

新竹海岸基質重金屬污染分析

Heavy metal pollution in coast matrix of Hsinchu

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

為瞭解新竹海岸重金屬污染情形，本研究針對新竹縣與新竹市海岸基質進行採樣，先按河流出口及地理位置分為 15 段海岸，再依海岸潮間帶寬度及微棲地差異設置採樣站，共 65 站。採樣工作於 2012-2015 年進行分年重複採樣，取得之海岸基質樣本包括生物礁、沙泥、礫石、爐石等。各樣本以 X-射線螢光光譜儀進行 32 種重金屬濃度測定，共 507 個樣本資料進入分析。以定量數據計算樣站間之差異，依據主成分分析之分布序列圖及群團分析樹狀圖的結果概分為六群，第一、二、三群的元素數值都顯著高於先前調查之臺南、苗栗、新竹市、桃園及北海岸的資料。第一群元素銅、鋅、鉛、錫、鎳、鐵、錳、砷、鉬、鎳、銀的數值因鳳鼻段(Area D)的極端偏高，壓縮了其他海岸段所呈現的變化。特別是採自散落至海灘之太空包護岸填方的 D4 採樣站，採樣站內及年度間的差異不顯著。另外 D3 採樣站為爐石堤，除第一群的元素外，第三群鉻、鎢元素的數值也異常高。第四群元素鋇、鈾、銻、碲、鉍，在坡頭段 A5 藻礁區採樣站的濃度最大值已經高於 D3、D4。第六群鈦、銻、鉀在客雅、美山及大庄段海岸較高，因這些元素在太空包或爐石濃度較低，而呈現其他海岸段的變化趨勢。本研究證明若以太空包填充有毒廢棄物，再以太空包做為新竹沿岸垃圾掩埋場的臨時護岸堤，又放置於波浪可襲擊處，外露之沙土勢必造成海岸污染，透過生物吸收累積，鄰近藻礁區及石滬區的牡蠣殼都可檢出異常值。

Abstract

In order to reveal the heavy metal pollution along the coast of Hsinchu, the coast substrata of Hsinchu County and Hsinchu City were sampled and examined by the X-ray fluorescence spectrometer between 2012 and 2015. Fifteen sections and sixty-five stations were established based on geographical characteristics, including biotic reefs, sand, mud, gravel, and hearthstones along the coast. Analysis of thirty-two species of heavy metals using principal component analysis and clustering showed six distinct groups. Elemental values of the first, second, and third groups were significantly higher than the values recorded from other sites in Taiwan. The concentration of heavy metal species, including copper, zinc, lead, tin, nickel, iron, manganese, arsenic, molybdenum, cadmium and silver, were extremely high in the group 1 at the Feng-bi section (Area D). This extremely high value has caused insignificant difference of heavy metal species among stations and among years, particularly at the station D4 where the bulk bags of embankment were deposited for temporal shoreline protection. At the station D3, high concentration of chromium and tungsten was detected due to the deposition of hearthstone. The maximum concentration of heavy metal species in the fourth group, including barium, palladium, antimony, tellurium and cesium, at the algae reef (A5 of the Po-Tou section), were significantly higher than those of D3 and D4. The titanium, rubidium, potassium, of the group 6 were higher in the Ke-ya (Area H), Ta-chuang (Area J) and Mae-shan (Area K) than those of other sections, probably due to low concentration of these species in the bulk bags or hearthstone. This study demonstrated that the toxic waste leaked from the broken bulk bags, which were deposited as the temporal breakwater of litter dumping ground, can be detected by the outlier values of heavy metal species from the adjacent algal reefs and oyster shells along the Hsinchu coast.

According to estuary and geographical location divide to 15 coastal areas, and then press the intertidal zone width and habitat type setting sampling stations, a total of 65 stations, sampling in 2012-2015, repeated annual collection, the coast matrix samples including reefs, sand, mud, gravel, hearthstone, etc., each sample for measuring the concentration of 32 kinds of heavy metals by X-ray fluorescence spectrometer, a total of 507 sample data into the analysis. Multivariate statistical analysis, divided into six groups based on ordination of principal component analysis and dendrogram of cluster analysis were used by the quantitative analysis. The element values of the group 1-3 were extremely higher than the previous survey of Tainan, Miaoli, Hsinchu City, Taoyuan and north coast of Taiwan. The group 1 including copper, zinc, lead, tin, nickel, iron, manganese, arsenic, molybdenum, cadmium and silver, due to the abnormality of Feng-bi (Area D) coast, the difference between the other coastal areas were compressed, especially the D4 station, the filling leaked out to beach from the bulk bags of embankment, was no significant difference between the samplings and annual in this stations, in addition D3 station, collection from the hearthstone embankment, besides the elements of group 1, the group 3, chromium, tungsten, was also extremely high. Furthermore, the D3 and D4 were huge difference between

the other sampling stations, indicating that the D3 and D4 samples were presented with extremely high concentrations, could not be the environmental background value. The group 4 including barium, palladium, antimony, tellurium and cesium, the value of A5 station, algae reef coast, was higher than that stations of D3 and D4, and the boxplots showed the two peaks of Po-tou (Area A) and Feng-bi coast. The group 6 including titanium, rubidium, potassium, these values were higher in the Ke-ya (Area H), Ta-chuang (Area J) and Mae-shan (Area K) coast, since these elements that collected from the bulk bags or hearthstone was low, and showing the difference of other coastal areas. This study found that the filled of bulk bags with toxic waste, and then as a temporary embankment, and placed in the waves can be attacked, leaked out sand or mud bound to cause coastal pollution, through bio-absorption accumulation, can be measured outlier values in adjacent algae reef and oyster shell.

關鍵詞：新竹、重金屬含量、海岸基質、太空包、爐石

Key words: Hsinchu, heavy metal content, coast matrix, bulk bag, hearthstone.

收件日期：2017年4月18日

接受日期：2017年9月5日

Received: April 18, 2017

Accepted: September 05, 2017

緒 言

新竹縣新豐鄉坡頭村隔羊寮溪與桃園市分界，桃園的藻礁海岸延伸至此，且仍在發育中（劉 2010, 2013, 2014b, 2017a），然而被沙覆蓋的情形相當嚴重，僅小部分地區可終年露出，大部分都是依季節性漂沙狀況，偶而才可看到珊瑚藻生長，礁體厚度小於 50cm。羊寮溪口北岸蚵殼港周邊積沙，然溪口南側為礫石灘，有尚稱完整的石滬區，形成小面積的藻礁及蚵殼礁，往南的復興漁港低潮線處也有小面積的藻礁，但藻礁也都有部分覆沙，再往南積沙更多，早期還曾經被規劃為新豐海水浴場，這裡也有小面積藻礁殘存，海水浴場南側就是坡頭港北堤。本研

究在羊寮溪至坡頭港北堤間之坡頭段設有 7 採樣站，包括沙灘、藻礁及石滬區的蚵殼礁等。緊鄰坡頭村南側的新豐村，離坡頭港僅 1.5km 的新豐溪口，就是寬廣的紅樹林泥灘地，新豐溪感潮帶兩岸已規劃設立紅毛港遊憩區，其水筆仔紅樹林林相良好。新豐紅樹林南側有一鳳坑漁港，漁港南側 700m 之防波堤上是以爐石作為填充塊石，長約 400m，已存在多年，爐石上幾乎沒有藻類和附著的動物存在，本研究在此鳳坑段設 1 採樣站。沿著鳳鼻隧道外側的濱海自行車道，來到新豐鄉與竹北市的交界處，有一垃圾掩埋場，此掩埋場緊鄰海岸，南北兩岸都是爐石 (hearthstone) 及大的太空包 (bulk bag) 做為臨時的護岸堤，垃圾就填在護岸堤內，而太空

包內填充著不明泥沙。此段海岸之爐石及太空包堆置地點都是每日漲潮波浪可襲擊之處，不但太空包嚴重破損，露出內部的填充物，有些爐石也因波浪衝擊而崩毀，此掩埋場向北側延伸可見小面積藻礁分布，但無現生的珊瑚藻。本研究在此鳳鼻段設 4 採樣站，分別是沙灘、藻礁、爐石及太空包。竹北市至鳳山溪口北岸皆為沙質灘地，其中新月沙灘為目前熱門的海水浴場，本研究在此竹北段設 1 採樣站。

新竹縣市海岸以頭前溪相隔，頭前溪口南岸為不斷擴建的南寮(新竹)漁港，幾無自然的棲地，本研究在此南寮段設 6 採樣站，分別為頭前溪南岸及其溪口海岸、漁港內外側及漁港北堤內外等不同潮位線。新竹市香山區有客雅溪、三姓公溪、大庄溪、鹽港溪等水系於此入海，造就極寬廣的河口泥灘地，也吸納新竹市的工業及家庭廢水。整個香山區除 1989 年興建於 1994 年完工的海山漁港，1995 年於客雅溪口南岸設置的浸水垃圾掩埋場，還有 2008 年築於大庄里海岸的客雅水資源回收中心等大型人工設施外，其餘多為紅樹林或開闊的沙泥灘地。依據研究，紅樹林密生的大庄溪口至美山間及海山區的灘地則是屬於污染程度高的區域(劉 2015)。

本研究之檢測方法以 X-射線螢光光譜儀(X-ray fluorescence spectrometry)進行重金屬濃度檢測(環 2006, 2012a)，使用儀器型號 XL3t 700 檢測樣本中重金屬濃度。筆者已運用此光譜儀於臺南、彰化、苗栗、新竹市、桃園及北海岸等地調查，其相關研究已發表於學術期刊(劉 2012, 2014a, 2014b, 2015, 2017a, 2017b)，國內外也有類似的研究進行(Tomassini 1976; Sauter *et al.* 1979; Muchori 1984; Shefsky 1997; Jenkins 1999; Makundi

2001; Manceau *et al.* 2002; Kilbride *et al.* 2006; 葉 等 2011; 楊 等 2012; Lützenkirchen-Hecht *et al.* 2014; 彰化縣政府 2016)。本研究之儀器曾分別於曾文溪口、大肚溪口兩試驗區，利用 XRF 進行快速篩檢結果，再以王水消化法及原子吸收光譜法檢測部分樣本，證實在環保署所訂之土壤重金屬含量分級標準中，有六種在不同分析方式中呈現相符合的趨勢(劉 2012; 彰化縣政府 2016)。因此本研究以快速篩檢確認新竹海岸重金屬含量分布情形，並找出污染區域，推論可能之影響。

材料與方法

一、樣站設置及樣本採集

本研究調查範圍北起新竹縣新豐的坡頭海岸，南至新竹市香山區的南港海岸，依其地理位置分為 A-O 共 15 段海岸(Area) (圖 1)，各段海岸依微棲地再分採樣站(station)，共計 65 採樣站。採樣工作於 2012-2015 年間分年重覆進行，計 165 採樣點 (sampling point)，取得之海岸基質(coast matrix)包括生物礁、沙泥、礫石、爐石或散落至海灘之護岸填方等，各採樣點進行 3 次重複採集檢測，共 507 筆土壤樣本(sample)資料進入分析。採樣站位置，分述如下：

A 坡頭：羊寮溪至坡頭港北堤間有 7 採樣站，分別為 A1. 蚵殼港台 61 橋下沙灘，A2. 羊寮溪口沙灘，A3. 羊寮溪口南側石滬區藻礁，A4. 羊寮溪口南側石滬區蚵殼礁，A5. 復興漁港殘存藻礁(部分覆沙)，A6. 新豐海水浴場部分藻礁，A7. 坡頭港北堤沙灘 (圖 2)。

- B 新豐：新豐溪口南側有 5 採樣站，分別為 B1 水筆仔紅樹林緣為網紋招潮蟹棲地，B2 水筆仔紅樹林為雙齒近相手蟹棲地，B3 較為開闊區的白扇招潮蟹棲地，B4 海茄苳茂密的厚蟹棲地，B5 高潮線有陸化現象的黃槿林為隆脊張口蟹棲地。
- C 鳳坑：鳳坑漁港南側 700m 以爐石作為填充塊石之護堤外設 1 採樣站。
- D 鳳鼻：新豐鄉與竹北市的交界處之垃圾掩埋場外設 4 採樣站，分別為 D1 北側藻礁區(無現生珊瑚藻)，D2 低潮位沙灘，D3 爐石堤，D4 太空包外露之沙土(圖 2)。
- E 竹北：新月沙灘之高潮位設 1 採樣站。
- F 南寮：頭前溪口至南寮漁港設 6 採樣站，分別為 F1 頭前溪口南岸低潮位，F2 頭前溪南岸，F3 漁港北堤外，F4 漁港北側海岸中潮位，F5 漁港北堤內高潮位，F6 漁港內低潮位。
- G 金城：金城湖濕地設置 2 處採樣站，分別為 G1 金城湖抽水站內，G2 客雅溪口北側泥質灘地，金城湖抽水站外。
- H 客雅：客雅溪口鐵拱橋下，紅樹林機械移除區，設置 1 處採樣站。
- I 三姓：三姓溪口客雅水資源回收中心灘地北側之紅樹林移除區外圍，設置 3 處採樣站，分別為 I1 台灣招潮區，I2 白扇招潮區，I3 網紋及北方招潮區。
- J 大庄：大庄溪口往南及魚塭區外，設置 7 處採樣站，分別為 J1 大庄溪口近岸潮溝，J2 台灣招潮及鹽定區，J3 大庄溪口紅樹林，J4 魚塭區外之一，J5 魚塭區外之二，J6 魚塭區外之三，J7 魚塭區外之四(J1-3 為 2012 年前紅樹林人工移除區，J4-J7 為 2013 年後紅樹林機械移除區)。
- K 美山：自惠民宮前向外延伸至紅樹林分布最外圍之泥灘地設置 7 處採樣站，分別為 K1 美山海岸泥灘地，K2 美山海岸紅樹林內，K3 美山海岸紅樹林緣，K4 惠民宮前，K5 水閘門外，K6 美山路北(移除區內南側)，K7 美山路南(移除區外南側)。
- L 朝山：海山漁港北側之朝山海岸設置 7 處採樣站，分別為 L1 海山港北側海豆芽棲地，L2 海茄苳泥灘，L3 海山港北側紅樹林內，L4 海山港北側外側蚵殼灘，L5 海山港北側沙灘，L6 海山港北側台灣招潮，L7 海山港北側排水道口。
- M 海山：海山漁港南側之海山罟設置 5 處採樣站，紅樹林人工移除區，分別為 M1 台灣招潮北灘地，M2 台灣招潮南灘地，M3 紅樹林移除區之一，M4 紅樹林移除區之二。M5 紅樹林移除區之三。
- N 鹽水：鹽港溪北側豎琴橋至白雲橋間設置 7 處採樣站，分別為 N1 鹽港溪北側豎琴橋灘地，N2 鹽港溪北側豎琴橋紅樹林內，N3 鹽港溪北側豎琴橋紅樹林緣，N4 鹽港溪北側豎琴橋紅樹林內，N5 鹽港溪口新植紅樹林，N6 鹽港溪口低潮位沙灘，N7 鹽港溪口白雲橋。
- O 南港：鹽港溪口南側沙丘區設置 2 處採樣站，分別為 O1 潮溝，O2 沙丘區。



圖 1. 新竹海岸依河口及地理位置所區分之 15 段海岸位置圖，2012-2015 年。

Fig. 1. According to estuary and geographical location divide to 15 coastal areas in Hsinchu Coast, 2012-2015.



圖 2. 新竹海岸之坡頭段及鳳鼻段採樣站位置圖，2014-2015 年。

Fig. 2. Sampling stations of Po-tou coast and Feng-bi coast in Hsinchu coast, 2014-2015.

