

陽明山國家公園
土壤重金屬含量調查
及其地質意義之探討

內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十三年十二月

PG9302-0414

陽明山國家公園 土壤重金屬含量調查 及其地質意義之探討

受委託者：國立臺北科技大學材料與資源工程系

研究主持人：余炳盛

研究助理：劉金龍，呂祺竹

內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十三年十二月

目

次

| | |
|-------------------------------|------|
| 表次..... | II |
| 圖次..... | III |
| 摘要..... | V |
| 第一章 緒論..... | 1-1 |
| 第一節 計劃緣起..... | 1-1 |
| 第二節 計畫主旨與目標..... | 1-2 |
| 第二章 研究主題背景及有關研究之檢討..... | 2-1 |
| 第一節 土壤重金屬污染特性..... | 2-1 |
| 第二節 大屯火山群火山地質概述..... | 2-12 |
| 第三節 母岩與土壤重金屬等微量元素之關係..... | 2-19 |
| 第四節 陽明山地區歷年之土壤調查與研究..... | 2-30 |
| 第三章 執行方法與步驟..... | 3-1 |
| 第一節 採樣地區的選定..... | 3-1 |
| 第二節 樣品採集方法..... | 3-2 |
| 第三節 樣品處理與分析化驗..... | 3-5 |
| 第四節 新舊土壤污染分級及檢測方法說明..... | 3-6 |
| 第四章 執行成果與討論..... | 4-1 |
| 第一節 採樣及檢驗..... | 4-1 |
| 第二節 品質管制(QA/OC)..... | 4-15 |
| 第三節 化驗結果討論..... | 4-17 |
| 第五章 結論與建議..... | 5-1 |
| 第一節 結論..... | 5-1 |
| 第二節 建議..... | 5-3 |
| 第六章 參考文獻..... | 6-1 |
| 附錄一 陽明山國家公園土壤及岩石樣品採樣位置座標及相關資料 | |
| 附錄二 陽金公路沿線土壤樣品國內檢驗原始資料 | |
| 附錄三 土壤及岩石樣品國外檢驗原始資料 | |

表 次

| | | |
|-------|--|------|
| 表 1-1 | 各種岩石平均重金屬含量 | 1-2 |
| 表 2-1 | 各種岩石平均重金屬含量 | 2-20 |
| 表 2-2 | 台灣北部不同母岩之土壤的微量元素含量 | 2-23 |
| 表 2-3 | 台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分暫訂表(李國欽等, 1987)與 礦區土壤比較 | 2-28 |
| 表 2-4 | 世界一般土壤微量元素含量表 | 2-29 |
| 表 3-1 | 台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表 | 3-6 |
| 表 3-2 | 台灣地區土壤重金屬含量等級意義說明 | 3-7 |
| 表 3-3 | 土壤重金屬污染監測基準與管制標準 | 3-7 |
| 表 3-4 | 土壤重金屬新舊檢測方法彙整 | 3-8 |
| 表 4-1 | 標準土樣之驗證資料及重金屬含量 | 4-18 |
| 表 4-2 | 標準岩樣之驗證資料及重金屬含量 | 4-20 |
| 表 4-3 | NCS 標準樣品 DC73389 (土壤) 數值與 ACME 分析比較 | 4-22 |
| 表 4-4 | NCS 標準樣品 DC73302 (岩石) 數值與 ACME 分析比較 | 4-23 |
| 表 4-5 | 陽金公路土壤樣品國內及國外公司分析結果比較表 | 4-24 |
| 表 4-6 | 陽明山主要岩石種類重金屬含量分析值 | 4-31 |
| 表 4-7 | 陽明山主要岩石種類風化之土壤重金屬含量分析值 | 4-32 |
| 表 4-8 | 陽明山陽金公路沿線土壤重金屬含量分析值 | 4-46 |
| 表 4-9 | 陽明山重點地區土壤重金屬含量分析值 | 4-55 |

圖 次

| | | |
|--------|------------------------------------|------|
| 圖 2-1 | 大屯火山群各亞群火山碎屑岩分佈圖 | 2-12 |
| 圖 2-2 | 大屯山各亞群熔岩分佈圖 | 2-13 |
| 圖 2-3 | 北部岩區火成岩分佈圖 | 2-14 |
| 圖 2-4 | 大磺嘴附近的地質剖面柱狀圖 | 2-16 |
| 圖 2-5 | 大屯火山群各亞群熔岩和碎屑岩屑之定年結果 | 2-18 |
| 圖 2-6 | 土壤化育程度與礦物之關係 | 2-23 |
| 圖 2-7 | 金瓜石粗石山地區土壤採樣測線剖面圖 | 2-24 |
| 圖 2-8 | 金瓜石粗石山地區土壤測線微量元素含量變化圖 | 2-25 |
| 圖 2-9 | 宜蘭金面山地區土壤水銀異常與斷層之關係 | 2-27 |
| 圖 3-1 | 土壤採樣鑽取的孔洞復原前的照片 | 3-3 |
| 圖 3-2 | 土壤採樣鑽取的孔洞復原前的照片 | 3-3 |
| 圖 3-3 | 土壤採樣鑽取的孔洞復原前的照片 | 3-4 |
| 圖 3-4 | 土壤採樣鑽取的孔洞復原前的照片 | 3-4 |
| 圖 4-1 | 遊客較多的重點採樣地區位置圖 | 4-3 |
| 圖 4-2 | 管理中心附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-5 |
| 圖 4-3 | 陽明書屋附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-6 |
| 圖 4-4 | 小油坑遊憩區附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-7 |
| 圖 4-5 | 七星公園附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-8 |
| 圖 4-6 | 冷水坑附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-9 |
| 圖 4-7 | 擎天崗附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-10 |
| 圖 4-8 | 大屯自然公園附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-11 |
| 圖 4-9 | 雙溪附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-12 |
| 圖 4-10 | 龍鳳谷附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-13 |
| 圖 4-11 | 竹子湖附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖 | 4-14 |
| 圖 4-12 | 土壤砷 (As) 含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 | 4-25 |
| 圖 4-13 | 土壤銅 (Cu) 含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 | 4-26 |
| 圖 4-14 | 土壤鉛 (Pb) 含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 | 4-27 |
| 圖 4-15 | 土壤鋅 (Zn) 含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 | 4-28 |

| | |
|---|------|
| 圖 4-16 土壤鉻 (Cr) 含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 | 4-29 |
| 圖 4-17 土壤鎳 (Ni) 含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 | 4-30 |
| 圖 4-18 陽明山主要岩性母岩及相關土壤砷(As)含量 | 4-33 |
| 圖 4-19 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鎘(Cd)含量 | 4-34 |
| 圖 4-20 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鉻(Cr)含量 | 4-35 |
| 圖 4-21 陽明山主要岩性母岩及相關土壤銅(Cu)含量 | 4-36 |
| 圖 4-22 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鎳(Ni)含量 | 4-37 |
| 圖 4-23 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鉛(Pb)含量 | 4-38 |
| 圖 4-24 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鋅(Zn)含量 | 4-39 |
| 圖 4-25 高鋁玄武岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖 | 4-40 |
| 圖 4-26 兩輝安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖 | 4-41 |
| 圖 4-27 含橄欖石兩輝安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖 | 4-42 |
| 圖 4-28 含角閃石兩輝安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖 | 4-43 |
| 圖 4-29 紫蘇輝石角閃安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖 | 4-44 |
| 圖 4-30 角閃石安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖 | 4-45 |
| 圖 4-31 陽金公路沿線土壤砷(As)含量 | 4-47 |
| 圖 4-32 陽金公路沿線土壤鎘(Cd)含量 | 4-48 |
| 圖 4-33 陽金公路沿線土壤鉻(Cr)含量 | 4-49 |
| 圖 4-34 陽金公路沿線土壤銅(Cu)含量 | 4-50 |
| 圖 4-35 陽金公路沿線土壤汞(Hg)含量 | 4-51 |
| 圖 4-36 陽金公路沿線土壤鎳(Ni)含量 | 4-52 |
| 圖 4-37 陽金公路沿線土壤鉛(Pb)含量 | 4-53 |
| 圖 4-38 陽金公路沿線土壤鋅(Zn)含量 | 4-54 |
| 圖 4-39 重點地區土壤砷 (As) 含量 | 4-56 |
| 圖 4-40 重點地區土壤鎘 (Cd) 含量 | 4-57 |
| 圖 4-41 重點地區土壤鉻 (Cr) 含量 | 4-58 |
| 圖 4-42 重點地區土壤銅 (Cu) 含量 | 4-59 |
| 圖 4-43 重點地區土壤鎳 (Ni) 含量 | 4-60 |
| 圖 4-44 重點地區土壤鉛 (Pb) 含量 | 4-61 |
| 圖 4-45 重點地區土壤鋅 (Zn) 含量 | 4-62 |

摘要

關鍵詞：陽明山、國家公園、土壤、重金屬、地質、背景

一、研究緣起

本研究分析陽明山國家公園主要道路—陽金公路沿線、區內部分遊客較多的遊憩點，以及具典型岩性地區土壤及相關火成岩層之重金屬等微量元素含量，除了瞭解陽明山國家公園內陽金公路沿線，以及部分遊憩區土壤有無受到重金屬污染的情形外，並建立陽明山國家公園主要火成岩及土壤重金屬等元素含量背景資料。另外由於土壤中重金屬等微量元素的含量會受其母岩成份所影響，唯近期國內關於土壤重金屬污染或基礎調查，多未能考慮此項重要的地質因素，因此本計畫亦嘗試探討此地區土壤與母岩兩者之關連性，與元素在土壤化育過程中之變遷行為。

二、研究方法及過程

本研究依照環保署公告之標準方法，共採取四大項岩石或土壤樣品，分別為 1. 國家公園主要公路—陽金公路沿線之土壤、2. 十個重要遊憩地區之土壤、3. 本區主要岩層所風化的背景土壤，以及 4. 本區主要火成岩層的岩石，共計 76 件樣品，分別寄送國內外認證實驗室進行重金屬含量檢驗。

三、重要發現

本研究結果發現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，而土壤中重金屬的含量均較母岩為高。而由於本區域火成岩母岩，與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。

土壤背景值調查項目因經費有限關係，未化驗汞含量，但是以一般地球化學特性，以及本計畫陽金公路土壤汞含量與砷含量的相關係數高達 0.84 而言，汞的異常應與砷有相同的原因。

鎳、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等元素背景含量均低於監測值。各岩性母岩及土

壤的鎘、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母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。同樣的，十處遊客較多的重點地區的樣品也以砷含量較為偏高，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超過監控基準，而其他各地區砷含量也都頗高。陽明山地區土壤背景值砷含量偏高的現象已於前文說明，筆者認為此為背景值所致，但仍有待進一步驗證。

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，但也有異常偏高的現象，尤其 Rd7 的含量已超過食用作物的監測基準，他的原因可能和砷的異常一樣。

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。由於本次調查顯示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，其他鎘、鉻、鎳、鉛、鋅等元素含量，均低於一般監測基準。

四、主要建議事項

1. 本研究結果顯示陽明山火成岩地區土壤的砷含量偏高乃母岩特性的背景值，以及後火山作用等地質作用所致，但歷年之調查均一直認為此區之砷含量偏高為疑似污染造成，在探詢污染源或思考整治方面都徒費許多無謂的人力與經費。因此建議在陽明山火成岩地區之土壤砷含量的監測基準與管制標準能因地制宜，作適當調整，以免經常造成無謂的困擾與社會的恐慌。
2. 本研究雖然釐清陽明山地區土壤砷含量偏高的情形乃地質背景所致，但是對於距離硫氣孔等地質作用遠近與砷含量之空間關係，仍有待進一步研究。
3. 本研究對於陽明山地區砷、鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等重金屬含量背景資料已有初步的建立，但受限於本次計畫之經費有限，對於汞元素雖然透過統計學的方法，以及一般地球化學之資料，推論陽明山地區的汞含量偏高也是肇因於地質作用，但為證實起見，仍建議日後能對汞之異常現象，作進一步分析探討。

4. 陽明山國家公園內仍有部分岩性為沈積岩層，建議對此能比照本計畫進行研究，當更能瞭解火成岩與沈積岩母岩，以及風化土壤之重金屬含量特性與異同，對於日後此區土壤重金屬污染之調查與防制，提供更完整之資料庫。

陽明山國家公園

學明一國書局

ABSTRACT

Keywords: Yang-Min Shan, National Park, Soil, Heavy metals, Geology, Background

1. Main Purpose

This study analyzes soil and rock samples along Yang-Gin highway, and from main tourist spots and main rock stratum in Yang Ming Shan national park for heavy metal contents. The purpose is to find out if there is any heavy metal pollution of soil in the national park, and to establish the background of element content of the soils and igneous rocks in this area. The content of trace elements in the soils are influenced by their mother rocks. Nevertheless, the domestic soil survey for heavy metal pollutions seldom takes account of this important geological factor. Therefore, the relationship of heavy metal contents in soils and their mother rocks in study area are also investigated.

2. Method of study

76 soil and rock samples altogether are taken according to the standard method of EPA, including the following areas: (1) Soil along Ynag-Gin highway in national park, (2) Soil from ten main tourist spots, (3) Soil weathered from main rock stratum in this district for background, and (4) Rock of main igneous rock stratum in this district. These samples are analysis in the domestic and/or international authentication laboratory for the content of heavy metal.

3. Important results

The result shows the content of the trace element of the soil of area of Yang Ming Shan deeply influenced by the igenous mother rock, and the content of the heavy metal in the soil is higher than that in mother rock. Due to the influence of igenous mother rock, geological environment of post-volcano, and even mineralizations, the content of the arsenic and copper is generally relatively higher in background soils. The background content of the arsenic often exceeds the datum of monitoring, even is higher than the standard of controlling, and the background content of the copper is higher than

monitoring data of the edible crop.

Content of mercury in background soil doesn't be investigated for short of funds. Nevertheless, the up to 0.84 value of coefficient correlation of the content of arsenic and mercury in soil samples along Ynag-Gin highway indicates the unusually answering of mercury has the same reasons as the arsenic.

Such content of element backgrounds as the cadmium, chromium, copper, nickel, lead, zinc, etc. are lower than the monitoring value. Contents of cadmium, copper, lead, and zinc from different types of soil and igneous mother rock do not have regular relationship. However, chromium and nickel contents are obvious relatively high in the base igenous rock and their weathered soil.

Every sample is comparatively outstanding with the content of arsenic along Yang-Gin highway. The sample Rd7 and Rd8 exceeds the standard of controlling, and Rd9 exceeds the datum of monitoring. Similarly, the samples of main tourist spots are also comparatively outstanding with the content of arsenic, several of them exceed the datum of monitoring, and others are also quite high. These higher arsenic content of soils in Yang Ming Shan national park, as mentioned before, are due to background value.

Rd7 to Rd9 sample has higher mercury content beside arsenic content, especially the Hg content of Rd7 has already exceeded the monitoring datum of the edible crop. The reason of mercury anomaly is possible as the same as arsenic, due to special geological environment.

The Copper contents of the soils along Yang-Gin highway and from the main tourist spots do not exceeded generally monitored datum, but quit high. Among them, the sample Rd4, Rd7, Rd8 and Rd10 have copper content exceeded the monitoring datum of the edible crop, and others are close to that. Because the background value of copper content in the igenous rock in Yang Ming Shan was originally high, the high copper content in soils might also be caused by background value.

Cadmium, chromium, nickel, lead and zinc contents of the soils along the line of the primary highway and in the main visiting areas are lower than to general monitor the datum.

4. Suggestions

- (1) The results of this study indicates the higher arsenic content of the soil in Yang Ming Shan national park are caused naturally by their igneous mother rocks, post-volcano activities, and even mineralizations, etc. Nevertheless, They were thought as pollutions over the years one investigation, fee a lot of meaningless manpower and funds in vain in inquiring after the pollution sources or thinking deeply in renovating. Therefore, the author propose the monitoring standard of arsenic content of soil in the igenous rock areas like Yang Ming Shan national park should be modified to suit to such special geological conditions.
- (2) Though this research indicates the distinguishing arsenic contents of soils in Yang Ming Shan are caused by the geological background, but the spatial relationship of arsenic content and the centers of post-volcano activities still remain to study further.
- (3) This research has already had preliminary setting-up to such background of the content of heavy metal as arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc in Yang Ming Shan. Nevertheless, the background content of mercury which is not established due to limit of funds in this study, should be study in the further.
- (4) Beside igneous rocks, there are some sedimentary rocks occurred in Yang Ming Shan national park. The author suggests the background of trace elements content in the sedimentary rocks and the their weathered soils should be study as this study to establish the database of trace elements of soils and rocks completely in Yang Ming Shan national park.

