

台灣西北部桃園觀新藻礁與北海岸藻礁重金屬含量分析

Heavy metal contents in algal reef coasts in Taoyuan Guansin of northwest Taiwan and north coast of 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

為瞭解台灣西北部海岸桃園觀音、新屋藻礁污染情形，確認污染物的來源位置及擴散方向，針對桃園市觀音區及新屋區藻礁海岸，共 10 條樣線設置 28 處採樣站，對照組設置於台灣新北市石門區及三芝區藻礁海岸，設置 8 處採樣站。分別於西北部桃園海岸取得 84 樣本，以及北海岸取得 24 樣本，各樣本以 X-射線螢光光譜儀進行 32 種重金屬濃度分析，採用多變數分析以定量數據來計算樣本之差異，依據主成分分析之分布序列圖及群團分析樹狀圖的結果，釐清各元素之關連性後，針對特定元素討論重金屬濃度在空間分布現象。鈦、鋯、鈮、鐵、鈾雖濃度不同但樣本間的變化趨勢有高度相似，鈣、鋇、釷是另一群高度相似性的元素，此外，鋇、鉍、碲、銻、錫含量雖不豐富，但有些屬放射性同位素，在樣本間的變化相似，顯示樣本間元素來源可能一致，應列入監測。桃園觀新藻礁的鋯濃度高達 4,462 ppm，平均值 747 ppm，對照北海岸的藻礁樣本最大值 181 ppm，平均值僅 78 ppm，特別是觀音近岸區鋯濃度明顯較高的趨勢，至離岸 250 m 處仍有約 1,800 ppm 的高值，顯示鋯的來源以陸地為主；觀新藻礁鈦濃度高達 5,735 ppm，對照北海岸的樣本最大值 1,883 ppm；觀新藻礁鋇濃度高達 4,622 ppm，對照北海岸的樣本最大值 1,808 ppm。觀新藻礁鋇、鈦、鋯含量對照北海岸的樣本差異實在太大，確實有外來的污染。推論人工蛇籠護岸堤內填土方及小飯壠溪、新屋溪、後湖溪、社子溪皆有污染物匯入，而堆置於新屋區永安漁港南側海岸的石門水庫淤泥，可能也有污染物，應針對可能之來源加強查核。

Abstract

This study was conducted to investigate heavy metal contents in Guan-sin algal reefs coast of Taoyuan, northwest Taiwan, in order to confirm the location and direction of pollution sources. Twenty-eight stations were set up in ten sampling lines in Guanyin District and Sinwu District, Taoyuan City. Eight sampling stations were set up as controls in Shimen District and Sanzhi District, New Taipei City, north Taiwan. In total 84 samples were obtained from the studied northwest region and 24 from the north coast region. Every sample was measured by X-ray fluorescence for 32 heavy metal contents. Multivariate statistical analysis, Ordination of principal component analysis and dendrogram of cluster analysis were used for the quantitative analysis. This has confirmed several main elements for discussion. Concentrations of Titanium (Ti), zirconium (Zr), thorium (Th), iron (Fe), vanadium (V) were different, but trends of change between samples were highly similar. Calcium (Ca), strontium (Sr), scandium (Sc) were another group of highly similar elements. In addition, barium (Ba), cerium (Cs), tellurium (Te), antimony (Sb), tin (Sn) were low in concentration, but some radioisotopes were similar in the changes of element concentration, indicating possible sources of elements consistent between samples. These elements should be included in monitoring efforts. Zirconium concentration in Taoyuan Guan-sing algal reefs reached 4,462 ppm and on average it was 747 ppm. In comparison, the maximum value in north coast algal reefs was 181 ppm, and on average it was only 78 ppm. Especially in the coastal areas of Guanyin, zirconium was still in high concentration of 1,800 ppm at 250 m offshore, showing land-based sources of zirconium. Titanium was 5,735 ppm in Guan-sing algal reefs coast, and the maximum in north coast was 1,883 ppm; Strontium was 4,622 ppm, and the maximum value was 1,808 ppm in the north coast. Strontium, titanium, zirconium contents were higher than that in the control samplings of north coast, showing external contamination. Evidently pollutants have infiltrated the earthwork fillings in artificial snake-cage dyke and Hsiaoanli Creek, Hsinwu Creek, Houhu Creek and Shetzu Creek. Shihmen Reservoir silt piled on the beach of Yongan Fishing Port, and Sinwu District, Taoyuan might also contain pollutants. Further stringent investigations should be conducted to examine possible sources of pollution.

關鍵詞：觀新藻礁、台灣西北部、重金屬含量、桃園市、北海岸

Key words: Guansin algal reefs, northwest Taiwan, heavy metal contents, Taoyuan City, north coast.

收件日期：2014年05月19日 接受日期：2014年09月29日

Received: May 19, 2014

Accepted: September 29, 2014

緒 言

在台灣西北部的桃園海岸，從竹圍漁港到永安漁港約有 27 km 是藻礁地形，於退潮時呈現不連續出露(Reineck and Cheng 1986; Dorjes and Cheng 1986; 王等 2008; 劉 2008a; 劉等 2007)。但受到海湖坑口、大園、觀音工業區排廢水影響，北起大園鄉竹圍海岸，南迄觀音鄉大堀溪口，殘存的藻礁上幾乎找不到現生的珊瑚藻(劉 2012a)。目前尚存觀音鄉保生村及新屋鄉永興村、永安村的藻礁海岸仍在發育中，是台灣面積最大藻礁地形，也是桃園海岸生物量最高的區域(劉 2013, 2011a, 2008b)。

自小飯壠溪口南岸至新屋溪口北岸，就是所稱的觀音藻礁，原與觀塘工業區的藻礁是連續的，非常平坦寬闊，因台電大潭電廠的進水及排水需要，在海岸築了幾道大型垂直堤防，將觀音藻礁從中攔腰截斷(劉 2011b)；自新屋溪口至後湖溪口東北側，就是所稱的新屋藻礁，目前仍有現生的珊瑚藻，礁體分布較不連續，藻礁面積僅次於小飯壠溪至新屋溪口間，永安漁港北側礁體從形成初期就是以無節珊瑚藻為主，是全島最純的藻礁海岸(王等 2009; 戴等 2009)，這兩段海岸合稱觀新藻礁。台灣現生無節珊瑚藻優勢的地點，除了桃園外，新北市的石門、三芝區的藻礁海岸亦在發育中，但北海岸向外分布的寬度小於桃園的藻礁。

綜觀台灣藻礁分布，常是小型河川的出海口，因為河川帶來泥沙，造成附近海水濁度提高，混濁的水域限制了珊瑚蟲的生長，相較之下，無節珊瑚藻對水質的要求較低，於是無節珊瑚藻就取得生長優勢，形成大型礁體(劉 2010, 2013)。桃園位於台灣西北海岸，由於地形的影響，沿岸流呈東北西南向，若溪流出海口的流速不夠強，就會被沿岸流所夾帶的沙或

石礫堵住，溪流出海口會向南偏折，有些地區就形成沙嘴。桃園觀新藻礁之小飯壠溪口、新屋溪口及後湖溪口都是這類型的溪流(劉 2013)，這些溪流至海域的方式並非直接排入海中，通常水流會呈小水系的型態，在向南偏的海岸段，滲流過沙丘下方進入大海。溪水入海的過程中，若受到污染，包括匯流入的污水或滲流時溶出的毒物，皆會影響藻礁區的生態。依據 2011 年觀音藻礁海岸礁體重金屬含量分析(劉 2014)，指出觀音藻礁海岸礁體中鉛濃度明顯偏高，且在新屋溪口樣本中檢出超高的鈦含量。為瞭解桃園市觀音及新屋區藻礁污染情形，試圖進一步追蹤，針對桃園觀音及新屋藻礁區進行取樣，以確認污染物的來源位置及擴散方向。

重金屬濃度分析有原子吸收光譜法(Atomic Absorption Spectroscopy)、感應耦合電漿法(Inductively Coupled Plasma)及 X-射線螢光法(X-ray fluorescence)三大類，其中原子吸收光譜法適用於單一元素，大批樣本定量分析時之效率低(陸 2001)，感應耦合電漿原子發射光譜法可同時測得樣本中多種元素，但在進行測定前樣本需經酸消化處理，而 X-射線螢光法具有快速、非接觸、非破壞性及多元素分析等特點，逐漸廣為應用。

本研究依據中華民國 95 年 1 月 18 日環署檢字第 0950006426 號公告之標準(環 2006)以 X-射線螢光光譜儀(X-ray fluorescence spectrometry)進行礁體重金屬濃度分析，利用 X-射線螢光光譜儀發射之初級 X-射線(primary X-ray)作為激發源(primary source)照射樣本，樣本吸收 X-射線的能量而激發，產生次級 X-射線(secondary X-ray)，放出樣本所含元素的螢光光譜，經由分光晶體分光後，分析各不同波長的強度，即可得知樣本中組成元素的種類與

含量(Jenkins 1999)。本研究使用型號 XL3t 700 光譜儀，分析樣本中重金屬濃度，筆者已運用此儀器於台南市曾文溪口、彰化縣大肚溪口、新竹市香山等溼地底泥及藻礁海岸等地進行相關研究(劉 2012b, 2014)，國內外也有類似的研究進行(Makundi 2001; Muchori 1984; Sauter *et al.* 1979; Tomassini 1976; 葉等 2011; 楊等 2012)。近年來新興科技工業所產生的多種稀有重金屬，其排放標準尚未明列於行政院環境保護署的法規中，本研究針對桃園市觀音、新屋藻礁區及新北市石門區的富貴角以西至三芝區古庄海岸間藻礁採集樣本，為確認是否污染，研究中除參考環保署的法定標準外，並進行桃園市及新北市藻礁海岸之採樣礁體檢測值對照討論。

材料與方法

一、樣線設置及樣本採集

本研究自 2012 年 4 月至 10 月間於桃園市觀音區藻礁設置 4 條樣線(sampling lines)，新屋區設置 6 條樣線，利用退潮時取樣，自沙灘交會處露出之礁體計算，垂直海岸線至最低潮線，即可站立操作點，且潮水未淹沒處，其礁體寬度，達 100m 設置 1 處採樣站(sampling station)，寬度達 200m 設置 2 處採樣站，寬度超過 300m 設置 3 處採樣站，各採樣站分別採取 3 重複樣本(sample)。

圖 1 顯示 2012 年桃園市觀音區及新屋區 9 條藻礁樣線位置，觀音區自小飯壠溪口南岸至新屋溪口北岸約 2 km 的海岸線，由北向南設置第 1 至第 4 樣線(L1-L4)；新屋區自新屋溪口至後湖溪口，由永安漁港北側，由南向北設置第 5 至第 9 樣線(L5-L9)。圖 2 顯示 2011 年於觀音藻礁區設置 4 條樣線的設置，2011 年取樣

方式為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(圖 2)，作為重金屬鉛濃度變化之參考。另於新屋區永安漁港南側沙灘(圖 3)，平行海岸線設置第 10 樣線(L10)。2012 年桃園市觀音區及新屋區之樣線 L1-L10 各有 2-3 處的採樣站，各採樣站分別採取 3 重複樣本。本研究於台灣西北海岸之桃園市觀音及新屋區 10 條樣線之 28 處採樣站，各採 3 樣本，共取得 84 個樣本。

