

臺灣西北部觀音藻礁海岸重金屬含量分析

Heavy metal contents of algal reefs in Guanyin coast of northwest Taiwan

劉靜榆

Ching-Yu Liou

行政院農委會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集鎮民生東路 1 號

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

*通訊作者：lcy@tesri.gov.tw

*Corresponding author: lcy@tesri.gov.tw

摘 要

紅藻門之殼狀珊瑚藻類將海水中游離的鈣和碳酸鹽結合，形成固態的碳酸鈣，經不斷的膠結，而建造大型的生物礁體。因為人類長期對藻礁區生物組成和生態重要性的漠視，讓許多污染排入藻礁區，造成造礁藻類死亡，生態系也遭受破壞。本研究針對臺灣西北海岸生長狀況最佳的觀音藻礁區進行調查，範圍自小飯壠溪口南岸至新屋溪口北岸約 2km 的海岸線，藻礁分布之寬度可達 500m，有些礁體厚度可達 3m，退潮時可明顯露出海平面 1m 左右，利用 X-射線螢光光譜儀來檢測樣本重金屬含量，於觀音藻礁區設置 4 條樣線，北海岸淺水灣藻礁區設 2 條樣線，作為對照組，護岸堤內土壤表層 1 處，共計採取 115 樣本，採用多變數分析之分類法及分布序列法，以定量數據來計算樣本之差異，綜合群團分析與主成分分析比較，可以確認幾項主要元素來進一步探討。同為藻礁結構，北海岸淺水灣與西北海岸觀音藻礁內重金屬濃度不同，低潮線與近岸區亦不相同。根據臺灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表，銅、鋅、鉻、砷的含量在西北海岸觀音藻礁偏高。鈣、鋇與礁體成分有關，北海岸淺水灣的鈣純度較高，鋇的含量在觀音藻礁略偏高。其中鈦、鈷、鉛數值異常地高，對照北海岸的樣本，觀音藻礁應有外來的鈦、鈷、鉛元素。

Abstract

Some groups of marine algae, particularly calcareous red algae (Rhodophyta), absorb calcium ions from seawater and generate calcium carbonate in algal bodies, thereby forming large reefs. However, these algal reefs are little known in terms of their biological composition and ecological importance. Many pollutants are discharged into these habitats, causing algae death and destruction of the ecosystem. Guanyin, located in northwestern Taiwan, is in relatively better condition in terms of algae growth rate and coverage. The range of algal reef distribution is about two kilometers starting from the southern part of Hsiaofanli Creek and ending at northern outlet of Hsinwu Creek. The sizes of the algal reefs along those areas are about few to 500 meters wide and one to few meters in depth. To understand heavy metal contents of the algal reef areas, five sampling lines in Guanyin, northwestern Taiwan, and two sampling lines for controlling in Qianshui Bay, north Taiwan, were sampled. In total, 115 samplings of 32 heavy metal contents were measured by X-ray fluorescence. Multivariate statistical analysis, classification and ordination were used for the quantitative analysis of the 26 heavy metal contents principal component analysis and cluster analysis. This has confirmed several main elements for discussion. Heavy metal contents of algal reef in the low tidal zone and near-shore areas were not the same. According to soil heavy metal content standards and classification of Taiwan, copper (Cu), zinc (Zn), chromium (Cr) and arsenic (As) concentration in samplings of Guanyin algal reef were at fifth grades, indicating pollutions. Calcium (Ca) is a reef composition element, and there is high purity calcium in Qianshui Bay, north Taiwan. Strontium (Sr), titanium (Ti), thorium (Th), zirconium (Zr) in reef algae of Guanyin, northwest Taiwan, were higher than the control samplings of Qianshui Bay, north Taiwan, indicating external sources of strontium, titanium, thorium, zirconium elements in Guanyin Coast.

關鍵詞：藻礁、重金屬含量、觀音、淺水灣

Keywords : reef algae, heavy metal contents, Guanyin, Qianshui Bay.

收件日期：2013 年 10 月 22 日

接受日期：2013 年 12 月 24 日

Received: October 22, 2013

Accepted: December 24, 2013

緒 言

有些藻類，特別是紅藻植物門的殼狀珊瑚藻 (crustose coralline algae) 或稱無節珊瑚藻 (non-articulated corallines) 類，可將海水中游離

的鈣和碳酸鹽結合，形成固態的碳酸鈣，還可不斷的膠結建造礁體。雖然珊瑚藻廣泛分布在海洋中，但在全世界海域，以珊瑚藻建造而成之大型生物礁，並不常見。在臺灣的西北海岸有 27km 是藻礁海岸，北海岸及東海岸也有面

積大小不一的藻礁，但累計臺灣目前有藻礁分布的海岸線不到 50km。綜觀臺灣的藻礁大部份礁體早期為珊瑚礁發育，後期則以殼狀珊瑚藻為主(王等 2009)。北海岸從富基漁港西側、德茂海岸、麟山鼻漁港西側、石門鄉的白沙灣東側、八連溪外側海岸、三芝鄉的淺水灣、新埔海岸、淡水鎮下圭柔山溪外側等地皆有現生的珊瑚藻，目前仍可見珊瑚與珊瑚藻交錯重疊生長的情形(劉 2008a；2010；2011a)。延伸至桃園縣，從竹圍漁港西側之大鼎海岸、埔心溪口、新街溪口、老街溪口、富林溪口、大堀溪口等海岸都可以發現藻礁的蹤跡，但因為污染，現在大都不再生長珊瑚藻(劉 2008b；2011b)。其中，老街溪口附近之潮音海岸，是臺灣藻礁面積最大，桃園段的藻礁海岸即依此地名而命名為「潮音石灰岩」(王等 2008)。越往西南，珊瑚藻的比例越高，自小飯壠溪口、新屋溪口到後湖溪口，是臺灣目前現生藻礁露出面積最大(劉 2012a)，靠近桃園永安漁港附近海岸，從最初發育基底就是珊瑚藻，純度幾達百分百(戴等 2009)。

藻礁的生長與分布受底質、地形、鹽度、海浪波動等等因子影響，臺灣西部海岸多為沙灘，基質會被海浪沖刷而滾動，石灰藻不容易生長，難以形成藻礁地形。觀音鄉白玉海濱，即觀音海水浴場附近，根據「臺灣西部之重砂礦牀」調查報告(陳 1953)中提及石灰藻類及貝殼與小礫等混結而成之珊瑚層(coralline bed)，但該報告中的藻礁目前全被覆蓋在沙下。Reineck and Cheng (1986)發表一篇有關藻礁剖面的學術報告，所調查的區域就是臺北八里海岸及桃園內海兩處，報告中將桃園內海的藻礁繪成剖面圖。野外觀察珊瑚藻生長末期，可以看到其周圍鈣化成白色，這鈣化的厚度約為 0.1 cm。以桃園海岸為例，每年若形成 0.1 cm 厚度，被波浪及其他生物作用所消耗之後，大概

就僅剩 0.01 cm，國內外的相關研究顯示藻礁的造礁速率極為緩慢(Dorjes and Cheng 1986；Titschack 2008；許 1993；2010；戴等 2009；劉 2012a)。行政院農業委員會業於 2008 年 8 月 26 日召開藻礁海岸保護區劃設現勘會議，審議委員一致認同藻礁之珍貴性，當場決議根據文化資產保存法，暫列此藻礁海岸為自然保留區。但自列冊追蹤後，桃園縣政府未辦理相關評估及公告，而讓文資法的保護力失效(劉 2012a)。

臺灣西北海岸的藻礁主要分布由桃園大園鄉、觀音鄉至永安鄉一帶，藻礁於退潮時呈現不連續出露，面積不等，分布在低潮線以下的礁體仍在生長。由於許多開發或污染造成這些藻類死亡，桃園北起大園鄉竹圍海岸，南迄觀音鄉大堀溪口，幾乎找不到現生的珊瑚藻，生態系也一一瓦解。桃園觀音鄉小飯壠溪口南岸至新屋溪口北岸的觀音藻礁，約 2km 的海岸線，是臺灣西北海岸珊瑚藻生長狀況最佳的區域，藻礁分布之寬度可達 500m，有些礁體厚度可達 3m，退潮時可明顯露出海平面 1m 左右。