第一章 緒論

第一節 計劃緣起

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。故在近年各國倡導環保之際，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的局部污染，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母質所致，但是終究沒有一個定論。

土壤中重金屬等微量元素含量會受氣候、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。唯近期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 1-1 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。

表 1-1 各種岩石平均重金屬含量 (單位：ppm，-- 表示無資料)

| | 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) |

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，其詳細情形一直欠缺較有系統的研究與探討。

第二節 計畫主旨與目標

本研究之主旨及研究目標如下：

1. 瞭解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。
2. 如果陽明山國家公園前述調查地區土壤有重金屬含量偏高的情形，嘗試探討其成因。

3. 建立陽明山國家公園地區主要火成岩層（岩性）岩石之砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等重金屬含量背景資料庫。
4. 建立陽明山國家公園地區主要地層（岩性）化育土壤之砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等重金屬含量背景資料庫。
5. 瞭解陽明山國家公園地區岩石與土壤中上述重金屬等微量元素含量變化關係，並嘗試探討重金屬元素的遷移情形。

陽明山國家公園



第二章 研究主題背景及相關研究之檢討

第一節 土壤重金屬污染特性

一般而言，土壤受到有機物質之污染是短暫性且能夠快速揮發，而無機物質之污染則是長期性的、累積性的，尤其是重金屬的污染，因在土壤內移動性極小，不會分解消失，故能持續長久存在，不易復原，即使搬移至別處，仍然保有污染物質之性質。土壤中金屬離子之來源主要來自農業活動或是經由大氣與水之媒介而來，當重金屬過多，便會發生阻礙作物生長的情形，因此土壤污染可能造成的影響有二：一為土壤中含過多之重金屬，使作物體之生長受到影響；二為因食用吸收過多重金屬之作物體，而對人體健康造成傷害。根據研究調查指出，以口服對生物體之毒性而言，本計畫所調查之八種金屬中，砷為高度毒性(LD₅₀1~10mg/kg)，鎘、汞、鉛為中度毒性(LD₅₀100~1000mg/kg)，但鎘、汞、鉛具有較強之慢性毒，而砷、鉻、鎳則具有致癌性，鎘會引起痛痛病，汞會引起水俣病，都不可忽視。以下就本次調查之八種金屬，分別說明其在土壤中之作用、人體影響與防治方法等加以討論。

一、鋅

鋅能防止鐵件腐蝕，保護鋼材或鋼鐵製品，因此，鍍鋅是鋅在工業上的主要用途。鋅之合金已廣泛應用於各種工業用途，此外，在壓鑄、油漆、機器製造、醫藥、紡織、製革、造紙以及陶瓷工業中都廣泛使用鋅化合物。

鋅為動植物及人體所必須之微量元素。但攝入過量的鋅對人體健康亦有不利的影響，初期症狀主要侷限於胃腸道，出現嘔吐、腸功能失調和腹瀉，嚴重者可導致腸道壞死和引起潰瘍，或由於胃穿孔引起腹膜炎、休克死亡。動物實驗證明，引用水中鋅濃度為 5-20mg/L 時，可能發生癌腫。

普通土壤中最常見的總鋅濃度範圍為 10-300mg/kg，平均值在 40-100mg/kg 之間。污染土壤的鋅，主要是來自工業排放的含鋅廢水以及焙燒、冶煉過程中排入大氣的含鋅灰塵。此外，農田施用污泥也會造成土壤的鋅污染。鋅以各種形態存在於土壤中，依據鋅的結合方式可以分為：

(1)水溶態：土壤溶液中以 Zn^{2+} 、 $Zn(OH)^+$ 、 $Zn(OH)_n^{2-n}$ 和 $ZnCl^+$ 、 $ZnNO_3^+$ 、 $ZnSO_4$ 等形式存在的鋅，以及與可溶性有機質結合和螯合的鋅，可被植物直接吸收利用。

(2)交換態：位於黏土礦物或腐植質等活性土壤組成的交換位置上。

(3)有機態：與土壤有機質螯合或結合之鋅。

(4)閉蓄態：與鐵、鋁或錳的氧化物和氫氧化物結合的鋅。

(5)殘留態：存在於原生礦物和次生礦物的晶格中。

研究指出土壤剖面中鋅的分布相當一致，許多土壤因素如土壤有機質、陽離子交換當量、黏粒含量、鐵鋁錳氧化物含量、pH、 E_h 、及其他因素都會影響土壤鋅元素的轉移變化，土壤對鋅的作用包括複合、交換、吸附及脫附等作用。稻田由於淹水處呈還原狀態，硫酸鹽還原菌將硫酸鹽變成硫化氫，在這種環境下 Zn^{2+} 與 S^{2-} 有很強的親和力，土壤中的 Zn^{2+} 轉變為溶解度積小的 ZnS ，產生鋅的累積。土壤生物和植物也可通過生物化學的作用將土壤剖面深層的鋅聚集到土壤表層，土壤表層的鋅則經由淋洗作用向下遷移，使土壤剖面各土層中，五種形態的鋅不斷地相互轉化。

土壤中之有效鋅(醋酸抽出液)超過 200ppm 時，會阻礙燕麥、苜蓿、蘿蔔之生長。植物對鋅有吸收性，雖然鋅對植物之毒性低，但是在吸收累聚下，對於食用之人畜具有危害。對局部遭受鋅源污染的土壤，可考慮深翻土壤以減輕污染。在酸性土壤，鋅污染的毒性可通過施加石灰的方法，使之成為氫氧化鋅沈澱而降低活性；將土壤 pH 值提高至 6.5 以上，鋅即不易被作物所吸收。另外，施用磷肥也能減輕鋅的毒害，鋅與磷酸鹽結合成難溶的磷酸三鋅 $[Zn_3(PO_4)_2]$

二、鉛

在自然界很少發現純金屬鉛，除多以硫化物形式(如 PbS 、 $5PbS \cdot 2Pb_2S_2$ 等)存在外，還有硫酸鹽、磷酸鹽、砷酸鹽及少數氧化物。除母質、母岩風化保留在土壤中的天然來源鉛外，人類活動也可引起土壤中鉛含量升高。研究資料顯示，人類活動對鉛的區域性及全球性化學循環的影響比其他任何一種元素都明顯的多，在北極近代冰層中鉛的含量比使前期濃度高 10-100 倍，現代鉛的沈積速度也比工業革命前高 2-5 倍。特別是工業城市的土壤，鉛的污染更明顯。不少學者

先後估算了世界上土壤鉛的平均含量，可能因估算之方式及引用之數據不同，估算值有相當程度之差異，範圍在 5-35mg/kg 間。

土壤鉛多在無機化合物中以二價態存在，極少數為四價態。除此之外，土壤中含有少量有機鉛，主要來源是為充分燃燒的汽油添加劑。土壤中鉛的化合物溶解度均較低，且在遷移過程中，因(1)土壤陽離子對鉛的固定作用；(2)土壤有機質對鉛的錯合作用；(3)土壤黏土礦物對鉛的吸附作用等多種因素的影響，使鉛在土壤中的移動性相當低。

鉛是一種有毒元素，土壤中過量的鉛通過生化循環進入植物、人體後，可使生物體產生程度不同的慢性或急性中毒現象。鉛對作物的影響主要表現在作物的產量和質量：低濃度的鉛可對某些植物表現出刺激作用，而高濃度的鉛除在作物可食部份產生殘毒外，還會造成幼苗萎縮、生長緩慢、產量下降甚至欠收。依照目前的研究結果可以對土壤中鉛對作物生態影響作出粗略的估計：

- (1)植物對鉛的吸收量與土壤鉛含量呈正相關趨勢。
- (2)在作物中，大豆產量受鉛影響明顯。
- (3)蔬菜對土壤中鉛的累積作用也應予以重視。

Ralfe(1973)認為鉛只聚積在植物根系，達到相當高濃度時方輸送至葉部，這種輸導濃度大小亦隨植物種類而異。植物生長愈迅速，鉛累積在葉部之機會愈大。

過量的鉛對人體的危害主要為神經系統方面的損傷，一般認為兒童與胎兒對鉛最敏感，受害最嚴重。越來越多的研究顯示，鉛對人體的影響無閾值的存在，因此在研究鉛中毒的劑量-效應關係時，必須重視低濃度鉛攝入可能引起的遠期效應。鉛對人體的危害主要表現在下列幾方面：

- (1)小劑量的鉛吸收產生精神障礙，表現出記憶衰退、容易疲勞、頭昏、睡眠障礙等症狀。
- (2)鉛中毒可引起動脈高血壓和腎功能不全的併發症。
- (3)鉛攝入量很高時之貧血症已為臨床實驗所證實。
- (4)血液中鉛濃度達 50mg/100ml 時，增加染色體畸變率。

土壤鉛污染主要是透過空氣、水等介質形成約二次污染。加鉛汽油的使用是形成全球性鉛污染的重要原因，通過大氣傳輸、沈降形成區域性土壤鉛污染，鉛的另一個主要來源是冶礦廠或礦區的煙囪和其他設施所排放的高濃度含鉛塵

埃。此外，不合理的污水灌溉可形成灌區大面積土壤鉛污染。由於鉛在土壤中的移動性較差，外源鉛在土壤中的滯留期可達千年以上。

防治土壤鉛污染除了控制污染源外，對於已污染的土壤，尚須按照污染程度及土地利用類型，採用適當之治理措施

(1)對於嚴重污染土壤，可利用外源鉛主要分佈在表層之特點，以換土之方式有效地改善或消除鉛污染，但耗資太大，不易大面積應用。

(2)限制土地利用方式，或採用生物排污措施，種植非食用且可吸收鉛之植物，以逐漸降低土壤之污染程度。

(3)研究指出採用鈣、鎂、磷肥、熟石灰及腐植酸肥料等添加物改良污染土壤，可減少植物對鉛之吸收。

三、鉻

自然界不存在鉻之元素態，通常與二氧化矽、氧化鐵、氧化鎂等結合。Cr(II)為生物維持正常代謝所必需之元素，而Cr(VI)對細胞膜具有較強的穿透力，且氧化力較強，因此其有毒性，但對哺乳動物之毒性不高。同時，鉻的遷移能力很小，主要在土壤中累積，其防治較為容易。一般都市廢水不含鉻，鉻來自工業廢水，尤其是製革廠與電鍍廠。

鉻在自然界以不同價態出現，主要有三種氧化態：Cr(II)、Cr(III)、Cr(VI)，自然環境中的鉻主要為三價(Cr_3^+ 、 CrO_4^-)和六價(Cr_2O_7^- 、 CrO_4^-)。鉻在土壤中的遷移轉化非常複雜，既有不同價態的相互轉化，也有水-土介質中的遷移。Cr(III)進入土壤體系後主要有三個轉化過程：

- (1)與鹼基形成氫氧化物沈澱。
- (2)吸附於土壤膠體、有機質。
- (3)被土壤中的氧化錳等氧化為Cr(VI)。

而Cr(VI)進入土壤後，主要發生以下幾個轉化過程

- (1)土壤膠體吸附六價鉻，使其從溶液轉入土壤固體表面。
- (2)被土壤有機質還原成Cr(III)。
- (3)與土壤成份反應，形成難溶物。

土壤的鉻污染主要來自含鉻工業廢水的灌溉、污泥在農田中的施用、含鉻

廢渣的淋溶滲透以及化學肥料的施用等。由於鉻沿土壤剖面的遷移能力弱，因此鉻主要累積於土壤上部，地下水一般不易受污染。大多數高等植物都屬不易吸收累積鉻之類型，但草本植物之累積係數可高達 29。

鉻的缺乏或過量都將對人體和動物產生嚴重危害，當土壤中的鉻超過一定限度及土壤容量時，亦會影響土壤微生物的活動與土壤酵素活性，對動植物產生危害。鉻對土壤代謝的影響主要表現在抑制纖維素分解、呼吸作用、酵素活性、硝化作用和氨化作用等。低濃度之鉻可刺激植物生長，但過量鉻會干擾植物對其他元素的吸收和運輸，干擾植物之生長。植物鉻中毒的症狀為根部功能受損、生長變慢和葉部捲曲、褪色。高濃度鉻的危害主要是由 Cr(VI)所引起，Cr(VI)的毒性主要表現在引起呼吸道疾病、腸胃疾病及皮膚損傷等。此外，Cr(VI)由呼吸道進入時有致癌作用，通過皮膚和消化道大量攝入能造成死亡。

防治鉻污染的主要措施有

- (1)受 Cr(III)污染的酸性土壤可施用石灰解毒。
- (2)施用有機肥可顯著減輕 Cr(VI)對植物的危害。
- (3)選種適宜植物，實行水旱輪作為輕度 Cr(III)污染有效生物改良措施。

四、銅

硫是強烈的親銅元素，自然界銅主要以硫化物及含硫鹽礦物存在。世界土壤中銅約含量範圍為 2-250mg/kg 平均值約 30mg/kg。除了母質含量，銅污染的來源可能包括銅礦開採的尾礦及廢水、施用化肥或含銅農藥、都市垃圾農用等。

銅可能是土壤中性狀最為活潑多變的一種元素，能與土壤無機、有機組成相互進行化學反應，也可與硫化物、碳酸根和氫氧根以及其他陽離子形成難溶性物質，這些形態的銅化合物幾乎可以存在於任何土壤環境中。在土壤中最常見的銅離子是二價銅，同時也存在著許多種其他形態的銅離子或複合物。依據銅與土壤的結合方式可以區分為(1)水溶態；(2)交換態；(3)吸附態；(4)有機態；(5)碳酸鹽結合態；(6)氧化物包蔽態；(7)原生或次生礦物晶格中的銅(殘留態)。銅的轉移與土壤的固液相有密切關聯，影響土壤中銅轉化的因子包括：土壤 pH、有機質、鐵錳氧化物、黏土礦物、土壤質地、濕度、土壤 Eh、碳酸鈣、微生物及根系分泌物等。

急性銅中毒會對胃腸黏膜產生強烈的刺激，引起胃腸炎。長期攝取過量的銅會累積於肝臟中，當其達到一定量時，肝銅釋出進入血液，引起大量流血、黃疸等中毒症狀。此外，肝硬化與兒童肝內膽汁淤積症也與銅過量有關。對於植物而言，各種作物對土壤中銅之反應皆不同，其中以豆科植物對銅特別敏感。所幸一般植物對土壤中銅的吸收具有選擇性，即使在銅污染嚴重之地區，作物對銅之吸收仍不顯著，在植物體內之傳導性更低。這種植物對重金屬銅的抑制性吸收大為降低了土壤銅污染藉由食物鏈危害人類之機會。

土壤中累積銅量一旦達到植物毒害劑量，很少有改良的選擇，可以施用有機肥料來增加土壤中的有機質和石灰或鹼性肥料以提高土壤 pH 值，固定或形成難溶態銅來降低銅的溶解度和有效性。另一選擇是選用高忍耐性的作物，為了降低銅對人處健康的危害，宜選擇禾穀類而非蔬菜類作物，因為種子、水果中銅含量比葉片中低。

五、鎘

鎘為生物之非必要元素，其在生物圈之存在通常只為生物體帶來負面效應，在一定濃度下，對人類和其他生命體具有直接的損害作用。未污染土壤中鎘的主要來源為其成土的母質，這些母質通常由風化的岩石以及風、水和冰川活動搬運的地表物質所組成。一般而言，未污染的土壤中鎘的含量不是很高，大致在 0.01-0.7mg/kg 全球平均約為 0.05mg/kg。

鎘存在於土壤中的形態十分複雜，除了少數學者將土壤中的鎘以可溶或不可溶區分外，其他研究者一般將鎘分為七個部份：(1)可交換態鎘；(2)鐵錳氧化物結合態；(3)碳酸鹽態鎘；(4)有機態；(5)硫化物；(6)晶格態鎘；(7)可溶態鎘。