對照組設置於新北市石門區富貴角西側之富基、白沙灣、麟山鼻，以及三芝區的大坑溪口、淺水灣、古庄海岸等藻礁區，由西向東共設置 8 處採樣站(圖 4)，針對礁體樣本採集，各採樣站分別採取 3 重複樣本，共取得 24 個樣本。

二、樣本處理及檢測

樣本經充分乾燥，放置在樣本承裝器中，以塑膠膜遮蓋後再行分析檢測。每樣本以 X-射線螢光光譜儀進行，每次檢驗前執行儀器校正，以確認其準確性。檢測元素分別為鉬 Mo、鋯 Zr、銦 Sr、鈾 U、鉀 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、鈦 V、鈦 Ti、鈾 Sc、鈣 Ca、鉀 K、硫 S、鋇 Ba、銻 Cs、碲 Te、銻 Sb、錫 Sn、鎘 Cd、銀 Ag、鈀 Pd 等 32 種重金屬。

三、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，以檢視各個樣本重金屬濃度之相關性。再採用分布序列法(ordination)之主成分分析(principal component analysis, PCA) (Jolliffe

1986)計算各軸之特徵值(eigen value)、變數負荷量(variable loading)，繪出分布序列圖，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)，依據分布序列及樹狀圖的結果，釐清各元素之關連性後，針對特定元素討論重金屬濃度在空間分布現象。本研究之運算及繪圖以SPSS(Statistical Product and Service Solutions)程式及MVSP(Multi-Variate Statistical Package)程式來進行(Kovach 1999)。



圖 1. 台灣西北桃園海岸觀新藻礁 9 條藻礁樣線(L1-L9)之採樣站位置，2012 年。

Fig. 1. Stations of nine algal reef sampling lines (L1-L9) on the Guan-sing algal reef coasts in Taoyuan of northwest Taiwan, 2012.



圖 2. 台灣西北桃園海岸觀音藻礁 88 個樣本採集位置，2011 年。

Fig. 2. Eighty-eight sampling locations in Guanyin algal reefs coast in Taoyuan of northwest Taiwan, 2011.



圖 3. 台灣西北桃園海岸新屋區永安漁港南側沙灘樣線(L10)位置，2012 年。

Fig. 3. Stations of beach sampling lines (L10) on the south side of Yongan Fishing Port in Taoyuan of northwest Taiwan, 2012.

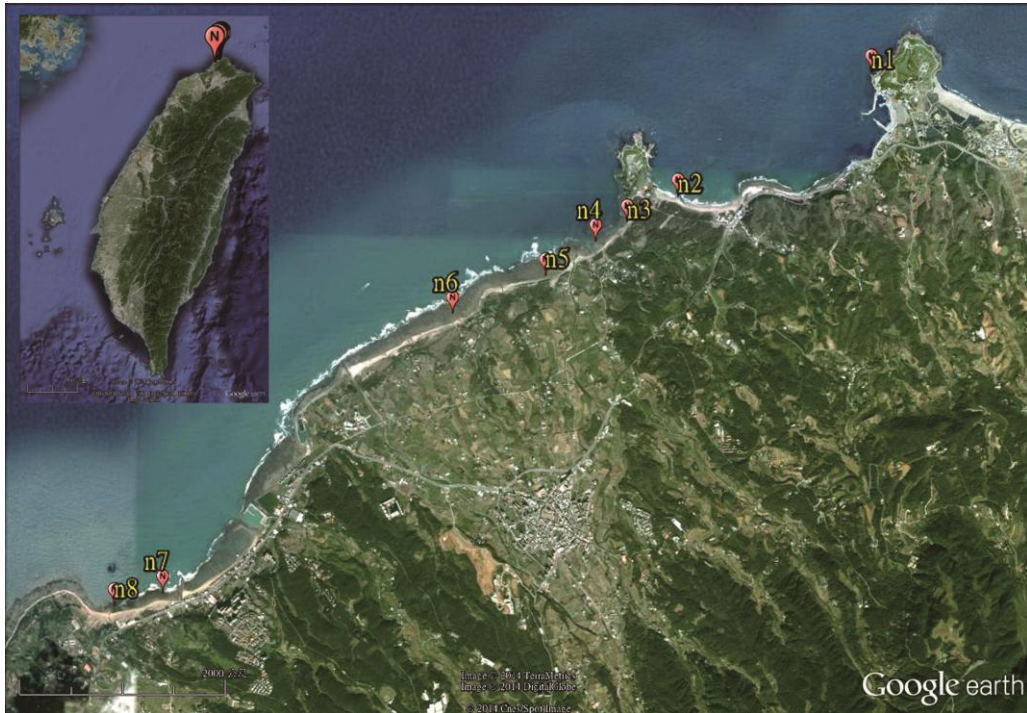


圖 4. 台灣北海岸石門區及三芝區藻礁採樣站位置，2012 年。

Fig. 4. Sampling stations at algal reefs of Shimen District and Sanzhi District in north coast of Taiwan, 2012.

結果與討論

一、分區敘述統計

表 1 列出台灣西北海岸及北海岸藻礁區所檢測的各樣本摘要統計資料，於台灣西北海岸之桃園市觀音、新屋區 84 個樣本及北海岸之新北市石門區、三芝區 24 個樣本，各進行 32 種重金屬檢測。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。但其中桃園海岸的鉛濃度高達 4,462 ppm，對照北海岸的樣本最大值 181 ppm，鈦濃度高達 7,950 ppm，對照北海岸的樣本最大值 1,883 ppm、鋁濃度高達 4,622 ppm，對照北海岸的樣本最大值 1,808 ppm，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。

二、重金屬元素間之相關性

本研究將台灣西北海岸之桃園市觀音及新屋區 10 條樣線中，84 個樣本之 32 種重金屬濃度資料標準化後，分析各樣本內重金屬元素之相似性(表 2)。由各樣本間重金屬元素之相似性表中顯示，鉛、鈦、鐵、鈦、鈦間之相似性介於 84.5 % - 50.8 %，是一群樣本間濃度變化趨勢高度相似性的元素，其中鉛、鈦之相似性 73.0 %，鉛的濃度高達 4,462 ppm，而鈦最高為 54 ppm，而鐵、鈦、鈦之相似性為 84.5 %，73.8 %，73.7 %，鐵、鈦皆為數萬及數千以上的

高濃度，但釩最高只有 188 ppm，顯示雖濃度不同，但樣本間的變化趨勢有高度相似。鈣、鋇、釷、硫之相似性分別為 92.2 %，81.4 %，77.5 %，66.5 %，61.2 %，是另一群高度相似性的元素。鉀、銻之相似性為 79.4 %，銅、鋅之相似性為 74.7 %，為成對相似。另有些重金屬濃度雖非極端高值，但元素間相似性極高，如鋇、

鉍、碲、銻、錫、鎳之相似性為 93.6 %-61.0 %，其中鋇、鉍為 93.6 %，鉍、碲 92.2 %，碲、銻 90.1 %，這些都顯示樣本間元素濃度變化一致。此外，銦、鈦、鈦與鈣、鋇、釷這兩群元素之高相似性，與觀音藻礁海岸礁體重金屬含量分析結果相符(劉 2014)。

表 1. 台灣西北桃園海岸及北海岸藻礁區樣本重金屬含量敘述統計表

Table 1. Statistics of 32 heavy metal contents from samples in Taoyuan coast of northwest Taiwan and north coast of Taiwan