自 2008 年天然氣管線埋設施工，由於開挖之土方未妥善堆置，直接覆蓋在一旁的藻礁上，經潮水沖散後，泥沙覆蓋附近大面積的藻礁(劉等 2007；湯及劉 2008)，工程延宕至 2008 年下半年仍無法順利完工，長期的海床擾動，使整個海域變得混濁，細沙覆蓋在藻礁上，使得珊瑚藻生長狀況極差(劉 2008b；2011b)。

由於臺電公司在小飯壠溪口北岸設置的電廠進水口，為垂直海岸線的導流堤，造成突堤效應，使局部海岸明顯後退，防風林日漸消失，再加上中油天然氣管線埋設施工時又破壞了一長帶的防風林，讓小飯壠溪口南岸不斷內縮(劉 2012a)，中油管線雖完工，但防風林復原因難，該段海岸侵蝕嚴重。臺電及中油出資委請經濟部水利署第二河川局代為發包，於小

飯壠溪口南岸，設置平行海岸線長帶狀之蛇籠護岸堤，工程於 2008 年 8 月 27 日開工，並於 2009 年 5 月 26 日完工。但因同年 8 月間莫拉克颱風侵襲，臺電之長突堤所形成的入射波，造成蛇籠護岸堤被攻擊點破損，從被沖破的損壞處，可看到蛇籠護岸堤內被回填之沙泥是事業廢棄物，堤內物質是否會影響藻礁區？

本研究利用檢驗礁體重金屬含量，試圖瞭解觀音藻礁區污染情形，於 2011 年針對桃園觀音藻礁區進行系統取樣，以 X-射線螢光光譜儀(X-ray fluorescence)進行礁體重金屬濃度分析。對於大多數重金屬元素，傳統之原子吸收光譜法(atomic absorption spectroscopy, AAS)，因為可以精確定量，而被廣泛應用於環境監測(Welz and Sperling 1999; Popescu *et al.* 2009; 陸等 2001)，也包括生物體內元素含量檢驗進行環境監測(Strezov and Nonova 2005; 趙 2000; 郭 1997; 劉 2002)。然而受限於單一元素定量，大批樣品分析時之效率較低(陸 2001)，以 X-射線螢光光譜儀進行環境中元素濃度，其分析法系依據中華民國 95 年 1 月 18 日環署檢字第 0950006426 號公告之標準(環 2006)，在國外也有應用於環境中元素濃度檢測(Tomassini *et al.* 1976; Sauter *et al.* 1979; Muchori 1984; Makundi 2001)。本研究使用型號 XL3t 700 光譜儀來分析礁體中重金屬濃度，此儀器已運用於臺南市曾文溪口、彰化縣大肚溪口、臺中市高美、新竹市香山及臺北市淡水河口等溼地底泥中(劉 2012b; 葉等 2011)等相關研究。本研究針對桃園縣觀音藻礁區採樣，再對照新北市北海岸三芝淺水灣藻礁區之礁體樣本，進行討論。

材料與方法

一、樣線設置及樣本採集

本研究 2011 年 4 月間於觀音藻礁區設置 4 條樣線(sampling lines)，利用退潮時取樣，自藻礁區與沙灘交會處之礁體，垂直海岸線每隔 10m 取一樣本(sampling)，取至最低潮線，可站立操作點，且潮水未淹沒處。圖 1 顯示觀音藻礁區 5 條樣線位置，由第 1 至第 4 樣線分別採取樣本數為 L1:41, L2:11, L3:13, L4:22 個，同年 5 月於觀音藻礁區加設置第 5 樣線(L5)，由東向西每隔 50m 取一樣本，計採取樣本數為 8 個，另設置對照組，於北海岸淺水灣藻礁區設 2 條樣線，每隔 10m 取一樣本，第 6 至第 7 樣線分別採取樣本數為 L6:8, L7:9 個(圖 2)。此外，2009 年新築的護岸堤，因颱風造成破損處，堤內土壤之表層共採取 3 樣本，採樣位置標示於圖 1。

二、樣本處理

因樣本含水時，水份含量將會造成誤差，為減少水分干擾的誤差，所有樣本於採集後，都先經充分乾燥，放置在樣本承裝器中，以塑膠膜遮蓋後再行分析檢測。

三、樣本檢測

每樣本以 X-射線螢光光譜儀進行，每次檢驗前執行校正，以確認儀器準確性。光譜儀之檢測原理是利用放射源照射樣品後所放射出之螢光，經過偵測器的端視窗並轉換成電子訊號傳輸至偵測器，再經由多頻道分析器所收集到之各元素脈衝振幅，一般原子序在 16 以上的元素皆可使用 X-射線螢光光譜儀來檢測和定量。檢測元素分別為鉬 Mo、鋯 Zr、銦 Sr、鈾 U、銣 Rb、釷 Th、鉛 Pb、硒 Se、砷 As、汞 Hg、鋅 Zn、鎢 W、銅 Cu、鎳 Ni、鈷 Co、鐵 Fe、錳 Mn、鉻 Cr、釩 V、鈦 Ti、鈾 Sc、鈣 Ca、鉀 K、硫 S、鋇 Ba、銫 Cs、碲 Te、銻 Sb、錫 Sn、鎘 Cd、銀 Ag、鈀 Pd 等 32 種重金屬。

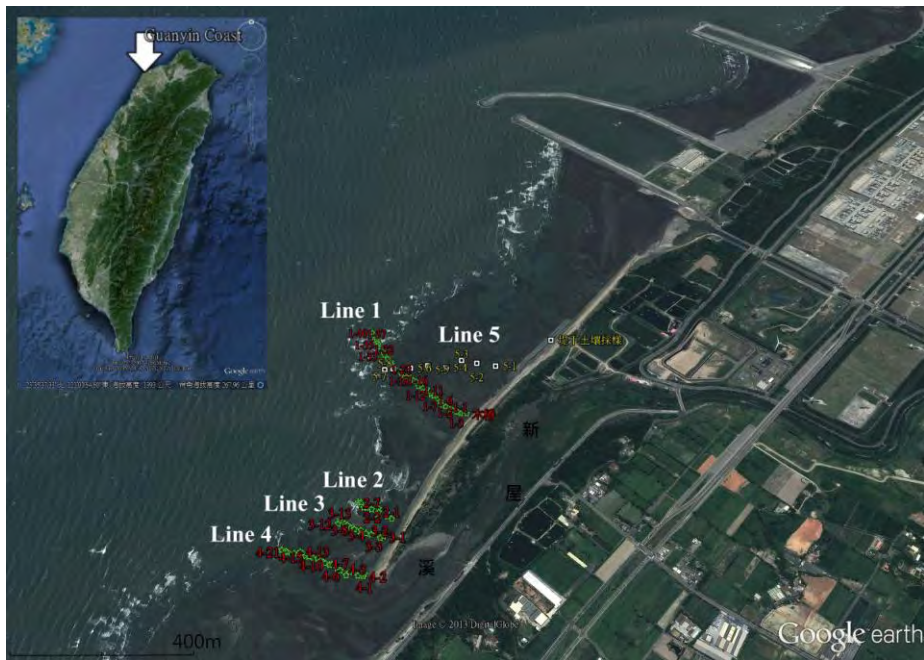


圖 1. 觀音藻礁區樣線及護岸堤採樣位置。

Fig. 1. Sampling lines at algal reefs of Guanyin in northwest coast of Taiwan.



圖 2. 北海岸淺水灣藻礁區樣線位置。

Fig. 2. Sampling lines at algal reefs of Qianshui Bay in north coast of Taiwan.

