

大肚溪口潮間帶地區大型底棲動物群聚現象與 相關重金屬含量分析

劉靜榆

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

摘 要

大肚溪口位於台灣中西部，是台灣目前所設立之海岸保護區中面積最大的。為瞭解底棲動物群聚現象及其與土壤重金屬含量之關係，本研究選定 9 個固定採樣站(station)，每隔三個月於各採樣站設置一個樣區，採集樣區內的底棲動物，調查工作自 2000 年 1 月至 12 月，共四季，取得 36 個樣區資料，並分別檢測樣區內水體之鹽度、pH 值、溶氧飽和度及土壤中鎘、鎳、鉛、鋅、鉻、銅、砷、汞等 8 項重金屬含量，以探討底棲動物群聚與環境因子之關係。結果顯示，不同樣區間之區別明顯，而季節的差異則不甚明顯，水質及土壤重金屬含量皆會影響底棲動物群聚。由所設置的 9 個採樣站採取的生物體樣本，進行 8 項重金屬含量的檢驗，分析顯示鎘、鋅、鉛、鎳、鉻、砷在貝類中之含量高於蟹類，再對應分析土壤的 8 項重金屬全量檢驗值，各樣區的底棲動物體內重金屬之含量雖然有差異，但不若土壤重金屬含量在各樣區的差異大，反而物種的差異大些。

關鍵詞：大型底棲無脊椎動物、群聚結構、重金屬、大肚溪口、潮間帶

收件日期：2001 年 5 月 23 日

接受日期：2002 年 1 月 21 日

緒 言

大肚溪出海口位於台灣中部，由於台灣西岸北部受風主要來自北至北北東向，沿岸流往南；西岸南部所受風力則來自西南至西南西方向，沿岸流流向北，沿岸的漂沙經沿岸流運送堆積，形成中部的堆積型海岸，加上大肚溪輸入豐富的泥沙，年輸沙量推估為 3,352–9,454 MT/km² (郭 1990)，而形成今日之海岸，其高潮線與低潮線間在大肚溪口相距約 5 km，往南漸縮，在漢寶處減為 2 km (吳等 1997)，其沖積物之來源是砂頁岩風化物。

大肚溪口野生動物保護區是台灣目前所

設立之海岸保護區中面積最大的，面積約 2,670 ha (彰化縣政府、台中縣政府 1994)，區內有廣闊的潮間帶、亞潮帶、河口域、養殖區及保安林。由於棲地類型的差異，也孕育了豐富且多樣的生物資源，尤其是螃蟹的種類及數量龐大。有關大肚溪口之調查研究近年已有相當多的單位或學者已著手進行，針對保護區經營管理之規劃報告有大肚溪口鳥類保護區之研究 (陳 1987)、彰化縣伸港鄉海埔地鳥類保護區規劃報告 (顏 1988)、大肚溪水鳥保育區整體發展構想研究 (李 1991)、大肚溪水鳥保護區經營管理計畫 (彰化縣政府 1996) 等。陳 (1987, 1994)、吳及顏 (1990)、陳及呂 (1997) 等亦分別在大肚溪口地區進行

相關研究，但主要仍以鳥類為主要研究對象，針對底棲動物的研究報告較少，僅有物種描述(陳 1997；劉 1998)。國內針對底棲動物的群聚現象進行探討的研究報告主要仍以定性的描述為主(王 1979；劉及林 1995；謝 1997；劉等 1998；邵 2000)，而重金屬之分析則多針對經濟物種如牡蠣或魚類(莊等 1994；謝 1998；劉 1999；黃 2001)。

本研究主要探究各個不同採樣站之底棲動物群聚(community)現象是否有差異，針對大型底棲動物，分季節取樣調查，利用定量分析方式，研析樣區間之差異及季節變化情形，以瞭解大肚溪口地區動物群聚現象。此外，由於研究之初已先針對大肚溪口野生動物保護區內某些容易測定的環境因子進行定期檢測(劉等 1998)，經以樣區環境資料分析結果，發現匯入之來源水的水質影響頗大(劉

等 1999b)，因此亦以環境監測計畫之採樣站的水質及土壤重金屬等資料，分析大型底棲動物群聚與環境中某些因子之關係，探求其與環境變化之關係，並據以推測其原因。

材料與方法

本研究以大肚溪口沿岸之潮間帶及其南岸垃圾掩埋場預定地之範圍為研究區，調查工作自2000年1月至12月，首先進行研究區勘查，並進行前期檢測及標本採集鑑定作業，以掌握整個研究區的環境概況，並作為固定採樣站選擇之依據(劉等 1999b)。由於大肚溪口地區多為寬廣的泥灘地，本研究共選定9個採樣站(station)，每個採樣站以衛星定位儀定位，並以座標值標定於衛星相片圖中，9個採樣站的代號以英文字母A-I標示於圖1。

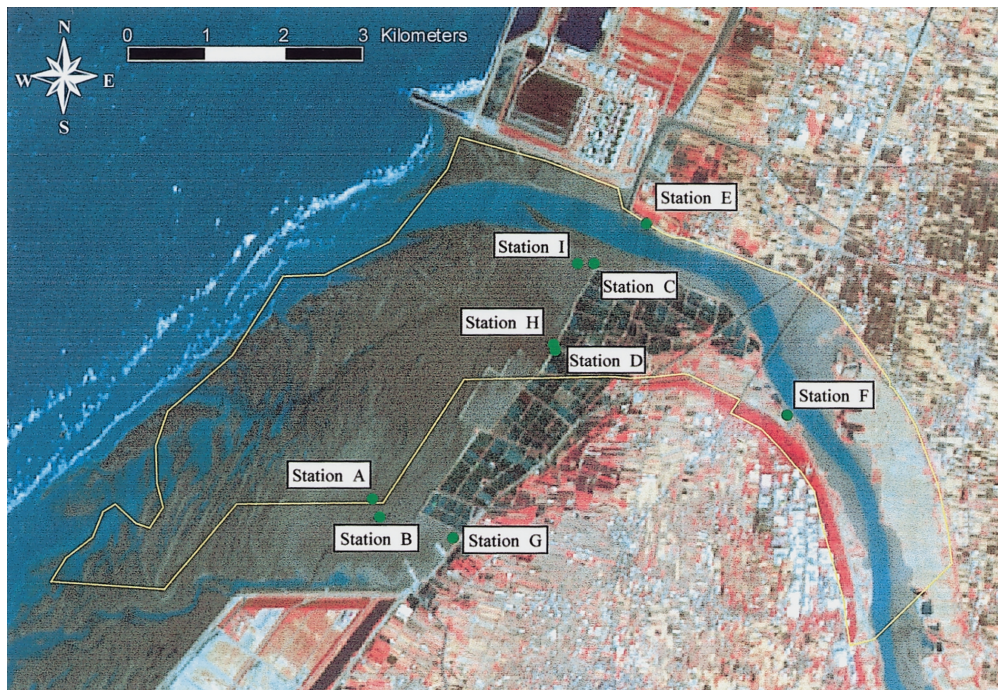


圖1. 大肚溪口地區採樣站位置圖。【註：黃線代表大肚溪口野生動物保護區之範圍】

Fig. 1. Sampling stations in the tidal zone of Tatu Estuary.

一、樣區調查、水質及重金屬檢驗

- (一) 底棲動物調查：每季前往所選定的9個採樣站內各設置一個樣區(plot)，每個樣區由4個50 cm x 50 cm分散於一均質(homogeneous)棲地之小區(subplot)組成，即每樣區面積合計1 m²，深25 cm。每季採集一次樣區內的底棲動物，係將樣區內的底土挖出，以1 m/m之篩網篩選土中大型的底棲動物，記錄各小區蟹類、螺貝類等之種類，並分別稱其重量，再將四個小區資料合併為一樣區資料。
- (二) 每季水體檢驗：利用環境監測計畫所設置A-F及H等7個採樣站的pH值、鹽度(salinity)、溶氧飽和度(dissolved oxygen saturation, DO%)等3項水質資料，探討底棲動物群聚與其間之關係。
- (三) 土壤樣本重金屬含量檢驗分析：利用環境監測計畫所設置A-F及H等7個採樣站的土壤樣本，以王水消化分解後，檢驗鎘、鎳、鉛、鋅、鉻、銅、砷、汞等8項重金屬之全量值，分析方法為NIEA S321.60T。本項分析是為探討底棲動物與土壤重金屬含量之關係。
- (四) 底棲動物重金屬含量檢驗分析：在採樣站A-F及H內採取最優勢種的生物體樣本9個，每樣本取螃蟹或貝類數隻，洗淨後低溫烘乾，以乾重為計算基準，進行鎘、鎳、鉛、鋅、鉻、銅、砷、汞等8項重金屬含量的檢驗分析。鎘、鎳、鉛、鋅、鉻、銅、砷之分析方法為NIEA C303.02T，汞之分析方法為NIEA S340.60T。本項分析是為探討底棲動物體內重金屬與土壤重金屬含量之關係。

二、原始資料統計

各樣區之底棲動物介量以重要值指數

(important value index, 簡稱IVI)表示。用原始資料計算各樣區中每種動物之密度(隻數)、頻度(小區數目)及優勢度(重量之和)，化為相對值(百分率)後，以三項之總和作為IVI(劉及蘇1983)，此值最高者為300%，經換算為以100%為基礎之值。本部分由9個採樣站分四個季節取樣，共得36個樣區資料，由所得資料可研析樣區間之差異及變化情形。

