息環境是否適宜；吉安勇介等(2001)曾以附

著生物為調查對象，來評估塊石放置於海岸對生物之影響是否能成為良好之棲地；而橋中秀典等(2003)也將吉安永介(2001)所建立之模式進一步修正並預測物種出現種類數，並且與實際調查物種種類數之作一對照，發現預測和實際調查值差異並不大。而國內亦有研究案例，陳盈曲(2005)利用新竹漁港周邊消波塊上的附著生物，建立生物與棲地環境之棲地評價模式(HEP)；陳俊杰(2005)研究安平港附近海域之底棲生物，建立一套適合安平港環境的棲地評價模式(HEP)；郭一羽等(2007)建立芳苑海岸 B-IBI、物種數和種類多樣性的棲地評價模式(HEP)。



第三章 研究區域與調查方法

3-1 研究區域簡介

本文研究區包括了彰化芳苑海岸、高美溼地和台南安平漁港三地，其棲地環境皆各有特色，本節將簡介研究區和說明各地測站位置。

一、芳苑海岸

芳苑海岸北起王功海堤，南至新街海堤南端(芳苑鄉與大城鄉之交界處)，長度約 9.3 公里。北側永興海堤現有養殖蚵架，南側芳苑海堤段為茂盛之紅樹林區，且擁有廣大的潮間帶，全區海岸生態極為豐富。芳苑海岸潮間帶所面臨的課題為岸上大量污水放流海灘，已超過其自淨能力，導致溼地內只有耐受力強的底棲及水生動物可以生存，缺乏生物多樣性，然而卻生物量豐富，形成一種很奇特的生態環境。同時，本區因為環境特殊性，具有生態旅遊的觀光發展潛力，但欲發揮其功能，環境營造是首要之務。

芳苑海岸測站共 41 個測站，5 季的資料，位置如圖 3.1 所示，最北邊為王功海堤(W)，共 5 個測站；往南為永興海埔地海堤(Y)，原 4 個測站再分別近岸(N)、中岸(M)和遠岸(F)，共 12 個測站；再往南為芳苑市區海堤(F)，跟永興海埔地海堤一樣，原 4 個測站再分別近岸(N)、中岸(M)和遠岸(F)，共 12 個測站；在芳苑市區海堤中，還包括芳苑紅樹林(A)，共 8 個測站；再南邊為新街海堤(X)，共 5 個測站。

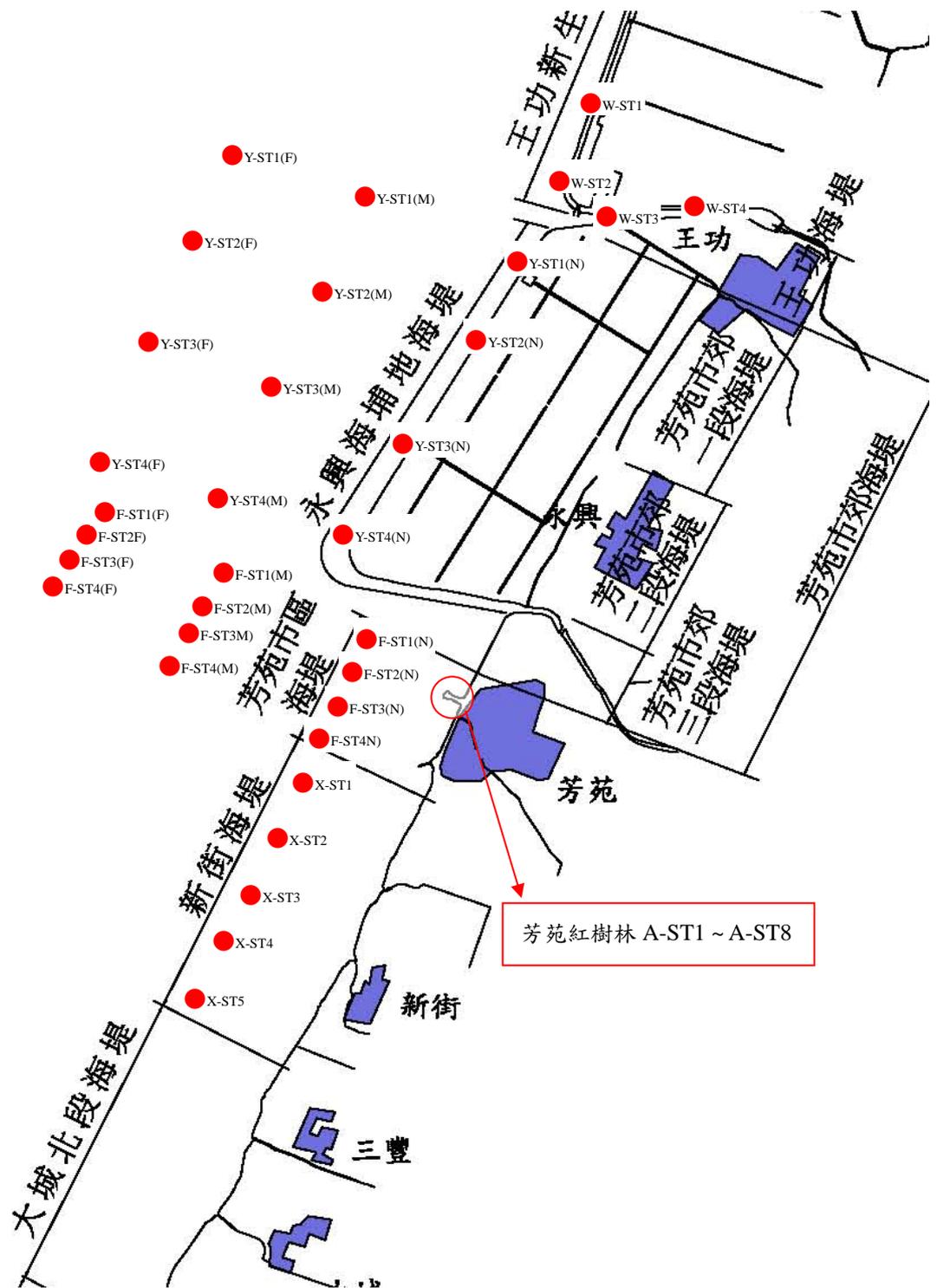


圖 3.1 芳苑海岸測站位置

二、高美溼地

高美溼地北鄰大甲溪出海口、南接清水大排，面積約為三百多公頃，約為大肚溪口溼地的十分之一，棲息的鳥類有多達 120 餘種，是國內少數幾處雁鴨集體繁殖區之一，亦為目前所知全台灣最大族群的雲林莞草區。高美溼地承受了清水地區大部分的家庭有機廢水，其間有機質為底棲生物提供了重要的營養來源，再加上兼具泥質及沙質灘地，又與河口沼澤地帶鑲嵌在一起，所以孕育了豐富又複雜的濕地生態，形成乾濕相間伴有植物生長的複雜地形，因為地形多變，生態種類亦相當複雜，主要為鳥類、魚類、蟹類及其他無脊椎類等生物。

高美溼地測站共 5 個測站，5 季的資料，位置如圖 3.2 所示，圖中綠色部分為雲林莞草。

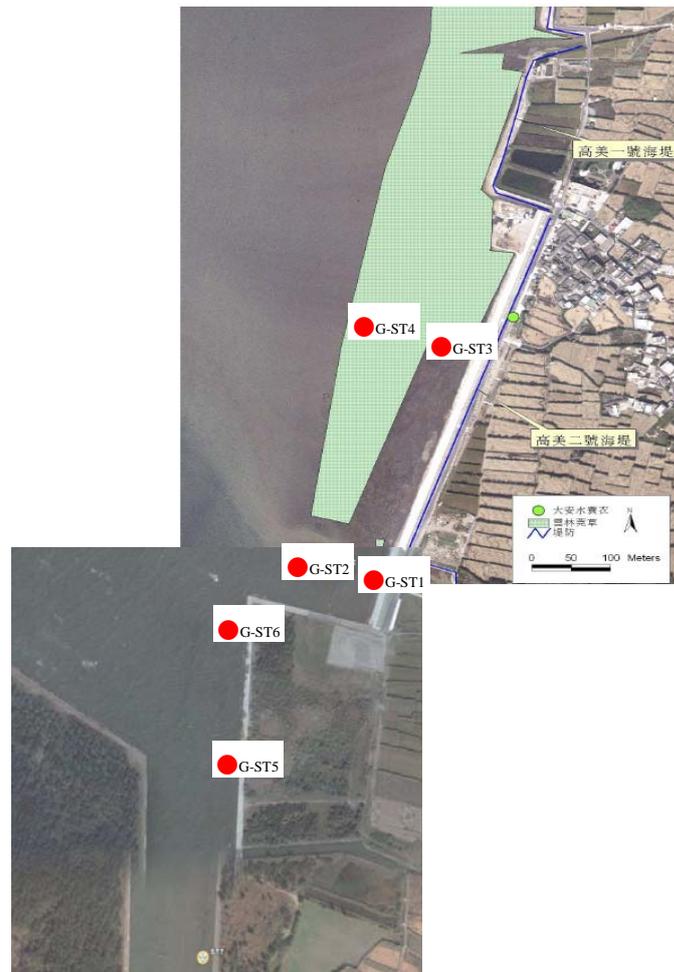


圖 3.2 高美溼地測站位置

三、安平漁港

安平漁港位於台南市安平區之安平港內，鹽水溪南岸沿海地區，北距曾文溪口約 10.6 公里，南距二仁溪口約 8.8 公里，本區海岸屬沙岸地形，平均潮差約 0.57 公尺。北邊為舊港(漁港)，而新港(商港)位於舊港南方約 2 公里處，於新港北防波堤及舊港南防波堤分別各有一座馬刺型突堤做為穩定沙灘之岬頭，在兩岬頭之間為人工養灘。