四、資料分析

原始資料經基本運算後以敘述統計(descriptive statistics)呈現，再將資料經標準化(data standardized)後，計算各元素間之相似性，以檢視各個樣點之重金屬濃度的相關性。再透過多變數分析方式，採用分布序列法(ordination)之主成分分析(principal component analysis, PCA)(Jolliffe 1986)計算各軸之特徵值(eigenvalue)、變數負荷量(variable loading)，並利用及群團分析(cluster analysis)，將經標準化資料計算相異性係數(mean character difference)，將相異性係數由低至高，以平均聯結法(average linkage)中的加權配對法(weighted pair-group method, WPGMA)加以聯結，導出層級系統樹狀圖(dendrogram)，運算以MVSP(Multi-Variate Statistical Package)程式來進行(Kovach 1999)。

結 果

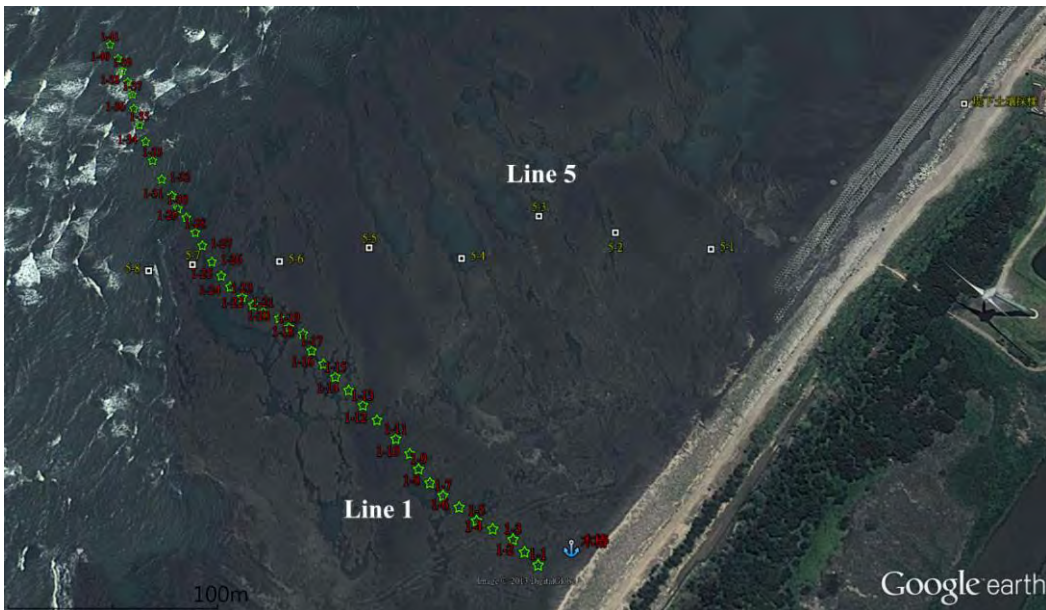


圖 3. 觀音藻礁區第 1 樣線及第 5 樣線之樣本採集位置。

Fig. 3. Samplings of line1 & line5 at algal reefs in Guanyin coast of Taiwan.

一、各樣線之敘述統計

本研究共取得 115 個樣本，進行 32 種重金屬檢測，其中鈾、硒、銅、銀、鉀等 5 種元素在誤差範圍內未檢出，汞僅在 4-5 樣本中驗出 30ppm，餘 26 種元素進入分析，分別依空間分布，第 1 樣線及第 5 樣線之樣本採集位置如圖 3 所示，第 2、3、4 樣線如圖 4。表 1 列出觀音藻礁區及北海岸淺水灣藻礁區所檢測的各樣線摘要統計資料。有些元素如硫、鈷、鎢、碲、錫等偶而驗出，因此變異係數偏高。各樣本中普遍出現，且濃度偏高的有鉛、鈦、鋁、鈣、鉀、鐵、錳，有些可能與環境背景值有關。但其中鉛的濃度高達 3631ppm，對照北海岸的樣本平均 169ppm，差異實在太大，有異常。其他多數元素濃度並非極度超高，也各樣本中普遍出現，之間的變化趨勢較難掌握，更無法直接釐清關連性，將以多變數分析進一步研判。



圖 4. 觀音藻礁區第 2、3、4 樣線之樣本採集位置。

Fig. 4. Samplings of line2, 3, 4 at algal reefs in Guanyin coast of Taiwan.

二、重金屬元素間之相關性

本研究將各樣本內重金屬濃度資料標準化後，分析各元素之相關性(表 2)，鉛、鈦、鈦之相關性分別為 0.76, 0.69, 0.68，鈣、鋇、鈦之相關性分別為 0.94, 0.66, 0.65，鉀、鉍之相關性為 0.8，銅、鋅之相關性為 0.79，鐵、砷之相關性為 0.61，鉻、鈦之相關性為 0.61。

三、主成分分析

利用主成分分析各樣本內重金屬含量，計算各軸之特徵值(表 3)，繪製樣本序列於第 1 軸與第 2 軸的相關位置，2 維空間之分布序列圖顯示於圖 5，前 2 軸的變異量佔總變異量的 35.1%，樣本以三角形代表，前碼數字為採樣線，後碼為樣本編號。本研究第 4 樣線因靠近新屋溪，礁體並非連續分布，在系統採樣下有部分樣本為沙粒，這幾個樣本鈣的數值明顯較

低，與其相關的多項元素連帶影響，所以在進行後續多變數分析時，樣本編號將加以*註記，以利辨別，而這幾個樣本除 4-9 外，主要集中於第三象限，對照組的北海岸樣本，前碼數字 6 和 7 樣線主要集中於第四象限，而與觀音區的低潮線礁體在前 2 軸的排序上較近似，護岸堤內土壤樣本則集中於第二象限，此 3 樣本雖在略同位置所採樣，但分布序列的距離在第 2 軸有拉開，顯示堤內土壤的重金屬含量並不均質。此外計算各樣本的重金屬特徵向量值(eigenvectors)，將各元素於 PCA 軸之分布序列之向量值顯示圖 6，由圖可看出第一象限主要原素有鈦、鈦、鉛、鋅、鉻、銅，第四象限主要原素鈣、鋇、鈦。

表 1. 各樣線重金屬含量敘述統計表
Table 1. Statistics of 26 heavy metal contents in sampling lines