三、資料分析

本研究利用定量資料，透過多變數分析方式，來研析樣區間之差異及種的相關性，底棲動物群聚分析採用分布序列(ordination)及群團分析(cluster analysis)。生物群聚與環境關係之研判是利用對應分析(correspondence analysis)。運算係以MVSP(Multi-Variate Statistical Package)程式來進行(Kovach 1999)。

- (一) 底棲動物群聚分析：採降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA)(Hill and Gauch 1980)。其基本運算過程即採用加權平均法(weight average, WA)反覆運算，然在計算過程中利用重新刻劃(rescaling)及降趨(detrending)之步驟，改良軸端壓縮(end compression)及拱形效應(arch effect)，使分析結果更為理想(Hill 1979; Hill and Gauch 1980)。再以群團分析法中之階層式群團法(hierarchical clustering)，先算出任何兩樣區間的相似性(similarity)，然後依相似性之高低將樣區依序先後合併。本研究將重要值指數經自然對數(log_e)轉換(transformation)之資料，利用皮爾森相似性係數(Pearson coefficient)分別計算相似性指數，並依平均聯結法(average linkage)中的加權配對法(weighted pair-group method, WPGMA)，每次將相似性最高的兩樣區

或合成樣區合併成新樣區，再續行下一回合聯結，直到全部樣區完成聯結為止，來導出樹狀圖(dendrogram)，運算亦以MVSP程式進行。

- (二) 底棲動物群聚與環境關係之研判：利用典型對應分析(canonical correspondence analysis, CCA)(ter Braak 1986, 1987)來研判生物群聚與環境之關係。其基本運算過程亦採Hill(1973)交互平均法(reciprocal averaging, RA)，經降趨計算樣區及種的分數。本研究利用環境監測計畫所設置A-F及H等7個採樣站的資料，分析28個樣區中20種底棲動物的IVI及3項環境因子檢測數據，計算環境因子的權重及變異數膨脹係數(variance inflation factor)，並繪出樣區或底棲動物種類對應於其環境因子之相關性。
- (三) 底棲動物群聚與土壤重金屬含量之相關性：採用典型對應分析來研判，利用A-F及H採樣站的28個樣區中20種底棲動物的IVI及8項土壤重金屬含量檢驗數據，計算樣區或底棲動物種類對應於其土壤重金屬含量之相關性。
- (四) 底棲動物體內重金屬含量檢驗結果分析：利用群團分析及主成分分析(principal components analysis, PCA)(Jolliffe 1986)進行底棲動物體內重金屬含量之相關性分析，而底棲動物體內重金屬含量對應於其土壤重金屬含量之相關性，亦採用典型對應分析來研判。

結 果

一、樣區內各物種IVI值之敘述統計

由36個樣區之原始資料計算各樣區中每種動物之密度、頻度及優勢度，化為相對值後，以三項之總和，換算為以100%為基礎之值作為IVI。計算每一物種出現之樣區數、

IVI平均值及最大值等，由樣區內各種動物之IVI值的敘述統計表(表1)可看出，以白扇招潮蟹最為優勢，其出現樣區達29個，最大值為100，表示至少有一樣區中所採得的物種全部都是白扇招潮蟹，其次是短指和尚蟹、伍氏厚蟹、環文蛤及鹿港美食螻蛄蝦，這4種出現的頻率及IVI值亦頗高。而台灣招潮蟹、弧邊招潮蟹、萬歲大眼蟹及公代雖出現率不高，但單一樣區的最大值及IVI總和值較高，顯示這些底棲動物有群聚的現象，即有些物種僅大量出現在少數的樣區中。此外，值得一提的是，由於本研究取樣方式是以人工挖底土，因此採樣站主要設在低潮線以上的地區，所以在大肚溪口地區低潮線以下極為常見的豆形拳蟹及梭子蟹類等，並未在本研究所設置之樣區內出現。

二、物種歧異度分析

為瞭解各樣區的物種歧異度，本研究以夏農歧異度指數(Shannon's diversity index, H)計算各樣區之歧異度，並計算均勻度指數(evenness index, e)。其計算方式如下：

$$H = - \sum [(n_i / N) \cdot \log_e (n_i / N)]$$

n_i = 該樣區內各物種之值

N = 該樣區內所有物種之值的和

$e = H / \log_e S$, S = 該樣區之全部種數

由表2可看出每樣區各有1-8種不等的底棲動物種類，各樣區歧異度指數最高者為B採樣站的第三季，為1.8；均勻度指數最高者為B採樣站的第二季，為0.977、最低者為D採樣站的第三季，僅有白扇招潮蟹1種，該採樣站各季樣區之歧異度指數及均勻度指數皆偏低。

三、底棲動物群聚分析

由於生態調查資料中，有些種並不會在每一個樣區中出現，因此資料中會有許多0的數據，這類資料若採用主成分分析(PCA)，將

表1. 樣區內各物種名稱及 IVI 值之敘述統計表

Table 1. Statistics of important value indices of the species collected from 36 plots in the tidal zone of Tatu Estuary in 2000

Species name	中名	Number of plots	Mean of IVI	Maximum value	Total	Standard deviation	Kurtosis	Skewness
<i>Uca lactea</i>	白扇招潮蟹	29	47.04	100	1693.45	35.87	-1.32	0.21
<i>Uca arcuata</i>	弧邊招潮蟹	4	8.37	84.12	301.26	24.08	5.19	2.61
<i>Uca borealis</i>	北方呼喚招潮蟹	4	1.68	19.83	60.31	4.94	7.05	2.85
<i>Uca formosensis</i>	台灣招潮蟹	4	6.53	80.53	234.98	19.38	7.68	2.92
<i>Helice formosensis</i>	台灣厚蟹	1	0.3	10.76	10.76	1.79	36	6
<i>Helice wuana</i>	伍氏厚蟹	21	14.78	49.28	532.24	15.01	-1.13	0.44
<i>Metaplex elegans</i>	秀麗長方蟹	3	1.15	19.16	41.38	4.04	12.99	3.63
<i>Scopimera bitympana</i>	雙扇股窗蟹	6	3.36	32.52	120.82	8.5	5.61	2.57
<i>Scopimera longidactyla</i>	長趾股窗蟹	7	3.43	33.87	123.4	8.14	6.35	2.6
<i>Mictyris brevidactylus</i>	短指和尚蟹	11	16.39	87.52	589.88	29.52	0.81	1.55
<i>Xenophthalmus pinnotheroides</i>	豆形短眼蟹	1	0.62	22.42	22.42	3.74	36	6
<i>Ilyoplax tansuiensis</i>	淡水泥蟹	4	2.86	44.18	103.03	9.18	12.77	3.53
<i>Macrophthalmus banzai</i>	萬歲大眼蟹	3	3.92	88.53	140.97	16.27	22.73	4.68
<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>	短身大眼蟹	3	1.72	25.61	62.09	5.9	10.21	3.34
<i>Parasesarma bidens</i>	雙齒近相手蟹	1	0.32	11.41	11.41	1.9	36	6
<i>Parasesarma plicatum</i>	摺痕擬相手蟹	1	0.34	12.14	12.14	2.02	36	6
<i>Alpheus lobidens lobidens</i>	槍蝦	2	0.61	11.17	21.87	2.54	15.3	4.05
<i>Upogebia edulis</i>	鹿港美食螻蛄蝦	10	7.09	72.3	255.17	15.48	8.97	2.85
<i>Cyclina sinensis</i>	環文蛤	10	10.11	72.86	364.13	19.44	2.78	1.92
<i>Laternula marilina</i>	公代	5	7.24	76.18	260.54	20.09	5.76	2.67
<i>Hiatula diphos</i>	西施舌	1	0.26	9.32	9.32	1.55	36	6

會造成分布序列上的扭曲變形(distortion)(蘇 1987)，因此底棲動物群聚分析採降趨對應分析。由於取樣的侷限及物種豐富度的時空變動，一般的生物群聚分析大多以簡化值來代表其數量之變化，且可在多變數分析中得到理想的結果。此種轉為簡化值的方式較偏向定性之分析，因優勢度的範圍變小，數量較少之物種亦給予較高的評估值。但若群聚現象相當均質時，樣區內族群的變化可能不大，在這種情況下，把豐富度的範圍壓縮得更小，則可能喪失其重要的信息，致使相似性提高而不易進行分類。本研究樣區間之差

異大，適宜以簡化值來進行分析。

(一) 降趨對應分析

群聚分析的運算若以樣區內所有組成的種來區分，或根據主要優勢種來作劃分，其結果並不盡相同。Gauch(1982)認為透過各種數據轉換所得到的分析結果，其變異範圍比透過採用不同多變數分析所獲得的結果更大，有些不能藉改變或改進多變數分析來解決的問題，採用適當的數據編輯(editing)，可能迎刃而解，而豐富度值(abundance values)的轉換亦是數據編輯的一種選擇(Noy-Meir 1973; Maarel 1979; Clymo 1980)。本研究將原

表2. 物種歧異度與均勻度指數表(樣區：前碼的編號為季節(1-4)，後碼的大寫字母為採樣站)

Table 2. Shannon's diversity indices and evenness indices of the macro-invertebrate communities sampled at the 36 plots in the tidal zone of Tatu Estuary in 2000 (for plot codes: numbers 1-4, four seasons; capitalized letters, sampling stations)