安平漁港共 12 個測站，8 季的資料，位置如圖 3.3 所示，分別位於舊港北防波堤北側(A)、新港南防波堤南側(D)和新舊漁港間人工養灘南北的二側(B、C)。

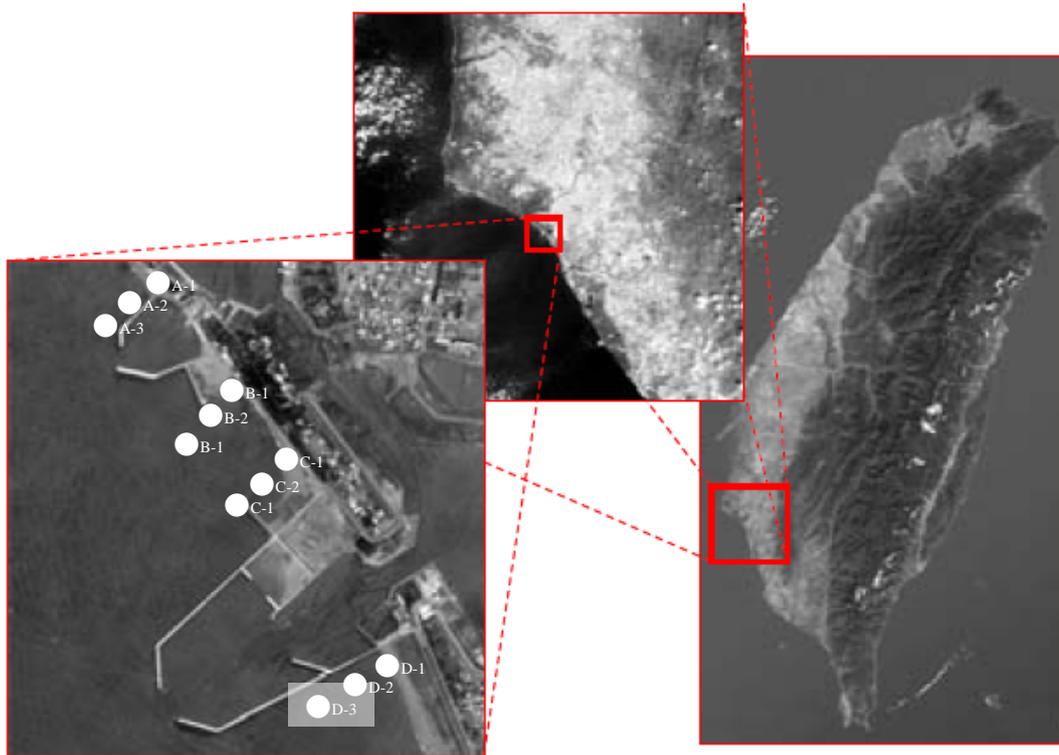


圖 3.3 安平漁港測站位置

3-2 資料調查方法

3-2-1 底棲生物調查

調查項目：

大型底棲動物如二枚貝、多毛類及大型甲殼類。

調查方法：

採樣工作之進行係參考潮汐表，選定於大退潮期間於水位逐漸退去時，採集肉眼可以加以分辨之底棲動物標本，每站劃定 10 個 20cm×15cm 矩形平面，於此平面上挖取 10cm 深之土樣進行過篩，所採集之土樣於附近的水溝中以 0.94mm 之篩網淘洗篩濾底棲生物，過篩後進一步挑揀生物樣本，裝入保鮮袋並以麻醉劑麻醉，再加入福馬林固定後帶回實驗室，以 5% 中性福馬林溶液保存於實驗室中。

鑑種方式：

以肉眼或於立體解剖顯微鏡下，依分類圖鑑所訂分類標準表進行定性種類組成分析，並經測定其溼重以進行定量密度分析。底棲生物的採樣通則，分軟底質和硬底質，環保署已公告於 94 年 3 月 15 日開始實施，詳細內容請參閱之。

3-2-2 環境調查

一、水質調查

1. 芳苑海岸及高美溼地水質調查項目如下：

酸鹼度(pH)、水溫、鹽度、電導度、溶氧(Do)、生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₄)、總磷(TP)及大腸桿菌等 9 項。

2. 安平漁港則是水質調查項目如下：

氣溫、水溫、鹽度、溶氧(Do)、酸鹼度(pH)、生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₄)、化學需氧量(COD)、總磷(TP)、硝酸鹽(NO₃)及亞硝酸鹽(NO₂)等 11 項。

3.採樣方法：

海上部分以 5L Niskin 採水瓶(General Oceanics)，採得表層樣水後，依序分裝於 60 mL BOD 瓶中，並取 1000 mL 於 pp 瓶中，加入濃硫酸固定後，置於冰桶保存。

4.現場監測：

芳苑海岸及高美溼地是使用 YSI 儀器直接置入水中測定及紀錄資料，可記錄導電度、溫度、酸鹼度及溶氧；安平漁港則是使用電導度計、溫度計、酸鹼度計、電極溶氧計、透明度等，而在海面部分是使用 SeaBird 公司之 SBE 19 溫鹽儀，其中裝有溫度、壓力及電導度計，直接置入水中測定及紀錄資料。

5.實驗室檢測：

- a.酸鹼度(pH)：參照環保署標準方法 NIEA W424.51A，直接讀取 pH 值及溫度並記錄之。
- b.水溫：參照環保署標準方法 NIEA W217.51A，視現場環境之實際需要，選擇溫度計或儀器測量水溫，並依儀器使用說明操作。
- c.鹽度：參照環保署標準方法 NIEA W447.20C，依各儀器製造廠商所提供之校正步驟，以標準海水進行儀器校正。
- d.總懸浮固體：參照環保署標準方法 NIEA W210.55A，將攪拌均勻之水樣以已知重量之玻璃纖維濾片過濾，移入 103~105°C 之烘箱續烘至恆重，所增加之重量即為總懸浮固體重。
- e.溶氧(Do)：參照環保署標準方法 NIEA W421.54C，水樣中加入硫酸亞錳溶液及鹼性碘化物－疊氮化物溶液後，生成氫氧化亞錳沉澱，水中溶氧將氫氧化亞錳氧化成較高價之錳氧化物。將水樣酸化後碘離子與錳氧化物反應產生與溶氧同當量之碘，以硫代硫酸鈉滴定溶液中之碘，即可求得溶氧量。
- f.生化需氧量(BOD₅)：五天生化需氧量，參照環保署標準方法 NIEA W510.54B，將水樣置於 60mL 之 BOD 瓶中，置於 20°C 恆溫培養箱

