

臺灣西北部藻礁海岸重金屬污染分析

Heavy Metal Pollution in Algal Reef Coasts 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 南投縣集集镇民生東路 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

為瞭解臺灣西北部藻礁海岸重金屬污染情形，針對桃園市至新竹縣新豐海岸採樣，按河流出口及地理位置先分 15 段海岸，再依海岸類型設置採樣站，共 81 站，採集工作於 2014-2015 年進行，分別重複採集，取得藻礁或沙粒樣本，各樣本以 X-射線螢光光譜儀進行 32 種重金屬濃度測定，共 525 個樣本資料進入分析。先採用多變數分析以定量數據來計算樣本之相關性，依據主成分分析之分布序列圖及群團分析樹狀圖的結果概分為 4 群。

第 1 群鈣、鈦、鋁、硫，礁體完整且覆沙較少處，會有較高的鈣值，鋁在新街海岸 C4 採樣站測得最大值 8147ppm，硫的平均值 2083.3ppm，最大值 16,183ppm 採集自草漯海岸 E1 採樣站，都是異常偏高。第 2 群鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬，大多是常見於傳統工業放流水中的元素，流經觀音工業區的富林溪、樹林溪，以及流經大園工業區的老街溪，數值極端的高，富林海岸 F1 採樣站，鋅最大值 2077.2ppm，鎳最大值 456.1ppm，還有，鉻最大值 351ppm，及 F3 採樣站之銅最大值 1249.8ppm，都遠遠超過土壤污染管制標準污染物之標準值，確實遭到嚴重污染，尚未明列於環保署的排放標準法規中的也都測到最高值，例如，鈦最大值 5087.9ppm，鐵最大值 138332ppm。另還有鋇 1479.7ppm、鉍 457.2ppm、錫 245.2ppm 這 3 種也是在富林海岸 F1 採樣站測得最大值，這 3 種元素與銀、鎘、鈾、銻、碲共列為第 3 群，最大值除鋇、鉍、錫 3 種採集自富林海岸外，其

餘最大值均於坡頭海岸之 O5 採樣站檢測出。觀新藻礁為台灣目前唯一受到保護的藻礁海岸，但核心區、緩衝區還是有錳、汞、鎘、銻、鈦、鈷、鈹等分別被測到最大值或平均值之最高值。比較往年資料，觀音、新屋藻礁海岸鉛含量高，本研究鉛的最大值 2778ppm，數值略為降低。

珊瑚藻建礁過程可能會累積這些元素，與沙質海岸吸附重金屬程度並不相同，本研究將 525 個樣本概分為礁體樣本及沙粒樣本，很多元素在生物礁內之數值皆明顯高於沙粒，上述 3 群元素大多數都是如此，然第 4 群元素鈦、鉀、銻、釩、鉻，平均值卻反而是沙岸高於礁岸，特別需注意的是這 5 種元素的平均值全都在蘆竹海岸檢測到最高值。

本研究證實臺灣西北部藻礁海岸之重金屬污染情形嚴重，然各海岸段有不同的污染物的來源，富林海岸、老街海岸以傳統工業為主，坡頭海岸污染物全都是稀有重金屬，觀新藻礁及永安漁港兩側海岸則混雜多種因素。

Abstract

This study is an investigation of heavy metal pollution in the algal reef coasts of northwest Taiwan in 2014-2015. The coasts between Taoyuan and Sinfeng, Hsinchu, were divided into 15 segments according to estuary and geographical locations, then sampling stations were set up according to coast type. A total of 525 algal reef and sand samples were gathered to measure the concentration of 32 heavy metals by X-ray fluorescence spectrometer. Multivariate statistical analysis was performed on the quantitative data to compare the samples. Four groups of elements were further categorized based on ordination of principal component analysis and dendrograms from cluster analysis.

The first group of elements included calcium(Ca), scandium(Sc), strontium(Sr) and sulfur(S). As the reefs were complete and seldom covered by sand, calcium would be found in higher concentration. At Sinjie coast C4 station, the maximum content of strontium was found at 8147ppm and the average of sulfur was 2083.3ppm; and at Caota coast E1 station, the maximum content of sulfur was 16,183ppm, showing unusually high values. The second group, specifically zinc(Zn), nickel(Ni), copper(Cu), manganese(Mn), iron(Fe), arsenic(As), lead(Pb) and molybdenum(Mo), are elements commonly founded in effluents of traditional industrial areas. Extremely high values were detected at Fulin coast F1 station, with zinc showing a maximum value of 2077.2ppm, nickel 456.1ppm, chromium(Cr) 351ppm; and at F3 station the maximum value of copper was 1249.8ppm. These results are all far above the standard soil pollution control values for criteria pollutants. Highest values of elements that are not listed in the EPA's standards were also found. For example, the maximum value of titanium was 5087.9ppm and iron 138332ppm. In addition, barium(Ba) was measured at a maximum of 1479.7ppm, cesium(Ce) 457.2ppm and tin(Sn) 245.2ppm at Fulin coast F1 sampling station, showing serious pollution. These three elements along with silver(Ag), cadmium(Cd), palladium(Pd), antimony(Sb), tellurium(Te) were categorized into the third group. Samples with maximum value of barium, cesium and tin were collected from Fulin coast,

and maximum values of the other elements were found at Potou coast O5 station. Guan-Sing algal reefs are Taiwan's only protected algal reef coast. However, the highest or average values of manganese, mercury(Hg), cadmium, rubidium(Rb), scandium, thorium(Th), palladium were found there. Compared to data from 2011-2012, zirconium (Zr) slightly reduced to a maximum value of 2778ppm.

During the reef algae building process, these elements may accumulate and may not have the same degree of heavy metal adsorption as sandy shores. In this study, 525 samples were divided into reef and sand samples. As shown by the first three groups, many elements in the reef samples were found to be significantly higher than that of the sand samples. However, the fourth group of elements, specifically titanium(Ti), potassium(K), rubidium, vanadium(V) and chromium, showed a reversal, with higher concentrations found in the sand samples rather than the reef samples. It should be especially noted that the highest values of these five elements were all detected in Luchu coast.

This study found that heavy metal pollution in algal reef coast of northwest Taiwan is serious. Each segment had different sources of pollutants. Fulin and Laojie coasts were mostly polluted by traditional industries, Potou coast was polluted by rare metals, Guan-Sing algal reefs coast and the coast on both sides of Yongan Fishing Port were polluted by a complicated mix of factors.

關鍵詞：藻礁、臺灣西北部、重金屬污染、桃園、新竹新豐、觀新藻礁

Key words: algal reef, northwest Taiwan, heavy metal pollution, Taoyuan, Hsinchu Sinfeng, Guan-Sing algal reefs.

收件日期：2016年08月03日 接受日期：2016年10月31日

Received: August 03, 2016

Accepted: October 31, 2016

緒言

臺灣西北部從桃園市蘆竹延伸至新竹縣新豐是藻礁海岸，於退潮時呈現不連續露出礁體(Reineck and Cheng 1986; Dorjes and Cheng 1986; 陳 1953; 王等 2008; 劉 2008a; 劉等 2007; 劉 2013)。早年曾有德國學者 Reineck 與鄭穎敏教授調查桃園新街溪口至老街溪口之間的內海海岸，以德文發表的學術報告中繪出

桃園內海的藻礁剖面圖(Reineck and Cheng 1986)。之後，王士偉博士於桃園海岸進行 26 處岩心鑽探，結果確認，老街溪口附近之潮音海岸，是臺灣面積最大的藻礁地形，而桃園的藻礁海岸亦依此地名而命名為「潮音石灰岩」(王等 2009)。

有關藻礁的發育年代推論，最早有許民陽教授在觀音海水浴場西南側約 500 公尺的沙灘外緣，採得管孔珊瑚(*Goniopora* spp.)化石的樣

本定年，所得年代為距今 5370 年(許 1993)。之後，王士偉博士也曾分析北海岸生物礁的形成時間，距今約 4400-5200 年；2008 年王博士進行桃園海岸的岩心鑽探定年，結果確認最久距今 7540 年(王等 2008)。2009 年，許民陽教授在於觀音海水浴場附近及新屋溪口北側海岸定年結果，新屋溪口的藻礁剖面底部最早年代為距今 6240 ± 50 年，與在觀音海岸內陸沙丘層下方的珊瑚礁層年代相近(距今 $6180 \sim 5160 \pm 40$ 年)，新屋溪口礁層頂部的細枝狀狀狀珊瑚藻礁的形成年代為 2350 ± 50 年，中段的珊瑚及藻礁年代大約在距今 4471 ± 40 年(許 2009; 2010)。綜合上述，桃園海岸在 7500 年前，生物礁即開始生長，於 4500 年前造礁藻類在桃園海岸逐漸取得生長優勢(戴昌鳳等 2009)。然而，桃園海岸北起大園之竹圍海岸，南迄觀音之大堀溪口，分別設立有海湖坑口、大園、觀音等 3 個工業區，自 1970 年前後工廠即陸續遷入，整段海岸自此受到排廢水影響。

綜觀桃園海岸，自北往南，南崁溪位於蘆竹與大園交界，流經海湖坑口工業區，溪口東側之排水溝長年有墨黑色廢污水，極度惡臭，部分支流水中及周邊皆無動物存活；埔心溪流經中油沙崙油庫及屠宰場等，溪口周邊也因被棄置大量垃圾，又常有動物腐屍，亦極為惡臭；新街溪、老街溪兩溪流經大園工業區，溪水夾帶著污染物排入海中，原本新街溪口還有許多捕鰻苗的定置網，因為捕不到鰻苗，漁民就地棄置，也卡滿垃圾；富林溪、樹林溪、大堀溪等溪流經觀音工業區，這些溪流的出海口不但瀰漫著一股溫熱的臭味，溪水經常墨綠色，有時還會呈現不正常的暗紫色與橘黃色，現存的礁體上，甚難找到生長中的珊瑚藻(劉 2010; 2011b; 2012a; 2014c)。目前尚存大堀溪口

以南至新竹縣新豐的藻礁仍在發育中，包括桃園市觀音區的之白玉、大潭、保生海岸，桃園市新屋區之永興、永安海岸(劉等 2007; 劉 2008b; 2011a; 2012c)，以及新竹縣新豐鄉的藻礁(劉 2013; 2014c)。但除了上述 3 個傳統工業區外，自大堀溪口以南至新屋溪口間，近 20 年來持續規劃設置有觀塘工業區、桃園科技工業園區、環保科技園區、大潭濱海特定工業區等，已陸續招商，所產生的重金屬可能對藻礁海岸有影響。還有 2008-2009 年構築的 1.4 公里的蛇籠護岸，堤內被回填的疑似廢棄物，污染物也悄悄進入藻礁區，依據 2011-2012 年在觀音、新屋及北海岸調查指出，藻礁海岸礁體重金屬鋁、鈦、鉛含量對照北海岸的樣本差異極大，確實有外來的污染(劉 2014a; 2014b)。此外，新屋區為解決海岸侵蝕問題，北區水資源局會進行石門水庫淤泥應用於桃園海岸之計畫(中 2008a; 2008b; 2011)，另有一小型永安工業區，其廢水排入社子溪，流至永安漁港南側，這些都對藻礁海岸可能有影響。

為瞭解臺灣西北部藻礁海岸受污染情形，針對全部桃園市海岸到北新竹的新豐進行全面採樣，以確認上述之人為活動在海岸地區重金屬的累積現況。本研究使用 X-射線螢光光譜儀(X-ray fluorescence)分析樣本中重金屬濃度(Jenkins 1999)，國內外有類似的研究進行(Tomassini 1976; Sauter *et al.* 1979; Muchori 1984; Makundi 2001; 葉等 2011; 楊等 2012; 劉 2012b; 2014a; 2014b; 2015)。本研究檢測結果除參考環保署的法定標準外，對於尚未明列於行政院環境保護署的排放標準法規中的多種重金屬(環 2000; 2001; 2010; 2011)，將交互對照不同地區之海岸，推論污染程度，試圖進一步追蹤，作為未來污染物的來源位置及擴散方向判斷之參考。

材料與方法

一、採樣站設置及樣本採集

本研究調查期間為 2014-2015 年，調查範圍北起桃園市蘆竹海岸，南至新竹縣新豐的坡頭海岸，先依其地理位置分為 A-O 共 15 段海岸(圖 1)，分別為 A 蘆竹、B 埔心、C 新街、D 老街、E 草漯、F 富林、G 大堀、H 大潭、I 保生、J 新屋、K 永興、L 永安、M 笨港、N 深圳及 O 坡頭等，再依河流出口現況及海岸潮間帶寬度設置採樣站(station)(圖 2)，垂直海岸線至最低潮線，若潮間帶礁體寬度 100m 之內設置 1 樣點，潮位標示為高(high)，寬度達 200m 再增設 1 樣點，潮位標示為低(low)，寬度超過 300m，於中間點再設置 1 樣點，潮位標示為中(mid)，共設置 81 個採樣站。

調查工作自 2014 年起依上述原則設置採樣站，進行第 1 次採樣，於 2015 年對採樣站略做增補或調整，並進行再次採樣。各採樣站利用退潮時取樣，依棲地類型取得檢測樣本，藻礁地形採集生物礁體樣本，無造礁礫灘或沙灘則採取沙粒樣本，共有 175 個樣點，每採樣點分別進行 3 次重複採樣，共計 525 筆樣本資料進入分析。圖 2 顯示桃園到新豐海岸採樣站位置，分述如下：

A 蘆竹：自蘆竹濱海遊憩區至南崁溪口北側，有 5 採樣站，分別為 A1.蘆竹垃圾掩埋場外側海岸沙灘，A2.蘆竹濱海遊憩區南側礫灘，A3.出水仔海岸之排水道北側沙灘，A4.出水仔海岸之排水道出海口沙灘，A5.南崁溪口北側海岸礫灘；

B 埔心：埔心溪口北側，有 3 採樣站，分別為 B1.沙崙海岸藻礁，B2.埔心溪口北岸礫灘，B3.埔心溪口北側沙灘；

C 新街：新街溪口南北側，有 5 採樣站，分別

為 C1.新街溪口北側藻礁，C2.新街溪口南側近岸藻礁，C3.新街溪出海口南岸沙灘，C4.新街溪出海口南岸藻礁，C5.新街溪口南側之許厝海岸藻礁；

D 老街：老街溪口北側，有 7 採樣站，分別為 D1.許厝海岸藻礁(高潮位)，D2.老街溪口北側近岸藻礁(高潮位)，D3.許厝海岸沙灘(中潮位)，D4.老街溪口北岸藻礁(中潮位)，D5.許厝海岸藻礁(低潮位)，D6.老街溪出海口北岸藻礁(低潮位)，D7.老街溪出海口北岸沙灘(低潮位)；

E 草漯：草漯至富林溪口北側，有 5 採樣站，分別為 E1.草漯近岸藻礁(高潮位)，E2.草漯遠岸藻礁，E3.富林溪北岸藻礁，E4.富林溪口北岸沙灘(高潮位)，E5.富林溪出海口沙灘；

F 富林：富林溪口南側至樹林溪口北側，有 4 採樣站，分別為 F1.富林溪南岸出海口藻礁(低潮位)，F2.富林溪與樹林溪間沙灘，F3.樹林溪出海口北岸藻礁(低潮位)，F4.樹林溪北岸沙灘；

G 大堀：大堀溪口南北側，有 6 採樣站，分別為 G1.大堀溪北岸藻礁，G2.大堀溪北岸沙灘，G3.大堀溪口北岸沙灘(近河口)G4.大堀溪南側近岸沙灘(高潮位)，G5.大堀溪南岸藻礁，G6.大堀溪出海口南岸藻礁；

H 大潭：大潭工業區西南側與小飯壠溪口南側間，有 7 採樣站，分別為 H1.小飯壠溪南側高潮位沙灘，H2.小飯壠溪南側中潮位沙灘，H3.小飯壠溪南側低潮位(2014 年藻礁，2015 年大量覆沙)，H4.過溪仔高潮位藻礁，H5.過溪仔中潮位藻礁(沙覆蓋礁體)，H6.過溪仔低潮位沙灘，H7 過溪仔低潮位藻礁；

I 保生：觀音藻礁區之下北湖海岸，有 6 採樣站，分別為 I1.保生北線高潮位藻礁(2014 年藻礁，2015 年部分覆沙)，I2.保生北線中潮

位藻礁(2014年藻礁部分覆沙), I3.保生北線低潮位藻礁, I4.保生南線高潮位藻礁, I5.保生南線中潮位藻礁, I6.保生南線低潮位藻礁;

J 新屋:新屋溪口北側,有7採樣站,分別為 J1.新屋北線高潮位藻礁, J2.新屋北線中潮位藻礁, J3.新屋北線低潮位藻礁(2014年藻礁, 2015年部分覆沙), J4.新屋溪口高潮位藻礁(2014年沙覆蓋部分礁體), J5.新屋溪口中潮位藻礁, J6.新屋溪口低潮位藻礁, J7.新屋溪口河床沙泥覆蓋礁體;

K 永興:新屋溪口南側至葉厝海岸間,有6採樣站,分別為 K1.新屋溪口南側高潮位藻礁, K2.新屋溪口南側中潮位藻礁, K3.新屋溪口南側低潮位藻礁, K4.永興葉厝海岸高潮位藻礁, K5.永興葉厝海岸中潮位藻礁, K6.永興葉厝海岸低潮位藻礁;

L 永安:永安漁港北側之新屋藻礁區,有7採樣站,分別為 L1.永安北線高潮位藻礁, L2.永安北線低潮位藻礁, L3.永安南線高潮位藻礁, L4.永安南線中潮位藻礁, L5.永安南線低潮位藻礁, L6.後湖溪北側高潮位藻礁, L7.後湖溪北側低潮位藻礁;

M 笨港:永安漁港南側之社子溪口至大坡溪口間,有3採樣站,分別為 M1.永安港南側沙灘, M2.笨港海岸沙灘, M3.大坡溪口新濱2號橋外側沙灘;

N 深圳:深圳至蚵間,有3採樣站,分別為 N1.深圳低潮位藻礁, N2.深圳高潮位礫灘, N3.蚵間1哨外側沙灘;

O 坡頭:羊寮溪至坡頭港北堤間,有7採樣站,分別為 O1.羊寮溪台61橋下沙灘, O2.蚵殼港羊寮溪河口沙灘, O3.坡頭石滬區藻礁, O4.坡頭石滬區蚵殼礁, O5.復興漁港殘存藻礁部分覆沙, O6.新豐海水浴場部分藻礁,

O7.坡頭港北堤沙灘。

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。每樣本以型號 XL3t 700 X-射線螢光光譜儀進行檢測,重金屬濃度分析依據行政院環境保護署的標準流程操作(環 2006),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、鈾 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。

三、資料分析

原始資料經整理後以敘述統計(descriptive statistics)呈現,計算各元素間之皮爾森相關係數(Pearson correlation coefficient),以檢視樣本中各重金屬濃度之相關性。利用及群團分析(cluster analysis),將經標準化(data standardized)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(unweighted pair-group method, UPGMA)加以聯結,導出層級系統樹狀圖(dendrogram)。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。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,繪製盒形圖,討論重金屬濃度在空間分布現象。此外,為了解不同海岸基質的差異,另區分礁體及沙粒等 2 種棲地類型,將

重金屬在各採樣站的累積狀況繪製盒形圖。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)。

結果與討論

一、重金屬含量於各分段海岸之敘述統計

本研究歷經兩年採樣，共計 525 樣本，檢測 32 種重金屬元素，表 1 列出臺灣西北藻礁海岸所檢測的最大值與平均值。再列出各分段海岸之樣本摘要統計資料(表 2)，分別為 A 蘆竹 33 個樣本、B 埔心 12 個樣本、C 新街 27 個樣本、D 老街 54 個樣本、E 草漯 24 個樣本、F 富林 39 個樣本、G 大堀 51 個樣本、H 大潭 48 個樣本、I 保生 42 個樣本、J 新屋 48 個樣本、K 永興 42 個樣本、L 永安 45 個樣本、M 笨港 18 個樣本、N 深圳 9 個樣本、O 坡頭 33 個樣本，計 525 筆樣本資料，並在表 2 中將 32 種重金屬各分段海岸之檢測值，最高值以粗體字呈現，最大值以紅字呈現。

臺灣西北藻礁海岸 525 樣本中濃度高的元素有鐵、鈣、鋁、鉀、錳、鈦、硫，有些可能與環境背景值有關，然多數元素濃度最大值與平均值差異大(表 1)，顯示多數元素的含量在樣本間並不均質，例如鐵的含量變化極大。根據史料記載，草漯沙丘延伸到北海岸富含鐵礦沙，而臺灣西北部沿海磁鐵礦沙來源，主要來自臺灣北部火成岩之岩石風化生成，隨東北季風帶至桃園海岸沉積(潘 1996; 陳 1953; 譚及魏 1997; 劉 2013)。對照於先前調查桃園觀音、新屋及北海岸藻礁海岸的資料，文獻中鐵的含量，2012 年在觀新藻礁海岸最大值 63623ppm，平均值 18334.0ppm(n=84)