二、樣本處理及重金屬檢測：

依環境保護署公告之土壤和底泥中元素濃度快速篩選法，利用 X-射線螢光光譜儀進行 32 種土壤重金屬，本研究採用美國 Thermo NITON 手持式 XRF 分析儀 XL3t Series，採樣作業均以行政院環境保護署環境檢驗所公告之採樣法作業(環境保護署 2006, 2012a)，執行品保、品管。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、銻 Sr、鈾 U、銣 Rb、釷 Th、鉛 Pb、硒 Se、砷 As、汞 Hg、鋅 Zn、鎢 W、銅 Cu、鎳 Ni、鈷 Co、鐵 Fe、錳 Mn、鉻 Cr、釩 V、鈦 Ti、鈦 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、資料整理與多變數分析

檢測數據之運算及繪圖分別以 SPSS(Statistical Product and Service Solutions) 程式及 MVSP(Multi-Variate Statistical Package)程式(Kovach 1999)來進行，原始資料經基本運算後以敘述統計(descriptive statistics)呈現最大值及平均值等訊息，據以初步檢視。計算各元素間之皮爾森相關係數(Pearson correlation coefficient)，以瞭解樣本中各重金屬濃度之相關性，並利用群團分析(cluster analysis)，將相關性由高至低以加權配對法(weighted pair-group method, WPGMA)，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，。本研究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。另以變異數分析(Analysis of variance, ANOVA)利用平方和(sum of square)與自由度(degree of freedom)所計算的組間與組內均方(mean of square)的 F 值，確認元素於各段海岸及採樣站之間或不同年度之間平均值差異顯著性，據此為後續討論。

結果與討論

一、各重金屬元素含量於海岸段間及年度間之變化

表 1 列出的摘要統計表，為 2012-2015 年於新竹縣市之 15 段海岸 65 採樣站所取得之海岸基質，165 個採樣點各 3 次重複之 507 筆樣本資料，檢測 32 種重金屬。本海岸樣本中濃度高的元素除鈣、鉀與天然環境有關外，其他尚有鐵、鋅、錳、鉛、硫、銅、鈦、鉻、銻、鋇、鎳、錫等元素的濃度很高，本研究濃度高的元素遠多於先前調查之臺南、苗栗、新竹市、桃園及北海岸的資料(劉 2012b, 2014a, 2014b, 2015, 2017a, 2017b)，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極不均質，應是人為因素所致。

在研究區內之 15 段海岸間 32 種重金屬元素皆有顯著差異(表 2)，因鳳鼻段的異常偏高，鳳坑段也很高，其他海岸段又有藻礁、紅樹林、泥灘地，沙丘等差異很大的海岸基質。研究範圍內因有藻礁地形，鈣濃度測得最大值 345547.66 ppm、硫最大值 10028.09ppm，而在紅樹林灘地測得鉀濃度之

最大值 18806.14 ppm。此外，最值得注意的
是新豐鄉與竹北市的交界處海岸，因以爐石
及太空包做為臨時的護岸堤，有些太空包內
部的填充物露出，部分爐石也因波浪衝擊散
布沙灘上，經採樣檢驗後，確認破損太空包
露出之不明泥沙及爐石都含有多種高濃度重
金屬，檢視敘述統計表中(表 1)各元素資料之
最大值，濃度超高的有鐵 1016632.56ppm、
鋅 369738.30 ppm、鉛 24689.49ppm，錳
93969.13ppm、硫 10028.09ppm、鈦最大值
4405.39 ppm、銅 4355.20 ppm、鉻 4055.96
ppm、鋇 2411.86ppm、鋇 1658.63ppm、鎳
1632.47 ppm、錫 1097.56 ppm 等，其中鋅總

平均值達 4701.11ppm(n=507)，鉛總平均值達
343.15ppm(n=507)，都極度高於先前調查
之臺南、苗栗、新竹市、桃園及北海岸的資
料(劉 2012b, 2014a, 2014b, 2015, 2017a,
2017b)，由這些元素變異數的值偏高，可看
出樣本間的數值差異很大，顯示這些樣本所
呈現的異常高濃度，並非環境背景值。

又新竹市的採樣跨 2012-2015 年，而新
竹縣僅有 2014-2015 的資料，但因新竹縣有
異常偏高值，也造成年度間大多數元素的差
異達顯著(表 2、表 3)，故各段海岸內採樣站
間及年度間之變化仍需進一步分析。

表 1. 新竹海岸 507 樣本中 32 種重金屬含量敘述統計表，2012-2015 年

Table 1. Statistics of 32 heavy metal contents in 507 samples in Hsinchu Coast, 2012-2015

	Maximum (ppm)	Mean (ppm)		Std. Deviation		Maximum (ppm)	Mean (ppm)		Std. Deviation
		Statistic	Std. Error				Statistic	Std. Error	
Ag	85.69	2.69	.45	10.15	Pd	77.85	2.35	.39	8.67
As	420.98	13.59	1.40	31.42	Rb	115.63	57.56	.97	21.95
Ba	1658.63	355.72	6.68	150.43	S	10028.09	849.71	41.21	927.90
Ca	345547.66	9820.44	1619.52	36466.08	Sb	288.31	20.89	1.53	34.44
Cd	132.92	5.64	.75	16.83	Sc	222.16	11.33	1.40	31.54
Co	265.91	51.52	2.08	46.92	Se	19.78	.19	.05	1.08
Cr	4055.96	91.19	12.30	276.91	Sn	1097.56	42.66	4.96	111.63
Cs	456.84	61.31	2.09	46.97	Sr	2411.86	137.18	11.99	269.97
Cu	4355.20	87.06	19.92	448.51	Te	941.34	92.64	4.61	103.82
Fe	1016632.56	33485.81	4988.81	112331.28	Th	123.12	11.41	.35	7.83
Hg	309.73	4.36	.74	16.65	Ti	4405.39	2618.85	42.23	950.98
K	18806.14	9452.04	153.16	3448.65	U	25.14	1.30	.11	2.54
Mn	93969.13	2071.86	490.35	11041.04	V	163.73	45.55	.97	21.75
Mo	43.63	2.49	.22	4.93	W	516.48	19.26	2.07	46.65
Ni	1632.47	40.79	7.74	174.36	Zn	369738.30	4701.11	1713.93	38591.89
Pb	24689.49	343.15	115.22	2594.27	Zr	1815.23	300.84	7.86	177.00

表 2. 新竹海岸 507 樣本之 32 種重金屬元素在 15 段海岸間及年度間變異數分析，2012-2015 年

Table 2. ANOVA of 32 heavy metal contents in 507 samples between each area and year in Hsinchu Coast, 2012-2015

	Area					Year				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ag	21343.995	14	1524.571	24.359	.000	5206.232	3	1735.411	18.600	.000
As	179120.916	14	12794.351	19.643	.000	19533.546	3	6511.182	6.822	.000
Ba	3953540.380	14	282395.741	18.532	.000	1767513.120	3	589171.040	30.604	.000
Ca	231212323162.759	14	16515165940.197	18.398	.000	125248546726.766	3	41749515575.589	38.348	.000
Cd	62588.902	14	4470.636	27.266	.000	15374.748	3	5124.916	20.158	.000
Co	210803.708	14	15057.408	8.203	.000	49796.263	3	16598.754	7.846	.000
Cr	12617073.214	14	901219.515	16.935	.000	1148841.295	3	382947.098	5.116	.002
Cs	517122.256	14	36937.304	30.324	.000	215626.446	3	71875.482	40.135	.000
Cu	30238814.551	14	2159915.325	14.852	.000	1946879.018	3	648959.673	3.269	.021
Fe	2705666092320.380	14	193261863737.170	25.844	.000	232104542323.675	3	77368180774.558	6.325	.000
Hg	18939.572	14	1352.827	5.487	.000	2657.718	3	885.906	3.239	.022
K	3715403595.230	14	265385971.088	56.706	.000	1242713167.362	3	414237722.454	43.634	.000
Mn	28177845487.566	14	2012703249.112	29.555	.000	2833222455.144	3	944407485.048	8.072	.000
Mo	5341.542	14	381.539	26.932	.000	831.575	3	277.192	12.145	.000
Ni	6623083.529	14	473077.395	26.570	.000	574408.927	3	191469.642	6.504	.000
Pb	1056752974.098	14	75482355.293	15.812	.000	66558077.143	3	22186025.714	3.342	.019
Pd	15182.947	14	1084.496	23.306	.000	4687.261	3	1562.420	23.537	.000
Rb	164693.165	14	11763.798	73.203	.000	14716.199	3	4905.400	10.773	.000
S	176033565.136	14	12573826.081	23.827	.000	128779269.408	3	42926423.136	70.358	.000
Sb	262716.020	14	18765.430	27.347	.000	110421.248	3	36807.083	37.791	.000
Sc	250916.196	14	17922.585	34.925	.000	129861.283	3	43287.094	58.290	.000
Se	62.569	14	4.469	4.148	.000	6.414	3	2.138	1.835	.140
Sn	2220767.299	14	158626.236	19.104	.000	301099.568	3	100366.523	8.407	.000
Sr	15847213.647	14	1131943.832	26.479	.000	6830404.821	3	2276801.607	38.111	.000
Te	2351628.631	14	167973.474	26.640	.000	996575.963	3	332191.988	37.487	.000
Th	5123.286	14	365.949	6.955	.000	994.841	3	331.614	5.557	.001
Ti	283459466.013	14	20247104.715	57.202	.000	71193113.045	3	23731037.682	30.891	.000
U	272.160	14	19.440	3.203	.000	243.540	3	81.180	13.544	.000
V	58742.292	14	4195.878	11.430	.000	2175.307	3	725.102	1.538	.204
W	277016.056	14	19786.861	11.811	.000	17570.528	3	5856.843	2.719	.044
Zn	216720627988.642	14	15480044856.332	14.186	.000	13869648923.155	3	4623216307.718	3.144	.025
Zr	3338286.776	14	238449.055	9.375	.000	380960.009	3	126986.670	4.129	.007

表 3. 新竹海岸 507 樣本之 32 種重金屬元素在各年度之最大值及平均值，2012-2015 年

Table 3. Maximum and average value of 32 heavy metal contents in 507 samples of each year in Hsinchu Coast, 2012-2015

年度 樣本數	Maximum (ppm)				Mean (ppm)			
	2012	2013	2014	2015	2012	2013	2014	2015
	144	135	84	144	144	135	84	144
Ag	3.49	5.02	76.14	85.69	0.15	0.34	9.03	3.73
As	22.67	16.62	420.98	329.02	8.81	7.37	22.72	18.88
Ba	357.40	393.24	1658.63	849.75	299.01	315.05	460.10	389.67
Ca	8539.64	14826.56	345547.66	82049.56	1579.70	1794.55	44933.92	5102.59
Cd	8.19	8.94	122.35	132.92	1.06	1.32	15.89	8.30
Co	243.03	265.91	199.98	238.72	59.57	60.48	35.02	44.67
Cr	127.61	92.22	4055.96	1205.35	64.22	60.70	195.53	85.88
Cs	70.07	72.33	456.84	217.81	42.03	47.89	99.92	70.65
Cu	106.28	89.10	4127.12	4355.20	36.25	29.02	182.70	136.50
Fe	34466.13	32965.72	948596.30	1016632.56	15945.17	14586.09	69873.25	47518.93
Hg	14.19	14.51	103.62	309.73	2.50	2.09	7.16	6.73
K	14079.75	14959.70	15908.99	18806.14	9230.24	8801.05	7081.59	11666.92
Mn	738.71	892.63	83793.78	93969.13	232.46	213.70	6649.75	2982.83
Mo	5.11	6.74	32.97	43.63	1.76	1.80	5.34	2.22
Ni	50.41	53.06	1447.77	1632.47	13.44	12.74	101.92	58.78
Pb	87.71	43.25	22916.89	24689.49	20.66	18.03	846.47	676.83
Pd	5.74	4.49	77.85	49.66	0.23	0.24	8.73	2.72
Rb	112.67	114.46	99.13	115.63	60.68	57.45	45.96	61.30
S	1696.33	1307.43	10028.09	3797.77	516.64	536.49	1938.34	841.39
Sb	23.79	28.34	288.31	194.22	7.92	10.37	48.69	27.52
Sc	14.20	16.49	222.16	74.95	2.86	3.31	47.09	6.45
Se	2.00	1.59	3.83	19.78	0.11	0.07	0.25	0.34
Sn	36.61	39.54	989.36	1097.56	20.42	22.74	81.94	60.66
Sr	113.76	134.52	2411.86	1751.35	72.04	72.22	394.59	113.05
Te	103.62	112.25	941.34	442.32	53.41	60.60	175.15	113.79
Th	23.05	22.57	123.12	81.57	10.88	9.83	14.04	11.90
Ti	4027.77	4143.79	4333.80	4405.39	2812.82	2495.43	1880.29	2971.42
U	8.11	5.39	25.14	17.18	0.99	0.51	2.54	1.63
V	105.44	105.47	163.73	122.17	48.44	44.09	42.70	45.71
W	63.32	58.66	516.48	474.87	15.44	15.32	31.87	19.41
Zn	271.05	148.17	347569.90	369738.30	84.23	65.57	12474.16	9129.54
Zr	601.19	566.68	1815.23	971.67	317.00	280.21	349.14	275.85

二、元素於各海岸段最大值與平均值描述

研究範圍內北段自羊寮溪南側的礫石灘，有石滬及仍在發育中藻礁，中段有新豐溪

口水筆仔紅樹林及寬廣的香山濕地，南段有沙丘地形，棲地多樣性高。將 32 種重金屬於各分段海岸之檢測最大值統計於表 4 中，明顯高

濃度的鐵、鋅、錳、鉛、硫、銅、鈦、鉻、鋇、鋇、鎳、錫等元素大多是 D 鳳鼻段海岸，此段海岸有 4 採樣站，採樣站的差異達顯著，表 4 中將本研究最大值若採自 D3 鳳鼻爐石堤採樣站以藍字呈現，採自 D4 鳳鼻太空包外露之沙土採樣站以紅字呈現，藻礁採樣站以綠字呈現，泥灘採樣站以棕字呈現。

於表 4 可看出除上述濃度超高的元素外，還有銀、砷、鎘、鉍、汞、鉬、鈮、銻、銻、鈾、鈾、鈾、鎢等元素也在 D3 或 D4 濃度偏高的值，這些元素在先前調查之臺南、苗栗、新竹市、桃園及北海岸的資料中，大多是均勻分布，或極微量甚至未檢出，但都在爐石及太空包採樣站驗得超高值，且明顯高於其他採樣站的值，僅有鈷、鈦、鉀、銻最大值在 J 大庄段海岸檢出(表 4)。

將 32 種重金屬於各分段海岸之檢測平均值統計呈現於表 5 中，鳳鼻段海岸含爐石、太空包、無現生珊瑚藻之藻礁區及低潮位沙灘 4 採樣站平均後，多數值仍是最高，C 鳳坑段海岸次之，有鈣、鉍、鈳、鈾平均值最高，而鳳坑段也是爐石堤的採樣站，只是堆置年代久遠。

太空包採樣站未檢出的鉍元素在 A 坡頭段海岸被檢出最大值及平均值最高。此外，K 美山及 J 大庄段海岸分別檢出鈷的最大值及平均最高值，美山至大庄間都是紅樹林灘地，而鈷也是太空包採樣站未檢出的元素。另在 H 客雅段海岸檢出鈦、鉀、銻平均值最高，但最大值則都是 J 大庄段海岸。下一步驟將以多變數分析進行，以釐清元素或採樣站間之關連性。

表 4. 新竹海岸 507 樣本之 32 種重金屬元素在各海岸段之最大值(ppm)，2012-2015 年

Table 4. Maximum value(ppm) of 32 heavy metal contents 507 samples of each area in Hsinchu Coast, 2012-2015

(ppm)	A坡頭	B新豐	C鳳坑	D鳳鼻	E竹北	F南寮	G金城	H客雅	I三姓	J大庄	K美山	L朝山	M海山	N鹽水	O南港	鳳鼻太空包	鳳鼻爐石
樣本數	33	18	3	24	6	18	18	6	27	69	63	45	126	39	12	6	6
Ag	57.21	3.66	.00	85.69	3.06	6.83	2.71	2.20	5.69	4.02	5.02	4.38	4.77	3.49	1.14	85.69	38.55
As	56.68	15.28	21.06	420.98	15.54	13.13	13.81	16.53	10.55	22.67	19.70	16.06	15.18	11.49	11.29	420.98	238.49
Ba	1353.32	388.28	272.83	1658.63	416.98	458.89	386.25	372.99	415.09	420.38	383.51	430.55	417.50	357.40	334.24	607.36	1653.63
Ca	319654.63	2395.46	119122.02	345547.66	6927.09	15307.66	10794.64	1627.06	1544.73	3056.25	4801.95	14826.56	5166.46	1126.58	3033.31	6655.76	38043.48
Cd	99.27	9.13	.02	132.92	5.88	10.50	3.55	4.62	8.94	8.25	6.40	9.00	8.60	5.57	4.75	132.92	95.41
Co	149.43	97.46	199.98	90.78	91.30	130.54	116.08	150.21	113.30	265.91	243.03	156.01	179.02	93.24	77.79	0	0
Cr	59.22	53.47	201.55	4055.96	187.99	65.31	80.36	93.19	92.22	102.38	103.83	64.99	127.61	82.38	70.12	1081.51	4055.96
Cs	456.84	86.51	.00	217.81	94.54	96.76	80.27	55.80	78.57	77.77	63.08	88.92	88.63	61.12	62.97	134.96	217.36
Cu	67.20	39.12	146.83	4355.20	23.18	22.15	73.38	90.70	58.14	106.28	89.10	37.17	42.90	40.79	17.73	4355.2	1254.92
Fe	23369.72	17940.76	150439.62	1016632.56	25623.08	23922.80	23697.11	24625.45	15744.46	34853.69	30090.68	22679.34	21975.24	19103.21	13630.02	1016632.56	514622.5
Hg	51.96	13.20	14.94	309.73	4.23	7.88	8.70	13.15	14.51	15.32	16.55	14.19	12.67	9.09	5.87	309.73	103.62
K	11356.96	11384.93	3466.18	9179.95	10203.76	10255.13	14115.43	15122.51	13293.98	18806.14	16746.40	14109.05	13108.04	11374.77	7534.03	983.91	2244.75
Mn	10894.00	363.34	8631.20	93969.13	428.80	606.00	326.76	287.71	277.26	1041.75	701.56	484.52	290.25	255.44	410.02	93969.13	75551.89
Mo	24.04	3.99	24.40	43.63	1.72	5.42	5.11	2.81	3.69	4.70	5.23	7.92	6.74	4.85	3.10	43.63	22.64
Ni	69.01	36.08	92.89	1632.47	33.21	48.28	34.20	55.46	43.47	66.98	49.97	50.01	53.06	31.31	30.86	1632.47	1069.82
Pb	51.00	22.10	196.08	24689.49	24.39	21.74	31.75	34.96	28.13	87.71	43.25	23.40	29.06	27.47	15.97	24689.49	8936.78
Pd	77.85	4.78	.00	49.66	2.17	7.14	4.04	.00	3.90	7.59	5.74	3.50	3.56	4.49	2.39	49.66	34.21
Rb	56.88	53.92	21.23	51.82	56.07	63.01	74.29	84.81	62.45	115.63	103.70	69.39	75.76	71.58	41.86	19.59	16.88
S	10028.09	2081.40	2710.90	3866.45	895.13	958.62	2399.50	1622.61	1228.38	2400.96	2397.81	2011.48	973.93	955.36	524.12	3797.77	2330.59
Sb	288.31	31.93	.00	194.22	34.76	47.08	34.76	20.65	30.07	25.70	26.87	38.35	34.64	24.86	28.28	194.22	109.21
Se	204.25	5.24	136.13	222.16	19.71	8.79	22.63	11.13	4.96	18.53	16.49	16.41	10.62	6.28	7.32	37.51	116.96
Sn	3.83	1.14	.00	19.78	.01	1.72	.15	.89	.04	1.36	1.59	1.19	1.69	2.00	.43	19.78	0
Sr	200.68	46.95	6.35	1097.56	44.59	44.99	40.63	31.61	41.19	40.44	33.66	45.46	43.74	35.75	35.84	1097.56	361.81
Sr	1380.00	66.62	181.20	2411.86	90.56	111.80	100.14	93.03	72.84	99.64	104.17	134.52	90.82	73.37	63.76	25.17	301.28
Te	941.34	138.61	.00	442.32	173.26	174.28	131.97	93.90	129.88	116.98	113.19	148.92	159.20	100.84	112.25	388.84	338.99
Th	31.76	11.51	15.61	123.12	11.52	13.51	16.46	19.97	13.67	23.05	22.81	14.80	17.90	14.33	8.63	123.12	22.03
Ti	2537.72	3192.61	479.60	3662.78	4333.80	2586.31	3778.62	4082.31	3705.05	4405.39	4232.24	3767.37	3675.54	2967.66	2040.17	80.97	1442.75
U	25.14	6.36	10.74	17.18	4.03	4.94	2.76	5.38	5.15	11.24	9.17	6.41	8.11	5.16	.02	8.28	17.18
V	78.41	68.26	9.52	163.73	107.46	58.74	59.86	84.82	82.36	122.17	105.47	81.94	87.82	65.35	47.61	0	163.73
W	80.79	47.43	115.06	516.48	23.02	47.16	47.93	51.23	32.16	47.10	59.97	51.19	63.32	58.66	43.88	474.87	516.48
Zn	104.00	77.86	2736.26	369738.30	87.63	93.29	102.12	135.11	78.22	271.05	145.82	80.42	187.07	86.09	39.63	369738.31	104701.91
Zr	1815.23	213.56	330.74	971.67	654.48	200.48	601.19	357.87	470.26	452.49	380.53	470.43	525.48	566.68	261.69	0	446.67