土壤中的鎘可能來自原生成因或是人為活動(污水排放、施肥及採礦、冶煉等工農業活動)，進入土壤中的鎘，很少發生向下的再遷移，因而主要累積於土壤表層。而累積於土壤表層的鎘由於降水的作用，溶解性部分隨水流動很可能發生水平的移動，進入界面土壤和附近的河流或湖泊，產生二次污染。另外，土壤中的鎘亦會經由植物的作用而發生向上的再遷移，導致植物體中鎘濃度的上升。幸運的是，進入土壤中的鎘可緩慢轉化成不溶態或植物非有效態。植物有效態鎘主要受 pH、Eh、有機質、磷酸根、陽離子交換當量、各種鎘化合物的沉降作用

和其他因子所制約。其中，土壤 pH 是影響土壤中鎘遷移和轉化的很重要因子。在酸性環境中，土壤中鎘的溶解度增大，加速了土壤中鎘的遷移和轉化；相反地，在鹼性環境中，由於鎘的溶解度減小，土壤中的鎘不易發生轉移而在原地沈積。進入植物中的鎘，主要累積於根部和葉部，很少進入果實和種子中。一般植物體中鎘的正常濃度為 0.05~1.2mg/kg 由於動物和人類的消費行為，這些鎘會通過食物鏈進行遷移和形態的轉化。

鎘非常容易被植物體所吸收，鎘與鋅具有近似之電子組態，兩者化學性質相似，在許多鋅礦中常有鎘共存。鎘與鋅不同的是，鎘對人具有極劇之毒性，此種毒性源自鎘在人體中之許多生化反應與鋅有競爭現象。許多研究資料皆顯示，土壤蒙受少量鎘污染時，所生產之各式作物都有高濃度之累聚現象，因此鎘極易藉著作物進入哺乳動物之食物鏈中。

鎘對穀類作物之毒害症狀一般類似於缺鐵的萎黃病，除此之外還有枯斑、葉子產生紅棕色斑點以及莖生長受阻等症狀。對於動物則會造成骨骼中鈣的置換而脫鈣，使骨質變形及軟化，對生長及發育均有抑制作用。對人體主要為慢性影響，表現在以下幾個方面：(1)抑制酵素之活性，干擾人體正常代謝；(2)刺激腸胃系統，致使食慾不振；(3)影響骨的鈣質代謝，使骨質軟化、變形或骨折；(4)累積於腎臟、肝臟和動脈中，導致尿蛋白症、糖尿病和水腫；(5)可能誘發骨癌、直腸癌、食道癌和腸腎癌，影響生殖系統；(6)易造成流產、新生兒殘廢和死亡；(7)導致貧血或高血壓發生。

土壤鎘污染的防治對策重點在於預防，因為進入土壤中的鎘常常累積於土壤表層，很少發生輸出遷移，也不可能如同有機物般發生降解作用。對於被鎘污染的土壤，迄今仍未發現經濟有效的改造措施，因此，控制污染源，減少鎘污染物的排放是最根本且關鍵的對策。對於鎘高背景或污染地區，目前應用的主要對策是：

(1)客土或換土，使土壤中鎘濃度下降，但此措施之經濟支出相當高。

(2)提高 pH 值使成為鹼性土壤，使鎘不易溶出，例如加入石灰性物質，形成 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 沈澱，主要應用於旱田。

(3)大量施用還原促進劑(如堆肥、雞糞等)，使鎘生成 CdS 沈澱。

(4)加入磷酸鹽類物質(如磷酸鈣，生成磷酸鎘)，使鎘易於沈澱，在水田條件下最為重要。

- (5) 種植植物以吸收污染土壤中的鎘。
- (6) 反耕轉(50公分)，將表土含鎘量高之土壤與裡土相置換。
- (7) 長期灌水處理，使土壤呈還原狀態，有利於鎘之沈澱。

六、鎳

鎳能與許多有機配位基形成穩定的化合物，同時在很小的程度上能與自然界的無機配位基形成化合物，其結合的順序為 $\text{OH}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NH}_3$ 。在正常條件下，鎳一般以零價或二價氧化態存在。在世界各各地區土壤中鎳的含量差異很大，一般認為土壤中的鎳含量範圍在 5-500ppm，平均值約在 20-50ppm 之間。

與其他微量元素一樣，土壤中固體形態的鎳可以多種化學形態存在，可以存在於可交換或吸附位置上，可吸附在鐵鋁氧化物上，也可以固定在黏土礦物的晶格中，有時還可以固定在有機殘留物和微生物體內。土壤溶液中的鎳可以以無機狀態存在，也可與有機配位基或無機配位基形成複合物存在。

研究發現，低濃度的鎳($\leq 10\text{ppm}$)主要通過吸附作用保留在土壤中，影響土壤對鎳吸附作用的因素有：CEC、pH、土壤結構、碳酸鹽含量、土壤有機質、鐵鋁氧化物、螯合物等。由於鎳在相當大的 pH 範圍都呈穩定狀態，因而二價鎳為大部分土壤中均存在的一種型式。鎳很容易與各種有機或無機配位基相結合，通常，鎳的鹵化物和含有酸化配位基的鹽類可溶於水，而碳酸鹽幾乎不溶於水。

適量的鎳有利於植物的生長，通常，植物組織中鎳的濃度超過 50ppm(乾重)時，植物便會受到損害，並出現中毒症狀。由鎳的過剩所引發的毒性反應主要由兩部份構成：(1)因缺鐵引起的褪綠病；(2)金屬本身特有的反應。典型的症狀是葉片發黃後出現植物葉片壞死，其他症狀包括阻礙植物的發芽和抑制根莖的生長，部份植物畸形，出現異常斑點，最嚴重的可導致整株壞死。鎳對哺乳動物之毒性低，因此即使生長於嚴重鎳污染區之作物被食用，亦很少呈毒害。

鎳污染土壤之防治對策有

- (1) 加入磷酸鹽使形成難溶性之磷酸鎳。
- (2) 加入矽酸鹽形成難溶之矽酸鎳。

七、砷

人類對砷的認識已有很長的歷史，但關於砷對環境的污染及對人體健康的影響還是由於近幾十年來，砷化物已成為一常見的重要環境污染物，引起作物減產，人畜中毒，才日益受到人們的關注。由於砷廣泛應用於建材、化工、製藥等部門，是玻璃、木材、製革、顏料、製藥，以及含砷農藥殺蟲劑或除草劑等製造業的重要原料，隨著砷化物的開採、冶煉、製造和運用，大量砷進入環境，造成砷污染及對生物的危害。

土壤中適量的砷可刺激作物生長，但砷含量過高時，會引起植物吸收過量的砷而損害。受害作物一般表現為捲葉、枯萎、生長抑制、甚至死亡。對水稻的研究發現，水稻的空殼率隨土壤含砷量的增加而增加，土壤中的砷被水稻吸收後會分布於整個植株之中，其中以根部為最多，莖葉次之，穀粒為最少。糙米中砷含量會隨土壤含砷量的增加而增加，但不易超過 2ppm，此乃由於當土壤中之砷濃度可使糙米中之砷含量超過 2ppm 時，其量足以使水稻達到 100% 空殼率。

人體接觸或服用過量的砷可發生砷的急、慢性中毒。急性砷中毒主要表現有嘔吐、腹痛、頭痛及神經痛，甚至昏迷，嚴重者可發生心肌衰竭而死亡。慢性中毒表現為食慾減退、肌肉無力、皮膚角質化，出現皮疹或皮膚潰瘍。在神經系統方面表現為多發性神經炎，如肢體感覺遲鈍、麻木、刺痛，嚴重者表現行動困難、運動失調，四肢末端麻木乃至失去知覺。長期攝入大量砷，可引起皮膚癌。砷在世界土壤中的含量，一般為 0.1~58mg/kg，平均值為 6mg/kg。土壤中的砷，主要可分為：

(1)離子吸附態：被土壤膠體吸附的部分，也是易被水溶解的部分，一般土壤中含量少。

(2)離子結合態：被土壤吸附並與鐵、鋁、鈣等離子結合成複雜的難溶性化合物，這部份砷為非水溶解性，其中已固定態砷為主，交換態砷較少。

(3)砷酸鹽或亞砷酸鹽態：一般土壤中砷常以+5 價或+3 價形成砷酸鹽或亞砷酸鹽而存在，在旱地土壤或乾土中以砷酸為主，而水淹沒狀態下，隨著 Eh 的降低，亞砷酸鹽增加。

(4)有機結合態：在大多數土壤中，砷主要以無機態存在，但在某些森林土壤中，無機砷僅占總砷的 30%~40%，說明有相當多的砷是有機結合態的，許多

土壤中可能存在甲基砷。

(5)氣態：土壤中的砷可能因化學或微生物的作用成為氣態而遷移。

減輕受污染土壤的砷害，一般採取下列措施：

(1)提高土壤對砷的吸附能力--施加砷的吸附劑，促使土壤對砷的吸附，減少植物對砷的吸收。如旱田使用堆肥、在土壤中加入鐵或鋁等，都可提高土壤吸附砷的能力，減少砷的危害。

(2)提高土壤固定砷的能力--在土壤中施加硫粉，降低土壤 pH 值，加強土壤排水。採用畦田耕作，促進土壤通氣，提高土壤 Eh，均能提高土壤固砷能力，降低砷之活性。

(3)使砷形成不溶性物質沈澱--如施用 $MgCl_2$ ，可形成 $Mg(NH_4)AsO_4$ 沈澱。

(4)施用抗砷害物質--如施用磷，由於磷與砷有拮抗作用，兩者共存可減少砷害。

(5)施用客土、深耕，稀釋土壤中砷含量。

(6)減少並阻止砷由工業或農業途徑進入環境中，並謹慎使用含砷農藥。

(7)將砷甲基化可大量減低毒性，通常可利用微生物法。

(8)應避免施用過多磷肥而降低砷在土壤中之固定性。

上述措施在實際應用中各有利弊，應根據不同土壤及其環境條件綜合分析，採用適當的方法，才能有效控制土壤砷害。

八、汞

汞的用途相當廣泛，應用於工業、農業、科學技術、交通運輸以及醫藥衛生等領域。在汞的開採、冶煉及工農業生產活動中，汞可以通過大氣沈降、廢水排放、農藥施用等過程直接或間接地進入土壤中，當達到一定量時，引起土壤污染，對環境及人體構成危害"全球土壤的汞含量範圍在 0.03~0.3mg/kg 之間，平均值約為 0.03-0.1mg/kg。土壤中的汞依其化學形態可分為：

(1)金屬汞：汞能以零價狀態存在是土壤中汞的重要特點。土壤中金屬汞的含量甚微，但很活潑，在土壤中可以揮發，且其速率隨溫度而增加。土壤中之金屬汞可被植物根系吸收，也可被植物葉片吸收。

(2)無機化合態汞：包括 $HgCl_2$ 、 $HgCl_3^-$ 、 $HgCl_4^{2-}$ 、 $Hg(OH)_2$ 、 $Hg(OH)_3^-$ 、 $HgSO_4$ 、

HgHPO₄、Hg 和 HgS 等，其中 HgCl₂ 是較易被植物吸收利用的物種。

(3)有機化態汞；如甲基汞、乙基汞等有機汞和有機複合汞普遍存在土壤中，以甲基汞形式存在的汞易被植物吸收，通過食物鏈在生物體逐漸濃縮，而且毒性較大，對生物和人體造成危害。土壤中的腐植質與汞結合形成的複合物則不易被作物吸收。

汞進入土壤後，有 95% 上的汞能迅速被土壤吸附或固定，主要是土壤中的黏土礦物和有機質對汞具有強烈的吸附作用。土壤中吸附的汞一般累積在表層，並隨著土壤深度的增加而遞減。表層汞的累積，一方面是進入土壤中的汞首先被表層吸附阻留，另一方面表層土中有機質含量多，汞與有機質結合成整合物，使汞不易向下層移動。

影響汞遷移的主要因素是土壤有機質含量、氧化還原條件、pH 值等。汞是親腐植質的，通過生物循環與腐植質層的形成，汞可在土壤上層累積。腐植質含量高的土壤，汞易於累積，抑制了汞的遷移。當土壤處於還原條件時，二價汞被還原成金屬汞，可揮發進入大氣環境中。在淹水的還原條件下，汞可以部分地轉化為可溶性一甲基汞或氣態二甲基汞，汞的生物遷移能力增強，使植物生長更易受傷害。相反地，在氧化條件下，汞可以以任何形態穩定存在，移動性減弱，作物難以吸收土壤中的汞。在酸性環境中，汞的溶解度增大，也會加速其遷移。

汞化合物會經由食物鏈濃縮放大。無基汞鹽引起的急性中毒，主要表現為急性胃腸炎症狀，如噁心、嘔吐、上腹疼痛及腹痛、腹瀉等。慢性中毒主要表現為多夢、失眠、易興奮等，還有手指震顫。汞的毒性以有機化合物毒性最大，日本水俣病的致病物質即為甲基汞。甲基汞有較高的化學穩定性，極易被腸道黏膜吸收(80%以上)，當攝取量超過排出量時，就會在體內累積。甲基汞一旦進入腦組織，衰減非常緩慢，可引起神經系統的損傷及運動的失調等，嚴重時瘋狂痙攣致死。甲基汞還能通過胎盤對胎兒產生較大毒性。

消除或減輕汞污染，降低對作物和人的毒害作用，可採用以下防治措施：

- (1)嚴格控制灌溉和施肥時所採用的污水和污泥中的汞含量。
- (2)施用石灰-硫黃合劑，降低作物對土壤的吸收。
- (3)利用石灰中和土壤的 pH 值至 6.5 以上，形成不溶性的碳酸鹽和氫氧化物，降低植物根部對汞的吸收。
- (4)施入硝酸鹽，可減輕土壤內汞化合物的甲基化過程。

(5)水田改旱田，可提高土壤的自淨能力。

第二節 大屯火山群火山地質概述

陽明山國家公園位於台灣北部著名的大屯火山群地質區內，園區內的許多重要的特殊景觀與遊憩資源，均與這個火山群的演化與火山地質作用有著息息相關，密不可分的淵源。

大屯火山群位於台灣的最北端，陳正宏(1990)在台灣的火成岩一書中，曾就此地區的火成岩做一綜合性的介紹，茲主要引述其資料如後。大屯火山群是一個由二十餘座大小不等的火山及火山丘所構成的地質單元，與台灣北部一大片由沉積岩組成的地質環境截然不同，這個區域所有相關的火山體統稱為大屯火山群，其分佈範圍大致以崁腳斷層、淡水河及北部海岸線所包絡者為界(圖 2-1 和 2-2)。本火山群實為研究台灣地區火山岩啟始之地，因此已經累積不少的資料，其中 Ku et al.(1968)製作了一幅全區二萬五千分之一的地質圖，迄今仍廣受引用。

根據地理位置及岩性之分佈，大屯火山群自西向東大致可分成六個亞群，其名稱及所包含之火山體如下：

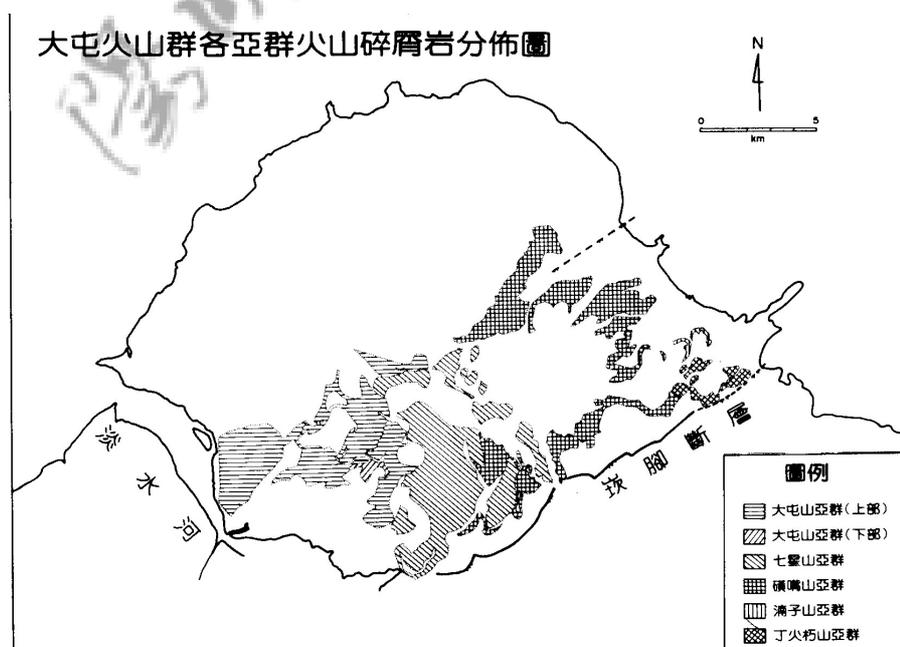


圖 2-1 大屯火山群各亞群火山碎屑岩分佈圖(摘自王文祥，1999)