| | Taoyuan coast of Taiwan(n=84) | | | north coast of Taiwan(n=24) | | |
|----|-------------------------------|---------|---------|-----------------------------|---------|---------|
| | max | average | stdev | max | average | stdev |
| Sr | 4622 | 996.3 | 820.7 | 1808 | 918.9 | 343.9 |
| Ca | 173621 | 40325.8 | 35163.3 | 180674 | 72523.5 | 40616.6 |
| Sc | 320 | 86.8 | 69.0 | 333 | 151.3 | 76.0 |
| S | 1696 | 687.2 | 419.8 | 3199 | 1681.6 | 835.0 |
| Fe | 63623 | 18334.0 | 9568.9 | 66310 | 16985.5 | 13696.7 |
| Zr | 4462 | 746.5 | 796.9 | 181 | 78.3 | 43.3 |
| Rb | 70 | 39.5 | 15.0 | 102 | 31.1 | 20.0 |
| Th | 54 | 14.4 | 9.0 | 24 | 9.3 | 5.4 |
| Ti | 7950 | 1392.2 | 1220.6 | 1883 | 637.0 | 457.5 |
| V | 166 | 41.2 | 24.0 | 92 | 46.3 | 19.4 |
| K | 8586 | 4295.1 | 2025.6 | 6688 | 3100.3 | 1436.0 |
| Zn | 188 | 80.3 | 28.6 | 210 | 71.8 | 43.2 |
| Cr | 126 | 64.0 | 16.7 | 99 | 57.6 | 13.0 |
| Pb | 53 | 20.8 | 8.0 | 61 | 20.3 | 11.7 |
| Cu | 213 | 57.5 | 32.2 | 152 | 44.2 | 36.1 |
| Mn | 15202 | 1460.5 | 2152.0 | 7569 | 904.9 | 1463.6 |
| As | 159 | 18.7 | 19.0 | 65 | 16.2 | 14.8 |
| Mo | 21 | 8.4 | 5.6 | 22 | 7.7 | 4.5 |
| U | 16 | 1.6 | 2.9 | 10 | 0.9 | 2.2 |
| Se | 3 | 0.2 | 0.5 | 3 | 0.4 | 0.9 |
| Hg | 28 | 4.7 | 6.6 | 23 | 6.3 | 8.0 |
| W | 141 | 28.2 | 30.9 | 114 | 24.1 | 28.9 |
| Ni | 75 | 19.8 | 20.6 | 45 | 12.8 | 15.7 |
| Co | 266 | 39.7 | 47.1 | 246 | 45.7 | 77.6 |
| Ba | 408 | 202.9 | 98.3 | 339 | 173.6 | 94.8 |
| Cs | 116 | 34.8 | 26.7 | 101 | 36.6 | 25.9 |
| Te | 184 | 40.1 | 46.7 | 170 | 43.2 | 47.3 |
| Sb | 41 | 6.3 | 9.4 | 34 | 6.2 | 9.4 |
| Sn | 47 | 12.9 | 13.1 | 41 | 12.9 | 13.3 |
| Cd | 17 | 1.7 | 3.1 | 12 | 2.0 | 3.1 |
| Ag | 9 | 0.7 | 1.8 | 5 | 1.0 | 1.7 |
| Pd | 13 | 0.9 | 2.1 | 6 | 1.0 | 1.7 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Sc | 13.8 | -23.7 | 81.4 | -25.4 | -34.9 | -9.4 | 18.8 | 9.3 | 18.6 | -9.8 | -19.0 | 11.8 | -2.1 | -35.7 | -32.8 | 27.1 | 7.2 | -15.9 | -40.2 | 100 | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 1.3 | -16.2 | 77.5 | -24.5 | -54.4 | -28.6 | -14.5 | 13.1 | 9.4 | 13.5 | -19.6 | -17.9 | -2.8 | 0.0 | -33.0 | -22.4 | 21.9 | -4.6 | -8.9 | -28.1 | 92.2 | 100 | | | | | | | | | | |
| K | -54.8 | 4.7 | -18.2 | -8.1 | 79.4 | 12.9 | 7.0 | 2.3 | -4.5 | -18.3 | 45.0 | -15.4 | 10.4 | 7.8 | 21.1 | 39.5 | -20.3 | 11.6 | 37.0 | 56.7 | -26.2 | -19.0 | 100 | | | | | | | | | |
| S | 24.7 | 0.5 | 42.3 | -15.0 | -43.4 | -5.5 | 5.2 | 10.7 | 22.2 | 20.9 | 5.2 | -12.7 | 15.8 | -19.0 | -21.6 | -12.6 | 32.3 | 8.3 | -1.3 | -29.0 | 66.5 | 61.2 | -34.3 | 100 | | | | | | | | |
| Ba | -30.4 | -13.6 | -15.7 | 5.8 | 8.7 | -1.1 | 7.7 | 9.5 | 20.7 | -4.8 | -0.6 | -12.4 | -24.2 | -7.8 | 3.6 | 15.8 | 5.7 | -21.1 | 12.1 | 23.1 | 5.1 | 16.7 | 31.4 | 9.9 | 100 | | | | | | | |
| Cs | -27.1 | -17.8 | 0.9 | 5.3 | -12.4 | -5.2 | 0.1 | 12.8 | 18.4 | -2.7 | -8.5 | -10.3 | -21.2 | -12.0 | -6.7 | 2.4 | 4.6 | -19.9 | 3.2 | 8.7 | 22.0 | 32.7 | 12.8 | 27.6 | 93.6 | 100 | | | | | | |
| Te | -20.6 | -21.6 | -3.2 | 0.4 | -12.9 | -7.8 | 3.8 | 20.7 | 19.4 | 4.9 | -8.7 | -16.4 | -25.6 | -18.7 | -8.4 | -2.1 | 4.1 | -15.1 | 0.6 | 4.6 | 20.9 | 31.9 | 9.4 | 30.5 | 87.0 | 92.2 | 100 | | | | | |
| Sb | -19.8 | -17.6 | -12.4 | 3.6 | -5.2 | -1.2 | 2.1 | 21.1 | 8.2 | 4.8 | -6.5 | -10.9 | -20.6 | -15.7 | -4.4 | -2.7 | -2.9 | -14.8 | -1.5 | 7.3 | 5.5 | 17.3 | 10.5 | 19.7 | 78.4 | 84.3 | 90.1 | 100 | | | | |
| Sn | -26.2 | 0.2 | -4.0 | 2.5 | -1.5 | 9.4 | 6.0 | 15.2 | 20.6 | -3.8 | -2.6 | -10.6 | -17.1 | -9.5 | 3.7 | 18.5 | 1.6 | -4.2 | 24.3 | 30.3 | 14.3 | 26.0 | 27.0 | 17.8 | 87.7 | 89.6 | 87.7 | 81.4 | 100 | | | |
| Cd | -1.1 | -11.3 | 2.6 | 10.7 | -18.5 | 2.3 | 12.9 | 21.9 | 21.1 | 13.5 | -1.1 | -14.6 | -8.1 | -8.1 | -10.7 | 2.1 | 11.7 | -18.4 | -5.4 | -3.1 | 15.9 | 24.2 | -6.5 | 30.3 | 61.0 | 69.0 | 76.4 | 77.6 | 64.7 | 100 | | |
| Ag | 6.5 | -5.6 | 1.2 | -6.8 | -27.2 | -1.9 | -0.2 | 16.2 | 9.6 | 26.0 | -11.9 | -19.3 | -11.6 | -18.8 | -10.7 | -12.3 | 0.6 | -19.0 | -14.6 | -19.0 | 18.4 | 23.8 | -23.4 | 25.3 | 38.8 | 49.1 | 56.8 | 64.4 | 37.5 | 58.5 | 100 | |
| Pd | 27.3 | 6.2 | -7.5 | 2.5 | -17.1 | 0.3 | 4.1 | 1.4 | 20.9 | 29.7 | -11.6 | -7.7 | -16.9 | -12.5 | -2.4 | 1.7 | 7.2 | -17.2 | -6.9 | -11.3 | 1.6 | 7.6 | -22.0 | 13.9 | 22.5 | 26.2 | 30.1 | 32.9 | 17.7 | 23.4 | 41.3 | 100 |
| Mo | Zr | Sr | U | Rb | Th | Pb | Se | As | Hg | Zn | W | Cu | Ni | Co | Fe | Mn | Cr | V | Ti | Sc | Ca | K | S | Ba | Cs | Te | Sb | Sn | Cd | Ag | Pd | |

表 3 顯示臺灣北海岸之新北市石門區及三芝區 8 採樣站 24 個樣本，32 種重金屬元素間之相似性。其中與桃園海岸類似的是鉍、鉍、鉍、鉍之相似性為 95.3 %，其中鉍、鉍之相似性為 95.3 %，鉍、鉍之相似性 93 %，鉍、鉍之相似性 91.5 %，這些群元素之相似性與桃園海岸約略一致。此外，銅、鉍之相似性為 90.9 %，鈣、鉍之相似性為 84.3 %，鉍、鉍之相似性 79.4 %，鉍、鉍之相似性為 76.1 %，皆為成對相似。鈦、鐵、鉍、鉍之相似性分別為 80.8 %，74.1 %，71.8 %，64.4 %，是另一群高度相似性的元素。值得注意的是，北海岸藻礁區樣本中鉍的濃度最高只 181 ppm(表 1)，且樣本間鉍濃度的變化趨勢，沒有如桃園海岸與其他元素間有高相似性(表 2、3)，對照 2011 年於桃園及北海岸藻礁區採集樣本的變化趨勢有類似的結果(劉 2014)。

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Ti | -6.5 | 62.7 | -7.1 | 64.4 | 0 | 27.9 | 29.6 | 15.7 | 52.6 | 1.4 | -26.4 | -14.3 | -22.6 | 19.8 | 54.6 | 80.8 | 16.7 | 15.5 | 74.2 | 100 | | | | | | | | | | | | |
| Sc | 7.3 | -51.8 | 14.3 | -34.4 | -23.9 | -33.6 | -31 | 20.1 | -26.2 | -23 | 36.5 | -7.8 | 49.6 | -1.4 | -49.5 | -50.9 | 1.3 | -1.5 | -8.9 | -40.5 | 100 | | | | | | | | | | | |
| Ca | -21.1 | -21.3 | 8.9 | -21.9 | -31.6 | -41 | -27.5 | 16.4 | -13.6 | -18.5 | 1.7 | -20.3 | 21.8 | -9.1 | -43.3 | -36.1 | -3.6 | -3.3 | 4.4 | -16.1 | 84.3 | 100 | | | | | | | | | | |
| K | 7.9 | 19.2 | 43.9 | 5.2 | 51.8 | 35.8 | 29.4 | 39.6 | 15.5 | -4.8 | -9.5 | -25.6 | -21.6 | 46.1 | -10.1 | 2 | 10 | 6.4 | 18.3 | 44.4 | 4 | 6.9 | 100 | | | | | | | | | |
| S | 4.5 | -10.2 | -28.3 | -26.7 | -30.8 | -49.6 | -13.5 | 5.6 | 11.6 | -34.3 | -1.6 | 21.3 | 5.9 | -9.3 | -39.6 | -32.5 | 15.7 | -18.5 | 2.5 | -24.1 | 51.2 | 55.1 | -1.8 | 100 | | | | | | | | |
| Ba | -5.6 | 12 | 35.6 | -25.6 | -19.6 | -38 | 0.4 | 15.1 | -2.2 | -17.7 | -56.8 | -15.6 | -52.1 | 2.6 | -29.3 | -32.7 | -5.6 | -14 | -21.5 | -2.6 | 9.4 | 33.5 | 14.1 | 37.6 | 100 | | | | | | | |
| Cs | -9.3 | 1.1 | 29 | -20.9 | -31.3 | -46.8 | -13.9 | 13.2 | -9.9 | -14.9 | -49.8 | -25 | -44.1 | -3.9 | -33.1 | -34.1 | -14 | -18.3 | -20.2 | -7.5 | 16.2 | 40.5 | 3.5 | 44.7 | 95.3 | 100 | | | | | | |
| Te | -4.3 | -0.6 | 15.1 | -10.6 | -29.6 | -39.9 | -13.5 | 14.2 | -7.3 | -8.7 | -49.2 | -18.5 | -41.5 | -25.8 | -29.6 | -26.6 | -12.5 | -14.9 | -23.3 | -9.6 | 9.3 | 32.1 | -9.3 | 44.8 | 86.1 | 93 | 100 | | | | | |
| Sb | 9 | -10.9 | 15.9 | -12.9 | -24 | -25 | -5.4 | 1.3 | -13.5 | -9.2 | -37 | -8 | -33.4 | -35.8 | -25.8 | -28 | -9.2 | -21.2 | -31.3 | -22.4 | 6.6 | 21.2 | -21.9 | 28.4 | 74.9 | 82.2 | 91.5 | 100 | | | | |
| Sn | -16 | 9.7 | 22.1 | -13.3 | -22.1 | -34.2 | -7.7 | 5.7 | -2.9 | -9.1 | -49.9 | -24.4 | -42.4 | -3.3 | -25.2 | -22.4 | -14.4 | -13.6 | -4.2 | 9.7 | 9 | 35.8 | 16.1 | 50.1 | 82.9 | 88.3 | 85.4 | 73.8 | 100 | | | |
| Cd | 18.4 | -5.1 | 41.6 | -13 | -7.2 | -9.3 | 12.9 | 3 | -11.7 | 10.6 | -19.3 | -17.6 | -25.1 | -12.4 | -12.7 | -22.5 | -13.6 | -40.6 | -17.3 | -12.8 | -0.4 | -3.4 | -0.6 | -1.6 | 58.4 | 56.8 | 56.7 | 71.1 | 54.8 | 100 | | |
| Ag | 17.8 | -26.2 | 39.2 | -13 | -16.3 | -35.3 | 1.2 | 10.8 | -24.5 | -25.1 | -22.9 | -15 | -22.1 | -8.4 | -32.6 | -28.1 | -6.7 | -6.5 | -21.1 | -15.2 | 15.1 | 18 | 2.7 | 13.1 | 59.2 | 65 | 67.6 | 65.2 | 54.7 | 51 | 100 | |
| Pd | 20.8 | -16.2 | 56.7 | -14.3 | -22.8 | -16.3 | -9.9 | 34 | -21.6 | 22.4 | -27.8 | -35.3 | -12.4 | 0.9 | -22.8 | -26.6 | -6.5 | -24.7 | -28.3 | -13.1 | 33.4 | 36 | -1.3 | 5.9 | 57.5 | 61.6 | 64.5 | 68 | 48.4 | 59.8 | 55.8 | 100 |
| Mo | Zr | Sr | U | Rb | Th | Pb | Se | As | Hg | Zn | W | Cu | Ni | Co | Fe | Mn | Cr | V | Ti | Sc | Ca | K | S | Ba | Cs | Te | Sb | Sn | Cd | Ag | Pd | |