(劉 2014b)，北海岸石門及三芝藻礁區最大值 66310ppm，平均值 16985.5ppm (n=24) (劉 2014b)及 2012-2013 年在新竹市海岸最大值 34466ppm，平均值 15287.6ppm(n=279) (劉 2015)，本研究中的樣本平均值 18331ppm (n=525) (表 1)，顯示平均值差異可能不大，但有些樣本檢驗數值卻明顯偏高，採集自富林海岸最大值高達 138332ppm，平均值 39458.2ppm (n=39)，再對照各分段海岸之各元素濃度值(表 2)，其中桃園富林海岸的鐵、銅、鋅、鎳、鈦、錫、鋁、鉍、鉍、鉍等元素都是最高濃度，顯示其異常。

鈣的樣本平均值 93063.1ppm (n=525) (表 1)，樣本最大值 458216ppm 採集自新街海岸，平均值 108923.5ppm (n=27)，這段海岸也是早期德國學者 Reineck 與鄭穎敏教授繪製藻礁剖面圖之採樣點--桃園內海(Reineck and Cheng 1986)，延伸至老街溪口附近之潮音海岸，是臺灣面積最大藻礁地形(王等 2008)。鈣的差異來自於生物礁成分，無造礁條件的海岸數值就明顯降低，這個變化趨勢與鋁在樣本間的變化大致相近，鋁的樣本平均值 1156.5ppm (n=525) (表 1)，最大值 8147ppm 採集自新街海岸，另以大堀海岸的樣本平均值 2503.2ppm 為最高 (n=51) (表 2)。比較 2011-2012 年之相關調查文獻，鋁的含量在觀音藻礁區最大值 2546ppm，北海岸最大值 1486ppm (劉 2014a)，2012 年在觀新藻礁海岸最大值 4622ppm，平均值 996.3ppm (n=84)，北海岸石門及三芝藻礁區最大值 1808ppm，平均值 918.9ppm(n=24) (劉 2014b)，2012-2013 年在新竹市海岸最大值 135ppm，平均值 72.1ppm (n=279) (劉 2015)，顯示本研究平均值或最大值均大於先前調查之周邊海岸，包括新竹市海岸、北海岸，以及桃園觀音、新屋海岸等，最高值又以新街海岸

明顯偏高。

鉀的樣本平均值 5973.3ppm(n=525) (表 1)，最大值 13509ppm 採集自大堀海岸，蘆竹海岸的樣本平均值 9946.1ppm 為最高(n=33) (表 2)，鉀是生物營養元素，數值較高的採樣站均與其上游之畜牧養殖廢水排放有關。比較先前調查之相關文獻，2012-2013 年在大压溪口至美山間的老熟紅樹林內灘地測得最大值 14960ppm，新竹市海岸平均值 9022.6ppm (n=279) (劉 2015)，2012 年在觀新藻礁海岸最大值 8586ppm，平均值 4295.1ppm (n=84) (劉 2014b)，2012 年在北海岸石門及三芝藻礁區最大值 6688ppm，平均值 3100.3ppm (n=24) (劉 2014b)，顯示本研究平均值或最大值均與新竹市海岸的老熟紅樹林內相當，卻明顯高先前調查之藻礁海岸。

錳的樣本平均值 2417.3ppm (n=525) (表 1)，最大值 26735ppm 採集自保生海岸，富林海岸的樣本平均值 5971.9ppm 為最高 (n=39) (表 2)，比較相關文獻，2012 年在觀新藻礁海岸最大值 15202ppm，平均值 1460.5ppm (n=84) (劉 2014b)，2012 年在北海岸石門及三芝藻礁區最大值 7569ppm，平均值 905.0ppm (n=24) (劉 2014b)，2012-2013 年在新竹市海岸最大值 892.6ppm，平均值 223.4ppm(n=279) (劉 2015)，顯示本研究平均值及最大值均大於先前調查之周邊海岸。

鈦的樣本平均值 1192.7ppm (n=525) (表 1)，最大值 5087.9ppm 採集自富林海岸，蘆竹海岸的樣本平均值 3106.09ppm 為最高(n=33) (表 2)，比較相關文獻，2012 年在新屋區永安漁港南側沙灘測得最大值 7950ppm，2012 年在觀新藻礁海岸平均值 1392.2ppm(n=84) (劉 2014b)，2012 年在北海岸石門及三芝藻礁區最大值 1883ppm，平均值 637.0ppm(n=24) (劉

2014b)，及 2012-2013 年在新竹市海岸最大值 4144ppm，平均值 2659.2ppm (n=279) (劉 2015)，本研究中平均值 2083.3ppm (n=525) (表 1)，與先前調查之周邊海岸相較，僅比北海岸高，平均值卻低於觀新藻礁及新竹市海岸，值得注意的是，採集自富林海岸樣本中除了鈦以外，還有多種元素不論是最大值或平均值都明顯偏高，有明顯異常。

硫最大值 16,183ppm 採集自草漯海岸，樣本平均值 3127.5ppm(n=24) (表 2)，比較相關文獻，硫的含量在 2012 年觀新藻礁海岸測得最大值 1696ppm，平均值 687.2ppm (n=84) (劉 2014b)，2012 年在北海岸石門及三芝藻礁區測得最大值 3,199ppm，平均值 1681.6ppm (n=24) (劉 2014b)，及 2012-2013 年在新竹市海岸之老熟紅樹林採得最大值 1696ppm，平均值 526.2ppm(n=279) (劉 2015)，本研究中平均值 2083.3ppm(n=525) (表 1)，顯示平均值及最大值均遠大於先前調查之周邊海岸，最高值又以草漯海岸明顯偏高。

除了濃度較高的元素外，多數元素的最大值與平均值差異亦大(表 1、表 2)，將以多變數分析進一步研判，釐清重金屬元素間之相關性。

二、多變數分析

為瞭解臺灣西北藻礁海岸所採集之 525 個樣本中 32 種重金屬元素間之關連性，本研究利用多變數分析法，先計算相關係數並以群團分析法導出 32 種重金屬元素之樹狀圖(圖 3)，再以主成分分析，依據各樣本內重金屬含量，計算各軸之特徵值，繪製 32 種重金屬元素分布序列圖(圖 4)及 525 個樣本分布序列圖(圖 5)。分布序列圖前 2 軸的變異量佔總變異量的 50%，依據各元素於主成分分析第 1 軸與第 2

軸的之排序結果，再與層級系統樹狀圖相呼應，結果可將重金屬元素分為 2 大群。

第 I 大群中包含 3 小群，其中第 1 群有鈣、鋇、鈦、硫(圖 3、圖 4)，鈣、鈦、鋇與礁體成分有關，特別是鈣、鈦濃度雖然差異很大，但在各採樣站的變化趨勢略同，相關係數為 0.669 達顯著，鈦、鋇相關性雖僅 0.345，亦達顯著。對照於桃園觀音、北海岸淺水灣藻礁區(劉 2014a)、桃園觀音、新屋及北海岸石門及三芝藻礁海岸(劉 2014b)之樹狀圖及分布序列圖都有相似的結果。本研究鈣、鈦、鋇相關性雖達顯著，相關係數分別 0.661, 0.669, 0.345(表 3)，但與先前針對桃園觀音、新屋藻礁區的數值相較，2011 年調查桃園觀音之鈣、鈦、鋇為 0.94, 0.66, 0.65(劉 2014a)，2012 年調查桃園觀新藻礁的值為 0.922, 0.814, 0.775(劉 2014b)，鈣、鈦、鋇相關性都大為降低。硫元素無論在樹狀圖及分布序列圖都被歸入鈣、鈦、鋇這群，相關係數分別為 0.586, 0.442, 0.392(表 3)，亦都達到顯著，與先前調查桃園觀音、新屋海岸的結果 0.612, 0.665, 0.423，相關性略微增加(劉 2014b)。

第 2 群為鋅、鎳、銅、鉛、砷、鐵、錳(圖 4)，這群元素雖濃度大不相同，但在樣本間濃度變化趨勢有高度相似性，相關性顯著(表 3)，如，鋅、鎳之皮爾森相關係數達 0.811，鉛、砷為 0.797，鋅、銅為 0.773，這些元素也是傳統工業污染主要元素。再對應採樣站之分布序列圖(圖 5)，主要採集自富林海岸之 F1 採樣站及 F3 採樣站等 2 個站，如前所述，採自富林海岸的樣本有多項元素現出本研究的最高值。

另一群高度相似性的元素為鉍、鉍、碲、銻、錫、鎳、銀、鈾，這些元素雖非極端高值，但元素濃度在樣點間變化趨勢相似性極高，相關係數介於 0.803-0.987，最大為鉍、碲達

0.987，最小為錫、鈾 0.803(表 3)。對照於 2011-2012 年桃園觀音、新屋及 2012 年在北海岸藻礁海岸的資料，這些元素也都是高度相關(劉 2014a,b)。

第 II 大群中包含 1 小群，主要元素有鈦、鉀、鉬，此結果對照於先前觀新藻礁區研究結果之分布序列圖，鈦、鋁、鈦、鐵、鈉、鉀、鉬等元素為同群，其中鋁元素含量偏高(劉 2014b)，顯示本研究之樣本內污染物的組成與觀新藻礁區大不相同。

三、重金屬元素含量之空間變化

為瞭解重金屬元素含量之空間變化，本研究依據多變數分析結果，選定需進階討論之元素，首先參考樹狀圖及分布序列圖之結果概分為 4 群(圖 3、圖 4)，其中第 1 群為鈣、鈦、鋇、硫，第 2 群為鋅、鎳、銅、鉛、砷、錳、鐵、鉍，第 3 群元素為鉍、鉍、碲、銻、錫、鎳、銀、鈾，第 4 群為鈦、鉀、鉬。再將選定屬同群之元素，分別依地理位置所分之 15 段海岸及採樣站順序標示於 X 軸，重金屬元素含量以盒形圖標示於 Y 軸。

(一) 鈣、鈦、鋇、硫

1. 採樣站間比較

第 1 群為鈣、鈦、鋇、硫，這群元素與藻礁出現與否相關性較大，礁體的主要元素是鈣，礁體完整且覆沙較少處，會有較高的鈣值，同時鈦、鋇值也會偏高。檢視圖 6 中鈣元素於各段海岸的量，可看出 A 蘆竹、M 笨港、N 深圳等 3 段海岸罕見礁體分布，其他段皆都會有不等比例的生物礁，其中新街海岸測得最高的鈣，在新街溪出海口南岸藻礁(C4)採樣站測得最大值 458216ppm，平均值 282295.1ppm (n=6)。

錳的濃度在全部採樣站的平均值為 1156.5ppm (n=525)，從圖 6 中觀察錳的濃度，多數採樣站測得的值約在 2000ppm 以下，但最大值 8147ppm，也在新街溪 C4 採樣站測得，平均值 4629ppm (n=6) 顯著高於新街海岸的其他採樣站，而許厝海岸藻礁低潮位(D5)採樣站最大值 7131ppm，平均值 5501.5ppm (n=6)；大堀溪南岸藻礁(G5)採樣站最大值 6294ppm，平均值 2883.7ppm(n=6)；大堀溪出海口南岸藻礁(G6)採樣站最大值 7156ppm，平均值 5744.4ppm(n=18)；永安北線高潮位(L1)採樣站最大值 6115ppm，平均值 2627.3ppm (n=6)；永安北線低潮位(L2)採樣站最大值 5592ppm，平均值 2276.6ppm (n=6)，這些數值與其他採樣站有顯著差異。雖然錳和鈣有略同的變化趨勢，相關係數為 0.661 亦達顯著，但而礁體變化趨勢與鈣仍有不同(圖 6)，特別是新街、老街、大堀及永安等海岸段，疑似有外來污染，應非環境背景值。

從圖 6 中硫的濃度在各採樣站測得的值約在 5000ppm 以下，數值略高的有草漯近岸藻礁高潮位(E1)採樣站最大值 16183ppm，平均值 7578.0ppm(n=6)；新屋北線高潮位(J1)採樣站最大值 110,380ppm，平均值 74091.2ppm (n=9)；坡頭石滬區藻礁(O3)採樣站最大值 10028ppm，平均值 5970.5ppm(n=6)。雖然採樣站間並沒有很大的變化，但對照於先前調查之桃園觀音(劉 2014a)、觀新藻礁(劉 2014b)、北海岸石門及三芝海岸(劉 2014b)、新竹市海岸(劉 2015)等其他海岸的數值，本研究呈現的數據實屬異常偏高。

2. 海岸棲地基質比較

因為本次採樣的海岸多為長期受到傳統工業污染的區域，珊瑚藻建礁過程可能會累積這些元素，而與沙質海岸吸附重金屬程度並不

相同。然而本研究有部分採樣站並不容易明確的劃分為礁或沙，例如，新屋溪口河床(J7)採樣站，此採樣站位於新屋海岸段，為 2015 年新設置的站，是新屋溪口河床上原本被沙泥覆蓋的礁體，因近期的沖刷，逐漸露出，但仍有大量泥沙，在棲地類型上介於礁體與沙泥之間，因此與沙質棲地相較，在很多元素都呈現偏高的現象，但若與其他生物礁海岸相比卻不明顯超高，類似的覆沙情況也出現在富林、大潭、保生等採樣站的部分樣本。然為了解生物礁及沙岸基質在重金屬累積的狀況的差異，初步僅能依據樣本內鈣質含量，以 15000ppm 為界，略區分為 2 種海岸基質，將 525 個樣本概分為礁體 372 個樣本及沙粒 153 個樣本，表 6 分別列出鈣、鈦、錳、硫的最大值與平均值，並繪製盒形圖(圖 7)。

若按本研究所區分之 2 種海岸基質計算礁體及沙粒樣本平均值(表 6)，鈣的數值在沙質灘地平均值 6529.7ppm，礁體為 128653.4ppm，濃度將近 20 倍，最大值差異約 30 倍，鈦的數值在沙質灘地平均值 6.6ppm，礁體為 113.5ppm，濃度將近 17 倍，最大值將近 4 倍，錳的數值在沙質灘地平均值 117.6ppm，礁體為 1583.8ppm，濃度超過 13 倍，最大值差異約 9 倍。依據盒形圖顯示(圖 7)蘆竹海岸雖是未造礁的沙灘或是礫灘，仍有許多鈣，同樣富林的 F2、F4 採樣站，大潭的 H1 採樣站及新屋的 J7 採樣站等海岸部分被沙覆蓋的採樣站，也有較高的數值。

從圖 7 中觀察沙粒 153 個樣本錳、鈦、硫的數值，錳的濃度在沙質灘地除坡頭海岸之復興漁港藻礁(O5)採樣站，保生、新屋及深圳等採樣站的部分樣本測得較高的值，其餘海岸段的值約在 100ppm 上下，鈦的濃度在沙質灘地則是深圳高潮位礫灘(N2)及新屋部分樣本有

較高的值，硫的濃度在各採樣站的分布也是沙質灘地較低(圖 7)，除蘆竹及新屋的採樣站部分樣本測得較高的值外，其餘約在 2000ppm 以下。而從圖 7 中觀察礁體 372 個樣本，因採樣站間的變化大，仍壓縮盒形圖的比較空間，因此與圖 6 顯示大致相同。

(二) 鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬

1. 採樣站間比較

第 2 群為鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬，這群元素在樣本間濃度變化趨勢相似性，而這些重金屬含量在空間變化相似性也與工業區放流水排放位置有關。由圖 8 中顯示，富林溪南岸出海口藻礁低潮位(F1)採樣站及樹林溪出海口北岸沙灘低潮位(F3)採樣站等 2 個站之鋅、鎳、銅等元素濃度極高，依據表 1 所列全部採樣站的平均值(n=525)鋅、鎳、銅分別為 132.9ppm、31.1ppm、53.9ppm，但鋅在 F1 採樣站最大值 2077.2ppm，平均值 925.8ppm (n=9)，在 F3 採樣站最大值 1961.6ppm，平均值 1120.2ppm (n=12)；鎳在 F1 採樣站最大值 456.1ppm，平均值 187.0ppm (n=9)，在 F3 採樣站最大值 395.2ppm，平均值 208.7ppm (n=12)；銅在 F1 採樣站最大值 160.4ppm，平均值 101.8ppm (n=9)，在 F3 採樣站最大值 1249.8ppm，平均值 490.7ppm (n=12)，表 5 列出富林海岸 F1 及 F2 採樣站之數值，與其他段海岸之採樣站比(表 1，表 2)，富林海岸之污染情形極為嚴重。

富林溪、樹林溪流經觀音工業區，溪流出海口皆為向南，因此 F1 採樣站的污染值源自富林溪，但 F3 採樣站位於樹林溪北側，測得的數值應該仍是受富林溪影響，而偏高的重金屬鋅、鎳、銅、鉛、砷等都是常見於傳統工業放流水中的元素，也多是環保署列管的元素。

對照土壤及地下水污染整治法(環 2011)之土壤污染管制標準污染物之重金屬管制標準值：砷 60ppm、銅 20ppm (食用作物農地之管制標準值為 5)、鎳 400ppm (食用作物農地之管制標準值為 200)、鉛 200ppm、鉛 2000ppm (食用作物農地之管制標準值為 500)、鋅 2000ppm (食用作物農地之管制標準值為 600)，上述之元素在 F1 及 F3 採樣站全數超標(表 5)，尚未明列於環保署的排放標準法規中的錳、鐵、鈦、鉻、錫、鉍、鉍也都測到本研究的最大值。

砷、鉛、錳、鐵等元素除 F1 及 F3 採樣站濃度極高外，還增加老街溪及後湖溪口 2 處，在老街溪口北側近岸藻礁高潮位(D2)採樣站及北岸藻礁中潮位(D4)採樣站、後湖溪北側低潮位(L7)採樣站等 3 個站濃度也頗高(表 5)。其中砷在 D2 採樣站最大值 274.9ppm，平均值 117.3ppm (n=6)，砷、鉛的數值在 D2、D4 採樣站更是高於富林海岸 F1 及 F2 採樣站之數值(表 4)，成為另一個明顯污染的海岸。

而永安漁港北側之新屋藻礁區 L7 採樣站的鉛、砷、鉬、錳、鐵、鎳等元素也都偏高(表 6)，L7 採樣站的鉛最大值 148.4ppm，平均值 85.13ppm(n=9)，鉛測到最高值，而鉬元素在 L7 採樣站的檢測值高於富林海岸，此外，錳元素在 L7 及新屋北線中潮位(J2)採樣站濃度偏高，同時保生南線中潮位(I5)採樣站，新屋溪口南側至葉厝海岸間(K2、K3、K5)採樣站也分別測得較高的數值，鐵在深圳高潮位礫石灘(N2)採樣站及 L7 採樣站濃度也偏高(表 6)，顯示新屋溪口兩側有疑似污染源排入。

2. 海岸棲地基質比較

將 525 個樣本依據前述樣本內鈣質含量，區分為礁體 372 個樣本及沙粒 153 個樣本，表 7 分別列出 2 種海岸基質的鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬最大值與平均值，並繪製各元

素盒形圖(圖 9)。由表 7 顯示重金屬累積狀況的差異，生物礁內很多元素之數值皆明顯高於沙岸基質，鋅的數值在沙質灘地平均值 86.0ppm，礁體為 152.1ppm，濃度將近 1 倍，最大值差異更大，約 15 倍，同樣的鎳、銅、鉛、砷、鉬也有類似的差異，鎳在沙質灘地平均值 18.0ppm，礁體為 36.6ppm、銅在沙質灘地平均值 23.6ppm，礁體為 66.3ppm，濃度差超過 1 倍，比較最大值也都有 10-20 倍不等的差異。這群元素中，錳在沙質灘地平均值 392.5ppm，礁體 3250.0ppm 高達 8 倍，是礁體與沙質灘地平均值中差異最多的元素。鐵的最大值雖仍是礁體的值高很多，但礁體平均值 17676.4ppm，卻比沙質灘地的 19924.2ppm 為低，是唯一例外。

比對盒形圖(圖 9)鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬的值，在礁體部分 F1 及 F3 採樣站仍都呈現偏高的現象，老街海岸次之，沙質灘地仍是在富林海岸之呈現一高峰。而坡頭海岸的復興漁港殘存藻礁(O5)採樣站，也因有部分覆沙，有 2 樣本被歸入沙粒，呈現鋅、鎳、銅、鉛、鉬明顯偏高。除此之外，大致上沙粒基質在採樣站間的變化不若礁體大，僅有新屋海岸的鋅、銅，深圳海岸的鎳、鐵，保生海岸的砷有偏高數值。

(三) 銀、鋇、鎘、鉍、鈾、鈾、錒、碲

第 3 群元素為銀、鋇、鎘、鉍、鈾、鈾、錒、碲，對照於 2011-2012 年調查桃園觀音、新屋及北海岸藻礁海岸的資料(劉 2014a,b)，這些元素濃度在樣點間變化不大，幾乎呈現均勻分布，但本研究卻出現明顯高值的採樣站(圖 10)，主要採集自坡頭海岸之復興漁港藻礁(O5)採樣站及大潭海岸之過溪仔中潮位(H5)採樣站等 2 個站。

