

陽明山國家公園土壤重金屬含量及地質特性 對土壤性質影響之研究

余炳盛^{1,2}

(收稿日期：2005年9月9日；接受日期：2005年12月12日)

摘 要

本研究分析陽明山國家公園主要道路—陽金公路沿線、區內主要遊憩點，以及具典型岩性地區土壤及相關火成岩層之重金屬含量，除了瞭解陽明山國家公園內陽金公路沿線，以及主要遊憩區土壤有無受到重金屬污染外，並建立本區域主要火成岩及土壤重金屬等元素含量背景資料。

研究結果發現陽明山地區土壤微量元素的含量，深受地質環境所影響。由於本區域火成岩母岩、後火山作用的硫氣孔、或斷層裂隙所帶來的溫泉熱水，以及礦化作用等特殊地質環境所影響，土壤背景值中砷與銅的含量普遍較高，砷的背景含量常超過環保署監測基準，甚而高於管制標準，而銅的背景含量也多高於食用作物的監測基準。

陽金公路沿線各樣品的砷含量明顯較高，部分樣品超過管制標準或監控基準。同樣的，十處遊客較多的重點地區樣品也是砷含量偏高，包含冷水坑、小油坑、竹子湖、陽明書屋、擎天崗以及七星山的樣品均超過監控基準，而其他地區砷含量也都頗高。另公路沿線以及遊客較多的重點地區，土壤的銅含量雖然未超過一般監測基準，但普遍仍高，部分已超過食用作物的監測基準。此陽明山地區土壤砷與銅含量偏高的現象應為背景值所致。而本次分析土壤之鎘、鉻、鎳、鉛、鋅等元素含量，則均低於一般監測基準。

關鍵詞：陽明山國家公園，土壤，重金屬，地質，背景值

一、前 言

土壤中砷 (As)、鎘 (Cd)、鉻 (Cr)、銅 (Cu)、汞 (Hg)、鎳 (Ni)、鉛 (Pb)、鋅 (Zn) 等重金屬含量過高會引起植物發生黃化、枯萎、產量減少、生長受阻等損失，而人體亦可由土

1. 國立台北科技大學材料及資源工程系。
2. 通訊作者。

壤污染、食物污染等途徑直接或間接的受到危害，引起神經障礙、癌症、皮膚病等病痛，甚而造成死亡。故在各國倡導環保之際，土壤污染防治亦成為重要之課題。

近年來國家公園的設立與良好的管理之下，雖然各項產業的污染不易進入國家公園區內。但是假日穿梭如織的遊客，是否造成車輛繁多的公路沿線，或者人員出入頻繁的遊憩區域局部污染，仍無法完全免除。因此主要公路沿線以及遊客集中的遊憩地區附近土壤重金屬的含量情形，在保育與背景資料取得等施政措施的立場而言，均需要及早進行調查。

在另外一方面，土壤中重金屬微量元素含量之偏高，可能是人為污染所造成，但也有可能是天然的『地球化學異常』所致。在許多案例中顯示，一些有土壤污染地區的污染源釐清方面，經常有找不出污染源的情形，最後多以可能是地質因素所致解釋，但是終究沒有一個定論。例如台北市政府歷年來曾委託台北科技大學進行多次土壤重金屬含量之調查(張添晉，1998、1999、2000、2001、2002)，其調查範圍涵蓋到陽明山國家公園的部分為冷水坑地區。歷年調查結果均顯示冷水坑地區多個區塊土壤中汞或砷有偏高的現象，許多甚至超過環保署土壤監測基準的五級標準，然而其污染原因卻一直無法尋得答案。

土壤中重金屬等微量元素含量受氣候、地形、作物、及母岩影響。在年輕的土壤或風化較微弱地區的土壤中，其微量元素的含量深受母岩性質所影響(Tiller, 1993)，例如 Mitchell (1955) 對蘇格蘭(Scottish)地區土壤的廣泛調查，以及 Wells(1960) 研究東南太平洋地區的土壤，其結果均明顯指出上述地區土壤微量元素含量和母岩性質之密切關連性。

台灣雖位於溫暖多雨的環境，風化作用頗盛，然而由於地形的關係，侵蝕作用亦強，多數地區表土不厚或土壤較年輕，所以母岩性質對土壤微量元素含量的影響常扮演重要角色。唯國內關於土壤重金屬污染或基礎調查，多未考慮此項重要的地質因素。表一顯示不同岩石平均重金屬含量的情形，如果母岩含重金屬的背景值原本便已異常，其所化育出來的土壤自然具有較高含量的重金屬。

陽明山國家公園區內的岩石，主要以火成岩為主，其微量元素的含量勢必異於台灣西部地區一般沈積岩者，所導致的土壤含重金屬情形自然也會與沈積岩地區不同。但陽明山國家公園內土壤的重金屬含量以及它與母岩的關係，一直欠缺較有系統的研究與探討。

本文之目的即在研究陽明山國家公園主要公路—陽金公路沿線以及部分重要遊憩地區土壤有無受到重金屬污染之情形。如果前述調查地區土壤有重金屬含量偏高的情形，則嘗試探討其原因。另外，期望建立陽明山國家公園地區主要火成岩層(岩性)岩石及其化育土壤之砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等重金屬含量背景資料庫。

表一. 各種岩石平均重金屬含量 (單位: mg/kg)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	資料來源
玄武岩	2	0.19	200	100	0.09	160	8.0	130	(Govett,1983)
	2	0.22	170	87	0.09	130	6	105	(Siegel, 1974)
	2	0.2	200	100	0.01	150	3.5	100	(Krauskopf, 1979)
粗粒玄武岩	0.8	0.06	22	13	0.2	2	49	45	(Mason and Moore, 1982)
花崗岩	1.5	0.1	25	20	0.08	8	20	60	(Govett,1983)
	1.9	0.13	22	30	0.08	15	15	60	(Siegel, 1974)
	1.5	0.1	20	12	0.03	0.8	20	50	(Krauskopf, 1979)
	2.2	0.3	100	110	0.2	78	8	82	(Mason and Moore, 1982)
頁岩	6.6	0.3	100	57	0.4	95	20	80	(Govett,1983)
	13	0.3	90	45	0.4	68	20	95	(Siegel, 1974)
	10	0.3	100	50	0.3	80	20	90	(Krauskopf, 1979)
砂岩	1	~0.1	35	~10	0.03	2	7	16	(Krauskopf, 1979)
深海底泥	13	0.42	90	250	~1	225	80	165	(Siegel, 1974)

二、樣品採集與分析

(一) 採樣地區的選定

本研究之調查項目分為四項，第一項為陽明山國家公園主要公路—陽金公路沿線之土壤重金屬含量、第二項為部分重要遊憩地區之土壤重金屬含量、第三項為本區主要岩層風化土壤的重金屬背景含量，而第四項為前項主要岩層岩石的重金屬背景含量調查。為配合陽明山國家公園管理處對於區內土壤有無受到污染狀況之瞭解，各採樣地點事先均與該處保育課人員協商決定，並取得採樣許可。

第一項之採樣地區為陽明山國家公園轄區內之主要公路—陽金公路沿線，每二公里採樣，每個採樣共採表土及裏土兩個樣品，總共二十個樣品，詳細採樣位置及植被參見表二。

第二項之採樣地區為陽明山國家公園轄區內之管理中心、陽明書屋、小油坑遊憩區、七星公園、冷水坑遊客中心、擎天崗、大屯自然公園、雙溪、龍鳳谷、竹子湖高冷蔬菜區等十個遊客較多的遊憩地區附近，每個地區一個採樣，每個採樣分別採表土及裏土兩個樣品，總共二十個樣品，詳細採樣位置及植被參見表三。

而第三類主要岩層風化土壤，依據陳正宏(1990)的分類，以大屯火山群內的『高鋁玄武岩』、『兩輝安山岩』、『含橄欖石兩輝安山岩』、『含角閃石兩輝安山岩』、『紫蘇輝石角閃安山岩』及『角閃石安山岩』等，共六種岩石，參考地質圖在每種岩石分佈地區，選取兩處人煙罕至且較無污染可能的地點各採一個樣，每個採樣點也採表土及裏土兩個樣品，總共二十四個樣品，詳細採樣位置及植被參見表四。