三、多變數分析

利用主成分分析台灣西北海岸之桃園市觀音區及新屋區 84 個樣本，32 種重金屬元素，各樣本內重金屬含量，計算各軸之特徵值，繪製分布序列圖，圖 5 顯示 32 元素之相關位置於第 1 軸與第 2 軸的序列，前 2 軸的變異量佔總變異量的 37.2 %。各元素於 PCA 軸之排序，第一象限主要元素有鈦、鋳、釷、鐵、鈾、鉀、銻，第二象限為銻、銻、碲、銻、錫、鎳、銀，第三象限有鈣、鋇、銻、硫。

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，但海域是相通，使樣本之間有連續變異之特性，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，所以分析結果再以群團分析法導出 32 種重金屬元素之樹狀圖(圖 6)比較，樣本層級系統樹狀圖顯示結果與分布序列圖相呼應。

對照台灣北海岸之新北市石門區及三芝區的 24 樣本，32 種重金屬元素之相關位置於 2 維空間之分布序列圖，顯示於圖 7。各元素於 PCA 軸之排序，第一象限主要元素有鈦、鋳、錳、砷、釷、鐵、鈾、鈷、鈾、第二象限為銻、銻、碲、銻、錫、鎳、銀、鈾，第三象有鈣、銻、硫，第四象有銅、鋅。再參考群團分析法樹狀圖，圖 8 顯示各元素間之相關性，樣本層級系統樹狀圖顯示結果與分布序列圖相呼應。

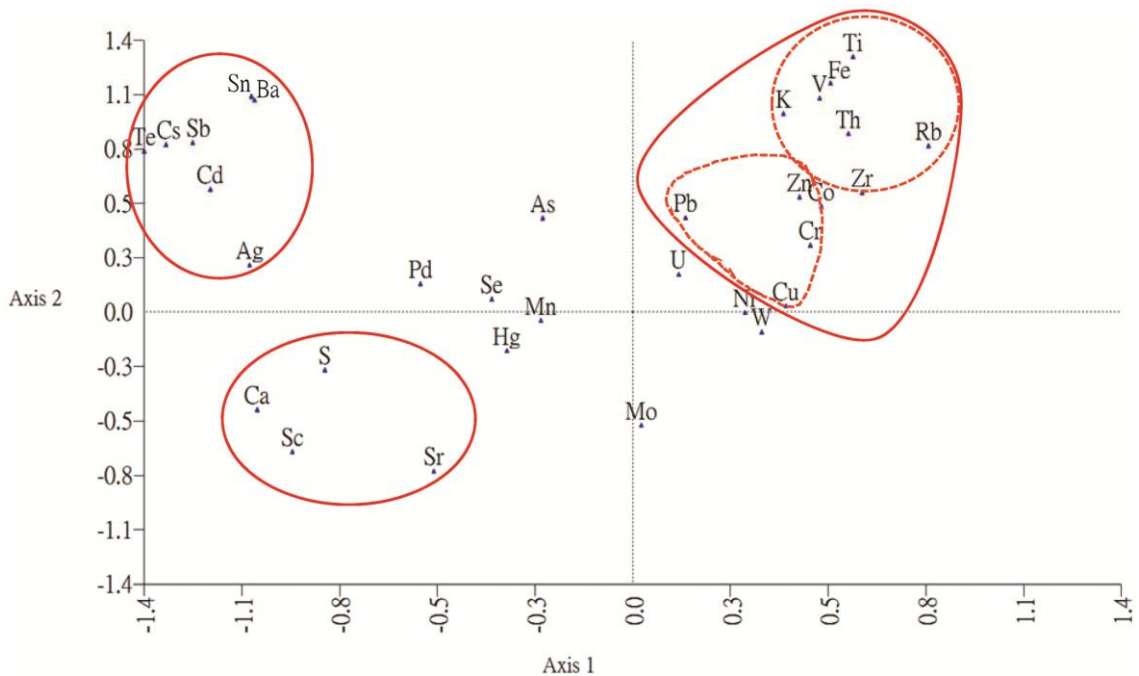


圖 5. 台灣西北桃園海岸 84 個樣本中 32 項重金屬元素在 PCA 軸之分布序列，2012 年。

Fig. 5. Ordination of 32 heavy metal contents in 84 samples along the first two PCA axes in Taoyuan coast of northwest Taiwan, 2012.

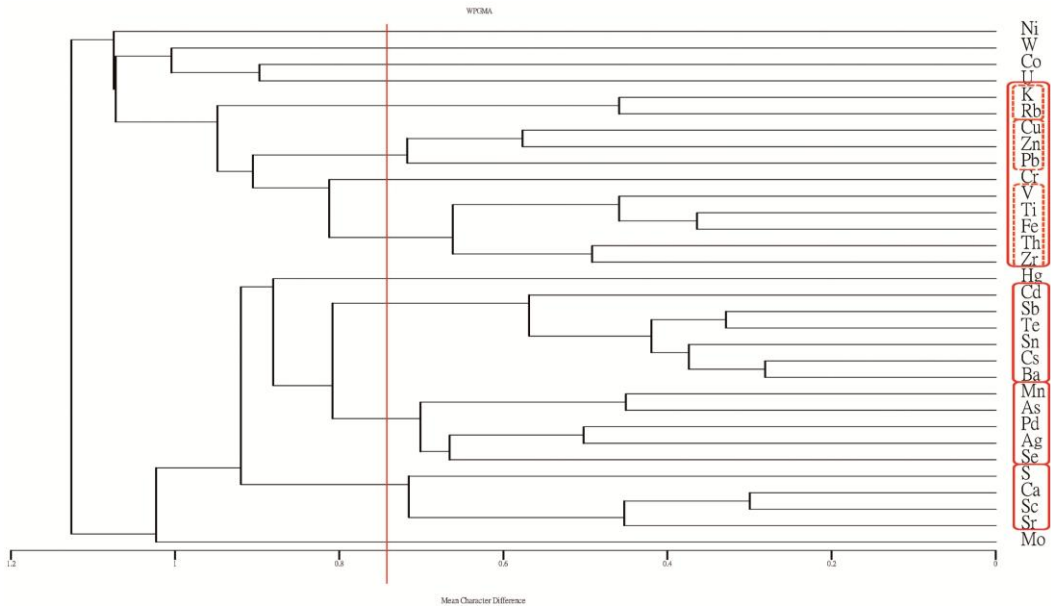


圖 6. 台灣西北桃園海岸 84 個樣本中 32 項重金屬元素之相異性係數以加權配對聯結法繪出層級系統樹狀圖，2012 年。

Fig. 6. A dendrogram showing weighed pair-group method with the mean character difference of 84 samplings among 32 heavy metal contents in Taoyuan coast of northwest Taiwan, 2012.

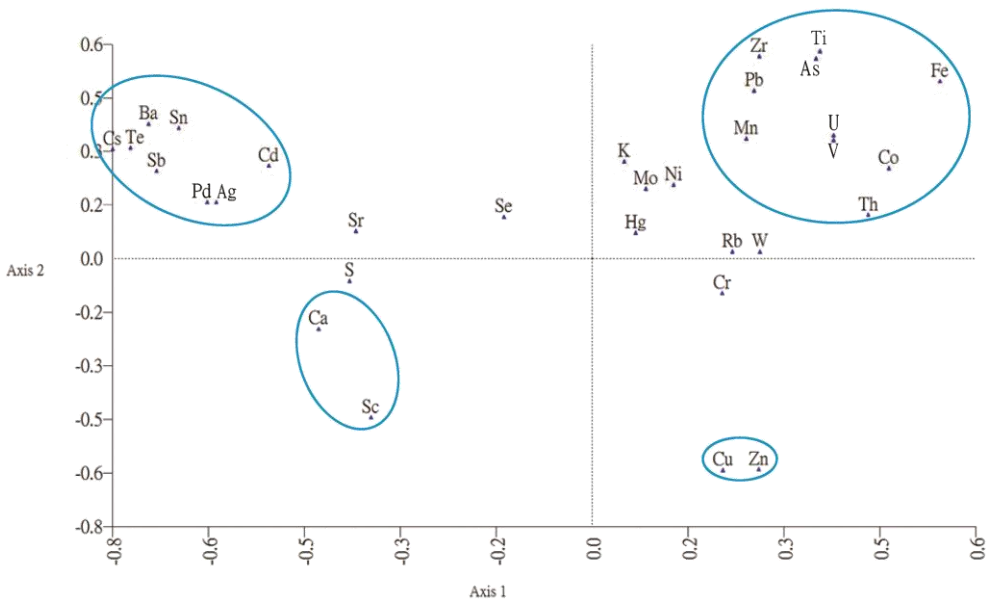


圖 7. 台灣北海岸 24 個樣本中 32 項重金屬元素在 PCA 軸之分布序列，2012 年。

Fig. 7. Ordination of 32 heavy metal contents in 24 samples along the first two PCA axes, 2012.

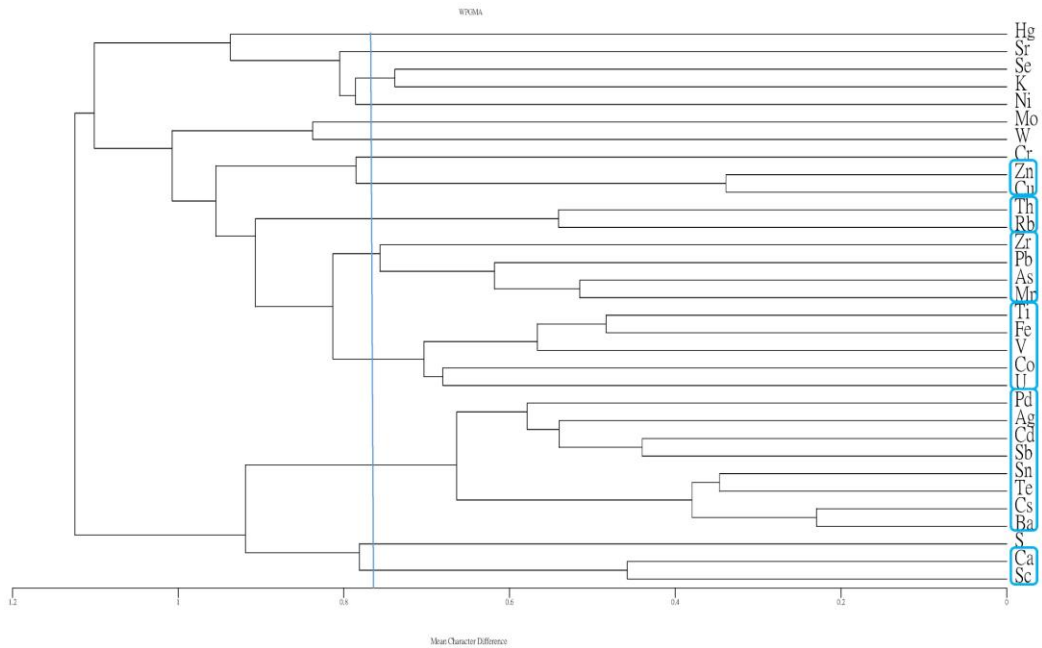


圖 8. 台灣北海岸 24 個樣本中 32 項重金屬元素之相異性係數以加權配對聯結法繪出層級系統樹狀圖，2012 年。

Fig. 8. A dendrogram showing weighed pair-group method with the mean characteristic difference of 24 samplings among 32 heavy metal contents, 2012.