其中各採樣站的最大值(表 1)碲 941.3ppm、鉍 288.3ppm、鎘 99.3ppm、銀 57.2ppm、鈾 77.9ppm 都採自復興漁港藻礁(O5)採樣站(表 8)，在這個群組另 3 個元素的最大值鋇 1479.7ppm、鉍 457.2ppm、錒 245.2ppm 則採自富林海岸。可見富林海岸不僅有傳統工業的常見污染物，也有稀有重金屬污染。再按本研究所區分之 2 種海岸基質列舉最大值並計算平均值(表 9)，最大值的差異變小，生物礁內元素之平均值仍高於沙岸基質 1 倍不等。

(四) 鈦、鉀、銣、釩、鉻、鈷

鈦、鉀、銣是第 II 大群中的變化趨勢相近的 1 小群，鈦最大值又出現在富林海岸，F1 採樣站 5299ppm，仍是生物礁海岸，但平均值最高的蘆竹海岸 2435.5ppm (n=33)卻是沙質海岸，按本研究區分之 2 種海岸基質列舉之最大值及平均值(表 10)，最大值雖仍是礁體內略高於沙粒，但平均值卻反而是沙岸遠高於礁岸，鈦在沙灘樣本平均 2173.2ppm，礁體樣本平均為 789.5ppm，將近 3 倍，比較相關文獻，2012 年在觀新藻礁海岸也是在沙灘測得最大值 7950ppm(劉 2014b)，2012-2013 年在新竹市海岸最大值 4144ppm(劉 2015)也是在沙泥灘。顯示造礁過程中對於鈦的吸收並不像其他元素強，但最大值仍是在富林海岸中屬於藻礁基質的 F1 採樣站測得，再再凸顯此處的污染嚴重。鉀的數值同樣也是沙岸高於礁岸，沙岸平均值將近 10000ppm，礁岸平均值將近 5000ppm，平均值約高 1 倍。

鉻也是常見於傳統工業放流水中的元素，最大值 351ppm 是沙粒樣本的 5 倍，比對盒形圖(圖 13、圖 14)，鉻最大值 350.1 ppm 還是出現在富林海岸 F1 採樣站，其次是蘆竹海岸的 221.6 ppm，平均值 46.7 ppm 則是各海岸

段中最高。銻是環保署列管的元素，依據土壤及地下水污染整治法--土壤污染管制標準(環 2011)，污染物之重金屬管制標準值為 250ppm，富林海岸高過很多。

檢視表 10，鈦、鉀、銻、銻、鈦的礁體和沙粒 2 種海岸基質之平均值都是沙岸高於礁岸，再對照表 2，這 5 種元素的最高平均值全都在蘆竹海岸檢測到，顯示蘆竹海岸有外來污染。

鈦在本研究最大值 299.4 ppm 出現在大潭海岸，其次是深圳海岸的 262.9 ppm，新屋海岸的 218.6 ppm，深圳海岸的平均值 91.4 ppm 則是各海岸段中最高(表 2)，顯然觀新藻礁海岸及其周邊有異常偏高，亦較先前文獻中檢測值略高(劉 2014b)。

(五) 汞、銻、鈦

其他未被明確分群的汞、銻、鈦等元素，因其變化趨勢與上述之元素較無相關，在群團分析之樹狀圖很慢連結(圖 3)，主成分分析之重金屬元素分布序列圖也未呈群聚(圖 4)。其中汞為另一有管制標準之重金屬，依據土壤污染管制標準(環 2011)，污染物之標準值為 20ppm(食用作物農地之管制標準值為 5)，本研究最大值出現在新屋海岸 53.6ppm，平均值最高的永興海岸 10.1ppm (n=42)，都在觀新藻礁生態系野生動物保護區範圍內，而採自復興漁港藻礁(O5)採樣站 52.0ppm(表 8)，也都是超標(圖 14)，這些區域都有頻繁的漁業活動，需再追蹤。

若按本研究區分之 2 種海岸基質所列舉之最大值及平均值(表 10)，汞、銻、鈦仍是礁體內明顯高於沙粒。表 10 顯示銻礁體內的最大值 2778ppm，是沙粒樣本的 3 倍，鈦礁體內的最大值 42.0ppm，是沙粒樣本的 1 倍，汞的最

大值則是 2 種基質相當，但是平均值反而是汞的差異最大，銻次之，鈦差異最小。

銻在先前文獻中一直是討論的重點元素(劉 2014a; 2014b)，據 2011-2012 年在觀音、新屋及北海岸調查指出，藻礁海岸礁體重金屬銻含量極高，2011 年在觀音藻礁區最高 3631.4ppm，北海岸最高 268.0ppm(劉 2014a)，2012 年在觀新藻礁的銻濃度高達 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(劉 2014b)。該文獻特別指出，觀音近岸區銻濃度明顯較高的趨勢，至離岸 250 m 處仍有約 1,800 ppm 的高值，顯示銻的來源以陸地為主，並且因為與北海岸差異極大，認定確實有外來的污染(劉 2014a; 2014b)。本次調查最大值 2778ppm 採自新屋海岸，另平均值最高出現在永安海岸 579.1ppm，似乎有下降的趨勢。而依據 2011-2012 年在觀音、新屋所做調查，銻含量最高的位置是在保生海岸，但本研究檢測最高值的位置略往南移約 500m，在新屋溪北岸，仍是屬於近岸區的濃度較高。整體而言，銻元素從保生延伸到新屋、永興、永安海岸濃度都偏高，由檢測點濃度變化，對應蛇籠護岸堤破損位置，與新屋溪出海流向推論，其來源可能是蛇籠護岸堤，或是新屋溪帶來工業廢水所致。另外，老街海岸的銻濃度也偏高，亦需同步追蹤。

依據文獻，鈦的含量與銻一直都是高度相關(劉 2014a; 2014b)，在永興海岸出現最大值 42.0 ppm，新屋海岸的 34.0 ppm 次之，而平均值 13.1 ppm 則是各海岸段中最高(表 2)，與過往資料相較，觀音藻礁區最高 39.4ppm，2011 年在北海岸最高 14.9ppm(劉 2014a)，2012 年在觀新藻礁區最高 54ppm，平均值 14.4ppm，2012 年在北海岸最高 24ppm 平均值 9.3 ppm

(劉 2014b)。鈦和鋳的趨勢類似，從大潭到永安海岸濃度都偏高，同樣的，老街海岸濃度也偏高。

結論與建議

富林海岸有鋅、鎳、銅、鉛、砷、錳、鐵、鈦、鉻、錫、鋇、鉍等 12 種元素在最大值或平均值測到本研究的最高之數值，而偏高的重金屬有些是常見於傳統工業放流水中的元素，也有稀有重金屬污染。老街海岸雖數值不像富林海岸極端的高，也有很多種元素為次高，這 2 段海岸是已知遭到嚴重污染，老街海岸還偶有動物棲息，富林海岸則幾乎無生物存活。

富林溪、樹林溪流經觀音工業區，老街溪流經大園工業區，污染也很嚴重，有偏高之數值並不意外，但新屋藻礁區，位於永安漁港北側低潮位的鉛卻測到最高值，整個永安海岸 45 個樣本中砷、鉛、鐵、錳、鉬、硫、鋳、鎢、鎢、錳、鈦的濃度也極度偏高，分別在最大值或平均值測到本研究的最高數值，因此推論永安漁港北側也有外來污染，但檢視後湖溪上游並無大型工業區，是否為早期進行石門水庫淤泥回填於永安漁港之計畫有關，應再追蹤。此外，笨港、深圳現仍是附近漁民利用石滬採集漁獲的地區，偏高的鈦，也很可疑。再往南的坡頭海岸之銀、銻、碲、鎳、鈾等 6 種元素在最大值或平均值測到本研究的最高數值，全都是稀有重金屬污染，若是來自羊寮溪(又稱福興溪)，應不會只有復興漁港藻礁區的樣本被檢測出如此高值，確實異常。

保生、新屋、永興 3 段海岸為 2014 年公告--桃園觀新藻礁生態系野生動物保護區之核心區及緩衝區，是台灣目前唯一受到保護的藻

礁海岸，本人自 2011 年起即每年檢測其重金屬的含量，本研究分別有錳、汞、鎳、鈾、鈦、鈾等被測到最大值或平均值之最高數值，這 3 段海岸內側於 2009 年構築的 1.4 公里的蛇籠護岸堤，護岸堤內側則是新屋溪，溪水除在新屋海岸出海外，也從蛇籠護岸下滲流出海，因此這 3 段海岸的污染源可能是溪水帶來，或是溶出堤內被回填的疑似廢棄物。再往北，大潭海岸的鈦，新街、大堀海岸的鋳，草漯海岸的硫，都是異常偏高。

本研究採樣站最北的蘆竹海岸為沙灘，大多數元素在沙粒間的累積明顯較低，但蘆竹海岸鈦、鉀、鈾、鈾、鉻、鈦 5 種元素的平均值都是最高值，也有外來污染。由於研究範圍內之溪流出海口皆為向南，因此測得的數值應該仍是受北側來源水影響，如蘆竹海岸的資料並不能代表南崁溪，富林海岸的樣點也不能說明樹林溪，若採集南崁溪或樹林溪的南側數值可能更高。

重金屬對藻類可能的影響包括改變細胞大小、細胞滲透壓、影響細胞分化及減緩生長速率等，未來可針對不同重金屬對藻礁成長影響的探討。此外，更應對於污染嚴重點位之河流進行不同河段底泥進行採樣分析，以掌握污染源。若後續研究可明確污染來源，據此要求環保相關單位針對污染物進行總量管制。

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。
- 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。
- 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。
- 許民陽。1993。桃園縣的地形與地質景觀, 桃園縣政府教育局出版, 117 頁。
- 許民陽。2009。桃園觀音海岸的後退與藻礁的發育。第十屆海峽兩岸地形研討會, 中國成都, 76-93 頁。
- 許民陽。2010。桃園觀音海岸的變遷與藻礁的發育及其在氣候變遷上的意義, 中國地質學會 99 年年會暨學術研討會論文集, 臺北, 187 頁。
- 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。
- 潘忠政。1996。草澤憶舊〈李金鳳老師口述歷史〉。觀音人雜誌 50 期。
- 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。2012c。關心藻礁-搶救觀新藻礁大作戰。特有生物研究保育中心 20 週年專輯。
- 劉靜榆 2013。珍愛臺灣藻礁。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。232 頁。
- 劉靜榆。2014a。臺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。2014b。臺灣西北部桃園觀新藻礁與北海岸藻礁重金屬分析。特有生物研究 16(4): 355-378。
- 劉靜榆。2014c。觀音鄉志-第三節觀音藻礁。桃園縣觀音鄉公所。
- 劉靜榆。2015。新竹市濱海野生動物保護區土壤重金屬含量分析。台灣生物多樣性研究期刊 17(3):153-189。
- 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。
- 譚立平、魏稽生。1997。臺灣金屬經濟礦物，臺灣經濟礦物第一卷：173-175。中央地質調查所。
- 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。
- 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: 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, I. N. 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: 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: 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: 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: 1591-1603.

表 1. 臺灣西北藻礁海岸 525 樣本之重金屬含量最大值及平均值

Table 1. Maximum and Mean of 32 heavy metal contents from 525 samples in algal reef coasts of northwest Taiwan, 2014-2015

	Maximum	Mean		Std. Deviation		Maximum	Mean		Std. Deviation
		Statistic	Std. Error				Statistic	Std. Error	
Ag	57.2	10.22	0.41	9.43	Pd	77.9	12.92	.57	13.12
As	277.6	25.52	1.61	36.92	Rb	88.9	35.22	.84	19.32
Ba	1479.7	537.24	8.45	193.67	S	16183.0	2083.31	77.77	1781.96
Ca	458215.9	93063.10	3843.67	88069.52	Sb	288.3	72.55	2.14	49.13
Cd	99.3	18.57	0.65	14.85	Sc	270.9	82.37	3.06	70.08
Co	299.4	30.14	1.94	44.39	Se	8.1	.32	.04	.91
Cr	350.6	24.19	1.24	28.50	Sn	245.2	72.84	1.73	39.57
Cs	457.2	146.73	3.16	72.52	Sr	8147.0	1156.52	61.88	1417.78
Cu	1249.8	53.85	4.06	93.01	Te	941.3	269.92	6.98	159.87
Fe	138331.7	18331.49	738.19	16914.16	Th	42.0	10.76	.24	5.49
Hg	53.6	7.04	0.40	9.19	Ti	5087.9	1192.73	38.33	878.34
K	13509.5	5973.25	146.48	3356.19	U	25.1	1.04	.12	2.66
Mn	26735.3	2417.25	163.69	3750.52	V	87.8	24.10	.67	15.43
Mo	69.0	7.13	0.42	9.66	W	105.5	10.50	.78	17.83
Ni	456.1	31.13	2.19	50.23	Zn	2077.2	132.87	9.53	218.31
Pb	148.4	24.28	0.76	17.39	Zr	2777.7	367.27	15.79	361.83

表 2. 臺灣西北部藻礁海岸 525 樣本 32 種重金屬含量於各分段海岸樣本之敘述統計資料

Table 2. Descriptive statistics of 32 heavy metal contents from 525 samples in each section of algal reef coasts, northwest Taiwan

	A蘆竹 n=33			B埔心 n=12			C新街 n=27			D荖街 n=54			E草漯 n=24		
	max	average	stdev	max	average	stdev	max	average	stdev	max	average	stdev	max	average	stdev
Ag	5.80	1.41	1.23	20.84	7.30	7.49	16.85	5.22	4.91	33.94	13.73	9.00	25.23	10.90	7.23
As	23.66	7.66	4.92	87.83	45.03	26.31	27.28	9.89	6.47	274.86	55.11	62.82	180.15	22.53	35.10
Ba	469.65	404.11	30.94	733.31	491.55	143.96	798.35	453.83	99.21	991.07	634.03	176.09	813.54	545.60	140.39
Ca	27186.66	7394.55	5837.55	237988.48	114412.85	85763.86	458215.91	108923.48	116836.88	346904.66	116486.48	84632.49	248137.03	103961.70	90342.67
Cd	8.76	4.36	2.53	32.76	12.46	8.56	29.22	11.95	7.59	55.24	23.82	13.59	35.72	18.55	12.24
Co	150.67	57.28	42.62	45.43	9.01	15.45	134.96	29.49	36.72	205.03	24.47	47.86	176.13	41.14	51.28
Cr	221.61	46.68	45.89	77.17	38.92	16.41	48.23	25.08	10.59	138.33	22.17	27.74	52.41	23.51	16.28
Cs	94.66	77.72	8.50	217.15	131.67	52.70	244.61	118.07	41.94	309.58	183.22	71.44	243.31	150.52	60.23
Cu	51.63	22.53	11.52	119.14	52.53	36.88	185.46	55.60	47.07	345.19	88.92	74.58	177.68	51.78	42.49
Fe	33643.23	21037.37	4509.12	28556.85	19323.67	5388.76	19684.08	12393.86	5540.57	125855.48	27717.84	24678.93	49987.56	16385.35	8173.62
Hg	11.51	3.60	4.23	14.11	5.12	5.24	29.90	5.75	6.83	27.56	7.45	8.25	30.26	5.19	8.82
K	12046.86	9946.05	1296.97	8617.78	4907.05	1968.75	9013.38	5854.38	2365.94	11681.50	5737.03	3197.82	11372.77	6723.57	2704.68
Mn	1273.94	381.34	239.47	4116.78	2187.27	1289.95	3468.75	1040.75	959.80	18029.44	4489.69	4105.69	4294.94	1851.98	1356.99
Mo	4.44	1.10	1.37	18.05	4.84	5.68	8.60	1.72	2.58	29.90	7.72	7.57	18.95	1.62	3.86
Ni	43.95	16.98	11.64	75.07	26.05	25.49	77.00	23.75	19.00	137.62	37.38	36.18	72.44	19.80	19.31
Pb	27.38	14.47	4.27	58.99	26.01	12.49	38.47	16.60	7.07	111.57	29.89	19.78	61.57	21.36	9.42
Pd	6.02	1.08	1.86	29.06	9.00	9.65	18.02	5.90	5.90	48.34	17.52	13.20	38.89	12.31	10.96
Rb	67.85	58.36	5.74	49.57	28.37	11.32	55.99	36.65	17.40	79.75	28.47	18.74	65.89	34.55	20.35
S	2405.41	915.26	551.23	3789.79	1550.26	1262.40	5681.64	1756.92	1329.36	5732.42	2114.23	1430.62	16183.04	3127.47	3650.39
Sb	38.07	29.63	5.86	124.42	57.26	36.26	127.92	51.40	25.84	183.94	94.00	46.57	148.41	75.52	40.45
Sc	20.44	5.73	5.74	223.77	104.62	75.53	242.90	90.05	71.47	229.06	80.46	58.47	261.04	80.84	68.26
Se	.73	.06	.19	.15	.01	.04	1.75	.21	.45	1.90	.16	.42	.99	.05	.21
Sr	51.69	38.45	6.16	117.99	64.87	30.23	129.91	58.45	24.16	180.78	94.61	39.72	127.66	76.72	33.64
Te	126.11	80.00	13.38	2091.94	932.65	605.74	8146.98	1528.96	2366.44	7132.17	1488.40	1668.77	2121.78	853.81	648.47
Th	159.81	123.92	19.99	426.44	219.75	117.81	440.27	203.60	85.60	628.72	346.11	152.35	512.82	280.79	134.58
Tl	15.48	9.96	2.46	12.19	7.30	3.66	19.81	7.55	4.64	33.12	10.63	5.66	21.05	10.98	4.29
Ti	3106.09	2435.50	391.44	2219.88	870.19	591.91	1823.84	1046.36	629.06	3827.71	1250.37	924.58	2180.50	1497.19	608.32
U	5.43	.88	1.54	7.92	2.00	2.99	9.25	1.00	2.35	13.06	.89	2.45	9.86	1.12	2.32
V	79.10	39.61	15.95	57.70	22.35	15.90	55.99	25.15	11.85	87.78	23.55	17.73	45.85	23.02	11.97
W	28.91	8.55	9.15	27.56	12.86	10.62	42.08	9.15	11.55	76.04	11.43	18.82	91.71	16.11	25.57
Zn	104.26	63.73	14.94	148.13	88.06	31.17	237.47	95.74	47.84	390.70	160.37	85.11	188.12	106.84	32.48
Zr	316.29	194.65	53.51	374.04	257.32	69.37	168.72	118.60	29.68	2075.58	475.77	405.05	1057.49	445.79	291.14

表 2. (續) 臺灣西北部藻礁海岸 525 樣本 32 種重金屬含量於各分段海岸樣本之敘述統計資料
 Table 2. (continue) Descriptive statistics of 32 heavy metal contents from 525 samples in each section of algal reef coasts, northwest Taiwan