表三. 陽明山國家公園主要遊憩地區土壤採樣位置分佈表

管理中心(KL)		陽明書屋(YM)		小油坑遊憩區(SYK)				
分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被			
1	304323,2783301	草地	1	303616,2784113	草地	1	304310,2785758	竹林
2	304345,2783292	草地	2	303568,2784140	草地	2	304326,2785789	竹林
3	304302,2783339	草地	3	303508,2784163	草地	3	304299,2785719	竹林
4	304284,2783347	草地	4	303462,2784112	草地	4	304269,2785685	竹林
5	304254,2783348	草地	5	303495,2784052	草地	5	304304,2785652	草地
6	304318,2783353	草地	6	303594,2784155	草地	6	304366,2785670	竹林
7	304339,2783368	草地	7	303627,2784140	草地	7	304398,2785675	竹林
8	304371,2783373	草地	8	303656,2784111	草地	8	304311,2785608	竹林
9	304350,2783354	草地	9	303622,2784166	草地	9	304266,2785673	竹林
10	304394,2783377	草地	10	303613,2784184	草地	10	304209,2785715	竹林
七星公園(CSS)		冷水坑(LSK)		擎天崗(CTK)				
分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被			
1	304956,2785006	裸地	1	306131,2784367	人工林	1	307164,2784579	草地
2	304967,2784985	裸地	2	306149,2784375	人工林	2	307168,2784542	草地
3	305010,2784959	草地	3	306232,2784231	楓林	3	307172,2784507	草地
4	305051,2784907	草地	4	306219,2784212	枯草地	4	307183,2784526	草地
5	305086,2784890	草地	5	306188,2784065	苗圃(林)	5	307180,2784477	草地
6	305043,2784836	草地	6	306224,2784089	苗圃(林)	6	307194,2784496	草地
7	304935,2784994	草地	7	306225,2784170	苗圃(茶花)	7	307189,2784441	草地
8	304855,2784985	草地	8	306184,2784270	荒地(田)	8	307204,2784466	草地
9	304868,2784932	草地	9	306169,2784234	荒地(田)	9	307186,2784566	草地
10	304848,2784925	草地	10	306125,2784407	菜園	10	307195,2784616	草地
大屯山自然公園(DT)		雙溪(SC)		龍鳳谷(LFK)				
分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被			
1	301833,2786651	草地	1	308161,2780966	薑田角落	1	302387,2781925	雜林
2	301817,2786643	草地	2	308147,2780971	山藥田下	2	302361,2782026	草地
3	301818,2786637	草地	3	308169,2780992	絲瓜田下	3	302401,2782051	草地
4	301811,2786626	草地	4	308163,2781021	絲瓜田下	4	302441,2781937	草地
5	301821,2786630	草地	5	308188,2780975	菜園	5	302471,2781897	草地
6	301836,2786625	草地	6	308178,2781014	冬瓜田	6	302463,2781965	草地及榕樹
7	301844,2786631	草地	7	308176,2781057	南瓜田	7	302529,2782062	回填沖積區
8	301848,2786612	草地	8	308174,2781077	絲瓜田	8	302498,2782093	崩積地
9	301834,2786600	草地	9	308207,2780965	竹林	9	302535,2782083	空地少量草
10	301821,2786614	草地	10	308227,2780939	竹林,砂岩	10	302463,2781923	樹下
竹子湖(CCH)								
分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被	分樣採樣座標	植被			
1	303513,2784958	農田	5	303563,2784940	農田	8	303559,2784915	農田
2	303528,2784914	農田	6	303536,2784940	農田	9	303575,2784964	農田
3	303521,2784972	農田	7	303577,2784918	農田	10	303552,2784988	農田
4	303546,2784953	農田						

由於火山碎屑岩的組成複雜且變化大，但是其主要成分乃為上述的各種火成岩，因此第四類之樣品乃以大屯火山群內的『高鋁玄武岩』、『兩輝安山岩』、『含橄欖石兩輝安山岩』、『含角閃石兩輝安山岩』、『紫蘇輝石角閃安山岩』及『角閃石安山岩』等六大類主要岩石為主，而不採取碎屑岩的部分。每種岩石參考地質圖分別於兩個不同地區各採一個新鮮樣品，總共十二個樣品，詳細採樣位置及岩石露頭附近植被參見表五。

表四. 主要岩石風化土壤背景值採樣位置分佈表

樣品編號	地點	座標	植被	母岩
Soil-1-1a,b	菜公坑	301017,2788113	雜林	高鋁玄武岩
Soil-1-2a,b	烘爐山(櫻花山莊)	300560,2787315	雜林	高鋁玄武岩
Soil-2-1a,b	二重橋(上游)	309270,2787960	雜林	兩輝安山岩
Soil-2-2a,b	富貴山(往磺嘴山)	309400,2787415	雜林	兩輝安山岩
Soil-3-1a,b	中正山	300610,2783125	雜林	含橄欖石兩輝安山岩
Soil-3-2a,b	二坪頂	303680,2791620	芒草	含橄欖石兩輝安山岩
Soil-4-1a,b	內寮	307575,2782100	雜林	含角閃石兩輝安山岩
Soil-4-2a,b	丁火巧山	317556,2786130	雜林	含角閃石兩輝安山岩
Soil-5-1a,b	紗帽山	303850,2782075	雜林	紫蘇輝石角閃安山岩
Soil-5-2a,b	二子山	301060,2786135	雜林	紫蘇輝石角閃安山岩
Soil-6-1a,b	三百步嶺	314834,2787110	雜林	角閃石安山岩
Soil-6-2a,b	三百步嶺	314619,2787226	雜林	角閃石安山岩

註：樣品編號之 a 代表表土，b 代表裏土

表五. 主要岩石採樣位置分佈表

樣品編號	岩石露頭地點	座標	附近植被	岩性
Rock-1-1	菜公坑(溪谷)	301101,2788001	溪谷雜林	高鋁玄武岩
Rock-1-2	烘爐山(櫻花山莊)	300560,2787315	雜林	高鋁玄武岩
Rock-2-1	二重橋(往亞洲台北城)	309195,2788105	開挖岩壁	兩輝安山岩
Rock-2-2	二重橋溪谷	309200,2788010	溪谷雜林	兩輝安山岩
Rock-3-1	中正山	300610,2783125	雜林	含橄欖石兩輝安山岩
Rock-3-2	三芝冷泉(老梅瀑布)	304550,2792300	溪谷雜林	含橄欖石兩輝安山岩
Rock-4-1	內寮	307575,2782100	雜林	含角閃石兩輝安山岩
Rock-4-2	大油坑附近溪谷	307525,2785825	溪谷雜林	含角閃石兩輝安山岩
Rock-5-1	紗帽山	303850,2782075	雜林	紫蘇輝石角閃安山岩
Rock-5-2	七星山	304965,2784985	芒草	紫蘇輝石角閃安山岩
Rock-6-1	三百步嶺	314980,2787110	雜林	角閃石安山岩
Rock-6-2	三百步嶺	314940,2787030	雜林	角閃石安山岩

(二) 樣品採集方法

本次土壤之採樣方法，主要參考中華民國九十年七月二十六日(90)環署檢字第 46819 號公告，自中華民國九十年八月二十六日起實施的 NIEA S102.60B 方法進行。

每一個土壤採樣點之採樣深度為表土(地表下 0 ~ 15 公分)及裏土(地表下 15 ~ 30 公分)為主。本研究初步曾嘗試以劈管採樣，但由於陽明山許多地區土壤含未風化的火成岩礫石，使劈管無法貫入，或由於火成岩風化之土壤太黏，劈管雖貫入土中 30 公分，但是整個管柱的土體卻被往下壓，僅約數公分土壤進入內襯管，無法適當採取表裏土之樣品。經幾次試驗後，發現手動鑽桿可適用於此區的土壤，故本研究均以美國 AMS 公司 Flighted screw 型 30 公分長之土壤螺旋鑽頭採樣器進行採樣。採樣時先清除地表大塊石礫、植被，再以採樣器垂直鑽入土內 30 公分之深度，然後抽出分別採取表裏土樣品。每一分樣點之樣品量以不低於 0.1 公斤為原則。

由於本研究地區為國家公園，工作場地復原為重要的工作項目之一。在每個樣品採樣完畢後，若現場挖出之棄土無污染採樣孔之虞，則回填並夯實；若未能完全回填，或挖出之棄土有污染之虞，則以細砂或細砂及皂土交替灌滿所有鑽孔，並保持採樣位置之清潔及整齊。

前述的第一類樣品，於二公里路段內，約每隔 200 公尺於公路五公尺範圍內採取一個分樣。而第二類樣品則於所列區域內，選擇較有污染疑慮的位置，例如停車場附近、步道密集區、耕地等，劃定一公頃的範圍，再約略依井字法各採取十個分樣。第三類樣品於各岩層分佈但人煙罕至的地點，約略於一公頃範圍內配合地形盡量依井字法進行採樣。至於第四類樣品則於各岩層分佈地區挑選新鮮岩層出露處，於直徑五公尺範圍內敲取 10 塊大小各約 100 公克的小岩塊混成一個樣品。

(三) 樣品處理與分析化驗

因為本文主要為檢測重金屬成份，所有樣品處理及分析，均依照環保署規範進行。各分樣於回實驗室後，放置於乾淨器皿中，目視以手剔除石礫、樹枝等雜物後，以自然風乾(約需 7 至 10 天)或 30 ± 4 之烘箱烘乾。乾燥過程視需要將團粒剝散，以免土壤因脫水而緊密膠結。乾燥完成後，以木鎚打碎，以 2 mm (10 mesh) 標準篩篩出 < 2 mm 土壤(需全部過篩)，再經過研磨，全部通過 20 mesh (孔徑 0.84 mm) 標準篩，然後各分樣取約 100 公克等重量再混成一個混樣充分混合後，再分樣裝入樣品瓶中送驗。

土壤樣品依據各檢測方法之規範要求保存，重金屬項目除了汞最長可保存 28 天外，其餘重金屬項目原則可在室溫下保存 6 個月。

依照環保署規定，土壤重金屬調查需送具認證標準之公司檢驗分析。由於國內具有認證標準的化驗公司，收取的化驗費每個樣品達 5000 至 6000 元新台幣，甚而更高，而本研究需要分析大量樣品，若全部在國內自行分析或委託化驗，經費過於龐大。

因而本研究除前述第一類公路沿線的 20 件樣品委託國內認證之臺灣檢驗科技股份有限公司化驗，所有樣品均送通過 ISO9002 認證的加拿大 ACME 實驗室化驗，故其中的第一類 20 件樣品有重複分析。由於國內環保署認證的標準處理程序與國外的樣品前處理有些微不一樣，重複的樣品可比較兩種處理法是否有差異。若有不同，也可以建立換算標準，以作為討論的基礎。