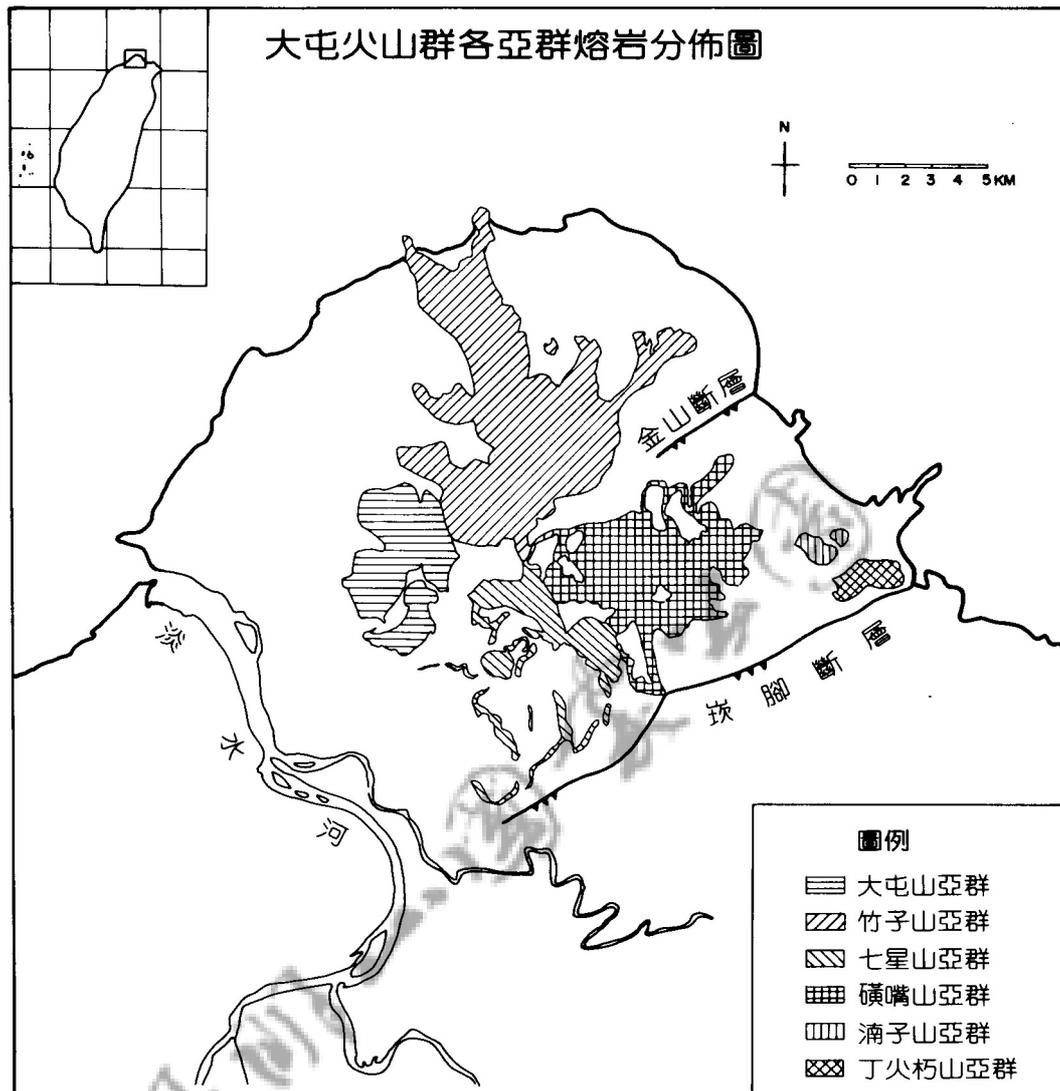


圖 2-2 大屯山各亞群熔岩分佈圖

- (1)大屯山亞群：大屯山、南大屯山、面天山、燒庚寮、菜公坑山、烘爐山。
- (2)竹子山亞群：竹子山、小觀音山。
- (3)七星山亞群：七星山、紗帽山、內寮山、七股山。
- (4)磺嘴山亞群：磺嘴山、大尖山、荖寮湖山、八煙山、大尖後山、鹿掘呼山、冬瓜山、南勢山。
- (5)湳子山亞群：八斗子山、湳子山。
- (6)丁火朽山亞群：丁火朽山。

這些亞群分由各個不同時代之火山碎屑岩及安山質(少部分為玄武質)熔岩所組成，座落在中新世之沉積岩層之上，並且覆蓋了金山斷層(圖 2-3)。實際上

火山體分佈在此一斷層的兩側，推測火山活動與斷層活動可能有關聯(Yen et al.,1984)。

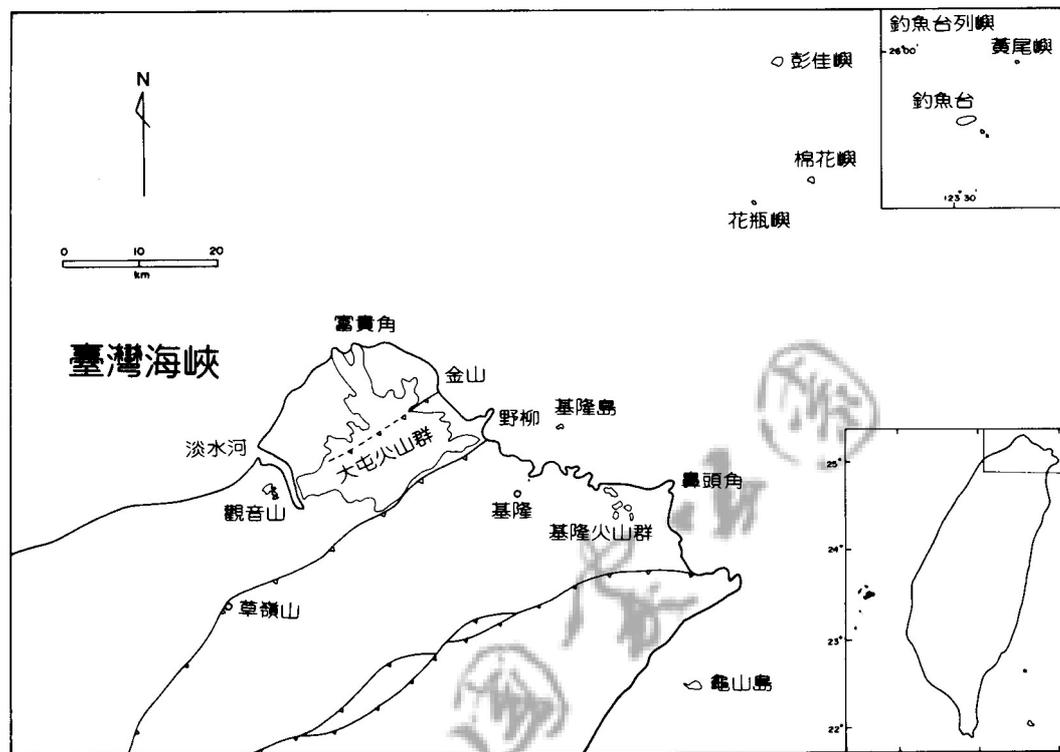


圖 2-3 北部岩區火成岩分佈圖

本區的火山多屬層狀火山，亦即各主要火山體之中常有火山碎屑岩與火山熔岩交互出現，不僅如此，各亞群的火山岩也彼此交錯，使得火山體的結構十分複雜。本區多數的火山碎屑岩厚度約在數公尺至十餘公尺之間，顯示火山初期的噴發並不很劇烈，而火山熔岩之厚度則由十公尺到數百公尺，因此後續供應之岩漿相當豐沛；不論碎屑岩或熔岩常可發現受硫氣或熱液的影響產生強烈的換質。

一、火山碎屑岩

一般而言，火山開始噴發以前，其下的岩漿庫即不斷接受因高溫產生的揮發物，隨著含量的增加其蒸汽壓也增大，當壓力增大到圍岩不能承受的程度，即會產生火山爆發。爆發時蓋岩或部分岩漿常被炸開四射，形成火山彈或火山礫，同時釋出的能量形成蕈狀噴發柱，攜帶各種大小的岩石碎塊或碎粒至高空，當噴發的能量衰減時，常在順風的火山坡地形成各種型態的堆積層，諸如彈落堆積(fall deposits)，火山碎屑岩流(pyroclastic flow)或火山碎屑湧浪(pyroclastic surge)，

其詳細形成之機制請參閱 Walker(1983)的說明。

大屯火山群中火山碎屑岩的分佈甚廣，過去的文獻對大屯火山群有所謂「下部凝灰角礫岩層」及「上部凝灰角礫岩層」遍存於各亞群之中(如 Chen and Wu,1971；蔡博富，1985)。王文祥(1989)依據野外的觀察，所含岩塊的岩性及定年結果認為火山碎屑岩可以區分為八層，其中兩層屬於「下部凝灰角礫岩層」，其它六層對應於「上部凝灰角礫岩層」。這些火山碎屑岩依亞群分類之分佈情形如圖 2-1，屬於「下部凝灰角礫岩層」的兩層火山碎屑岩，其一位於大屯山亞群的最底部，此層中的岩塊，除了安山岩之外亦含有許多砂岩，安山岩塊為兩輝安山岩，以核飛跡定年法測定為 $2.53\pm 0.39\text{Ma}$ 。另一層則分佈極廣，位於磺嘴山，湳子山和丁火朽山三個亞群之下，所夾的岩塊主要為兩輝角閃石安山岩，但有些岩塊中發現有橄欖石或黑雲母，此層定年結果為 $2.77\pm 0.20\text{Ma}$ 。

屬於「上部凝灰角礫岩層」之六層火山碎屑岩中，有兩層在大屯山亞群，其它各在竹子山、七星山、湳子山和丁火朽山亞群。大屯山亞群所屬的兩層，位於下部者主要有三種岩塊，即橄欖石兩輝安山岩、兩輝安山岩及黑雲母兩輝安山岩，定年結果為 0.67 ± 0.09 至 $0.62\pm 0.09\text{Ma}$ 。位於上部者，所含的岩塊主要為含角閃石兩輝安山岩，惟斑晶較少並常夾有"富含角閃石團塊"。此層雖然沒有定年之報導，但與下部者不僅有一層熔岩相隔，而且岩塊之岩性亦不相同，故足以稱為獨立之一層火山碎屑岩。

位於竹子山亞群的火山碎屑岩，岩基以斜長石、普通輝石和紫蘇輝石晶體為主，岩屑或岩塊較少，另玻璃質物約佔 20%，定年結果為 $0.73\pm 0.09\text{Ma}$ 。位於七星山亞群者可分為連續的上下兩部分，上部為細粒的湧浪堆積物，岩塊大部分為合紫蘇輝石之角閃石安山岩，下部為火山碎屑岩流堆積層，岩塊主要為紫蘇輝石角閃石安山岩。兩者含為整個大屯火山群中露頭最多也最完整的一層火山碎屑岩，定年結果為 0.56 ± 0.08 至 $0.48\pm 0.06\text{Ma}$ 。

屬於湳子山亞群的火山碎屑岩，岩基中主要含兩輝角閃石安山岩岩塊，其中的角閃石呈橄欖綠色，顯與本火山群其它岩石所含者不同，故為特徵，定年結果為 $0.65\pm 0.09\text{Ma}$ 。至於丁火朽山亞群者，岩塊與本亞群之熔岩岩性相近，因受到極為強烈的硫氣作用，無法得到確實的定年。

雖說大屯火山群可分為六個亞群，但是每個火山體的岩石層序往往卻包含了不止一個亞群的噴發物，大磺嘴地區出露的剖面就顯示如此之結果。大磺嘴附

近主要的火山岩層序由下而上是中新世基盤沉積岩→碎屑岩流(下部凝灰角礫岩)→安山岩(大磺嘴熔岩)→碎屑岩流(上部凝灰角礫岩)→安山岩(紗帽山主體)，其層序上下之關係繪出如圖 2-4。

依碎屑岩流中所含的岩塊分佈情況，推測下部凝灰角礫岩應是源自大屯山火山體最初始之噴發($2.53\pm 0.39\text{Ma}$)，並且直接覆蓋在中新世基盤岩石上；再上面的大磺嘴熔岩可追蹤到大屯山主體，所以這一層熔岩是大屯山主宰之產物，惜其年代以核飛跡定年法並未成功；另外，此處所看到的上部凝灰角礫岩係位於紗帽山熔岩體之下，與大磺嘴兩輝安山岩的岩性相同，表示屬於同一期的噴發物 ($0.65\pm 0.11\sim 0.62\pm 0.09\text{Ma}$)，因此可論斷本地區至少經過三次的噴發堆積，前兩次是源自大屯山主峰，第三次來自紗帽山，也就是涵蓋了大屯山和七星山兩亞群的噴出物。

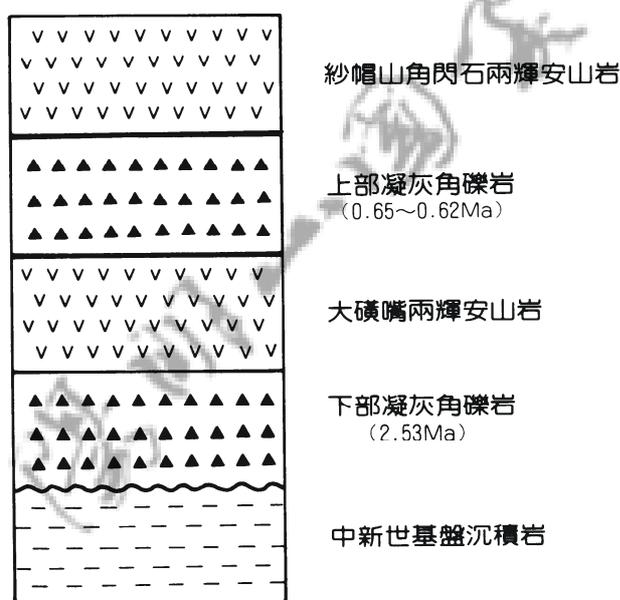


圖 2-4 大磺嘴附近的地質剖面柱狀圖

二、火山熔岩

與火山碎屑岩相比較，大屯火山群之各種火山熔岩就有較多的研究報告，其中尤以 Chen and Wu(1971)所描述者最為詳盡，共分成十四種不同的岩石類型。根據所含鐵鎂礦物之種類和相對比例，Chen(1975, 1978)將本區之熔岩簡化分成六大類，即高鋁玄武岩、兩輝安山岩、含橄欖石兩輝安山岩、含角閃石兩輝安山岩、紫蘇輝石角閃石安山岩以及角閃石安山岩。大屯火山群依各亞群所繪製

之熔岩分佈圖如圖 2-2。

高鋁玄武岩首為 Juan et al.(1963)所提出，特指玄武質岩其氧化鋁成分大於 17%，此種岩石僅發現在大屯山亞群所屬的烘爐山。岩中主要的斑晶為橄欖石 ($Fe_{74}\sim Fe_{66}$)，斜輝石和斜長石 ($An_{92}\sim An_{78}$)，但不含紫蘇輝石，這一點與本區中之其它安山岩不同。石基中有橄欖石 (Fe_{61})、斜輝石、斜長石和磁鐵礦。