中放置五天，測定水中好氧性微生物在此期間氧化水中物質所消耗之溶氧。

- g.化學需氧量(COD)：參照環保署標準方法 NIEA W515.53A，使用重鉻酸鉀進行迴流煮沸，以硫酸亞鐵銨溶液滴定，由消耗之重鉻酸鉀量，即可求得水樣中之化學需氧量，以表示水樣中可被氧化有機物之含量。
- h.氨氮(NH₄)：參照環保署標準方法 NIEA W437.51C，含有氨氮或銨離子之水樣注入流動注入分析(Flow injection analysis, FIA)系統，於載流液(Carrier)中依序混入緩衝溶液、鹼性酚鈉、次氯酸鈉等溶液，進行本貝洛氏(Berthelot)反應產生深藍色高吸光度之靛酚染料(Indophenol dye)。此溶液之顏色於混入亞硝醯鐵氰化鈉(Nitroprusside)後會更加強烈，此深藍色物質於波長 630 nm 處量測其波峰吸光值並定量水樣中之氨氮(NH₃ - N)濃度。
- i.總磷(TP)：參照環保署標準方法 NIEA W444.51C，水樣中之多磷酸鹽(Polyphosphate)及有機磷分別經硫酸及過氧焦硫酸鉀消化後皆被轉化成正磷酸鹽。將手動消化之消化液導入流動注入分析(Flow injection analysis, FIA)系統中，正磷酸鹽與鉬酸銨(Ammonium molybdate)和酒石酸銻鉀(Antimony potassium tartrate)在酸性條件下反應成錯合物。接著此錯合物被維生素丙溶液(Ascorbic acid solution)還原為另一藍色高吸光度物質，於 880 nm 波長量測其波峰吸光值並定量水樣中之磷化物含量。
- j.硝酸鹽(NO₃)：硝酸鹽測定採用鎘銅還原原理，先將硝酸鹽還原成亞硝酸鹽，以流動式自動分析儀(Pai and Riley, 1994)測定。
- k.亞硝酸鹽(NO₂)：亞硝酸鹽測定採用 pink azo dye 法(Strickland and Parsons, 1972)操作時以流動式自動分析儀將樣水依序吸入流程板中，在流程板中樣水會依序與 SUL 及 NED 試劑以 25:1:1 混合，然後送入分光光度計之流動樣品槽，在 543nm 波長測定吸收值定量之。

二、底質調查

海底底質之土壤顆粒組成與底質的有機物、無機物含量，會直接影響水質及底棲生物生存。因此，調查水質、底棲生物時一般需同時進行底質調查。

海岸潮間帶的底質調查，可利用採樣鏟取樣，低潮線下之底質則需利用船舶和抓斗採樣，採取的土樣置入廣口塑膠瓶或厚塑膠袋保存運送。採樣時應避免現場干擾以防止土壤組成受到擾動。

土壤樣品應依據各檢測方法之規定要求保存，如待測之有機成份的土壤樣品應保存在 4°C 冷藏箱中，並避免照光，儘速送至實驗室進行檢測分析。土壤採樣進行期間，應針對所有土壤材料及實施之作業保持連續、正確、完整之記錄。

實驗步驟分述如下(圖 3.4 實驗流程圖)：

- a. 比重試驗求出土粒密度。
- b. 取烘乾土樣做沉泥試驗，計算出#200 以下粒徑分布。
- c. 上述沉泥試驗之土和水倒入#200 篩洗，並取出殘留#200 之土體烘乾秤重。
- d. 將上述烘乾之土體進行篩分析，計算出#200 以上粒徑分布。
- e. 繪出完整粒徑分布曲線圖。



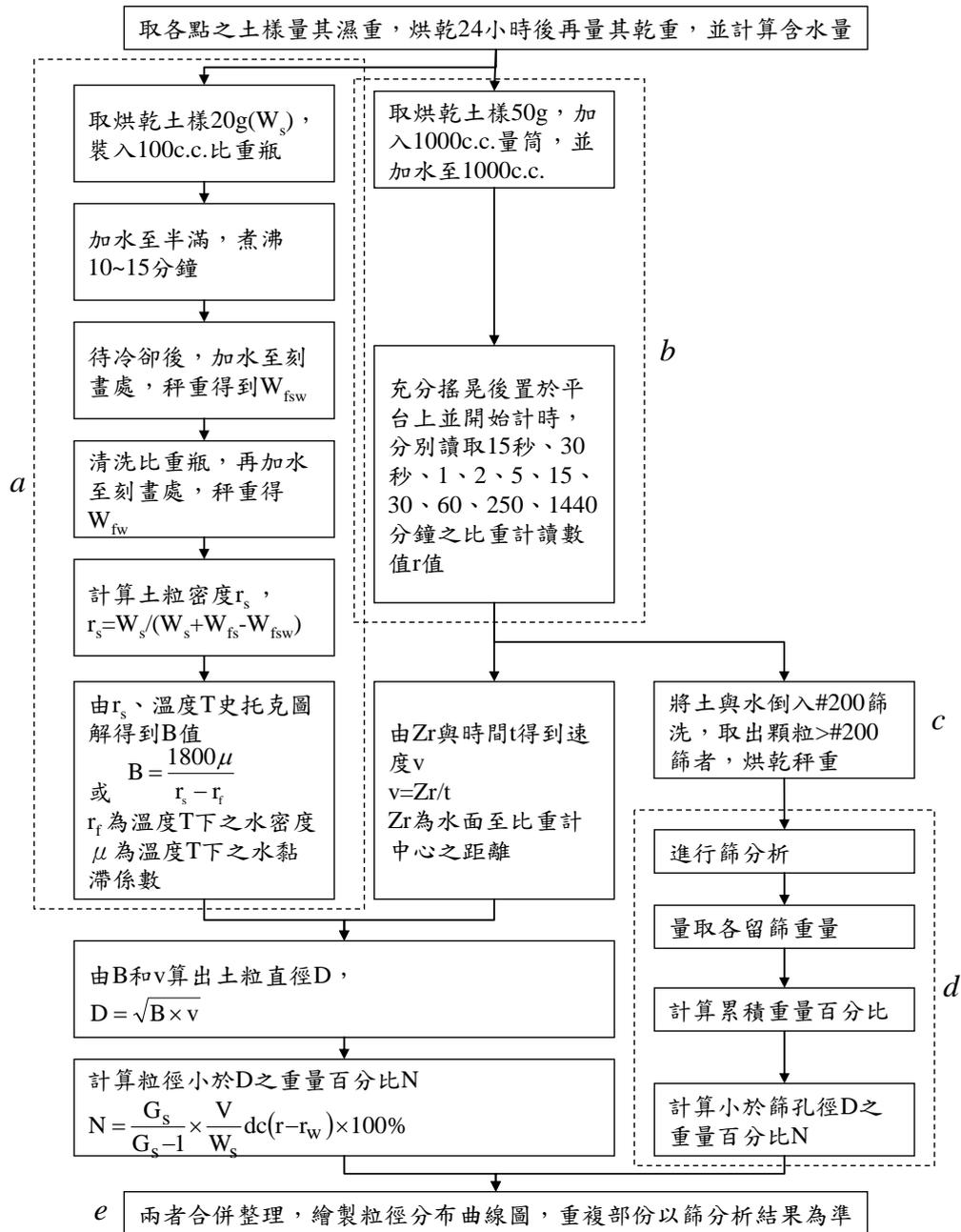


圖 3.4 粒徑分析實驗流程圖

第四章 底棲生物整合指標(B-IBI)之修訂

4-1 底棲生物整合指標(B-IBI)簡介

底棲生物整合指標(B-IBI)在國外期刊上有非常多種類型，而本文所選用的是由 Weisberg *et al.*(1997)將 James Karr(1981)使用在溪流的棲地評估之分析矩陣，發展出海岸及河口之「底棲生物整合指標」(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)，此法乃是藉由調查大型底棲生物群聚生態上的狀況，分別由各矩陣項目來給分，最後依其積分來做棲地品質評估的整合性生物指標，其後還有 Llanso *et al.*(2002)、Alden *et al.*(2002)與 Christman *et al.*(2003)等學者加以修訂。

其評估流程如下：

- 一、先以棲地條件中的鹽度及淤泥黏土(<62 μ)重量之含量(%)選定其所屬類型(如表 4.1)，因本文調查之區域多屬多鹽性的棲地，所以選擇多鹽沙和多鹽泥二類型做為評估的矩陣。
- 二、多鹽沙和多鹽泥評分項目如表 4.2 所示，以各評分項目中的表現與評分區間參考值之間的差異性，分別給予最佳的 5 分，次等的給 3 分，最差的給 1 分的評分(其評分區間將於本文 4-2-2 節再做說明)。
- 三、加總各項目的得分再給予平均而得到 B-IBI 值，以此值的高低來評價棲地生態環境的優劣。

由上述評估流程可知，使用 B-IBI 評估棲地品質，需要有底棲生物的特性資料表，如污染敏感性、深溝沉積物中消費者等，可於國內外文獻收集；而污染指標這個評分項目，因國內相關的定量研究十分稀少，本文又想利用現地資料來訂定海岸底棲污染指標生物，因此參考郭等(2007)於芳苑海岸以定量方式來訂定污染指標生物之方法，以研究區資料來判定各底棲生物之污染指標性，其過程將於 4-2-1 節詳述；而在評估流程後面所要使用的參考值，以此來

給予各項目 5 分、3 分和 1 分的區間，Weisberg *et al.* (1997)是使用 Chesapeake Bay 的資料所建立，與台灣環境差異過大，使用原文參考值區間怕有失偏頗，所以本文也將於 4-2-2 節以本次研究區域之資料，重新建立其區間，訂出參考值，供日後以 B-IBI 評估台灣棲地時參考之用。

