

莫拉克風災對大鵬灣底泥重金屬衝擊暨受遶近河溪污染之判定

廖少威

大仁科技大學環境管理研究所暨觀光事業系教授

賴文亮

大仁科技大學環境管理研究所暨環境與職業安全衛生系教授

仲崇毅

大仁科技大學環境管理研究所暨觀光事業系副教授

高華聲

大仁科技大學環境管理研究所暨觀光事業系副教授

摘 要

中度颱風莫拉克侵襲台灣，兩天兩夜的豪大雨，導致台灣南部部份山區土石坍方及沿海地區嚴重淹水，災情相當慘重。為瞭解莫拉克風災對大鵬灣底泥重金屬衝擊暨受遶近河溪污染判定，本文針對重金屬 Cd、Zn、Pb、Cr、Ni、Cu，以 Borovec、Herr 和 Gray 等人建立且為各國所常用的評估指標，評估大鵬灣潟湖及遶近三河溪(高屏溪、東港溪、林邊溪)底泥重金屬等級。結果風災前大鵬灣及三河溪底泥在 Cd、Pb、Cr 含量均屬中度污染程度以上等級。鋅於大鵬灣及 2007 年 1 月的東港溪屬中度污染程度以上等級。風災後大鵬灣及三河溪則降至低污染程度以下等級。

另外以 R. A. Fisher 判別分析方法，歸類判定大鵬灣潟湖受遶近三河溪污染情形。判定結果整體上大鵬灣樣點與三條河溪樣點大致呈現明顯的群集分佈現象，亦即大鵬灣與三河溪底質重金屬不盡然相似。在歷經生態棲境如此大之變革及面對當下氣候急劇變化愈趨頻繁下，對底質重金屬含量等級的時空變異及對大鵬灣重金屬受遶近三河溪污染來源的瞭解，將可提供行政轄區在災害管理、復育整治、經營管理及遊憩活動規範上的資料參考。

關鍵字：莫拉克風災、底泥重金屬評估指標、判別分析



一、前 言

陸域性污染質透過河川懸浮載吸附在水體懸浮顆粒上，進而沉積在河口或近岸地區。因此透過對河口及潟湖地區沉積物的分析監測，將可瞭解該區域的污染現況及歷史。污染區的污染質可能累積在微生物及水域動植物體上，並透過食物鏈而影響人體健康(Cook et al., 1990; Deniseger et al., 1990)。Sin et al. (2001)說明底泥不僅是污染質的傳輸介質，而且在水域環境中可說是二次污染的潛在來源。因此瞭解底泥污染質含量與變動是一很重要的課題(Fang, 2002)。

透過人類社會的活動及空氣、水、土壤的傳播，導致環境生態系重金屬濃度的增加，已引起全世界的關注(Fang et al., 2002)。Gibbs (1973) 底泥是重金屬離子的最終匯集地。Fernandes (1997)探討巴西 Jacarepagua 潟湖底泥重金屬所造成的毒害，顯示該區域鎘的影響最為顯著。Chen and Hung (1995) 發現高雄愛河下游底泥含高濃度的 Cu, Pb 及 Zn，同時潛在重金屬從底泥的釋出量受洪水事件發生及挖泥工程等氧化過程影響。

二、研究緣起及目的

大鵬灣原為一極具生產力之潟湖，灣內佈滿蚵架與箱網，蚵架拆遷前，懸吊蚵粒上附著厚厚的生物膜以及豐富的水棲生物，偶而採樣時還可以看到海馬、章魚等生物的蹤影，然因蚵農任意棄置剝除後的大量蚵殼，也形成了當區著名的觀光景點蚵殼島，可供遊客散步遊玩。冬季時常見到數以千隻的黑腹燕鷗(*Sterna hybrida*)佇足在蚵架上，海底也富含大量的巨型海藻：石蓴、葡萄藻等藻類。

2009 年 8 月 7 日，中度颱風莫拉克侵襲台灣，兩天兩夜的豪大雨，對屏東造成很大的損害。依據氣候局資料顯示，在短短 3 天內就降下 2700 mm 的雨量，超過 250 年的洪水頻率，與工程設計百年洪水頻率的堤防相差一倍半的水量，致高屏縣市遭受嚴重水患，災情相當慘重。

目前國內並無海域潟湖及河川底泥重金屬含量管制標準，本文為瞭解莫拉克風災對大鵬灣底泥重金屬衝擊，以 Borovec、Herr 和 Gray 等人建立且為各國所常用的評估指標，評估大鵬灣及遶近三河溪底泥重金屬含量等級。並期透過典型判別分析方法來瞭解莫拉克風災前後，大鵬灣底泥與遶近三河溪底泥重金屬的關聯性。