四、台灣西北桃園海岸 10 條樣線間分析

本研究於台灣西北桃園市觀音、新屋區 9 條藻礁樣線(L1-9)，永安漁港南側 1 條平行海岸之沙灘樣線(L10)。台灣西北海岸觀新藻礁區匯入溪水有小飯壠溪口、新屋溪口及後湖溪口，永安漁港南側有社子溪及大坡溪，其水質會造成海岸地區的局部差異。在沿岸地區，平行觀音海岸有一座 2009 年新築的人工蛇籠護岸堤，堤內填方之沙泥含事業廢棄物，又因為蛇籠繩結斷裂，而露出內部土壤，並已經被洶洗許多到海中，就覆蓋在礁體上，形成一層泥膜。此外新屋海岸因侵蝕問題，沿海岸利用電線桿作為圍欄，將石門水庫淤泥堆置於海岸，海浪將電線桿打散捲入海中，再被推回岸上，沖散的沙泥等沈積物，亦覆蓋於礁體上。因上

述之影響，可能對此 10 條樣線造成差異，故將敘述統計列於表 4。

本研究於台灣西北桃園海岸觀新藻礁設置之樣線 L1-L4，位於人工蛇籠護岸外側，受到新屋溪水滲流經蛇籠護岸堤下方後，溶出護岸堤內填土方物質所影響，另 L1 及 L2 部分受小飯壠溪口排水影響，觀新藻礁樣線 L3、L4 及 L9 位於新屋溪出海口兩側，直接受新屋溪排水影響。此外，L9 附近有一小排水口，L8 之東北約 300 m 處為一排水道的出口。L5 及 L6 接近永安漁港，受到後湖溪影響較大，而永安漁港南側之沙灘樣線 L10 之第 1、2 採樣站受社子溪排水影響，第 3 採樣站受大坡溪排水影響，同時也是新屋鄉公所將石門水庫淤泥應用於桃園海岸實施計畫之主要地點。

從表 4 中可看出鋇、銫、碲、銻、錫、鎳的最大值都出現在藻礁樣線 L8，沙灘樣線 L10 次之；鉛、釩、鈷的最大值都出現在藻礁樣線 L6，樣線 L1 次之；鋇、鈣、銦的最大值都出

現在藻礁樣線 L7；銅、鋅的最大值都出現在藻礁樣線 L2，而樣線 L1 的銅、鋅值也偏高；鈦的最大值出現在沙灘樣線 L10 第 3 採樣站，藻礁樣線的最大值則出現在 L6。

表 4. 台灣西北桃園海岸 10 條樣線 32 項重金屬含量之敘述統計表，2012 年

Table 4. Statistics of 26 heavy metal contents in sampling lines in Taoyuan coast of northwest Taiwan, 2012

| | line1 (n=9) | | | line2 (n=9) | | | line3 (n=9) | | | line4 (n=9) | | | line5 (n=6) | | |
|----|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| | max | average | stdev | max | average | stdev | max | average | stdev | max | average | stdev | max | average | stdev |
| Mo | 20.7 | 10.6 | 5.7 | 11.8 | 5.6 | 4.3 | 12.6 | 7.1 | 2.8 | 20.3 | 9.8 | 4.9 | 21.3 | 14.3 | 4.3 |
| Zr | 2867.5 | 624.6 | 928.2 | 1386.0 | 562.7 | 491.3 | 795.8 | 419.6 | 226.8 | 1351.5 | 509.0 | 416.5 | 2245.3 | 1132.9 | 679.4 |
| Sr | 2444.1 | 1138.1 | 553.7 | 2804.4 | 1077.9 | 705.8 | 1538.7 | 1056.3 | 444.2 | 1914.6 | 961.9 | 561.5 | 2070.0 | 948.4 | 677.6 |
| U | 5.9 | 1.1 | 2.3 | 3.1 | 0.4 | 1.0 | 3.3 | 0.4 | 1.1 | 15.7 | 2.6 | 5.2 | 10.2 | 3.4 | 4.6 |
| Rb | 69.8 | 46.0 | 18.7 | 65.9 | 41.8 | 17.8 | 53.4 | 38.8 | 13.6 | 55.7 | 45.3 | 9.6 | 64.0 | 38.5 | 16.2 |
| Th | 40.1 | 14.3 | 9.9 | 22.4 | 11.8 | 5.9 | 21.1 | 11.5 | 4.5 | 26.7 | 15.5 | 7.4 | 23.5 | 16.6 | 5.6 |
| Pb | 34.2 | 20.5 | 9.8 | 36.0 | 21.2 | 9.8 | 29.6 | 21.7 | 4.9 | 25.1 | 20.2 | 4.8 | 52.9 | 28.2 | 14.7 |
| Se | 0.7 | 0.1 | 0.2 | 3.2 | 0.7 | 1.2 | 1.4 | 0.3 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| As | 58.7 | 18.9 | 17.8 | 26.8 | 13.2 | 6.6 | 27.5 | 17.5 | 6.7 | 40.4 | 11.1 | 11.4 | 159.0 | 40.8 | 58.2 |
| Hg | 28.1 | 7.2 | 9.5 | 17.1 | 6.3 | 6.5 | 20.9 | 8.3 | 7.1 | 5.6 | 0.6 | 1.9 | 11.7 | 4.2 | 5.2 |
| Zn | 134.6 | 94.5 | 39.1 | 187.6 | 92.5 | 46.2 | 140.2 | 88.5 | 27.0 | 129.6 | 81.8 | 29.3 | 120.9 | 93.7 | 24.1 |
| W | 37.2 | 13.5 | 15.0 | 86.9 | 25.6 | 32.3 | 49.4 | 10.8 | 20.5 | 137.6 | 47.4 | 42.2 | 94.3 | 35.1 | 37.1 |
| Cu | 116.7 | 79.8 | 33.7 | 213.3 | 70.6 | 57.0 | 99.4 | 58.0 | 24.6 | 125.1 | 72.0 | 28.3 | 91.7 | 69.2 | 24.6 |
| Ni | 47.5 | 21.5 | 17.6 | 65.8 | 15.0 | 22.4 | 57.1 | 15.8 | 21.8 | 61.2 | 12.2 | 20.0 | 71.1 | 43.2 | 28.5 |
| Co | 82.7 | 32.7 | 33.7 | 74.7 | 32.3 | 31.7 | 98.2 | 19.8 | 33.7 | 71.4 | 29.2 | 30.7 | 176.7 | 66.2 | 71.9 |
| Fe | 24329.0 | 15632.2 | 6536.1 | 22988.1 | 15725.1 | 5356.2 | 25493.4 | 16787.5 | 5582.0 | 18184.6 | 14875.4 | 2673.5 | 63623.2 | 28348.6 | 18225.1 |
| Mn | 2961.6 | 1085.2 | 762.3 | 1896.3 | 776.2 | 469.1 | 1997.2 | 1182.1 | 518.0 | 15201.8 | 2536.3 | 4794.2 | 12643.7 | 3584.9 | 4494.5 |
| Cr | 78.8 | 61.5 | 9.8 | 92.9 | 64.8 | 14.4 | 76.8 | 61.8 | 11.1 | 89.6 | 67.8 | 16.1 | 83.4 | 64.5 | 12.6 |
| V | 49.9 | 33.5 | 10.2 | 46.3 | 35.5 | 9.5 | 66.2 | 40.4 | 13.0 | 51.0 | 33.3 | 12.6 | 77.1 | 46.0 | 20.9 |
| Ti | 1439.8 | 925.8 | 443.1 | 2195.1 | 1317.4 | 620.7 | 1877.6 | 1107.2 | 674.7 | 1306.1 | 966.9 | 362.6 | 2901.3 | 1533.6 | 764.9 |
| Sc | 159.0 | 91.5 | 39.4 | 257.9 | 106.6 | 79.8 | 174.0 | 89.9 | 58.5 | 174.7 | 78.4 | 47.8 | 133.3 | 64.3 | 37.1 |
| Ca | 55142.9 | 30211.6 | 13696.9 | 104113.2 | 55937.4 | 39171.6 | 101334.8 | 40897.3 | 29508.3 | 67915.6 | 26407.2 | 18890.2 | 68221.6 | 32782.4 | 20408.3 |
| K | 7472.6 | 4226.4 | 1939.3 | 8585.5 | 5363.5 | 2159.6 | 6213.7 | 3962.1 | 1701.0 | 5865.9 | 3975.2 | 1745.5 | 7190.0 | 3881.7 | 2077.6 |
| S | 1335.2 | 861.0 | 307.8 | 1553.5 | 850.3 | 427.4 | 1118.6 | 683.8 | 254.9 | 980.0 | 603.3 | 243.8 | 1249.3 | 423.3 | 449.3 |
| Ba | 225.4 | 165.4 | 52.3 | 333.7 | 218.7 | 100.4 | 274.2 | 178.5 | 55.1 | 195.7 | 144.4 | 50.7 | 311.9 | 196.1 | 86.5 |
| Cs | 48.1 | 25.0 | 15.3 | 78.6 | 42.1 | 31.0 | 51.6 | 26.0 | 17.3 | 33.3 | 18.0 | 13.4 | 62.4 | 32.7 | 23.7 |
| Te | 45.8 | 14.7 | 19.3 | 118.4 | 58.3 | 50.9 | 94.3 | 26.2 | 32.2 | 44.4 | 11.5 | 14.5 | 81.3 | 26.6 | 41.2 |
| Sb | 10.0 | 2.6 | 4.0 | 25.2 | 10.2 | 11.2 | 7.6 | 1.4 | 2.9 | 7.2 | 1.2 | 2.5 | 14.1 | 3.4 | 5.8 |
| Sn | 19.9 | 7.1 | 8.3 | 31.9 | 16.5 | 13.9 | 24.1 | 6.3 | 7.5 | 25.2 | 5.2 | 8.6 | 26.0 | 11.9 | 11.0 |
| Cd | 4.7 | 0.9 | 1.5 | 7.8 | 2.4 | 3.2 | 3.5 | 0.9 | 1.4 | 4.4 | 0.5 | 1.5 | 7.3 | 1.6 | 3.0 |
| Ag | 1.0 | 0.2 | 0.3 | 5.0 | 1.1 | 1.7 | 4.3 | 0.5 | 1.4 | 1.3 | 0.2 | 0.4 | 1.2 | 0.4 | 0.6 |
| Pd | 6.1 | 0.7 | 2.0 | 3.9 | 0.9 | 1.5 | 2.0 | 0.3 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.9 | 1.3 | 1.6 |