三、化驗結果討論

(一) 國內外分析結果之比較

本次陽金公路沿線 20 件品送交臺灣檢驗科技股份有限公司化驗，而全部樣品並同時寄送加拿大 ACME 化驗公司分析。

國內檢驗公司之檢驗方法如表六所示，除砷採用『砷化氫原子吸收光譜法』，汞採用『冷蒸氣原子吸收光譜法』之外，其餘均採用『王水消化法-AA/ICP 分析』。

ACME 為經過國際 ISO9002 認證之化驗公司，該公司受全球委託之檢驗量大，因而可以大幅降低成本。本次選用的分析項目為該公司 Group1T-MS 方法，是以 $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-HCl-HF}$ 全量消化樣品，再以 ICP-Mass 分析，對於矽酸岩類的溶出會較完全，且分析的靈敏度較佳，同時化驗 56 種元素，每件樣品分析費用僅需約新台幣 600 元，非常經濟，且可提供大量資料，以供地球化學之研究。

表六. 土壤重金屬新舊檢測方法彙整

重金屬項目	五級分類標準 (舊)	現行標準 (新)
砷	砷化氫原子吸收光譜法 (NIEA S310.60T)	砷化氫原子吸收光譜法 (NIEA S310.60T)
鎘	0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S321.60T)	王水消化法-AA/ICP 分析 (NIEA S321.63B)
鉻	0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S321.60T)	王水消化法-AA/ICP 分析 (NIEA S321.63B)
銅	0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S321.60T)	王水消化法-AA/ICP 分析 (NIEA S321.63B)
汞	0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S340.60T)	冷蒸氣原子吸收光譜法 (NIEA M317.01C)
鎳	0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S321.60T)	王水消化法-AA/ICP 分析 (NIEA S321.63B)
鉛	0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S321.60T)	王水消化法-AA/ICP 分析 (NIEA S321.63B)
鋅	0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S321.60T)	王水消化法-AA/ICP 分析 (NIEA S321.63B)

不同的檢驗步驟對於分析結果會有所差異是眾所皆知的事，例如環保署早期採用的『0.1N 鹽酸部分萃取-FAA 法』便和新標準的『王水消化法-AA/ICP 分析』結果有很大的差異，其差別在於對元素的溶出效果。

又如以全溶法而言，吳家誠(2002)的研究顯示王水全量消化及微波消化方法之分析結果，除黑沃土及有機質土微波消化較王水消化回收效果明顯差異外，其餘土綱土壤效果相同，但大致而言微波消化較王水消化分析數值較高些，顯示不同消化方法會影響化驗結果。其實因為分析材質的組成差異，例如礦物成分的不同，對於不同檢驗方法，也會有不同的結果。

為掌控重金屬檢驗分析品質，本研究並採用品管標準樣品，包括 Glen Spectra Reference Materials 的一個標準土樣 (NCS DC73389) 以及一個標準岩樣 (NCS DC73302)。

將 ACME 公司分析值與 NCS 標準樣品數值比較，發現在土壤方面，七種重金屬中的銅、鉛、鋅分析結果均在 NCS 標準樣品分析數值誤差內，另外砷、鉻、鎘、鎳的含量與 NCS 分析值的誤差分別在 10%~40%。因為 NCS 樣品標準值的建立，是針對不同元素分別採取最適合該元素的處理與分析方法進行化驗，單是一個樣品不同元素的檢驗方法總計便超過二十多種，所以不可能用一種方法分析其樣品會得到和其標準值完全一致的結果。

再就地球化學研究而言，土壤礦物或岩石的不均勻性，所造成的誤差遠大於此，因此這樣的誤差就地球化學的研究算是可以接受的。而整體 56 種元素的分析結果與 NCS 分析值的比較，有 25 種落在誤差範圍內，另 16 種元素含量與 NCS 分析值誤差在 30% 以內。

在岩石方面，七種重金屬中的銅、鎳、鉛、鋅分析結果均落在 NCS 分析數值誤差內，另外砷、鉻、鎘的含量與 NCS 分析值的誤差分別在約 40% 以內。而整體 56 種元素的分析結果與 NCS 分析值的比較，有 13 種落在誤差範圍內，另 34 種元素含量與 NCS 分析值誤差在 30% 以內。由於岩石的元素含量一般較不均勻，並且元素的溶出也較困難，因此誤差較大是可以理解的。

另外將公路沿線 20 件土壤樣品國內認證公司及國外公司分析之比較，顯示在砷、銅、鉛、鋅等四項元素方面，兩者的分析值具有良好的線性關係，且斜率接近 1.0。而鉻和鎳的分析值，兩者較無線性關係，其原因應該是這兩個元素的擴散性較差，常侷限於某些礦物中，可能因樣品的不均勻性，而使分析值有較大的變異。另外，ACME 所分析的鉻和鎳含量，較國內分析值略低一點，而 ACME 公司分析 NCS 標準樣品的鎳和鉻含量，也大約較標準值低 20%~30%，其原因可能是國內外的消化過程不一樣所致。但是整體而言，此差異並不致影響數據的討論。

(二) 岩石與土壤重金屬背景分析結果與討論

本研究共採取大屯山地區六種主要岩性，每個岩性各兩個岩石樣品，以及各不同岩石分佈地區所風化的土壤各兩處，進行元素含量分析。各樣品重金屬含量分析結果整理如表七、表八及圖一，各種岩性之母岩及相關土壤之元素指紋比對圖分別如圖二、圖七所示，而其重金屬含量變化範圍與平均值整理如圖八。

黃政恆等(1994) 進行的大屯山與面天山間火山熔岩母質來源土壤的性質與分類研究，該研

究自台灣北部大屯山與面天山之間，選擇五個化育自不同熔岩母質的土壤樣體，以研究不同樣體間的性質與分類地位。結果發現在相似的風化環境下，因熔岩母質的不同，所生成的土壤性質相異，而分類結果也有所不同。顯示母岩對於土壤性質的重要性。

表七. 陽明山主要岩石重金屬含量表

ELEMENT	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	岩性	地點
Rock-1-1	5.6	0.15	83	123.07	26.9	7.94	86.6	高鉛玄武岩	菜公坑(溪谷)
Rock-1-2	4.0	0.12	54	91.63	24.1	6.83	92.7	高鉛玄武岩	烘爐山(櫻花山莊)
Rock-2-1	4.3	0.31	336	99.87	168.5	7.26	72.2	兩輝安山岩	二重橋(往亞洲台北城)
Rock-2-2	4.3	0.11	93	130.40	14.7	7.86	69.9	兩輝安山岩	二重橋溪谷
Rock-3-1	7.0	0.09	13	102.16	8.2	8.67	70.8	含橄欖石兩輝安山	中正山
Rock-3-2	5.7	0.13	5	34.70	1.0	14.13	78.8	含橄欖石兩輝安山	三芝冷泉(老梅瀑布)
Rock-4-1	4.2	0.08	14	129.57	3.9	10.96	76.8	含角閃石兩輝安山	內寮
Rock-4-2	4.7	0.10	5	66.91	4.8	6.77	67.5	含角閃石兩輝安山	大油坑附近溪谷
Rock-5-1	2.3	0.09	6	68.76	2.6	7.95	73.4	紫蘇輝石角閃安山	紗帽山
Rock-5-2	7.2	0.08	9	64.51	4.6	9.24	71.1	紫蘇輝石角閃安山	七星山
Rock-6-1	26.3	0.09	5	12.19	4.2	9.23	74.8	角閃石安山岩	三百步嶺
Rock-6-2	30.5	0.10	7	29.34	4.1	10.80	63.7	角閃石安山岩	三百步嶺
監測基準值	30	10 (2.5)	175	220 (120)	130	1000 (300)	1000 (260)		
管制標準值	60	20 (5)	250	400 (200)	200	2000 (500)	2000 (600)		

註：1.單位：ppm

2.括弧內數值為食用作物農地之管制標準值/監測基準值

陳尊賢(2001) 在陽明山國家公園土壤特性與類別分布之空間變異與模式建立之研究中，嘗試利用地形分析與地理資訊系統，以陽明山國家公園內之大屯山區(1600 公頃)與七星山區(400 公頃)為研究區域，建立土壤類別的分布概況，並由土壤與地形屬性建立迴歸模式，以預測土壤性質的空間分布。該研究在陽明山國家公園內共建立 2 種土綱、2 種亞綱、4 種大土類與 9 種亞類，可歸類為 11 種土系。依傳統調查方式所繪製的土壤圖與 GIS 產生之土壤圖的圖形重疊分析結果顯示，兩種土壤圖有很高的相似性(58~67%，平均 64%)，說明陽明山地區土壤類型的分佈深受地形所影響。而由於陽明山地區的地形主要受不同期火成岩作用所控制，例如陳文山等(2003)從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造，顯示此地區的地形與火山岩流及火山堆積物有密切的關係。也顯示明陽明山地區的土壤類型與不同期火成岩作用有密切的關係。

從本研究的母岩與相關化育土壤元素含量指紋比對圖(圖二 圖七)，亦可以明顯看出土壤的元素含量特徵與母岩有極相似之處，更進一步說明大屯山地區土壤的微量元素的含量深受火成岩所影響。

本調查結果顯示，土壤中各種重金屬含量均高於母岩，在 NCS 標準安山岩及土壤樣品中，也具有土壤中重金屬含量高於岩石的情形。由於重金屬於風化作用的遷移能力較差，容易被土壤中的黏土礦物吸附累積而富集，可能是導致土壤較母岩含量高的原因。