表 5. 新竹海岸 507 樣本之 32 種重金屬元素在各海岸段之平均值(ppm)，2012-2015 年
Table 5. Average value(ppm) of 32 heavy metal contents in 507 samples of each area in Hsinchu Coast, 2012-2015

(ppm)	A坡頂	B新豐	C鳳坑	D鳳鼻	E竹北	F南寮	G金城	H客雅	I三姓	J大庄	K美山	L朝山	M海山	N鹽水	O南港	鳳鼻大寮包	鳳鼻礁石
樣本數	33	18	3	24	6	18	18	6	27	69	63	45	126	39	12	6	6
Ag	14.54	1.05	.00	27.28	1.40	2.01	.41	.59	.78	.39	.29	.69	.36	.27	.19	73.98	20.25
As	15.54	10.34	11.49	97.01	13.40	6.01	7.37	9.82	5.43	11.92	11.84	10.00	7.65	5.78	7.95	234.62	102.61
Ba	559.09	336.09	223.20	642.62	383.05	387.67	311.14	336.91	327.78	325.10	306.06	350.68	325.16	302.69	311.69	526.10	1147.00
Ca	72115.17	1249.07	92092.02	57907.64	5512.89	4293.16	3296.30	1471.55	860.88	1676.09	3024.31	4009.62	1439.29	579.32	1525.13	5780.26	30951.87
Cd	24.07	3.80	.01	48.89	5.11	4.74	.89	3.10	2.59	1.88	.69	2.81	1.75	1.55	1.91	122.35	45.02
Co	27.95	26.26	66.66	14.26	38.64	53.75	51.01	81.63	38.84	76.85	82.52	52.94	49.38	24.35	39.14	0.00	0.00
Cr	26.20	34.95	184.75	795.49	56.08	45.14	53.78	68.25	51.14	67.87	70.83	46.33	57.07	57.22	44.28	1015.43	2113.74
Cs	158.27	65.36	.00	128.73	80.38	74.36	48.65	45.60	55.53	44.60	38.51	62.03	49.75	48.38	56.34	120.59	155.08
Cu	22.31	21.25	133.85	1179.68	13.82	15.02	39.26	63.92	33.00	58.64	54.63	19.75	20.60	22.10	11.59	413.88	576.72
Fe	14456.06	15287.93	111598.26	358815.26	18409.38	18373.10	17676.97	23383.02	10423.39	24569.34	23603.52	15708.65	13376.04	9858.12	11548.59	962574.23	438725.46
Hg	8.04	2.89	4.98	30.96	1.66	2.15	2.11	4.56	2.86	3.48	3.55	2.45	2.30	1.77	.99	82.97	29.48
K	4182.75	9352.60	3135.88	3663.08	8992.27	7885.87	10032.93	14795.03	8955.65	13104.93	12393.78	9616.62	9255.52	8239.98	6339.16	775.41	1303.27
Mn	1890.04	179.38	7823.39	35365.20	315.26	305.51	247.30	249.04	142.66	462.17	376.58	229.10	177.88	118.22	205.04	86493.69	52478.49
Mo	5.82	.77	20.03	14.64	.29	1.53	2.13	1.41	1.01	1.35	1.87	1.10	1.59	1.79	1.10	36.04	16.92
Ni	13.37	16.88	51.91	553.04	15.24	18.48	19.38	28.35	12.76	19.30	20.98	14.56	10.62	11.47	10.54	1398.21	781.64
Pb	21.04	16.00	158.90	6819.57	18.85	16.00	23.04	29.59	14.95	31.08	28.26	16.30	17.09	13.02	11.00	23390.29	3849.94
Pd	17.63	.68	.00	17.81	.75	1.44	.35	.00	.61	.44	.22	.39	.23	.51	.36	28.06	24.08
Rb	31.66	48.06	16.22	22.41	49.33	54.55	58.94	81.54	46.52	84.34	82.47	53.95	54.41	47.05	39.05	10.49	7.83
S	2577.31	1153.84	2340.85	1884.08	545.48	675.78	913.97	915.84	611.54	671.03	1091.59	646.33	403.74	523.06	285.13	2757.05	1468.89
Sb	83.95	22.71	.00	83.03	28.24	24.41	11.31	10.97	16.37	9.76	6.97	17.61	12.38	11.54	15.48	143.67	78.70
Se	79.71	1.68	87.56	56.72	6.38	4.32	5.75	4.16	1.30	4.69	5.24	3.96	2.25	1.02	1.86	18.43	81.45
Si	.31	.06	.00	1.72	.00	.16	.01	.29	.00	.13	.14	.07	.06	.20	.04	6.30	0.00
Sn	73.24	31.93	3.08	334.10	41.00	34.61	24.77	26.54	26.76	24.75	19.77	29.48	22.86	23.65	27.36	1022.16	203.63
Sr	677.30	57.34	148.88	565.54	81.37	82.92	78.22	87.04	59.33	80.82	87.05	79.94	71.84	57.73	55.98	16.67	239.22
Te	301.45	105.15	.00	236.46	132.18	116.66	61.46	66.33	82.29	56.06	45.63	90.08	67.25	64.93	86.12	260.55	264.76
Th	12.79	7.85	10.84	20.26	9.16	9.03	9.91	14.94	8.70	14.38	14.55	9.67	10.06	7.85	5.52	51.87	10.97
Ti	1048.27	2254.57	392.73	1095.42	2305.33	2064.19	2838.28	3855.22	2397.78	3474.23	3423.53	2519.32	2829.19	2297.48	1692.81	13.50	981.03
U	2.19	1.61	4.58	3.35	1.18	.94	.43	2.45	1.40	1.38	1.76	.68	.94	.60	.00	2.95	6.84
V	26.91	35.40	3.63	35.64	41.99	38.22	40.30	63.37	38.84	61.44	59.33	43.82	45.61	38.94	32.94	0.00	73.08
W	13.05	9.09	86.47	120.88	8.95	13.57	14.29	17.48	11.19	12.92	14.73	15.08	14.39	13.97	15.85	127.76	330.95
Zn	63.26	60.45	2274.92	97448.00	83.10	60.63	78.83	128.80	53.53	121.07	113.05	58.62	73.28	43.94	35.32	352773.64	36874.56
Zr	537.51	161.52	277.19	257.72	249.45	158.99	314.27	325.06	313.30	255.82	276.28	266.83	333.66	345.90	153.54	0.00	202.07

三、重金屬元素間相關性及群集分析

表 6 列出研究區內 15 段海岸 65 採樣站所檢測的 507 樣本內重金屬元素之相關性，多項元素間之皮爾森相關係數達顯著，以群團分析法導出 32 種重金屬元素之樹狀圖(圖 3)。利用主成分分析研究區內 507 個土壤樣本，32 種重金屬元素，計算各樣本內重金屬含量於分布序軸之特徵值，繪製分布序列圖(圖 4)，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 60.866%。

比較樹狀圖與分布序列圖，圖 3 樹狀圖顯示結果第一、二群與第三、四群先連結後再與第五群連結，最後才連結第六群，此結果可與圖 4 分布序列圖相呼應，第一至五群分布於 X 軸右方，僅第六群 X 軸左方。各元素於 PCA

軸之排序，分布於 X 軸右方有 5 群，第一群元素有銅、鋅、鉛、錫、鎳、鐵、錳、砷、鉬、鎘、銀，第二群為汞、硒，第三群有鎢、鉻，分布於 X 軸右上方為第四群鋇、銻、碲、銻、鈹，第五群鋇、鈣、鈦。另外，分布於 X 軸左下方為第六群鉀、銻、鈦。圖 5 顯示以主成分分析計算新竹海岸 507 樣本相關性在 PCA 軸之分布序列圖，D4 採樣站顯然離群分布於 X 軸最右方，D3 也是獨立一群，而 A5 採樣站(復興漁港殘存藻礁)及 D1 採樣站(鳳鼻北側藻礁區)另成群，A3 採樣站(羊寮溪口南側石滬區藻礁)、C1 採樣站(鳳坑漁港南側)、A6 採樣站(新豐海水浴場部分藻礁)緊鄰其旁，除此之外的採樣站全聚集在原點，顯示上述這些採樣站差異頗大。

表 6. 新竹海岸 495 樣本之 32 種重金屬元素在各海岸段之之相似性矩陣，2012-2015 年

Table 6. Similarity matrix of of 32 heavy metal contents in 495 samples in Hsinchu Coast, 2012-2015

Ag	Aa	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Hg	K	Mn	Mo	Ni	Pb	Pd	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sa	Sr	Te	Tb	Ti	U	V	W	Zn	Zr			
Ag	1	.723**	.609**	.222**	.973**	-.179**	.391**	.679**	.791**	.772**	.550**	-.481**	.758**	.800**	.731**	.800**	.810**	-.391**	.400**	.846**	.273**	.543**	.889**	.311**	.714**	.489**	.524**	.249**	-.361**	.368**	.795**	.038		
Aa	.723**	1	.258**	.043	.752**	-.108*	.417**	.230**	.835**	.827**	.456**	-.273**	.769**	.696**	.775**	.846**	.402**	-.217**	.250**	.420**	.106*	.513**	.823**	.006	.249**	.478**	-.298**	.145**	-.218**	.262**	.823**	-.129**		
Ba	.609**	.258**	1	.268**	.619**	-.178**	.582**	.871**	.165**	.350**	.296**	-.383**	.467**	.454**	.418**	.178**	.819**	-.369**	.260**	.814**	.362**	.108*	.340**	.417**	.845**	.138**	-.405**	.324**	-.100**	.494**	.160**	.142**		
Ca	.222**	.043	.268**	1	.222**	-.153**	.002	.417**	-.007	.014	.024	-.371**	.006	.162**	.014	-.001	.289**	-.386**	.763**	.358**	.861**	.074	.003	.860**	.385**	-.0029	-.447**	-.002	-.246**	.006	-.005	.222**		
Cd	.973**	.752**	.619**	.222**	1	-.207**	.407**	.679**	.796**	.787**	.512**	-.478**	.770**	.796**	.746**	.811**	.802**	-.413**	.402**	.838**	.280**	.501**	.891**	.326**	.708**	.487**	.529**	.257**	-.376**	.383**	.796**	.001		
Co	.179**	-.108*	-.178**	-.153**	-.207**	1	-.117**	-.235**	-.113*	-.133**	-.101	.355**	-.166**	-.103*	-.164**	.135**	-.165**	.526**	-.132**	.223**	.169**	-.067	-.171**	-.146**	-.221**	.102*	.367**	-.103*	.170**	-.071	-.131**	-.089**		
Cr	.391**	.417**	.582**	.002	.407**	-.117**	1	.203**	.424**	.676**	.330**	-.295**	.792**	.544**	.764**	.420**	.300**	-.262**	.104*	.249**	.218**	.216**	.447**	-.0021	.168**	.249**	-.216**	.214**	.203**	.773**	.403**	-.136**		
Cs	.679**	.230**	.871**	.411**	.679**	-.235**	.203**	1	.146**	.200**	.234**	-.474**	.270**	.379**	.221**	.166**	.890**	-.465**	.388**	.942**	.425**	.126**	.347**	.609**	.983**	.122**	.545**	.236**	-.343**	.200**	-.157**	.257**		
Cu	.791**	.835**	.165**	-.007	.796**	-.113*	.424**	.146**	1	.946**	.541**	-.280**	.876**	.775**	.888**	.995**	.353**	-.229**	.240**	.400**	.049	.619**	.975**	-.048	.186**	.575**	.300**	.115**	-.225**	.335**	.998**	-.189**		
Fe	.772**	.827**	.350**	.014	.787**	-.133**	.676**	.200**	.946**	1	.567**	-.327**	.970**	.829**	.983**	.942**	.404**	-.277**	.239**	.416**	.128**	.580**	.936**	-.036	.222**	.529**	.325**	.172**	-.125**	.533**	.935**	.202**		
Hg	.530**	.456**	.296**	.0024	.512**	-.101	.330**	.234**	.541**	.567**	1	-.215**	.564**	.522**	.571**	.525**	.315**	-.158**	.139**	.324**	.131**	.659**	.554**	.056	.248**	.351**	.227**	.009	-.100*	.026	.532**	-.066		
K	-.481**	-.273**	-.383**	-.371**	-.478**	.355**	-.295**	-.470**	-.280**	-.327**	-.215**	1	-.390**	-.479**	-.343**	.305**	.472**	.867**	-.295**	-.497**	-.451**	-.185**	-.371**	-.397**	-.469**	.068	.907**	-.025	.501**	-.287**	-.297**	-.139**		
Mn	.758**	.769**	.467**	.006	.770**	-.166**	.792**	.270**	.876**	.979**	.564**	-.390**	1	.830**	.990**	.871**	.447**	-.346**	.238**	.453**	.204**	.545**	.887**	.002	.280**	.478**	-.374**	.183**	-.088**	.612**	.865**	-.174**		
Mo	.800**	.696**	.454**	.162**	.789**	-.103*	.544**	.379**	.775**	.829**	.522**	-.479**	.830**	1	.804**	.774**	.581**	-.370**	.311**	.570**	.300**	.528**	.810**	.187**	.413**	.422**	-.474**	.172**	-.248**	.457**	.788**	-.041		
Ni	.731**	.775**	.418**	.014	.746**	-.164**	.764**	.221**	.888**	.981**	.571**	-.341**	.990**	.804**	1	.889**	.408**	-.302**	.219**	.406**	.146**	.562**	.886**	-.031	.230**	.485**	.326**	.175**	-.068	.557**	.877**	.194**		
Pb	.800**	.846**	.178**	-.001	.811**	-.135**	.420**	.166**	.995**	.942**	.525**	-.305**	.871**	.774**	.880**	1	.373**	-.262**	.244**	.419**	.051	.621**	.978**	-.004	.206**	.539**	-.325**	.117**	-.251**	.351**	.996**	.186**		
Pd	.810**	.402**	.819**	.289**	.802**	-.165**	.300**	.890**	.353**	.404**	.315**	-.472**	.447**	.581**	.400**	.373**	1	-.362**	.377**	.931**	.351**	.291**	.519**	.511**	.909**	.200**	-.505**	.278**	-.312**	.335**	.358**	.185**		
Rb	-.391**	-.217**	-.369**	-.386**	-.413**	.526**	-.262**	-.465**	-.229**	-.277**	-.158**	.867**	-.346**	-.370**	-.302**	-.262**	-.362**	1	-.275**	-.461**	.427**	-.135**	-.332**	-.353**	-.453**	.162**	.842**	-.022	.542**	-.259**	-.255**	-.170**		
S	.400**	.250**	.260**	.763**	.402**	-.132**	.104*	.380**	.240**	.239**	.139**	-.290**	.258**	.331**	.219**	.244**	.377**	-.275**	1	.417**	.727**	.226**	.311**	.620**	.384**	.140**	.394**	.057	-.240**	.122**	.239**	.101**		
Sb	.846**	.420**	.816**	.358**	.838**	-.223**	.249**	.942**	.400**	.416**	.324**	-.497**	.453**	.570**	.406**	.419**	.931**	-.461**	.417**	1	.380**	.276**	.570**	.541**	.956**	.246**	-.569**	.280**	-.398**	.267**	.411**	.183**		
Sc	.273**	.106*	.362**	.861**	.238**	-.169**	.218**	.425**	.049	.128**	.131**	-.451**	.204**	.300**	.146**	.051	.351**	-.427**	.727**	.380**	1	.118**	.132**	.804**	.398**	.044	-.488**	.034	-.166**	.206**	.043	.338**		
Se	.589**	.513**	.108*	.074	.501**	-.067	.216**	.126**	.619**	.580**	.659**	-.185**	.545**	.528**	.562**	.621**	.291**	-.135**	.228**	.276**	.118**	1	.633**	.053	.164**	.164**	-.209**	-.01	-.150**	.063	.630**	-.044		
Sr	.889**	.823**	.340**	.083	.891**	-.171**	.447**	.347**	.975**	.936**	.554**	-.371**	.887**	.810**	.886**	.978**	.519**	-.332**	.311**	.576**	.132**	.633**	1	.076	.383**	.536**	.404**	.151**	-.287**	.373**	.978**	-.128**		
Sr	.331**	.006	.417**	.869**	.326**	-.146**	-.021	.609**	-.048	-.036	.036	-.397**	.02	.187**	-.031	-.04	.511**	-.335**	.620**	.541**	.804**	.053	.076	1	.591**	.016	.467**	.003	-.261**	.005	-.044	.340**		
Te	.714**	.249**	.845**	.385**	.708**	-.221**	.168**	.983**	.186**	.222**	.248**	-.469**	.280**	.413**	.230**	.206**	.909**	-.433**	.384**	.956**	.398**	.164**	.383**	.591**	1	.115**	-.546**	.268**	-.373**	.196**	.198**	.242**		
Tb	.489**	.478**	.138**	-.029	.487**	.102*	.249**	.122**	.575**	.529**	.351**	.068	.478**	.422**	.485**	.200**	.162**	.140**	.246**	.044	.164**	.536**	.016	.115**	1	.006	.068	.007	.154**	.553**	.016			
Ti	.524**	-.298**	-.405**	-.447**	-.529**	.367**	-.216**	-.545**	-.300**	-.325**	.227**	.907**	-.374**	-.474**	-.326**	.525**	.505**	.842**	.505**	.200**	.162**	.140**	-.569**	.488**	.209**	-.401**	-.467**	-.546**	.006	1	-.026	.608**	-.225**	-.319**
U	.249**	.145**	.324**	-.002	.257**	-.103*	.214**	.236**	.115**	.172**	.009	-.025	.183**	.172**	.175**	.117**	.278**	-.022	.057	.280**	.034	-.001	.151**	.003	.268**	.008	-.0026	1	.118**	.301**	.107**	.038		
V	.361**	-.210**	-.100*	-.246**	-.376**	.170**	.203**	-.343**	-.225**	-.125**	-.100*	.501**	-.088**	-.248**	-.068	.251**	-.312**	.542**	-.240**	-.398**	.166**	-.150**	-.267**	-.261**	-.373**	.007	.608**	.118**	1	.697**	-.246**	-.023		
V	.368**	.262**	.490**	.0056	.385**	-.071	.773**	.200**	.335**	.533**	.0026	-.287**	.612**	.457**	.557**	.351**	.335**	-.259**	.122**	.267**	.206**	.063	.373**	.005	.196**	.154**	.225**	.301**	.097*	1	.321**	-.008		
Zn	.058**	.823**	.160**	-.005	.799**	-.131**	.403**	.157**	.998**	.935**	.532**	-.297**	.865**	.768**	.877**	.996**	.358**	-.255**	.239**	.411**	.043	.630**	.978**	-.044	.198**	.553**	-.319**	.107*	-.246**	.321**	1	-.186**		
Zr	.058**	-.129**	.142**	.222**	.001	-.089**	.136**	.257**	-.189**	-.202**	-.066	.139**	-.174**	-.041	-.194**	.186**	.185**	-.170**	.101*	.183**	.338**	-.044	-.126**	.340**	.242**	.016	-.004	.038	-.023	-.08	-.186**	1		