Plot code	Diversity index (H)	Evenness index (<i>e</i>)	Number of species	Plot code	Diversity index (H)	Evenness index (<i>e</i>)	Number of species
1A	1.263	0.911	4	3A	1.206	0.870	4
1B	1.382	0.858	5	3B	1.834	0.882	8
1C	1.186	0.856	4	3C	1.052	0.958	3
1D	0.308	0.445	2	3D	0.000	0.000	1
1E	0.966	0.879	3	3E	0.784	0.713	3
1F	1.562	0.872	6	3F	1.128	0.814	4
1G	0.608	0.877	2	3G	0.988	0.899	3
1H	0.287	0.414	2	3H	0.507	0.732	2
1 I	1.160	0.837	4	3 I	1.142	0.824	4
2A	1.748	0.898	7	4A	1.607	0.897	6
2B	1.572	0.977	5	4B	1.291	0.802	5
2C	0.726	0.661	3	4C	1.299	0.937	4
2D	0.579	0.527	3	4D	0.308	0.445	2
2E	1.512	0.939	5	4E	1.130	0.815	4
2F	1.054	0.960	3	4F	1.300	0.807	5
2G	0.939	0.855	3	4G	1.036	0.943	3
2H	0.287	0.414	2	4H	0.585	0.844	2
2 I	0.560	0.808	2	4 I	0.980	0.892	3

始資料矩陣作不同之數據轉換及編輯，並根據不同轉換數據所得之分析結果來作研判。由於樣區的資料為各物種的IVI值，數值的差異為0-100，若以未經轉換的數據進行分析，結果將被主要優勢種所控制，經採用自然對數轉換之值，可得近似常態分布之資料，且所得之分析結果，會根據所有組成的種來排序。

本研究的物種在樣區間的差異性高，有些物種只出現在幾個樣區中，甚至只出現一次，分析時利用降低稀有種權重(rare species downweighted)的方法，使出現頻率較高的種

有較高的權重，本研究採用Hill運算法(algorithm)在分析之前將稀有種(出現率低於1/5)的權重降低。由36個樣區之資料組成原始矩陣，經降趨對應分析後，變異軸代表主要的底棲動物群聚變異方向，前兩軸之變異程度達41.6%，各軸之固有值(eigenvalue)依次遞減，第1軸之固有值0.49，第2軸為0.361。由DCA所計算的樣區分數(score)繪出第1軸與第2軸的樣區分布序列圖(圖2)，由圖可看出同一樣區之四個不同季節的樣區在分布序列圖上聚集，顯示季節變化的差異並不若樣區間的差異明顯。圖3表示各樣區中所採得的底棲動

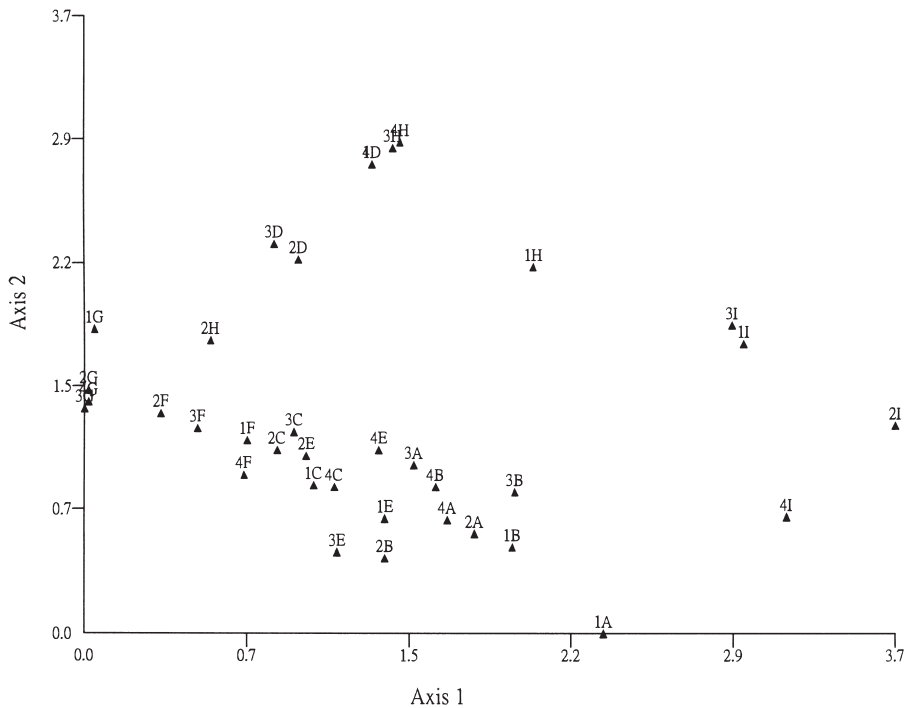


圖2. 36個樣區在DCA第1軸及第2軸之分布序列圖(三角形代表樣區，前碼的編號為季節(1-4)，後碼的大寫字母為採樣站)。

Fig. 2. Ordination of 36 plots corresponding to the species composition of macro-invertebrates along the first DCA axes (solid triangles, plots; numbers 1-4 above solid triangles, four seasons; capitalized letters A-I, sampling stations).

物種類在第1軸與第2軸的分布序列圖。圖4表示各樣區及底棲動物種類第1軸與第2軸的樣區分布序列圖，採樣站G的樣區主要因台灣招潮蟹而聚集，採樣站F的樣區主要因弧邊招潮蟹、伍氏厚蟹而聚集，採樣站I的樣區則因短指和尚蟹、雙扇股窗蟹而聚集，採樣站D、H的樣區則因白扇招潮蟹及長趾股窗蟹而聚集，採樣站C、E的樣區主要因淡水泥蟹及秀麗長方蟹而聚集，採樣站A、B的樣區則因北方呼喚招潮蟹、鹿港美食螻蛄蝦、環文蛤、公代而聚集。

(二) 群團分析

由於生物群聚有連續變異之特性，使

DCA的結果雖然將相似性高的樣區及物種呈聚集的現象，但並無法很明確的劃分群聚類型，也就是決定分界線的客觀性。因此再以群團分析法中之階層式群團法將其分群，導出本研究樣區之樹狀圖如圖5。樹狀圖僅顯示樣區在不同相似性指數之聯結，即相似性之層級系統關係，故需主觀設下分類之相似性臨界值，才能將樣區分群。

本項分析可看出不同樣區間有較明顯之區別，而季節間的差異則不甚明顯。若將臨界值設於0，則可將樣區分為2大群，第1群為A、B、I三個採樣站的樣區，其他採樣站的樣區為第2群。若將臨界值設於0.2，則可將第2

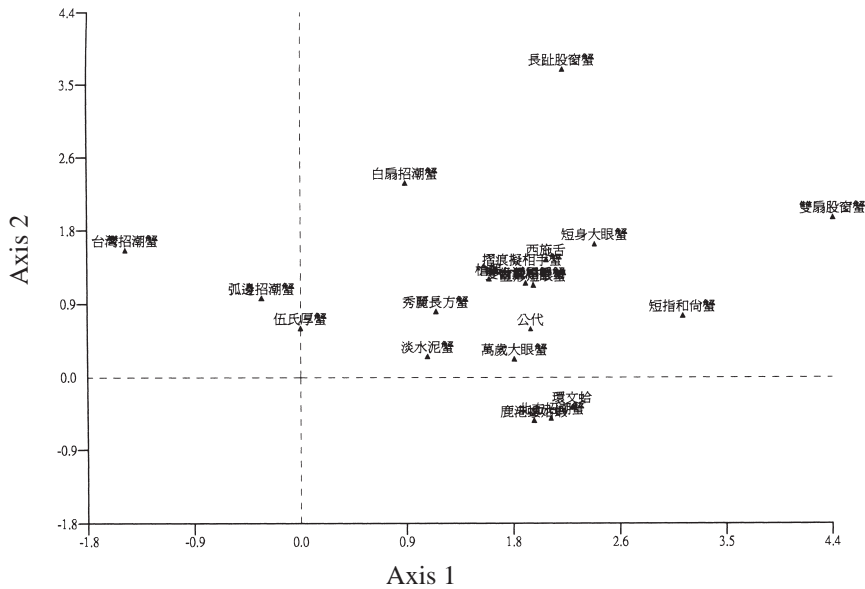


圖3. 物種在DCA第1軸及第2軸之分布序列圖。

Fig. 3. Ordination of 21 species of macro-invertebrates corresponding to the abundance values along the first two DCA axes (solid triangles, species).

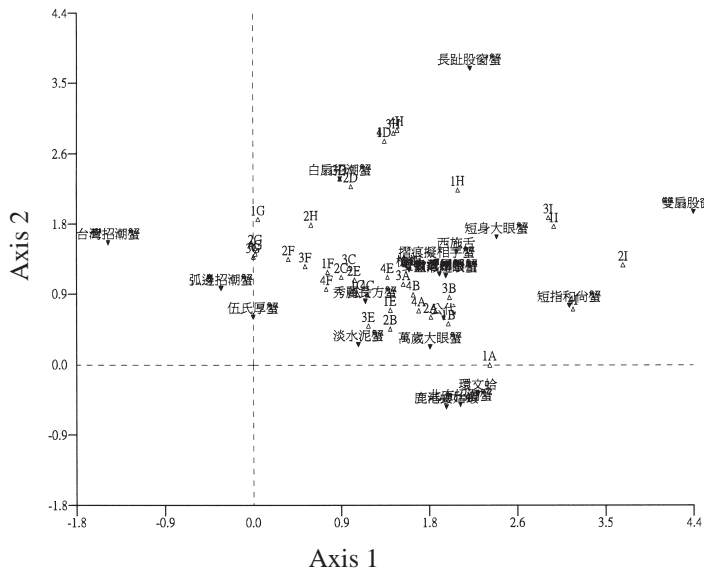


圖4. 樣區及物種在DCA第1軸及第2軸之分布序列圖(實心倒三角形代表種；空心三角形代表樣區，前碼的編號為季節(1-4)，後碼的大寫字母為採樣站)。

Fig. 4. Ordination of 36 plots and 21 species corresponding to the abundance values along the two DCA axes (upside-down solid triangle, species; open triangles, plots; numbers 1-4 above triangles, four seasons; capitalized letters, sampling stations).