表 4.1 B-IBI 棲地類型選擇參考表(Weisberg *et al.* 1997；郭，2007)

棲地類型	鹽分(ppt)	淤泥黏土(<62 μ)之含量(%)
河口	0 - 0.5	無限制
狹鹽	$\geq 0.5 - 5.0$	無限制
低鹽	$\geq 5.0 - 12.0$	無限制
高鹽沙	$\geq 12.0 - 18.0$	0 - 40
高鹽泥	$\geq 12.0 - 18.0$	>40
多鹽沙	≥ 18.0	0 - 40
多鹽泥	≥ 18.0	>40

表 4.2 多鹽沙及多鹽泥評分項目(Weisberg *et al.* 1997；郭，2007)

多鹽沙評分項目	多鹽泥評分項目
Shannon-Wiener 種歧異度指數(H')	Shannon-Wiener 種歧異度指數(H')
總種類豐富度(#/m ²)	總種類豐富度(#/m ²)
總種類生物量(g/m ²)	總種類生物量(g/m ²)
污染指標種類之豐富百分比(%)	污染指標種類之豐富百分比(%)
污染敏感性種類之豐富百分比(%)	污染敏感性種類之豐富百分比(%)
深溝沉積物中消費者之豐富百分比(%)	沉積物表面以下 5-25 公分中之生物種類百分比(%)

以下介紹表 4.2 中，各個評分項目的計算方式：

一、 Shannon-Wiener 種歧異度指數(H')

$$H' = -\sum(n_i / N) \ln(n_i / N)$$

式中， n_i 表示調查數據中第 i 種生物之個體數， N 表示調查數據中所有生物種類之總個體數。

二、 總種類豐富度 ($\#/m^2$)

該測站在 1 平方公尺的面積，所有生物的總個體數。

三、 總種類生物量(g/m^2)

計算該測站在 1 平方公尺的面積，所有生物的乾重，最後累加起來的克數。

四、 污染指標種類之豐富百分比(%)

污染指標生物的總個體數，占該測站所有物種總個體數的百分比。污染指標生物是指可以忍受污染環境的物種，於本章 4-2-1 節會訂定出研究區生物之污染指標性。

五、 污染敏感性種類之豐富百分比(%)

污染敏感性生物的總個體數，占該測站所有物種總個體數的百分比。污染敏感性生物是指對於環境的變遷會感到不適，喜歡不受打擾的棲地，如表 4.3 所示。

六、 深溝沉積物中消費者之豐富百分比(%)

在沉積物以下覓食的消費者(表 4.4)總個體數，占該測站所有物種總個體數的百分比。

七、 沉積物表面以下 5-25 公分中之生物種類百分比(%)

在沉積物表面以下深度 5 公分到 25 公分間，所發現的生物種類數，占該測站所有生物種類數的百分比。

表 4.3

研究區域污染敏感性生物

學名	中文名
<i>Gomphina equilatera</i>	花蛤
<i>Laternula anatina</i>	截尾薄殼蛤
<i>Sanguinolaria diphos</i>	西施舌
<i>Sinonovacula constricta</i>	竹蛭
<i>Pomacea canaliculata</i>	福壽螺
<i>Thais clavigera</i>	蚵岩螺
<i>Babylonia formosae</i>	台灣鳳螺
<i>Cerithidea cingulata</i>	栓海螵
<i>Batillaria zonalis</i>	燒酒海螺
<i>Portunus sanguinolentus</i>	紅星梭子蟹
<i>Grapsus albolineatus</i>	白紋方蟹
<i>Gonodactylus chiragra</i>	大指蝦蛄
<i>Austinoegbia edulis</i>	美食奧螻蛄蝦
<i>Capitella capitata</i>	小頭蟲
<i>Capitella group</i>	
<i>Capitella group sp.1</i>	
<i>Lumbrineridae sp</i>	
<i>Scoloplos arimiger</i>	

表 4.4

研究區域深溝沉積物中消費者

學名	中文名
<i>Meretrix meretrix</i>	台灣文蛤(文蛤)
<i>Gomphina aequilatera</i>	花蛤
<i>Fimbria fimbriata</i>	花籃蛤
<i>Pitarina sulfureum</i>	黃文蛤
<i>Cyclina sinensis</i>	環文蛤
<i>Ruditapes philippinarum</i>	海瓜子
<i>Mactra veneriformis</i>	方形馬珂蛤
<i>Callista chinensis</i>	中華長文蛤
<i>Dosinorbis japonica</i>	日本鏡文蛤
<i>Dosinorbis bilunulata</i>	滿月鏡文蛤
<i>Tegillarca nodifera</i>	結毛蚶
<i>Barbatia foliata</i>	鬚魁蛤
<i>Laternula anatina</i>	截尾薄殼蛤
<i>Sanguinolaria diphos</i>	西施舌
<i>Sinonovacula constricta</i>	竹蛭
<i>Glaucomya chinensis</i>	中國綠螂
<i>Oncidium verruculatum</i>	石礮
<i>Marphysa cf. sanguinea</i>	岩蟲
<i>Chaetopterus variopedatus</i>	燐蟲
<i>Dendronereis pinnaticirris</i>	羽須鯢沙蠶
<i>Capitella capitata</i>	小頭蟲
<i>Capitella group</i>	
<i>Capitella group sp.1</i>	
<i>Lumbrineridae sp</i>	
<i>Scoloplos arimiger</i>	

(表 4.3、4.4 之文獻來源為參考文獻 1-11、15、20、21)

4-2 修訂底棲生物整合指標(B-IBI)

4-2-1 建構污染指標生物

海岸底棲生物之污染指標生物在國內以定量方式的研究十分稀少，唯郭等(2007)發展出以芳苑海岸底棲生物資料來訂定污染指標生物，本文將用其方法，利用研究區域資料來訂定海岸底棲污染指標生物，判定各底棲生物之污染指標性。

首先介紹污染指標性 L、M 和 H 的意義：

L：低度污染指標，指只可以在水質乾淨的棲地生活，不能忍受污染的物種。

M：中度污染指標，可忍受適度環境污染的物種。

H：高度污染指標，指可以忍受污染而在水質條件較惡劣棲地生活的物種，甚至到有點偏好棲息於污染環境之下。

而上節表 4.2 之 B-IBI 中污染指標種類之豐富百分比(%), 便是 H(高度污染指標) 生物的總個體數，占該測站所有物種總個體數的百分比。

以下介紹修訂污染指標生物的方法，首先將研究區域總共 329 筆資料，參考環保署民國 90 年 12 月所訂海域環境分類及海洋品質標準，如表 4.5 所示，將水質區分為三種：

一、符合乙類水質

符合乙類水質且包含符合甲類水質的測站。

二、符合丙類水質

符合丙類水質的測站扣除符合乙類水質的測站。

三、不符合丙類水質

水質條件連丙類水質都不符合的測站。

表 4.5 海域環境分類及海洋品質標準(環保署)

分類 監測項目	甲類	乙類	丙類
pH	7.5-8.5	7.5-8.5	7.0-8.5
DO(mg/L)	5.0 以上	5.0 以上	2.0 以上
BOD (mg/L)	2.0 以下	3.0 以下	6.0 以下
大腸桿菌群 (CFU/100ml)	1000 個以下	—	—
氨氮 (mg/L)	0.3	—	—
總磷 (mg/L)	0.05	—	—
氰化物	0.01	0.01	0.02
酚類	0.01	0.01	0.01
礦物性油脂	2	2	—

分別先計算出上述三種類型之測站數，符合乙類水質之資料數為 160 個，符合丙類水質之資料數為 117 個，不符合丙類水質之資料數為 52 個；再觀察各物種出現在三種水質的機率，如表 4.6，以腰帶筆螺為例，於各類型水質出現的次數，符合乙類、符合丙類和不符合丙類分別為 26、11 及 9 次，將各出現次數除以各類水質類型之測站數，可得在各水質平均出現機率，在符合乙類為 16%、符合丙類為 9%，不符合丙類為 17%；再將符合乙類、符合丙類和不符合丙類水質平均出現機率除以各水質平均出現機率的加總，得到各類型水質占出現機率百分比，符合乙類水質為 37.8%，符合丙類水質為 21.9%，不符合丙類水質為 40.3%，最後參照表 4.7，因腰帶筆螺在不符合丙類水質出現機率百分比大於 33%，所以判定其污染指標性為 H(高度污染指標性)。