	F富林 n=39			G大鵬 n=51			H大潭 n=48			I保生 n=42			J新屋 n=48		
	max	average	sidev	max	average	sidev	max	average	sidev	max	average	sidev	max	average	sidev
Ag	41.38	12.62	12.12	26.09	8.90	7.54	44.19	7.50	10.20	22.24	10.31	6.04	39.74	12.82	8.11
As	131.16	44.15	39.41	17.72	7.24	4.99	137.41	19.94	27.94	79.27	16.07	17.54	139.11	24.79	25.01
Ba	1479.73	695.82	286.64	817.13	507.95	99.20	1281.97	491.75	205.61	917.99	497.89	165.31	1216.95	566.28	197.61
Ca	26588.69	71838.94	66484.16	390738.25	114923.79	130804.21	333109.31	90908.91	101293.88	321032.56	101693.03	58326.64	224613.77	85161.51	53151.72
Cd	58.62	22.73	19.22	47.45	17.89	11.78	71.21	14.63	15.67	46.26	19.57	10.44	64.33	21.98	13.63
Co	167.77	37.55	46.33	143.39	40.42	41.94	299.35	39.32	54.78	90.78	16.32	24.64	218.61	16.30	45.46
Cr	350.59	38.65	70.94	43.35	12.97	12.54	59.43	27.53	18.17	54.85	20.57	15.70	41.70	18.54	14.04
Cs	457.22	189.02	105.18	303.63	135.67	52.93	408.35	127.73	77.87	282.06	143.13	56.08	383.38	158.47	65.96
Cu	1249.83	186.34	276.83	58.36	17.15	12.72	68.34	27.85	18.01	111.48	46.98	22.18	285.36	63.37	52.02
Fe	138331.67	39458.15	31847.83	21727.89	12137.66	7963.42	53986.09	14981.55	9650.47	30831.68	9498.10	5121.37	76287.85	17004.10	12051.70
Hg	46.41	8.14	10.60	29.49	6.40	7.44	38.55	5.64	7.77	31.86	8.40	8.88	53.60	8.02	11.42
K	13401.90	7697.43	3463.80	13509.48	7340.82	4842.56	12921.38	6235.23	3705.08	6942.19	3882.59	1492.20	11296.08	5406.90	2859.85
Mn	22995.79	5971.85	7178.22	3343.32	386.52	650.39	5463.38	1264.61	1386.60	26735.34	2225.70	4161.09	22901.96	3441.39	4517.25
Mo	40.82	12.51	13.17	7.21	1.55	2.09	19.18	3.56	4.33	45.92	9.54	7.55	37.69	9.54	9.02
Ni	456.11	116.20	124.16	91.81	20.36	22.82	90.84	18.02	23.69	220.20	25.81	41.93	152.08	23.55	34.18
Pb	103.21	37.51	25.60	27.26	14.75	5.88	58.69	19.47	11.34	56.25	22.32	8.58	55.93	28.80	11.83
Pd	46.76	16.24	16.65	38.27	11.84	10.75	68.23	10.03	14.35	45.13	13.39	9.91	50.64	16.18	11.32
Rb	66.47	40.94	19.37	68.72	37.70	26.69	66.63	37.00	20.18	88.91	27.82	13.47	88.13	37.73	20.90
S	3228.92	1357.72	984.22	8034.96	1988.55	1812.69	5770.81	1531.35	1602.07	4826.50	2155.41	1023.10	8241.78	2803.18	1653.86
Sb	258.31	97.60	67.08	182.43	68.40	37.28	245.64	58.63	52.54	154.99	71.22	35.90	242.11	80.76	48.46
Sc	172.74	55.36	59.41	226.13	37.66	51.82	267.20	80.05	81.06	270.89	123.64	62.01	238.41	117.25	53.22
Se	3.80	.28	.78	5.89	.58	1.40	4.06	.34	.89	4.65	.56	1.11	4.88	.46	1.08
Sn	245.24	102.69	61.73	147.64	71.23	29.51	211.75	63.06	43.38	159.28	67.50	33.71	174.42	73.62	35.92
Sr	1596.90	538.25	456.82	7155.91	2503.22	2860.82	4083.48	855.18	855.69	2672.39	1199.93	495.79	2434.33	1127.83	377.01
Te	922.91	348.42	225.97	574.59	252.27	122.01	920.14	226.69	177.75	553.17	267.09	122.55	830.74	302.56	149.53
Th	17.70	10.89	3.20	17.94	8.41	5.24	24.99	11.06	5.10	23.08	11.73	5.32	34.02	13.10	6.37
Ti	5087.88	1971.22	1089.73	2776.46	1336.89	992.40	2621.44	1246.25	895.49	1472.65	552.52	295.60	2026.10	833.70	517.52
U	7.29	.95	1.92	6.23	.72	1.71	4.58	.58	1.17	13.55	.80	2.48	20.73	1.23	3.50
V	69.70	33.23	18.15	64.98	18.16	14.99	58.26	25.44	13.77	42.33	17.75	8.97	60.78	19.88	11.74
W	63.68	10.10	16.00	33.16	4.76	8.68	93.26	12.48	20.02	48.71	9.20	14.16	90.21	12.30	22.57
Zn	2077.20	610.62	609.37	263.94	89.49	42.34	174.81	81.19	27.91	164.83	81.76	23.43	246.36	108.61	47.56
Zr	922.63	272.36	227.14	1438.77	230.93	249.15	1080.53	332.89	248.68	955.66	320.84	213.86	2777.65	414.84	518.38

表 2. (續) 臺灣西北部藻礁海岸 525 樣本 32 種重金屬含量於各分段海岸樣本之敘述統計資料

Table 2. (continue) Descriptive statistics of 32 heavy metal contents from 525 samples in each section of algal reef coasts, northwest Taiwan

	K永興 n=42			L永安 n=45			M笨港 n=18			N深澳 n=9			O披頭 n=33		
	max	average	stdev	max	average	stdev	max	average	stdev	max	average	stdev	max	average	stdev
Ag	26.99	14.29	7.30	22.84	11.15	4.72	4.28	1.53	1.65	34.57	13.58	11.72	57.21	14.54	17.52
As	131.36	22.30	24.39	277.58	44.60	62.44	32.13	16.83	6.78	31.45	16.47	10.21	56.68	15.54	10.30
Ba	788.84	595.46	111.95	911.12	527.76	123.92	422.36	373.92	25.78	816.02	505.57	143.81	1353.32	559.09	350.60
Ca	383770.19	125638.26	81043.50	273429.59	135234.63	55425.72	17962.45	6941.29	3823.82	68744.36	29160.05	22355.70	319654.63	72115.17	84555.75
Cd	53.09	25.31	11.91	38.89	19.62	7.87	8.71	4.27	2.29	57.15	23.14	19.01	99.27	24.07	27.38
Co	144.42	15.95	30.35	99.50	14.94	25.81	108.75	41.84	34.46	262.92	91.44	94.07	149.43	27.95	37.81
Cr	44.04	14.89	11.74	45.68	16.64	8.61	54.05	32.39	10.57	43.51	21.09	15.71	59.22	26.17	21.13
Cs	245.93	175.65	39.71	264.98	154.26	41.91	89.62	74.30	7.55	260.96	141.85	64.40	456.84	158.27	122.03
Cu	106.46	39.32	24.56	115.43	43.58	24.12	40.77	21.83	9.01	31.08	13.05	12.29	67.20	22.31	20.48
Fe	50531.94	12395.18	7978.23	105808.16	18035.31	19566.90	26128.16	18803.32	3649.19	108166.48	25938.98	31100.52	23369.72	14456.06	5839.14
Hg	39.62	10.06	11.22	40.92	8.79	8.88	16.46	2.92	4.22	19.50	5.25	7.88	51.96	8.04	14.08
K	10098.90	4030.29	2280.97	13212.62	4971.16	2016.17	9802.37	8570.98	815.29	9984.98	4207.02	4251.18	11356.96	4182.75	2673.13
Mn	15743.34	2938.95	3421.37	15299.10	3230.33	3729.51	599.84	376.52	97.86	1260.83	588.95	367.88	10894.37	1890.05	2214.50
Mo	38.44	13.00	9.42	68.98	16.94	17.13	3.78	.77	1.17	9.36	4.31	3.13	24.04	5.82	6.01
Ni	99.45	23.47	26.60	133.84	39.06	41.29	46.19	16.87	14.71	90.91	22.20	30.68	69.01	13.36	16.79
Pb	84.37	25.10	12.83	148.38	35.75	34.35	25.76	17.49	3.60	41.72	26.46	9.75	50.58	21.04	9.04
Pd	40.26	18.67	10.45	33.70	14.18	8.03	3.81	.96	1.32	44.61	17.83	15.09	77.85	17.63	23.22
Rb	54.43	26.95	12.68	68.30	27.16	12.78	56.61	51.21	3.02	58.36	30.10	20.60	56.88	31.66	14.52
S	12839.39	2527.96	1911.88	6588.83	3287.64	1349.85	858.18	495.49	268.65	1658.81	803.09	493.14	10028.09	2577.31	2300.32
Sb	156.31	91.49	33.29	175.82	76.59	28.82	37.91	25.24	7.58	158.07	72.82	45.75	288.31	83.95	87.81
Sc	261.02	124.46	60.11	234.71	134.95	48.22	16.65	4.24	4.64	74.03	36.86	27.23	204.25	79.71	73.69
Se	4.71	.40	.95	8.06	.47	1.35	.95	.10	.26	.00	.00	.00	3.83	.31	.80
Sn	137.52	84.46	22.45	148.98	77.21	26.03	50.08	37.49	5.80	93.82	57.47	21.32	200.68	73.24	56.62
Sr	4085.11	1238.57	555.01	6115.13	1663.00	1088.69	138.12	90.23	15.23	1636.83	680.57	581.23	1379.60	677.30	434.76
Tc	489.24	328.61	91.97	605.40	286.27	91.55	145.23	112.11	20.11	504.64	258.90	137.12	941.34	301.45	278.13
Th	42.03	12.72	7.54	21.56	11.22	4.96	11.97	7.47	2.24	13.41	10.01	2.69	31.76	12.79	7.17
Ti	1605.17	627.86	374.75	1520.32	639.33	303.68	2708.76	2032.50	318.50	2480.43	1027.17	1036.25	2537.72	1048.27	766.23
U	12.20	1.35	3.29	5.50	.27	.94	6.58	1.16	1.80	12.25	4.00	4.68	25.14	2.19	5.18
V	41.98	17.99	9.93	47.14	20.63	10.89	60.72	37.95	9.64	55.13	19.42	15.78	78.41	26.91	20.25
W	96.30	10.75	21.77	105.52	8.84	20.73	46.90	12.04	12.97	65.58	12.78	21.85	80.79	13.05	19.62
Zn	155.16	81.83	28.92	232.84	98.26	48.68	105.42	70.40	13.62	89.08	72.47	15.50	103.58	63.24	19.89
Zr	1806.63	535.57	378.27	2134.24	579.13	485.67	341.73	168.65	49.80	837.47	290.68	217.08	1815.23	537.51	517.87

表 4. 臺灣西北部海岸鈣、銦、鋇、硫含量在礁體及沙粒樣本之統計資料

Table 4. Statistics of Ca, Sc, Sr, S contents from reef and sand, northwest Taiwan

海岸基質	Maximum	Mean		Std. Deviation	Variance	
		Statistic	Std. Error			
reef n=372	Ca	458215.91	128653.43	4209.60	81191.87	6592119535.18
	Sr	8146.98	1583.81	76.98	1484.78	2204563.07
	Sc	270.89	113.52	3.09	59.61	3553.49
	S	16183.04	2679.67	92.38	1781.68	3174390.39
sand n=153	Ca	14994.77	6529.74	272.26	3367.73	11341577.86
	Sr	910.36	117.61	10.02	123.97	15368.44
	Sc	74.03	6.61	0.83	10.25	105.06
	S	2840.99	633.34	37.22	460.43	211991.52

表 5. 臺灣西北部海岸 F1 及 F2 採樣站 32 種重金屬含量之敘述統計資料

Table 5. Descriptive statistics of 32 heavy metal contents from station F1 and F2, northwest Taiwan

F1.富林溪南岸出海口藻礁(低潮位) n=9					F3.樹林溪出海口北岸藻礁(低潮位) n=12				
	Maximum	Mean		Std. Deviation		Maximum	Mean		Std. Deviation
		Statistic	Std. Error				Statistic	Std. Error	
Ag	41.38	21.52	3.90	11.71	Ag	35.80	21.11	2.74	9.48
As	131.16	67.55	14.82	44.46	As	109.97	74.58	8.09	28.03
Ba	1479.73	906.69	100.66	301.98	Ba	1125.74	909.29	48.35	167.50
Ca	265887.69	152015.54	15839.69	47519.08	Ca	156589.47	101785.86	10583.54	36662.46
Cd	57.61	37.79	5.41	16.23	Cd	58.62	37.76	3.43	11.89
Co	44.02	6.90	5.05	15.15	Co	167.77	35.25	16.55	57.34
Cr	350.59	106.32	42.42	127.26	Cr	32.79	7.36	3.46	11.98
Cs	457.22	274.07	32.42	97.27	Cs	357.00	269.45	15.79	54.68
Cu	160.38	101.83	13.88	41.65	Cu	1249.83	490.72	97.52	337.82
Fe	138331.67	68076.70	16949.67	50849.00	Fe	72836.23	45691.06	5390.84	18674.42
Hg	46.41	12.47	4.81	14.42	Hg	31.76	13.47	3.15	10.91
K	4955.72	3555.68	263.11	789.33	K	10020.93	6241.57	768.64	2662.64
Mn	12856.91	6484.50	1181.48	3544.44	Mn	22995.79	14034.63	1953.88	6768.45
Mo	40.82	25.38	4.25	12.76	Mo	31.69	20.43	2.04	7.05
Ni	456.11	186.99	48.31	144.92	Ni	395.17	208.69	27.24	94.35
Pb	103.21	58.87	11.00	33.01	Pb	77.10	51.39	4.23	14.65
Pd	46.76	28.09	4.40	13.21	Pd	44.99	28.58	4.22	14.63
Rb	26.80	19.26	1.35	4.06	Rb	37.26	27.62	1.97	6.81
S	3228.92	1853.04	278.63	835.88	S	3128.81	2270.71	177.20	613.86
Sb	258.31	152.50	20.79	62.38	Sb	202.26	145.93	11.90	41.21
Sc	137.45	63.94	16.88	50.64	Sc	172.74	124.36	8.36	28.96
Se	.00	.00	.00	.00	Se	3.80	.76	.37	1.27
Sn	245.24	153.85	19.61	58.84	Sn	188.70	147.22	9.93	34.40
Sr	1209.77	943.89	43.32	129.97	Sr	1596.90	883.94	106.41	368.60
Te	922.91	519.36	73.18	219.55	Te	700.38	521.35	38.40	133.02
Th	15.87	11.53	1.35	4.05	Th	17.70	10.59	1.13	3.92
Ti	5087.88	2958.05	470.32	1410.96	Ti	1483.38	803.24	119.66	414.53
U	4.96	.95	.64	1.92	U	7.29	.88	.62	2.14
V	69.70	32.64	7.97	23.90	V	58.25	28.28	5.35	18.53
W	63.68	8.02	7.02	21.06	W	42.14	4.80	3.55	12.30
Zn	2077.20	925.82	226.28	678.83	Zn	1961.56	1120.19	121.81	421.95
Zr	922.63	591.75	82.37	247.12	Zr	596.46	203.22	44.31	153.48

表 6. 臺灣西北部海岸 D2 及 L7 採樣站 32 種重金屬含量之敘述統計資料

Table 6. Descriptive statistics of 32 heavy metal contents from station D2 and L7, northwest Taiwan

D2.老街溪口北側近岸藻礁(高潮位) n=6					L7.後湖溪北側藻礁(低潮位) n=9				
	Maximum	Mean		Std. Deviation		Maximum	Mean		Std. Deviation
		Statistic	Std. Error				Statistic	Std. Error	
Ag	23.68	12.47	3.87	9.48	Ag	22.84	15.64	1.88	5.63
As	274.86	177.32	36.14	88.53	As	277.58	132.31	32.33	97.00
Ba	914.67	705.03	69.41	170.02	Ba	911.12	682.67	45.33	135.99
Ca	129076.46	102944.89	6163.81	15098.20	Ca	195696.48	139084.85	9986.77	29960.30
Cd	39.97	22.21	5.80	14.19	Cd	38.89	24.55	3.13	9.38
Co	.00	.00	.00	.00	Co	51.86	12.98	6.82	20.47
Cr	138.33	68.10	19.70	48.25	Cr	22.49	13.15	3.40	10.21
Cs	277.54	193.11	27.22	66.66	Cs	264.98	203.65	15.67	47.02
Cu	195.88	134.45	25.78	63.16	Cu	115.43	72.32	8.40	25.20
Fe	125855.48	79375.57	16058.81	39335.89	Fe	105808.16	44223.37	10899.95	32699.86
Hg	25.41	10.99	4.67	11.43	Hg	40.92	11.70	4.57	13.71
K	11681.50	8008.25	947.59	2321.10	K	5586.29	4026.03	396.45	1189.34
Mn	18029.44	10212.01	2081.13	5097.71	Mn	15299.10	8282.70	1940.82	5822.46
Mo	18.95	13.58	1.85	4.54	Mo	68.98	44.52	6.40	19.20
Ni	137.62	85.62	11.85	29.04	Ni	133.84	73.56	19.97	59.90
Pb	111.57	66.12	14.79	36.22	Pb	148.38	85.13	16.72	50.15
Pd	48.34	21.86	7.47	18.29	Pd	33.70	24.99	2.19	6.57
Rb	52.63	36.37	3.98	9.76	Rb	37.04	27.41	2.25	6.75
S	1268.17	821.67	154.76	379.08	S	6467.18	4807.48	375.71	1127.13
Sb	173.38	99.11	21.38	52.37	Sb	175.82	110.09	11.62	34.85
Sc	172.93	104.39	26.30	64.42	Sc	234.71	106.00	19.25	57.74
Se	1.03	.30	.19	.47	Se	8.06	1.07	.88	2.65
Sn	180.78	107.60	20.65	50.58	Sn	148.98	105.46	9.36	28.09
Sr	1801.78	1219.01	152.95	374.66	Sr	2437.67	1759.40	157.07	471.22
Te	558.63	357.32	64.98	159.17	Te	605.40	387.76	38.34	115.03
Th	20.67	12.88	1.65	4.03	Th	18.56	12.45	1.79	5.38
Ti	2032.42	1433.82	132.06	323.49	Ti	697.06	413.28	63.81	191.43
U	.00	.00	.00	.00	U	.71	.08	.08	.24
V	54.42	37.20	7.83	19.18	V	47.14	25.96	5.01	15.03
W	28.16	4.69	4.69	11.50	W	42.50	8.62	5.74	17.21
Zn	322.71	237.23	26.82	65.69	Zn	232.84	163.00	16.97	50.90
Zr	1106.04	526.96	189.74	464.77	Zr	2134.24	501.74	240.91	722.72

表 7. 臺灣西北部海岸鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬含量在礁體及沙粒樣本之統計資料

Table 7. Statistics of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, Pb, As, Mo contents from reef and sand, northwest Taiwan

海岸基質	Maximum	Mean		Std. Deviation	Variance	
		Statistic	Std. Error			
reef n=372	Zn	2077.20	152.13	13.30	256.58	65831.11
	Ni	456.11	36.55	3.01	58.04	3368.11
	Cu	1249.83	66.29	5.59	107.81	11621.95
	Mn	26735.34	3250.01	216.00	4166.12	17356549.65
	Fe	138331.67	17676.42	1007.55	19433.01	377641969.16
	Pb	148.38	27.13	1.02	19.68	387.25
	As	277.58	31.14	2.20	42.42	1799.22
	Mo	68.98	9.51	.54	10.45	109.30
sand n=153	Zn	139.75	86.04	1.82	22.45	504.13
	Ni	90.91	17.96	1.23	15.21	231.43
	Cu	87.43	23.61	1.01	12.54	157.13
	Mn	6657.68	392.50	44.61	551.82	304499.86
	Fe	108166.48	19924.20	630.93	7804.19	60905400.57
	Pb	50.58	17.33	.44	5.41	29.22
	As	57.41	11.86	.52	6.44	41.45
	Mo	24.04	1.35	.22	2.73	7.43

表 8 臺灣西北部海岸 O5 及 H5 採樣站 32 種重金屬含量之敘述統計資料

Table 8. Descriptive statistics of 32 heavy metal contents from station D2 and L7, northwest Taiwan

O5.復興漁港殘存藻礁(沙覆蓋礁體) n=12					H5.過溪仔中潮位藻礁(沙覆蓋礁體) n=12				
	Maximum	Mean		Std. Deviation	Maximum	Mean		Std. Deviation	
		Statistic	Std. Error			Statistic	Std. Error		
Ag	57.21	29.17	5.78	20.03	Ag	44.19	17.02	4.11	14.24
As	56.68	20.69	3.56	12.33	As	137.41	51.86	12.32	42.69
Ba	1353.32	860.45	114.68	397.25	Ba	1281.97	666.92	94.57	327.61
Ca	210420.34	80806.60	20293.80	70299.78	Ca	333109.31	161163.86	35718.31	123731.84
Cd	99.27	48.11	8.81	30.51	Cd	71.21	28.45	5.94	20.56
Co	149.43	24.02	13.33	46.18	Co	299.35	40.36	24.84	86.04
Cr	38.16	11.41	4.91	17.00	Cr	53.25	16.86	5.96	20.66
Cs	456.84	267.64	37.44	129.69	Cs	408.35	201.34	32.11	111.22
Cu	56.43	21.85	6.05	20.95	Cu	68.34	39.15	6.94	24.03
Fe	21783.38	14793.63	1335.64	4626.78	Fe	53986.09	20266.90	4467.77	15476.81
Hg	51.96	16.48	5.85	20.26	Hg	38.55	13.09	3.33	11.54
K	5805.17	2861.44	443.91	1537.75	K	6639.73	3811.08	514.32	1781.66
Mn	10894.37	3054.65	822.37	2848.77	Mn	5463.38	3235.46	363.64	1259.70
Mo	24.04	8.84	2.19	7.58	Mo	19.18	5.89	1.76	6.09
Ni	69.01	13.31	6.01	20.81	Ni	90.84	32.16	9.53	33.02
Pb	50.58	26.53	2.86	9.90	Pb	58.69	31.23	4.59	15.91
Pd	77.85	37.38	7.75	26.85	Pd	68.23	23.21	5.84	20.23
Rb	38.54	26.76	1.83	6.33	Rb	36.32	20.47	1.86	6.44
S	5299.60	2510.76	425.04	1472.38	S	5770.81	3169.22	575.65	1994.10
Sb	288.31	162.57	27.59	95.57	Sb	245.64	108.98	21.44	74.28
Sc	196.15	100.14	22.58	78.23	Sc	199.94	105.15	15.13	52.43
Se	3.83	.59	.35	1.20	Se	4.06	.93	.43	1.49
Sn	200.68	120.07	16.46	57.01	Sn	211.75	98.74	19.94	69.07
Sr	1379.60	973.47	59.42	205.82	Sr	2498.05	1168.12	130.21	451.05
Te	941.34	546.67	88.12	305.26	Te	920.14	390.91	74.94	259.61
Th	31.76	17.92	1.97	6.83	Th	21.57	13.43	1.66	5.75
Ti	1495.85	771.06	154.38	534.78	Ti	1017.60	584.14	76.22	264.03
U	25.14	4.07	2.35	8.13	U	4.58	.38	.38	1.32
V	52.49	18.03	5.60	19.39	V	24.61	13.91	2.29	7.94
W	80.79	18.55	7.54	26.11	W	93.26	8.35	7.74	26.81
Zn	103.58	70.68	3.92	13.57	Zn	174.81	97.73	10.40	36.04
Zr	1815.23	931.00	144.82	501.67	Zr	1080.53	498.39	89.05	308.46