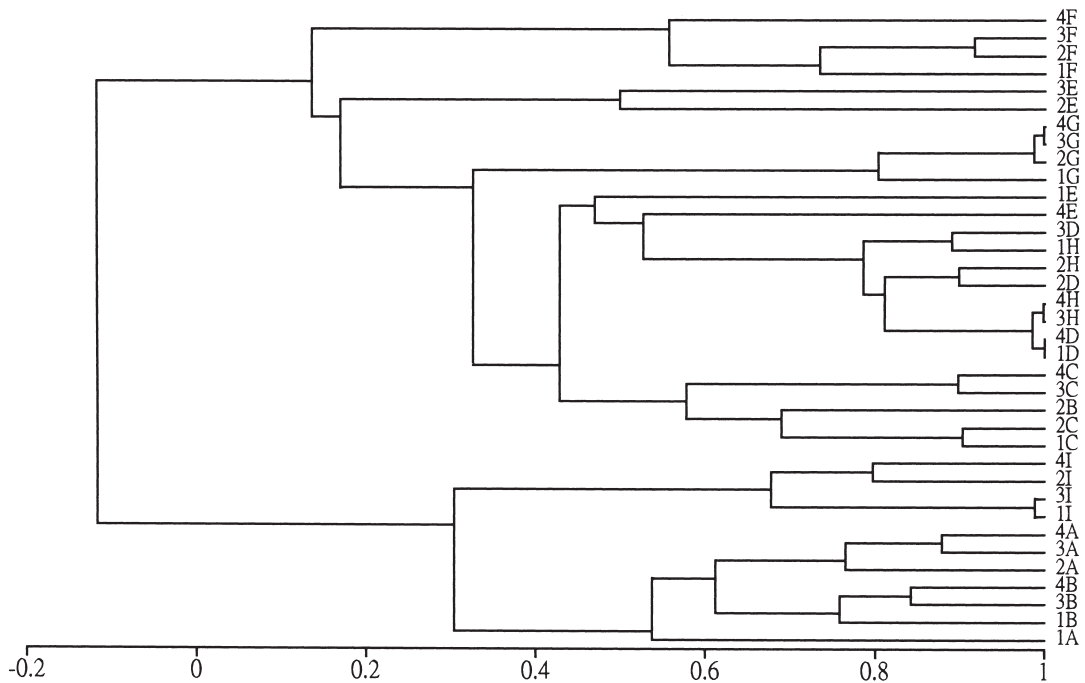


圖5. 樣區的樹狀圖。

Fig. 5. Dendrogram showing the similarity in macro-invertebrate communities among 36 plots.

群的樣區再分為3小群，第1小群為C、D、H、G採樣站的樣區及1E、4E樣區，第2小群為2E、3E樣區，第3小群為F採樣站的樣區。圖6表示各樣區中所採得的底棲動物種類之層級系統關係的樹狀圖，若將臨界值設於0，可將這些種分為5群，分別是以白扇招潮蟹為代表的1群；以弧邊招潮蟹及伍氏厚蟹為代表的1群；以北方呼喚招潮蟹為代表的1群；台灣招潮蟹獨自成1群；以短指和尚蟹及股窗蟹為代表的1群。可看出4種招潮蟹分別與不同屬的蟹種群聚，其中又以台灣招潮蟹最特別。

綜合群團分析及降趨對應分析的結果，樣區可概分為2大群，第1大群為A、B、I三個採樣站的樣區，其下可再細分2小群；其他採樣站的樣區為第2大群，其下可再細分4小群。採樣站A、B的樣區因北方呼喚招潮蟹、鹿港美食螻蛄蝦、環文蛤、公代而聚集；採

樣站I的樣區則因短指和尚蟹、雙扇股窗蟹而聚集；採樣站G的樣區主要因台灣招潮蟹而聚集，採樣站F的樣區主要因弧邊招潮蟹、伍氏厚蟹而聚集，採樣站D、H的樣區則因白扇招潮蟹及長趾股窗蟹而聚集，採樣站C、E的樣區主要因淡水泥蟹及秀麗長方蟹而聚集，而4種招潮蟹則分別與不同屬的蟹種群聚。

四、底棲動物群聚與環境關係之研判

上述的分析主要是說明底棲動物之群聚現象上無法研判其與環境之關係，由於環境因子與動物群聚現象之關係，常無法預先研判，又因環境因子具有程度不等的綜合效應，若將這些環境的變數分離，而採單變數分析，可能並不太適宜，因此可利用直接梯度分析法來研判，其中典型對應分析(CCA)是近來較被廣為採用的方法。本研究以CCA計

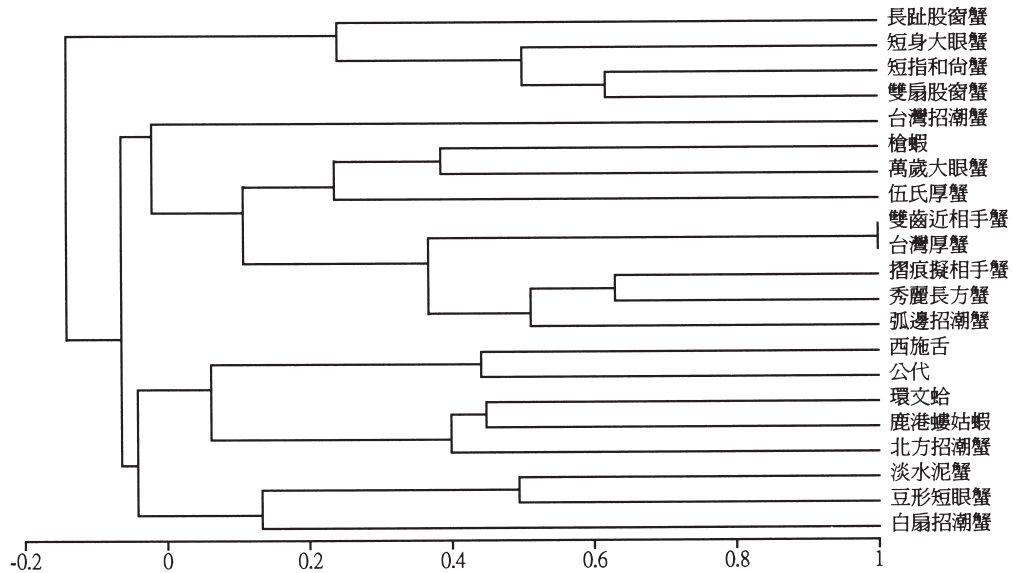


圖6. 物種的樹狀圖。

Fig. 6. Dendrogram showing the similarity in important value indices among species.

算28個樣區之固有值及其對應於3項環境因子之相關係數，依據樣區或種的分數排序在軸上，加上各環境因子之相關性，將樣區分布序列及標示環境向量(environmental vectors)繪成分布圖(圖7)，可解釋樣區與這3項環境因子間之相關性，而圖8可用來說明影響樣區分群的物種。圖8亦由加上環境因素計算的分數所繪成之物種分布序列圖，由於環境向量太長，以致顯示環境向量後將使物種相對的聚集，為了能將物種的分布展現出來，因此本圖不顯示環境向量，而環境向量的圖示與圖7相同，可供參考。

大肚溪口地區的水域雖然是相通，但由於本區為淡海水交會處，因此匯入淡水處之水質與沿岸地區有頗大的差異，本研究分析結果顯示，樣區之間水體之鹽度及溶氧量的差異對底棲動物群聚所造成的影響頗大，由圖7可看出第1軸左上方以A、B兩採樣站為

主，位於沿岸地區的A、B採樣站與鹽度呈正相關，這群樣區主要的優勢種或特徵種有北方呼喚招潮蟹、短指和尚蟹、短身大眼蟹、環文蛤及鹿港美食蠔姑蝦(圖8)。D、H採樣站的樣區則在第1軸的右上方，與溶氧量呈正相關，本群樣區主要的優勢種或特徵種有白扇招潮蟹、長趾股窗蟹。而F採樣站的樣區則與pH呈負相關，主要的優勢種或特徵種有弧邊招潮蟹、雙扇股窗蟹、公代。C、E採樣站的樣區集中在圖心，即兩軸交會處，本群樣區主要的優勢種或特徵種有淡水泥蟹、秀麗長方蟹、雙齒近相手蟹及台灣厚蟹。