表 4.7 中乃是使用符合乙類水質出現機率百分比與不符合丙類水質出現機率百分比來判定生物的污染指標；符合乙類水質代表乾淨的水質條件，因此符合乙類水質出現機率百分比越高代表該生物越喜歡乾淨的棲地，反之，不符合丙類水質代表受污染的水質條件，因此不符合丙類水質出現機率百分比越高代表該生物越喜歡污染的棲地；L(低度污染指標)的生物在符合乙類水質出現機率百分比一定要高，但因其不能忍受污染，所以於不符合丙類水質中不會出現，而 H(高度污染指標)的生物，因其耐污染或有點偏好污染的特性，所以在不符合丙類水質出現機率百分比的表現上會較高，除污染指標

性 L、H 以外的生物，則為 M(中度污染指標)；將上述觀念用來訂定污染指標 L、M、H，在嘗試多種不同符合乙類與不符合丙類水質在出現機率百分比上的組合後，選定三分位法在污染指標 L、M、H 的比例上最符合現況；於研究區內 82 種底棲生物，使用如同上述求得腰帶筆螺為 H 的操作方式，其結果 L 占 10 種，M 占 48 種，H 占 34 種，如表 4.8 所示。

表 4.6 計算腰帶筆螺出現機率百分比

水質類型	測站數	出現次數	各水質平均出現機率	占平均出現機率百分比
符合乙類	160	26	16%	37.8%
符合丙類	117	11	9%	21.9%
不符合丙類	52	9	17%	40.3%

表 4.7 污染指標評估表

污染指標性	符合乙類水質出現機率百分比(%)	不符合丙類水質出現機率百分比(%)
L	≥66	0
M	<66	0
M	無限制	>0 - 33
H	無限制	≥33

表 4.8 研究區生物污染指標

學名	中文名	污染指標
<i>Meretrix meretrix</i>	台灣文蛤	M
<i>Gomphina aequilatera</i>	花蛤	M
<i>Fimbria fimbriata</i>	花籃蛤	L
<i>Pitarina sulfureum</i>	黃文蛤	H
<i>Cyclina sinensis</i>	環文蛤	M
<i>Ruditapes philippinarum</i>	海瓜子	M
<i>Macra veneriformis</i>	方形馬珂蛤	H
<i>Callista chinensis</i>	中華長文蛤	H
<i>Dosinorbis japonica</i>	日本鏡文蛤	M
<i>Dosinorbis bilunulata</i>	滿月鏡文蛤	M
<i>Tegillarca nodifera</i>	結毛蚶	H
<i>Barbatia foliata</i>	鬚魁蛤	L
<i>Laternula anatina</i>	截尾薄殼蛤	H
<i>Sanguinolaria diphos</i>	西施舌	H

表 4.8 研究區生物污染指標(續)

<i>Sinonovacula constricta</i>	竹蛭	M
<i>Glaucomya chinensis</i>	中國綠螂	M
<i>Nerita albicilla</i>	漁舟蜑螺	H
<i>Pomacea canaliculata</i>	福壽螺	H
<i>Cellana toreuma</i>	花笠螺	M
<i>Thais clavigera</i>	蚵岩螺	M
<i>Morula granulata</i>	結螺	M
<i>Strigatella decurtata</i>	腰帶筆螺	H
<i>Turricula javana</i>	台灣捲管螺	H
<i>Niotha livescens</i>	正織紋螺	L
<i>Nassarius melanioides</i>	黑肋織紋螺	M
<i>Hastula strigilata</i>	花筍螺	H
<i>Duplicaria dussumieri</i>	櫛筍螺	M
<i>Terebra amanda</i>	玉帶筍螺	M
<i>Phos senticosus</i>	木賊峨螺	L
<i>Babylonia formosae</i>	台灣鳳螺	H
<i>Monilea callifera</i>	美臍鐘螺	M
<i>Umbonium vestiarum</i>	彩色虫昌螺	L
<i>Monodonta labio</i>	草蓆鐘螺	H
<i>Architectonica perspectiva</i>	黑線車輪螺	H
<i>Architectonica maxima</i>	巨車輪螺	H
<i>Architectonica trochlearis</i>	車輪螺	M
<i>Discotectonica acutissima</i>	扁車輪螺	H
<i>Tonna sulcosa</i>	褐帶鶉螺	H
<i>Natica gualteriana</i>	小灰玉螺	H
<i>Natica tigrina</i>	虎斑玉螺	M
<i>Polinices didyma</i>	大玉螺	H
<i>Littorina scabra</i>	粗紋玉黍螺	H
<i>Littorina undulata</i>	波紋玉黍螺	M
<i>Cerithidea cingulata</i>	栓海蜷	M
<i>Batillaria zonalis</i>	燒酒海螺	M
<i>Turritella terebra</i>	錐螺	M
<i>Batillaria multiformis</i>	多型海蜷	M
<i>Portunus hastatoides</i>	予形梭子蟹	L

表 4.8 研究區生物污染指標(續)

<i>Portunus sanguinolentus</i>	紅星梭子蟹	H
<i>Scylla serrata</i>	鋸緣青蟹	M
<i>Portunus pelagicus</i>	遠海梭子蟹	M
<i>Thalamita spinimana</i>	刺手短槳蟹	H
<i>Grapsus albolineatus</i>	白紋方蟹	L
<i>Matuta victor</i>	勝利黎明蟹	H
<i>Ocypode ceratophthalma</i>	角眼沙蟹	M
<i>Uca lactea</i>	清白招潮蟹	M
<i>Ocypode stimpsoni</i>	斯氏沙蟹	M
<i>Uca formosensis</i>	台灣招潮蟹	M
<i>Ilyoplax tansuiensis</i>	淡水泥蟹	H
<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>	短身大眼蟹	M
<i>Macrophthalmus banzai</i>	萬歲大眼蟹	H
<i>Scopimera bitympana</i>	雙扇股窗蟹	H
<i>Uca arcuata</i>	弧邊招潮蟹	M
<i>Ocypode cordimana</i>	平掌沙蟹	M
<i>Scopimera longidactyla</i>	長趾股窗蟹	H
<i>Mictyris brevidactylus</i>	短指和尚蟹	M
<i>Varuna litterata</i>	字紋弓蟹	M
<i>Chiromantes haematocheir</i>	紅螯螳臂蟹	L
<i>Parasesarma pictum</i>	神妙擬相手蟹	M
<i>Chasmagnathus convexus</i>	隆脊張口蟹	H
<i>Parasesarma plicatum</i>	摺痕擬相手蟹	M
<i>Helice formosensis</i>	台灣厚蟹	M
<i>Helice wuana</i>	伍氏厚蟹	H
<i>Perisesarma bidens</i>	雙齒近相手蟹	M
<i>Metopograpsus thukuhar</i>	方形大額蟹	M
<i>Philyra pisum</i>	豆形拳蟹	H
<i>Ozius rugulosus</i>	皺紋團扇蟹	M
<i>Cardisoma carnifex</i>	兇狠圓軸蟹	H
<i>Petrolisthes sp.</i>	瓷蟹	M
<i>Gonodactylus chiragra</i>	大指蝦蛄	M
<i>Alpheus sp.</i>	槍蝦	M
<i>Austinoergia edulis</i>	美食奧螻蛄蝦	M

表 4.8 研究區生物污染指標(續)

<i>Orchestia platensis</i>	扁跳蝦	M
<i>Oncidium verruculatum</i>	石礮	H
<i>Marphysa cf. sanuinea</i>	岩蟲	M
<i>Chaetopterus variopedatus</i>	磷蟲	M
<i>Dendronereis pinnaticirris</i>	羽須鰓沙蠶	L
<i>Capitella capitata</i>	小頭蟲	H
<i>Capitella group</i>		H
<i>Capitella group sp.1</i>		L
<i>Lumbrineridae sp</i>		M
<i>Scoloplos arimiger</i>		H

4-2-2 修訂評分區間

原 Weisberg *et al.*(1997)乃是使用 Chesapeake Bay 的資料所建立評分區間的參考值，但因其環境與台灣差異過大，若使用原文來給予各項目 5 分、3 分和 1 分的評分區間，恐不能真正反應出棲地的環境條件，所以利用研究區域現地的資料，重新計算代表研究區域之多鹽沙及多鹽泥矩陣的評分區間。

修訂評分區間的方法是參考 Weisberg *et al.*(1997)以參考測站(reference site)建立評分區間的作法，選取水質符合乙類標準的測站做為參考測站，只以這些測站資料來訂定評分 1、3、5 的區間，並以其 50th百分位數和 5th(95th)百分位數做為評分項目區間分割的參考值。因各評分項目的性質不同，使得評分區間的分割方式會有差異，以下為各項目參考值訂定的說明：

一、Shannon-Wiener 種歧異度指數(H')、污染敏感性種類之豐富百分比(%)、深溝沉積物中消費者之豐富百分比(%)及沉積物表面以下 5-25 公分中之生物種類百分比(%)