表 9. 臺灣西北部海岸銀、鋇、鎘、鈾、鈹、銻、錫、碲含量在礁體及沙粒樣本之統計資料

Table 9. Statistics of Ag, Ba, Cd, Cs, Pd, Sb, Sn, Te contents from reef and sand, northwest Taiwan

海岸基質	Maximum	Mean		Std. Deviation	
		Statistic	Std. Error		
reef n=372	Ba	1479.73	585.83	10.31	198.88
	Cs	457.22	171.77	3.54	68.33
	Te	928.25	324.04	7.83	151.01
	Sb	287.15	88.29	2.43	46.85
	Sn	245.24	85.38	2.04	39.26
	Cd	99.27	23.49	.72	13.97
	Ag	57.21	13.26	.46	8.95
	Pd	77.85	17.13	.66	12.69
sand n=153	Ba	1353.32	419.09	9.19	113.71
	Cs	406.62	85.87	3.10	38.36
	Te	941.34	138.33	7.16	88.58
	Sb	288.31	34.28	2.40	29.69
	Sn	191.53	42.34	1.44	17.76
	Cd	83.06	6.62	.73	9.02
	Ag	56.66	2.83	.47	5.82
	Pd	62.03	2.69	.58	7.19

表 10. 臺灣西北部海岸鈦、鉀、鉀、釩、鉻、鈷、汞、鋯、釷含量在礁體及沙粒樣本之統計資料

Table 10. Statistics of Ti, Rb, K, V, Cr, Co, Hg, Zr, Th contents from reef and sand, northwest Taiwan

海岸基質	Maximum	Mean		Std. Deviation	
		Statistic	Std. Error		
reef n=372	Ti	5087.88	789.49	33.69	649.81
	Rb	88.91	26.38	.79	15.19
	K	13212.62	4454.32	125.52	2421.00
	V	69.70	19.55	.68	13.02
	Cr	350.59	21.52	1.66	32.03
	Co	299.35	20.02	2.16	41.62
	Hg	53.60	8.52	.51	9.92
	Zr	2777.65	431.83	20.93	403.67
	Th	42.03	11.12	.32	6.18
sand n=153	Ti	3827.71	2173.16	41.49	513.22
	Rb	79.36	56.69	.67	8.30
	K	13509.48	9666.34	183.47	2269.36
	V	87.78	35.16	1.23	15.25
	Cr	66.09	30.69	1.24	15.37
	Co	150.67	54.75	3.34	41.29
	Hg	51.35	3.46	.46	5.73
	Zr	885.41	210.28	11.02	136.32
	Th	23.06	9.89	.25	3.10



圖 1. 臺灣西北部藻礁海岸調查範圍圖，2014-2015 年。

Fig. 1. Study area of algal reef coasts in northwest Taiwan, 2014-2015.

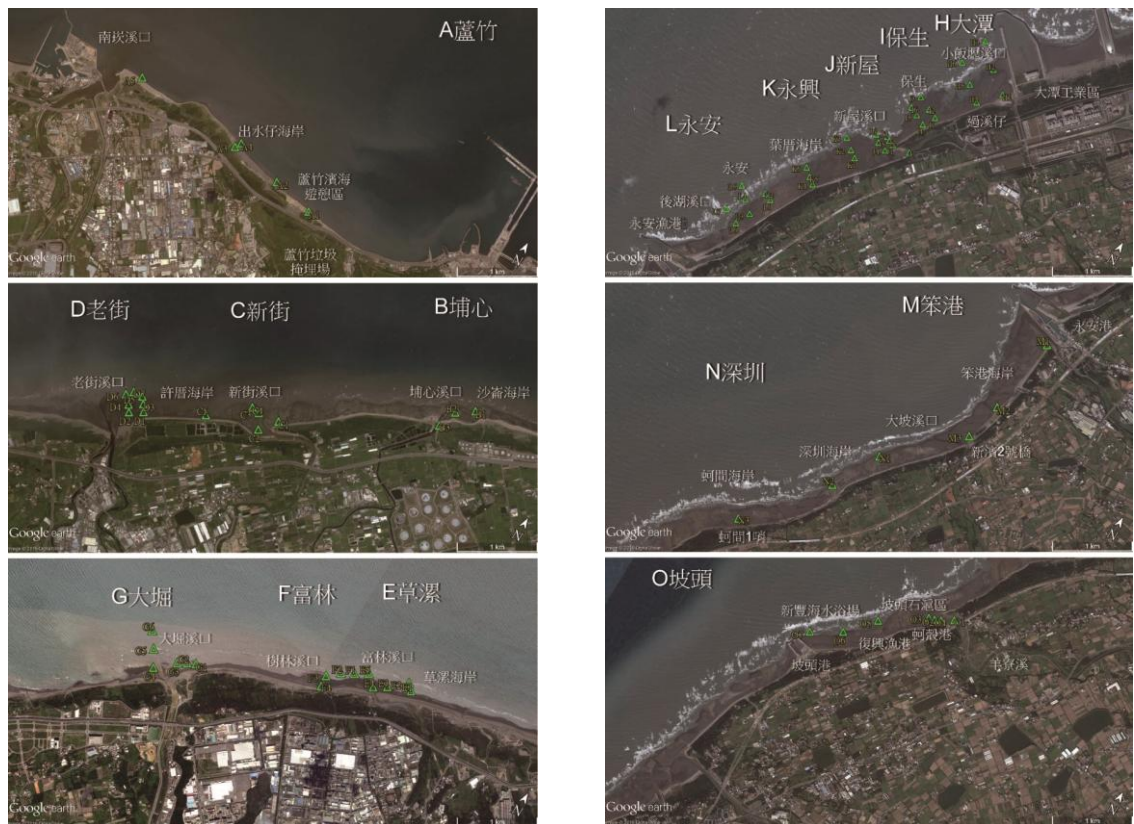


圖 2. 臺灣西北部藻礁海岸採樣站位置圖，2014-2015 年。

Fig. 2. Sampling stations of algal reef coasts in northwest Taiwan, 2014-2015.

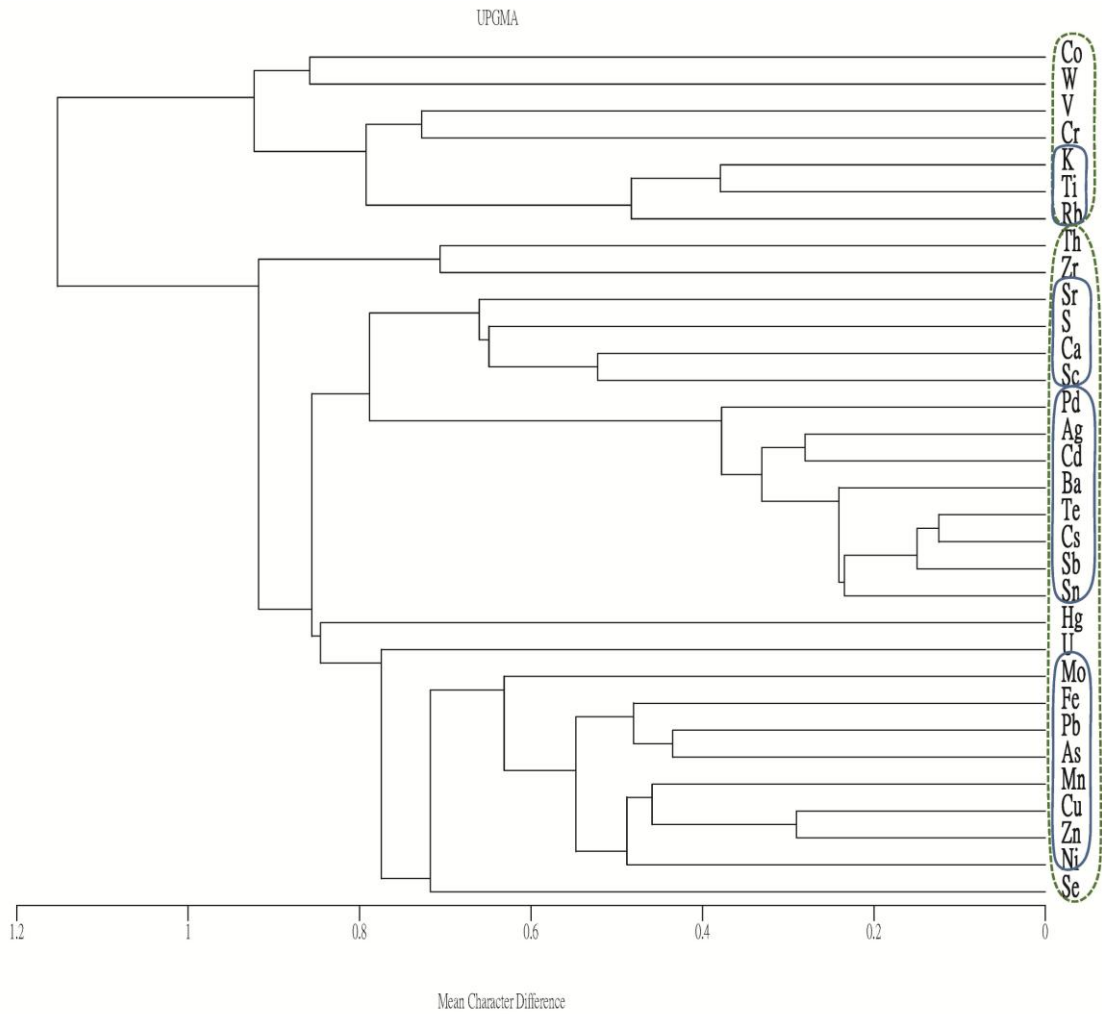


圖 3. 臺灣西北藻礁海岸 252 個樣本中 32 項重金屬元素之層級系統樹狀圖，2014-2015 年。

Fig. 3. A dendrogram showing unweighed pair-group method with the mean character difference of 252 samplings among 32 heavy metal contents in algal reef coasts of northwest Taiwan, 2014-2015.

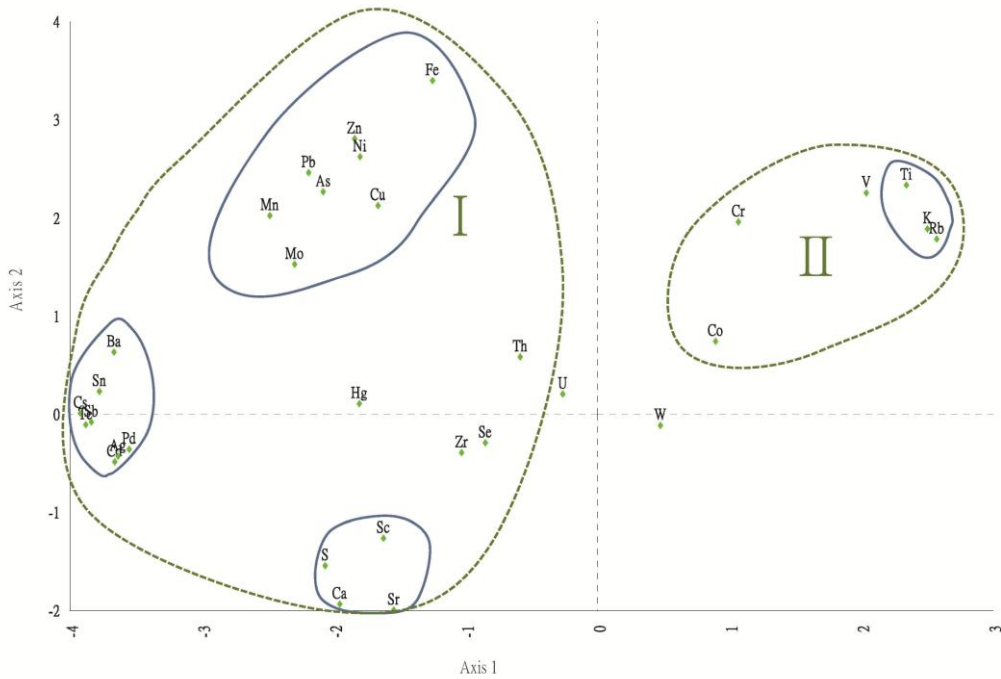


圖 4. 臺灣西北部藻礁海岸以主成分分析計算 525 樣本所繪製 32 種重金屬含量在 PCA 軸之分布序列，2014-2015 年。
 Fig. 4. Ordination of 32 heavy metal contents by 525 samples along the first two PCA axes in algal reef coasts of northwest Taiwan, 2014-2015

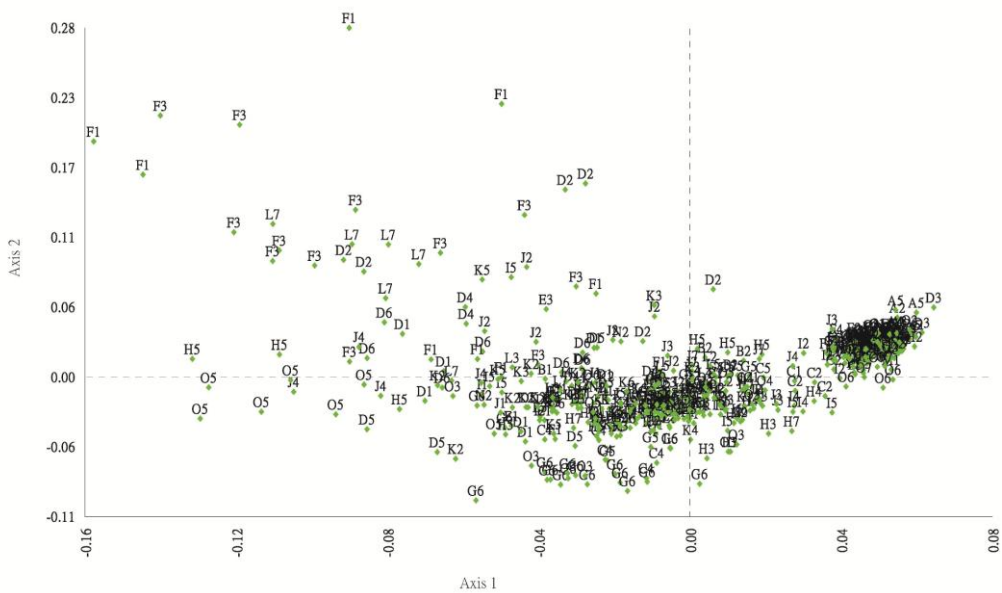


圖 5. 臺灣西北部藻礁海岸以主成分分析計算 32 種重金屬含量所繪製 525 樣本在 PCA 軸之分布序列，2014-2015 年。
 Fig. 5. Ordination of 525 samples by 32 heavy metal contents along the first two PCA axes in algal reef coasts of northwest Taiwan, 2014-2015

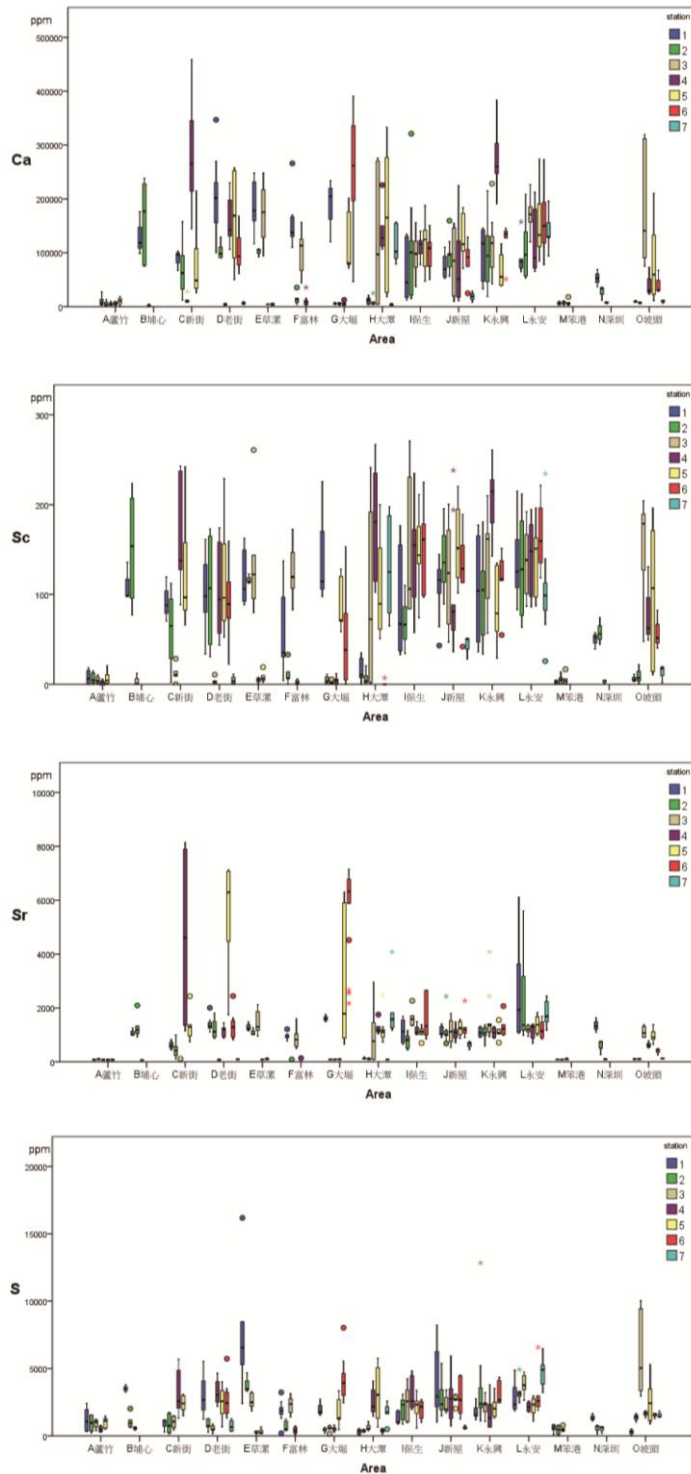


圖 6. 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之鈣、釩、鋇、硫含量變化盒形圖。

Fig. 6. Boxplot of Ca, Sc, Sr, S, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