五、底棲動物群聚與土壤重金屬含量之對應分析

本研究利用7個採樣站(A-F及H)，由四季所採集的28個樣區資料中物種的數量(20種底棲動物)及8項土壤重金屬含量檢測數據，

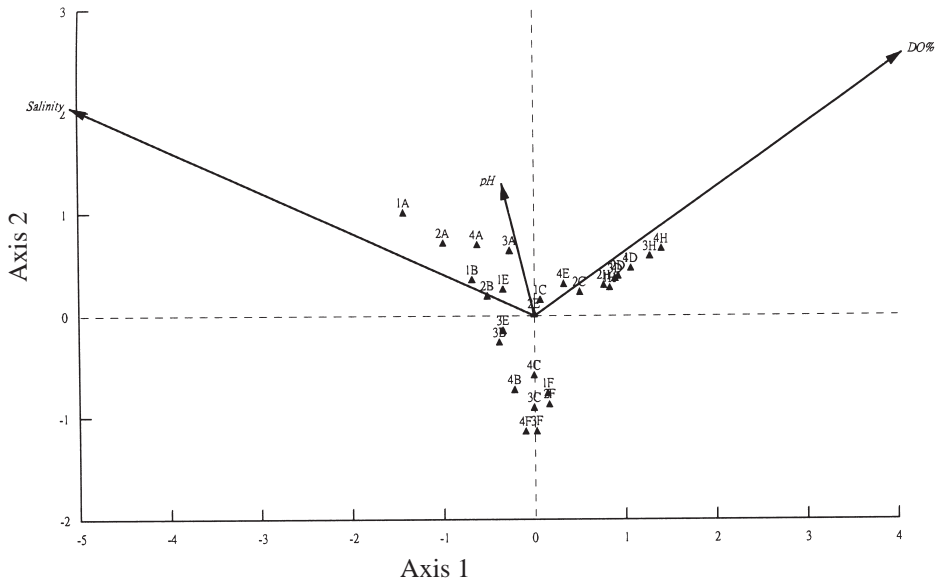


圖7. 樣區排序及環境向量在CCA前2軸的分布序列圖，箭頭表環境因子變異最大的方向(三角形代表樣區，前碼的編號為季節1-4)，後碼的大寫字母為採樣站。

Fig. 7. Ordination of 28 plots corresponding to three environmental vectors, DO, pH and salinity, along the first two CCA axes (arrows, direction of maximum change of the variable across the diagram; solid triangles, plots; numbers 1-4, four seasons; capitalized letters A-I, sampling stations).

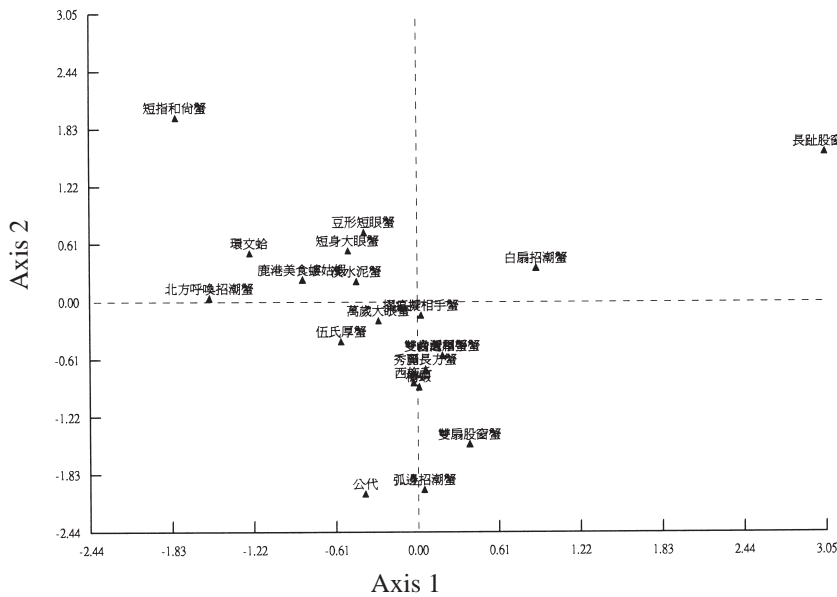


圖8. 20種底棲動物的值對應於3項環境因子在CCA前2軸的分布序列圖，不顯示環境向量。

Fig. 8. Ordination of 20 species of macro-invertebrates corresponding to three environmental variables, DO, pH and salinity, along the first two CCA axes.

計算土壤重金屬含量的權重與變異數膨脹係數，以及樣區或底棲動物種類對應於其土壤重金屬含量之相關性，依據各軸之固有值及物種對應於土壤重金屬含量相關係數，在樣區或種的分布序列上標示各重金屬含量之相關性，將樣區排序及土壤重金屬含量向量值繪成分布圖(圖9)，可解釋生物群聚與土壤重金屬含量差異之相關性。圖10表示加上土壤重金屬的因素，計算物種分數及土壤重金屬含量之向量值所繪之分布序列圖，主要說明各種重金屬與物種之關係。由分布圖得到的訊息，8項土壤重金屬含量值與生物群聚皆有相關，主要影響的重金屬為銅、鋅、鉛、鉻、鎳。大肚溪口地區的水域雖然是相通，但由於確實有污染源(劉 2001)，因此匯入處之重金屬與其他地區有頗大的差異。本研究分析結果顯示，樣區之間重金屬的差異與底棲動物群聚種類有關，與第1軸相關性最為顯

著的銅、鋅、鉻、鎳，是由於在D、H採樣點的檢驗值極高，而在A、B採樣點的檢驗值較低，因此這些樣區在第1軸就被分為兩群。在第2軸被分開的F採樣站則是因為鉛及汞的量較高(圖9)。由圖10可看出，在銅、鋅、鉻、鎳重金屬含量較高的地區棲息的有白扇招潮蟹、雙扇股窗蟹、長趾股窗蟹，在鉛及汞含量較高的地區棲息的有弧邊招潮蟹、伍氏厚蟹等，由於短指和尚蟹及環文蛤主要分布的樣區所檢測的重金屬含量值較其他採樣點的值低。本研究可依採樣站間重金屬含量差異及物種組成分為3群，在D、H採樣站的銅、鋅、鉻、鎳檢驗值極高，而主要棲息的有白扇招潮蟹、雙扇股窗蟹、長趾股窗蟹；F採樣站則是因為鉛及汞的量較高，棲息的有弧邊招潮蟹及伍氏厚蟹等；而A、B採樣站的重金屬檢驗值較低，棲息的為短指和尚蟹及環文蛤。

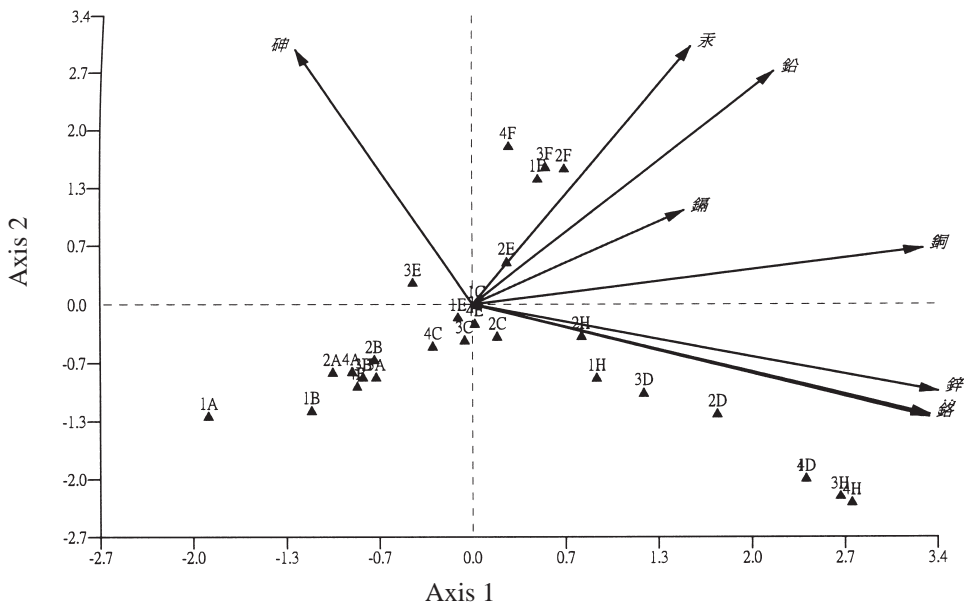


圖9. 樣區序列與土壤重金屬含量之分布圖(三角形代表樣區，前碼的編號為季節，後碼的大寫字母為採樣站)。

Fig. 9. Ordination of 28 plots corresponding to soil heavy metal contents along the first two CCA axes (solid triangles, plots; numbers 1-4, four seasons; capitalized letters, sampling stations).

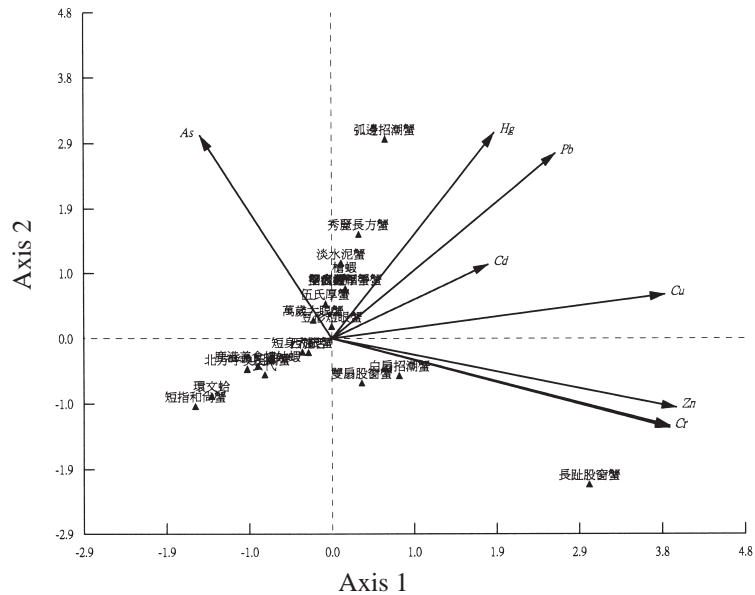


圖10. 物種序列與土壤重金屬含量之分布圖。

Fig. 10. Ordination of 20 species of macro-invertebrates corresponding to soil heavy metal contents along the first two CCA axes (solid triangles, species; arrows, direction of maximum changes of the variables across the diagram).