以上四個評分項目為數值越大，棲地環境品質越佳，因此 1 分界定為小於 5th百分位數，3 分界定在小於 50th百分位數到 5th百分位數間，5 分界定為大於等於 50th百分位數，如表 4.9 所示。

表 4.9 評分區間範圍

分數	5	3	1
評分區間範圍	≥50%	50%-5%	< 5%

二、污染指標種類之豐富百分比(%)

此評分項目為數值越大，棲地環境品質越差，因此 1 分界定為大於 95th 百分位數，3 分界定在小於等於 95th 百分位數到 50th 百分位數間，5 分界定為小於等於 50th 百分位數，如表 4.10 所示。

表 4.10 評分區間範圍

分數	5	3	1
評分區間範圍	≤50%	95%-50%	>95%

三、總種類豐富度 (#/m²)及總種類生物量(g/m²)

以上二種評分項目---總種類豐富度和總種類生物量因污染程度的不同將產生二種不同的反應(Pearson and Rosengerg, 1978)。會因為緩慢而輕微的污染，使得總種類豐富度和總種類生物增加；也會因為高度嚴重的污染，使得總種類豐富度和總種類生物減少；因此 1 分界定為大於等於 95th 百分位數和小於 5th 百分位數，3 分界定在小於 95th 百分位數到 75th 百分位數間及大於等於 5th 百分位數到 25th 百分位數間，5 分界定在大於等於 25th 百分位數到 75th 百分位數間，如表 4.11 所示。

表 4.11 評分區間範圍

分數	5	3	1
評分區間範圍	≥25%-75%	5%-25% or ≥75%-95%	<5% or ≥95%

將研究區現地資料使用上述評分區間範圍所切出來的多鹽沙及多鹽泥矩陣區間參考值，如表 4.12、4.13 所示，以測站於各評分項目中的表現與上述劃好區間的參考值比較，分別給予 5 分、3 分和 1 分的評分，加總各項目的得分再平均，可得到該測站之 B-IBI 值。

表 4.12 多鹽沙之評分矩陣

項目	5	3	1
Shannon-Wiener 種歧異度指數 (H')	≥1.7	0.8-1.7	<0.8
總種類豐富度 (#/m ²)	≥45-190	15-45 or ≥190-525	<15 or ≥525
總種類生物量(g/m ²)	≥0.14-1.2	0.02-0.14 or ≥1.2-9.15	<0.02 or ≥9.15
污染指標種類之豐富百分比(%)	≤28	28-78	>78
污染敏感性種類之豐富百分比(%)	≥25	5-25	<5
深溝沈積物中消費者之豐富百分比(%)	≥30	5-30	<5

表 4.13 多鹽泥之評分矩陣

項目	5	3	1
Shannon-Wiener 種歧異度指數 (H')	≥2	1-2	<1
總種類豐富度(#/m ²)	≥90-270	30-90 or ≥270-770	<30 or ≥770
總種類生物量(g/m ²)	≥0.8-3.88	0.09-0.8 or ≥3.88-10.6	<0.09 or ≥10.6
污染指標種類之豐富百分比(%)	≤35	35-85	>85
污染敏感性種類之豐富百分比(%)	≥25	5-25	<5
沉積物表面以下 5-25 公分中之生物種類百分比(%)	≥25	10-25	<10

第五章 棲地評價模式(HEP)之建立

5-1 棲地適宜性分析

5-1-1 棲地適宜性指數(HSI)介紹

美國在 1958 年修正野生動物之相關環境評估條例。1969 年的國家環境政策法(NEPA)，為了尋求能以定性及定量的方法來評估棲地環境，而對數百種以上的生態評價方法作一考察，考察中發現 HEP 法是之中最好的評價手法，其可評估棲地之變化並可擬定代償(Mitigation)之替代方案，所以在 1974 年聯邦政府野生動物局(USFWS)將其幾度改良而在 1980 年發表，並改良沿用至今。

在此使用棲地適宜性指數(Habitat Suitability Index, HSI)的目的是想用量化的數值來表示或預測 B-IBI 值與其環境條件的關係，意即是未來能夠直接以棲地品質作為監測基礎的評估方式。此指數為影響 B-IBI 值因子之總和，其數值以 0 到 1 來表示，其中以 0 代表最差(不適宜)的 B-IBI 值，1 代表最佳(適宜)B-IBI 值。

5-1-2 棲地適宜性指數(HSI)評估過程

HEP 評價的步驟是首先進行事前現地調查資料之收集，而事先資料之收集包括：調查區域之確定、相關現地資料之收集、B-IBI 值之計算。

接者建立 HSI 之模式，HSI 模式係透過專家或現地調查，瞭解棲地環境因子對 B-IBI 值影響，來決定最適當的棲息地狀況，以估算目前 B-IBI 值的棲息地狀況與最佳 B-IBI 值的棲息地狀況之間的比值，作為評價 B-IBI 值目前棲地適當性的程度，用 0(最不適宜)至 1(最適宜)之間來表達的評價價值，HSI 的概念以下式表示。

$$HSI = \frac{\text{研究區棲地狀態}}{\text{適當的棲地狀態}}, \text{ HSI 介於 } 0\sim 1.0 \text{ 間。}$$

其建立程序包括：

一、環境要因選定

因並無文獻明顯指出影響 B-IBI 值的環境因子，所以本文將盡量選取全部環境因子來建構 HSI 以避免疏漏。

二、適合度指數(SI)模式建立

經由各項棲地環境因子與 B-IBI 值之間的關係，進而建立適合度指數(Suitability Index, SI)與環境因子之關係的包絡線圖，此 SI 包絡線為 HSI 模式中最重要的一環，因所有數學計算及物理棲地的模擬均是建立於其上，前提假設各因子間各為獨立的，而 B-IBI 值的現況，除了受到該棲地品質狀況之外，也受到諸多其他因素的影響，如何繪製 SI 包絡線圖進而求得 SI 值將於 4-2-1 節中舉例詳述；SI 的概念可用下式表示，這個值一樣介於 0.0(最不適宜)到 1.0(最適宜)之間。

$$SI = \frac{\text{研究棲地之主要環境因子狀態}}{\text{最佳棲地之主要環境因子狀態}}, \text{SI 介於 } 0 \sim 1.0 \text{ 間。}$$

三、SI 與 HSI 之關係建立

各測站各項環境因子與 B-IBI 值建立包絡線圖所求得的 SI 值，採用環境因子是互相影響，以幾何平均數為概念，選取各環境因子之 SI 值相乘而得 HSI，以此求得 SI 與 HSI 的關係式，其詳述過程將於 4-2-2 節舉例說明，最後以 HSI 與 B-IBI 值之皮爾森相關係數(r)的高低，評估此 HSI 模式是否良好。

四、HSI 模式修正

將所建立之 HSI 模式利用棲地實際狀況(研究區現地資料)試行演算，若不合理時，則須再回頭重新建立模式。亦即將各測站的 HSI 與 B-IBI 值進行相關性探討，如皮爾森相關係數(r)接近 1 時，代表所建立的模式相當好，可充分反映 B-IBI 預測值與實測值有線性正相關，反之，如果皮爾森相關係數(r)接近 0 時，則需進行模式的檢討修正，重新選取環境要因之 SI 值，建構新的 HSI 模式，直到求得 HSI 與 B-IBI 值皮爾森相關係數(r)最接近 1 的良好模式。

5-2 模式建立

5-2-1 適合度指數(SI)模式建立

因本文的研究區域較廣，芳苑海岸、高美溼地及安平漁港間棲地條件有所差異，所以將其分為 6 區分別建立 HSI 模式，如下所示：

- 一、芳苑近岸區(王功海堤、永興海堤近岸、芳苑海堤近岸、新街海堤，共 17 個測站)
- 二、芳苑中岸區(永興海埔地海堤中岸、芳苑市區海堤中岸，共 8 個測站)
- 三、芳苑遠岸區(永興海埔地海堤遠岸、芳苑市區海堤遠岸，共 8 個測站)
- 四、芳苑紅樹林區(芳苑紅樹林區共 8 個測站)
- 五、高美溼地區(高美溼地共 6 個測站)
- 六、安平漁港區(安平漁港共 12 個測站)

高美溼地及安平漁港因測點間距較少，所以各自成為一區，而芳苑海岸橫跨四個海堤，因此根據其離岸的遠近分為芳苑近岸區、芳苑中岸區和芳苑遠岸區，再加上生態較特別的芳苑紅樹林區，芳苑海堤一共分為 4 區；在區域內各測站資料的選取，則是利用吉安勇介(2001)所提到之觀念，使用 B-IBI 最大值來建構 HSI，因此選取各測點於各季中最大的 B-IBI 值，以該季的環境因子及 B-IBI 值做為該測點的代表。