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
 * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

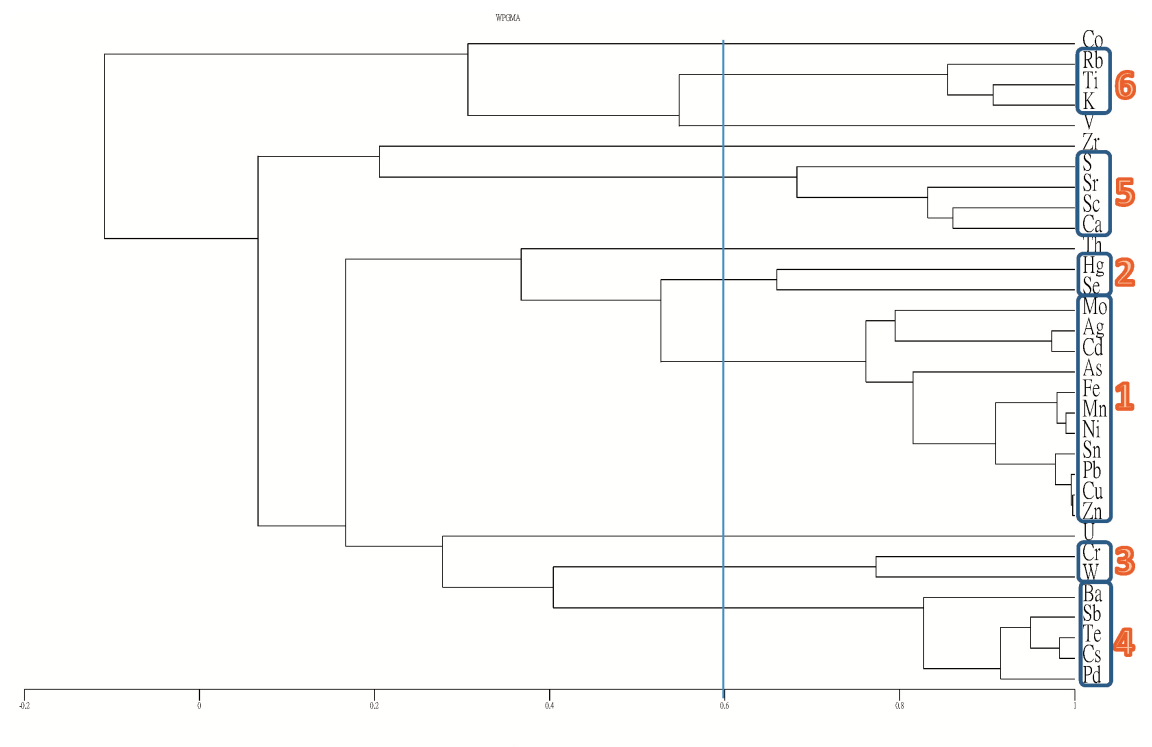


圖 3. 層級系統樹狀圖顯示新竹海岸 507 樣本 32 種重金屬元素之相關性，2014-2015 年。
 Fig. 3. Dendrogram showing weighed pair-group method with the Pearson coefficient of 507 samplings among 32 heavy metal contents in Hsinchu Coast, 2014-2015.

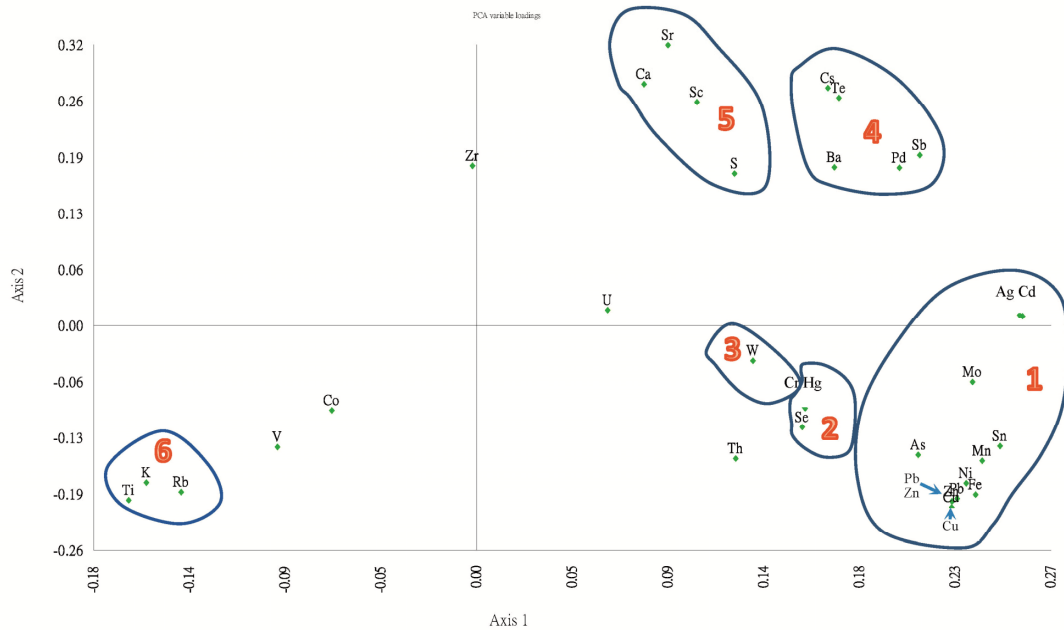


圖 4. 分布序列圖顯示以主成分分析計算新竹海岸32種重金屬元素在PCA軸之相關性，2012-2015 年。
 Fig. 4. Ordination of 32 heavy metal contents along the first two PCA axes in Hsinchu Coast, 2012-2015.

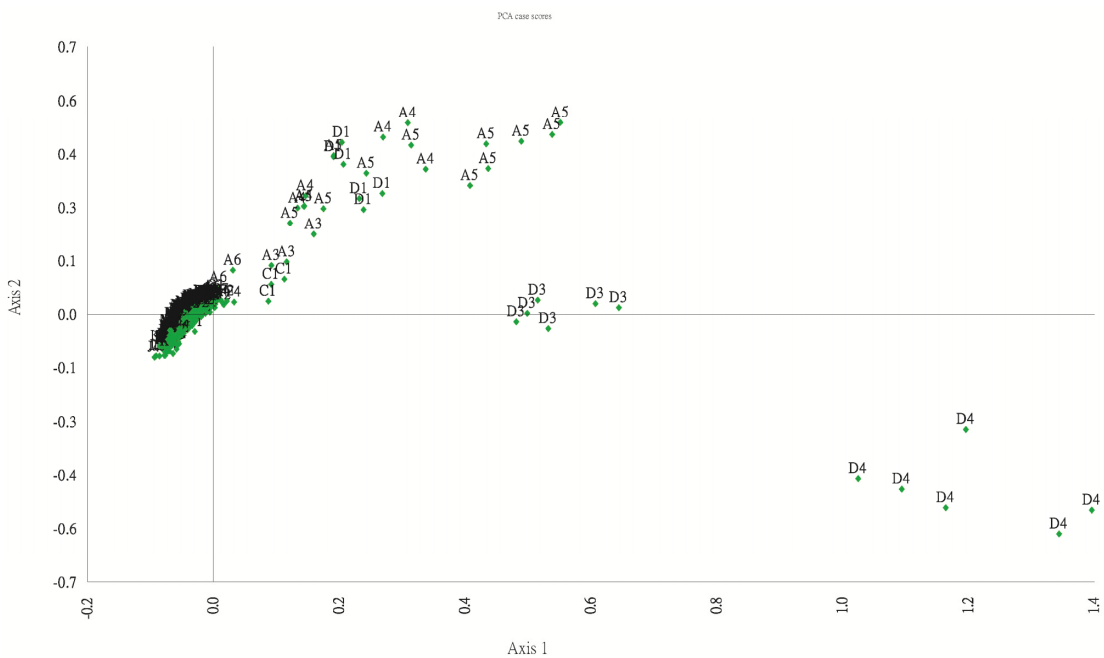


圖 5. 分布序列圖顯示以主成分分析計算新竹海岸 507 樣本在 PCA 軸之相關性，2012-2015 年。
 Fig. 5. Ordination of 507 samples along the first two PCA axes in Hsinchu Coast, 2012-2015.

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的樣本(n=279)測得銅、鋅、鉛、鉻、鐵、錳等元素濃度較高(劉 2015)，而這些較常見於傳統工業放流水中的元素，推測是源自鄰近的香山工業區，但本次調查的結果，因鳳鼻段的異常偏高，壓縮了其他海岸段所呈現的變化(圖 6a、b)。

圖 6 分別以盒形圖呈現第一群的銅、鉛、鋅、鎳、錫、錳、鐵、砷、鉬、銀、鎳等元素在採樣站間的變化，特別是銅、鉛、鋅在 D 鳳鼻段呈現極端高值，鋅最大值達 369738.30 ppm，平均值達 97448.00ppm(n=24)，鉛最大值達 24689.49ppm，平均值 6819.57ppm(n=24)，銅最大值達 4355.20ppm，平均值 1179.68ppm(n=24)(表 4、表 5)，鎳、錫、錳、鐵、砷也都是 D 鳳鼻段呈現超高值，鉬、銀、鎳除在鳳

鼻外，A 坡頭段值也明顯偏高(圖 6)。第二群汞、硒在 D 鳳鼻段呈零散的高值，A 坡頭段值也略高(圖 7)。第三群之鎢、鉻則是 D 鳳鼻段很高，C 鳳坑段略高(圖 7)。與第一、二、三群相近但未被歸群的鈾、鈾元素(圖 4)在 D 鳳鼻段呈零散的高值，其他採樣站變化趨勢較不明顯(圖 7)。

第四群之銻、碲、銻、鈾、鉍在 A 坡頭段值明顯偏高，甚至高於 D 鳳鼻段(圖 8)。而第五群鈣、銦、鋇、硫在 A 坡頭段、C 鳳坑段、D 鳳鼻段海岸都有高值(圖 9)。

第六群於前述五群顯然不同，鉀、銻、鈦則在 K 美山及 J 大庄段海岸較高(圖 10)，鄰近第六群，但未被歸群的釩、鈷(圖 4)，採樣站變化趨勢較不明顯(圖 10)，位於 X 軸中央的銻(圖 4)則在 A 坡頭段值偏高(圖 10)

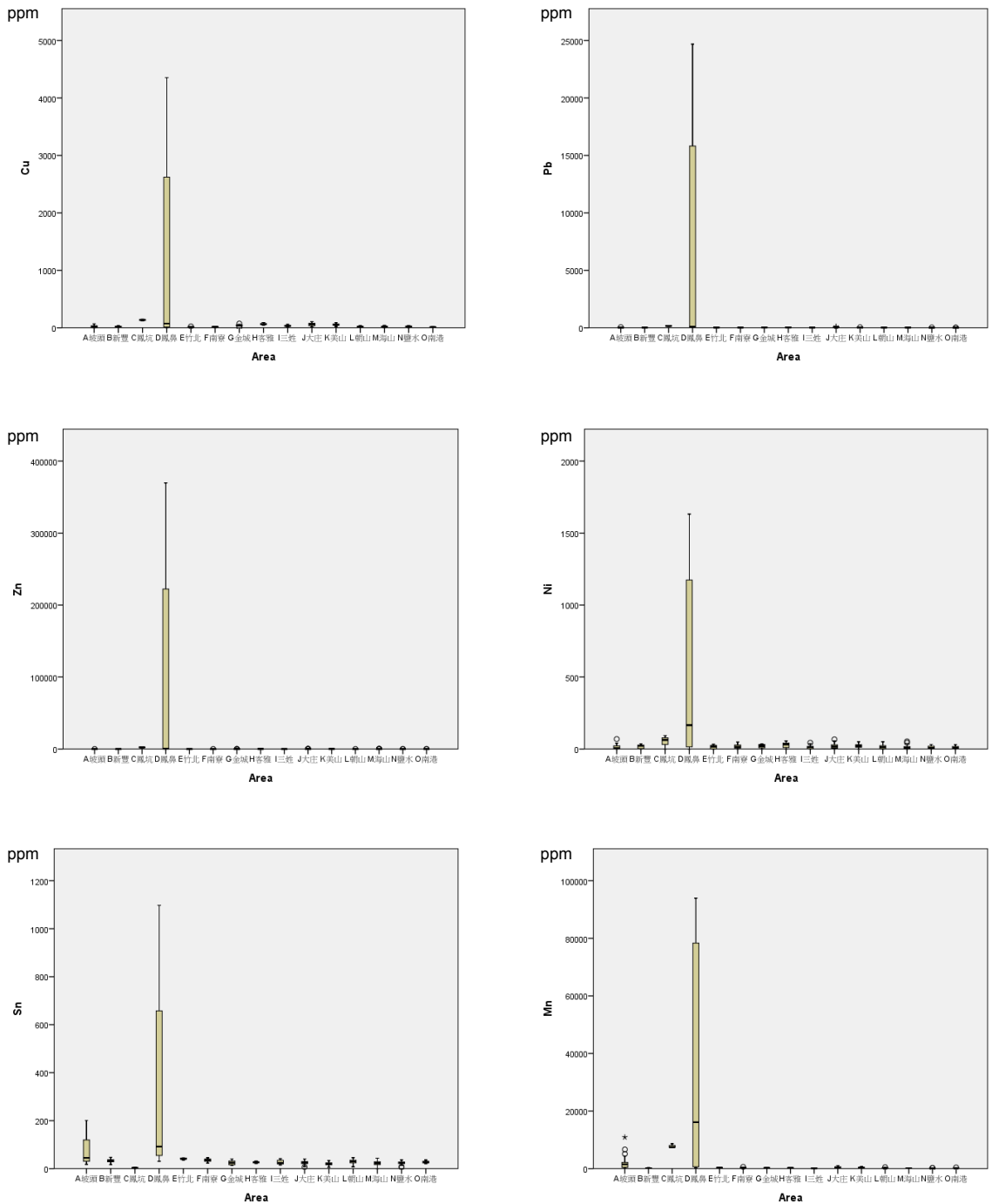


圖 6a. 第1群元素銅、鋅、鉛、錫、鎳、錳於新竹15段海岸重金屬含量變化盒形圖，2012-2015年。
 Fig. 6a. Boxplot of the group1 Cu, Zn, Pb, Sn, Ni, Mn shows in 15 areas of Hsinchu, 2012-2015.

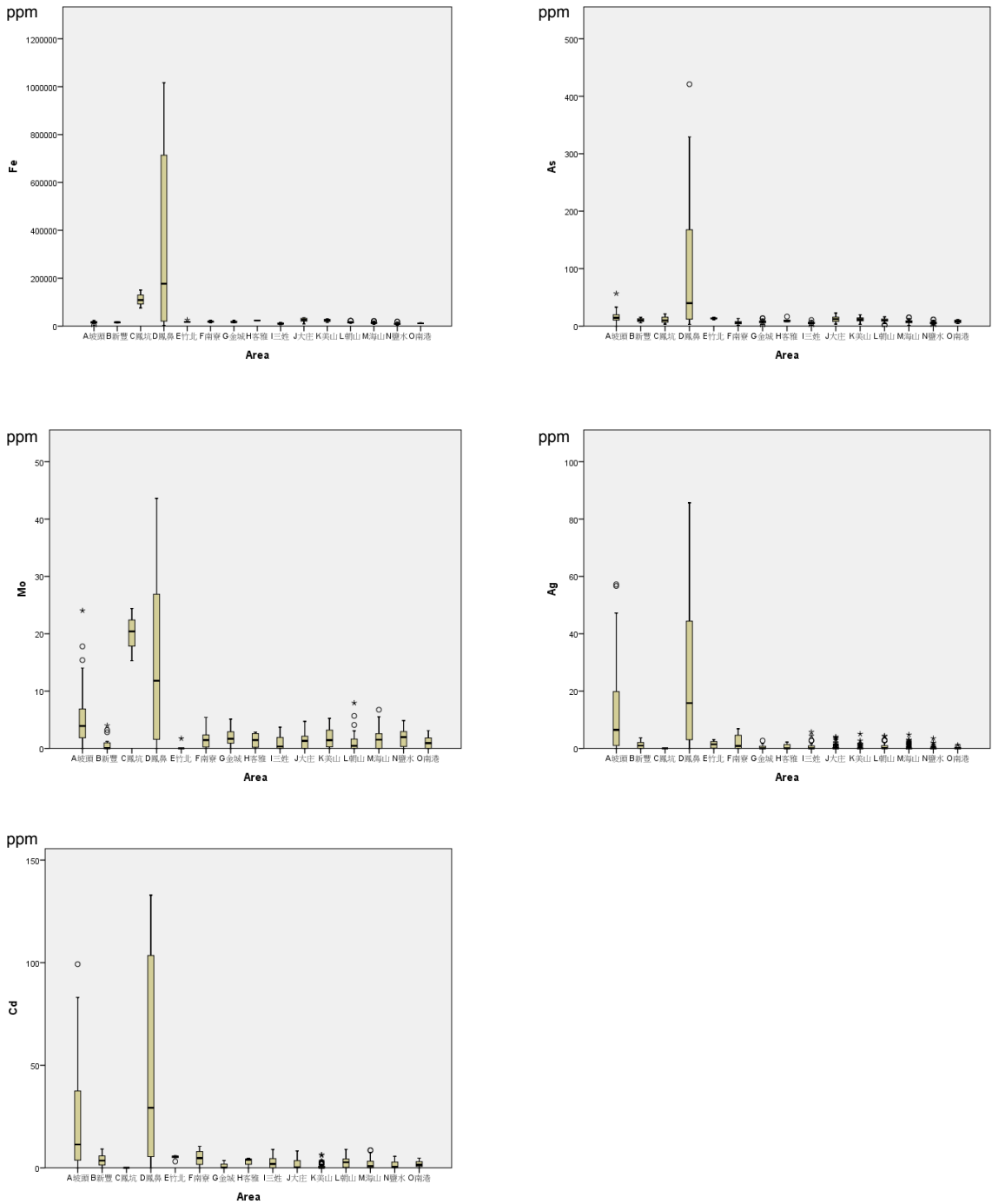


圖 6b. 第 1 群元素鐵、砷、鉬、鎘、銀於新竹 15 段海岸重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。
 Fig. 6b. Boxplot of the group1 Fe, As, Mo, Cd, Ag shows in 15 areas of Hsinchu, 2012-2015.