六、底棲動物重金屬含量檢驗分析

本研究於2000年9月間取樣，依照採樣站A-F及H之位置，採取該樣區內最優勢種的生物體樣本(sample)，檢驗該樣區內該種動物體內的的重金屬含量，主要以蟹類樣本為主，其中採樣站B及C另採貝類樣本，共取得9個底棲動物樣本，樣本編號依採樣站之大寫字母為其編號，貝類樣本於該採樣站之字母後加2為其編號(表3)。

本研究分析不同樣本之間動物體內重金屬含量的差異，首先將9個樣本的底棲動物體內的的重金屬含量值標準化(data standardized)之後，利用群團分析，以皮爾森相似性係數計算其相似性，並依加權配對聯結法，繪成樹狀圖(圖11)，結果發現鉛、鎳、鉻、砷在動物體內含量的相關性高，因此先連結成一群(圖11a)，即同1群樣本中這4種金屬含量值較為接近，這與環境中的重金屬濃度及動物本身的

吸附能力有關。本研究檢視不同物種間的差異，除了銅及汞之外，鎳、鋅、鉛、鎳、鉻、砷在貝類中之含量顯然高於蟹類。由圖11b可看出樣本間的相關性，若將臨界值設於0，可分為3群，B2及C2這兩個貝類的樣本，並沒有與其相同的採樣站(B、C)聯結，表示同物種的含量相似性較高，其他的樣本以H、D、E為1群；A、B、F、C為1群。

再利用主成分分析(Jolliffe 1986)進行底棲動物體內重金屬含量之相關性分析，計算各軸之固有值、各樣區的分數及環境因子的固有向量值(eigenvectors)，繪製第1軸與第2軸的分布序列圖(圖12)，圖中亦可明顯看出蟹類樣本與貝類樣本在第1軸大致呈兩群，B2及C2兩樣本分布於座標軸之右邊，而其他的樣本則集中於左側，而除了銅以外，其餘7項生物體樣本之重金屬含量都與第1軸呈正相關，其中又以砷、鉛及鎳之相關性較高，檢視原

表3. 底棲動物體內之重金屬含量(mg/kg)

Table 3. Heavy metal contents (mg/kg) in the macro-invertebrates sampled at nine stations in the tidal zone of Tatu Estuary in 2000

Station code	Location	Species	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Cr	As	Hg
A	水鳥公園	<i>Uca lactea</i>	87.5	2.15	66.5	28.5	19.5	20.5	1.48	0.1
B	鐵橋	<i>Uca lactea</i>	76.6	2.65	69.5	29	20.5	24	0.92	0.07
B2	鐵橋	<i>Laternula marilina</i>	24.5	3.5	57	52	32	31.5	2.15	0.06
C	南岸	<i>Uca lactea</i>	81.5	3.15	70.5	27	18.5	22	0.72	0.04
C2	南岸	<i>Laternula marilina</i>	51.5	3.1	118	51.5	41	55	3.66	0.06
D	排水溝南岸	<i>Uca lactea</i>	101	1.6	87	25	22	17	0.88	0.03
E	北岸	<i>Macrophthalmus banzai</i>	108	2.1	70.5	23	22.5	44	1.3	0.05
F	張玉姑廟	<i>Uca arcuata</i>	92	2.6	73	26	12	8.5	1.39	0.07
H	排水溝北岸	<i>Uca lactea</i>	130	2.65	97.5	26.5	23	19	0.88	0.03

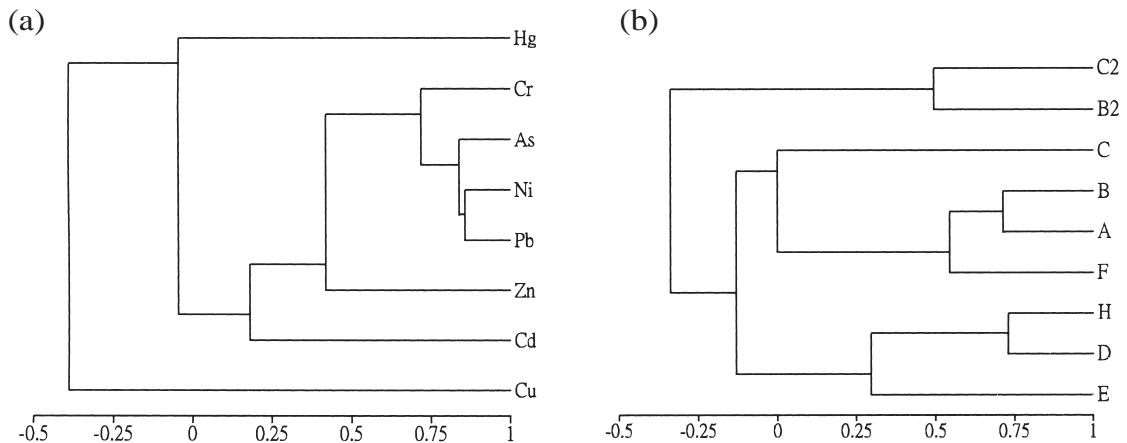


圖11. 底棲動物樣本之重金屬含量層級系統樹狀圖。

Fig. 11. Dendrogram showing the similarity in heavy metal contents in macro-invertebrates among heavy metals (a) and among stations (b).

始資料(表3)亦可看出這3項重金屬含量在貝類體內明顯高於蟹類，而與第1軸呈負相關的銅，則是蟹類體內之銅含量明顯高於貝類。

七、底棲動物體內重金屬含量與土壤重金屬含量之相關性

為瞭解不同採樣站之底棲動物體內重金屬含量對應於其土壤重金屬含量之相關性，本研究將所檢驗的9個底棲動物樣本的重金屬含量值與其對應之採樣站的8項土壤重金屬含量檢測值，進行典型對應分析，計算固有值及底棲動物體內重金屬對應土壤重金屬含量

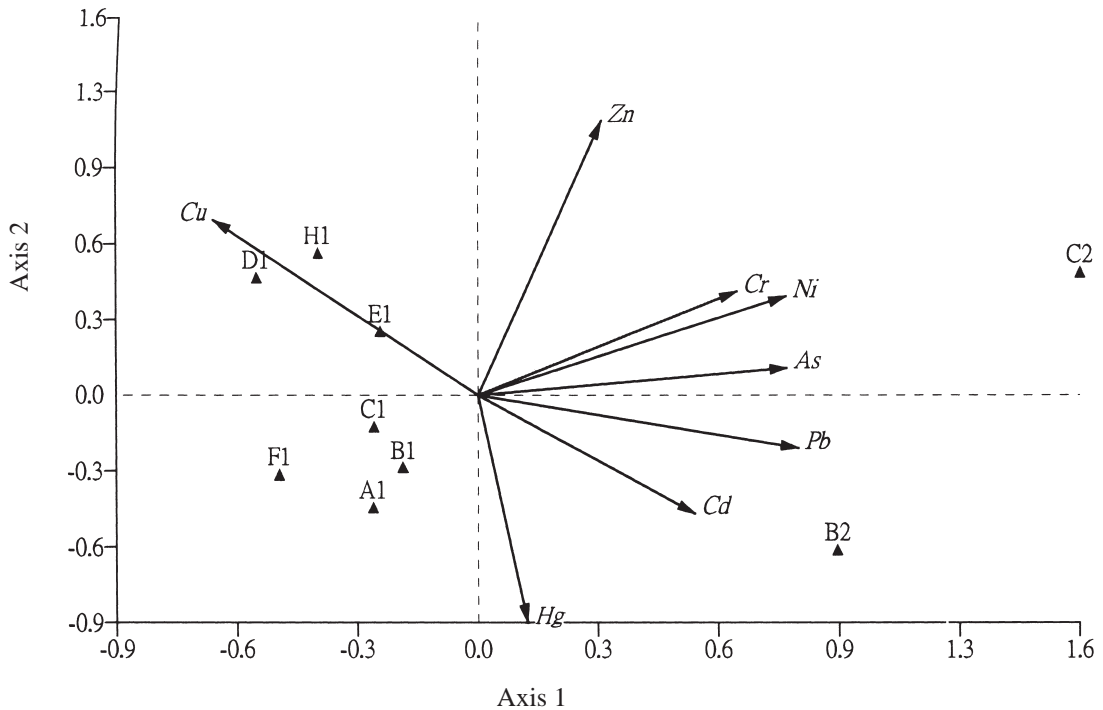


圖12. 底棲動物體內重金屬含量在PCA軸之分布序列(三角形代表樣區，前碼的大寫字母為採樣站，後碼的編號1為蟹類；2為雙殼貝類)。

Fig. 12. Ordination of heavy metal contents in crabs and bivalves at nine sampling stations along the first two PCA axes (solid triangles with number 1, crabs; solid triangles with number 2, bivalves; capitalized letters A–H, sampling stations).