| | line6 (n=9) | | | line7 (n=6) | | | line8 (n=9) | | | line9 (n=9) | | | line10 (n=9) | | |
|----|-------------|---------|---------|-------------|----------|---------|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|--------------|---------|--------|
| | max | average | stdev | max | average | stdev | max | average | stdev | max | average | stdev | max | average | stdev |
| Mo | 11.4 | 6.1 | 4.2 | 7.4 | 6.1 | 1.2 | 17.0 | 12.3 | 5.0 | 19.3 | 13.1 | 4.8 | 2.3 | 0.6 | 1.0 |
| Zr | 4461.9 | 1794.0 | 1474.1 | 802.8 | 344.3 | 259.2 | 1848.8 | 968.4 | 585.2 | 2179.2 | 867.7 | 538.8 | 849.7 | 236.6 | 234.1 |
| Sr | 2517.3 | 1241.8 | 713.2 | 4622.2 | 2386.8 | 1764.7 | 1957.7 | 973.4 | 437.8 | 715.6 | 538.6 | 128.6 | 100.8 | 87.6 | 8.4 |
| U | 0.8 | 0.1 | 0.3 | 1.6 | 0.3 | 0.7 | 6.0 | 2.3 | 2.4 | 8.2 | 2.8 | 3.5 | 6.9 | 2.6 | 2.6 |
| Rb | 57.2 | 40.5 | 11.0 | 37.7 | 26.0 | 13.0 | 36.1 | 23.9 | 9.2 | 59.6 | 36.5 | 11.3 | 61.2 | 53.3 | 6.6 |
| Th | 47.3 | 20.3 | 14.6 | 14.6 | 9.1 | 4.9 | 22.3 | 13.6 | 6.0 | 27.1 | 16.6 | 5.3 | 53.5 | 14.0 | 15.0 |
| Pb | 28.7 | 19.0 | 5.0 | 17.6 | 13.1 | 3.2 | 33.2 | 23.1 | 7.0 | 35.8 | 23.2 | 8.3 | 27.4 | 18.1 | 5.4 |
| Se | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 0.5 | 0.7 | 1.2 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 0.1 |
| As | 33.9 | 20.4 | 10.6 | 19.6 | 10.1 | 7.7 | 50.3 | 26.1 | 14.5 | 37.8 | 16.2 | 9.5 | 27.2 | 17.4 | 7.2 |
| Hg | 4.7 | 1.1 | 1.8 | 9.4 | 3.6 | 4.0 | 17.2 | 7.4 | 7.3 | 27.2 | 6.8 | 9.5 | 4.7 | 0.9 | 1.6 |
| Zn | 110.3 | 83.3 | 19.7 | 61.9 | 48.4 | 7.9 | 90.0 | 67.4 | 14.5 | 121.4 | 71.6 | 20.9 | 92.4 | 74.9 | 9.2 |
| W | 66.2 | 31.1 | 24.8 | 60.9 | 28.0 | 22.4 | 77.5 | 30.9 | 33.2 | 141.2 | 34.8 | 47.0 | 56.0 | 26.7 | 14.5 |
| Cu | 104.5 | 66.3 | 25.1 | 42.1 | 33.5 | 10.3 | 90.3 | 43.6 | 23.5 | 84.2 | 50.9 | 19.0 | 41.8 | 27.4 | 10.2 |
| Ni | 74.6 | 30.8 | 23.5 | 52.8 | 24.3 | 23.6 | 29.9 | 9.3 | 10.6 | 33.0 | 14.7 | 14.5 | 39.6 | 20.5 | 12.9 |
| Co | 266.0 | 45.8 | 88.9 | 121.7 | 31.7 | 48.4 | 98.1 | 54.9 | 35.0 | 91.6 | 33.1 | 32.6 | 112.4 | 57.8 | 43.5 |
| Fe | 51657.7 | 29059.0 | 12309.2 | 20067.9 | 11433.7 | 6486.8 | 26747.4 | 15325.8 | 6800.8 | 22245.4 | 14787.2 | 4604.6 | 39006.2 | 22404.0 | 8489.8 |
| Mn | 4442.4 | 1401.7 | 1283.8 | 1826.4 | 926.9 | 521.0 | 3850.9 | 2209.5 | 1090.2 | 2416.2 | 1006.9 | 770.9 | 723.6 | 425.9 | 162.2 |
| Cr | 98.2 | 71.5 | 17.6 | 76.5 | 58.1 | 10.7 | 125.8 | 71.2 | 28.8 | 84.0 | 56.1 | 15.2 | 112.6 | 61.2 | 20.3 |
| V | 166.1 | 68.9 | 46.8 | 42.3 | 36.0 | 5.0 | 69.2 | 38.6 | 14.3 | 47.0 | 27.5 | 9.8 | 139.2 | 51.9 | 35.1 |
| Ti | 5735.4 | 2821.3 | 1702.7 | 1268.7 | 760.8 | 402.6 | 1678.3 | 838.7 | 557.7 | 1360.3 | 721.5 | 405.2 | 7950.2 | 2765.2 | 2077.9 |
| Sc | 122.7 | 81.7 | 40.0 | 320.1 | 205.4 | 117.4 | 196.2 | 121.2 | 48.3 | 148.4 | 52.4 | 37.8 | 14.9 | 8.9 | 4.1 |
| Ca | 68028.8 | 51163.9 | 21701.8 | 173620.5 | 108118.7 | 56937.2 | 93711.5 | 53153.1 | 25118.1 | 54888.9 | 19153.8 | 14272.4 | 8537.8 | 5516.2 | 2176.5 |
| K | 7324.4 | 5261.4 | 1555.1 | 5309.6 | 4072.1 | 787.4 | 3571.0 | 2291.3 | 1114.4 | 4124.2 | 2601.9 | 1274.8 | 7887.4 | 7103.3 | 689.2 |
| S | 1451.4 | 677.6 | 484.4 | 1199.1 | 855.9 | 414.4 | 1696.1 | 1190.9 | 376.9 | 802.2 | 501.8 | 236.3 | 396.1 | 191.8 | 121.7 |
| Ba | 272.0 | 152.0 | 76.1 | 296.5 | 225.3 | 63.1 | 408.1 | 244.8 | 156.0 | 296.8 | 159.8 | 79.1 | 388.1 | 348.9 | 24.7 |
| Cs | 63.6 | 20.9 | 19.2 | 63.7 | 46.5 | 17.8 | 116.3 | 55.3 | 40.9 | 78.3 | 22.4 | 25.9 | 76.3 | 62.0 | 8.8 |
| Te | 77.8 | 11.7 | 25.9 | 115.1 | 52.6 | 42.1 | 184.1 | 84.7 | 73.0 | 104.0 | 26.8 | 38.7 | 114.2 | 87.9 | 19.3 |
| Sb | 12.2 | 1.4 | 4.1 | 18.0 | 5.7 | 8.9 | 40.6 | 15.3 | 16.6 | 24.8 | 4.4 | 8.4 | 21.0 | 16.1 | 2.4 |
| Sn | 22.8 | 9.8 | 9.7 | 29.1 | 15.6 | 10.6 | 47.0 | 22.8 | 18.2 | 21.8 | 5.0 | 8.3 | 40.9 | 29.3 | 8.8 |
| Cd | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 1.2 | 2.3 | 16.9 | 5.1 | 6.6 | 5.6 | 1.3 | 2.4 | 5.8 | 2.6 | 1.8 |
| Ag | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 0.4 | 0.7 | 6.8 | 2.1 | 2.8 | 9.3 | 2.3 | 3.6 | 0.3 | 0.0 | 0.1 |
| Pd | 4.4 | 0.5 | 1.4 | 6.5 | 1.3 | 2.6 | 7.4 | 1.9 | 3.0 | 13.1 | 1.9 | 4.4 | 1.2 | 0.2 | 0.4 |

由於海岸水域是相通，有程度不等的綜合效應，再加上有些元素具關連性，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，雖然大多數元素並沒有明訂於行政院環境保護署的監測標準值，要確認觀新藻礁海岸是否有外來污染，就只能交互比較台灣北海岸藻礁區。

五、各樣線之鋁、鈦、鉛、銅、鋅含量變化分析

比較台灣西北桃園海岸及北海岸藻礁區鋁、鈦、鉛、銅、鋅等元素含量(表 5)，確認鉛、鈦含量在桃園海岸及北海岸兩處的平均值有顯著差異，非環境背景值。

表 5. 台灣西北桃園海岸及北海岸藻礁區樣本銻、鈦、鋯、銅、鋅含量統計表，2012 年

Table 5. Statistics of Sr, Ti, Zr, Cu, Zn contents in samples from Taoyuan coast of northwest Taiwan and north coast of Taiwan, 2012

| Area | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | 95 % Confidence Interval of the Difference | | |
|---------------|------|----------------|-----------------|--------|-------|-----------------|-----------------|--|---------|---------|
| | | | | | | | | Lower | Upper | |
| Taoyuan coast | Sr | 996.33 | 820.69 | 89.54 | 11.13 | 83 | .000 | 996.33 | 818.23 | 1174.43 |
| | Ti | 1392.18 | 1220.57 | 133.17 | 10.45 | 83 | .000 | 1392.18 | 1127.30 | 1657.06 |
| | Zr | 746.50 | 796.95 | 86.95 | 8.59 | 83 | .000 | 746.50 | 573.56 | 919.45 |
| | Zn | 80.26 | 28.57 | 3.12 | 25.75 | 83 | .000 | 80.26 | 74.06 | 86.46 |
| | Cu | 57.54 | 32.21 | 3.51 | 16.37 | 83 | .000 | 57.54 | 50.55 | 64.53 |
| North coast | Sr | 918.92 | 343.89 | 70.20 | 13.09 | 23 | .000 | 918.92 | 773.71 | 1064.13 |
| | Ti | 637.02 | 457.51 | 93.39 | 6.82 | 23 | .000 | 637.02 | 443.84 | 830.21 |
| | Zr | 78.31 | 43.32 | 8.84 | 8.86 | 23 | .000 | 78.31 | 60.02 | 96.60 |
| | Zn | 71.79 | 43.16 | 8.81 | 8.15 | 23 | .000 | 71.79 | 53.56 | 90.01 |
| | Cu | 44.23 | 36.08 | 7.36 | 6.01 | 23 | .000 | 44.23 | 28.99 | 59.46 |

依據 2012 年台灣西北海岸 10 條樣線中銻、鈦、鋯含量所繪製的長方圖(圖 9)。銻的含量在台灣西北海岸沙灘樣線 L10 最低，3 個採樣站 9 個樣本的值介於 79.1-100.8 ppm，同樣的情形，在分析 2011 年的樣本時也是礁體的銻濃度較沙粒樣本高很多(劉 2014)，相對的在藻礁區低潮線處，特別是藻礁樣線 L7 的前緣有 4,622 ppm，L1 及 L2 也有 2,444 ppm 及 2,804 ppm 的高值。鈣、銻與礁體成分有關，特別是礁體的主要元素是鈣，雖說礁體完整且覆沙較少處，會有較高的銻濃度，但新北市石門區富貴角西側之富基，測得 1,808 ppm，是北海岸的最高值，而台灣西北海岸及北海岸藻礁區的平均值分別為 996 ppm 及 919 ppm，所以超過此值的樣本應追蹤是否有污染源。