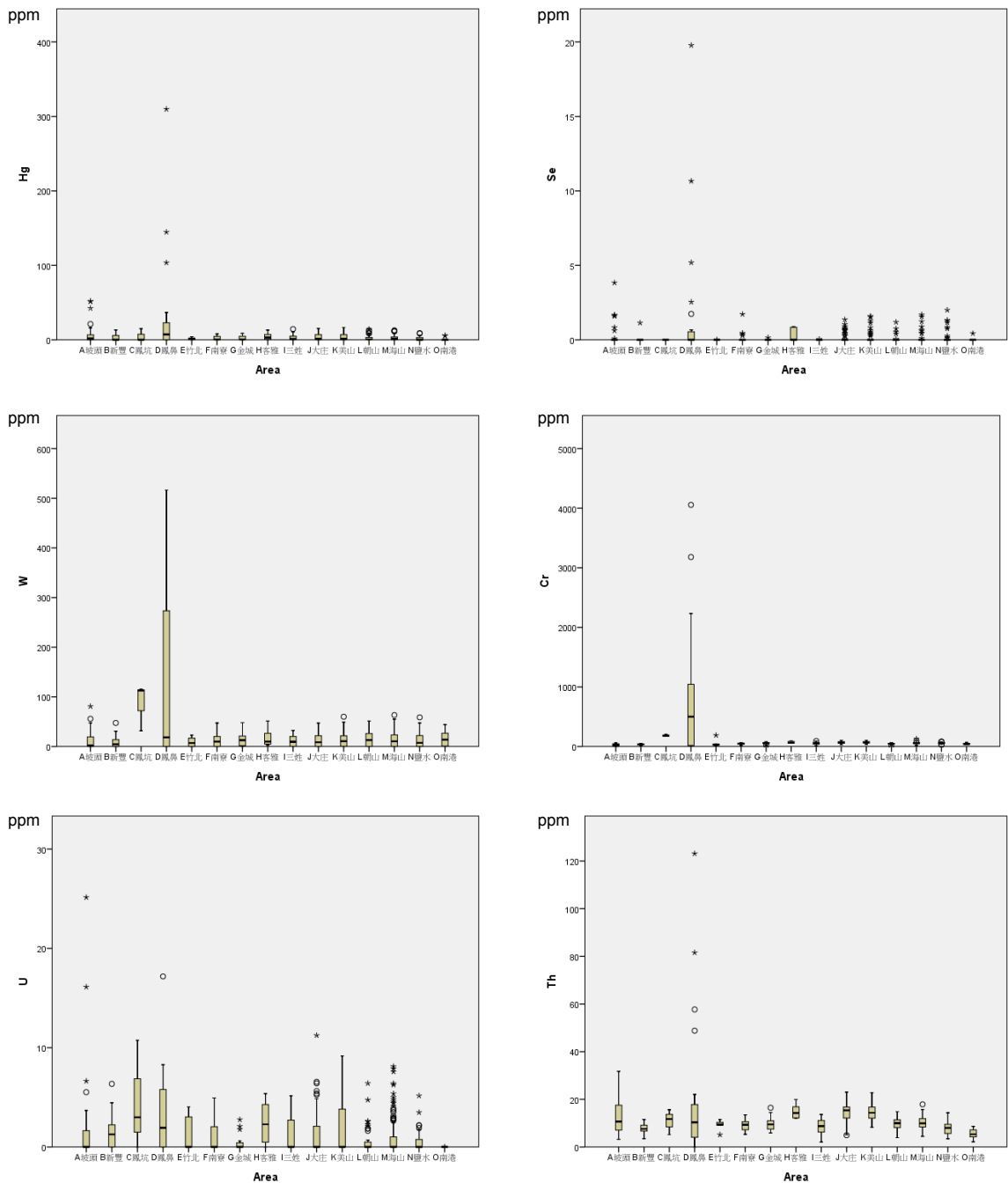


圖 7. 第 2 群的汞、硒，第 3 群的鎢、鉻，未歸群的鈾、鈦於新竹 15 段海岸重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。
 Fig. 7. Boxplot of the group 2, Hg, Se, group 3, W, Cr, and undivided group U, Th shows in 15 areas of Hsinchu, 2012-2015.

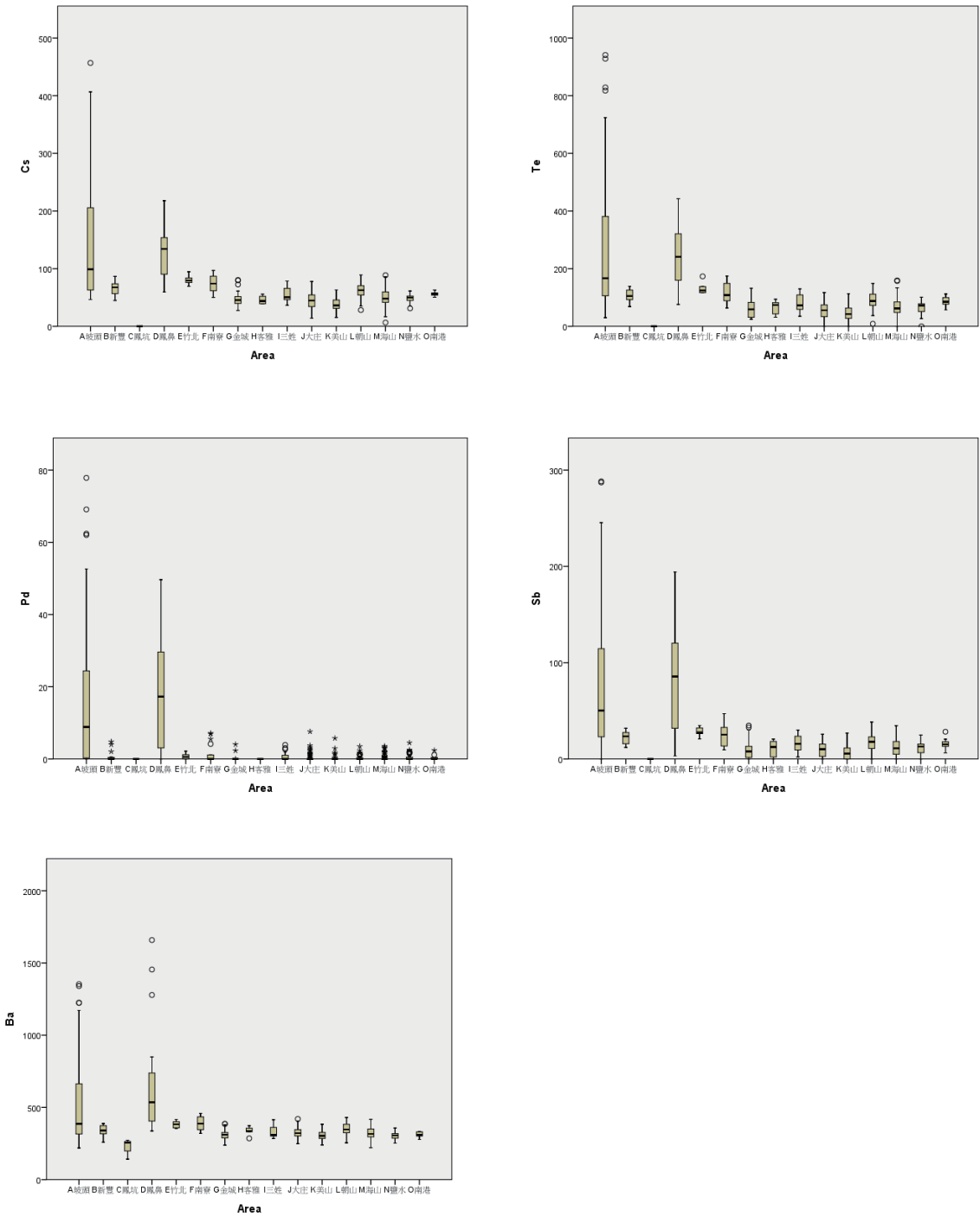


圖 8. 第 4 群的銻、碲、銻、鉍、鉕於新竹 15 段海岸重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。
 Fig. 8. Boxplot of the group 4, Cs, Te, Sb, Pd, Ba, shows in 15 areas of Hsinchu, 2012-2015.

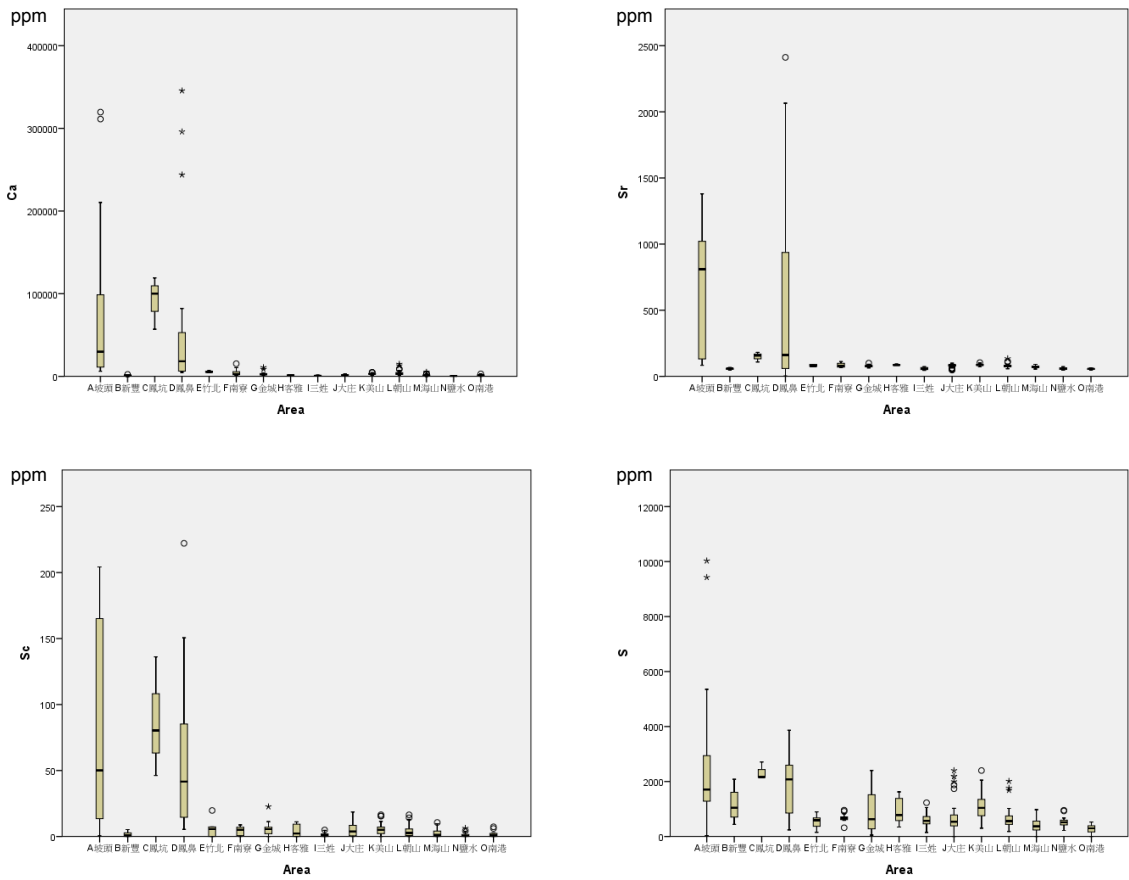


圖 9. 第 5 群元素鈣、鋇、釷、硫於新竹 15 段海岸重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 9. Boxplot of the group5, Ca, Sr, Sc, S, shows in 15 areas of Hsinchu, 2012-2015.

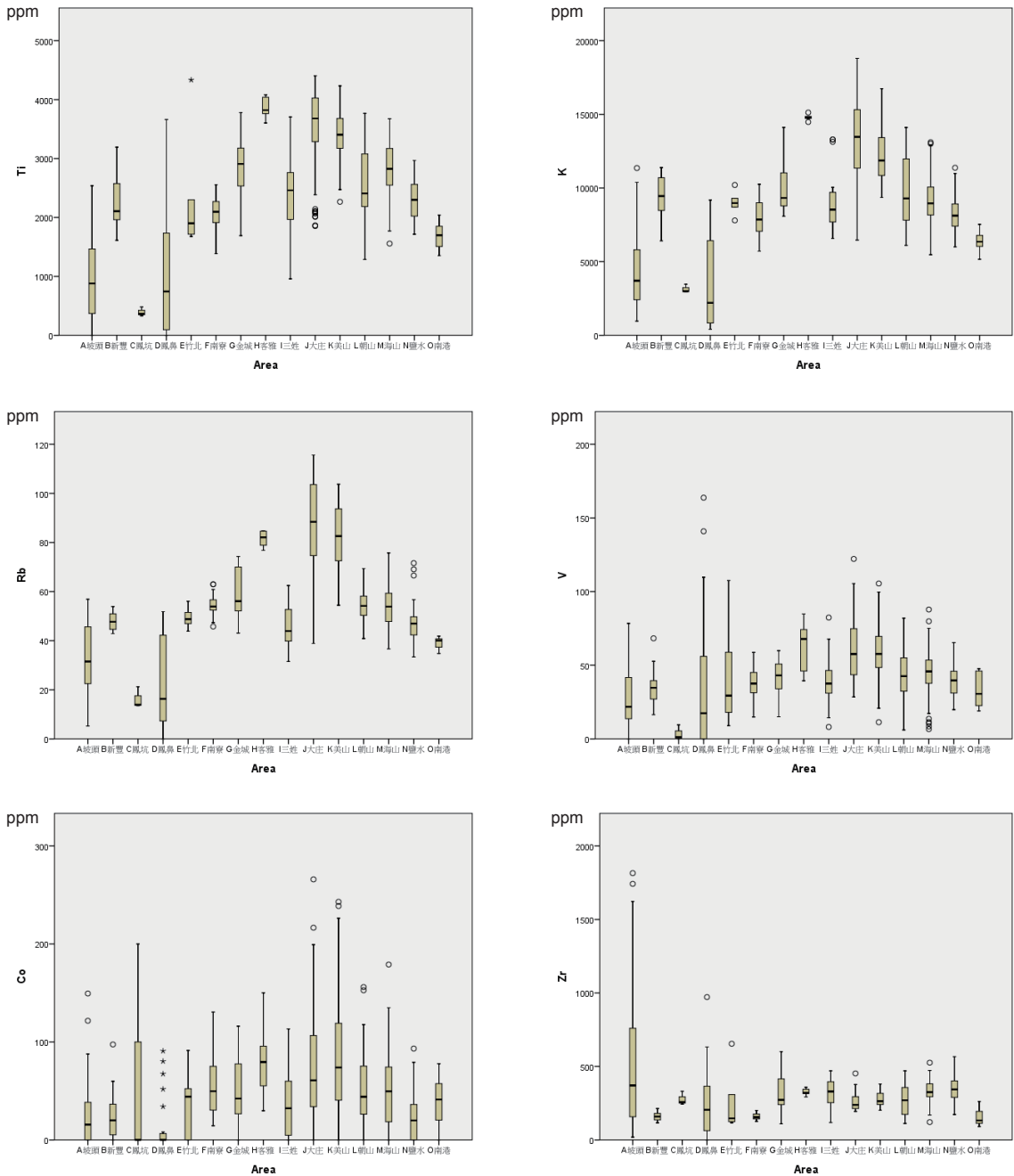


圖 10. 第 6 群元素鈦、鉀、銣，未歸群的釩、鈷、鋅於新竹 15 段海岸重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 10. Boxplot of the group 6, Ti, K, Rb, and undivided group, V, Co, Zr, shows in 15 areas of Hsinchu, 2012-2015.