相關係數，再計算土壤重金屬含量的權重及變異數膨脹係數，依據底棲動物體內重金屬含量與土壤重金屬含量在CCA軸之分數，加上各項土壤重金屬含量向量值，將樣區排序在軸上，繪成分布圖(圖12)，可解釋底棲動物體內重金屬含量與土壤重金屬含量變異之相關性。由分布圖得到的訊息，土壤重金屬之鋅、鎳、銅、鉛、鎘、汞等7項值將A、B、C、D、E、H拉到第1軸的左邊，砷將B2、C2拉到第1軸的右邊，可明顯看出這兩個貝類樣本與其他樣本之差異(圖13)。大肚溪口地區確實有污染源，且匯入處之重金屬與

其他地區有頗大的差異(劉 2001)。但由於水域是相通，因此底棲動物應有遷移的機會，所以其體內之重金屬含量雖然有差異，但不若土壤重金屬含量在各樣區的差異大，反而物種的差異大些。因此本分析結果只說明蟹類及貝類之差異，而無法呈現蟹類之差異，為瞭解蟹類之差異，本研究將B2、C2兩個貝類樣本先排除，再分析一次(圖14)，土壤重金屬砷將A、B、C拉到第1軸的右上方，D、F、H被鋅、鎳、銅、鉛、鎘、汞等7項值拉到第1軸的左下方，E獨自成1群。

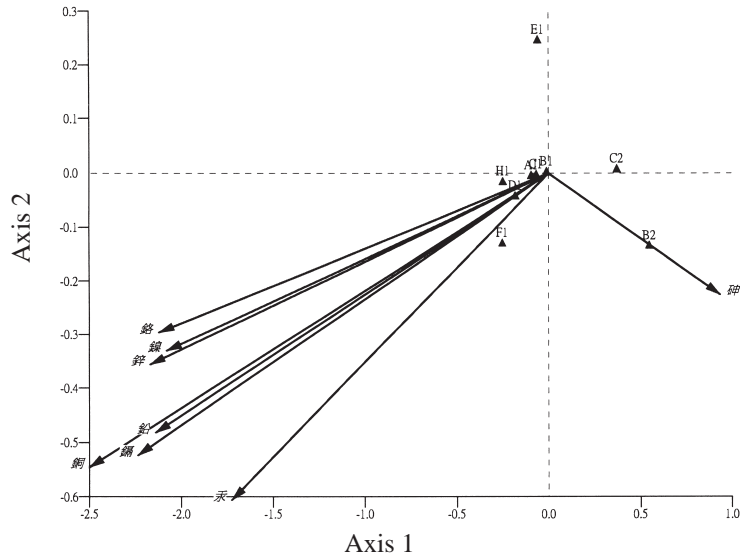


圖13. 底棲動物體內對應於土壤重金屬含量在CCA軸之分布圖，箭頭表土壤重金屬含量，三角形代表底棲動物體內重金屬含量(前碼的大寫字母為採樣站，後碼的編號1為蟹類；2為雙殼貝類)。

Fig. 13. Ordination of heavy metal contents in crabs, bivalves and soils along the first two CCA axes (capitalized letters A–H, sampling stations; solid triangles with number 1, crabs; solid triangles with number 2, bivalve; arrows, soils).

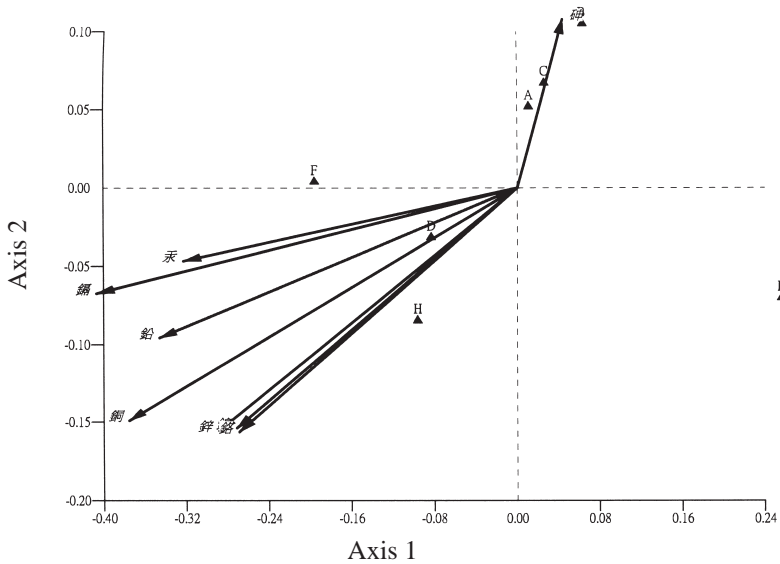


圖14. 蟹類樣本之重金屬含量與土壤重金屬含量在CCA軸之分布圖。

Fig. 14. Ordination of heavy metal contents in crabs and soils along the first two CCA axes (solid triangles, crabs; capitalized letters A–H, sampling stations; arrows, soils).

討 論

國內有關沿海地區動物群聚之研究以鳥類、無脊椎動物及藻類(王 1979)、魚類(邵等 1996; 邵 1997; 林及邵 2000)或珊瑚礁的分析(戴等 1998; 戴等 1999)為多,沙岸地區的底棲動物群聚則是近幾年才陸續有相關文獻發表,其中又以多毛類群聚現象的文獻較多(劉 1994; 謝 1996; 謝等 1998),有些則是針對大型底棲性如蟹類、螺貝類、多毛類等動物綜合探討(劉等 1993, 1994; 陳及陳 1994; 劉 1994; 劉及林 1995; 劉等 1998),然而文獻之呈現仍以敘述統計及定性描述為主,部分以多變數統計分析的文獻,主要的分析方式係以PCA為主,由於PCA的分析結果有時會造成扭曲(蘇 1987),因此本研究利用群團分析及降趨對應分析,探討各樣區及其物種間之變異程度及相關性,以說明底棲動物的群聚現象。

國內西海岸動物群聚研究就地域性而言,以淡水河口及曾文溪口的研究較多(劉等 1993, 1994; 劉 1994; 劉及林 1995; 謝 1996; 陳等 1997; 謝 1997; 謝 1998; 謝等 1998; 劉等 1999a; 邵 2000),相對於各文獻中,有研究顯示從挖仔尾到關渡的底棲動物相有明顯不同(劉及林 1995),曾文溪口地區可依底棲動物組成劃分為10個區域(劉等 1993),這些差異可能是受底質、鹽度、水質等影響,而且植生的種類也是影響其分布的原因(劉等 1993, 1994; 劉及林 1995),而每日的活動時間及季節的變化亦會影響其群聚現象,但種類數無明顯差異,僅數量上有不同(劉及林 1995; 陳 1997),且就本研究結果亦顯示,季節間的差異並不若樣區間的差異明顯。

多數研究底棲動物群聚現象的文獻,都會探討底棲動物與環境因子的相關性,研究小型底棲動物分布現象所選擇的環境因子主

要以土壤的性質為主,如有機質及篩選度等,然而針對大型底棲動物,土壤的粒度及潮位高度則顯重要,然而調查進行時,對於這些環境因子多可於現場判斷,亦有歸納出結論的文獻(劉等 1993, 1994; 劉 1994; 劉及林 1995; 劉等 1999a),而一般文獻較少著墨的是該區內潮水的鹽度、溶氧量及pH值等,由於樣區出現的動物種類及數量係受某些環境因子之影響,當然除了本研究中所檢測的環境因子外,還有許多可能有影響的因子並沒有被列入環境因子的選擇,如營養鹽等,且所分析的 β 項環境因子其影響力大小亦不相等。就本研究的資料而言,有不同棲地類型及季節變化的因子,再加上物種間的交互作用等等因素,因此本研究進一步利用典型對應分析的結果來解釋,類似的分析有以金門慈湖為研究區之文獻,並藉以推測物種群聚現象與所選之環境的相關性(劉等 1998)。事實上所有的資料藉由多變數分析後,仍需仰賴主觀之推測及判斷,本研究的結果大致可瞭解底棲動物群聚的現象,說明主要的物種及有影響的環境因子,但並非解釋其因果關係。由於本區為淡水水交會處,因此匯入淡水處之水質與沿岸地區有頗大的差異。位於沿岸地區的A、B採樣站,鹽度穩定且偏高,這群樣區主要的優勢種有短指和尚蟹、北方呼喚招潮蟹及環文蛤。反之,離海岸較遠的F採樣站的鹽度則不穩定又偏低,樣區內主要的種為弧邊招潮蟹。C、E採樣站位於大肚溪出海口,各項環境因子的值較為折衷,樣區內主要的種為伍氏厚蟹及鹿港美食螻蛄蝦。位於南岸排水溝的D、H採樣站之重金屬含量值偏高,溶氧量的值亦偏高,是極特殊的採樣站,應長期監測之。

台灣西部海岸受污染的情形較一般認知上嚴重,目前國內土壤污染之研究仍以重金屬為主,但在實際執行上僅由土壤重金屬含量值,並無法比較不同區間之差異,亦無法

了解其在土壤受體中累積的快慢(于及林 2000)，由於研究區內確實有污染源(劉 2001)，因此重金屬在生物體內的含量更顯重要。前人的研究文獻主要針對經濟性較高的蚶、螺、魚類進行分析，其環境以水域為主，研究中發現不同區域水體之重金屬量與生物體內之含量有相關，有些生物體內之重金屬雖仍在食品容許範圍內，但不同區域間卻有數倍不等的差異(莊等 1994；劉 1999；黃 2001)。大肚溪口地區是重要的水產養殖區(劉 1998)，重金屬污染情形的研究實有其必要性，然有別於其他的研究，本研究主要針對非經濟物種分析，雖然不同物種間無法互相比較，但仍可由本研究之相同物種在不同區域的差異比較之，結果顯示確實有差異。再者，樣區之間重金屬的差異與底棲動物群聚種類亦有相關，此外，各採樣站之底棲動物體內重金屬含量亦有差異，鎘、鋅、鉛、鎳、鉻、砷在貝類中的含量顯然高於蟹類。D、F、H採樣站中底棲動物體內重金屬含量受鋅、鉻、鎳、銅、鉛、鎘、汞等7項土壤重金屬影響，A、B、C採樣站中底棲動物體內重金屬含量受土壤重金屬砷影響。然因本研究樣本數較低，因此污染對生態可能造成的影響，宜增加採樣數，並以長期監測方式，再作進一步探討。