在選取與 B-IBI 相關環境因子方面，則盡量使用全部有調查到的因子，唯水溫與氣溫因各地差異性過小而排除在外，其餘因子皆被用於建構 B-IBI；芳苑海岸及高美溼地所使用的環境因子包括鹽度、溶氧(Do)、酸鹼度(pH)、氨氮(NH₄)、生化需氧量(BOD₅)、大腸桿菌、總磷(TP)、底質 pH、總有機碳(TOC)、耗氧量、中值粒徑(D₅₀)及含泥量等 12 項；而安平漁港因為調查方式的不同而是使用了鹽度、溶氧(Do)、酸鹼度(pH)、氨氮(NH₄)、生化需氧量(BOD₅)、化學需氧量

(COD)、總磷(TP)、硝酸鹽(NO₃)、亞硝酸鹽(NO₂)、總有機碳(TOC)及中值粒徑(D₅₀)等 11 項。

以下便舉一個如何建構 SI 模式的例子：以芳苑遠岸的酸鹼度(pH)為例，如圖 5.1、表 5.1 所示，以該區各測站的 pH 值為 X 值，B-IBI 值無因次化為 Y 值，點繪成相關散佈圖(圖 5.1)，B-IBI 無因次化是指將這此 B-IBI 代表值中最大的值設定為 1(實際 B-IBI 值為 5)，也就是將 B-IBI 代表值除以之中最大的值，化為 0 到 1 之間；因受到其他環境因子影響之故，同樣的 pH 值在不同測點會出現不同的 B-IBI 值，於是在圖 5.1 中劃出包絡線，代表如只單看 pH 值的影響，所得到的 B-IBI 極限值，每一測站依其 pH 值而求得包絡線之極限值，也就是該測站 pH 值的 SI 值(SI-pH)；其他環境因子也照這個做法而得到各自的 SI，再建立 SI 與 HSI 關係式，結合各環境要因之評價指標 SI 值來建立 HSI。

表 5.1 芳苑遠岸區酸鹼度 SI

區間分割法 A-芳苑遠岸區		pH	B-IBI 值	B-IBI 值無因次化	SI-pH
芳苑海堤	F-ST1(F)	7.65	4.33	0.87	0.87
芳苑海堤	F-ST2(F)	7.97	4.33	0.87	0.98
芳苑海堤	F-ST3(F)	7.77	4.67	0.93	0.94
芳苑海堤	F-ST4(F)	7.96	4	0.8	0.98
永興海堤	Y-ST1(F)	7.87	5	1	1
永興海堤	Y-ST2(F)	8.14	4.67	0.93	0.93
永興海堤	Y-ST3(F)	7.93	3.67	0.73	0.99
永興海堤	Y-ST4(F)	8.02	4.33	0.87	0.96

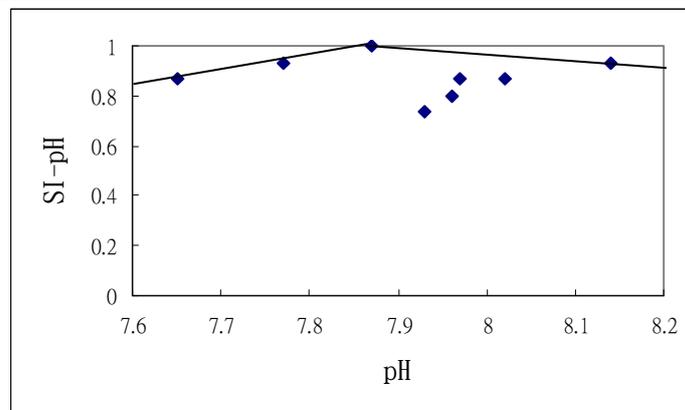


圖 5.1 芳苑遠岸區酸鹼度 SI 指數包絡線圖

5-2-2 棲地適合度(HSI)模式建立

棲地適合度(HSI)是依 B-IBI 值影響因子之適合度的總合來判斷，為了對不同棲地有同樣的標準來比較，HSI 值應該定義在 0~1 之間，即各 SI 之合成必須滿足 $HSI \leq 1$ ；本文將於研究區域 6 區建立各區之 HSI，並計算 HSI 與 B-IBI 值之皮爾森相關係數(r)，也就是 B-IBI 預測值(HSI)與 B-IBI 實際值之線性關係。

本文 SI 與 HSI 之合成是採用環境因子是互相影響，以幾何平均數為概念，在 11 個因子的 SI 中，選取 3 到 5 個相乘而得 HSI，在這些組合中取與 B-IBI 值皮爾森相關係數(r)最接近 1 的一組來代表該區的 HSI 模式，因此每區都有各自的 HSI 模式；而選取 3 到 5 個因子的原因，其一為 B-IBI 值不可能由過少的因子控置，因此選取 3 個為下限，其二為取選因子越多，在工程上越難掌置，因此以 5 個為上限。

以下舉一個由 SI 建構 HSI 模式的例子，表 5.2 為芳苑遠岸區各測站之環境因子代表值與其 B-IBI 值(以該測點 B-IBI 最大值出現那一季為代表)，以此來建立 SI 而得到表 5.3，選取 3 到 5 個 SI 相乘而得到 HSI，選其中 HSI 與 B-IBI 值皮爾森相關係數(r)最大的一組，其式為

$$HSI = SI\text{-鹽度} \times SI\text{-Do} \times SI\text{-耗氧量}$$

結果如圖 5.2 所示，其皮爾森相關係數(r)為 0.946。

再以上述流程，計算出各區的 HSI 與 B-IBI 值最大的皮爾森相關係數(r)，如表 5.4 所示，最後以雙尾檢定各區之皮爾森相關係數(r)，可發現在顯著水準 0.01 下，各區皆為顯著相關，代表有很強的線性關係，可充分佐證 B-IBI 預測值(HSI)與 B-IBI 實際值之線性相關性，而各區 HSI 的組成如表 5.5 所示。

表 5.2 芳苑遠岸區環境因子條件

	測站	鹽度	Do	pH	NH ₄	BOD ₅	TP	pH	TOC	耗氧量	D ₅₀	含泥量	B-IBI 值
芳苑海堤	F-ST1(F)	5.21	6.87	7.65	3.99	3.10	0.97	7.20	0.86	0.70	0.14	27.00	4.33
芳苑海堤	F-ST2(F)	2.59	5.66	7.97	5.68	2.00	0.19	8.00	0.49	0.88	0.07	67.80	4.33
芳苑海堤	F-ST3(F)	24.19	7.43	7.77	0.20	0.60	0.09	8.10	0.96	0.72	0.16	5.40	4.67
芳苑海堤	F-ST4(F)	24.98	7.33	7.96	0.62	0.40	0.13	8.20	0.86	0.42	0.18	2.60	4.00
永興海堤	Y-ST1(F)	23.14	5.43	7.87	0.00	0.30	0.04	8.30	0.66	1.75	0.22	0.00	5.00
永興海堤	Y-ST2(F)	24.18	6.91	8.14	0.61	0.60	0.31	8.10	0.52	0.44	0.21	0.20	4.67
永興海堤	Y-ST3(F)	22.11	4.05	7.93	0.02	0.60	0.09	7.70	0.68	0.77	0.21	2.20	3.67
永興海堤	Y-ST4(F)	25.08	7.92	8.02	0.47	0.80	0.12	7.60	0.62	0.62	0.21	1.00	4.33

表 5.3 芳苑遠岸區環境因子 SI 值

測站	si 鹽度	siDo	si pH	siNH ₄	siBOD ₅	siTP	si pH	siTOC	si 耗氧量	siD ₅₀	si 含泥量	無四次 B-IBI
F-ST1(F)	0.88	1.00	0.87	0.91	0.87	0.87	0.87	0.96	0.95	0.93	0.95	0.87
F-ST2(F)	0.87	1.00	0.98	0.87	0.92	0.98	0.96	0.92	0.96	0.87	0.87	0.87
F-ST3(F)	0.93	1.00	0.94	1.00	0.99	0.99	0.98	0.93	0.95	0.94	0.99	0.93
F-ST4(F)	0.88	1.00	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	0.96	0.93	0.97	1.00	0.80
Y-ST1(F)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y-ST2(F)	0.93	1.00	0.93	0.99	0.99	0.96	0.98	0.93	0.93	0.99	1.00	0.93
Y-ST3(F)	0.99	0.73	0.99	1.00	0.99	0.99	0.93	1.00	0.95	0.99	1.00	0.73
Y-ST4(F)	0.88	1.00	0.96	0.99	0.98	0.99	0.92	0.98	0.94	0.99	1.00	0.87