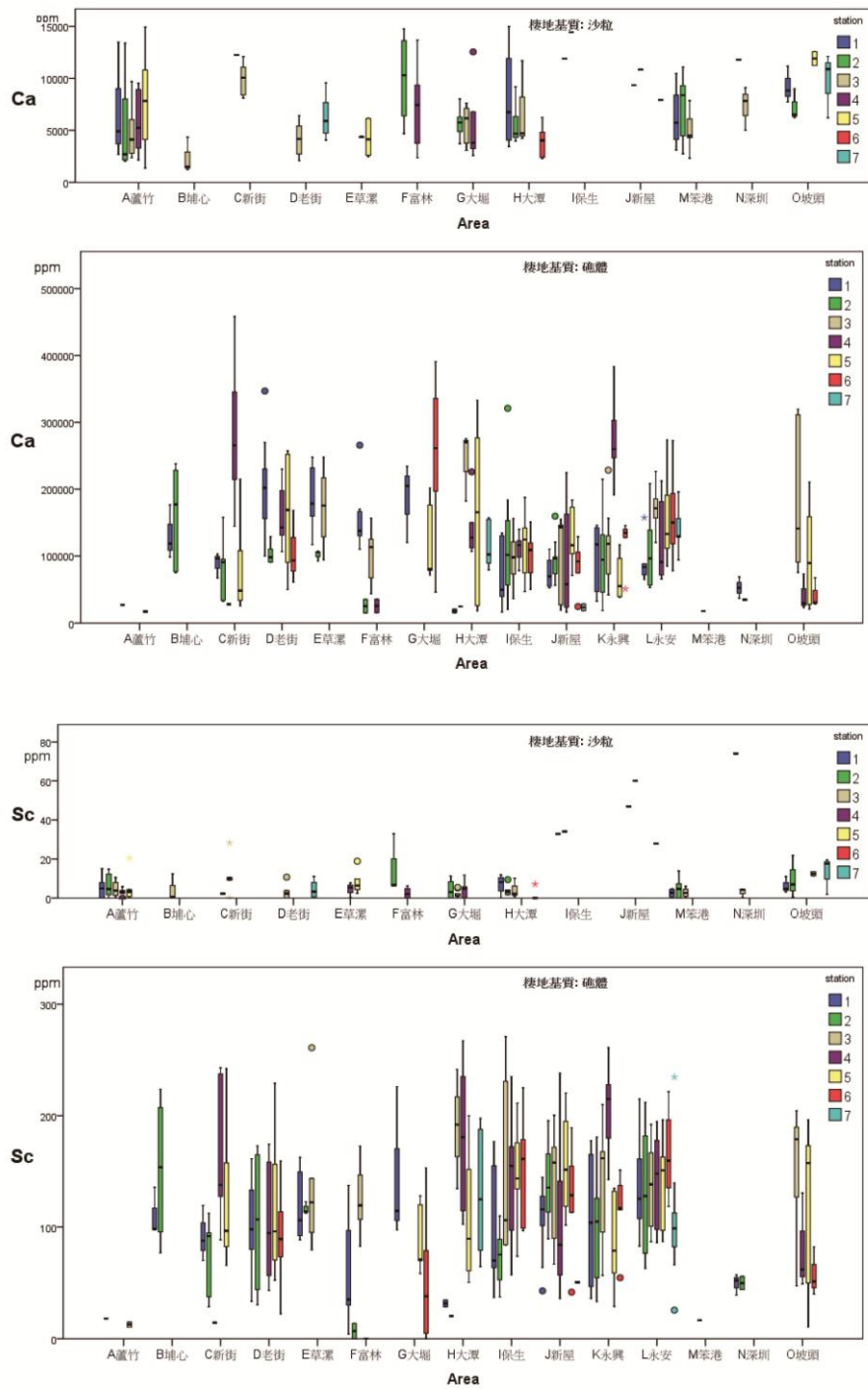


圖 7. 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鈣、銦、鋇、硫含量盒形圖。

Fig.7. Boxplot of Ca, Sc, Sr, S, contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

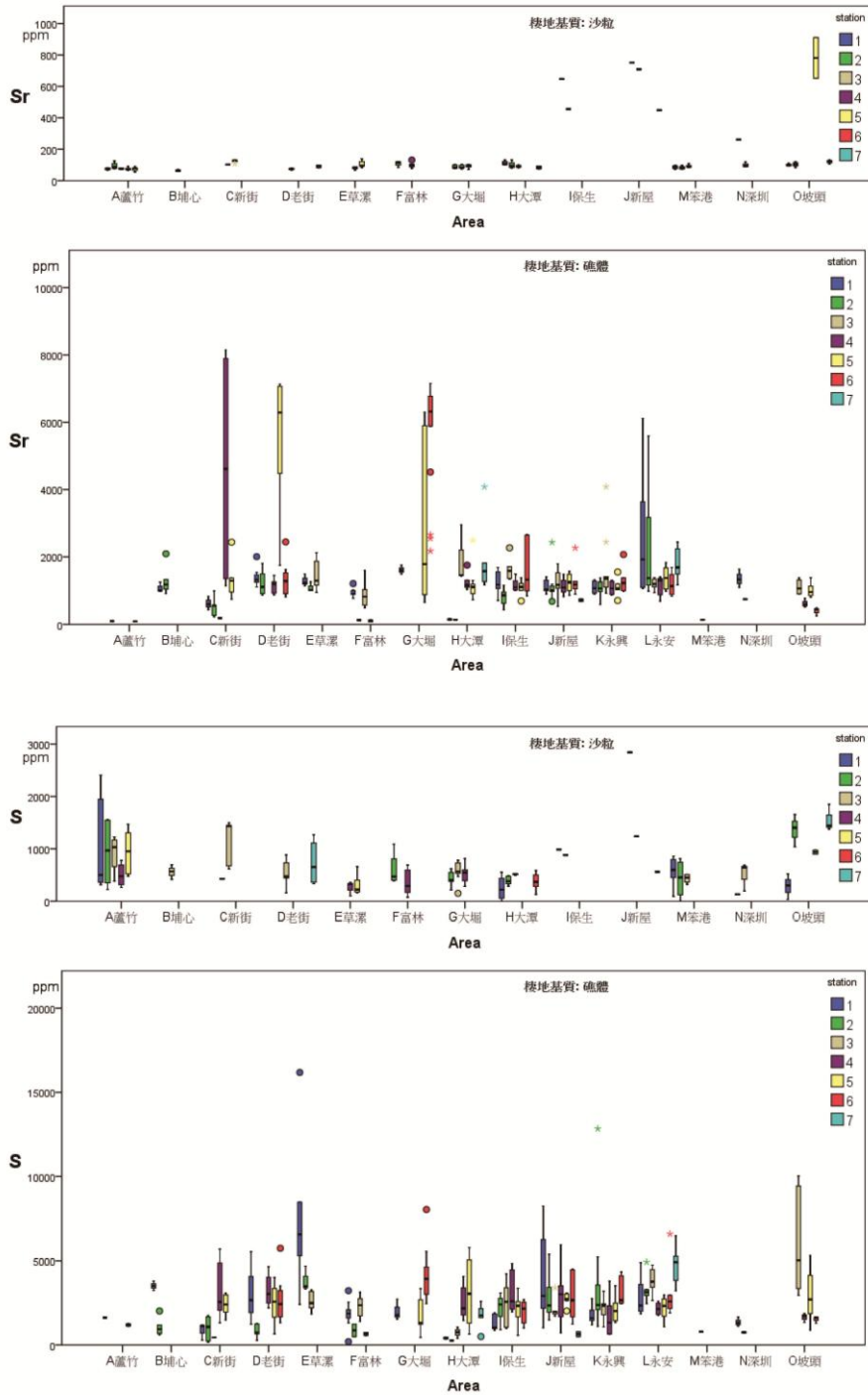


圖 7. (續) 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鈣、銦、鋇、硫含量盒形圖。

Fig. 7. (continue) Boxplot of Ca, Sc, Sr, S, contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

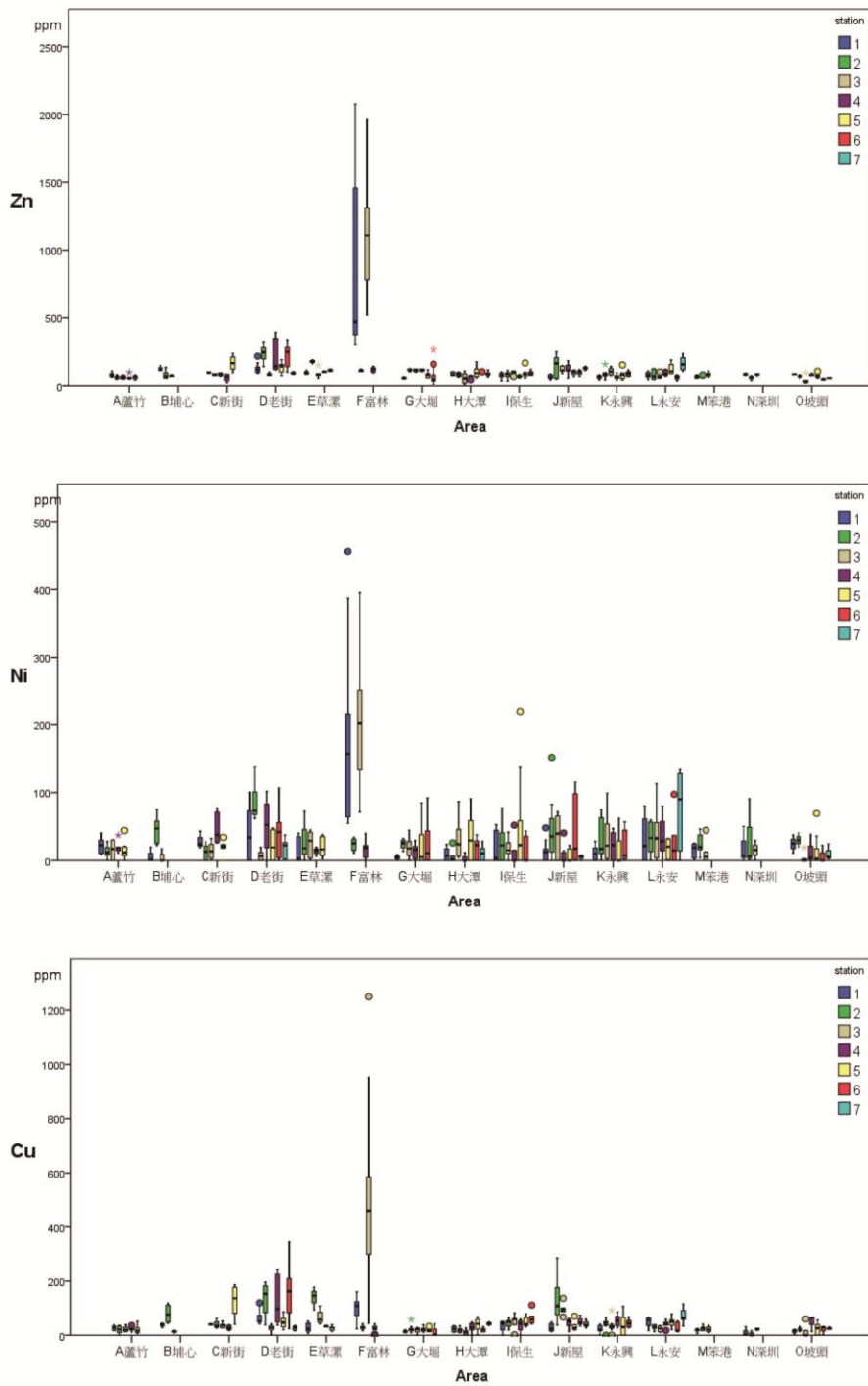


圖 8. 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鋁含量變化盒形圖。

Fig. 8. Boxplot of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, As, Pb, Mo, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwestern Taiwan.

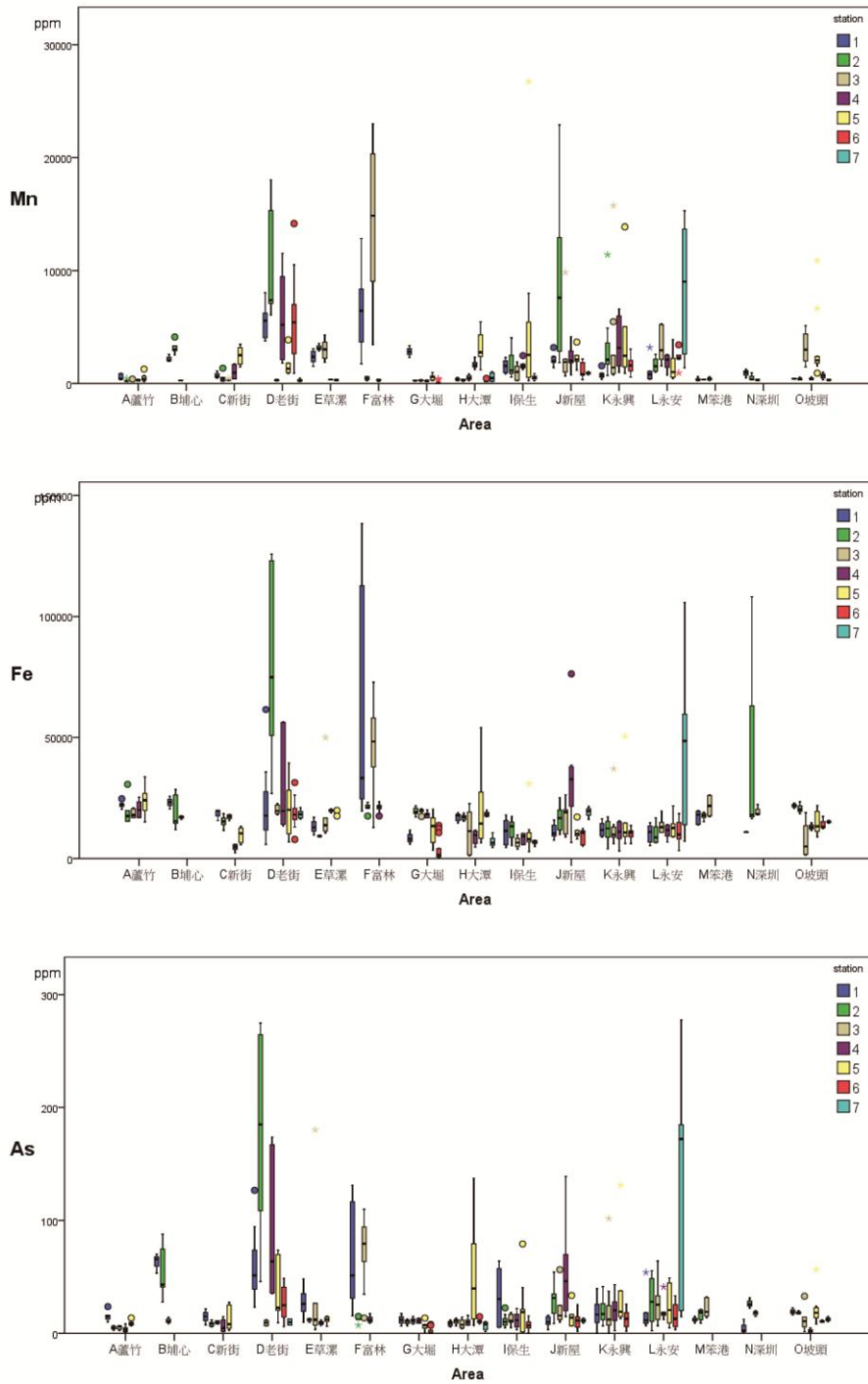


圖 8. (續) 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬含量變化盒形圖。

Fig. 8. (continue) Boxplot of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, As, Pb, Mo, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

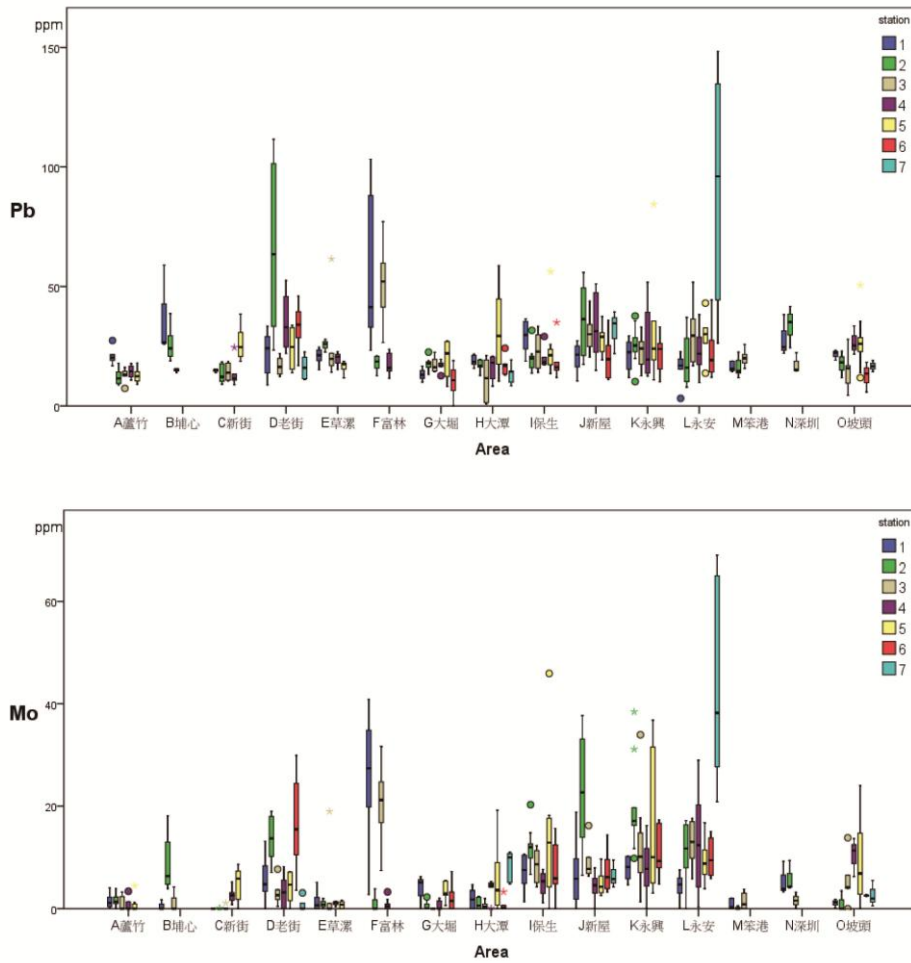


圖 8. (續) 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬含量變化盒形圖。

Fig. 8. (continue) Boxplot of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, As, Pb, Mo, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

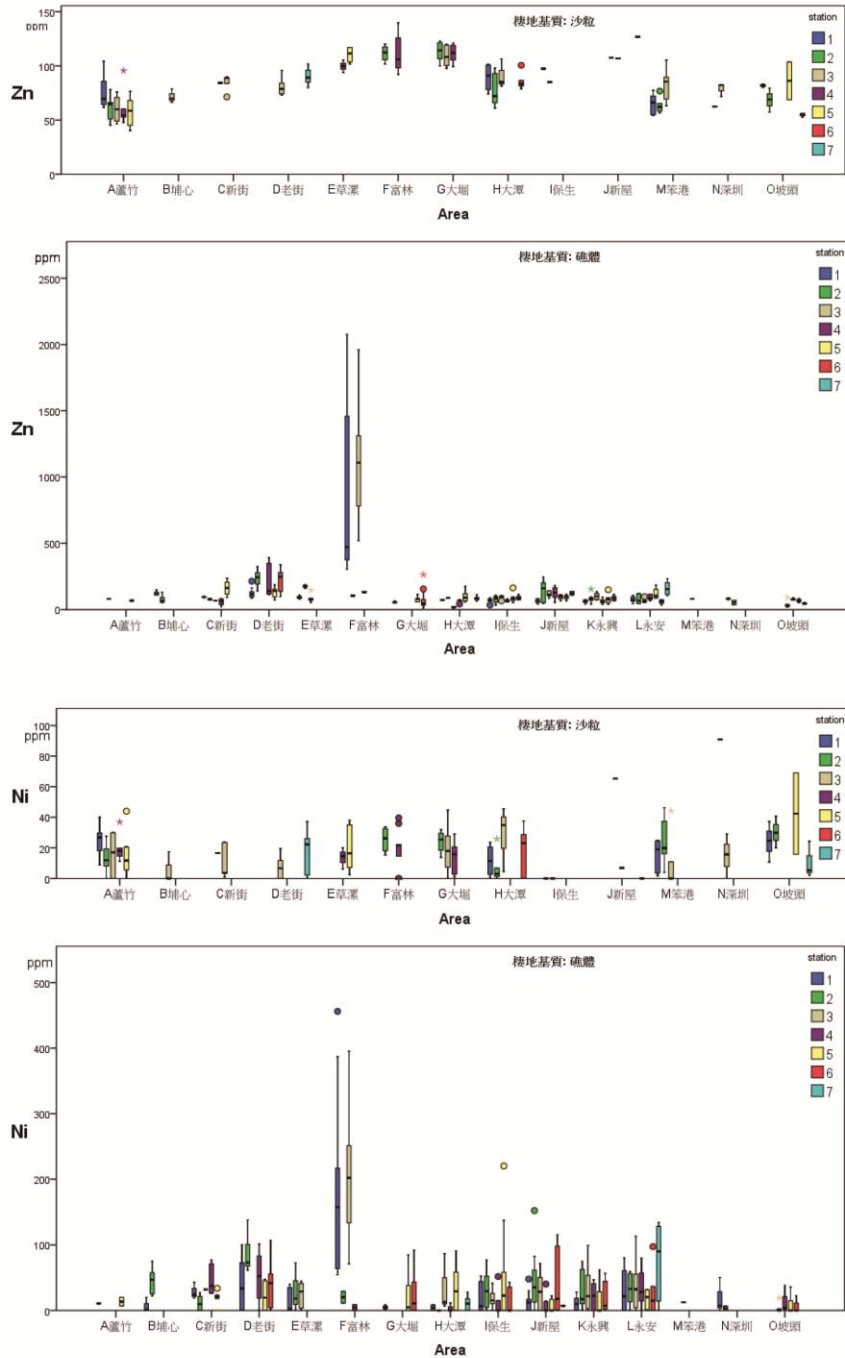


圖 9. 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬含量盒形圖。

Fig. 9. Boxplot of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, As, Pb, Mo contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