兩輝安山岩為本區最主要的岩石，顧名思義斑晶均含斜輝石和直輝石，但有時亦含有橄欖石或角閃石，這類岩石主要之分佈區域為南大屯山、面天山、竹子山底部、小觀音山、七星山、內寮山，磺嘴山等地。橄欖石大部分被發現於磺嘴山，少部分在紗帽山底部，成分為 $Fe_{82}\sim Fe_{75}$ ；角閃石則大多存於小觀音山，但磺嘴山亦有之，多屬鈉閃石或鎂閃石。斜輝石以普通輝石居多，直輝石為紫蘇輝石 ($En_{74}\sim En_{67}$)，斜長石鈣含量比在高鋁玄武岩中低，成分為 $An_{86}\sim An_{63}$ 。石基主為斜輝石、斜長石和磁鐵礦 ($Usp_{24}\sim Usp_{16}$)，有些地區(如竹子山底部者)含有許多玻璃質物。

紫蘇輝石角閃石安山岩中斜輝石之含量變得很少，只偶而出現，主要分佈地區為大屯山、紗帽山和庚子坪頂。斑晶中之紫蘇輝石成分為 $En_{74}\sim En_{66}$ ，角閃石亦多屬鈉閃石或鎂閃石，但常有明顯的反應邊緣，斜長石之環帶分佈很明顯，整體說來成分從 $An_{91}\sim An_{52}$ ，但大部分屬拉長石。石基主為斜長石和磁鐵礦 ($Usp_{30}\sim Usp_{20}$)。

角閃石安山岩分佈地區為菜公坑山、芝山巖、大尖後出、五指山、荖寮湖山、八斗子山、滿子山和丁火朽山。此種岩石之中，以角閃石為主要鐵鎂質斑晶，輝石次之，有些地區尚伴隨有少量的黑雲母；斜長石仍為含量最豐富的礦物，大多數成分為 $An_{84}\sim An_{51}$ ，但有少數可達 An_{90} 以上。石基亦主為斜長石和磁鐵礦。

整個大屯火山群在火山岩之年代方面，近幾年先後已有以鉀-氬法 (Juang and Bellon, 1984; Richard et al., 1986; 莊文星與陳汝勤, 1989) 及核飛跡法 (劉聰桂, 1982; Liu et al., 1986) 之初步定年資料，已知噴發時代約自 2.6 至 0.4Ma，但仍有許多火山體未能逐一定出年代。最近王文祥 (1989) 再以核飛跡法訂定了三十四個火山熔岩及碎屑岩的標本，並配合各亞群之岩層關係，描繪出整個大屯火山群的火山噴發順序和岩層架構如圖 2-5。

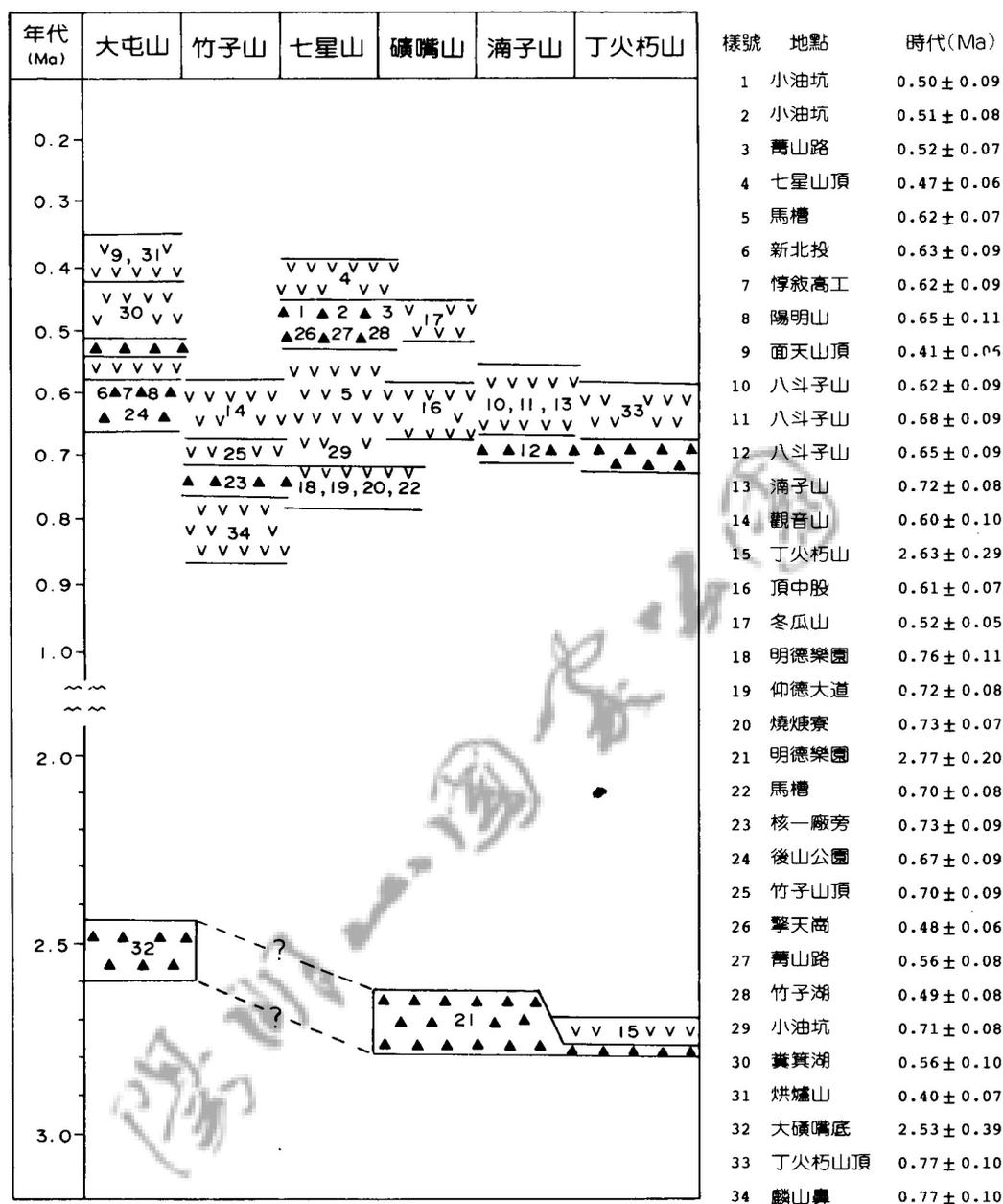


圖 2-5 大屯火山群各亞群熔岩(鈎狀圖案)和碎屑岩屑(實心三角形圖案)之定年結果(改編自王文祥，1989)

由上述定年資料可知，大屯火山群主要之火山活動大體上可分成兩個階段，第一階段大約在 2.8Ma 左右開始，原始的丁火朽山先有強烈的噴發，造成大量火山碎屑岩的堆積，接續流出約 50 米厚的安山岩流。在 2.5Ma 時原始的大屯山亦有噴發，構成大磺嘴底部的火山碎屑岩。因此這一階段的噴發以大量的火山碎屑岩為主，分佈區域亦廣，被稱為「下部凝灰角礫岩層」。

此後大屯火山群寂靜了一段時間，至 0.8Ma 方再開始有第二階段的火山活動，最先造成竹子山亞群底部相當厚層且分佈極廣的熔岩流，代表性岩石為富貴

角及麟山鼻的深色兩輝安山岩。在 0.7Ma 左右，大屯火山群之火山活動最旺盛，幾乎是所有的亞群都有噴發；古地磁研究亦指示在 0.73Ma 開始最新期的磁極世代，至少有三個亞群(大屯山、七星山和丁火朽山)同時有熔岩流出(蔡博富，1985)。然而在 0.6 到 0.5Ma 時火山活動銳減，只留下七星山和大屯山兩亞群繼續噴發，0.5Ma 以後則為大屯山亞群所屬的烘爐山和面天山兩處，可能是延續大屯山的活動形成火山丘，約到了 0.35Ma 整個火山群的火山活動便趨停止。有關其更詳細的噴發活動史，請參閱楊金臻(1989)的報導。

第三節 母岩與土壤重金屬等微量元素之關係

土壤中砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅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。故在近年各國倡導環保之際，土壤污染防治亦成為重要之課題。然而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』。

土壤中重金屬等微量元素含量會受氣候、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，其結果均明顯指示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。唯近期國內關於土壤重金屬污染或基礎調查，均未考慮此項重要的地質因素。本文將探討火成岩、沈積岩及變質岩等不同岩性岩石，和各種地質作用及構造對其所化育土壤之重金屬等微量元素含量的影響。

一、岩石之微量元素含量

(1) 岩漿演化與元素含量之變化

火成岩為地球最原始之岩石，它是由熔融的岩漿冷凝而成，雖然地球原始

岩漿的性質大致接近，但由於岩漿分異作用(Magmatic differentiation)會形成各種不同類型的火成岩，而各種火成岩之礦物與化學特性差異很大。

例如岩漿分異作用早期形成的基性或超基性火成岩（如橄欖岩、輝長岩、玄武岩等），含較多的橄欖石、輝石、角閃石等鐵鎂礦物，岩石中除了鐵、鎂含量較高之外，一般亦含較高量的鎳、鈷、鉻等相關元素（表 2-1）。而岩漿分異作用末期形成的岩漿或岩石（如安山岩、正長岩、花崗岩等），一般較偏中性與酸性，二氧化矽含量較高，礦物成分含較多之長石、石英、雲母，化學成分則通常較基性火成岩含較多之鉀、鈉、鋁等元素。例如根據陳正宏(1990)的資料指出，臺灣大屯火山地區的安山岩含鉻為 13-74ppm，含鎳 12-38ppm，然而台灣東部蛇綠岩系的基性至超基性火成岩含鉻可高達 90-313ppm，而含鎳亦達 219-434ppm。顯示不同火成岩的微量元素含量變化很大。

表 2-1 各種岩石平均重金屬含量 (單位：ppm，-- 表示無資料)

| | 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) |
| 南港層頁岩 | <4 | <0.4 | 60 | 20 | -- | 32 | 16 | 74 | (余炳盛, 1994) |
| 砂岩 | 1 | ~0.1 | 35 | ~10 | 0.03 | 2 | 7 | 16 | (Krauskopf, 1979) |
| 南港層砂岩 | ~5 | <0.4 | 38 | 8 | -- | 23 | 10 | 44 | (余炳盛, 1994) |
| 深海底泥 | 13 | 0.42 | 90 | 250 | ~1 | 225 | 80 | 165 | (Siegel, 1974) |

(2) 不同岩性之微量元素含量差異

除了火成岩之外，地球上另外兩大類岩石分別為沈積岩和變質岩。岩石的種類不同，其微量元素的含量亦有差異（表 2-1）。

火成岩及地表之其他岩石經由風化作用，會形成沈積物及沈積岩。地表岩石的風化作用可分為物理風化作用與化學風化作用，物理風化作用主要使物體顆粒變細，可是並沒有顯著的化學成分改變，而化學風化作用可以使岩石發生化學分解，使岩石的化學成分或礦物成分產生變化。由於各種礦物抗風化作用的強度不同，而各元素的溶解度差異亦大，所以形成沈積物的礦物或化學組成也有顯著的不同。砂岩中通常會殘存較多常溫常壓下安定的石英，其化學組成的微量元素含量較低，而頁岩、泥岩等泥質岩石因為黏土礦物和有機物的吸附作用，一般微量元素的含量較高（表 2-1）。

變質岩是岩石受外界溫度、壓力、或化學環境變化而使原來岩石中的礦物成分、岩理或結構發生變化而成的岩石。在上述變質過程中，岩石若沒有與外界進行離子交換，其化學成分或微量元素含量通常與變質前的原始母岩類似。

一般而言，火成岩微量元素含量較沈積岩為高，例如鎳在超基性岩中的平均含量可達 2000ppm，為砂岩平均含量 2ppm 的一千倍。而沈積岩中頁岩微量元素一般又較砂岩高，例如頁岩平均含鈷 19ppm，為砂岩平均含量 0.3ppm 的 60 倍左右。而由不同母岩形成之土壤，其微量元素含量自然有異。

(3) 礦化等地質構造與元素含量異常

自然界的元素或礦物質，經由岩漿或其他溶液的沈澱、凝結、或氣化等作用，或地表岩石經由風化侵蝕後，成為碎屑，再經過重力分離、沈積作用、或生物作用等，可聚積形成各種礦床資源，供人類開採利用。

而所謂的礦床（礦體）便是某些元素（礦物質）在局部地區的含量因上述礦化作用而高達一定的程度，使得經由開採、冶鍊、與行銷之後仍具有經濟價值，如果該元素（礦物質）的含量不高，便不能成為礦體。例如銅礦而言，它的岩石通常含銅需達 1~2%（10,000~20,000ppm）以上，鉛礦床通常岩石含鉛需在數個百分比以上，例如加拿大 Sullivan 礦的礦石含鉛達 6.6%(66,000ppm)，水銀礦床含汞的平均開採品位達 4.8Lb/Ton(約為 0.25%或 2,500ppm)以上等等(Jensen and Bateman, 1985)。可見各種礦體內的該種元素含量必定是非常的高。

然而，礦體內除了主要礦物元素聚集之外，也常伴生其他礦物及元素的富集。例如黃金礦床內，除了含較高的黃金以外，也常含有異常高量的銀、銅、汞、鉛、鋅、砷、銻、錫等元素。以金瓜石為例，黃金礦體內部的岩石含銀可達 384ppm，含砷可達 99999ppm，含鎘可達 1.8ppm，含銅可達 7433ppm，含汞可達 300ppm，含鉛可達 3178ppm，含銻可達 31230ppm，含錫可達 3695ppm 等(余炳盛, 1994)。由此可知，礦化地帶岩石中各種微量元素含量通常更是異常的高。

二、岩石風化與土壤的化育

堅硬的岩石發育至鬆軟的土壤必須經過下面兩個階段：(一) 岩石的風化作用，以及 (二) 成土作用。岩石的風化作用又可分為物理風化與化學風化兩種。物理風化作用為岩石受機械作用崩潰，岩石由大塊變為小粒，然而其成分與原來母岩相同，不發生任何成分之改變。化學風化作用亦即分解作用，不僅使岩石結構發生破壞散開，且會改變化學與礦物種類。化學風化作用可包括兩種現象，一為原來的礦物質消失，例如角閃石、長石、雲母、石英等原生礦物之消失，變為較簡單的化合物，另一則為原生礦物分解而成次生礦物，例如形成高嶺石、伊萊石、蒙特石、蛭石等黏土礦物，以構成土壤中最細的土粒。成土作用則包括生物化學的風化作用和土層分化作用。生物化學的風化作用為土壤微生物活動所產生的有機酸等物質或動物搬移翻動之影響，與風化岩屑物質充分混合，會加速岩屑物質更進一步風化為更小更鬆軟的土質。而土層分化作用乃由於雨水的下滲，會使物質在土層中重新移動或沈澱聚積，而造成土壤的分層，在發育成熟的土壤，土壤剖面層序較為清楚。

土壤中黏土礦物的種類與含量，隨著風化程度有別，例如在年輕土壤中常以石英、長石、雲母等原生礦物為主，隨著風化程度之加深，在母岩風化為成熟土或老年土的過程中，黏土礦物的種類會則由伊萊石為主，逐漸變為蒙特石、高嶺石或鐵鋁氧化物等次生礦物為主，土壤風化過程中之化學變化如圖 2-6 所示(王一雄, 1997)

根據台灣地區黏土礦床的調查研究顯示(經濟部礦業司, 1988)，台灣的土壤所含之礦物成分以黏土礦物之伊萊石為主，綠泥石、蒙特石及高嶺石等次之，一般土壤中亦常見石英、雲母等原生礦物，顯示台灣地區土壤之化育年齡較為年