三、研究方法

(一)研究環境區域概況

大鵬灣瀉湖位屏東縣東港鎮與林邊鄉境，為一囊狀瀉湖，總面積約 1438.4 ha。遶近主要河川北有高屏溪、東港溪，南有林邊溪入海（圖 1）。高屏溪全長 171 km，流域面積廣達 3257 km²，總輸砂量每年 38.252 × 10⁶ ton。東港溪流域介於高屏溪與林邊溪之間，主流長約 44 km，流域面積約 472.2 km²，總輸砂量每年 1.783 × 10⁶ ton。林邊溪是國內少數幾條不受工業污染的河川，流長約 42 km，流域面積 336.3 km²，總輸砂量每年 1.843 × 10⁶ ton。三條河川目前高屏溪受工業廢水及市鎮廢污水排入而污染嚴重，東港溪、林邊溪亦受市鎮廢污水及農事養殖廢污水的排入。此外各河川尚有周邊廢土及廢棄物的任意傾棄、各河川上游盜採及濫採砂石等污染行為。

(二)試驗採集與分析方法

瀉湖內以艾克曼採集器(Ekman dredge)配合潛水夫採集灣內樣點底泥。遶近三河溪則由出海口往內陸方向採集，各別採集 7 個底泥樣點。樣本經前處理後，過 100 號篩(0.149 mm 孔徑)後進行重金屬元素分析。重金屬檢測首先秤取 1 g 樣品放入含有適量王水(6 ml HCl + 2 ml HNO₃)以及 HF 靜置到隔夜，再分別以功率 250W 加熱 8 min、400W 加熱 4 min、600W 加熱 6 min 進行消化，消化後利用高速離心機離心以 Whiteman #40 濾紙過濾。再利用感應耦合電漿光譜儀 ICP-OES(Optima 2100 DV 型)，依照設定程式及操作手冊之規定分析重金屬 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Fe、Mn、Al 和 Ni 等元素。

(三)底泥重金屬污染評析

本文以 Borovec、Herr 和 Gray 等人在 1993 年與 1997 年所建立的評估指標，來評估研究區域微量元素含量等級(Borovec et al., 1993; Herr et al., 1997)。本指標已廣泛被多國引用做為環境品質評估標準：

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n} \quad (1)$$

C_n ：樣點測得之重金屬濃度

B_n ：採樣區域土壤環境背景值

分析後樣點經計算後數值可分為幾個等級：未受污染 ($I_{\text{geo}} < 1$)；較低污染 ($1 < I_{\text{geo}} < 2$)；低污染 ($2 < I_{\text{geo}} < 3$)；中度污染 ($3 < I_{\text{geo}} < 4$)；重度污染 ($4 < I_{\text{geo}} < 5$)；非常嚴重污染 ($5 < I_{\text{geo}} < 6$)。本文環境背景值採台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表中第三等級之含量值來計算。



(四)統計理論方法

判別分析方法主要功能有判別及歸類兩個過程。即對已知類別的觀測值（河溪樣點）建立模式，建構一組判別函數，將觀測值經線性組合轉換成一新變數，並使原來的分類組群（Class）經過轉換後能夠達到最大的區分；再將未知組群樣本的觀測值（潟湖內樣點），經過判別函數轉換後以預測此一觀測值可以歸類到那一個已知組群(Liao et al., 2008; Chung et al., 2011)。判別運算以 STATISTICA(2006)統計軟體程式執行。