表八. 陽明山主要岩石風化之土壤重金屬含量表

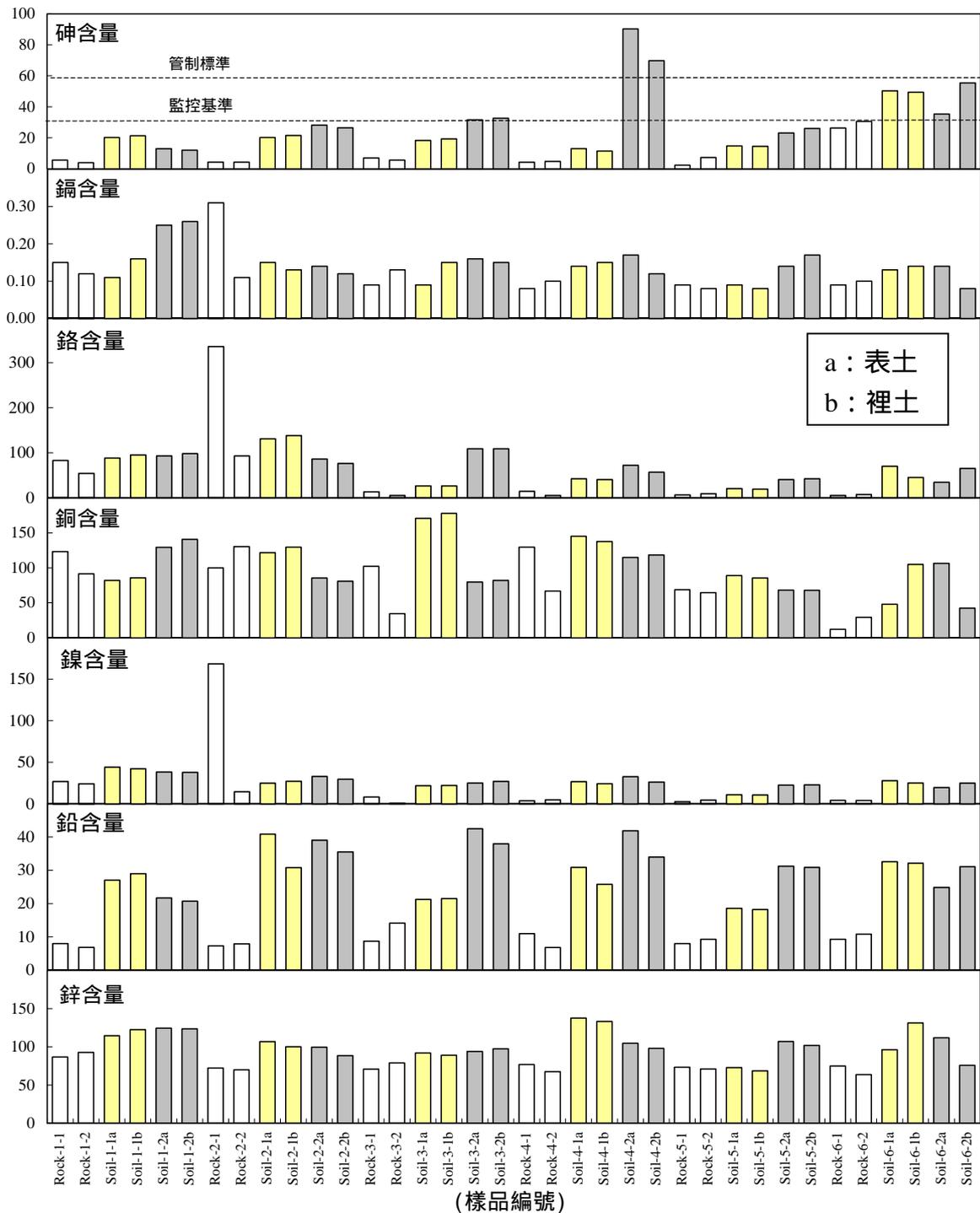
	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	岩性	地點
Soil-1-1a	20.2	0.11	88	82.08	44.2	27.00	114.6	高鋁玄武岩	菜公坑
Soil-1-1b	21.3	0.16	95	85.87	42.3	28.97	122.5	高鋁玄武岩	菜公坑
Soil-1-2a	13.0	0.25	93	129.41	38.4	21.70	124.3	高鋁玄武岩	烘爐山(櫻花山莊)
Soil-1-2b	12.0	0.26	98	140.82	38.0	20.69	123.4	高鋁玄武岩	烘爐山(櫻花山莊)
Soil-2-1a	20.2	0.15	131	121.86	24.9	40.84	106.8	兩輝安山岩	二重橋(上游)
Soil-2-1b	21.6	0.13	138	129.75	27.4	30.77	100.1	兩輝安山岩	二重橋(上游)
Soil-2-2a	28.2	0.14	86	85.59	33.2	39.05	99.6	兩輝安山岩	富貴山(往磺嘴山)
Soil-2-2b	26.5	0.12	76	80.92	29.8	35.54	88.4	兩輝安山岩	富貴山(往磺嘴山)
Soil-3-1a	18.3	0.09	26	170.77	21.9	21.25	92.0	含橄欖石兩輝安山岩	中正山
Soil-3-1b	19.2	0.15	26	177.89	22.2	21.47	89.1	含橄欖石兩輝安山岩	中正山
Soil-3-2a	31.6	0.16	109	79.86	25.0	42.49	93.8	含橄欖石兩輝安山岩	二坪頂
Soil-3-2b	32.6	0.15	109	82.18	27.1	37.95	97.5	含橄欖石兩輝安山岩	二坪頂
Soil-4-1a	13.0	0.14	42	145.13	26.8	30.87	137.7	含角閃石兩輝安山岩	內寮
Soil-4-1b	11.4	0.15	40	137.81	24.3	25.73	133.1	含角閃石兩輝安山岩	內寮
Soil-4-2a	90.3	0.17	72	114.77	32.7	41.87	104.7	含角閃石兩輝安山岩	丁火巧山
Soil-4-2b	69.8	0.12	57	118.26	26.4	34.01	97.9	含角閃石兩輝安山岩	丁火巧山
Soil-5-1a	14.8	0.09	20	88.95	11.0	18.55	72.8	紫蘇輝石角閃安山岩	紗帽山
Soil-5-1b	14.4	0.08	19	85.54	10.6	18.18	68.5	紫蘇輝石角閃安山岩	紗帽山
Soil-5-2a	23.1	0.14	40	68.17	22.5	31.25	107.0	紫蘇輝石角閃安山岩	二子山
Soil-5-2b	26.0	0.17	42	67.97	22.9	30.86	101.8	紫蘇輝石角閃安山岩	二子山
Soil-6-1a	50.3	0.13	70	47.99	27.9	32.59	96.3	角閃石安山岩	三百步嶺
Soil-6-1b	49.4	0.14	45	105.02	25.2	32.14	131.2	角閃石安山岩	三百步嶺
Soil-6-2a	35.4	0.14	34	106.47	19.6	24.85	111.8	角閃石安山岩	三百步嶺
Soil-6-2b	55.4	0.08	65	42.34	24.8	31.08	75.6	角閃石安山岩	三百步嶺
監測基準值	30	10 (2.5)	175	220 (120)	130	1000 (300)	1000 (260)		
管制標準值	60	20 (5)	250	400 (200)	200	2000 (500)	2000 (600)		

註：1.單位：ppm

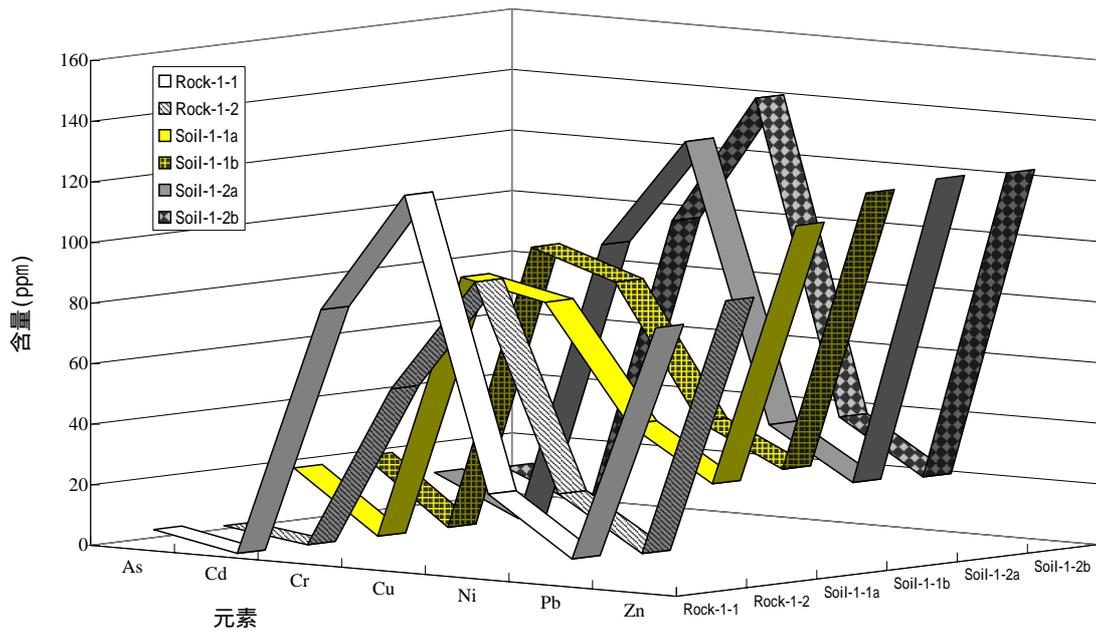
2.括弧內數值為食用作物農地之管制標準值/監測基準值

本研究之母岩及土壤中的砷含量（圖一）有許多接近監控標準，Soil-3-2、Rock-6-2、Soil-6-1、Soil-6-2 等樣品高於監控基準，而 Soil-4-2 更高於管制標準。由於後火山作用的硫氣孔或斷層裂隙所帶來的溫泉熱水，容易形成砷或汞等揮發性元素的富集，大屯山地區之後火山作用強烈，應該是造成砷含量普遍較高的原因。岩石樣品 Rock-6-2 及土壤樣品 Soil-6-1、Soil-6-2 的採樣位置為萬里附近的三百步嶺，該地區附近早期曾發現有金礦分佈，並有開採紀錄，而文獻記載以及筆者親自調查時，均曾發現硫砷銅礦的存在。因而該地區的岩石及土壤重金屬含量明顯受到此熱水礦化作用的影響，而有較高的砷含量。從背景值調查得知，陽明山地區土壤之砷含量的偏高，是母岩與特殊地質環境所致。