輕。因而台灣土壤的性質應該會受母岩性質的影響。

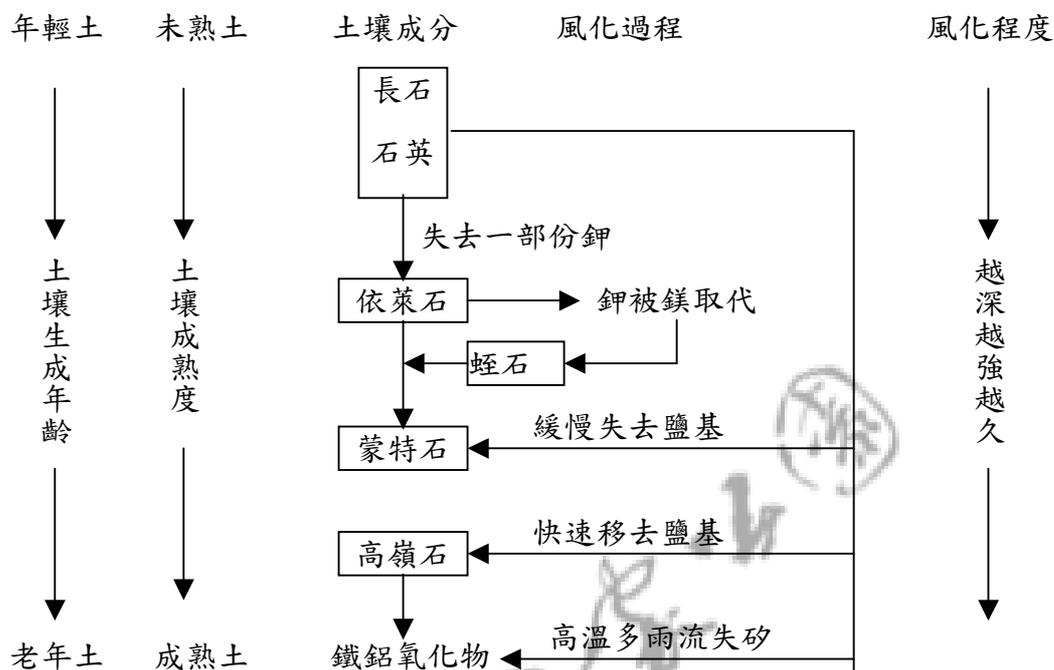


圖 2-6 土壤化育程度與礦物之關係(王一雄, 1997)

表 2-2 台灣北部不同母岩之土壤的微量元素含量

| | 樣品編號 | 銅(ppm) | 鋅(ppm) | 汞(ppb) |
|-------|------|--------|--------|--------|
| 安山岩母岩 | S1 | 93.4 | 66.5 | 204 |
| | S2 | 51.9 | 66.2 | 56 |
| | S17 | 81.2 | 57.1 | 557 |
| | S18 | 95.2 | 40.9 | 42 |
| 砂岩母岩 | S5 | 11.2 | 30.7 | 93 |
| | S6 | 15.3 | 56.9 | 57 |
| | S15 | 10.8 | 47.8 | 37 |
| 頁岩母岩 | S7 | 60.1 | 187.4 | 925 |
| | S8 | 34.9 | 100.6 | 83 |

三、母岩與土壤微量元素含量

(1)不同岩性與土壤微量元素之關係

在年輕的土壤或風化較弱地區的土壤，其微量元素會受母岩性質影響，如前所述，各種不同岩石的微量元素含量差異頗大，所以由其風化而成的土壤，所含的微量元素亦會不同。以筆者研究台灣北部岩石與土壤微量元素含量為例，其初步結果如表 2-2 所示，安山岩化育的土壤明顯含較高的銅，最高可達 95ppm，頁岩的土壤則含鋅較高，目前資料最高的含量為 187.4ppm，汞則大致以頁岩和火成岩的土壤含量較多，S7 樣品之汞含量高達 925ppb，而 S17 樣品也高達 557ppb。砂岩化育的土壤微量元素含量大致都較少。不同岩性所化育的土壤，顯示微量元素含量是有所差異。

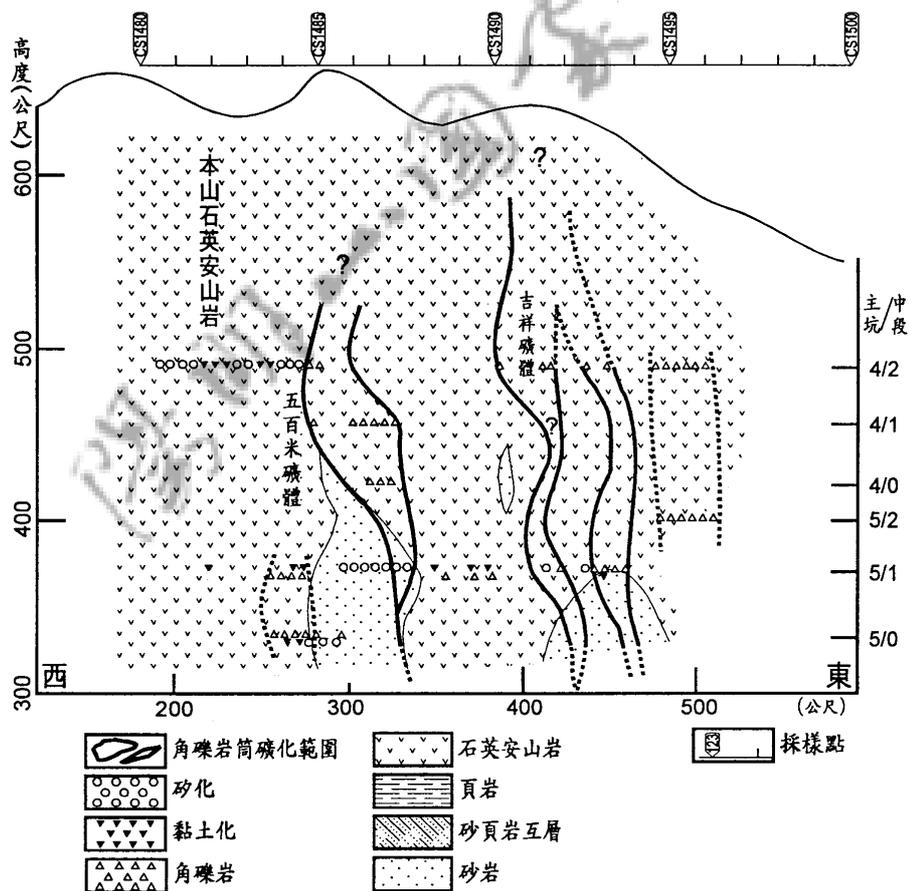


圖 2-7 金瓜石粗石山地區土 採樣測線剖面圖

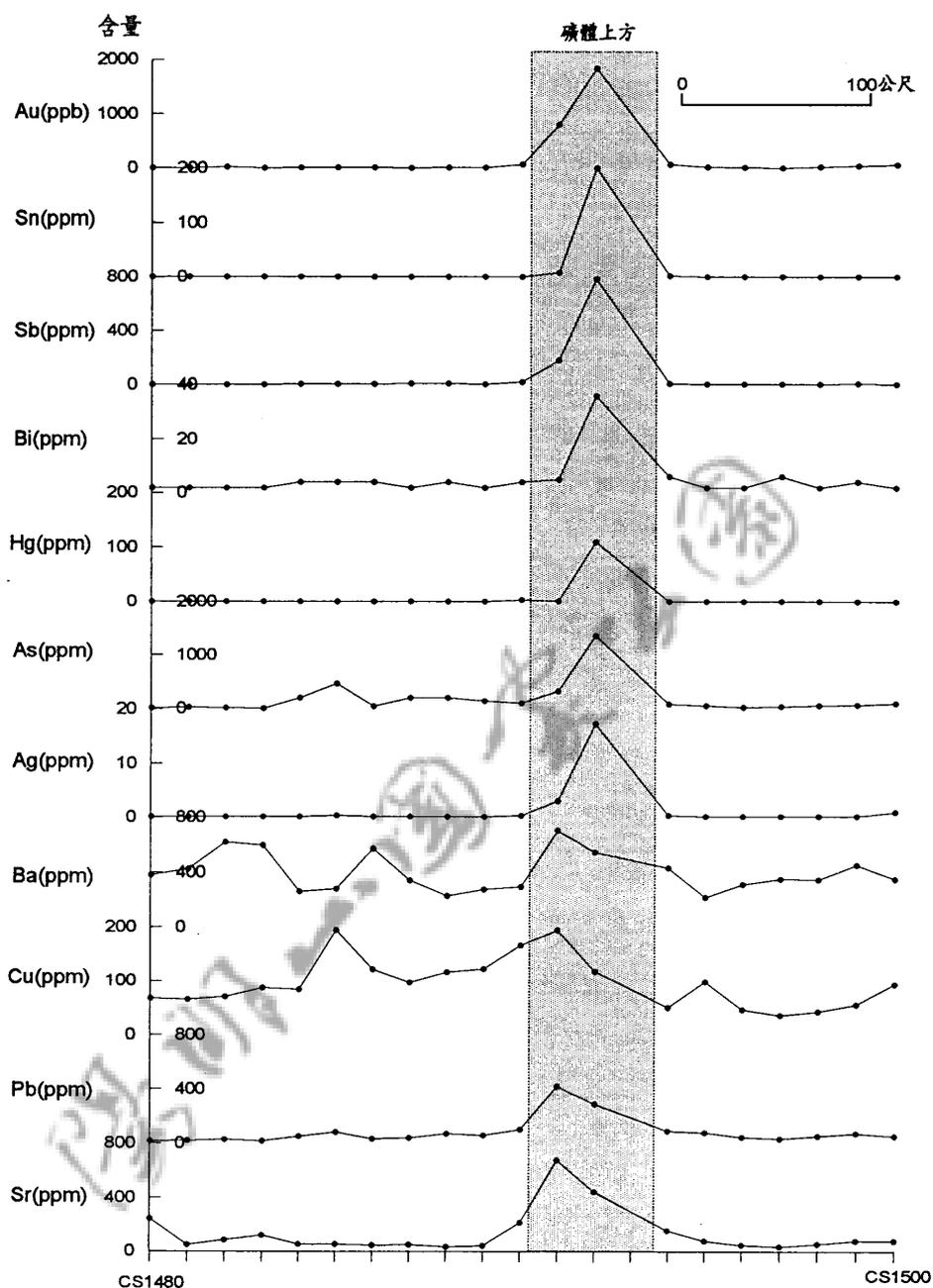


圖 2-8 金瓜石粗石山地區土壤測線微量元素含量變化圖

(2) 礦化作用與土壤微量元素之關係

在礦化或受熱水作用的地區，其岩石中微量元素含量通常更是遠高於一般地區，因而其風化所形成的土壤，一般也含有較高的微量元素。例如金瓜石地區，礦體上方的土壤含砷可達 1857ppm，含汞達 130ppm，含鉛達 1423ppm 等。

圖 2-7 為金瓜石粗石山地區的礦體剖面圖，圖中的吉祥角礫岩礦體並未延

伸到地表，筆者於該剖面上方採取一條測線的土壤樣品並進行化學分析（圖 2-8），結果發現雖然吉祥礦體仍未出露地表，但是在該礦體上方的投影位置，土壤中的多種微量元素含量均有明顯的偏高。

上述這種由礦化等地質因素所造成的微量元素含量偏高現象，在地球化學上稱之為『地球化學異常』，它是一種非常重要的礦床探勘工具，通常可以藉由一個地區有系統的土壤採樣及化學分析，觀察有無此種微量元素含量偏高地球化學異常，以探勘礦體的潛能和位置。

(3)地質構造與土壤微量元素之關係

除了礦體或礦化作用之外，在地表附近經常會有許多的斷層或裂隙，他們常成為地下水匯流的主要管道，或是溫泉水湧出的通道，因而某些微量元素也會富集於這些斷層或裂隙附近。

例如筆者曾調查宜蘭金面山地區的土壤，地表初步採樣化驗的結果顯示，除了位於礁溪北方無名溪谷之褐鐵礦樣品和斷層泥樣品具有汞含量異常之外，主要的地球化學異常帶集中於金面山附近，異常地區大致東達金盈斷層，西至石碑斷層以西，南抵白石腳，北達石燭坑溪南支流，範圍約為 2X2 公里（圖 2-9）。

在最東側金盈斷層線上的數個樣品多有顯示汞和金的含量異常，汞含量約為 150~250ppb，金含量約為 10~30ppb，其他尚有局部的鋅、砷元素的異常，但其異常值並不高。而研究所測得最強烈的汞異常值，則出現在位於較西邊大金面林家墓園附近的石碑斷層和上新花園南方的上新斷層，其水銀含量高達 3840ppb，而金含量亦達 28ppb。上述土壤的水銀含量多以超過污染標準，不過此地區土壤的水銀異常含量，明顯是與上述的斷層系統有關。

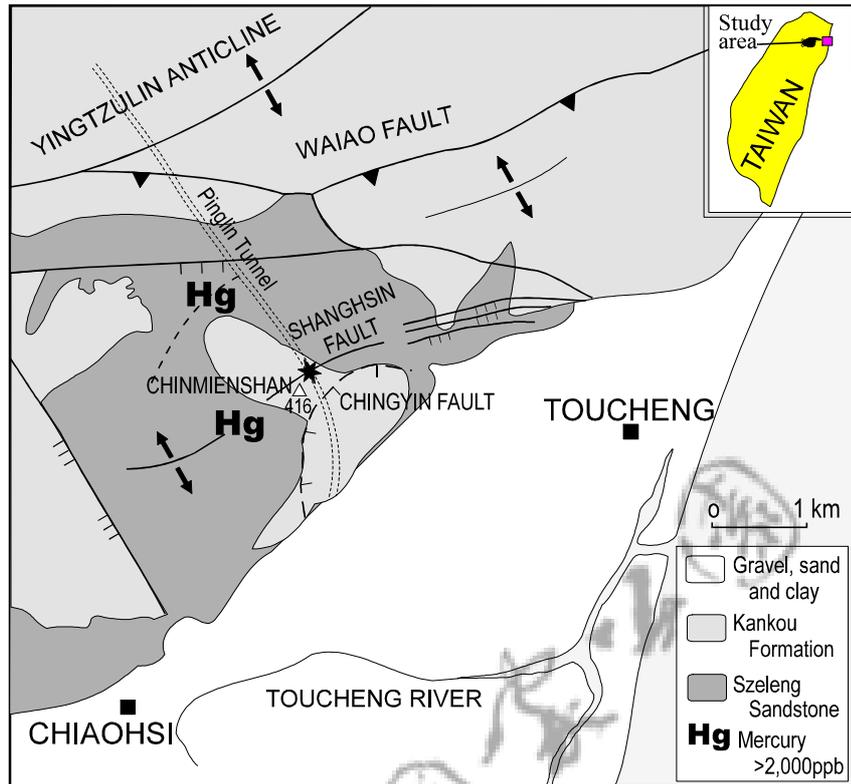


圖 2-9 宜蘭金面山地區土壤水銀異常與斷層之關係

四、污染與背景含量之探討

由於社會不斷進步，民眾環保意識持續抬頭，土壤污染問題亦漸受重視。唯土壤重金屬污染之認定奠基於土壤重金屬含量背景值之建立，若無背景值資料庫或背景值之建立有誤，將導致人為污染與天然地球化學異常認定之困難，造成各種無謂之社會困擾與爭端。

土壤是由岩石風化而成。世界具有各種不同的岩石，其化學成分差異極大，從表 2-1 列舉的常見岩石的重金屬元素平均含量，可以明顯看出火成岩的重金屬含量一般高於沈積岩，而沈積岩中的頁岩一般又較砂岩含較多的重金屬。因而由各種母岩所風化而成的土壤，其化學成分自然有所差異，此種土壤性質受母岩影響的現象對於發育不是很深的土壤而言更為明顯。

另外，地球上的各種元素分布常常是相當不均勻的，而礦床便是因為在局部地區某種元素或礦物含量很高，且富集到符合經濟開採程度而成。而各種礦床也經常伴生其他許多高含量的微量元素，例如伴隨金礦床而來的常有水銀、砷、鉛、鋅等元素的集中，在地球科學上常可根據這些伴隨元素的分佈及其所造成的

各種自然現象來作為礦床探勘的指標，這種指標也稱『地球化學異常』。例如金瓜石金銅礦及菲律賓利本多(Lepanto)金銅礦區的土壤便因為礦床的關係而含有高量的重金屬(表 2-3)，其他例如石筍地區土壤含汞最高達 4300ppb(譚立平, 1992)，中央山脈卓社大山地區土壤含汞也高達 4100ppb(譚立平等, 1990)等，也是因為礦化的關係所致。