	Mo	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	As	Zn	W	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	S	Ba	Cs	Te	Sb	Sn	
L1	MAX	18.4	3631.4	1914.2	72.1	39.4	33.8	37.2	137.3	77.9	128.5	76.9	242.1	37297.1	3463.7	126.8	106.9	4513.8	151.9	102778.3	10193.7	0.0	260.0	54.3	83.5	21.5	38.6
n=41	MIN	0.0	247.3	388.2	35.5	7.8	11.9	0.0	54.3	0.0	44.3	0.0	0.0	14407.4	368.1	44.0	0.0	1195.6	38.3	28708.6	4624.2	0.0	118.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	AVERAGE	3.7	1167.6	939.7	53.0	17.5	20.6	18.3	98.4	1.9	78.7	9.3	9.8	23601.2	1219.1	73.4	58.7	2722.6	83.9	56944.2	8097.7	0.0	194.7	24.0	2.0	0.5	10.0
	STEDV	5.8	896.7	350.1	6.8	8.5	4.8	7.0	17.6	12.2	20.6	23.0	44.9	5058.2	685.1	18.9	28.4	732.3	25.6	15921.9	1143.1	0.0	34.3	13.4	13.0	3.4	11.7
	Coefficient of Variation	156.8	76.8	37.3	12.9	48.3	23.3	38.4	17.9	640.3	26.1	247.1	456.5	21.4	56.2	25.7	48.4	26.9	30.5	28.0	14.1	0.0	17.6	55.7	640.3	640.3	117.5
L2	MAX	13.9	2154.3	1601.5	61.6	23.8	23.4	43.3	107.5	0.0	79.2	55.6	0.0	36066.0	8142.7	172.6	101.1	4345.6	122.6	80312.9	9999.7	0.0	274.6	45.3	49.5	0.0	23.4
n=11	MIN	0.0	607.5	373.3	49.0	10.6	12.9	19.0	74.9	0.0	45.5	0.0	0.0	19175.6	666.6	54.7	0.0	2261.1	0.0	25499.6	7801.3	0.0	159.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	AVERAGE	2.7	1247.4	719.1	54.6	18.0	18.6	25.6	90.9	0.0	62.0	5.1	0.0	26893.5	2165.9	83.5	57.2	3082.6	71.4	54232.5	8896.2	0.0	222.0	25.9	4.5	0.0	9.0
	STEDV	5.0	542.1	340.0	3.7	4.7	3.3	7.1	11.0	0.0	11.1	16.8	0.0	5524.0	2424.1	35.0	32.4	681.6	43.1	17031.9	662.5	0.0	37.8	17.4	14.9	0.0	10.8
	Coefficient of Variation	182.6	43.5	47.3	6.7	26.1	17.7	27.8	12.2	0.0	18.0	331.7	0.0	20.5	111.9	41.9	56.8	22.1	60.3	31.4	7.4	0.0	17.0	67.1	331.7	0.0	119.0
L3	MAX	0.0	2086.6	1013.6	61.0	26.6	28.4	54.8	106.7	75.0	81.3	60.1	0.0	40209.2	5284.2	125.0	101.0	4561.3	105.8	72035.4	9991.9	0.0	280.2	44.1	0.0	17.8	29.2
n=13	MIN	0.0	560.9	351.8	46.5	12.1	11.3	15.9	77.0	0.0	38.1	0.0	0.0	23156.1	605.5	61.6	0.0	2583.6	36.7	22628.8	7142.6	0.0	160.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	AVERAGE	0.0	1175.7	696.9	54.4	18.2	19.1	28.3	90.2	5.8	59.5	12.9	0.0	29947.8	1738.6	77.0	60.9	3413.6	71.3	46651.6	8965.2	0.0	216.6	25.4	0.0	1.4	15.4
	STEDV	0.0	489.9	195.5	3.8	5.4	4.6	13.1	9.0	20.8	13.5	24.7	0.0	4843.9	1370.8	17.1	38.0	625.1	23.4	13723.9	748.8	0.0	39.1	15.8	0.0	4.9	11.6
	Coefficient of Variation	0.0	41.7	28.1	7.0	29.8	24.3	46.3	9.9	360.6	22.7	191.0	0.0	16.2	78.8	22.1	62.3	18.3	32.8	29.4	8.4	0.0	18.1	62.3	0.0	360.6	75.3
L4	MAX	22.3	2834.0	2545.7	60.1	32.7	32.8	76.7	114.7	0.0	102.8	66.4	210.6	41443.2	6026.7	128.1	148.7	6698.7	173.6	102405.2	8909.8	737.4	300.6	55.3	117.9	45.2	36.5
n=22	MIN	0.0	117.2	71.1	22.9	0.0	9.4	6.5	43.7	0.0	0.0	0.0	0.0	14211.5	147.7	29.9	0.0	981.2	0.0	1093.2	2772.6	0.0	172.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	AVERAGE	3.0	855.0	716.0	49.5	14.6	18.4	19.0	75.3	0.0	44.2	8.9	14.2	23691.5	1409.5	63.4	56.7	2818.2	58.9	40176.9	7079.7	55.7	245.2	36.8	25.7	2.1	18.9
	STEDV	6.2	810.5	748.3	8.5	8.9	6.4	14.4	20.2	0.0	31.3	22.8	48.8	8754.8	1584.8	27.8	37.7	1505.1	53.6	32439.5	1665.2	184.5	39.6	12.6	37.0	9.6	11.7
	Coefficient of Variation	205.0	94.8	104.5	17.1	61.3	34.6	75.5	26.8	0.0	70.7	257.6	345.1	37.0	112.4	43.9	66.5	53.4	91.0	80.7	23.5	330.9	16.1	34.3	143.9	469.0	61.8

L5	MAX	19.6	1297.6	1426.3	58.0	23.7	28.9	34.3	127.8	0.0	143.7	0.0	180.0	28681.0	3649.6	105.8	91.9	3327.4	143.7	71393.2	9206.1	0.0	226.4	38.6	0.0	0.0	21.9	
n=8	MIN	0.0	382.2	636.0	42.2	7.9	12.9	17.6	75.6	0.0	38.0	0.0	0.0	19582.9	848.7	53.2	0.0	2044.4	66.6	43495.9	6942.7	0.0	139.4	0.0	0.0	0.0	0.0	
	AVERAGE	5.4	817.5	1037.6	50.3	15.6	21.4	24.9	98.1	0.0	79.0	0.0	22.5	23190.7	1777.0	73.8	41.2	2600.5	95.6	62145.4	8100.0	0.0	190.2	20.9	0.0	0.0	4.6	
	STEDV	8.0	317.5	261.8	5.2	5.8	6.9	4.8	19.7	0.0	31.3	0.0	63.6	3100.9	1027.0	20.6	36.0	479.6	25.6	10630.3	903.6	0.0	27.1	13.8	0.0	0.0	8.8	
	Coefficient of Variation	147.9	38.8	25.2	10.3	37.4	32.4	19.3	20.0	0.0	39.6	0.0	282.8	13.4	57.8	28.0	87.4	18.4	26.8	17.1	11.2	0.0	14.2	66.0	0.0	0.0	189.2	
L6	MAX	6.2	268.0	1485.7	41.7	10.2	25.5	53.7	69.6	74.6	49.2	58.9	209.6	38740.3	2165.7	56.1	133.0	2219.4	228.6	157976.3	6360.7	982.7	282.3	59.6	58.0	0.0	0.0	27.7
n=8	MIN	0.0	90.5	687.5	22.7	0.0	17.2	14.9	37.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19898.1	671.2	42.3	50.7	1272.3	149.1	100105.6	4644.3	0.0	199.4	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	AVERAGE	1.5	168.3	1108.0	32.9	5.8	20.9	27.8	58.1	9.3	19.5	7.4	26.2	29234.2	1097.9	49.7	78.7	1840.8	187.1	127133.2	5384.3	122.8	229.3	43.7	7.3	0.0	11.1	0.0
	STEDV	2.8	62.7	300.6	5.6	4.8	3.2	13.1	12.6	26.4	21.4	20.8	74.1	6806.0	484.8	5.0	26.9	305.3	27.9	23345.3	697.8	347.4	29.1	10.9	20.5	0.0	12.4	
	Coefficient of Variation	185.2	37.2	27.1	17.0	84.1	15.5	47.3	21.6	282.8	109.5	282.8	282.8	23.3	44.2	10.0	34.2	16.6	14.9	18.4	13.0	282.8	12.7	25.0	282.8	0.0	111.1	0.0
L7	MAX	15.7	266.0	1318.5	55.9	14.9	28.1	37.8	77.7	0.0	56.4	0.0	237.0	48522.5	2317.6	63.1	130.5	3361.2	210.9	147691.3	7705.9	867.2	250.2	54.7	67.5	0.0	0.0	27.0
n=9	MIN	0.0	99.1	449.0	34.5	0.0	17.1	19.7	48.4	0.0	27.7	0.0	0.0	20121.1	740.4	30.3	0.0	1448.8	80.0	69572.5	6360.0	0.0	107.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	AVERAGE	5.6	169.7	892.1	41.3	9.4	21.7	27.8	63.8	0.0	40.2	0.0	26.3	29447.5	1191.8	54.1	69.1	2025.2	156.8	109708.6	6764.7	96.4	202.3	34.2	7.5	0.0	13.1	0.0
	STEDV	5.1	53.7	296.8	6.8	4.3	3.8	5.6	8.5	0.0	9.1	0.0	79.0	8475.0	476.1	9.9	33.6	569.7	44.9	26973.9	420.6	289.1	48.3	15.9	22.5	0.0	10.3	0.0
	Coefficient of Variation	90.9	31.6	33.3	16.4	45.8	17.4	20.3	13.3	0.0	22.8	0.0	300.0	28.8	39.9	18.2	48.6	28.1	28.6	24.6	6.2	300.0	23.9	46.4	300.0	0.0	78.5	0.0
Dyke	MAX	0.0	258.5	85.2	114.8	22.7	29.3	11.8	165.2	56.8	160.1	0.0	182.6	26161.4	475.2	77.9	81.2	4035.3	0.0	4593.8	14450.6	440.4	391.7	61.5	96.1	15.4	25.9	0.0
n=3	MIN	0.0	208.8	81.0	67.6	17.4	25.7	9.6	84.1	0.0	36.2	0.0	0.0	17221.9	131.2	53.5	45.6	3122.2	0.0	932.8	9447.4	0.0	322.1	39.0	45.8	0.0	19.8	0.0
	AVERAGE	0.0	229.1	83.6	94.1	20.5	27.7	10.6	114.6	18.9	78.3	0.0	120.4	20902.2	285.7	67.9	65.2	3670.9	0.0	2750.5	12266.1	146.8	361.1	48.2	67.3	5.1	23.5	0.0
	STEDV	0.0	26.0	2.2	24.2	2.8	1.8	1.1	44.1	32.8	70.9	0.0	104.3	4674.2	174.7	12.8	18.1	483.7	0.0	1830.6	2561.2	254.2	35.6	11.8	25.9	8.9	3.2	0.0
	Coefficient of Variation	0.0	11.4	2.7	25.7	13.7	6.6	10.5	38.5	173.2	90.4	0.0	86.6	22.4	61.2	18.8	27.8	13.2	0.0	66.6	20.9	173.2	9.8	24.4	38.6	173.2	13.7	0.0