鈦的最大值出現在新屋區永安漁港南側沙灘樣線 L10 第 3 採樣站的 7,950 ppm，次高值為藻礁樣線 L6 的 5,735 ppm，兩處分別為永安漁港南北兩側，而鄰近的 L5 也有 2,901 ppm，是否受到石門水庫淤泥堆置海岸後，遭沖散的沙泥等沈積物覆蓋於礁體上所影響，或是新屋溪口、後湖溪口、大坡溪、社子溪有污

染源匯入。對照北海岸藻礁區，由圖 10 的鈦含量圖，其最大值為新北市三芝區古庄海岸採樣站(n8)的 1,883 ppm，平均值僅 637 ppm，永安漁港南北兩側疑似遭受鈦污染。

鋯的最大值出現永安漁港北側，藻礁樣線 L6 的數值高達 4,462 ppm，為後湖溪出海口影響範圍，而藻礁樣線 L5 的數值也達 2,245 ppm，另一高值為小飯壠溪口南岸之藻礁樣線 L1，數值高達 2,868 ppm，此樣線位於人工蛇籠護岸堤嚴重破損處南側，是堤內填方因破堤而釋出，或受小飯壠溪匯入水影響，有待查證。對照北海岸的值最大值及平均值分別為 181 ppm 及 78 ppm，由圖 10 的鋯含量圖可看出，只有北海岸三芝區的淺水灣樣本 n7 採樣站略偏高，其他採樣站的含量大致相同。而 2102 年測得最高值的，就是 2011 年採樣時，作為對照組的北海岸淺水灣相同地點，當時採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，2 條樣線共 17 個樣本，鋯濃度只介於 90-268 ppm (劉 2014)，這說明同樣是藻礁，桃園觀音區及新屋區確實有外來的鋯元素。

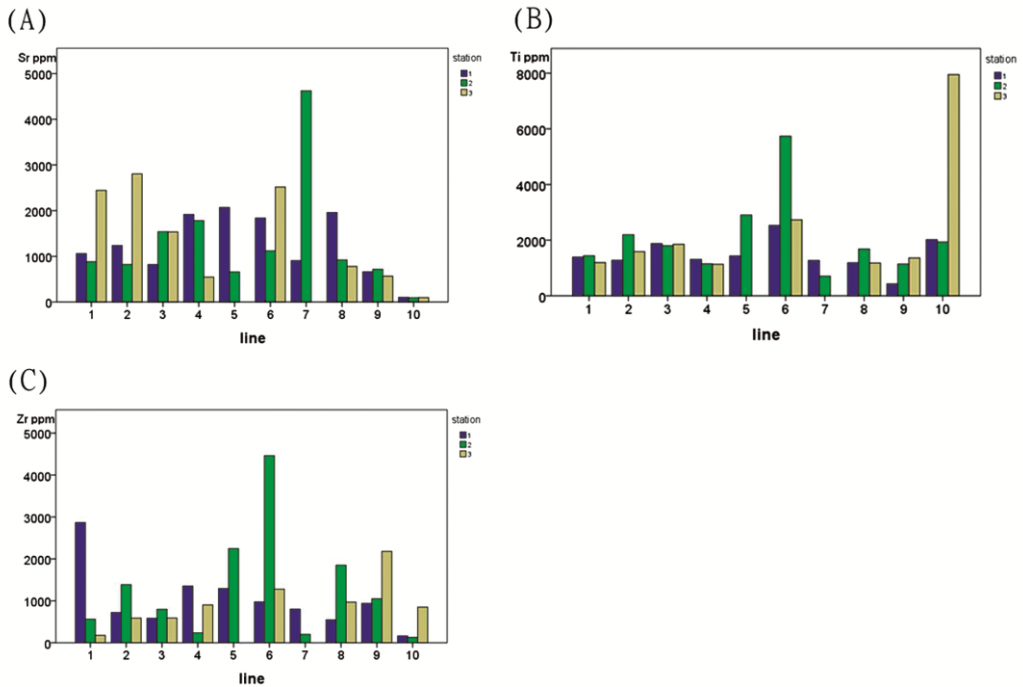


圖 9. 台灣西北桃園海岸 10 條樣線及其採樣站之(A)鋇、(B)鈦、(C)鋯含量變化長方圖，2012 年。
Fig 9. Histogram of Sr, Ti, Zr contents at sampling lines and stations in Taoyuan coast of northwest Taiwan, 2012.

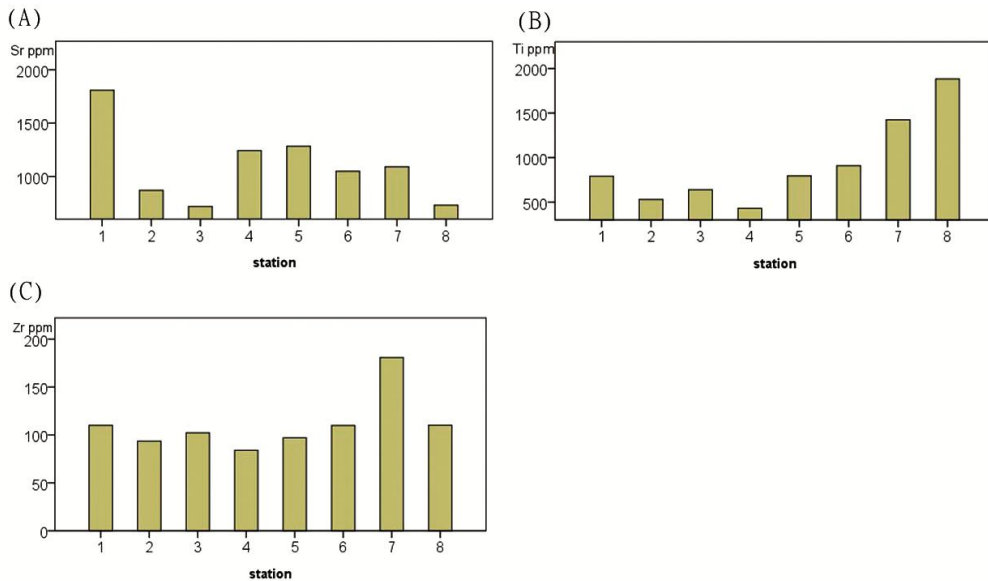


圖 10. 台灣北海岸各採樣站之(A)鋇、(B)鈦、(C)鋯含量變化之長方圖，2012 年。
Fig. 10. Histogram of Sr, Ti, Zr contents at sampling stations and lines in north coast of Taiwan, 2012.

圖 11 以盒形圖顯示台灣西北桃園海岸及北海岸藻礁區樣線之銅、鋅含量於各個樣線的平均值，北海岸銅、鋅值皆在麟山鼻漁港 n3 採樣站明顯偏高，其中鋅有高達 210 ppm 的值，顯然有污染源匯入。但由表 5 之兩處平均值顯示仍是桃園海岸較高，而且桃園海岸樣本間的差異很大，樣線 L1-L4 之銅、鋅含量都偏高，特別是位於人工蛇籠護岸外側之樣線 L2，

銅有 213 ppm、鋅有 188 ppm 的高值，但位於新屋溪口兩側的樣線 L4、L9 並沒有如此極端高值，另距離新屋溪及後湖溪出海口影響範圍較遠的樣線 L7，所測得的銅、鋅含量值都較低，綜上推論，樣線 L1-L4 可能受到新屋溪水滲流經蛇籠護岸堤下方後，溶出護岸堤內填土方物質所影響。

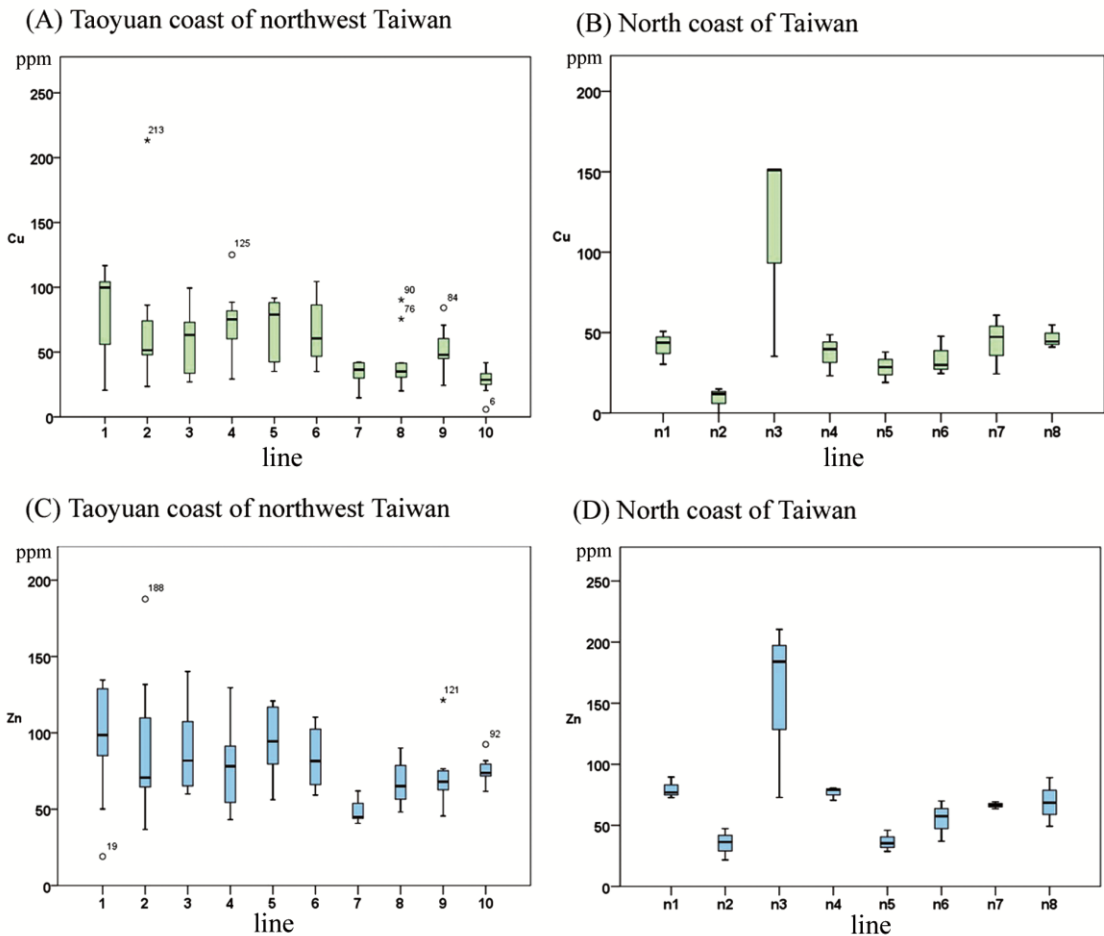


圖 11. 台灣西北桃園海岸及北海岸藻礁區各樣線之銅、鋅含量變化之盒形圖。

Fig. 11. Boxplot of Cu, Zn contents in sampling lines in Taoyuan coast of northwest Taiwan and north coast of Taiwan, 2012.