表 2-3 台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分暫訂表(李國欽等, 1987)與礦區土壤比較

| | As (表土) | As (裏土) | Cd | Cr | Cu | Hg | Ni | Pb | Zn |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| 第一級 (缺乏) | -- | -- | -- | -- | <1 | -- | -- | -- | <1.5 |
| 第二級 (低) | <4 | <4 | <0.05 | <0.1 | 1-11 | <0.1 | <2 | <1 | 1.6-10 |
| 第三級 (中) | 4-9 | 4-15 | 0.05-0.39 | 0.1-10 | 12-20 | 0.1-0.39 | 2-10 | 1-15 | 11-25 |
| 第四級 (高) | 10-60 | 15-60 | 0.4-10 | 11-16 | 21-100 | 0.4-20 | 11-100 | 16-120 | 26-80 |
| 第五級 (毒害) | >60 | >60 | >10 | >16 | >100 | >20 | >100 | >120 | >80 |
| 金瓜石(譚立平, 1991; Tan, 1994) | 1857 | -- | 1 | 228 | 1015 | 184000 0 | 252 | 1423 | 199 |
| Lepanto(菲律賓) (Tan, 1994) | 197 | -- | -- | 31 | 12082 | -- | 10 | 173 | 142 |

(單位：ppm，-- 表示無資料)

根據台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分暫訂表(李國欽等, 1987) (表 2-3)，土壤重金屬含量可以分為五級，分別為缺乏、低、中、高與毒害五級，其中第三級以下被視為土壤的自然含量，第四級視為土壤重金屬含量的上限，超過此界則為第五級，表示將對作物或人類造成危害。

表 2-4 為世界一般正常土壤的微量元素含量表，從表中可以瞭解，正常土壤的微量元素含量變化值很大，以全球一般土壤的鋅含量而言，可能有許多已經超過表 2-3 所列的毒害等級了。如果根據上述表 2-3 的標準，以臺灣而言，不僅許多礦區未開發便已『污染』，甚至連大屯山區大家所認為肥沃的土壤恐怕就要被列為高元素含量或毒害的等級了。而如果依據行政院環保署規定(行政院環保署,1995)含銅、鋅污泥標準：銅超過 15ppm，鋅超過 25ppm 者就認定為污染，整個陽明山區恐怕都有嚴重的土壤污染了，而全世界一半區域的土壤都在污染範圍

內。由此看來上述土壤污染數據的標準是有待商榷。

此外，早期之土壤重金屬含量調查多採行方格隨機法採樣，在一方格地區內隨機採取數個樣品以代表全區之情形，但是台灣的地質環境複雜，一個方格內便可能有數種不同的岩石，其風化土壤之重金屬含量差異可能極大，若僅以少數樣品之平均值來表示整區之背景值，其代表性自然有所爭議。

基於上述原因，筆者認為土壤重金屬等微量元素含量的背景值調查，應考量該地之地層或岩石重金屬等微量元素的含量特性，瞭解各種岩層、岩性及其化育土壤的微量元素背景含量，尋求母岩與土壤微量元素含量的關係。

表 2-4 世界一般土 微量元素含量表

| 統計之國家 | Co | Cu | Mn | Zn | Mo | 資料來源 |
|-------|--------|---------|-----------|----------|--------|----------------------------|
| 全球 | 1-40 | 2-100 | 200-3000 | 10-300 | 0.2-50 | (Swaine, 1955) |
| 蘇聯 | 0.1-15 | 1.6-200 | 100-12000 | 20-120 | 1-12 | (Vinogradov, 1959) |
| 美國 | <3-70 | <1-300 | <1-7000 | <25-2000 | <3-7 | (Shacklette, et al., 1971) |
| 澳洲 | <2-170 | <1-190 | 4-5100 | <2-180 | <1-20 | (Tiller, 1993) |

地球上的各種元素分佈相當不均勻，岩石的種類不同，其微量元素的含量亦有差異。一般而言，火成岩微量元素含量較沈積岩為高，而沈積岩中頁岩微量元素一般又較砂岩高。因此，由不同母岩形成之土壤，其微量元素含量自然有異。此外，當某種元素特別集中時，就會形成礦產，例如常見的金礦及銅礦（如金瓜石和九份金銅礦）、水銀礦（如平林水銀礦）等礦床。沒有人會認為這些礦產是污染，只認為這是上天送給我們的資源。可是這些礦床通常也伴隨含鉛、鐵、硫、砷和水銀等元素相當高的礦物（例如硫砷銅礦、方鉛礦、黃鐵礦、辰砂和自然水銀），會導致礦化地區的土壤中含有異常高的鉛、硫、砷和水銀等元素，在地質上，這種自然形成的特殊異常現象，稱為『地球化學異常』，此種異常現象為自然形成的，它並常被做為探礦的良好指標！

上述各種由於地質環境差異，均會造成各種元素於岩石中的分佈極不均勻，因而許多地區的母岩風化而成的土壤，其微量元素的地質背景值原本便超過現行之環保標準，或遠高於環保署目前暫定之重金屬元素含量標準之"毒害"等級的含量。不過這種微量元素含量偏高的情形卻是由於天然地質作用所造成。如果

未考慮地質因素，則可能將這種微量元素偏高情形誤判成人為污染，造成許多不必要的困擾。

第四節 陽明山地區歷年之土壤調查與研究

一、土壤重金屬調查

台北市政府歷年來曾多次委託台北科技大學張添晉教授等進行多次土壤重金屬含量之調查，其調查範圍涵蓋到陽明山國家公園的部分為冷水坑地區。茲將歷年調查結果整理如下：

87 年度台北市土壤監測站重金屬監測研究（四）(張添晉，1998)曾對冷水坑地區進行土壤重金屬含量調查，在進行的 20 分區（公頃）採樣分析中，砷含量部分，表土有編號 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19 等區塊達四級標準（10 ~ 60ppm），編號 17, 20 等區塊達五級標準（>60ppm），裡土則有編號 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20 等區塊達四級標準（16 ~ 60 ppm），編號 19 之區塊達五級標準（>60ppm）。汞含量部分，表土有編號 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 等區塊達四級標準（0.4 ~ 20ppm），裡土則有編號 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20 等區塊達四級標準（0.4 ~ 20ppm），編號 11, 17 等區塊達五級標準（>20 ppm）。另外鋅含量部分，表土編號 5 的區塊達四級標準（26 ~ 80 ppm），裡土則有編號 1 的區塊達四級標準（26 ~ 80 ppm）。

88 年度台北市土壤監測站重金屬監測研究（五）(張添晉，1999)再次對冷水坑地區 87 年度砷及汞含量達五級標準地區，及另選三個區塊進行土壤砷及汞的含量調查，在進行的採樣分析中，砷含量部分，表土僅有編號 S17 的區塊達四級標準（10 ~ 60ppm），裡土均未超過四級標準。汞含量部分，只有編號 S11 及 S17 兩個區塊的表土及裡土達四級標準（0.4 ~ 20ppm）。不論汞或砷含量，在該年度的檢驗，均沒有超過達五級標準。

89 年度(張添晉，2000)的監測並未對冷水坑地區進行採樣檢測。90 年度(張添晉，2001)再次就冷水坑地區編號 88 年度調查報告中編號為 S11, S17, S19, S20 等四個樣區(90 年度編號分別為 14, 15, 16, 17)進行土壤採樣，並開始採用全樣分

析法進行重金屬檢驗。在該年度檢驗中，只有 S11 採樣區(90 年度編號為 14)的 1, 2, 4, 5, 6 分樣的表裡土汞含量達新標準的監測值(>5ppm)，其中 4 號分樣汞含量達新標準的管制值(>10ppm)。其餘樣品的汞與砷含量都低於監測值。

91 年度(張添晉，2002)再就 90 年度編號 14 及 15 的樣區進行採樣，發現編號 14 區塊有部分分樣的汞含量超過監測值，編號 15 區塊有部分分樣的砷含量超過監測值及管制值。

二、土壤之其他調查研究

黃政恆等(1993)曾進行大屯山東北側火山灰土壤的性質與黏土礦物之研究，依照地勢的高低與植生種類的不同，在台灣北部大屯山東北側地區選擇四個代表性土壤樣體，以研究來自大屯山熔岩母質所化育生成的土壤性質，並與附近七星山與紗帽山的火山灰土壤(Andisols)之性質相比較。結果發現四個土壤樣體間的性質差異不大，且都符合火山灰土綱(Andisol)的定義標準，而分類為 Acrudoxic Hapludand。

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影響重要性。

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，來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%)。

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。



第三章 研究方法及過程

第一節 採樣地區的選定

由於社會不斷進步，民眾環保意識持續抬頭，土壤污染問題亦漸受重視。唯土壤重金屬污染之認定奠基於土壤重金屬含量背景值之建立，若無背景值資料庫或背景值之建立有誤，將導致人為污染與天然地化異常認定之困擾，造成各種社會困擾與爭端。

早期之土壤重金屬含量調查多採行方格隨機法採樣，在一方格地區內隨機採取數個樣品以代表全區之情形，此法在地質環境複雜的台灣，一個方格內便可能有數種不同的岩石，其風化土壤之重金屬含量差異可能極大，若僅以少數樣品之平均值來表示整區之背景值，其代表性自然有所爭議。

基於上述原因，筆者認為土壤重金屬等微量元素含量的背景值調查，應考量該地之地層或岩石重金屬等微量元素的含量特性，瞭解各種岩層、岩性及其化育土壤的微量元素背景含量，尋求母岩與土壤微量元素含量的關係，甚至進而可以依此關係及地質圖，描繪出土壤重金屬等微量元素含量背景質圖幅。日後對於未曾採樣分析原始背景質的地區，就可以依其地質岩性資料快速的求出較客觀且可信度高的背景值，對於土地開發之環境評估或日益增多的污染仲裁，均可提供參考利用。

唯國內早期除礦床探勘有做過局部小規模的岩石微量元素含量之研究工作外，對各類岩石重金屬等微量元素含量的研究工作非常匱乏，更沒有論及其和土壤重金屬含量之關係。因而本計畫除了國家公園主要公路—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調查之外，更擬就大屯山地區主要的火成岩層，及其化育土壤重金屬等微量元素含量之研究。如此不僅可以明瞭陽明山國家公園重點遊憩區附近土壤重金屬含量情形，也能建立陽明山國家公園內主要的岩石地層、土壤的重金屬等微量元素含量資料庫，並探討兩者之關係。

根據前述之說明，本次研究之調查項目擬大致分為四大項，第一大項為國家公園主要公路—陽金公路沿線之土壤重金屬含量調查、第二大項為部分重要遊憩地區之土壤重金屬含量調查、第三大項為本區主要岩層所風化的土壤之重金屬含量調查，而第四大項為前項主要岩層的重金屬含量調查。

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，每二公里一個樣品，每個採樣路段再各分為表土及裏土兩個樣品，總共二十個樣品。

第二項之採樣地區，為行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，每個地區採取一個樣區，每個採樣區再各分為表土及裏土兩個樣品，總共二十個樣品。

而第三類主要岩層，主要以陳正宏(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』等六大類主要岩石所風化的土壤為主。總共六個岩層單位，每個岩層單位分別於兩個不同地區各採一個點，每個採樣點再各分為表土及裏土兩個樣品，總共二十四個樣品。

由於火山碎屑岩的組成複雜且變化大，但是其主要成分乃上述的各種火成岩，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。每個岩層單位分別於兩個不同地區各採一個點，總共十二個樣品。

第二節 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。於擬採樣點上，以適當採樣器具採取。採表土時，需先清除地表大塊石礫、植被，再採取適當深度土樣；採剖面土樣時，可以鑽探設備鑽入預定採樣之深度後採樣。每一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或採樣坑之虞，會將現場挖出之棄土回填並夯實；若棄土無污染之虞但未能完全回填，或挖出之棄土有污染



圖 3-1 土壤採樣鑽取的孔洞復原前的照片



圖 3-2 土壤採樣鑽取的孔洞復原後的照片



圖 3-3 龍鳳谷土壤採樣工作情形



圖 3-4 冷水坑土壤採樣工作情形

之虞，則以細砂或細砂及皂土交替灌滿所有鑽孔，並保持工地之清潔及整齊。

前述的第一類樣品，將於一公里內，盡量約每隔 100 公尺於公路五公尺範圍內採取一個分樣，於實驗室內分別風乾處理後，各方樣取等重量在混成一個混樣送驗，其餘樣品保留。而第二類樣品將於所列區域內，選擇較有污染疑慮的位置，劃定一公頃的範圍，再約略依井字法各採取十個分樣，如前述方法處理成混樣送驗。

第三類樣品於各岩層地區一前述第二類樣品的方法進行採樣與處理。至於第四類樣品則於各岩層地區挑選新鮮岩層出露處，於一個範圍內敲取 10 塊大小各約 100 公克的小岩塊混成一個樣品。

第三節 樣品處理與分析化驗

因為本研究主要為檢測重金屬成份，各樣品於回實驗室後，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 °C 之烘箱烘乾。乾燥過程視需要偶而將團粒剝散，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）標準篩倒入大塑膠袋中充分混合後，再裝入樣品瓶中送驗。

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。

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 4000 至 5000 元新台幣，甚而更高，而本研究需要分析大量樣品，若在全國內自行分析或委託化驗，其分析使用之耗材、人力費用均高，且速度較慢，將使研究經費增高且會影響研究進度。而國外專業化學分析實驗室之收費低、分析速度快且精準度均高，故目前如日本地質調查所、國內台大地質研究所之部分地化探勘研究及本所近期研究計畫之樣品化學分析，多已送交國外專業分析實驗室化驗。本研究之部分樣品亦送交國外專業實驗室分析，以求節省經費並提高時效與品質。

除前述第一類公路沿線的 20 件樣品委託國內認證實驗室化驗，其餘所有樣品均送通過 ISO9002 認證的國外實驗室化驗，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為不一樣，

重複的樣品將可比較兩種處理法所得的結果是否有差異，若有不同，也可以建立換算標準，以作為討論的基礎。

本研究可能遭遇之困難主要在於採樣，例如各岩層露頭點之找尋、新鮮岩樣與適當土壤層之採取等，因此需要花費較多的野外調查時間以確定樣品之代表性，並需雇用工人協助敲取新鮮岩樣和挖取適當土樣。

第四節 新舊土壤污染分級及檢測方法說明

一、土壤重金屬含量標準與等級區分

1 舊制

歷年調查方式之分類皆依據表 3-1 台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表進行，該表意義如表 3-2 「台灣地區土壤重金屬含量等級意義說明」。

表 3-1 台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表

| 重金屬項目 | 第一級 | 第二級 | 第三級 (背景值) | 第四級 (觀察值) | 第五級 | |
|----------|-------|------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| | | | | | 監測值 | 農地優先整治值 |
| 1.As (砷) | | 表土 < 4 裡土 < 4 | 4-9 4-15 | 10-60 16-60 | > 60 > 60 | > 60 > 60 |
| 2.Cd (鎘) | | < 0.05 | 0.05-0.39 | 0.40-10※ | > 10 | > 10※ |
| 3.Cr (鉻) | | < 0.10 | 0.10-10 | 11-16 | > 16 | > 40 |
| 4.Cu (銅) | < 1 | 1-11 | 12-20 | 21-100 | > 100 | > 180 |
| 5.Hg (汞) | | < 0.10 | 0.10-0.39 | 0.40-20※ | > 20 | > 20※ |
| 6.Ni (鎳) | | < 2 | 2-10 | 11-100 | > 100 | > 200 |
| 7.Pb (鉛) | | < 1 | 1-15 | 16-120 | > 120 | > 200 |
| 8.Zn (鋅) | < 1.5 | 1.5-10 | 11-25 | 26-80 | > 80 | > 300 |