表 3. 主成分分析序列軸之特徵值

Table 3. Eigenvalues of 26 heavy metal contents in 115 samplings

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6	Axis 7	Axis 8	Axis 9	Axis 10
Eigenvalues	5.117	4.009	3.024	2.487	1.563	1.349	1.064	1.019	0.915	0.824
Percentage	19.682	15.419	11.629	9.565	6.013	5.187	4.091	3.921	3.518	3.167
Cum. Percentage	19.682	35.101	46.731	56.296	62.309	67.496	71.586	75.507	79.025	82.192

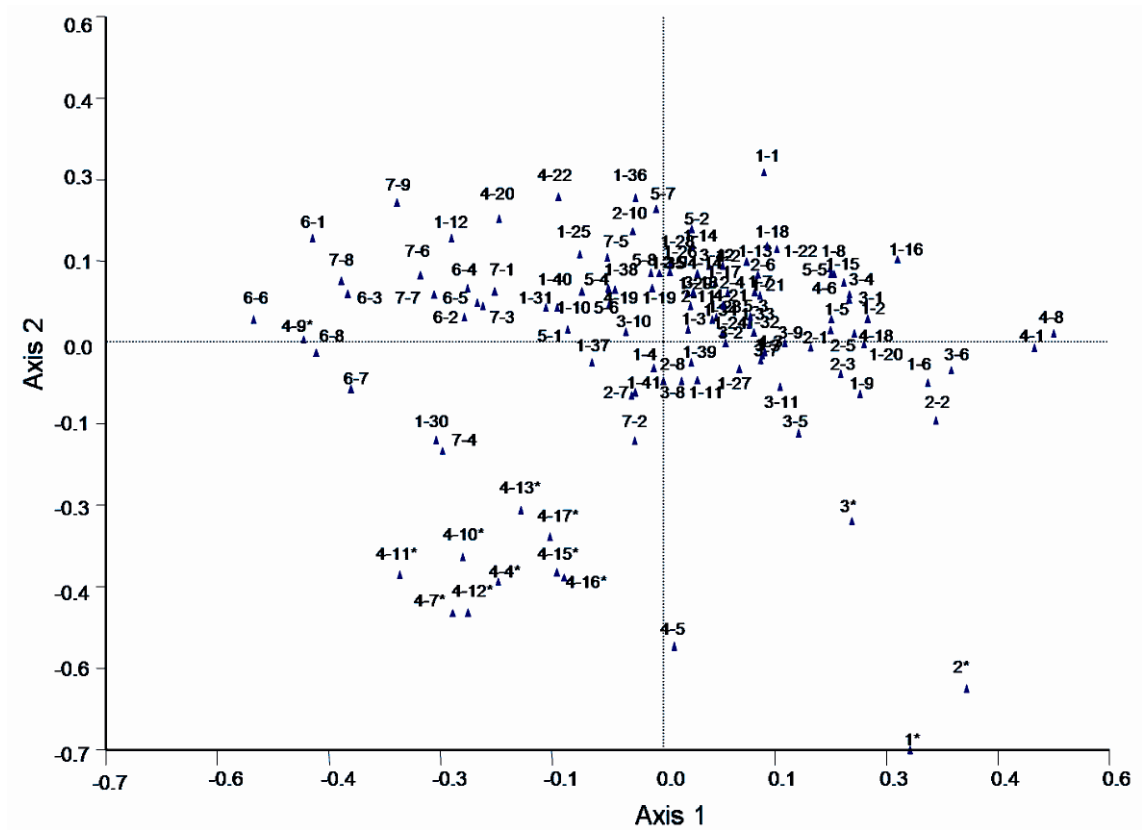


圖 5. 樣本重金屬含量在 PCA 軸之分布序列。

Fig. 5. Ordination of 26 heavy metal contents at 115 samplings along the first two PCA axes.

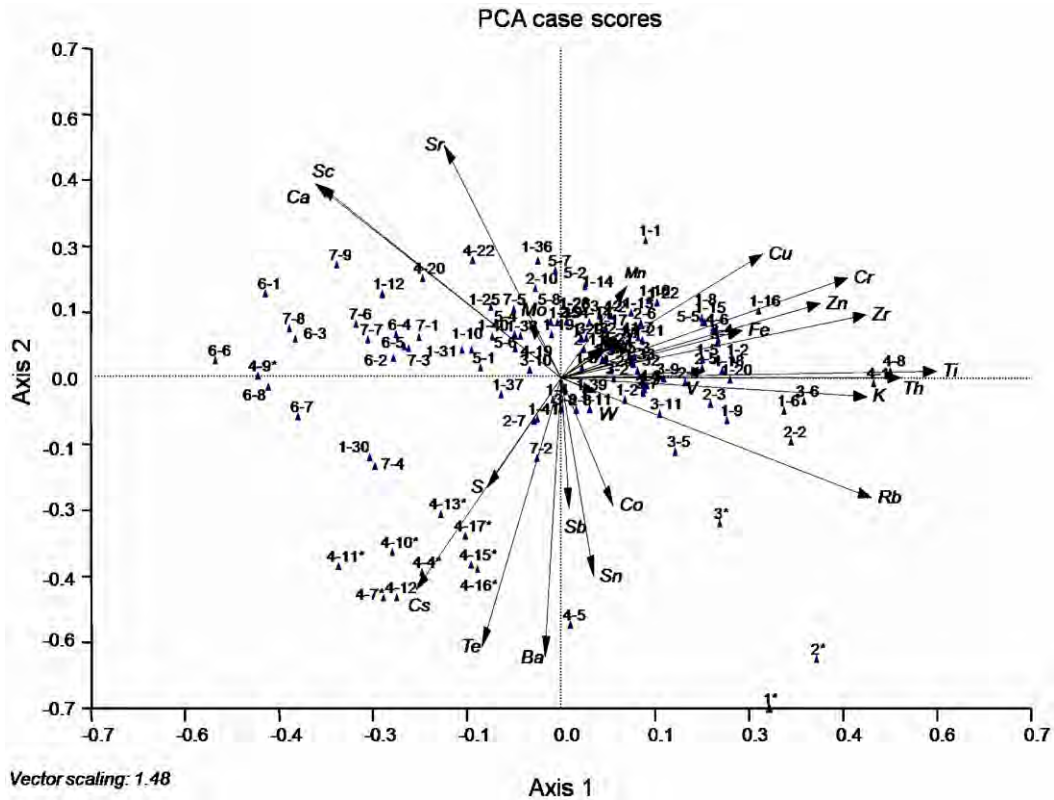


圖 6. 分布序列圖顯示各樣本重金屬特徵向量值。

Fig. 6. Ordination eigenvectors of 26 heavy metal contents at 115 samplings along the first two PCA axes.