六、鋯含量與離岸距離分析

本研究檢測的 32 種重金屬絕大多數是桃園測值高於北海岸，其中鋯的值差距最大，確有外來污染，而污染濃度分布情形，可利用 2011 年於觀音藻礁區設置 5 條樣線，將鋯濃度與樣本離岸距離關係繪製長方圖(圖 12)。2011 年之取樣方式為礁體垂直海岸線每隔 10 m 取一樣本，將每一樣本計算垂直海岸線的距離，

5 條樣線共 88 個樣本，依據各距離所有樣本平均值的長方圖顯示，明顯有近岸區鋯濃度較高的趨勢，至離岸 250 m 處仍有約 1,800 ppm 的高值，也就是垂直海岸線露出礁體中，約有 1/2 面積範圍的鋯濃度較高，顯示鋯的來源以陸地為主，而非海流帶來，推論人工蛇籠護岸堤中及新屋溪水內應有污染物。

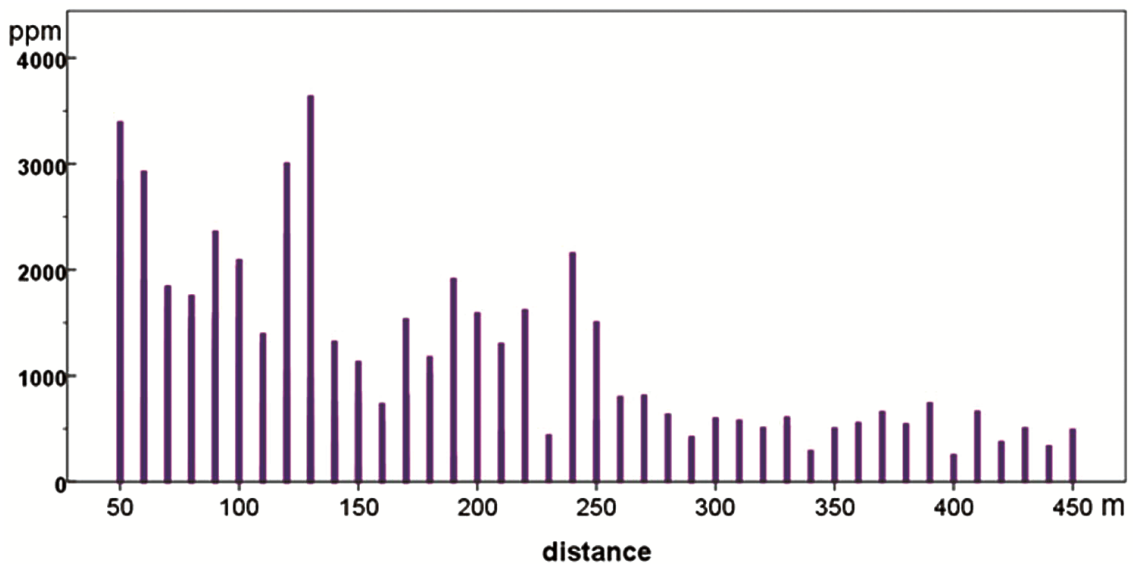


圖 12. 台灣西北桃園海岸觀音藻礁區 88 樣本之鋯含量與離岸距離關係長方圖，2011 年。

Fig. 12. Histogram of Zr contents in 88 samples of Guanyin coast of northwest Taiwan, 2011.

對應 2012 年之鋯值長方圖(圖 9)，藻礁樣線 L1 亦明顯有近岸區鋯濃度較高的趨勢。由於 2012 年採樣站設置視礁體寬度而定，寬度超過 300 m 設置遠、中、近岸 3 處，L5、L7 因寬度僅 200 m 設置 2 處，本研究將西北海岸觀新藻礁之鋯含量依 3 採樣站平均值，將 10 條樣線繪成盒形圖(圖 13)，採樣站 1 的藻礁樣線 L1 濃度明顯高於其他測站，這結果與 2011 的結論符合，也就是近岸區鋯濃度較高。但離

岸約 200 m 的採樣站 2，於藻礁樣線 L6 出現明顯高值，也就是污染源可能為後湖溪排水，或新屋區海岸堆置的石門水庫淤泥遭沖散於海中，漲潮後再帶回，並留於礁體上所致。離岸約 300 m 的採樣站 3，藻礁樣線 L9 也出現明顯高值，檢視採集地位於新屋溪出海口的河海交會處，推論新屋溪應有污染物，如場緊鄰新屋溪岸的桃園觀音灰渣掩埋場滲出水，或有工廠廢水匯入。

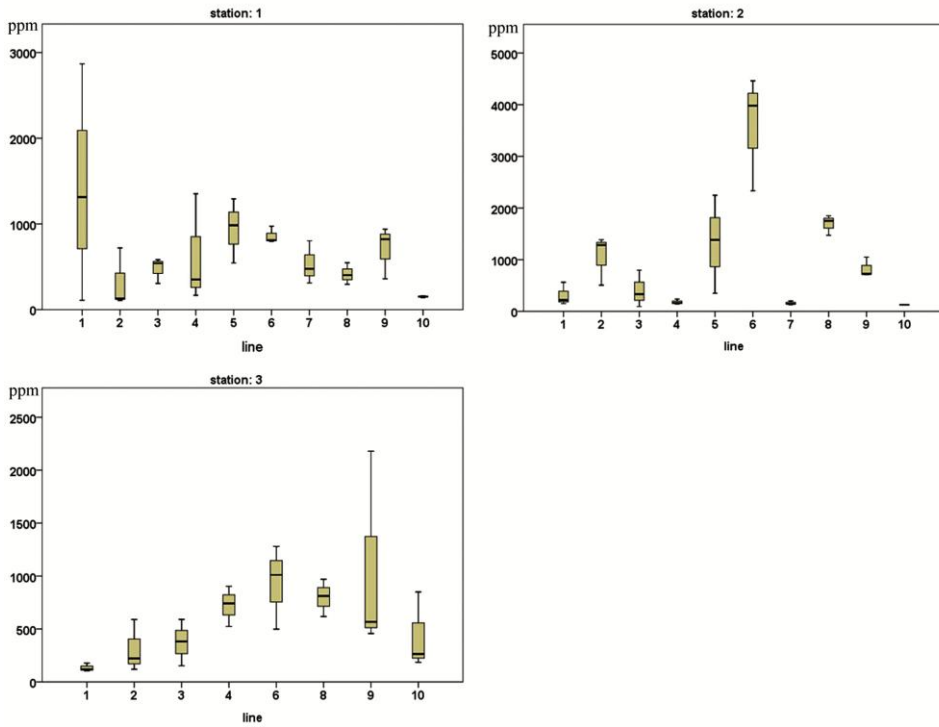


圖 13. 台灣西北桃園海岸鋯含量在遠中近岸 3 採樣站之盒形圖，2012 年。

Fig. 13. Boxplot of Zr contents at three sampling stations in Taoyuan coast of northwest Taiwan, 2012.

結 論

本研究以 2012 年桃園市觀音區及新屋區之藻礁為主要調查對象，對於行政院環境保護署有監測標準值的元素或許可直接比對數值（環境保護署 2000, 2001, 2010, 2011），但多數元素只能進行交叉比對，對照組北海岸的設置是為比較相同基質而污染源不同的環境，另新屋區沙灘樣線則是鄰近地區不同基質的環境，並非對照組為無污染環境，如新屋區大坡溪外側即測得異常的鈦元素，而北海岸的銅、鋅值皆在麟山鼻漁港明顯高於北海岸其他採樣站，此漁港有異常，但整體平均值仍是桃園海岸高於北海岸。

本研究經過交互比較台灣北海岸與觀新

藻礁海岸，其中列舉 5 種確認有污染的鋁、鈦、鋇、銅、鋅元素，來進一步探討分析，銅、鋅為傳統重金屬，較多資料可以比對，而鋇、鈦、鋁為未列入環境保護署的監測項目（環境保護署 2011），目前無標準值可參考。觀新藻礁的鈦、鋁含量對照北海岸的樣本差異實在太大，確實有外來的污染，推論除小飯壠溪、新屋溪、後湖溪、社子溪等有鋁、鈦污染物由溪水匯入藻礁區外，還有其他污染來源。分析 2011-2012 年的樣本，藉由這 2 年鋁、銅、鋅濃度分布數值圖顯示，於近岸區濃度明顯較高，推論污染源位置，這些元素可能來自平行海岸線，長約 1.4 km 的人工蛇籠護岸堤內填土方，以及為解決新屋區永安漁港以南濱海公路飛砂問題，增加遊憩使用面積，而堆置於永安

漁港南側海岸的石門水庫淤泥(中興顧問公司 2008a, 2008b, 2011)。依據石門水庫淤泥多元化處置方案評估(中興顧問公司 2008a)的水庫淤泥之鐵含量極高,而永安漁港兩側海岸的鐵質也明顯高於其他樣線,因此可推論永安漁港所堆放淤泥的鐵元素對此海岸有影響,但銻、鈦元素並未列入當時的檢測項目,因此無法確認銻、鈦污染物是在進行海岸填地計畫的過程中是否就有高濃度,可能也有周邊工廠的廢水,期待相關單位針對可能之來源加強查核。

而微量元素銻、鈞、鈷、鈦、鉍雖然含量不高,但與確認為污染源的銻、鈦、銻元素在樣本間的變化趨勢是一致的,將待取得更多資料後,作進一步分析。此外,鋇、銻、碲、銻、錫之濃度在樣本間的變化相似,顯示樣本間元素來源可能一致,這群元素含量雖不豐富,但有些是放射性同位素,雖然本研究所使用的光譜儀並無法檢測是否為放射性,可參考的訊息較為缺乏,但仍應列入持續監測,累積較多資料後再討論。

引用文獻

- 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屆台灣地層研討會。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。
- 中興工程顧問股份有限公司。2008a。石門水庫淤泥多元化處置方案評估規劃綜合報告。經濟部水利署北區水資源局。340頁。
- 中興工程顧問股份有限公司。2008b。石門水庫淤泥應用於桃園海岸之方案規劃及實施計畫(1/2)。經濟部水利署第二河川局。392頁。
- 中興工程顧問股份有限公司。2011。石門水庫淤泥利用處理規劃及設計成果報告。經濟部水利署北區水資源局。364頁。
- 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。
- 楊晴晴、鄭景智、劉曜文、李達源、莊愷璋。2012。以地理統計結合 X 射線螢光光譜分析推估土壤銅濃度的空間分佈。作物、環境與生物資訊 9:108-112。
- 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。
- 劉靜榆。2008a。台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、台北縣政府農業局主辦。
- 劉靜榆。2010。走訪台灣西海岸(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。搶救台灣藻礁—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。曾文溪口台灣招潮棲地特性

- 研究。特有生物研究 14(1-2): 1-25。
- 劉靜榆 2013。珍愛台灣藻礁。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。232 頁。
- 劉靜榆。2014。台灣西北部觀音藻礁海岸重金屬含量分析。特有生物研究 16(1): 1- 19。
- 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台灣生態環境保育研討會，第 21-26 頁。國立彰化師範大學、彰化縣政府及台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—台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。台灣中油股份有限公司液化天然氣工程處。93 頁。
- 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.
- Jenkins, R. 1999. X-ray Fluorescence Spectrometry, John Wiley & Sons, New York. 207pp.
- 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.
- 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.
- 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.