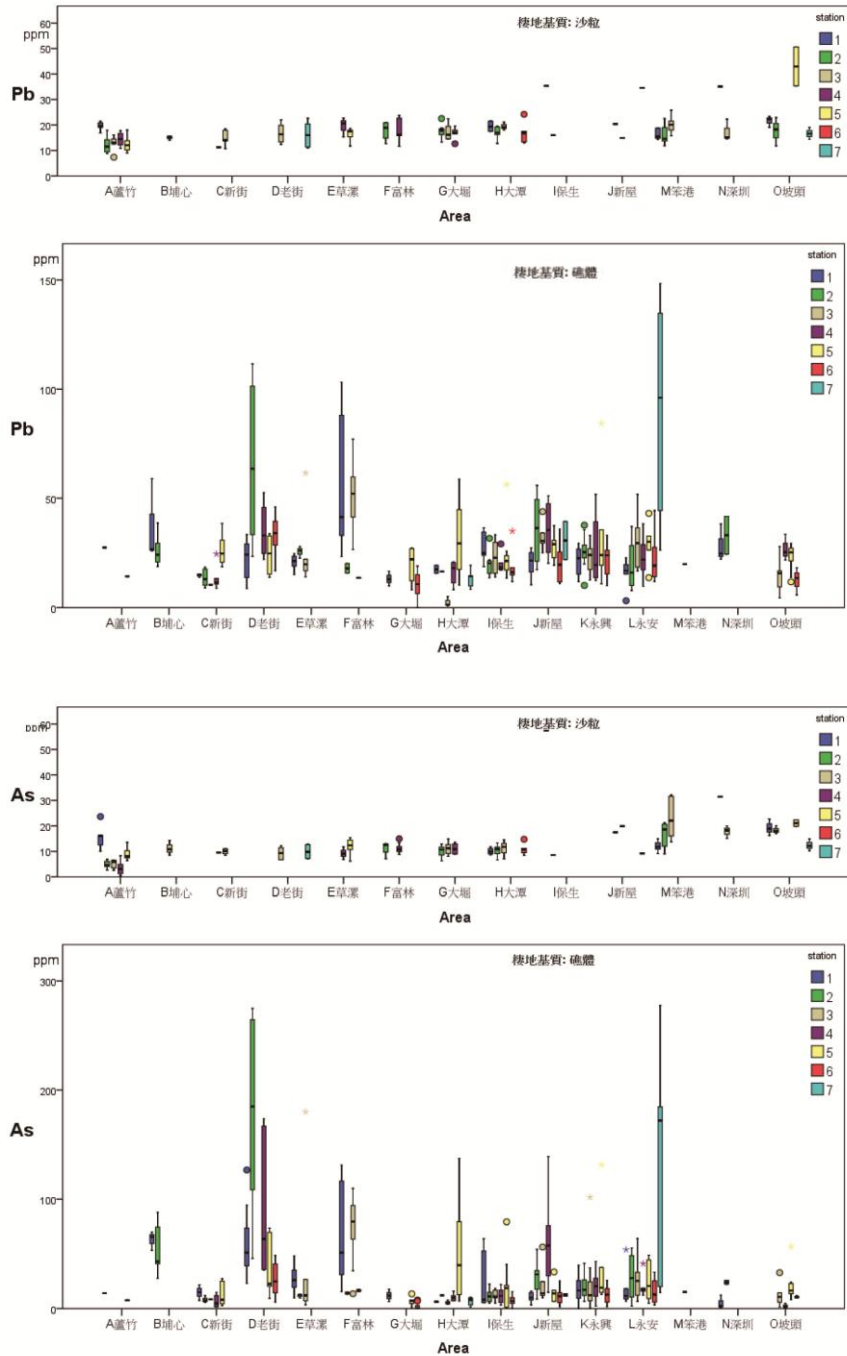


圖 9. (續) 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬含量盒形圖。

Fig. 9. (continue) Boxplot of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, As, Pb, Mo contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

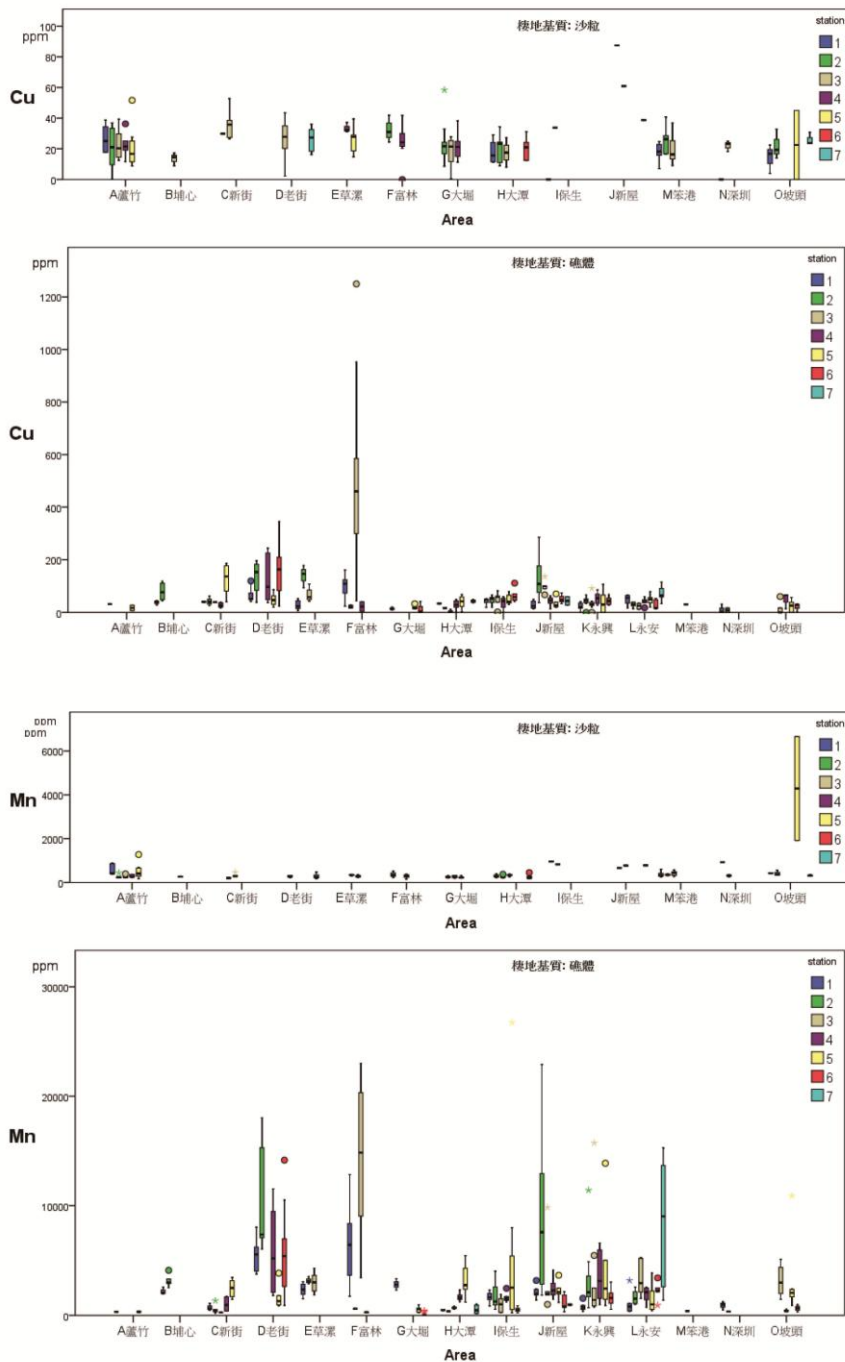


圖 9. (續) 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬含量盒形圖。

Fig. 9. (continue) Boxplot of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, As, Pb, Mo contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

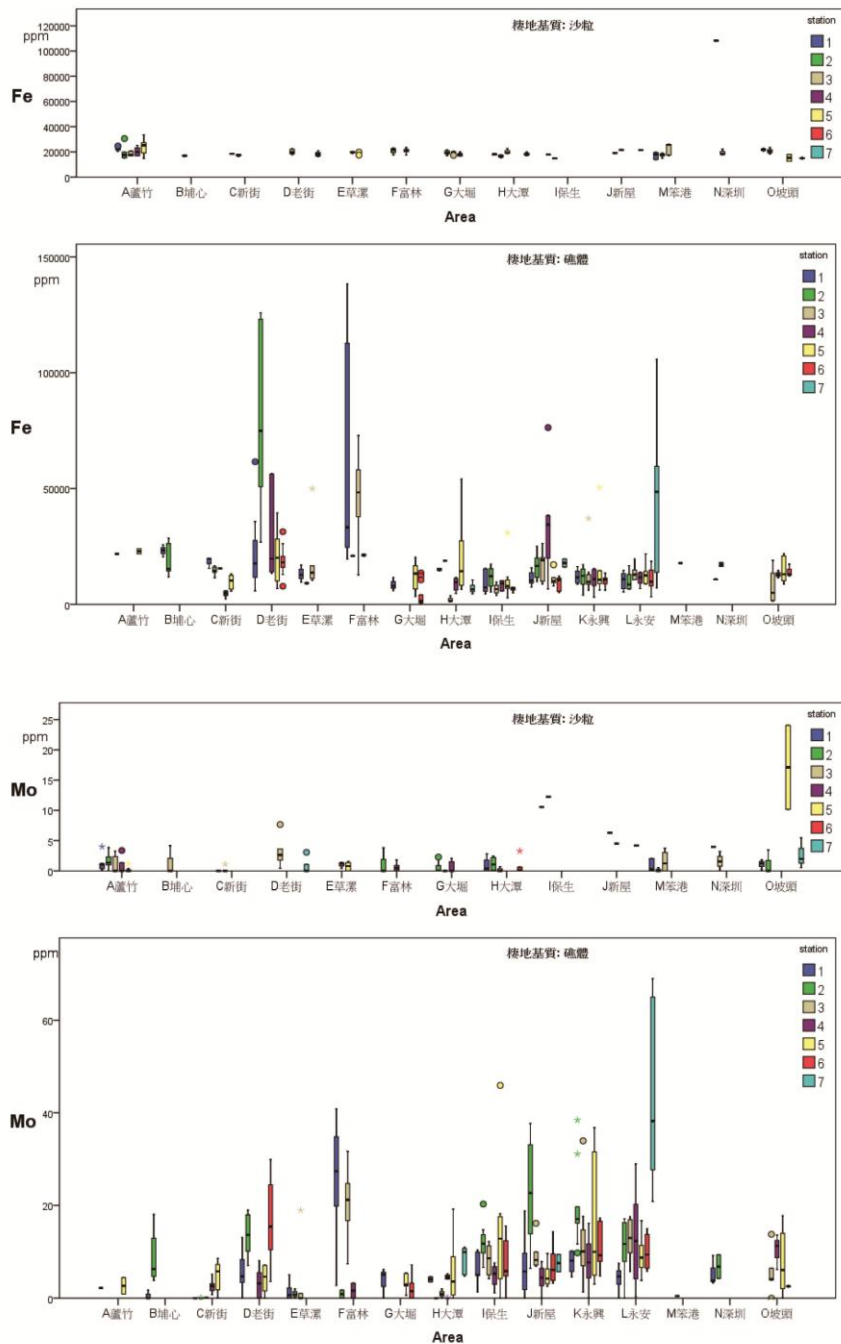


圖 9. (續) 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鋅、鎳、銅、錳、鐵、砷、鉛、鉬含量盒形圖。

Fig. 9. (continue) Boxplot of Zn, Ni, Cu, Mn, Fe, As, Pb, Mo contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

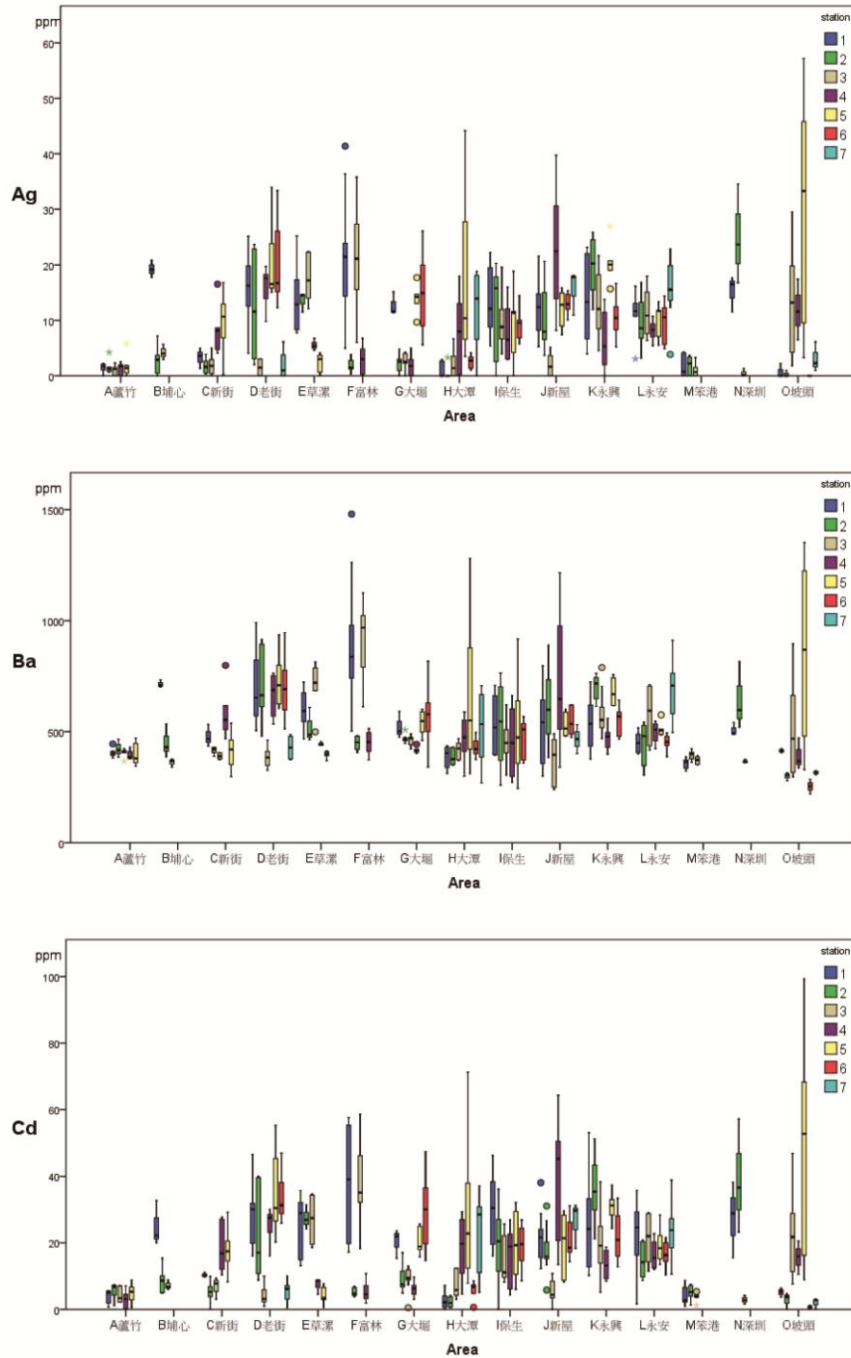


圖 10. 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之銀、鋇、鎘、鉍、鈮、銻、錫、碲含量變化盒形圖。

Fig. 10. Boxplot of Ag, Ba, Cd, Cs, Pd, Sb, Sn, Te, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

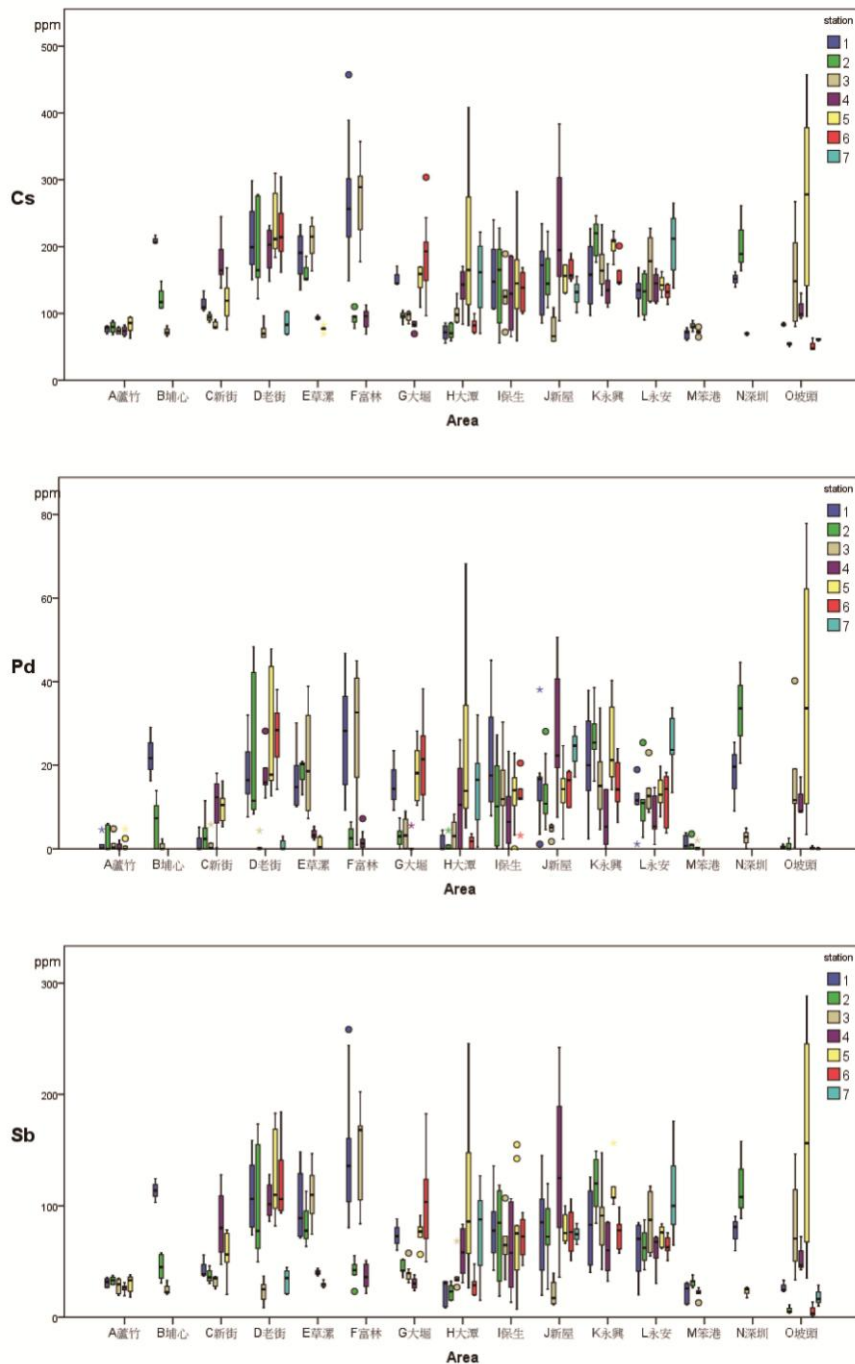


圖 10. (續) 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之銀、鋇、鎘、鉍、鈮、鈹、錒、碲含量變化盒形圖。

Fig. 10. (continue) Boxplot of Ag, Ba, Cd, Cs, Pd, Sb, Sn, Te, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

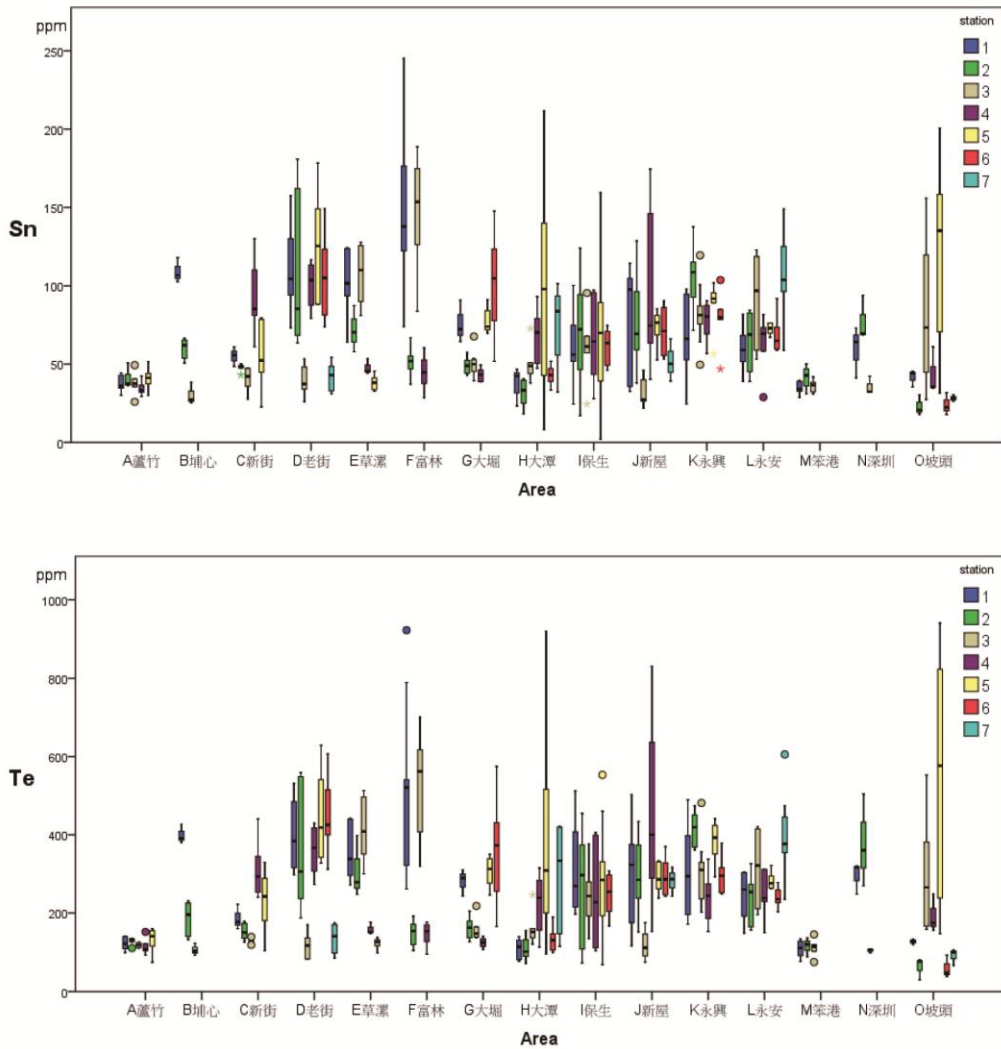


圖 10. (續) 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之銀、鋇、鎘、鉍、鈹、銻、錫、碲含量變化盒形圖。