四、群團分析

觀音藻礁區 5 條樣線的海域是相通，使樣本之間有連續變異之特性，但由於研究區位於小飯壠溪口南岸至新屋溪口北岸，因此受到匯入淡水處之水質以及護岸堤內物質的影響，造成低潮線與近岸區有頗大的差異。主成分分析的結果雖然將相似性高的樣本及重金屬的序列呈現在 2 軸的對應位置，但並無法很明確的劃分，因此再以群團分析法導出樹狀圖，圖 7 顯示各元素間之相關性，而樣本在不同相異性係數之聯結參考圖 8。本項分析若主觀設下分類之相異性臨界值，可將元素分類(圖 7)，或

將樣本分群(圖 8)，再對照主成分分析的結果，可將各元素或樣本間更明顯區別。

若將相異性臨界值設於 0.96，圖 7 中的元素可分 5 群，對應參考表 1 的數據，第 II 群的元素鈣、銦、鋇優先聯結，鈣、鋇的含量極高，鈣的含量觀音藻礁區最高 102778.3ppm，北海岸最高 157976.3ppm，鋇的含量觀音藻礁區最高 2545.7ppm，北海岸最高 1485.7ppm，但銦觀音藻礁區最高 173.6ppm，北海岸最高 228.6ppm。第 IV 群的元素鈦、鈷、鉛優先聯結，鈦、鉛的含量極高，鈦的含量觀音藻礁區最高 6698.7ppm，北海岸最高 3361.2ppm，鉛的含量

觀音藻礁區最高 3631.4ppm，北海岸最高 268.0ppm，但鈇的含量觀音藻礁區最高 39.4ppm，北海岸最高 14.9ppm。

因為珊瑚藻建礁過程就會吸附多種元素，所以藻礁樣本各種元素含量多寡差異可反應一段時間的累積。分析結果之樣本層級系統樹狀圖顯示，當相異性臨界值設於 0.96，除第 1 樣線的 1-1、1-30、第 4 樣線的 4-5、新築護岸堤的第 3 樣本外全部已聯結，樣本可分 5 群(圖 8)。若將垂直海岸樣線，依據離岸距離二

分法，分為低潮線與近岸區，觀音藻礁區低潮線與近岸區的樣本分別聯結，分屬於第 I 及 II 群的樣本。參考圖 3 及圖 4 的樣本位置，第 I 群的樣本大致上屬於觀音藻礁區近岸區的樣本，第 II 群的樣本代表觀音藻礁區低潮線的樣本，第 III 群的樣本主要聯結北海岸第 6、7 樣線的樣本，第 IV 群的樣本則是觀音藻礁區第 4 樣線的樣本取得沙粒樣本(註記 4-x*)，第 V 群的樣本為觀音藻礁區新築護岸堤內之土壤樣本。

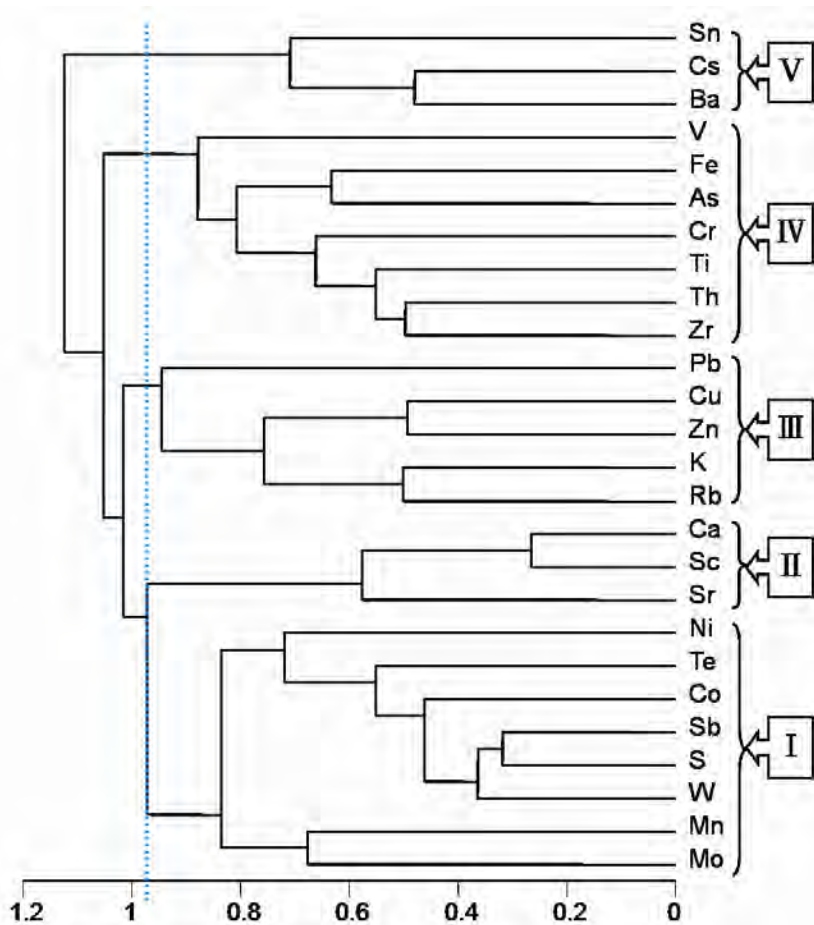


圖 7. 計算 26 種重金屬元素之相異性係數以加權配對聯結法繪出層級系統樹狀圖。

Fig. 7. A dendrogram showing weighed pair-group method with the mean character difference of samplings among 26 heavy metal contents.