四、重金屬元素含量於採樣站間之變化

為瞭解重金屬元素含量在採樣站之變化，以變異數分析各段海岸之採樣站間平均值差異顯著性(表 7)，D 鳳鼻段海岸最多元素達顯著，僅 6 種元素未達 0.01 的顯著水準，顯示採樣站間之變化極大，A 坡頭段次之，有 13 種元素未達 0.01 的顯著水準。相

對的，在 O 南港段海岸的元素皆未達顯著，顯示採樣站間之變化小。有多種元素於 D 鳳鼻段海岸之採樣站間有顯著差異(表 7)，本研究將 507 個樣本，依據 15 段海岸所細分之採樣站編號標示，分別繪製盒形圖，檢視採樣站的變化趨勢。

表 7. 變異數分析新竹海岸各段海岸之採樣站間平均值差異的 F 值及顯著性，2012-2015 年

Table 7. F value and significance of the mean difference between sampling stations of the each area by ANOVA in Hsinchu Coast, 2012-2015

海岸段	A坡頭		B新豐		D鳳鼻		F南寮		G金城		I三姓		J大庄		K美山		L朝山		M海山		N鹽水		O南港	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Ag	4.140	.005	.827	.331	70.584	.000	4.350	.017	1.636	.219	.495	.616	1.307	.267	1.178	.331	1.129	.365	.725	.577	.970	.461	.073	.792
As	2.002	.102	3.904	.027	8.651	.001	.630	.680	5.244	.036	1.268	.300	8.377	.000	3.367	.007	1.915	.103	2.439	.051	2.337	.055	.790	.395
Ba	4.090	.005	1.174	.367	19.594	.000	14.915	.000	.070	.795	.273	.763	1.063	.394	2.515	.032	1.432	.228	.824	.513	3.042	.018	.601	.456
Ca	4.169	.005	3.554	.036	11.265	.000	8.746	.001	5.518	.032	3.980	.032	21.763	.000	2.652	.025	5.160	.001	6.980	.000	2.088	.082	1.119	.315
Cd	4.870	.002	.742	.580	56.301	.000	8.092	.002	.365	.554	.679	.517	2.864	.016	1.314	.266	1.251	.303	1.168	.328	1.288	.290	.247	.630
Co	1.191	.342	4.797	.013	3.699	.029	1.344	.311	6.413	.022	4.964	.016	4.542	.001	.582	.743	2.863	.021	1.628	.171	1.281	.294	.019	.893
Cr	8.669	.000	1.280	.328	14.442	.000	2.939	.059	.098	.758	2.120	.142	3.658	.004	1.729	.131	2.833	.022	.388	.817	3.800	.006	.002	.961
Cr	5.339	.001	.530	.716	19.880	.000	23.522	.000	.685	.420	1.03	.902	5.091	.000	5.033	.000	1.671	.155	1.079	.370	3.662	.007	.012	.916
Cs	1.188	.344	2.113	.137	355.430	.000	1.594	.235	2.749	.117	1.528	.237	3.421	.006	5.959	.000	6.630	.000	2.926	.024	5.684	.000	.048	.832
Fe	4.751	.002	3.998	.025	624.804	.000	7.740	.002	20.183	.000	6.841	.004	10.589	.000	12.083	.000	4.049	.003	4.729	.001	30.193	.000	.240	.635
Hg	1.250	.314	1.488	.262	1.873	.167	.190	.961	1.883	.189	.253	.779	.830	.552	.842	.543	2.205	.064	1.273	.285	.675	.671	.000	.993
K	23.015	.000	1.172	.368	145.253	.000	18.985	.000	12.232	.003	3.398	.050	13.419	.000	2.119	.065	9.225	.000	1.615	.175	12.000	.000	1.390	.266
Mn	2.484	.049	7.124	.003	109.051	.000	3.188	.046	1.751	.204	10.083	.001	13.140	.000	14.375	.000	5.690	.000	5.991	.000	4.072	.004	.381	.551
Mo	2.015	.100	1.198	.358	91.872	.000	.428	.820	1.18	.735	1.077	.357	3.196	.008	.288	.940	1.582	.179	.740	.567	2.54	.954	.143	.713
Ni	1.148	.364	2.282	.116	87.557	.000	3.088	.051	1.384	.257	3.660	.041	2.641	.024	1.294	.275	2.379	.048	.663	.619	1.468	.220	2.726	.130
Pb	2.605	.041	1.018	.434	161.172	.000	6.800	.003	.219	.646	1.892	.173	4.491	.001	6.875	.000	6.789	.000	2.385	.055	2.352	.054	.244	.632
Pd	4.084	.005	1.048	.420	7.246	.002	7.384	.002	2.076	.169	.846	.441	1.397	.230	.550	.768	.756	.608	.663	.619	1.528	.201	.025	.876
Rb	27.951	.000	4.790	.014	33.014	.000	8.569	.001	29.244	.000	5.305	.012	12.605	.000	8.483	.000	15.794	.000	6.059	.000	26.636	.000	2.528	.143
S	6.015	.000	8.568	.001	13.819	.000	.538	.744	.374	.549	.981	.389	1.777	.118	3.856	.003	26.565	.000	.904	.464	2.163	.073	.002	.969
Sb	5.324	.001	1.794	.190	25.914	.000	11.862	.000	1.524	.235	1.676	.208	3.591	.004	2.412	.038	1.381	.247	.829	.509	1.536	.198	.014	.907
Se	4.059	.005	3.105	.053	11.570	.000	1.235	.352	.758	.397	1.888	.173	1.612	.159	1.137	.353	1.594	.176	2.430	.051	.559	.759	.037	.852
Sc	.512	.794	1.354	.303	3.726	.028	1.475	.268	1.000	.383	.676	.669	.828	.553	1.179	.338	.965	.429	.977	.457	1.000	.341		
Sr	4.695	.002	.275	.889	339.485	.000	5.896	.006	1.791	.200	.023	.977	3.215	.008	3.712	.004	1.380	.248	.980	.421	2.152	.074	.193	.669
Sn	31.458	.000	3.660	.033	174.561	.000	4.838	.012	4.127	.059	5.132	.014	23.928	.000	14.584	.000	3.004	.017	16.050	.000	5.906	.000	.023	.883
Te	5.021	.002	.226	.919	12.869	.000	32.544	.000	1.039	.323	.503	.611	4.625	.001	5.506	.000	1.672	.154	1.723	.149	4.468	.002	1.630	.231
Th	2.770	.032	1.695	.211	4.460	.015	3.788	.027	1.721	.208	1.555	.232	6.457	.000	2.513	.032	5.053	.001	.487	.745	2.802	.026	2.240	.165
Ti	12.840	.000	1.900	.171	56.227	.000	23.669	.000	3.912	.065	3.241	.057	11.762	.000	3.134	.010	10.642	.000	2.009	.097	3.553	.008	2.036	.184
U	.563	.755	2.792	.071	3.623	.031	2.054	.143	.120	.733	1.464	.251	4.769	.000	1.396	.232	1.477	.212	.364	.834	1.218	.323	1.000	.341
V	6.553	.000	.709	.600	4.746	.012	.710	.628	.420	.526	5.965	.008	5.162	.000	1.688	.141	1.617	.169	3.308	.013	3.076	.017	1.565	.239
W	1.321	.283	.495	.740	8.776	.001	.102	.990	.000	.993	.784	.468	1.385	.235	.473	.826	1.626	.167	.698	.595	.687	.662	.017	.899
Zn	4.796	.002	4.503	.017	353.615	.000	9.320	.001	9.929	.001	6.456	.020	4.412	.001	6.477	.000	6.675	.000	.820	.515	15.403	.000	2.034	.184
Zr	3.057	.021	13.504	.000	12.670	.000	2.292	.111	.046	.834	.176	.840	5.443	.000	14.673	.000	58.128	.000	.963	.430	4.026	.004	.263	.619

第一群元素之鋅、鉛、銅、鎳、鐵、錳、錫、砷、鉬、銀、鎳在D4太空包外露之沙土值最高，D3爐石堤次之，而D1北側無現生珊瑚藻之藻礁區及D2低潮位沙灘，這些元素濃度則較低(圖 11a、b、c、d)，特別是鋅、鉛、銅的值實在太高，完全壓縮了其他海岸段的變化趨勢，鋅平均值達352773.64ppm(n=6)，鉛平均值 23390.29ppm (n=6)，銅平均值 4113.88ppm(n=6)都採自D4採樣站(圖 11a)。表 8 列出D3、D4分別於2014及2015年的平均值，

第一群元素，在D4採樣站，年度間的變化很小，顯示太空包之沙土成分大致相同，應為同一來源。在D3採樣站，年度間有顯著差異，第二、三群元素D3、D4年度間有顯著差異，顯示爐石堤成分並不均質。

比較先前調查之臺灣西北部藻礁海岸重金屬污染分析(劉 2017a)，流經觀音工業區的富林溪，常見於傳統工業放流水中的元素，數值極端的高，富林海岸 F1 採樣站，鋅最大值 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)；這些數值是採自嚴重污染的藻礁，若是沙質灘地則未高於 150ppm，所以臺灣西北部藻礁海岸 525 樣本，鋅的平均值 132.87ppm(劉 2017a)；而永安漁港北側之新屋藻礁區 L7 採樣站的鉛最大值 148.4ppm，平均值 85.13ppm(n=9)，這也是遭受污染的藻礁，所以臺灣西北部藻礁海岸 525 樣本，鉛的平均值 24.28ppm(劉 2017a)。若比較 2012 年在觀新藻礁海岸鋅最大值 188ppm，平均值 80.3ppm(n=84) 及北海岸調查鋅最大值 201ppm，平均值 71.8ppm(n=24) (劉 2014)，再比較 2012 年在觀新藻礁海岸鉛最大值 53ppm，平均值 20.8ppm(n=84)及北海岸調查鉛最大值 61ppm，平均值 20.3ppm(n=24) (劉 2014)，相較之下 D4 太空包外露之沙土檢測數值太高，放置於波浪可襲擊處，勢必造成污染，且不單是鋅、鉛、銅，第一、二群的所有元素都在 D4 呈現異常高值(圖 11a、b、c、d、圖 12)。

鳳鼻段海岸 D4 採樣站鋅、鉛、銅為穩定的超高濃度，採樣站內及年度間的差異不顯著，其次為 D 3 爐石採樣站，雖較 D4 的值為低，但也顯著高於其他採樣站，鋅平均值 36874.56ppm(n=6)，鉛平均值 3849.94ppm(n=6)，銅平均值 576.72ppm(n=6)，這些數值是採自 D 3 爐石採樣站。若先剔除 D3 及 D4 兩採樣站共 12 筆資料後，鋅在 C 鳳坑段仍是很高(表 4、表 5)，顯示鳳坑的爐石堤雖然放置超過 10 年以上，依然濃度高達 2736.26ppm(表 4)，銅、鉛的數值在鳳坑已降至 100-200ppm(表 5)。

鎳、鐵、錳在 D4 採樣站仍是超高濃度，在 D 3 採樣站及 C 鳳坑段因是爐石基質，鎳、鐵、錳濃度漸增高，在圖 11 中呈現 C 鳳坑段

鎳、鐵、錳濃度增高，D 3 採樣站鎳最大值 1069.82ppm，平均值 781.64ppm(n=6)，而 C 鳳坑段鎳則降至 100ppm 以下。

砷、錫、鉬、銀、鎘在 D4、D3 採樣站仍是超高濃度，砷、鉬在鳳鼻段 D1 藻礁區採樣站的濃度增高，而錫、鉬在坡頭段 A4、A5 藻礁區的濃度增高，圖 11 顯示鎘、銀更為明顯，在 A3、A4、A5 採樣站也逐漸增高，特別是 A5 已顯著超過 C 鳳坑段的值，相當於 D3 爐石採樣站。

第二群汞、硒仍是 D4 超高濃度(圖 12)，但採樣站內及年度間的差異顯著，汞、硒在之前的調查資料(劉 2012b; 2014a; 2014b; 2015; 2017a; 2017b)都是極微量或未檢出，本研究採自 D4 採樣站，汞最大值達 309.72ppm，平均值 82.97ppm(n=6)，硒最大值 19.78ppm，平均值 6.30ppm(n=6)，都遠高於先前調查之數據，此外，汞在坡頭段 D3 爐石採樣站及 A5 藻礁區採樣站的濃度增高(圖 12)。

第三群鎢、鉻元素 D4 仍是很高，但在 D3 採樣站之樣本中濃度高於 D4(圖 13)。汞、硒、鎢在之前的臺南、苗栗、新竹市、桃園及北海岸的資料(劉 2012b; 2014a; 2014b; 2015; 2017a; 2017b)都是極微量，於各樣本中分布無明顯趨勢，因此甚少討論。鉻亦為傳統工業放流水中的元素，在 D3 爐石採樣站之濃度顯著高於 D4 的平均值 1015.43ppm(n=6)，在 D3 採得最大值 4055.96ppm，樣本平均值 2113.74ppm(n=6)，年度間差異大。比較先前調查，鉻曾經在富林海岸 F1 採樣站檢測出最大值 350.6ppm(劉 2017a)，但整個臺灣西北藻礁海岸 525 樣本平均值 24.19ppm(劉 2017a)，若比較 2012 年在觀新藻礁海岸鉻最大值 126ppm，平均值

64ppm(n=84)及北海岸調查銻最大值 99ppm，平均值 57.6ppm(n=24) (劉 2014)，相較之下 D3、D4 檢測數值都太高。

第四群元素鋇、鈾、銻、碲、鉍在坡頭段在 A3、A4、A5 採樣站的，濃度明顯增高，而 D1 藻礁區採樣站也都呈現偏高趨勢(圖 14a、b)，鋇在 D3 爐石採樣站之濃度顯著高於 D4，在 D3 採得最大值 1658.63ppm，樣本平均值 642.62ppm(n=6)，鈾、銻、碲、鉍在 A5 藻礁區採樣站的濃度最大值已經高於 D3、D4，而形成 A 坡頭段、D 鳳鼻段兩個高峰。

鋇、鈾、銻、碲、鉍這 5 種元素加上第一群的鎘、銀，在之前的臺南、苗栗、新竹市、桃園及北海岸的資料(劉 2012b; 2014a; 2014b; 2015; 2017a; 2017b)是相關性極高的一群，都是極微量或是均勻分布於各樣本中，所以少有討論，除了桃園藻礁海岸研究中特別提出有一異常採樣站--復興漁港藻礁，其最大值碲 941.3ppm、銻 288.3ppm、鎘 99.3ppm、銀 57.2ppm、鈾 77.9ppm 都採自同一採樣站(劉 2017a)，當時僅分析桃園全區的藻礁(n=525)，發現這裡異常的高值，卻不明污染源為何？目前推論疑為新竹縣鳳坑段、鳳鼻段廢棄物築堤填海所影響。然而為何鄰近的沙質灘地數值卻無顯著增高？依據桃園藻礁海岸研究中所進行的海岸棲地基質比較，確認珊瑚藻建礁過程會累積某些元素，而沙質海岸因具有流動性，吸附重金屬程度極顯著不同(劉 2017a)。

第五群鋇、銻、鈣、硫在坡頭段 A3、A4、A5、鳳坑段 C1、鳳鼻段 D1、D3、D4 等採樣站都有高值(圖 15)，鈣、銻、鋇與礁體成分有關，特別是鈣、銻濃度雖然差異很大，但在各採樣站的變化趨勢略同，這與 2011 年調查

桃園觀音海岸(劉 2014a)，2012 年調查桃園觀新藻礁海岸(劉 2014b)及 2014-2015 年在桃園藻礁海岸(劉 2017a)的結果相同。

第六群鈦、銻、鉀在H客雅、K美山及J大庄段海岸較高(圖16)，這些元素因太空包外露之沙土及爐石之濃度較低，而呈現其他海岸段的變化趨勢，先前在桃園藻礁海岸研究中所進行的海岸棲地基質比較，確認鈦、銻、鉀平均值是沙岸高於礁岸(劉2017a)。本研究鈦最大值4405.39ppm採自J5採樣站，平均值最高3855.22ppm採自H1採樣站(n=6)，總平均值2618.85ppm(n=507)(表1、表4、表5、圖16)，比較先前調查之相關文獻，2014-2015年在苗栗海岸所檢測的鈦平均值1970.5ppm(n=525)，最大值9057ppm(劉2017b)，在桃園海岸鈦的樣本平均值1192.7ppm(n=525)，最大值採集自富林海岸5087.9ppm(劉2017a)，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)，顯示鈦平均值及最大值略同於先前調查之周邊海岸，無超標之慮。銻的變化趨勢與鈦十分相似，也是K美山及J大庄段海岸較高。

鉀最大值18806.14ppm亦採自J5採樣站，總平均值9452.04ppm(n=507)，比較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)，略為增加，與苗栗海岸所檢測的鉀最大值17557ppm，平均值8088.2ppm(n=255)(劉2017b)相較差異不大。

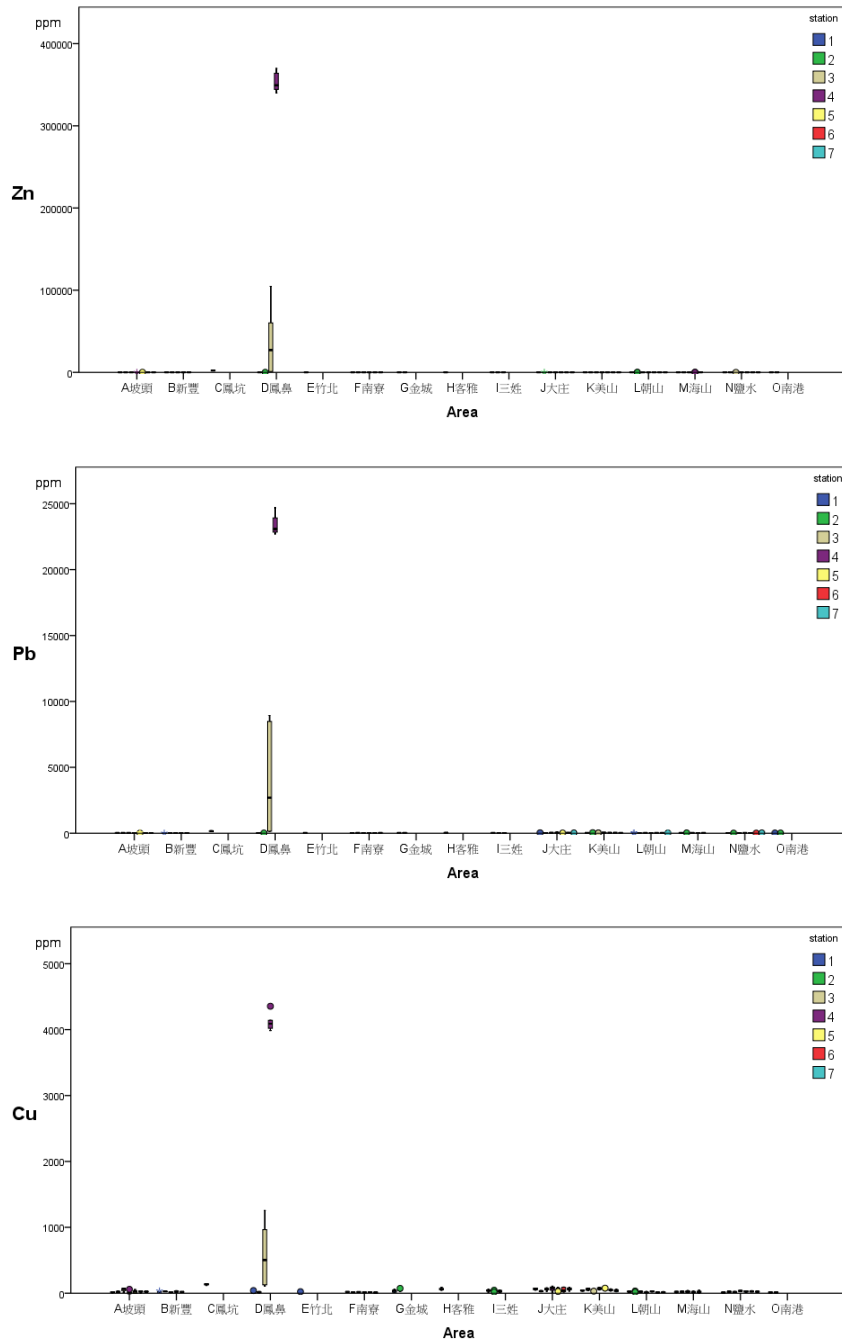


圖 11a. 新竹 15 段海岸各採樣站第 1 群元素分析鋅、鉛、銅分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 11a. Boxplot of heavy metal Zn, Pb, Cu contents with 507 samplings in group 1, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