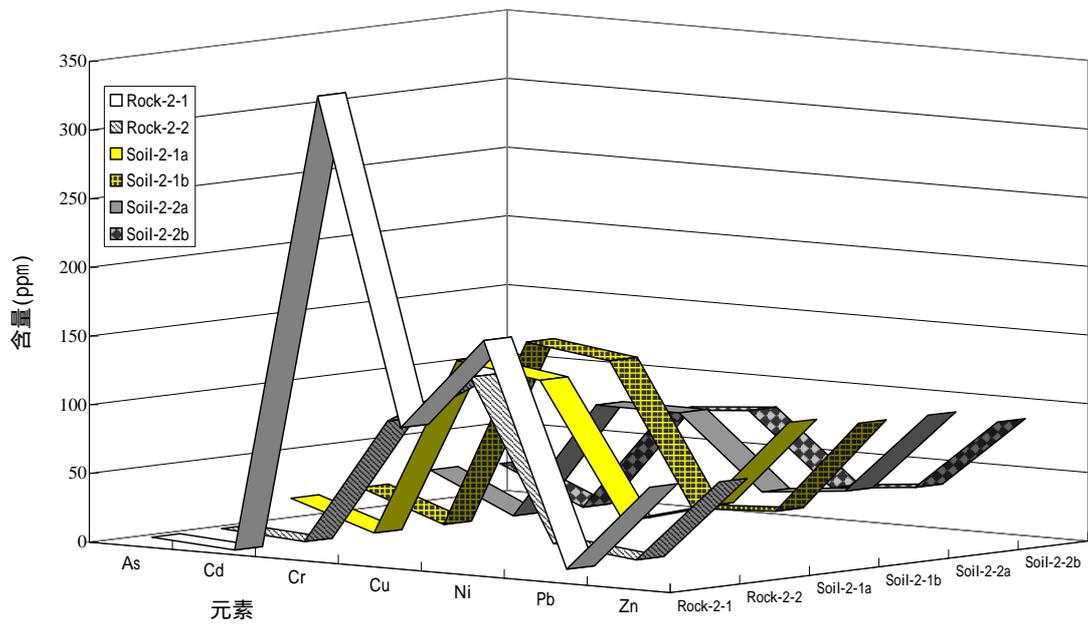
在本研究送國外樣品雖未分析汞，但就地球化學而言，汞與砷經常有密切的相關性。在本次送國內分析的二十件陽金公路沿線土壤樣品，其砷和汞含量的相關係數高達 0.84，顯示在陽明山地區的土壤中，砷和汞的含量確有密切的關連性。筆者推測陽明山地區土壤的汞含量的偏高現象，應該也是肇因於特殊的地質環境。



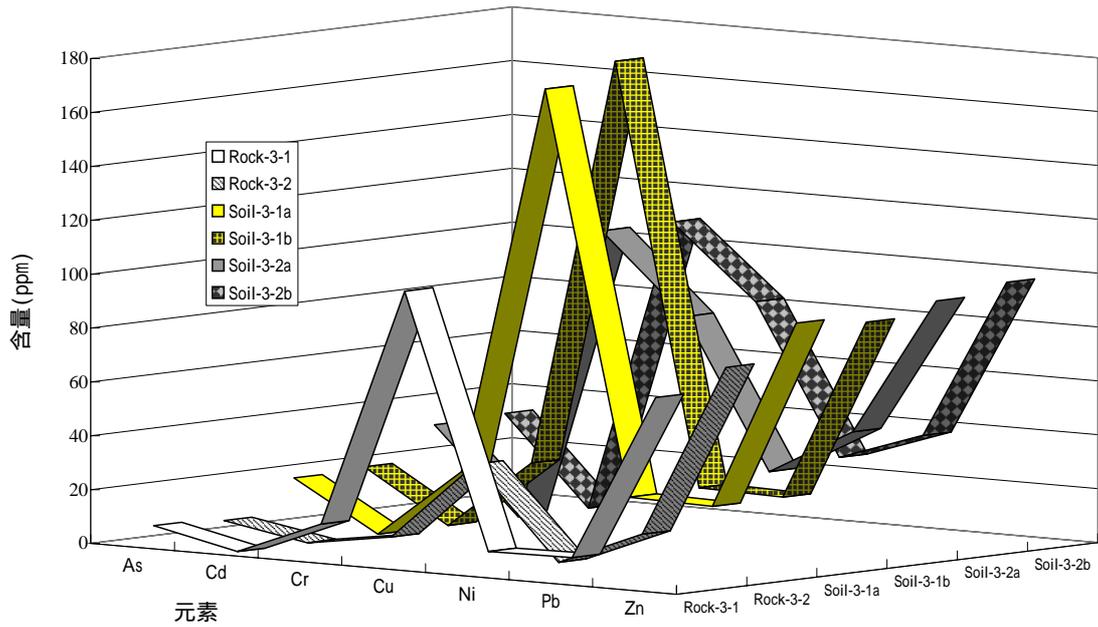
圖一. 陽明山主要岩石及其土壤重金屬含量(mg/Kg)變化圖，採樣地點參見表四及五。