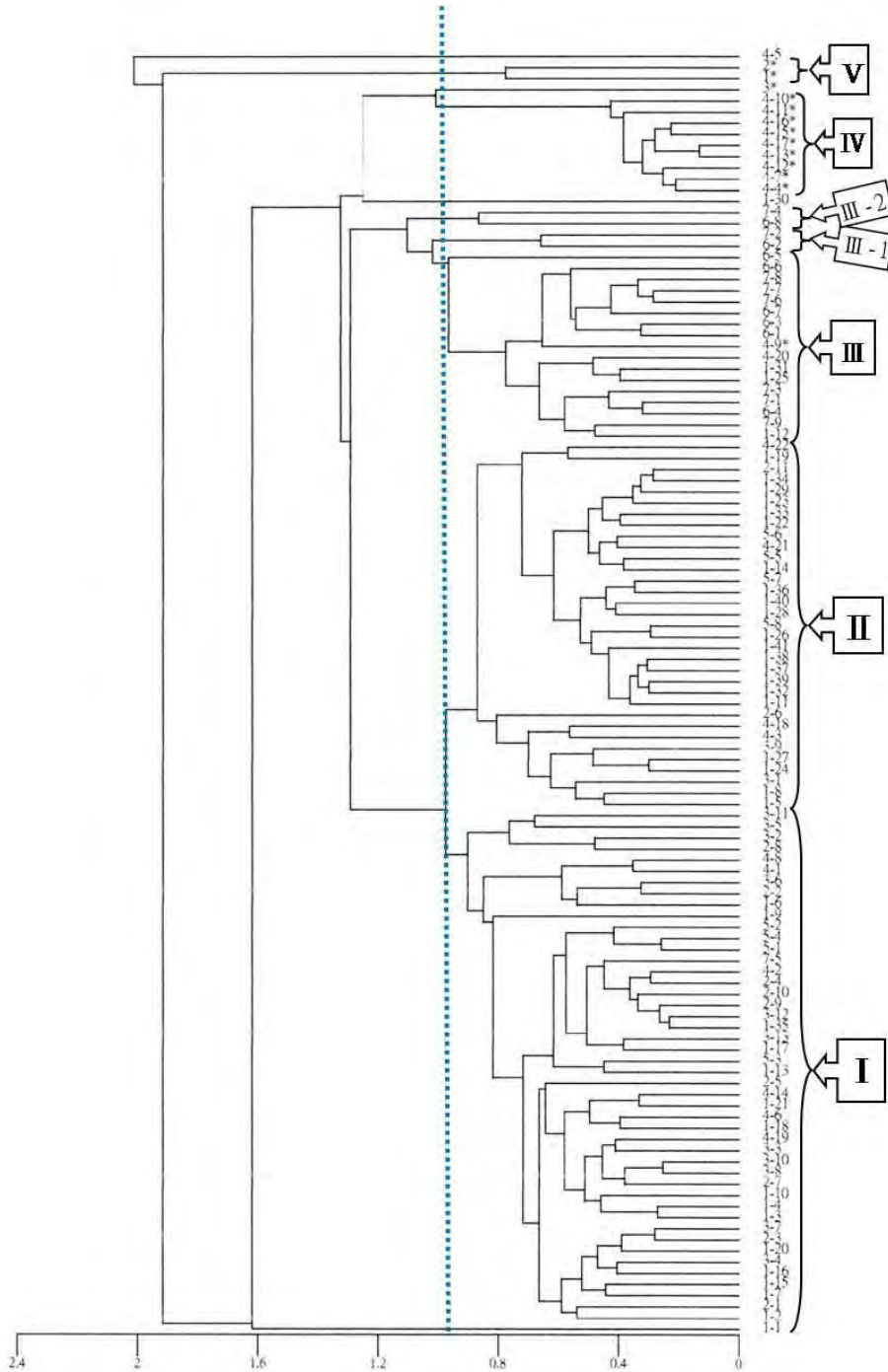


圖 8. 計算 115 個樣本之相異性係數以加權配對聯結法繪出層級系統樹狀圖。

Fig. 8. A dendrogram showing the weighed pair-group method with mean character difference of heavy metal among 115 samplings.

討 論

雖然研究區匯入溪水之水質會造成海岸地區的局部差異，但觀音藻礁區水域是相通，有程度不等的綜合效應，再加上有些元素具關連性，因此若將這些變數一一分離，而採單變數分析，可能並不太適宜(劉 2001；2002；2012b)，綜合群團分析與主成分分析比較，可以確認幾項主成分來進一步探討。由於大部分的元素並沒有在行政院環境保護署(以下簡稱環保署)的監測標準值，因此沒有可遵循的規範，但若要瞭解觀音藻礁海岸是否有外來污染，就只能從最類似的棲地進行比較，藉由交互比較來確認，並推論可能原因。

依據樣本之層級系統樹狀圖的聯結，北海岸第 6、7 樣線的樣本在相異性係數 1.1 處已聯結(圖 8)，其中 1-25、1-31、4-20 屬於觀音藻礁區低潮線，也優先聯結在內，並與近岸區的 1-12 與 4-9* 樣本聯結，這些屬於觀音藻礁區的樣本聯結在北海岸的樣本間，檢視原始數據是由於鉛及與其相關的元素濃度較低。

堤內土壤第 3 樣本(3*)與第 4 樣線沙粒樣本相似性較高，而與其他礁體樣本在相異性係數 1.35 處連結，主要是因為鈣、鋇含量差異大。堤內土壤第 1 及第 2 樣本(1*、2*)雖與第 3 樣本同在破堤處採得，檢視原始數據較屬於傳統污染物，但由相異性係數來看，元素含量的分布並不均質。值得注意的是新屋溪的水會由護岸堤下方滲出進入藻礁區，離破堤處最近的第 1 樣線 1-1，以及受新屋溪出海口影響最多的第 4 樣線中數個樣本，從聯結的順序，再比較元素含量，推論可能已受到堤內物質的影響，應進一步採樣確認。整體而言，雖有些元素在系統取樣的樣線上並非規律遞增或遞減，但可確認為藻礁結構，北海岸與觀音藻

礁內重金屬濃度不同，低潮線與近岸區亦不相同。

北海岸淺水灣藻礁區的鈣純度較高，鈣、鋇與礁體成分有關，特別是礁體的主要元素是鈣，靠近新屋溪的第 4 樣線礁體並非連續分布，因為沙粒樣本鈣的數值明顯較低，也因此第 4 樣線鈣的變異係數(coefficient of variation)較其他樣線高。此外，北海岸的樣本鈣大約都高過 10^5 ppm，觀音藻礁區只有少數高過 10^5 ppm，平均約在 50,000 ppm 上下，依據野外觀察觀音藻礁區表面覆沙嚴重，礁體孔隙中也被填充沙泥，可能受含沙量較高影響，導致鈣含量較北海岸的樣本低。但鋇的含量在 4-20、4-22 檢出 2,546 及 2,387 ppm，且有多個樣本接近 2,000 ppm，因此鋇的含量在觀音藻礁區略偏高。主成分分析分布序列圖之特徵向量值(圖 6)第四象限主要元素鈣、鋇、銦。鈣與銦有高達 0.94 的相關(表 2)，銦是一種柔軟、銀白色的柔軟性金屬，存在於大多數稀土礦，產量很少，用途不明，為何與鈣的相關性如此高，值得探討。鋇是一種銀白色有光澤的鹼土金屬，可用於製造合金、光電管、照明燈，需注意的是鋇-90(^{90}Sr)是一種放射性同位素，雖然本研究所使用的光譜儀並無法檢測放射性鋇，但應列入監測重點，並追蹤來源。

而鈦、鉀、鐵、錳可能與環境背景值有關，樣本間含量略有差異，鈦的數值經常出現 4000 以上的高值，甚至在第 4 樣線還測得 6,699 ppm，較環境背景值高出許多，估計 2,000 ppm 是合理含量的上限(Muchori 1984)。鈦是一種銀白色的過渡金屬，在自然界中分散但量豐的元素，由於重量輕、強度高，又具抗腐蝕性(Gray 2009)，被廣泛的應用，因此在新屋溪口樣本中超高的鈦含量，需要進一步追蹤來源。

鈦的物理、化學性質與鈷相似，依據主成分分析分布序列圖之特徵向量值(圖 6)第一象限主要元素鈦、鈦、鈷，此 3 種元素相關性高(表 2)，在重金屬元素之層級系統樹狀圖(圖 8)中也優先被連結。鈦是核能發電廠重要的燃料，鈷主要在核子反應爐用作燃料棒的護套材料，以及用作抗腐蝕的合金(Gray 2009)，此 3 種元素出現的樣本幾乎一致，相關性高的元素可能是元素間性質相近，也有可能是源於同一污染源。

觀音藻礁區第 1 樣線的樣本出現鈷超過 3000ppm 數值有 2 筆，超過 1000ppm 數值全部集中在近岸區的前 21 個樣本，同樣的情形在第 2、3 樣線也是近岸區的鈷濃度較高，且此 3 樣線的平均值皆超過 1000ppm，也就是垂直海岸線露出礁體中，約有 1/2 面積範圍的鈷濃度較高。第 4 樣線部分沙粒樣點的數值明顯較低，介於 117-363ppm，顯示礁體鈷濃度較沙粒高很多，且近岸區礁體的鈷濃度也多介於 1000-3000ppm。對照北海岸的樣本，雖然也有近岸區的鈷濃度較高的趨勢，但 17 個樣本中鈷濃度只介於 90-268ppm，這說明同樣是藻礁，觀音區應有外來的鈷元素。

銅、鋅、鎳、砷、鉛是環保署有規定標準的元素(環境保護署 2000; 2001; 2006; 2010; 2011)，也是各樣本中普遍出現，且樣本間有些差異。觀音藻礁的銅含量與北海岸的樣本差異較大，反與護岸堤內土壤濃度較有關，堤內土壤銅 160ppm，根據臺灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表(環境保護署 2000)，銅高於 100ppm，屬於第五級，表示土壤中有外來重金屬介入，應列為重點監測地區，並進行相關工作。在觀音藻礁區第 1 樣線及第 5 樣線分別有 5 個及 1 個樣本超過 100ppm，比較北海岸的樣本，最高為 56ppm，第 6 樣線的平均低於

20ppm，觀音藻礁區顯然偏高。根據環保署發布之土壤污染物之監測項目及監測標準值(環境保護署 2011)，砷的監測標準值 30ppm，大多數樣本超標，第 2、3、4 樣線都有很高的值，新屋溪口的樣本明顯偏高，須進一步追蹤。再根據此標準值，鎳的監測值 175ppm，觀音藻礁區雖未超標，但很接近，都屬於污染物等級，且比北海岸的樣本高出許多；若根據臺灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表(環境保護署 2000)，鎳高於 16ppm，即屬於重污染的第五級，因此觀音藻礁區鎳不但偏高，還散布於整片觀音藻礁區的近岸區。