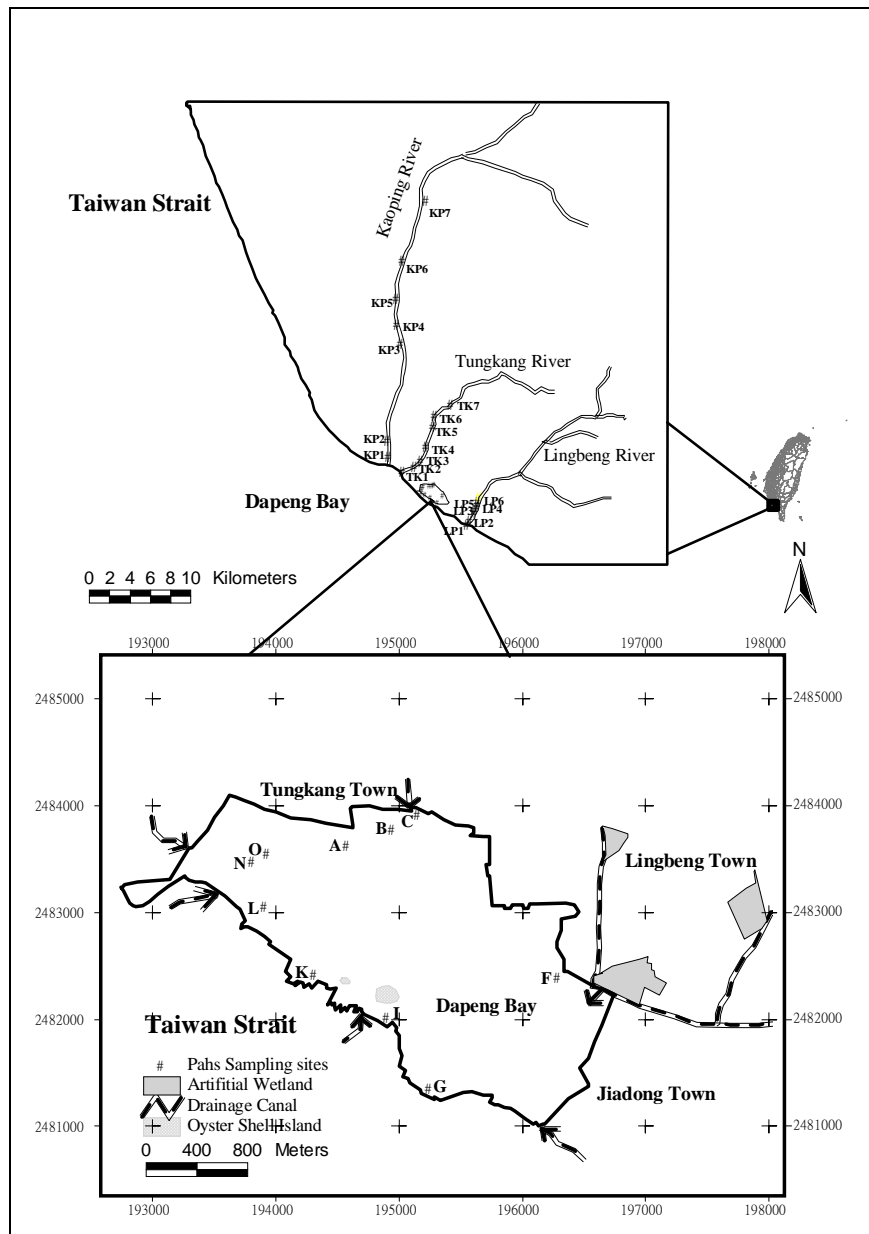


圖 1 大鵬灣暨鄰近三河溪底泥採樣位置圖

四、結果與討論

(一)底泥重金屬污染評析

本文針對大鵬灣瀉湖及鄰近三河溪於莫拉克風災前：2006、2007 年及莫拉克風災後：2010、2011 年底泥重金屬等級作一評估。底泥重金屬經檢測後代入重金屬含量等級式 (1)，所得見表 1。由表 1 可看出，大鵬灣底泥：在風災前 Zn、Pb、Cr、Ni 含量等級屬中度污染到非常嚴重污染的程度，而風災後除 Cu 未受污染外，其餘 Zn、Pb、Cr、Ni 都屬較低污染的情形。東港溪底泥：風災前 Cd、Zn、Pb、Cr、Ni 含量等級屬低污染到重度污染的程度，而風災後除 Cu 是未受污染外，其餘 Zn、Pb、Cr、Ni 都屬較低污染的情形。林邊溪底泥：風災前除 Cu 未受污染外，其餘 Cd、Zn、Pb、Cr、Ni 含量等級屬低污染到重度污染的程度；而風災後除 Cu 未受污染外，其餘 Zn、Pb、Cr、Ni 都屬較低污染的情形。高屏溪底泥：風災前除 Cu 未受污染外，其餘 Cd、Zn、Pb、Cr、Ni 含量等級屬較低污染到重度污染的程度；而風災後則除 Cu 未受污染外，其餘 Zn、Pb、Cr、Ni 都屬未受污染到較低污染的情形。風災後在鄰近三條河溪中，以東港溪河川底泥含量等級最高。大鵬灣底泥重金屬含量等級原本相當嚴重，風災後則與東港溪相似，屬較低污染程度。大鵬灣重金屬的來源包括潮汐帶入之污染水及排水渠道排入之廢水，包括了傳統畜牧廢水、工業廢水以及鄰近居民生活廢污水，及觀光客遺留下來的廢棄物。繪出重金屬含量等級變化情形見圖 2，可明顯看出：風災前大鵬灣及三河溪在 Cd、Pb、Cr 含量等級均在中度污染程度以上。Zn 的含量等級於大鵬灣及 2007 年 1 月的東港溪則在中度污染程度以上。而風災後各重金屬含量等級均降至低污染程度以下的等級。主要原因除大鵬灣可能受管理處全面疏浚灣域底泥外，亦可能因風災後集水區上游挾帶大量較乾淨泥砂進入所至。