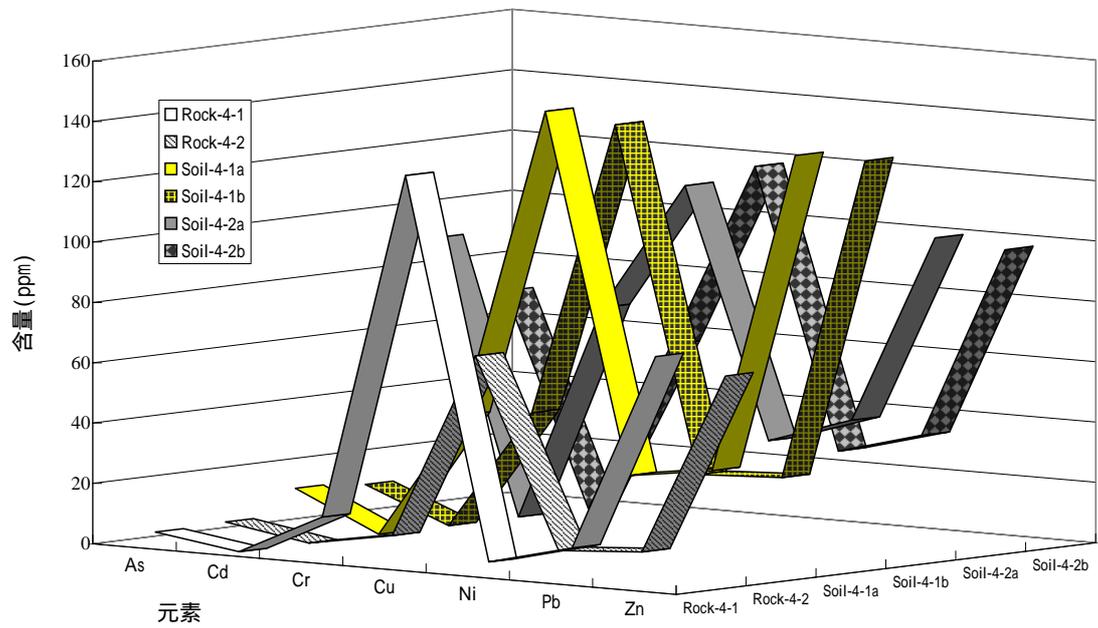
圖二. 高鋁玄武岩及其土壤元素指紋比對圖



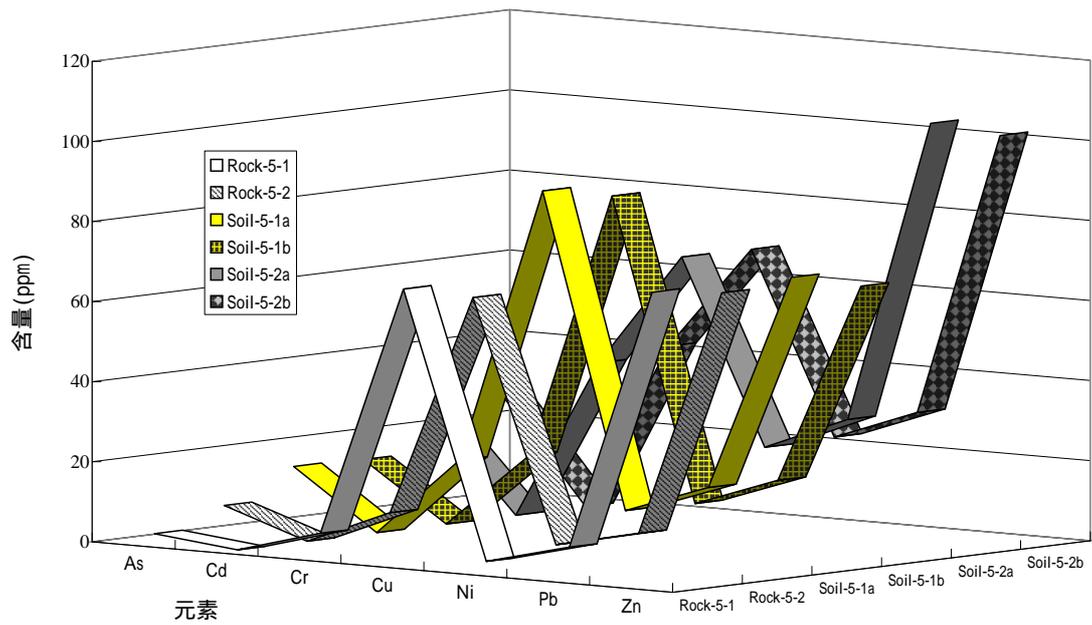
圖三. 兩輝安山岩及其土壤元素指紋比對圖



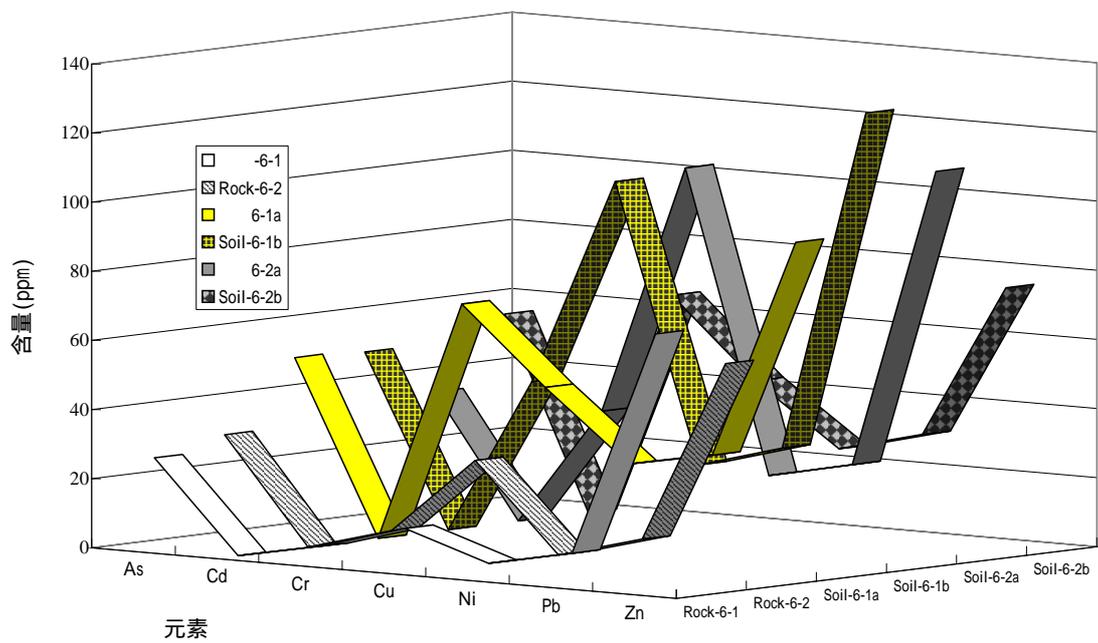
圖四. 含橄欖石兩輝安山岩及其土壤元素指紋比對圖



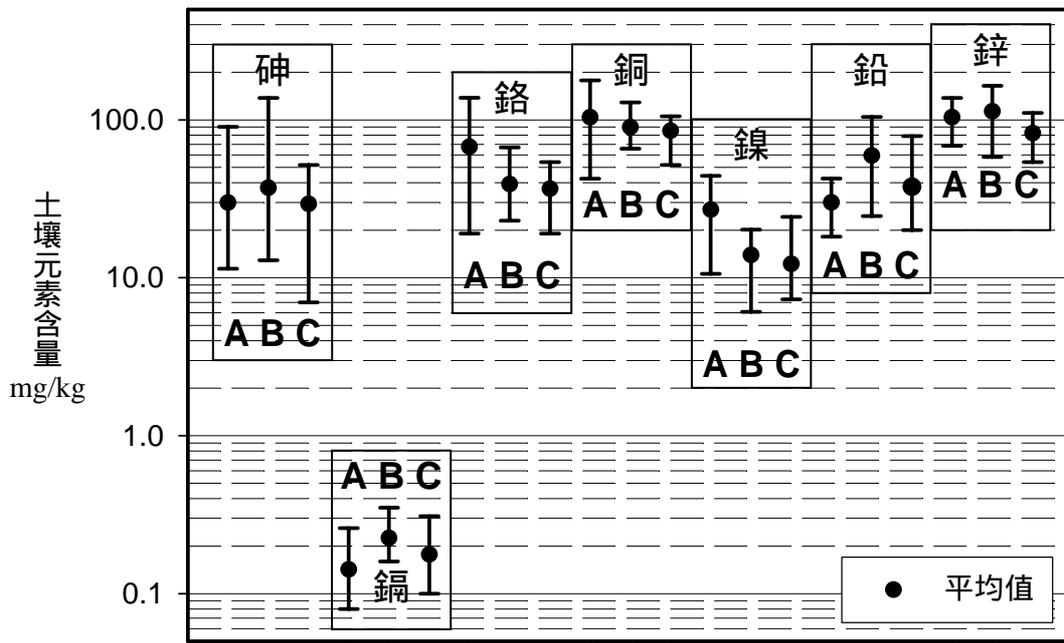
圖五. 含角閃石兩輝安山岩及其土壤元素指紋比對圖



圖六. 紫蘇輝石角閃安山岩及其土壤元素指紋比對圖



圖七. 角閃石安山岩及其土壤元素指紋比對圖



圖八. 陽明山國家公園主要岩石風化土壤(背景值, A)、以及陽金公路沿線(B)與主要遊憩區(C)土壤重金屬含量分佈範圍及平均值。

鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等元素含量方面均低於監測值，不同母岩化育土壤的鎘、銅、鉛、鋅含量差異不大，而鉻和鎳的含量，則明顯在較基性的火成岩及土壤中含量較高。因較基性的火成岩常易會有鉻鐵礦與鎳黃鐵礦等礦物存在，上述礦物晶體存在會造成鉻或鎳在岩石中的不均勻性，Rock2-1 採樣點附近有大小不等的基性岩石的擄獲岩塊存在，該樣品鉻與鎳含量較為突出，推測可能是因為採樣時有部分基性岩石的擄獲岩或包裹體混入所致，其含量不能當為背景值的參考。

母岩及其土壤中銅的含量雖未達一般監測基準，但部分樣品卻已達食用作物的監測基準上下。火成岩中銅元素含量較高是地球化學界眾所皆知的事，此次分析結果亦顯示此項事實。因而在火成岩地區，如果土壤銅含量在 120mg/kg 之食用作物的監測基準附近，極有可能只是背景值所致。

(三) 陽金公路沿線土壤分析結果與討論

本研究共採取陽金公路沿線十個路段，分表裏土共計 20 件樣品的土壤，分別寄送國內及國外化驗公司進行元素含量分析。各樣品重金屬含量分析結果整理如表九及圖九，其平均值與變化範圍參見圖八。

公路沿線各樣品以砷含量較為異常，RD7~RD8 的樣品超過管制標準，RD9 超過監控基準，而其他的路段砷含量也都頗高，不過整體而言與陽明山地區土壤砷含量背景值(圖八)相去不遠。RD7~RD9 為過馬槽橋附近經大油坑入口，到金山養鱒漁場附近的路段，沿途有許多斷層、裂隙、溫泉、小硫氣孔，甚而熱水換質作用發生，砷含量的偏高可能是這些地質作用所致。

RD7~RD9 的樣品除了砷含量偏高之外，汞含量雖未超過一般監測基準，但也有異常的現象，尤其 RD7 的含量已超過食用作物的監測基準，它的原因可能和砷的異常一樣。

公路沿線的銅含量雖然也都未超過一般監測基準，但仍普遍偏高，其中 RD4、RD7、RD8 及 RD10 的含量已超過食用作物的監測基準，不過都仍比本研究建立的背景值低(圖八)。

其他陽金公路沿線土壤的鎘、鉻、鎳、鋅等元素含量均較一般監測基準低，且與本研究建立的背景值大致相似。唯有鉛含量雖然不高，但其平均值與最高值明顯較背景值高許多(圖八)，顯示車輛的排氣對於陽金公路沿線的土壤已造成些微的污染，雖然目前的含量仍遠低監測標準值(食用作物農地為 300ppm)，但仍值得持續追蹤監測，以確保污染不再惡化。

表九. 陽金公路土壤樣品國內及國外公司分析結果比較表 (單位: mg/kg)