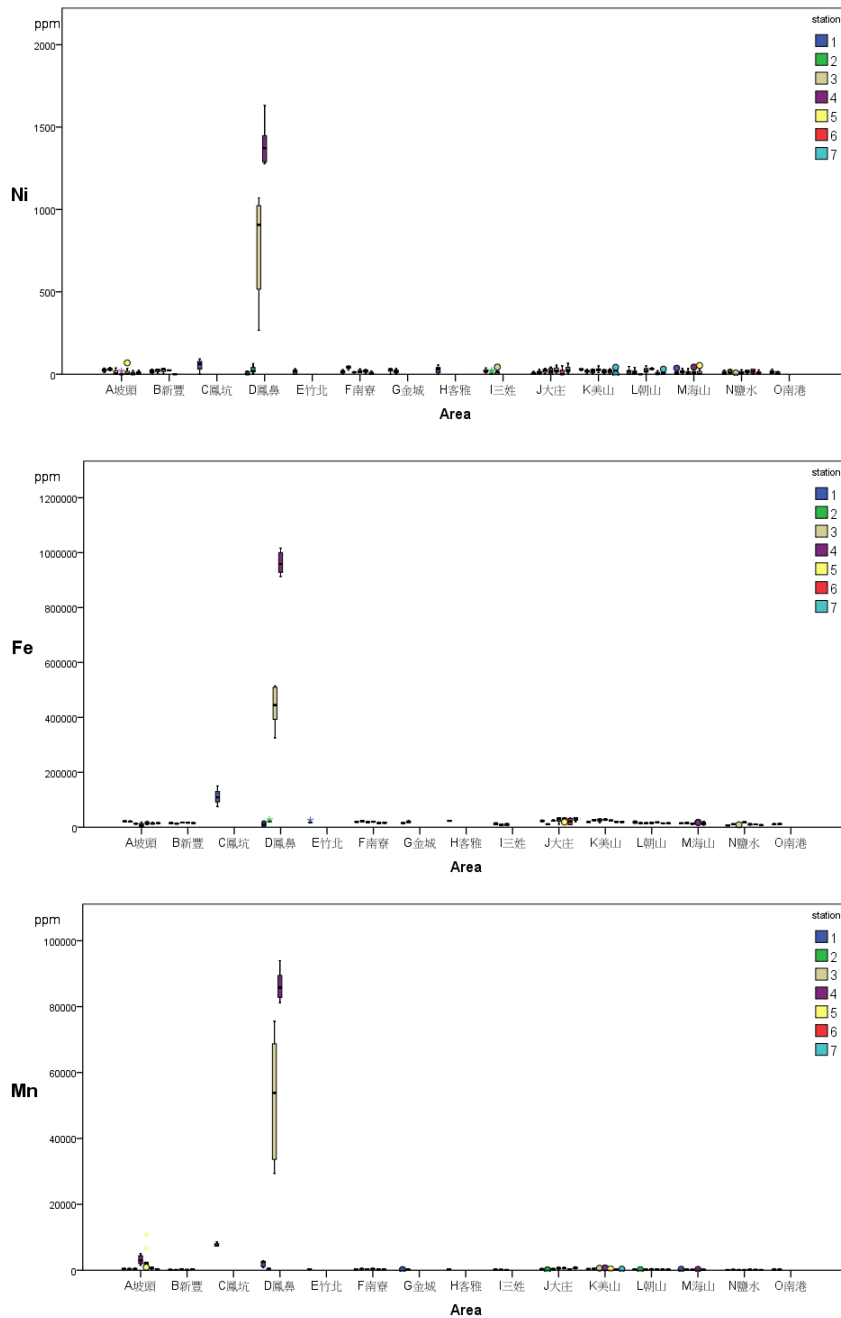


圖 11b. 新竹 15 段海岸各採樣站第 1 群元素鎳、鐵、錳分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 11b. Boxplot of heavy metal Ni, Fe, Mn contents with 507 samplings in group 1, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

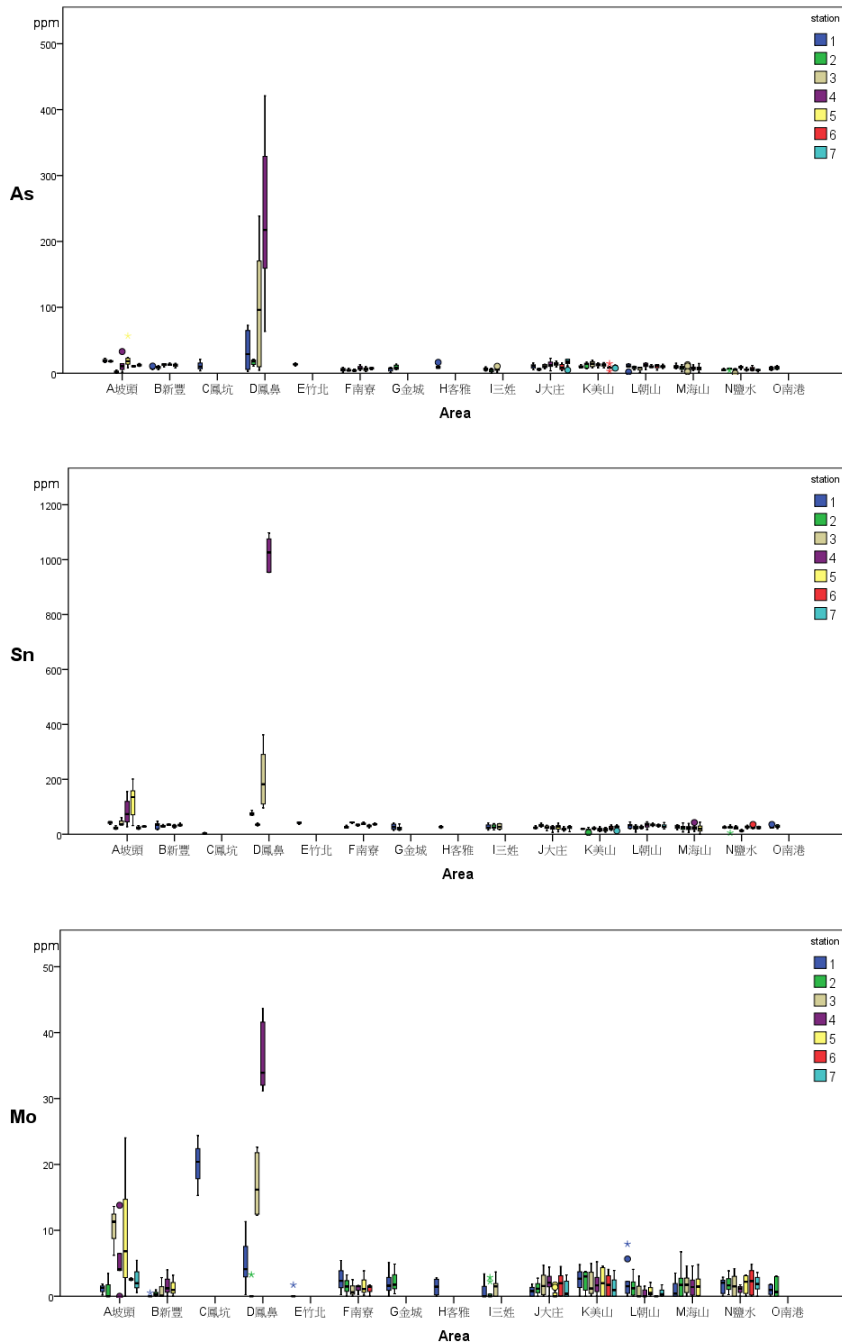


圖 11c. 新竹 15 段海岸各採樣站第 1 群元素砷、錫、鉬分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 11c. Boxplot of heavy metal As, Sn, Mo contents with 507 samplings in group 1, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

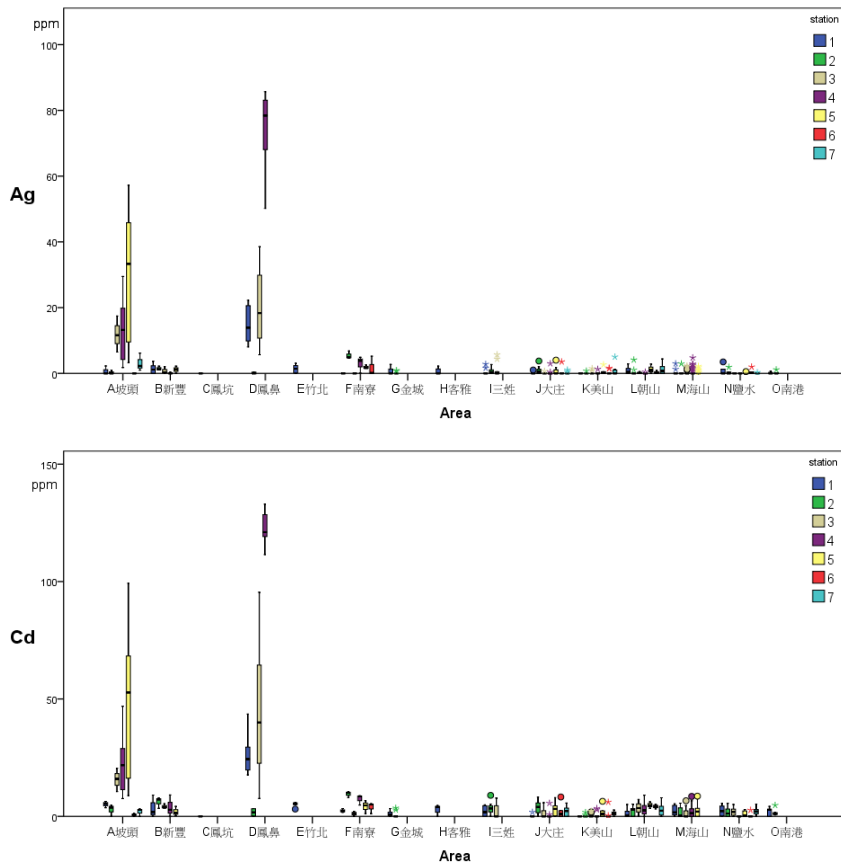


圖 11d. 新竹 15 段海岸各採樣站第 1 群元素銀、鎘分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 11d. Boxplot of heavy metal Ag, Cd contents with 507 samplings in group 1, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

表 8. 重金屬元素在 D3、D4 採樣站於 2014 及 2015 年間之平均值(ppm)

Table 8. Average value (ppm) of heavy metal elements at D3 and D4 sampling stations between 2014 and 2015

station	(ppm)			
	D3(爐石堤)		D4(太空包外露之沙土)	
year	2014	2015	2014	2015
Ag	11.78	28.71	64.80	83.15
As	14.00	191.21	270.92	198.31
Ba	1463.89	830.10	459.12	593.09
Ca	29755.65	32148.09	6427.51	5133.02
Cd	20.61	69.43	117.66	127.03
Co	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	3156.00	1071.48	1038.85	992.00
Cs	168.93	141.23	109.39	131.79
Cu	145.24	1008.20	4055.85	4171.92
Fe	466329.96	411120.97	929962.86	995185.60
Hg	46.76	12.20	14.46	151.48
K	559.82	2046.72	905.13	645.69
Mn	68526.41	36430.58	82592.22	90395.16
Mo	18.89	14.94	32.05	40.03
Ni	1029.92	533.37	1358.93	1437.48
Pb	149.41	7550.46	22823.36	23957.22
Pd	20.47	27.70	17.69	38.42
Rb	2.83	12.83	8.78	12.20
S	924.68	2013.11	2505.57	3008.54
Sb	66.05	91.34	126.63	160.70
Sc	103.85	59.05	9.08	27.77
Se	0.00	0.00	0.72	11.88
Sn	120.69	286.58	965.57	1078.76
Sr	213.23	265.21	21.52	11.82
Te	255.93	273.58	186.44	334.66
Th	13.93	8.00	76.55	27.19
Ti	1161.30	800.76	26.99	0.00
U	5.59	8.09	3.13	2.76
V	138.14	8.01	0.00	0.00
W	385.65	276.25	97.23	158.29
Zn	1070.64	72678.48	343935.18	361612.10
Zr	166.99	237.15	0.00	0.00

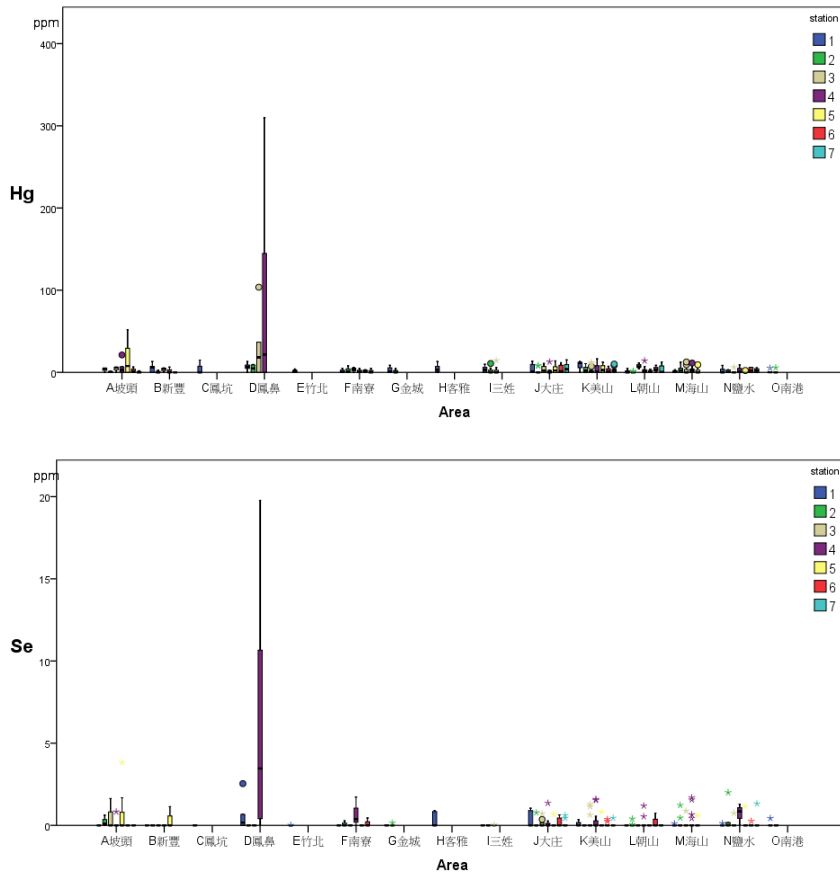


圖 12. 新竹 15 段海岸各採樣站第 2 群元素汞、硒分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 12. Boxplot of heavy metal Hg, Se contents with 507 samplings in group 2, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

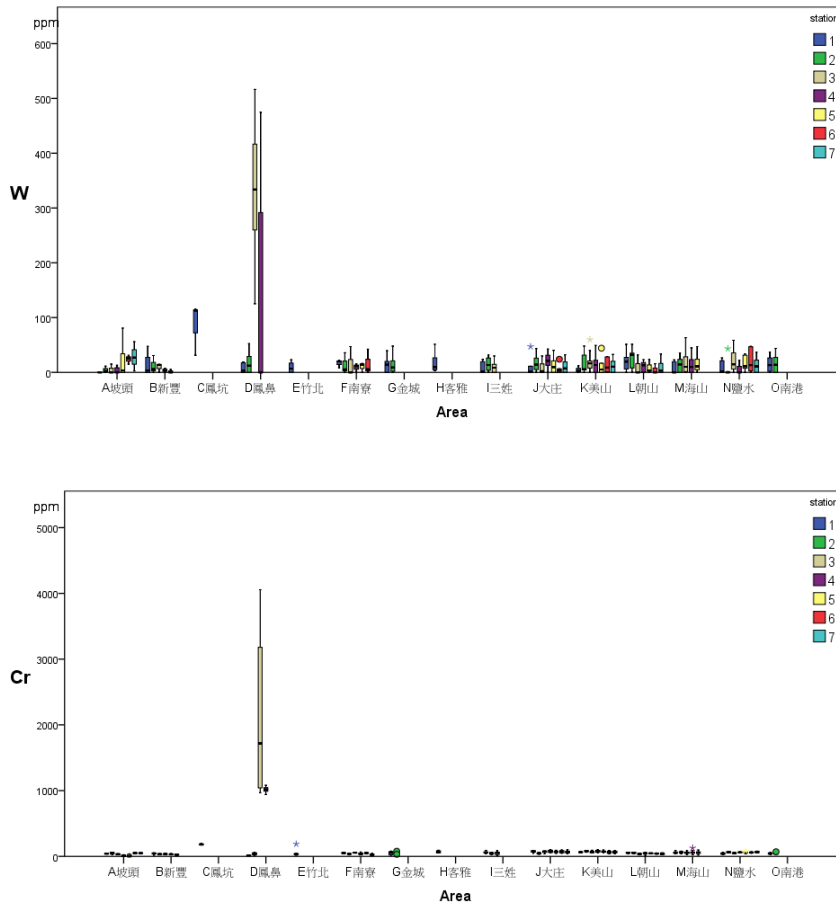


圖 13. 新竹 15 段海岸各採樣站第 3 群元素鎢、鉻分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 13. Boxplot of heavy metal W, Cr contents with 507 samplings in group 3, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