Fig. 10. (continue) Boxplot of Ag, Ba, Cd, Cs, Pd, Sb, Sn, Te, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

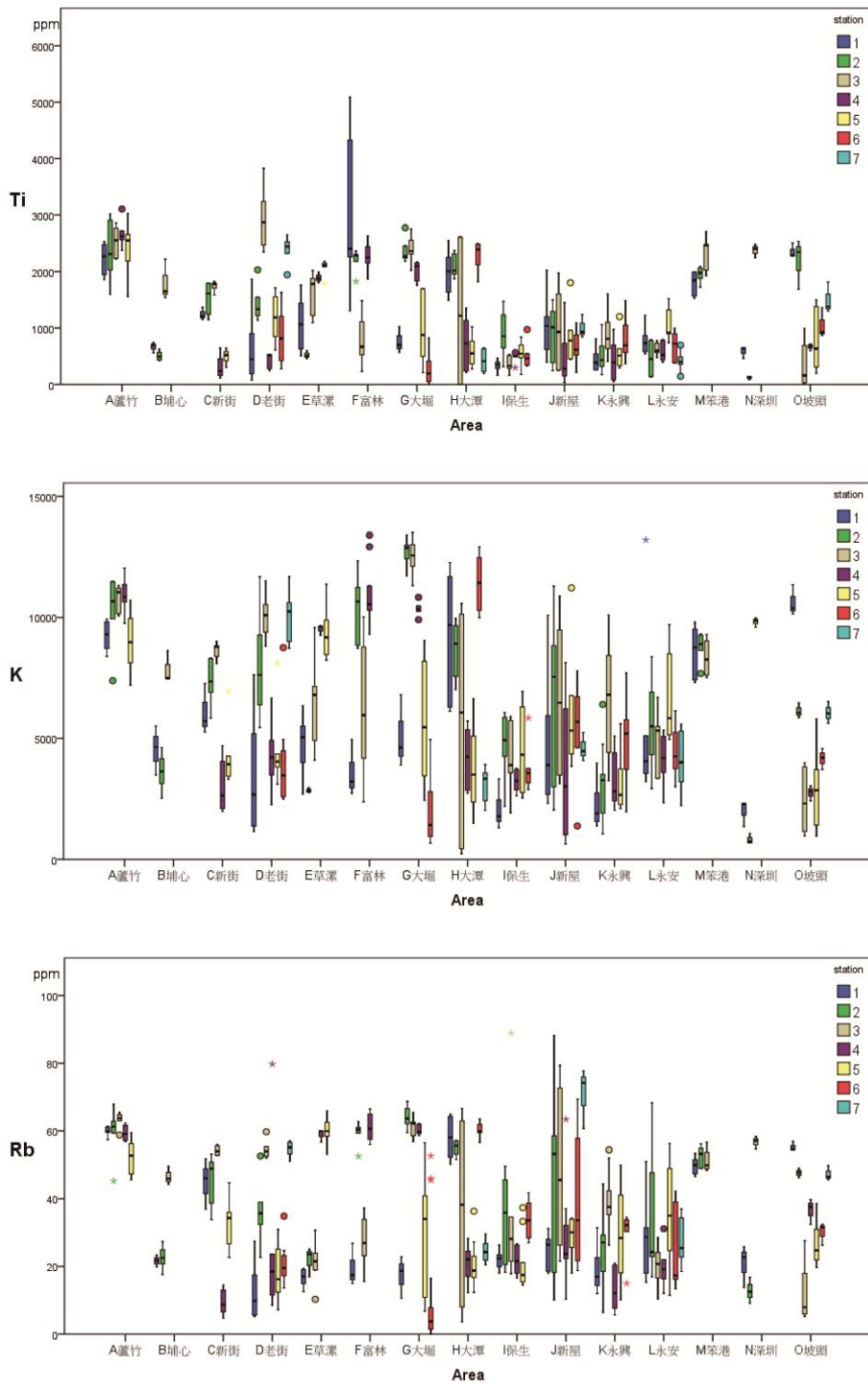


圖 11. 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之鈦、鉀、鉀含量變化盒形圖。

Fig. 11. Boxplot of Ti, K, Rb, contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

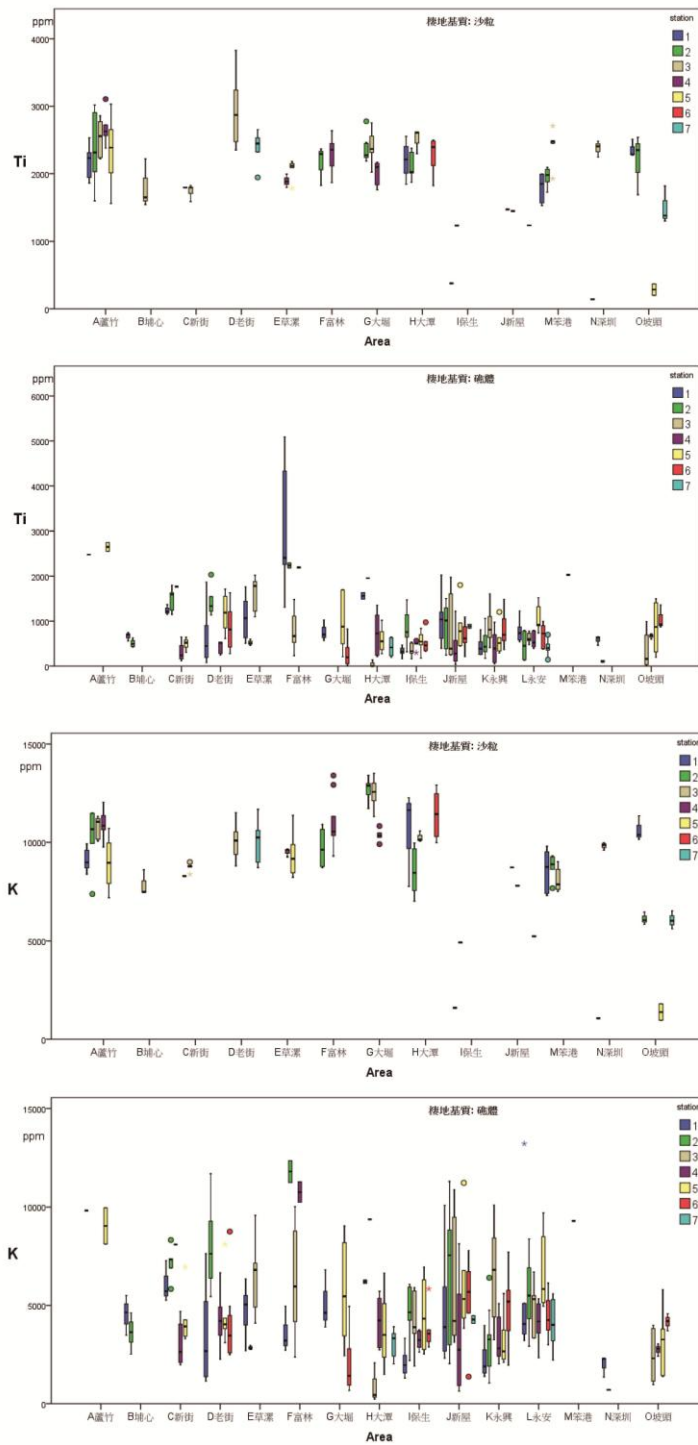


圖 12. 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鈦、鉀含量盒形圖。

Fig. 12. Boxplot of Ti, K, contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

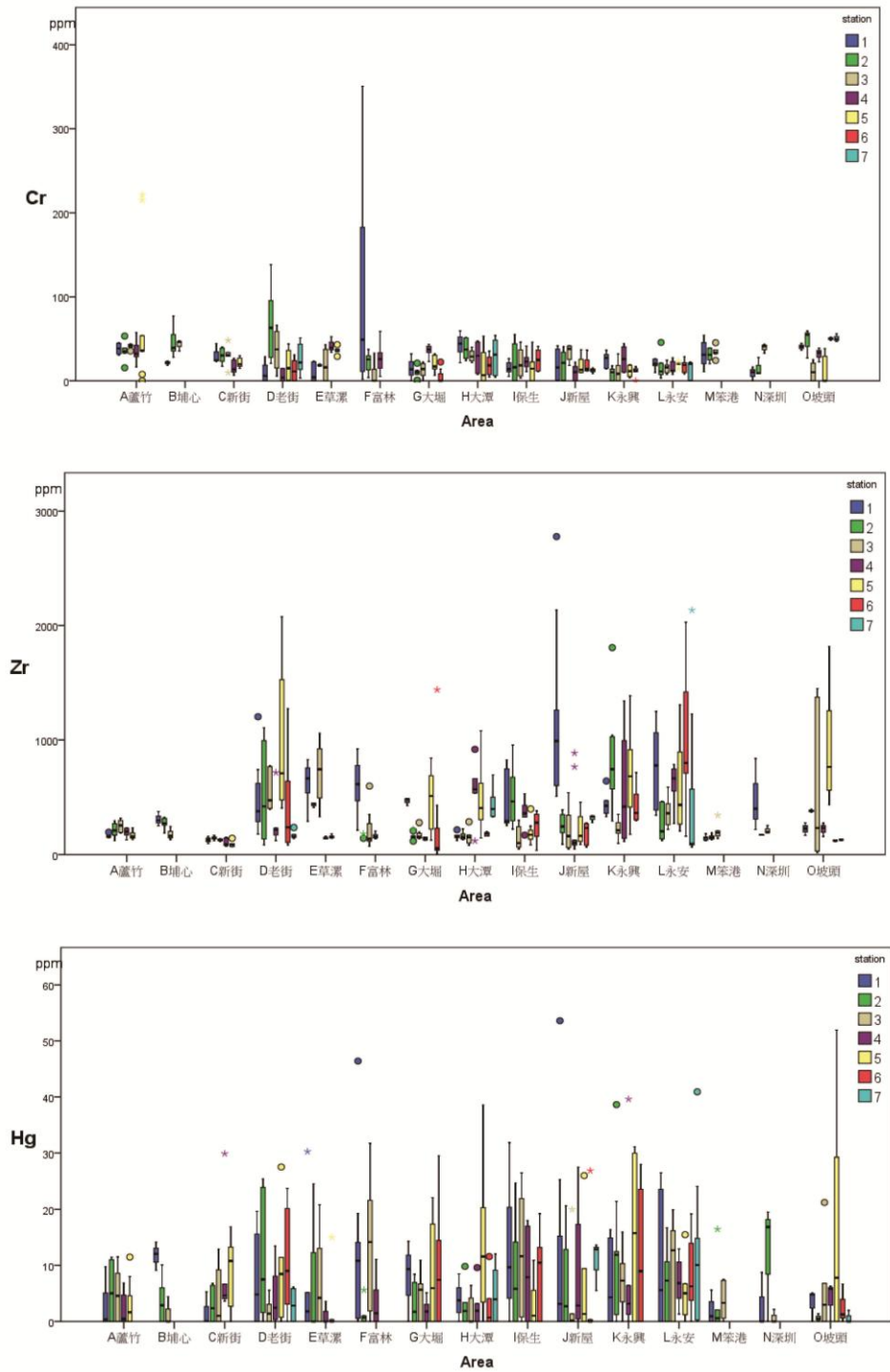


圖 13. 臺灣西北部藻礁海岸各採樣站之鉻、鋇、汞含量變化盒形圖。

Fig. 13. Boxplot of Cr, Zr, Hg contents in sampling stations in algal reefs coast of northwest Taiwan.

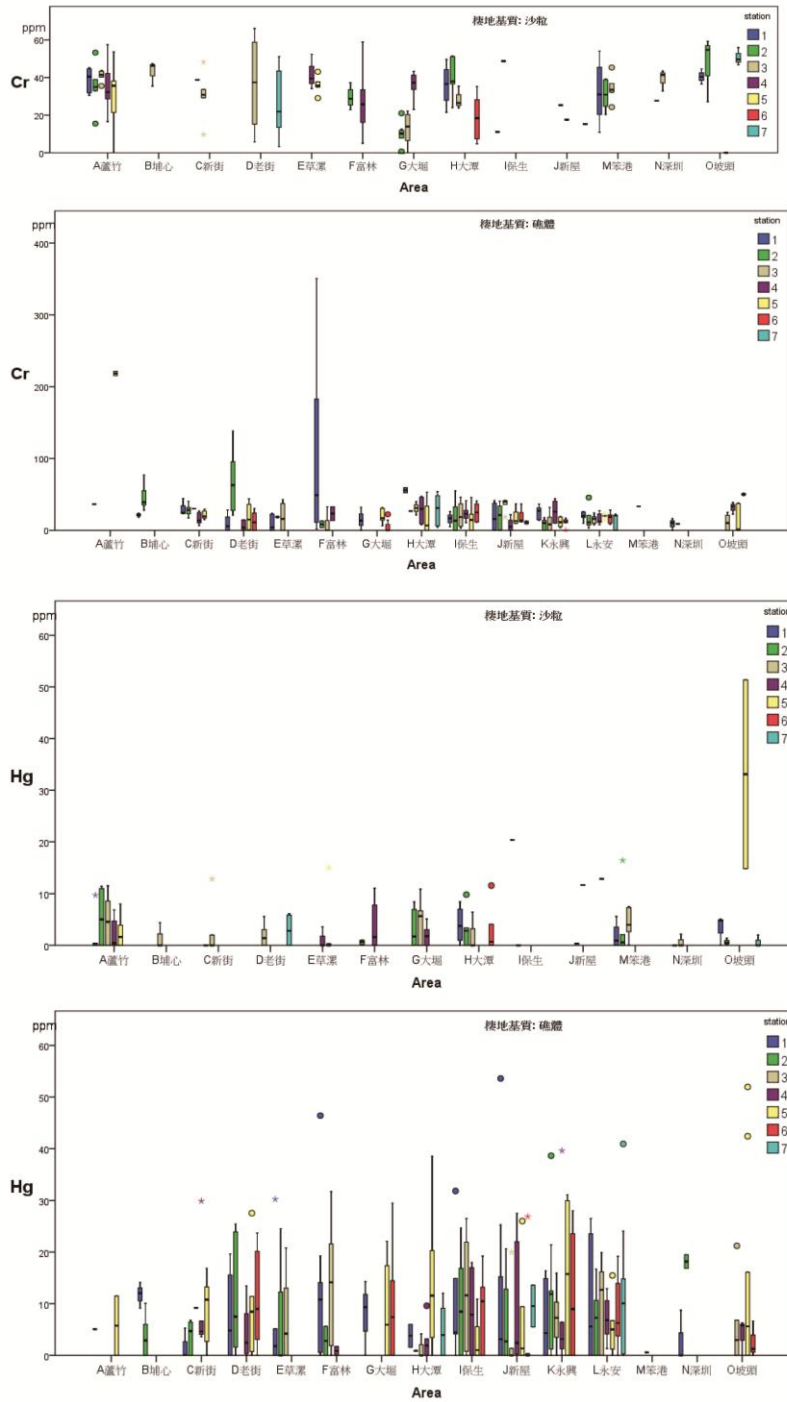


圖 14. 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之鉻、汞、鋅、鈦含量盒形圖。

Fig. 14. Boxplot of Cr,Hg, Zr, Th, contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

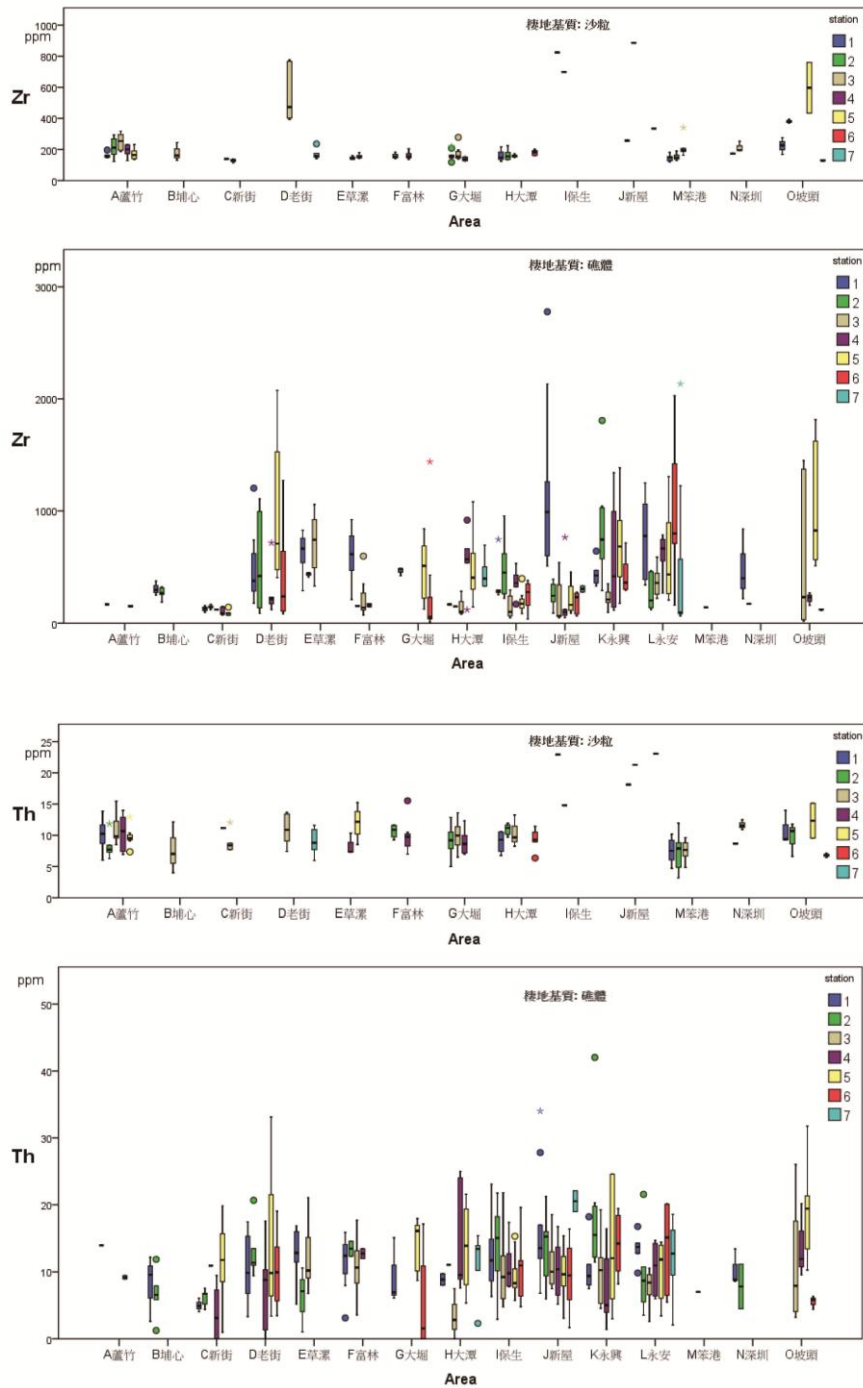


圖 14. (續) 臺灣西北部藻礁海岸棲地基質區分為礁體及沙粒樣本之銻、汞、鉛、鈦含量盒形圖。

Fig. 14. (continue) Boxplot of Cr,Hg, Zr, Th, contents in samplings divided into sand and reef coasts, northwest Taiwan.