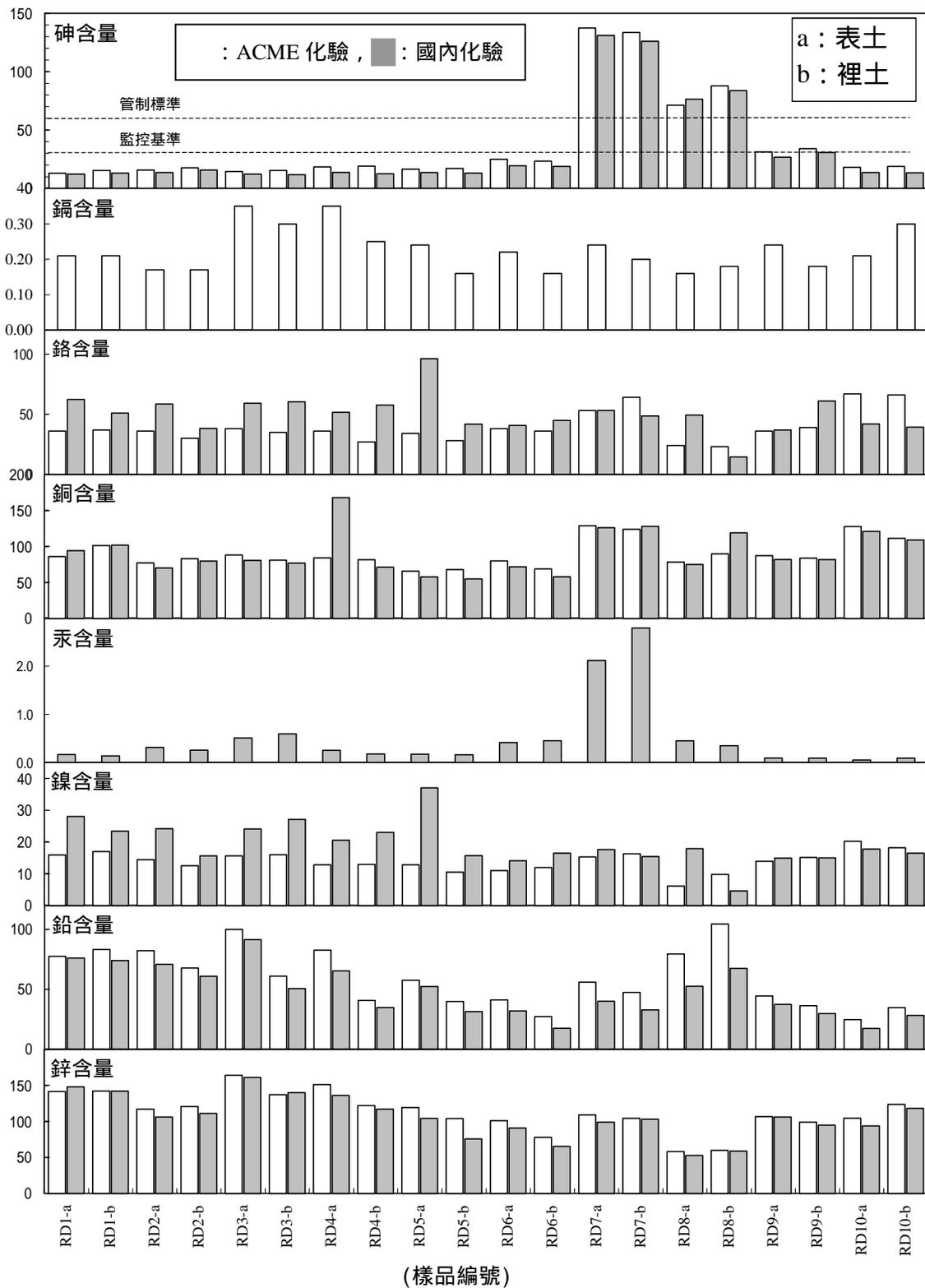
ELEMENT SAMPLES	砷(As)		鎘(Cd)		鉻(Cr)		銅(Cu)		汞(Hg)		鎳(Ni)		鉛(Pb)		鋅(Zn)	
	ACME	國內	ACME	國內	ACME	國內	ACME	國內	ACME	國內	ACME	國內	ACME	國內	ACME	國內
RD1-a	12.9	12.2	0.21	ND	36	62	86.1	94.2	--	0.165	15.9	28.0	77.5	76.0	141.5	148.0
RD1-b	15.4	13.1	0.21	ND	37	51	101.3	102.0	--	0.134	17.0	23.4	83.2	73.9	142.2	142.0
RD2-a	15.6	13.5	0.17	ND	36	59	77.3	70.2	--	0.311	14.4	24.2	82.3	70.8	116.9	106.0
RD2-b	17.5	15.6	0.17	ND	30	38	83.0	79.9	--	0.257	12.5	15.6	67.8	60.8	120.6	111.0
RD3-a	14.5	12.2	0.35	ND	38	59	88.2	80.7	--	0.507	15.6	24.1	100.0	91.5	164.0	161.0
RD3-b	15.4	11.7	0.30	ND	35	60	81.1	76.9	--	0.593	16.0	27.1	60.9	50.5	137.2	140.0
RD4-a	18.3	13.6	0.35	ND	36	52	84.2	168.0	--	0.251	12.8	20.5	82.6	65.2	151.2	136.0
RD4-b	19.0	12.6	0.25	ND	27	58	81.5	71.3	--	0.178	12.9	23.0	40.7	34.7	122.1	117.0
RD5-a	16.5	13.5	0.24	ND	34	96	65.7	57.7	--	0.170	12.8	37.0	57.5	52.3	119.2	104.0
RD5-b	17.0	13.1	0.16	ND	28	42	68.1	55.0	--	0.159	10.5	15.7	39.7	31.3	103.9	75.5
RD6-a	25.0	19.4	0.22	ND	38	41	80.0	71.8	--	0.413	11.0	14.1	41.0	31.8	101.0	90.6
RD6-b	23.3	18.9	0.16	ND	36	45	68.8	57.9	--	0.452	11.9	16.5	27.1	17.4	77.8	65.3
RD7-a	137.5	131.0	0.24	ND	53	53	129.0	126.0	--	2.120	15.3	17.6	55.9	40.0	109.0	99.1
RD7-b	133.5	126.0	0.20	ND	64	49	123.8	128.0	--	2.790	16.3	15.4	47.3	32.8	104.3	103.0
RD8-a	71.2	76.5	0.16	ND	24	49	78.3	74.9	--	0.449	6.1	17.9	79.5	52.5	58.1	52.5
RD8-b	87.8	83.8	0.18	ND	23	15	89.8	119.0	--	0.346	9.8	4.6	104.4	67.4	59.7	58.8
RD9-a	31.1	26.7	0.24	ND	36	37	87.3	82.0	--	0.093	13.9	14.9	44.3	37.4	106.6	106.0
RD9-b	34.0	30.8	0.18	ND	39	61	83.9	81.8	--	0.087	15.1	15.0	36.1	29.6	99.1	94.8
RD10-a	18.1	13.5	0.21	ND	67	42	127.9	121.0	--	0.049	20.2	17.8	24.6	17.3	104.5	93.7
RD10-b	18.9	13.4	0.30	ND	66	39	111.4	109.0	--	0.088	18.2	16.5	34.7	28.1	123.5	118.0

註：1.ND表示小於該實驗室偵測極限(臺灣檢驗公司本次Cd之MDL=0.16ppm)

2. ---表示在該公司該批次分析中未分析該元素

(四) 國家公園重點地區土壤分析結果與討論

本研究共採取遊客較多的重點地區共計十處，分表裡土共計 20 件樣品的土壤，寄送國外化驗公司進行元素含量分析。各樣品重金屬含量分析結果整理如表十及圖十，其變化範圍與平均值參見圖八。



圖九. 陽金公路沿線土壤重金屬含量(mg/kg)變化圖，採樣地點參考表二。

遊客較多的重點地區各土壤樣品同樣以砷含量較為突出，包含冷水坑、小油坑、竹子湖、陽明書屋、擎天崗以及七星山等地區的樣品，均超過監控基準，而其他各地區砷含量也都頗高。銅含量雖然也都未超過一般監測基準，但普遍偏高，許多皆已接近食用作物的監測基準。然而上述地區的砷及銅含量均落在本研究土壤背景值含量的分佈範圍內(圖八)，故應為背景值所致。