表 1 微量元素含量等級表(註：- 為無測值；2010~2011 為莫拉克風災後數值)

微量元素含量等級	Cd	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu
200608 大鵬灣	4.82	3.33	4.75	3.50	1.87	1.06
200701 大鵬灣	4.92	3.03	5.10	3.97	2.62	2.20
200704 大鵬灣	-0.91	7.21	6.50	6.89	6.26	0.99
200708 大鵬灣	-0.69	1.04	0.90	1.96	1.73	0.44
201008 大鵬灣	-	1.56	1.44	1.33	1.64	0.28
201101 大鵬灣	-	1.52	0.88	1.05	1.80	0.29
200608 東港溪	4.72	2.52	4.59	3.37	1.74	0.76
200701 東港溪	5.10	3.00	5.01	3.96	2.59	1.55
201008 東港溪	-	1.80	1.21	1.34	1.77	0.22
201101 東港溪	-	1.66	1.01	0.96	1.74	0.44
200608 林邊溪	3.30	2.10	4.70	3.30	1.98	0.51
200701 林邊溪	3.79	2.42	5.12	3.65	2.28	1.09
201008 林邊溪	-	1.32	1.08	1.32	1.74	-0.14
201101 林邊溪	-	1.45	0.58	0.70	1.81	-0.04
200608 高屏溪	4.26	2.41	3.95	2.92	1.54	0.15
200701 高屏溪	3.22	2.11	4.57	3.14	1.78	0.44
201008 高屏溪	-	1.00	0.88	1.06	1.34	-0.87
201101 高屏溪	-	1.25	0.40	0.61	1.61	-0.42