引用文獻

- 于迺文、林正鏘。土壤重金屬含量變化之評估(二)模式之應用。土壤與環境 3(3): 257-270。
- 王繼忠。1979。台灣東北角岩岸潮間帶底棲無脊椎動物及藻類相群聚結構之研究。台灣大學海洋所碩士論文。63頁。
- 李瑞瓊。1991。大肚溪口水鳥保育區整體發展構想研究。農委會委託研究。東海大學環境規劃及景觀研究中心執行。
- 吳啓南、吳哲榮、李元炎。1997。彰化海岸遙測影像變遷分析研究。工業技術研究院能資所第06-3-86-0318 報告。77頁。
- 吳森雄、顏重威。1990。大肚溪口鳥類生態調查研究報告。台灣野鳥資訊社。
- 林幸助、邵廣昭。2000。台灣北部紅樹林魚類群聚之季節與日夜變化。2000年動物行為與生態研討會。花蓮。
- 邵廣昭、高炳華、王慎之、林幸助、陳義雄。1996。曾文溪流域魚種組成及魚類群聚之研究。「台灣西部環境變遷及資源管理之研究：(1)曾文溪流域」。周昌弘主編。中央研究院環境科學專題研究計畫。219-284頁。
- 邵廣昭。1997。台灣西南海岸曾文溪口沿岸海域魚類群聚結構時空變化之研究。SCORE'97 (97海岸海洋資源與環境學術研討會暨天然產物與新藥研究開發論壇)。香港科技大學。
- 邵廣昭。2000。關渡自然保留區及關渡自然公園生物環境監測與研究期末報告。台北市建設局。343頁。
- 莊淑滿、張穗蘋、盧宗榮。1994。台南地區河口魚類重金屬含量之調查研究。海岸濕地生態及保育研討會論文集166-179頁。中華民國野鳥學會。
- 陳恩理、陳章波。1994。底棲無脊椎動物群聚研究於海岸溼地鳥類保護區規劃的角色。海岸濕地生態及保育研討會論文集144-154頁。中華民國野鳥學會。
- 陳炳煌。1987。大肚溪口鳥類保護區之研究。農委會委託研究。
- 陳炳煌。1994。大肚溪口水鳥與人共存之新展望。第一屆海峽兩岸鳥類學術研討會論文集。
- 陳炳煌。1997。大肚溪口水鳥保護區自然資源調查及環境監測計畫。彰化縣政府委託研究。東海大學執行。39頁。

- 陳炳煌、呂正仁。1997。大肚溪口水鳥族群消長之初步探討。中台灣自然保育研討會論文集118-133頁。
- 郭金棟。1990。台灣海岸地形變化及其未來之開發利用。成功大學水利及海洋工程研究所。209頁。
- 黃品薰。2001。香山地區牡蠣群體、沈積物及懸浮顆粒重金屬含量之季節與區域變化。台灣大學海洋所碩士論文。123頁。
- 彰化縣政府、台中縣政府。1994。大肚溪口鳥類保護區保育計畫書(核定本)。
- 彰化縣政府。1996。大肚溪口水鳥保護區經營管理計畫。彰化縣政府委託研究。中興大學土木工程研究所執行。
- 劉永貴。1999。台灣西部沿岸蚵螺體內重金屬對其性變異之研究。台灣大學海洋所碩士論文。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑。1983。森林植物生態學。台灣商務印書館。462頁。
- 劉炯錫。1994。淡水河河口潮間帶多毛類動物的群聚動態。國立台灣大學動物學研究所博士論文。
- 劉炯錫、林曜松。1995。淡水河河口潮間帶之底棲動物相。第二屆海岸及濕地生態保育研討會論文集159-166頁。中華民國野鳥學會。
- 劉弼仁、謝蕙蓮、陳朝金、林志國、陳章波。1998。金門慈湖的底棲環境與大型底棲動物的分布。國家公園學報 8(1): 12-25。
- 劉靜榆、賴國祥、曾彥學、林旭宏、侯安環。1993。台灣西南沿海生物資源調查。I。曾文溪口生物資源調查。台灣省特有生物研究保育中心82年度試驗研究計畫執行成果。71-121頁。
- 劉靜榆。1994。曾文溪口生物資源調查。生物資源調查研討會論文集355-402頁。台灣省特有生物研究保育中心出版。
- 劉靜榆、顏仁德、賴國祥、曾彥學、林旭宏、侯安環。1994。台灣西南沿海生物資源調查。II。台南縣市沿海生物資源調查。台灣省特有生物研究保育中心83年度試驗研究計畫執行成果。101-151頁。
- 劉靜榆、李訓煌、曾彥學、沈慧萍。1998。野生動物保護區環境監測模式建立之研究。台灣省特有生物研究保育中心87年度試驗研究計畫執行成果。18-27頁。
- 劉靜榆。1998。大肚溪口野生動物保護區生態導覽。特有生物研究保育中心及彰化縣政府出版。160頁。
- 劉靜榆、曾彥學、吳萃慧、李訓煌。1999a。台灣西南沿海生物資源調查。特有生物保育研討會論文集16-47頁。
- 劉靜榆、李訓煌、曾彥學、沈慧萍。1999b。野生動物保護區環境監測模式建立之研究—以大肚溪口及四草野生動物保護區為例。台灣省特有生物研究保育中心88年度試驗研究計畫執行成果。1-13頁。
- 劉靜榆。2001。大肚溪口地區環境監測研究。國立台灣博物館年刊 43: 1-25。
- 謝蕙蓮。1996。淡水河紅樹林沼澤區多毛類群聚結構的時空變化：沈積物及微棲地的影響。紅樹林生態系研討會論文集 199-222頁。
- 謝蕙蓮。1997。底棲生物。「淡水河下游生物相群聚之動態調查」、「淡水河污染整治對生態影響之研究」及「基隆河污染源與底棲生物採樣分析調查」計畫期末報告6-1-6-58頁。行政院環境保護署(EPA-86-G106-09-14)。
- 謝蕙蓮。1998。曾文溪口沿岸底棲群聚之角色—一次級生產量與碎屑傳送。「曾文溪口海岸地區陸海交互作用之研究」研究成果論文集(三)。子計畫十一。國科會。
- 謝蕙蓮、蔡佩玲、陳瑞賓。1998。底棲無脊

- 椎動物。「淡水河系污染整治對生物相群聚動態影響」計畫(EPA-87-G106-03-05)期末報告書6-1-6-51頁。行政院環境保護署。
- 戴昌鳳、陳永澤、郭坤銘、莊正賢。1998。墾丁國家公園南灣海域珊瑚群聚的變遷：1987至1997年。國家公園學報8(2)：79-99。
- 戴昌鳳、郭坤銘、陳永澤、莊正賢。1999。墾丁國家公園東岸及西岸海域珊瑚群聚的變遷。國家公園學報9(2)：112-130。
- 顏重威。1988。彰化縣伸港鄉海埔地鳥類保護區規劃報告。農委會委託研究。
- 蘇鴻傑。1987。植群生態多變分析方法之研究(III)。降趨對應分析法及相關分布系列。中華林學季刊20(3)：45-68。
- Clymo, R. S. 1980. Preliminary survey of the peat-bog Hummell Knowe Moss is using various numerical method. *Vegetatio* 42: 129-148.
- Everitt, B. 1980. Cluster analysis. 2nd Edition. Gower Publishing Co., Hampshire. 136 pp.
- Gauch, H. G. Jr. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press, New York.
- Hill, M. O. 1973. Reciprocal averaging: An eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology* 61: 237-249.
- Hill, M. O. 1979. DECORANA - A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Cornell University, Ithaca, New York.
- Hill, M. O., and H. G. Gauch, Jr. 1980. Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47-58.
- Jolliffe, I. T. 1986. Principal components analysis. Springer-Verlag, New York.
- Kovach, W. L. 1999. MVSP-Multi-Variate Statistical Package for window, ver. 3.1 Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, UK.
- Maarel, E. van der 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio* 39: 97-114.
- Noy-Meir, I. 1973. Data transformations in ecological ordination. I. Some advantages of non-centering. *Journal of Ecology* 61: 329-341.
- ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- ter Braak, C. J. F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 64: 69-77.

Benthic Macro-Invertebrate Community in the Tatu Estuary and Its Relation to Heavy Metal Contents

Ching-Yu Liou

Taiwan Endemic Species Research Institute, Chichi, Nantou, Taiwan

Abstract

Tatu Estuary in the central western Taiwan is the largest coastal sanctuary of the island. To understand the interaction of the benthic macro-invertebrate community and its surrounding environments in the tidal zone, macro-invertebrates were sampled seasonally at nine sampling stations at intervals of three months in 2000. Salinity, pH value, and dissolved oxygen saturation were measured seasonally. Contents of heavy metals, including cadmium, nickel, lead, zinc, chromium, copper, arsenic and mercury in soil and macro-invertebrates were analyzed. The results indicated that there was conspicuous variation in the benthic macro-invertebrate community structure among the sampling stations, but not among the seasons. Water quality affected the community structure. The heavy metal contents were highly variable among the stations for soils, but not for macro-invertebrates. The heavy metal contents were also more variable among species than among sampling stations. The contents of cadmium, nickel, lead, zinc, chromium and arsenic in bivalves were higher than those in crabs.

Key words: benthic macro-invertebrates, community structure, heavy metals, Tatu Estuary, tidal zone

Received: May 23, 2001

Accepted: January 21, 2002