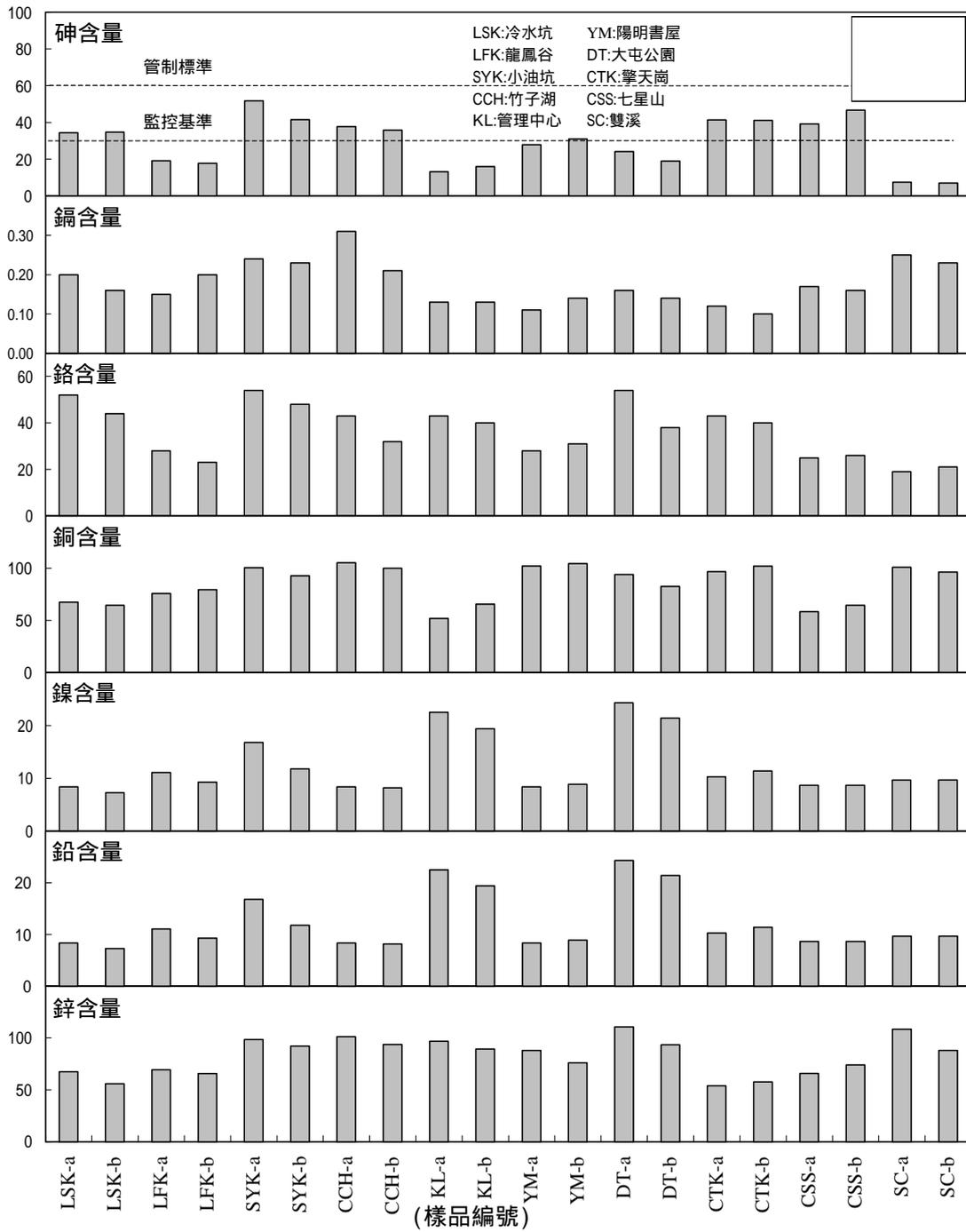
其他陽金公路沿線土壤的鎘、鉻、鎳、鉛、鋅等含量均較一般監測基準低。

表十. 陽明山重點地區土壤重金屬含量表

ELEMENT	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	地點
LSK-a	34.4	0.20	52	67.50	8.4	42.51	67.3	冷水坑
LSK-b	34.7	0.16	44	64.54	7.3	39.50	55.7	冷水坑
LFK-a	19.2	0.15	28	75.77	11.1	23.74	69.4	龍鳳谷
LFK-b	17.8	0.20	23	79.42	9.3	22.54	65.5	龍鳳谷
SYK-a	51.8	0.24	54	100.54	16.8	50.25	98.3	小油坑遊憩區
SYK-b	41.5	0.23	48	92.86	11.8	32.75	92.2	小油坑遊憩區
CCH-a	37.8	0.31	43	105.27	8.4	78.83	101.1	竹子湖
CCH-b	35.8	0.21	32	99.98	8.2	59.33	93.6	竹子湖
KL-a	13.2	0.13	43	51.72	22.5	22.57	96.8	管理中心
KL-b	16.0	0.13	40	65.49	19.4	20.97	89.2	管理中心
YM-a	27.9	0.11	28	102.17	8.4	38.07	87.8	陽明書屋
YM-b	31.0	0.14	31	104.48	8.9	42.69	76.0	陽明書屋
DT-a	24.2	0.16	54	94.01	24.3	28.75	110.5	大屯山自然公園
DT-b	19.0	0.14	38	82.52	21.4	25.82	93.3	大屯山自然公園
CTK-a	41.4	0.12	43	96.77	10.3	45.26	54.0	擎天崗
CTK-b	41.1	0.10	40	101.99	11.4	40.25	57.6	擎天崗
CSS-a	39.2	0.17	25	58.31	8.7	49.33	65.7	七星公園
CSS-b	46.7	0.16	26	64.54	8.7	45.95	74.0	七星公園
SC-a	7.5	0.25	19	100.90	9.7	24.23	108.4	雙溪
SC-b	7.0	0.23	21	96.21	9.7	20.06	87.8	雙溪
監測基準值	30	10 (2.5)	175	220 (120)	130	1000 (300)	1000 (260)	
管制標準值	60	20 (5)	250	400 (200)	200	2000 (500)	2000 (600)	

註：1.單位：ppm

2.括弧內數值為食用作物農地之管制標準值/監測基準值



圖十. 陽明山重點地區土壤重金屬含量(mg/kg)變化圖，採樣地點參考表三。

四、結 論

前人研究顯示陽明山地區土壤性質受母岩影響頗巨，本研究分別前往各人煙稀少，較無污染之虞的地區，共採取陽明山地區六種主要岩性，以及各岩性分佈地區所風化的土壤，進行元素含量背景值分析。從本研究的母岩與相關化育土壤元素含量指紋比對圖，亦可以明顯看出土壤的元素含量特徵與母岩有極相似之處，顯見陽明山地區土壤的微量元素的含量深受火成岩母岩所影響。

研究結果顯示陽明山地區土壤砷含量普遍較高。在母岩及土壤背景值中，砷含量有許多接近監控標準，Soil-3-2、Rock-6-2、Soil-6-1、Soil-6-2 等樣品高於監控基準，而 Soil-4-2 更高於管制標準。陽明山地區土壤之砷含量偏高，應是火成岩、後火山作用、斷層裂隙所帶來的溫泉熱水，或礦化作用等特殊地質環境所致。

就地球化學上而言汞與砷經常有密切的相關性。以本研究送國內分析的二十件陽金公路沿線土壤樣品而言，其砷和汞含量的相關係數高達 0.84，顯示在陽明山地區的土壤中，砷和汞的含量確有密切關連性，推測陽明山地區土壤汞含量的偏高現象，應該也是肇因於特殊的地質環境。

母岩及相關土壤銅的含量雖未達一般監測基準，但部分樣品卻已達食用作物的監測基準上下。火成岩中銅元素含量較高是地球化學界眾所皆知的事，此次分析結果亦顯示此項事實。因而在火成岩地區，如果土壤銅含量在 120mg/kg 之食用作物的監測基準附近，極有可能是背景值所致。

鎳、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等元素含量方面均低於監測值。各岩石及其土壤的鎳、銅、鉛、鋅含量無規則變化。而鉻以及鎳的含量，則明顯在較基性的火成岩及土壤中含量較高。

陽金公路沿線各樣品以砷含量較為突出，RD7~RD8 的樣品超過管制標準，RD9 超過監控基準，而其他的路段砷含量也都頗高。同樣的，十處遊客較多的重點地區的樣品也以砷含量較為突出，包含冷水坑、小油坑、竹子湖、陽明書屋、擎天崗以及七星山的樣品均超過監控基準，而其他各地區砷含量也都頗高。

公路沿線以及遊客較多的重點地區，土壤的銅含量雖然也都未超過一般監測基準，但普遍偏高，許多皆已接近食用作物的監測基準，其中 RD4、RD7、RD8 及 RD10 的含量已超過食用作物的監測基準。由於陽明山火成岩的銅含量背景值本來便高，筆者認為此為背景值所致。

在陽金公路沿線及遊客較多的重點地區的土壤中，其他如鎳、鉻、鎳、鉛、鋅等元素含量，均較一般監測基準低。但是值得注意的是，鉛含量雖然不高，其平均值與最高值明顯較背景值高許多，顯示車輛的排氣對於陽金公路沿線的土壤已造成些微的污染，應持續追蹤監測，以確保其不再惡化。

五、致 謝

感謝內政部營建署陽明山國家公園管理處提供經費補助，使本研究得以完成，另感謝匿名先進惠賜許多寶貴意見，使本文得以更臻完善，特此表達誠摯之謝意。

六、參考文獻

- 吳家誠、呂進榮、沈英宏、張義銘、廖俊豪、吳雪芳、江金伶、黃玉青、許桂秋，2002。
台灣地區不同土綱土壤中重金屬總量檢測分析，行政院環保署，
EPA-91-E3S4-02-04。
- 張添晉，1998。台北市土壤監測站重金屬監測研究（四），台北市政府環境保護局。
- 張添晉，1999。台北市土壤監測站重金屬監測研究（五），台北市政府環境保護局。
- 張添晉，2000。台北市土壤監測站重金屬監測研究（六），台北市政府環境保護局。
- 張添晉，2001。台北市土壤監測站重金屬監測研究（七），台北市政府環境保護局。
- 張添晉，2002。台北市土壤重金屬監測調查計畫，台北市政府環境保護局。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金，2003。從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造：經濟部中央地質調查所彙刊第十六號。
- 陳正宏，1990。台灣之火成岩，經濟部中央地質調查所，137 頁。
- 陳尊賢，2001。陽明山國家公園土壤特性與類別分布之空間變異與模式建立(II)，行政院國家科學委員會研究報告，NSC89-2621-B002-042。
- 黃政恆、陳尊賢、王明果，1994。大屯山與面天山間火山熔岩母質來源土壤的性質與分類，中國農業化學會誌，32:3，294-308。
- Govett, G. J. S., 1983. *Rock geochemistry in mineral exploration*, Elsevier Scientific Pub. Company, 461 p.
- Krauskopf, K. B., 1979. *Introduction to geochemistry*, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, 617 p.
- Mason, B. and Moore, C. B., 1982. *Principles of geochemistry*, 4th ed., John Wiley & Sons, 344p.
- Mitchell, R. L., 1955. *Trace elements, in " Chemistry of the Soil."*, Van Nostrand Reinhold: New York, p. 253-285.
- Siegel, F. R., 1974. *Applied geochemistry*, John Wiley & Sons, 353 p.
- Tiller, K. G., 1993. *Micronutrients, Soils: an Australian viewpoint*, CSIRO, p. 365-387.
- Wells, N., 1960. Total elements in topsoils from igneous rocks: an extension of geochemistry. *Journal of Soil Science*, No. 11, p. 409-424.

Heavy metal contents of soil in Yang-Ming Shan National Park, and the influence of geological characteristics

Bing-Sheng Yu^{1, 2}

(Manuscript received 9 September 2005 ; accepted 12 December 2005)

ABSTRACT : This study analyzes soil and rock samples from Yang-Gin highway, major tourist spots, and chief rock stratum in Yang Ming Shan National Park for heavy metal contents in order to examine heavy metal pollution of the soil, and to establish the background of element contents of the soils and igneous rocks in this area.

The results show that contents of trace elements in the soils of this area are deeply influenced by the geological environment. Due to the influence of igneous rock, post-volcanic activity, and even mineralization, the contents of As and Cu are relatively high in background soils. The background As content often exceeds EPA monitoring or controlling standards whilst that of Cu is higher than EPA monitoring standards for edible crops. Cd, Cr, Ni, Pb and Zn contents of the soils from Yang-Gin highway and the main tourist spots are lower than their relative EPA general monitoring standards.

KEYWORDS: Yang-Min Shan National Park, soil, heavy metals, geology, background

1. Department of Resource and Material Engineering, National Taipei University of Technology.
2. Corresponding author.