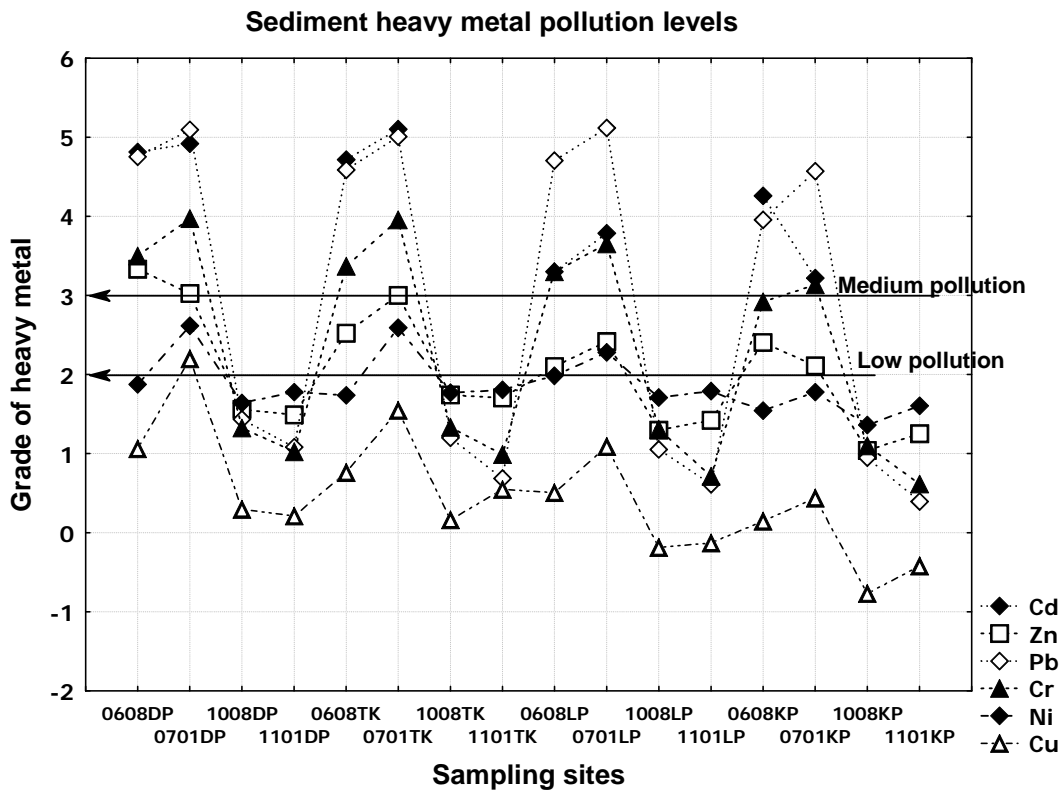


圖 2 莫拉克風災前後大鵬灣暨鄰近三河溪底泥重金屬含量等級變化情形

(二)大鵬灣底泥重金屬受鄰近河溪污染判定

為瞭解莫拉克風災對於本區域所造成的影響，因此將本區域該時段鄰近資料加以匯整分析：即於 2006 年 8 月、2007 年 1 月及 2010 年 8 月、2011 年 11 月等時段於高屏溪、東港溪、林邊溪三河系所分別採集各年度總共 21 個採樣點，分析底泥 9 項重金屬參數。將各時段所構成的四組運算資料矩陣 (21×9)、(21×9)、(21×8)、(21×8) 進行判別分析，先建立各河溪判別函數。依各年度資料繪出第一、第二判別函數對三河系之區分離散圖，現將受潮汐進出影響較深遠的瀉湖入口處五個樣點 A、L、M、N、O (因應大鵬灣資料以配合比較，圖 4 僅選 4 個點，圖 5、6 僅選 3 個點)，將標準化後資料代入判別函數模式，繪出如圖 3、4、5、6。由圖可看出各不同時段大鵬灣瀉湖入口處樣點於鄰近三河溪底泥重金屬之歸類判定情形。結果如下，風災前：對於瀉湖口樣點除 2007 年 1 月枯水季 A 樣點被錯分並與林邊溪相似外，整體上大鵬灣樣點與三條河溪樣點均呈現明顯的群集分佈現象，見圖 3、4。風災後：於 2010 年 8 月三條河溪群集效果亦非常明顯，見圖 5。然 2011 年 11 月東港溪 TK2 被錯分在高屏溪群集，林邊溪樣點 LP4、LP5 亦被錯分在高屏溪群集上。瀉湖口 M 樣點則被錯分在高屏溪群集，整體上大鵬灣樣點與三條河溪樣點呈現較紊亂的群集分佈現象，見圖 6。可能受管理處全面疏浚灣域底泥影響外，亦可能因風災後集水區上游挾帶大量較乾淨泥砂進入所至。因大鵬灣在污染自淨能力上因只有一囊袋開口與外海流通，灣內外水體交換能力嚴重不足，平均滯留時間約為 7 天，加上有六條渠道將鄰近之廢污水排入灣內 (目前已設有六座人工濕地淨化設施的設置)。加上生物地質化學反應的影響，大鵬灣海域底質已自成一群集特性。

五、結論與建議

風災前大鵬灣及三河溪在 Cd、Pb、Cr 含量等級均在中度污染程度以上。Zn 的含量等級於大鵬灣及 2007 年 1 月的東港溪則在中度污染程度以上。風災前後 Cu 的含量等級除 2007 年 1 月大鵬灣外均屬未受污染的程度。而風災後各重金屬含量等級均降至低污染程度以下的等級。主要原因除大鵬灣可能受管理處全面疏浚灣域底泥影響外，亦可能因風災後集水區上游挾帶大量較乾淨泥砂進入所至。建議應持續進行環境基本監測，將可釐清大鵬灣底泥重金屬與鄰近三河溪的關係。



以 R. A. Fisher 判別分析方法，歸類判定大鵬灣瀉湖受遶近三河溪污染情形。風災前：三條河溪群集效果非常明顯，而對於瀉湖口樣點除 2007 年 1 月枯水季 A 樣點被錯分與林邊溪相似外，整體上大鵬灣樣點與三條河溪樣點均呈現明顯的群集分佈現象。風災後：除 2011 年 11 月東港溪樣點 TK2 被錯分在高屏溪群集，林邊溪樣點 LP4、LP5 亦被錯分在高屏溪群集上。瀉湖口 M 樣點則被錯分在高屏溪群集。整體上大鵬灣樣點與三條河溪樣點呈現較紊亂的群集分佈現象。

大鵬灣風景區的開發，除改善灣內與海洋水流間交換率，另為遊艇航行需要，也進行灣域底泥及航道浚渫等的工作，目的以提高大鵬灣自淨能力並利於航行。此外，為隔絕風景區外廢污水排入灣域，也將推動東港外圍截水溝上游分離，林邊鄉污水下水道工程以及畜牧廢水管制等工作，以避免各種污染源持續污染灣域影響水質底質。