結論與建議

觀音藻礁海岸礁體中鈷濃度明顯偏高，是否受到 2008 年中油管線施工影響，於施工期間重型機具展磨輪所殘留的物質，或是 2009 年完工的蛇籠護岸，因堤內所回填的廢棄物被溶出，有待進一步釐清。目前中油管線施工已完成，不會有新的污染源，但護岸堤正不斷的下沉，且破堤處持續增加，新屋溪的水日夜流經這些廢棄物，將有毒物質溶出，帶到藻礁海岸，再加上新引進的高科技工業，排出多種稀有重金屬，造成新屋溪口污染加劇，物種明顯減少。

目前國內環境污染之研究仍以土壤重金屬為主，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(歐 2000；于及林 2000)，前人的研究中發現環境重金屬量與生物體內之含量有相關(Strezov and Nonova 2005；劉 2002；趙 2000；歐 2000；郭 1997)。環保署有規定標準的元素是原本傳統工業的污染，環保署尚未有稀有重金屬相關法規，對於

沒有規定標準的元素，因沒有任何罰則，可直接排放，更未知其對人體的影響。居民到海邊來採集生物食用是民眾的權力，但是若這是一個遭受污染的區域，食用這裡的海產有不可預知的風險時，政府應善盡告知的義務，並做好防範措施。

引用文獻

- Dorjes, J. and Y. M. Cheng 1986. Geology and biology of calcareous algal reefs and boulder deposits on tidal flats of Taiwan II. The macrolithobenthos. *Senckenbergiana Maritima* 17(4-6): 201-208.
- Gray, T. 2009. *The Elements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe*. Black Dog & Leventhal Publishers, p. 240.
- 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, U.K.
- Makundi, IN. 2001. A study of heavy metal pollution in Lake Victoria sediments by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence. *Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering*, 36(6): 909-921.
- Muchori, M. D. 1984. Heavy metal analysis of sewage sludge by x-ray fluorescence technique and the environmental implications. College of Biological and Physical Sciences, University of Nairobi.
- Thesis.
- Popescu, I. V., C. Stihil, GH. V. Cimpoca, G. Dima1, GH. Vlaicu, A. Gheboianu, I. Bancuta, V. Ghisa, and G. State. 2009. Environmental samples analysis by Atomic Absorption Spectrometry (AAS) and Inductively Coupled Plasma-optical Emission Spectroscopy (ICP-AES). *Romanian Journal of Physics*, 54(7-8): 741-746. Bucharest.
- Reineck, H. E. and Y. M. Cheng. 1986. Geology and biology of calcareous algal reefs and boulder deposits on tidal flats of Taiwan. I. Tidal flats of Neihai and Pali, NW-coast of Taiwan. *Senckenbergiana Marit*, 17(4-6): 187-200.
- Strezov, A., and T. Nonova. 2005. Environmental monitoring of heavy metals in Bulgarian Black Sea green algae. *Environmental Monitoring Assessment*, 105(1-3): 99-110.
- Sauter, L., D. van der Ben, and R. Van Grieken, 1979. Trace analysis of estuarine brown algae by energy-dispersive X-ray fluorescence. *X-Ray Spectrometry*, 8(4): 159-163.
- Tomassini, F. D., K. J. Puckett, E. Nieboer, D. H. S. Richardson and B. Grace. 1976. Determination of copper, iron, nickel, and sulphur by X-ray fluorescence in lichens from the Mackenzie Valley, Northwest Territories, and the Sudbury District, Ontario. *Canadian Journal of Botany*, 54 (14): 1591-1603
- Titschack, J., C. S. Nelson, T. Beck, A. Freiwald and U. Radtke. 2008. Sedimentary evolution

- of a Late Pleistocene temperate red algal reef on Rhodes, Greece: correlation with global sea-level fluctuations. *Sedimentology*, 55: 1747-1776.
- Welz, B. and M. Sperling. 1999. *Atomic Absorption Spectroscopy*. Weinheim 3., Wiley-VCH, p.941.
- 于迺文、林正鏘。2000。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。
- 王士偉、戴昌鳳、謝凱旋。2008。桃園地區全新世礁灰岩之地質調查。第5屆臺灣地層研討會。經濟部中央地質調查所, 第150頁。
- 王士偉、戴昌鳳、謝凱旋、米泓生。2009。桃園全新世『潮音石灰岩』之研究。中國地球物理學會與中華民國地質學會98年年會暨學術研討會。中正大學地球與環境科學系。
- 郭崇義。1997。臺灣東北部海域重金屬含量及生物指標測試方法之研究(一)魚體重金屬含量分析方法驗證及河川指標魚種重金屬含量之分析。中山醫學院公衛系, 44頁。
- 湯曉虞、劉靜榆。2008。錯失良機。大自然, 98: 24-31。
- 陳培源。1953。臺灣西部之重砂礦牀。臺灣省地質調查所彙刊, 4: 21-50。
- 陸瑩、馮金源、劉沛宏、吳芳娥、周劍平。2001。重金屬檢測技術--排放管道中重金屬檢測。研究報告行政院環境保護署委託工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心。
- 趙大衛。2000。貝類生物指標在環境變遷及污染評估上的應用。環境教育季刊, (42): 67-76。
- 葉玉珍、莊士群、潘復華、鄭先佑、蔡坤龍、高月裡、曹明浙。2011。以XRF直接定量底泥中鉛鎳鋅銅砷及鉻成分之檢測技術。環境分析化學研討會。
- 歐育憲。2000。土壤中重金屬污染物之生物有效性意義研究。逢甲大學環境工程與科學研究所碩士論文。
- 劉靜榆。2001。大肚溪口地區環境監測研究。國立臺灣博物館年刊, 43: 1-25。
- 劉靜榆。2002。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。特有生物研究, 4(2): 9-29。
- 劉靜榆。2008a。臺灣藻礁之特性與分布。自然保育季刊, 62: 52-55。
- 劉靜榆。2008b。桃園藻礁海岸之危機與轉機。全球暖化永續生態研討會。行政院農業委員會特有生物研究保育中心、臺北縣政府農業局主辦。
- 劉靜榆。2010。走訪臺灣西海岸(I)-北桃竹苗段沿海生態介紹。自然保育季刊, 70: 67-78。
- 劉靜榆。2011a。揭開藻礁的神秘面紗(上)。綠野, 29: 4-13。
- 劉靜榆。2011b。揭開藻礁的神秘面紗(下)-桃園藻礁的危機。綠野, 30: 4-11。
- 劉靜榆。2012a。搶救臺灣藻礁-消失中的生命聚寶盆。行政院農業委員會特有生物研究保育中心, 52頁。
- 劉靜榆。2012b。曾文溪口臺灣招潮棲地特性研究特有生物研究, 14(1-2): 1-25。
- 劉靜榆、陳添水、林宗政。2007。桃園觀音藻礁海岸之危機與轉機。世界海鳥保育會議暨臺灣生態環境保育研討會, 第21-26頁。國立彰化師範大學、彰化縣政府及臺灣國際觀鳥協會主辦。

環境保護署。2000。土壤及地下水污染整治法
公布施行後過渡時期執行要點-臺灣地區
土壤重金屬含量等級區分表。環署廢字第
0024062號公告。

環境保護署。2001。土壤及地下水污染整治法
施行細則。環署水字第0064642號公告。

環境保護署。2006。土壤和底泥中元素濃度快
速篩選方法－攜帶式X-射線螢光光譜儀
分析法。環署檢字第0950006426號公告。

環境保護署。2010。土壤及地下水污染整治
法。總統華總一義字第09900024211號令
公告。

環境保護署。2010。土壤及地下水污染整治法
施行細則。環署土字第0990118529號公
告。

環境保護署。2011。土壤污染監測標準。環署
土字第1000008485號公告。

戴昌鳳、王士偉、張睿昇、鄭安怡。2009。桃
園觀音藻礁生態解說手冊。臺灣中油股份
有限公司液化天然氣工程處，93頁。