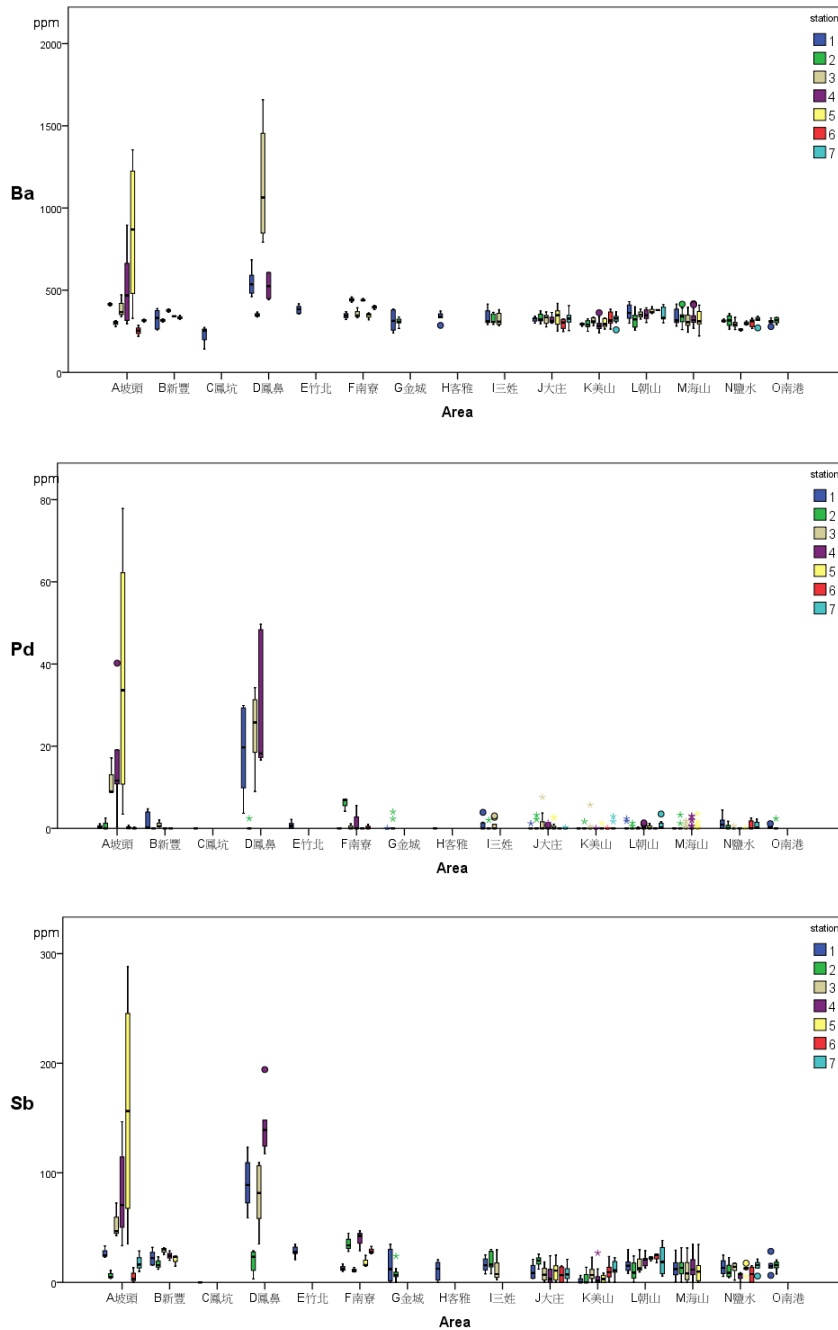


圖 14a. 新竹 15 段海岸各採樣站第 4 群元素鋇、鉀、銻分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 14a. Boxplot of heavy metal Ba, Pd, Sb contents with 507 samplings in group 4, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

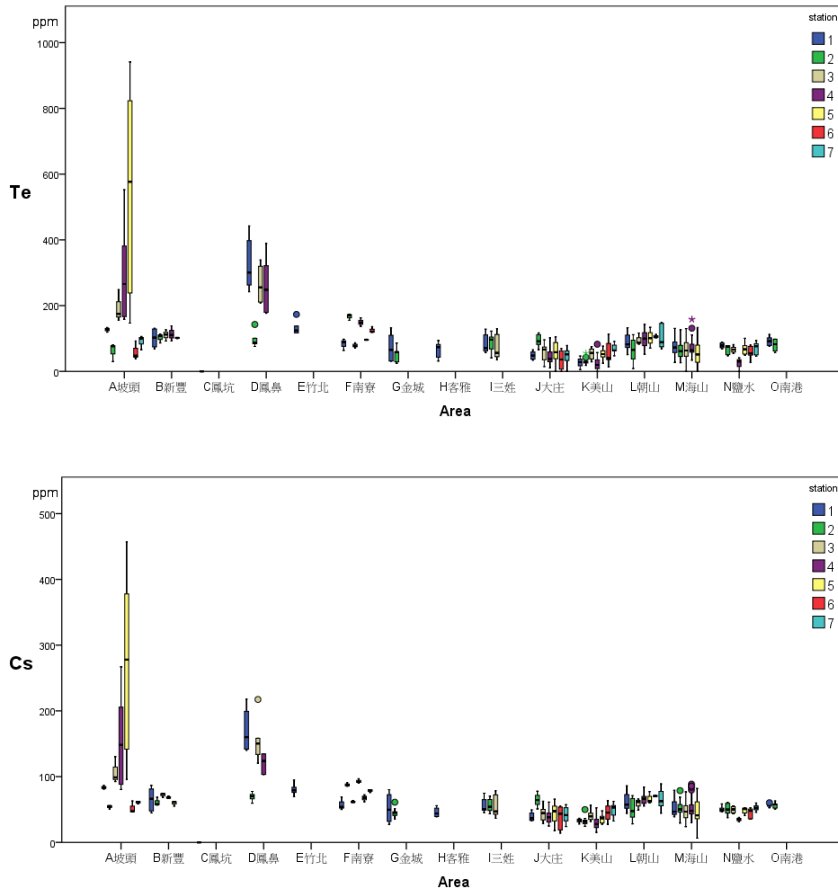


圖 14b. 新竹 15 段海岸各採樣站第 4 群元素碲、銫分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 14b. Boxplot of heavy metal Te, Cs contents with 507 samplings in group 4, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

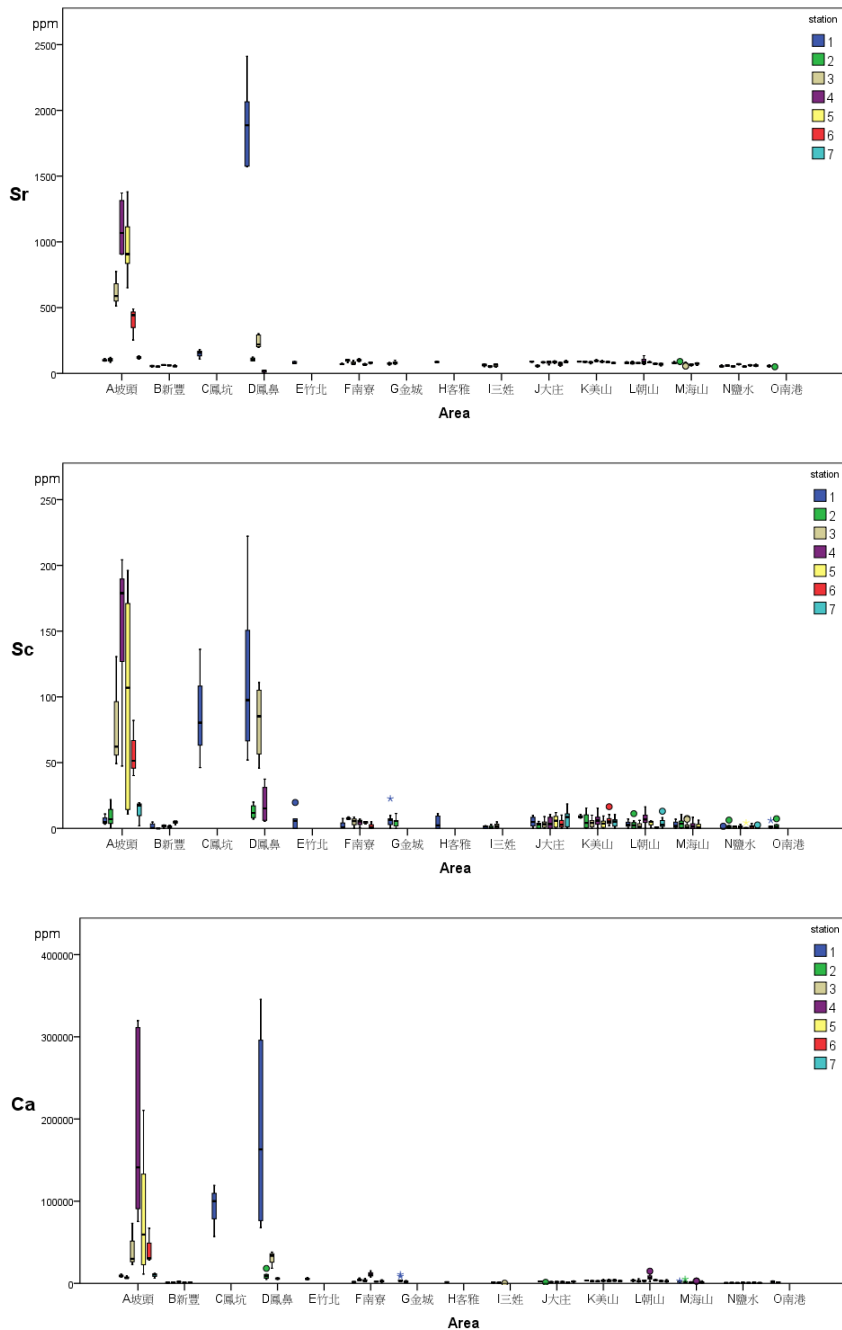


圖 15. 新竹 15 段海岸各採樣站第 5 群元素鋇、釷、鈣分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 15. Boxplot of heavy metal SR, Sc, Ca contents with 507 samplings in group 5, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

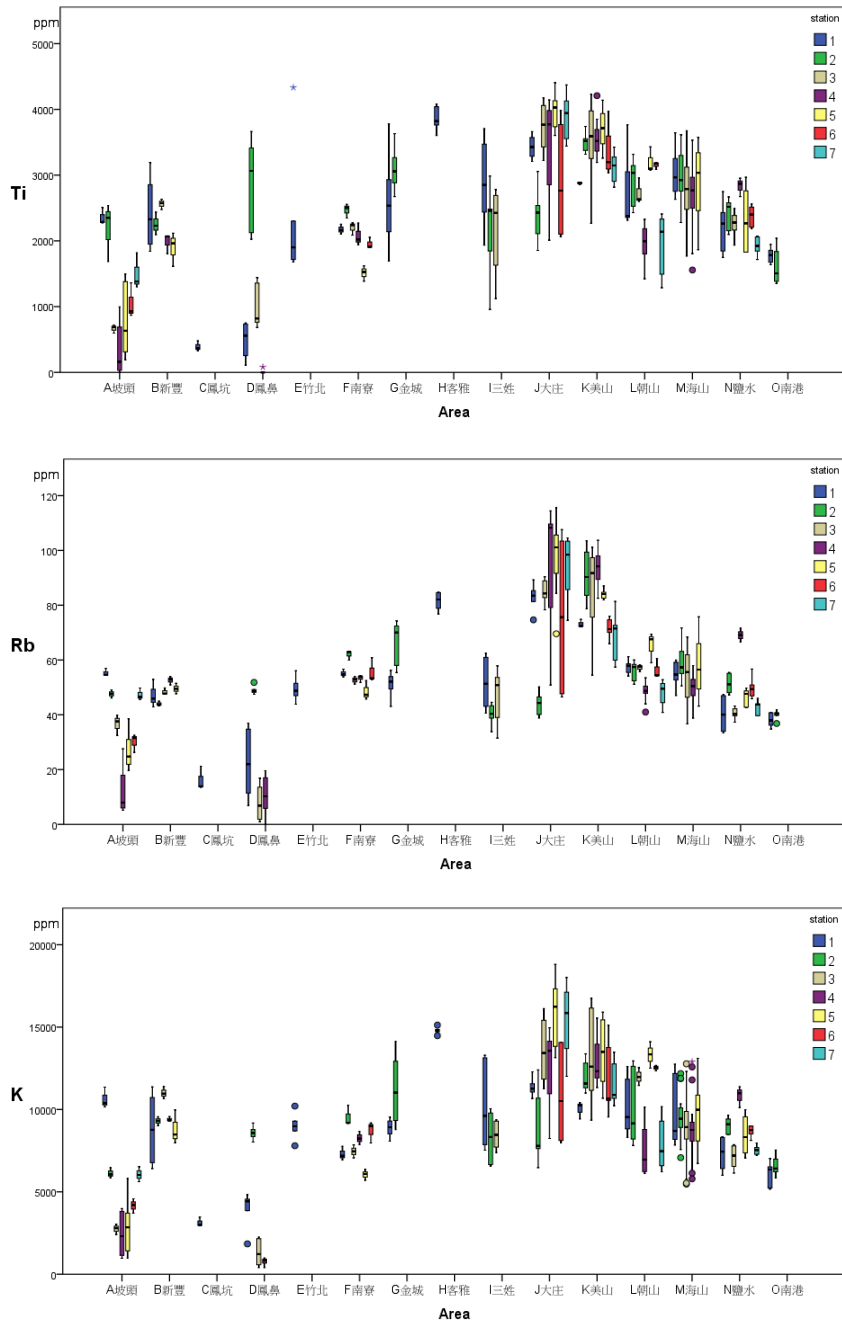


圖 16. 新竹 15 段海岸各採樣站第 6 群元素鈦、銣、鉀分析 507 樣本所繪製重金屬含量變化盒形圖，2012-2015 年。

Fig. 16. Boxplot of heavy metal Ti, Rb, K contents with 507 samplings in group 6, shows 15 areas and stations of Hsinchu Coast, 2012-2015.

結 論

在海岸地區設置垃圾掩埋場為早期之政策，因為每日的漲退潮可以帶走部分污染物，在流動的低潮線要累積到 XRF 可以偵測，並顯示有差異，確實難以下結論。但若以太空包填充有毒廢棄物，再以太空包做為垃圾掩埋場臨時的護岸堤，又放置於波浪可襲擊處，外露之沙土勢必造成海岸污染，造成多種元素都呈現異常高值。本研究在新豐及竹北交界處採集的樣本，由於太空包外露之沙土所測得之數值太高，壓縮了盒形圖呈現不同海岸段之差異，原本預期可以看出香山工業區造成的污染分布狀況，但除了少數元素外，幾乎都無法呈現，後續分析將排除明顯高濃度的採樣站。本研究發現部分元素雖未能完全反應在沙質灘地的數據上，但透過生物吸收累積，鄰近藻礁區及石滬區的牡蠣都可檢出異常值，特別是有些稀有重金屬，如銀、鋇、鎘、鉍、鈹、銻、碲，同樣以爐石作為護堤也有類似的毒害，只是有些元素不同。因此在行水區，波浪可襲擊處，如此作為應即刻檢討並處理。

引用文獻

- 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。
- 彰化縣政府。2016。大肚溪口野生動物保護區土壤底泥環境調查計畫成果報告書。彰化縣政府委託東海大學熱帶生態學與生物多樣性中心執行。
- 劉靜榆、陳添水。2006。沿海濕地棲地劣化之現況評估與保育策略之探討。特有生物研究保育中心 95 年度試驗研究計畫執行成果，17 頁。
- 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。2012。曾文溪口台灣招潮棲地特性研究。台灣生物多樣性研究 14(1-2):1-25。
- 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。台灣西北部觀音藻礁海岸重金屬含量分析。台灣生物多樣性研究 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。台灣生物多樣性研究 16(4):355-378。
- 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 17(3):153-189。
- 劉靜榆。2017a。臺灣西北部藻礁海岸重金屬污染分析。台灣生物多樣性研究 19 (1): 49-96。
- 劉靜榆。2017b。苗栗海岸土壤重金屬含量分析。台灣生物多樣性研究期刊(審查中)。
- 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。

環境保護署。2012a。廢棄物、土壤、底泥及
毒性化學物質中元素含量檢測方法－X-射
線螢光法。環署檢字第 1010023694 號公告。

環境保護署。2012b。重金屬檢測方法總則。
環署檢字第 1010024832 號公告。

Jenkins, R. 1999. X-ray Fluorescence Spectrometry,
John Wiley & Sons, New York.

Jolliffe, I. T. 1986. Principal Components
Analysis. Springer-Verlag, New York.

Kilbride C., J. Poole, T.R. Hutchings. 2006.
A comparison of Cu, Pb, As, Cd, Zn,
Fe, Ni and Mn determined by acid
extraction/ ICP-OES and ex situ field
portable X-ray fluorescence analyses.
Environmental Pollution 143(1):16-23.

Kovach, W. L. 1999. MVSP-Multi-Variate
Statistical Package for window, ver.3.1 Kovach
Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.

Liao, S.-W., W.-L. Chang and S.-W. Lin.
2008. Status and habitat preferences
for endemic inhabitants of fiddler crab
Uca formosensis in Hsiang-Shan wetland,
Taiwan. Environmental Monitoring and
Assessment 143:203-214.

Lützenkirchen-Hecht D., L. Müller, L.
Hoffmann and R. Wagner. 2014. Analysis
of engine motor oils by X-ray absorption
and X-ray fluorescence spectroscopies.
X-Ray Spectrometry 43(4): 221-227.

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(6): 909-921.

Manceau A., M. A. Marcus, and N. Tamura. 2002.
Quantitative speciation of heavy metals in
soils and sediments by synchrotron X-ray
techniques. Reviews in Mineralogy and
Geochemistry 49:341-428.

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.

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.

Shefsky S. 1997. Comparing field portable X-ray
fluorescence (XRF) to laboratory analysis of
heavy metals in soil. NITON Corporation,
presented at the international symposium of
field screening methods for hazardous
wastes and toxic chemicals.

Streiner O. L. 1996. Maintaining standards:
differences between the standard deviation
and standard error, and when to use each.
Canadian Journal of Psychiatry 41: 498-502.

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.