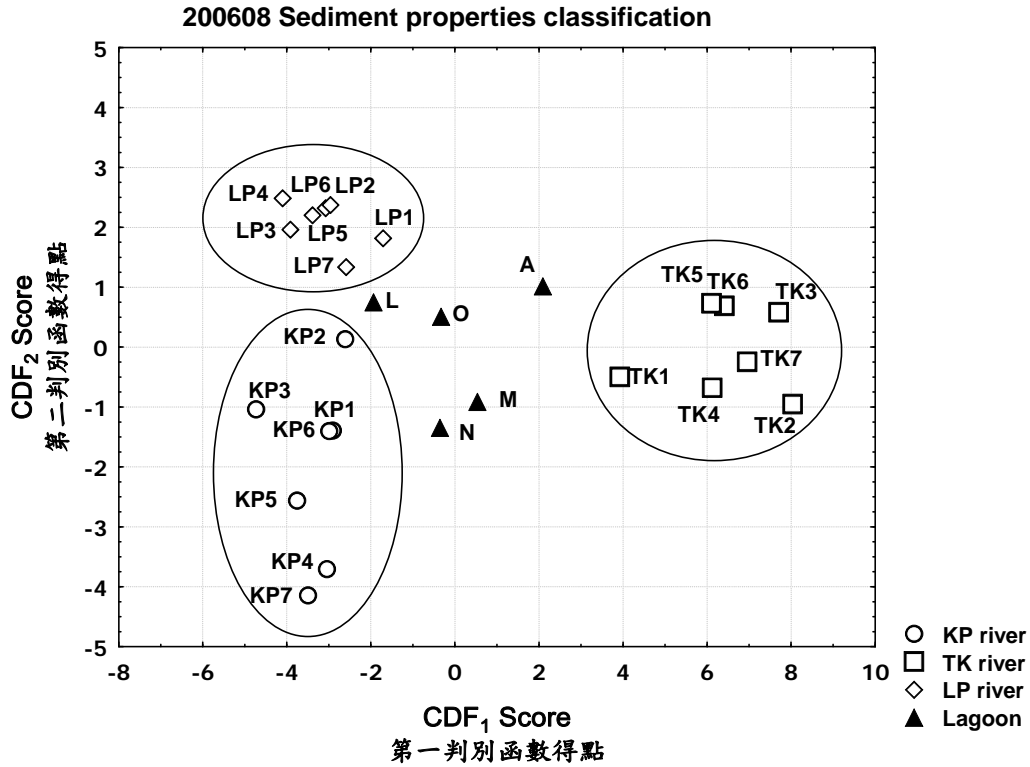


圖 3 2006 年 8 月大鵬灣暨附近三河溪底泥樣點重金屬歸類判定情形

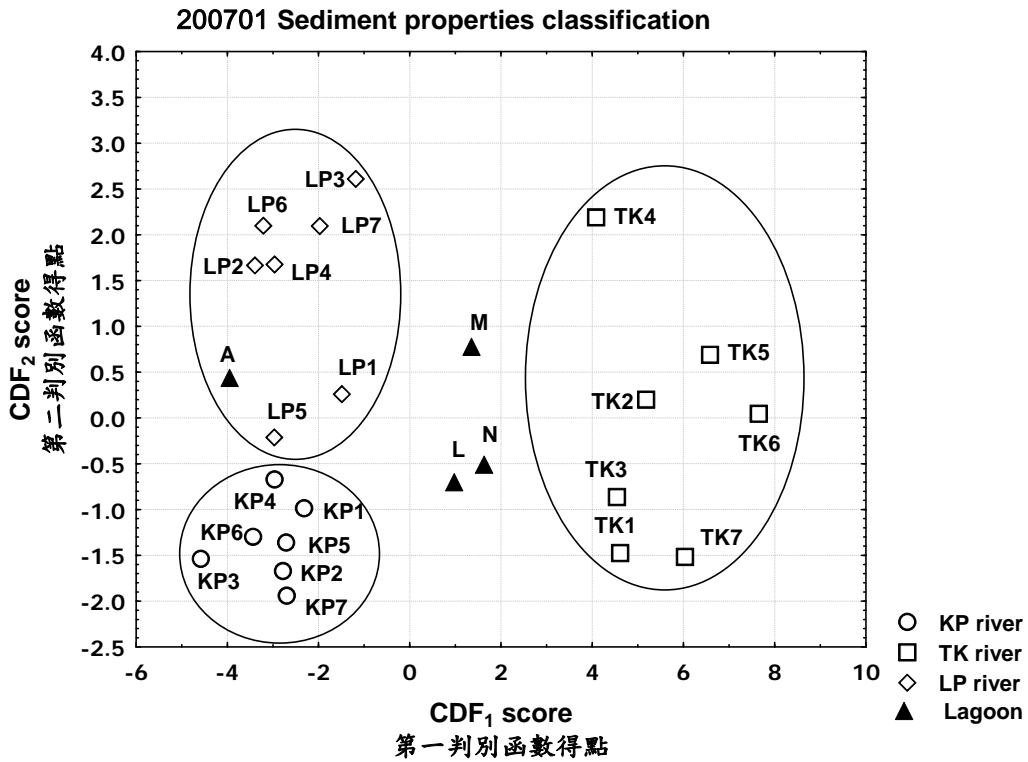


圖 4 2007 年 1 月大鵬灣暨附近三河溪底泥樣點重金屬歸類判定情形

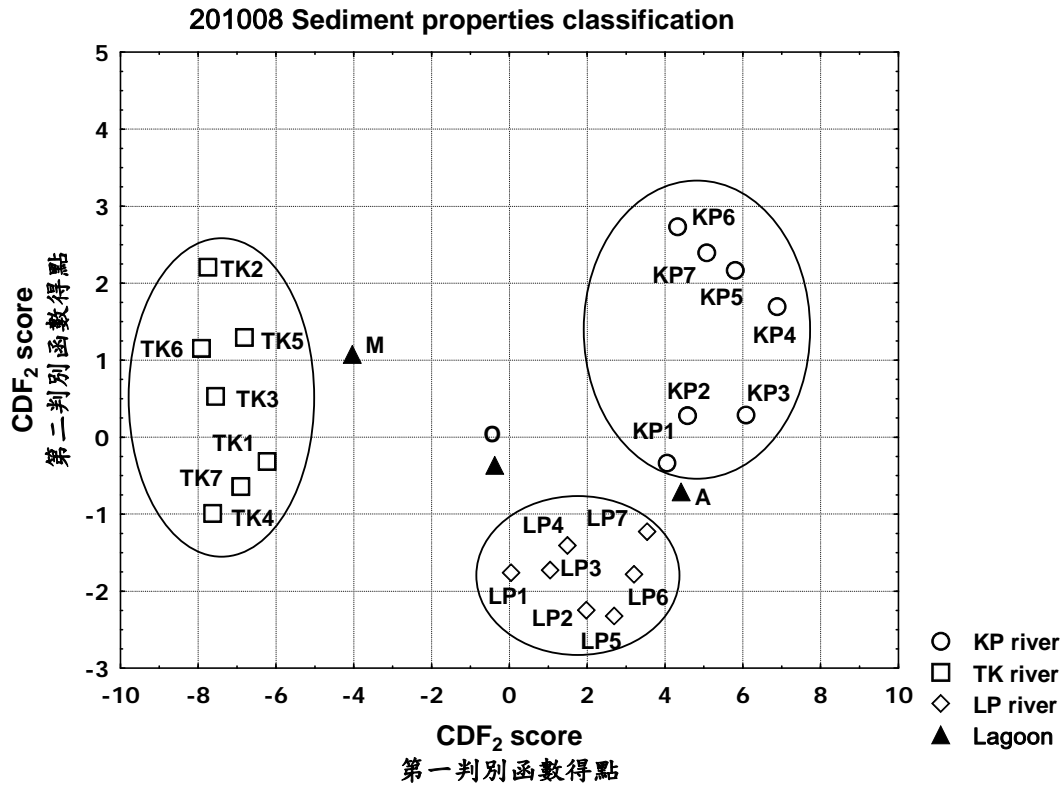


圖 5 2010 年 8 月大鵬灣暨遶近三河溪底泥樣點重金屬歸類判定情形

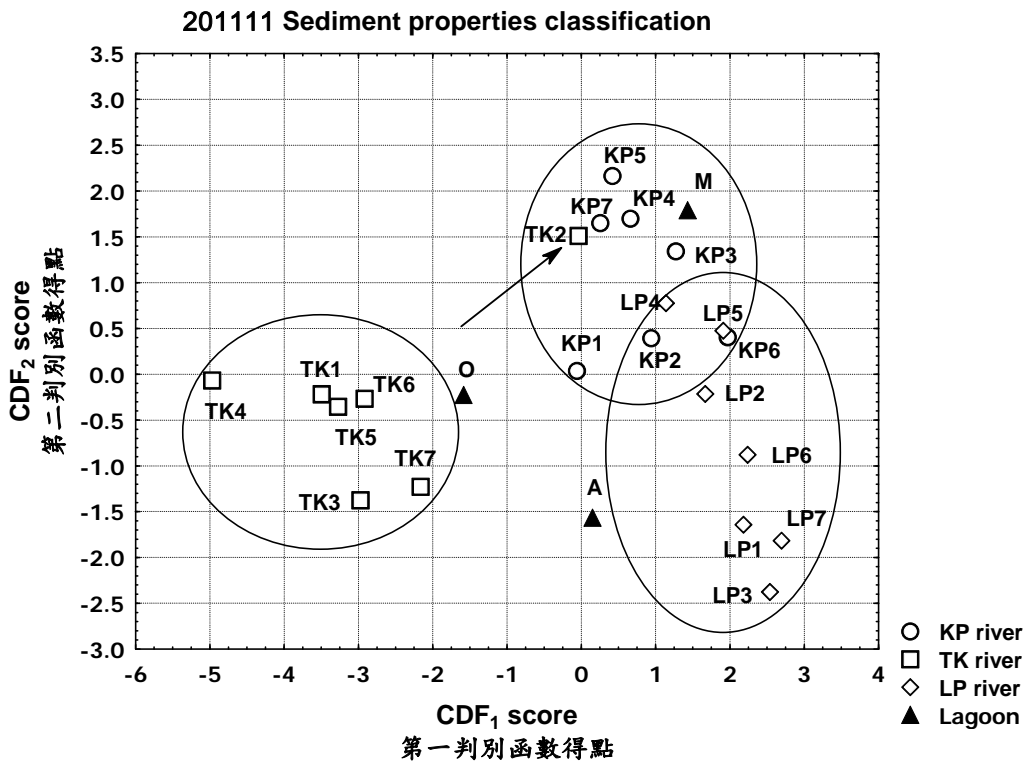


圖 6 2011 年 11 月大鵬灣暨遶近三河溪底泥樣點重金屬歸類判定情形

參考文獻

1. Borovec, Z., Tolar, V., and Mraz, L., Distribution of some metals in sediments of the central part of the Labe (Elbe) river: Czech Republic, *AMBIO*, Vol. 22, pp. 200-205, 1993 ◦
2. Chen, M. H., and Hung, T. W., Cooper, cadmium and lead in sediments from Kaohsiung River and its harbor area, Taiwan, *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 30, NO. 12, pp. 879-84, 1995 ◦
3. Cook, J. A., Andrew, S. M., and Johnson, M. S., Lead, zinc, cadmium and fluoride in small mammals from contaminated grass-land established on fluorspar tailings, *Water Air and Soil Pollution*, Vol. 51, pp. 43-54, 1990 ◦