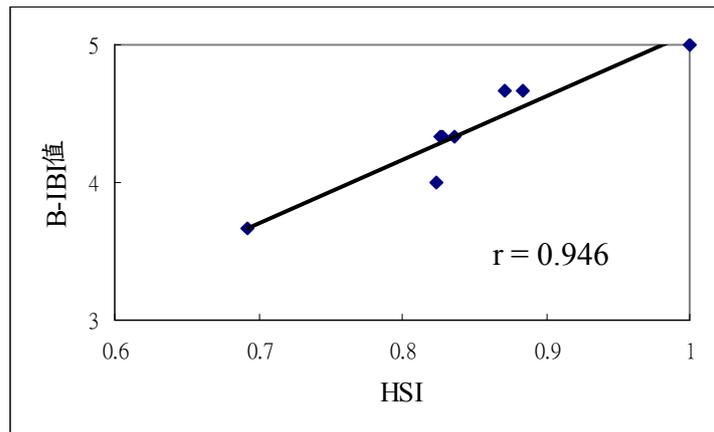


圖 5.2 HSI 與 B-IBI 值之相關性

表 5.4 各區之皮爾森相關係數(r)

	芳苑近岸	芳苑中岸	芳苑遠岸	芳苑紅樹林	高美溼地	安平漁港
相關係數(r)	0.760**	0.976**	0.946**	0.922**	0.995**	0.793**
測站數	17	8	8	8	6	12

**代表在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。

表 5.5 HSI 之組成

區域	HSI(各 SI 相乘)
芳苑近岸區	鹽度 × 總磷(TP) × 耗氧量
芳苑中岸區	溶氧(Do) × 總磷(TP) × 底質 pH × 中值粒徑(D ₅₀) × 含泥量
芳苑遠岸區	鹽度 × 溶氧(Do) × 耗氧量
芳苑紅樹林區	溶氧(Do) × 中值粒徑(D ₅₀) × 含泥量
高美溼地區	溶氧(Do) × 底質 pH × 總有機碳(TOC) × 含泥量
安平漁港區	酸鹼度(pH) × 硝酸鹽(NO ₃) × 總有機碳(TOC)



第六章 結論

利用對彰化芳苑海岸、高美溼地和台南安平漁港的現地調查資料，訂定研究區域之污染指標生物與修定底棲生物整合指標(B-IBI)的評分區間，最後以棲地評價模式(HEP)將 B-IBI 值建立棲地適宜性指數(HSI)，得到以下幾點結論：

- 一、由研究區域現地的資料，依區分出三個等級的水質，再觀查生物於各水質間出現之機率，進而求得各種生物能夠忍受污染的程度，將其分為低度污染指標(L)、中度污染指標(M)、高度污染指標(H)三類型；本研究區域共 82 種底棲生物中，L 占 10 種，M 占 48 種，H 占 34 種。
- 二、B-IBI 評分區間原為以國外 Chesapeake Bay 的資料所訂定，本文嘗試以水質符合乙類測站為標準測站(reference site)的作法，再配合研究區現地資料加以修訂，最後訂出多鹽沙及多鹽泥矩陣評分區間的參考值。
- 三、建構研究區域 6 區之 HSI 模式，計算其 B-IBI 預測值(HSI)與 B-IBI 實際值之皮爾森相關係數(r)，結果發現皆有很強的線性關係，代表可用 HSI 來監控 B-IBI 值。
- 四、本文主要目的是建立 B-IBI 值與棲地環境的定量關係；可於海岸開發前先以 B-IBI 評估棲地品質，建立 HSI 以瞭解 B-IBI 值與棲地環境的定量關係，並於開發結束後藉此定量關係，調控棲地環境使品質回復至開發前的水準，以達到棲地代償的目標。

參考文獻

1. 台灣貝類資料庫<http://shell.sinica.edu.tw/>
2. 楊德漸、孫瑞平(1986)「中國近海多毛環節動物」，農業出版社。
3. 李永祺、丁美麗(1991)「海洋污染生物學」，海洋出版社出版。
4. 李嘉亮(1994)「台灣的水產」，渡假出版社有限公司出版。
5. 施習德(1994)「招潮蟹」，國立海洋生物博物館籌備處出版。
6. 王嘉祥、劉烘昌(1996)「台灣海岸濕地的螃蟹」，高雄市野鳥學會出版。
7. 邵廣昭、賴景陽、陳天任(1996)「台灣常見魚介貝類圖說(上)(下)」，行政院農業委員會。
8. 黃榮富、游祥平 (1997)「台灣產梭子蟹類彩色圖鑑」，國立海洋生物博物館籌備處出版。
9. 賴景陽(1999)「貝類(一)」，渡假出版社。
10. 賴景陽(2004)「貝類(二)」，渡假出版社。
11. 巫文隆(2003-2004)「台灣貝類目錄(I)(II)(III)(IV)(V)(VI)」，行政院農業委員會。
12. 朱達仁、張睿昇、郭一羽、施君翰(2005)「安平海岸淺灘生態效果評估之研究」，中華建築學刊，1卷3期，第35-46頁。
13. 陳盈曲(2005)「海岸結構物附著生物 HEP 棲地模式研究」，私立中華大學土木工程研究所碩士論文。
14. 陳俊杰(2005)「港灣結構物週邊底棲生物群集特性與其棲地模式之建立 - 以安平港為例」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文。
15. 賴景陽(2005)「台灣貝類圖鑑」，貓頭鷹出版社。

16. 朱達仁、郭一羽、施君翰(2006)「消波塊附著生物的生態演化與生態評估—以新竹漁港為例」, 中華建築學刊, 2 卷 3 期, 第 33-44 頁。
17. 郭一羽、李麗雪(2006), 「海岸生態景觀環境營造」, 明文書局。
18. 朱達仁、郭一羽、李英周、施君翰(2007)「台灣海岸淺灘建構漁港的環境生態評估研究」, 港灣報導, 76 期, 第 1-11 頁。
19. 郭一羽、李麗雪、張睿昇、朱達仁(2007)「芳苑海岸潮間帶生態工法之研究」, 國立交通大學土木工程研究所, 研究報告。
20. 波部忠重、伊藤 潔(1965)「原色貝類世界貝類圖鑑(I)」, 東京都 : サイエニティスト社。
21. 波部忠重、小菅貞男(1966)「原色貝類世界貝類圖鑑(II)」, 東京都 : サイエニティスト社。
22. 新保裕美、田中昌宏、池谷毅、越川義功 (2000), 「アサリを対象とした生物息地適性評価モデル」, 海岸工程論文集第 47 卷, 第 1111-1115 頁。
23. 吉安勇介、橋中秀典、井上雅夫、島田広昭、端谷研治 (2001), 「HEP による人工磯の付着動物に関する生息適性評価」, 海岸工程論文集, 第 48 卷, 第 1316-1320 頁。
24. 橋中秀典、井上雅夫、島田広昭、田中賢治、西澤博志 (2003), 「豊かな付着動物相の形成を目指した人工磯の適地選定手法」, 海岸工程論文集, 第 50 卷, 第 1216-1220 頁。
25. Alden, R.W. III, D.M. Dauer, J.A. Ranasinghe, L.C. Scott, and R.J. Llansó(2002) “Statistical verification of the Chesapeake Bay Benthic Index of Biotic Integrity”, *Environmetrics*, 13:473- 498.
26. Christman, C.S. and D. M. Dauer(2003) “An Approach for Identifying the Causes of Benthic Degradation in Chesapeake Bay”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 81:187-197, 2003.

27. Dauer, D. M. (1993) "Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure," *Marine Pollution Bulletin*, 26:249-257.
28. Karr, J. R. (1981) "Assessment of biotic integrity using fish communities," *Fisheries* 6 (6): 21-27.
29. Llanso, R. J., L. C. Scott, and F. S. Kelley (2002), *Chesapeake Bay Water Quality Monitoring Program, July 1984 – December 2001 (Volume 1)*, Technical report prepared by Versar, Inc. for the Maryland Department of Natural Resources, Annapolis, MD, 101 pp.
30. Pearson, T. H. and R. Rosenberg (1978) "Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment," *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 16:229-311.
31. Tapp, J. F., N. Shillabeer, and C. M. Ashman (1993) "Continued observation of the benthic fauna of the industrialized Teesestuary," *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172:67-80.
32. U.S Fish and Wildlife Service (1980) *Habitat evaluation procedures (HEP)*, Washington, D.C: Division of Ecological Service ESM 101-103
33. Weisberg, S. B., J. A. Ranasinghe, D. M. , L. C. Schaffner, R. J. Diaz, and J. B. Frithsen.(1997)"An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay", *Estuaries Research Federation*, 20:149-158.
34. Willson, J. G. and D. W. Jeffrey (1994) "Benthic biological pollution indices in estuaries," p. 311-327, In J. M. Kramer(ed), *Biomonitoring of Coastal Watters and Estuaries*, CRC press, Boca Raton, Florida.