4. Deniseger, J., Erickson, J., Austin, A., Roch, M., and Clark, M. J. R., The effects of decreasing heavy metal concentrations on the biota of Buttle Lake, *Water Research*, Vol. 24, pp. 403-16, 1990 ◦
5. Fang, T. H., and Lin, C. L., Dissolved and particulate trace metals and their partitioning in a hypoxic estuary: Tanshui estuary in northern Taiwan, *Estuaries*, Vol. 25, pp. 598-607, 2002 ◦
6. Fernandes, H. M., Heavy Metal Distribution in Sediments and Ecological Risk Assessment. The Role of Diagenetic Processes in Reducing Metal Toxicity in Bottom Sediments, *Environmental Pollution*, Vol. 97, pp. 317-352, 1997 ◦
7. Gibbs, R. J., Mechanisms of trace metal transport in rivers, *Science*, Vol. 180, pp. 71-2, 1973 ◦
8. Herr, C., and Gray, N. F., Sampling riverine sediments impacted by acid mine drainage: problems and solutions, *Environmental Geology*, Vol. 29, pp. 37-45, 1997 ◦
9. Liao, S. W., Gau, H. S., Lai, W. L., Chen, J. J., and Lee, C. G., Identification of pollution of Tapeng Lagoon from neighbouring rivers using multivariate statistical method, *Journal of Environmental Management*, Vol. 88, NO. 2, pp. 286-292, 2008 ◦
10. Chung, C. Y., Chen, J. J., Lee, C. G., Chiu, C. Y., Lai, W. L., and Liao, S. W., Integrated Estuary Management for Diffused Sediment Pollution in Dapeng Bay and Neighboring Rivers (Taiwan), *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 173, NO. 1, pp. 499-517, 2011 ◦
11. Sin, S. N., Chua, H., Lo, W., and Ng, L. M., Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong, *Environment International*, Vol. 26, pp. 297-301, 2001 ◦
12. StatSoft, *STATISTICA for Windows*, StatSoft, Inc, Tulsa OK, 2006 ◦