註：As 及 Hg 為全量，Cd、Cr、Cu、Ni、Pb 及 Zn 為 0.1M 鹽酸抽出量；重金屬

含量以三位有效數字表示原則。資料來源：行政院環境保護署，1989。

表 3-2 台灣地區土壤重金屬含量等級意義說明

| 等級 | 意義說明 | | | | |
|----------|---|-----|--|---------|--|
| 第一級 | 土壤中缺乏銅、鋅等農作物生長所需元素，尚無重金屬污染問題。 | | | | |
| 第二級 | 土壤重金屬含量低於環境背景值，尚無重金屬污染問題。 | | | | |
| 第三級（背景值） | 係大部分土壤重金屬含量之正常範圍，為環境背景值。 | | | | |
| 第四級（觀察值） | 農地土壤之鎘與汞應考量對稻米之影響外，應確認重金屬之污染來源，並加強污染之調查與管制。 栽種稻米之農地土壤，其鎘與汞含量大於 1mg/kg 時，應比照第五級地區，列為土壤污染防治重點地區，優先進行監測與整治事宜。 | | | | |
| 第五級 | <table border="1"> <tr> <td>監測值</td> <td>土壤中有外來重金屬介入，應列為土壤污染防治重點地區。本地區應加強污染源稽查管制、污染物移除並進行土壤定期監測，以遏止污染惡化並避免污染影響。 本地區如有環境特殊需要，得辦理土壤污染整治事宜。</td> </tr> <tr> <td>農地優先整治值</td> <td>土壤重金屬含量列為此範圍之農地，應進行間測值範圍所為之管制與監測工作。 本地區應依環境需要農民意願，優先辦理土壤污染整治事宜。</td> </tr> </table> | 監測值 | 土壤中有外來重金屬介入，應列為土壤污染防治重點地區。本地區應加強污染源稽查管制、污染物移除並進行土壤定期監測，以遏止污染惡化並避免污染影響。 本地區如有環境特殊需要，得辦理土壤污染整治事宜。 | 農地優先整治值 | 土壤重金屬含量列為此範圍之農地，應進行間測值範圍所為之管制與監測工作。 本地區應依環境需要農民意願，優先辦理土壤污染整治事宜。 |
| 監測值 | 土壤中有外來重金屬介入，應列為土壤污染防治重點地區。本地區應加強污染源稽查管制、污染物移除並進行土壤定期監測，以遏止污染惡化並避免污染影響。 本地區如有環境特殊需要，得辦理土壤污染整治事宜。 | | | | |
| 農地優先整治值 | 土壤重金屬含量列為此範圍之農地，應進行間測值範圍所為之管制與監測工作。 本地區應依環境需要農民意願，優先辦理土壤污染整治事宜。 | | | | |

2.新制

民國八十九年二月二日行政院環境保護署公布實施「土壤及地下水整治法」下的管制標準與列管方式如表 2.2-3 所示。

表 3-3 土壤重金屬污染監測基準與管制標準

| 項目 | 監測基準值 (mg/kg) | 管制標準值(mg/kg) |
|-------|---------------|--------------|
| 鎘(Cd) | 10 (2.5) | 20 (5) |
| 鉻(Cr) | 175 | 250 |
| 鉛(Pb) | 1000 (300) | 2000 (500) |
| 鋅(Zn) | 1000 (260) | 2000 (600) |
| 銅(Cu) | 220 (120) | 400 (200) |
| 鎳(Ni) | 130 | 200 |
| 汞(Hg) | 10 (2) | 20 (5) |
| 砷(As) | 30 | 60 |

註：1.本表僅列出與本計畫相關之金屬部分，其他有機化合物、農藥以及其他有機化合物部分因與本計畫無關，故略之。

2.括弧內數值為食用作物農地之管制標準值/監測基準值。

二、檢測方法

五級分類標準進行分類時，所採用之重金屬檢測方法及現行標準所採樣之分析方法不同，新制之分類標準如表 3-4 所示。

表 3-4 土壤重金屬新舊檢測方法彙整

| 重金屬項目 | 五級分類標準 | 現行標準 |
|-------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 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 | 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 | 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 | 1N 鹽酸部分萃取-FAA 法 (NIEA S321.60T) | 王水消化法-AA/ICP 分析 (NIEA S321.63B) |

第四章 執行成果及討論

第一節 採樣及檢驗

一、實地探勘

為了使土壤之採樣工作能夠順利進行，而且為了解所選定之地區是否適宜進行採樣，因此必須於採樣之前到實地了解土地之分佈現況。實地踏勘的主要對象是此次調查所選擇之監測點。

實地探勘之前，均需事先蒐集好該地區之相關資料。先從採樣區之航照圖上選定好目標地區之基準點，再攜帶採樣器材及定位儀器等，到所選定之基準點處，進行採樣工作之事前準備，熟悉採樣作業流程並改善採樣工作之可能缺失，並觀察適合採樣之位置，以使得正式採樣時能減少可能之錯誤，加速採樣工作的進行。

二、採樣器具之準備

採樣器材的選擇必須先行考慮所需的採樣深度，且採樣工具不能污染樣品，操作簡單及易於去除污染物，並且不會造成不同採樣點間交互污染，本計畫土壤採樣使用的採樣器具為直徑一英吋，長度約 30 公分的鑽土採樣器，可以同時採取表裡土。

其他輔助採樣工具尚有小鏟子(分取樣品用)、刷子(除污用)、指南針(調查區域方位)、比例尺五千分之一之像片基本圖(採樣點標示)、數位相機(現場採樣存證及報告用)、高精密度衛星定位儀(GPS)、樣品袋(儲存樣品)、現場採樣紀錄表(紀錄採樣日期、採樣人員、樣品編號等等)及試劑水(採樣設備除污用)。

三、土壤採樣

(I) 採樣時間

配合各採樣人員之時間，選取適當之採樣時間。由於使用之 GPS 系統會受到下雨、大氣透視度等天候因素限制，因此，儘量選擇晴天進行定位及採樣，每

日之採樣時間主要從早上九點開始至下午五點鐘結束。

(2) 採樣區之標定

首先利用航照圖選定採樣區之基準點，其次至現地定出實際地表上該基準點之位置，基準點確定後，先利用指北針確定方向，再大致標出採樣範圍，實際此樣時對於各採樣點均以衛星定位系統（GPS）進行定位。

各採樣點或分樣點位置的二分帶座標及植被情形詳如附錄一所示。各類樣品採樣地區概要說明如下：

A. 第一項樣品：陽金公路沿線

本項樣品於國家公園範圍內沿陽金公路約每二百公尺採一點分樣（每約二公里共計 10 個分樣混成一個樣品），採樣的路段大致由南邊起於中國飯店附近開始，北邊止於國家公園邊界再往北約 400 公尺。

B. 第二項樣品：遊客較多等地區

本次遊客較多的重點採樣地區共計十處，主要的分佈區域如圖 4-1 所示。各地區說明如下：

1. 管理中心：管理中心與遊客中心、警察隊中間的地區，座標約為：(304350, 2783350)附近。在約 1 公頃的範圍內，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-2 所示。
2. 陽明書屋：書屋周邊，座標約為：(303700, 2784350) 附近。在周邊約每隔 20 到 60 公尺，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-3 所示。
3. 小油坑遊憩區：停車場及服務站附近之草地，座標約為：(304350, 2785700) 附近。在停車場周邊、硫氣孔附近以及往七星山步道及西側步道，約每隔 30~60 公尺，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-4 所示。
4. 七星公園：七星山頂附近，座標約為：(304950, 2785000) 附近。山頂附近及

沿各下山步道約每隔 30~60 公尺，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-5 所示。

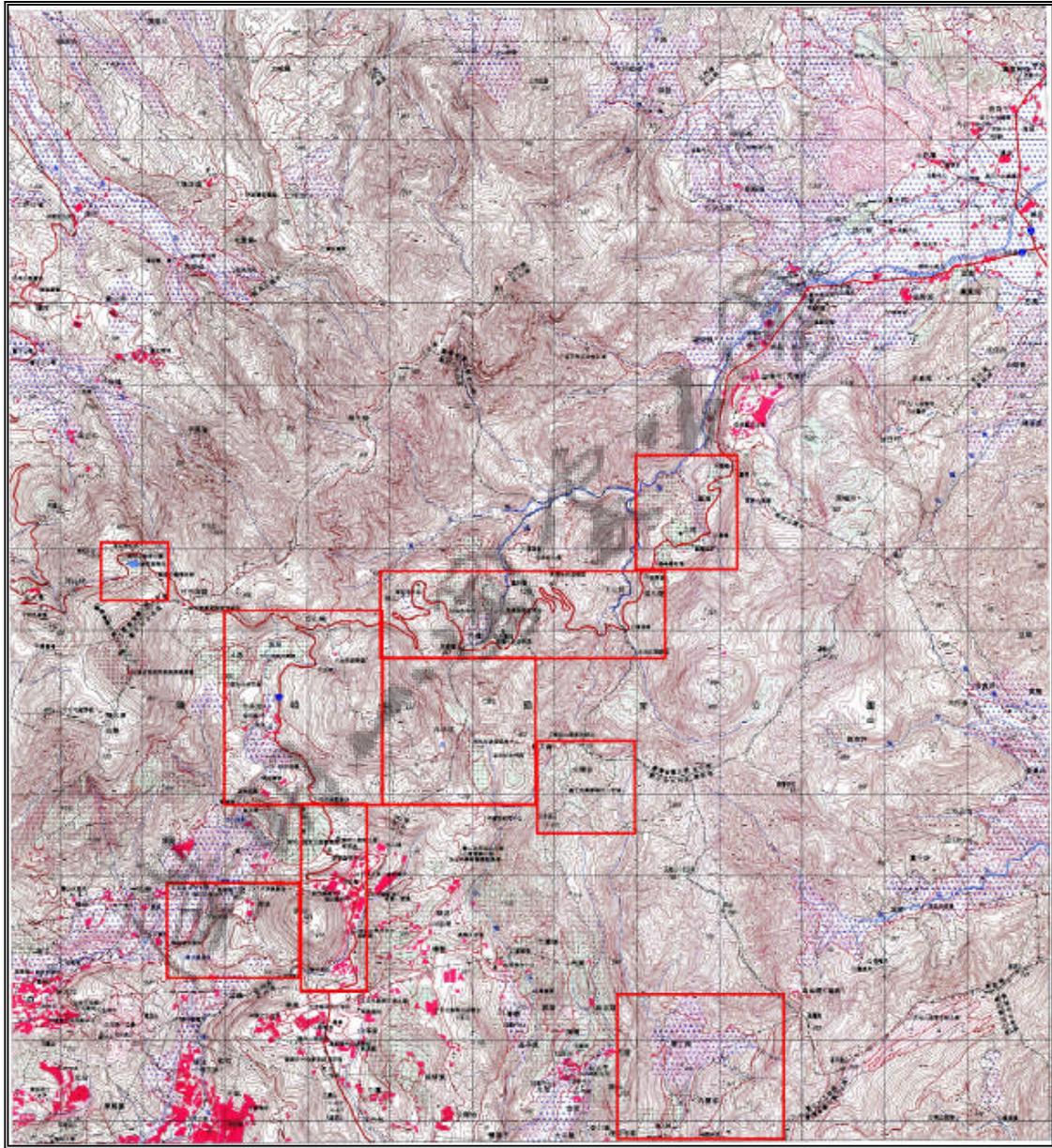


圖 4-1 遊客較多的重點採樣地區位置圖

5. 冷水坑：服務站南方之蔬菜區附近，座標約為：(306000, 2784500) 附近。在蔬菜區周邊約每隔 20~100 公尺，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-6 所示。
6. 擎天崗：土地公廟東南方之擎天崗草原，座標約為：(307200, 2784575) 附近。在約 1 公頃的範圍內，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣

品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-7 所示。

7. 大屯自然公園：自然公園水池區西南的停車場附近，座標約為：(301800，2786700) 附近。在停車場周邊草地每隔 20 公尺，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-8 所示。
8. 雙溪：聖人瀑布北方車丁腳附近田地，座標約為：(308400，2781000) 附近。在約 1 公頃的範圍內，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-9 所示。
9. 龍鳳谷：諄敘商工東南方之舊採掘坑內底部平地，座標約為：(302500，2782000) 附近。在約 1 公頃的範圍內，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-10 所示。
10. 竹子湖：湖田國小北方之稻田區，座標約為：(303550，2784900) 附近。沿谷地周邊，大約相隔 30~100 公尺，分表裡土各採取 10 個分樣，再分別混成表土一個樣品與裡土一個樣品。各分樣採樣位置如圖 4-11 所示。

C. 第三類樣品：主要岩層風化之土壤

以大屯火山群內的『高鉛玄武岩』、『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』等六大類主要岩石所風化的土壤為主。總共六個岩層單位，每個岩層單位分別於兩個不同地區各採一個點，每個採樣點再各分為表土及裏土兩個樣品，總共二十四個樣品。各採樣點位置的二分帶座標及植被情形詳如附錄一所示。

D. 第四類樣品：主要岩層之岩石

以大屯火山群內的『高鉛玄武岩』、『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。每個岩層單位分別於兩個不同地區各採一個點，總共十二個樣品。各採樣點位置的二分帶座標及植被情形詳如附錄一所示。

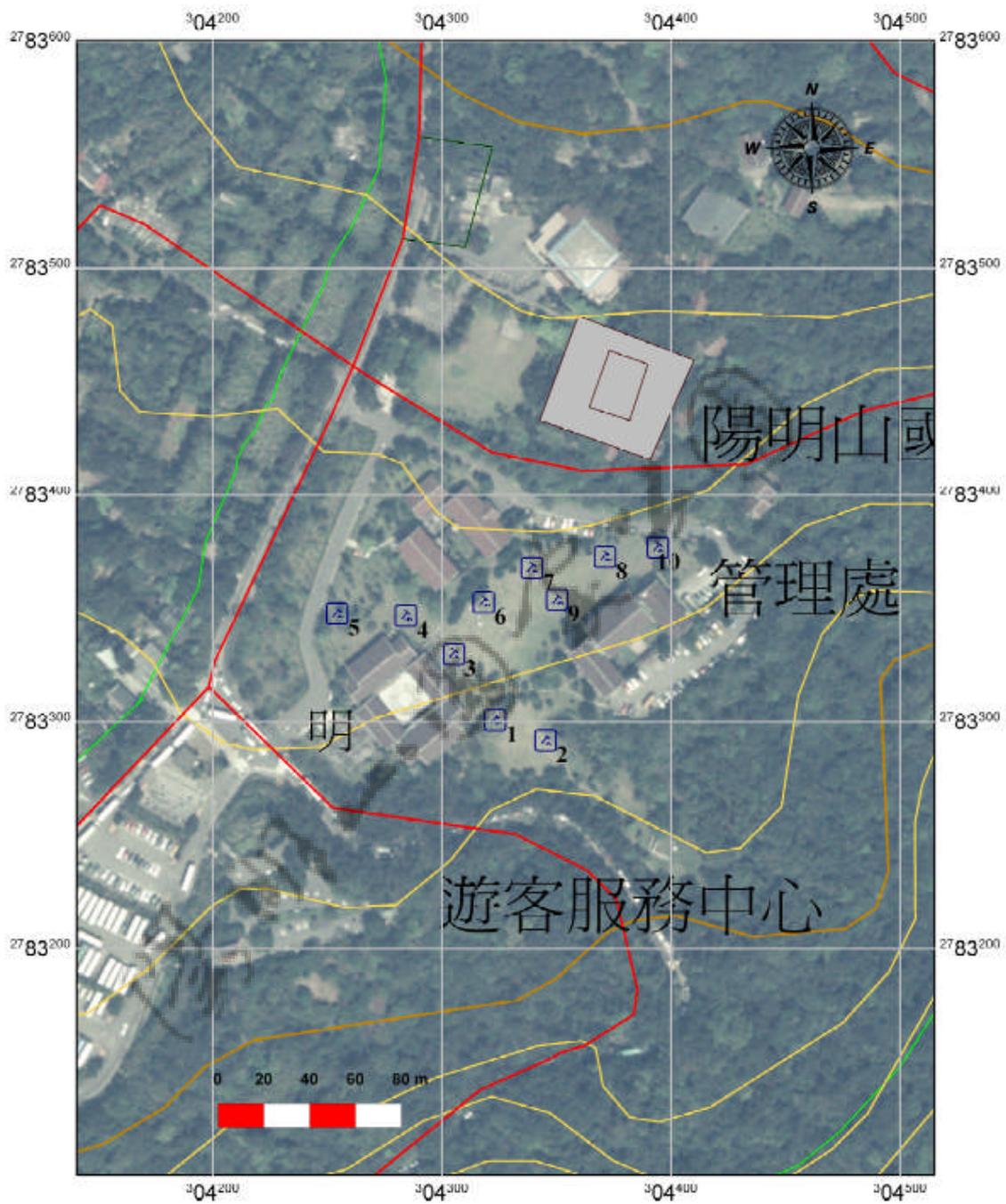


圖 4-2 管理中心附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

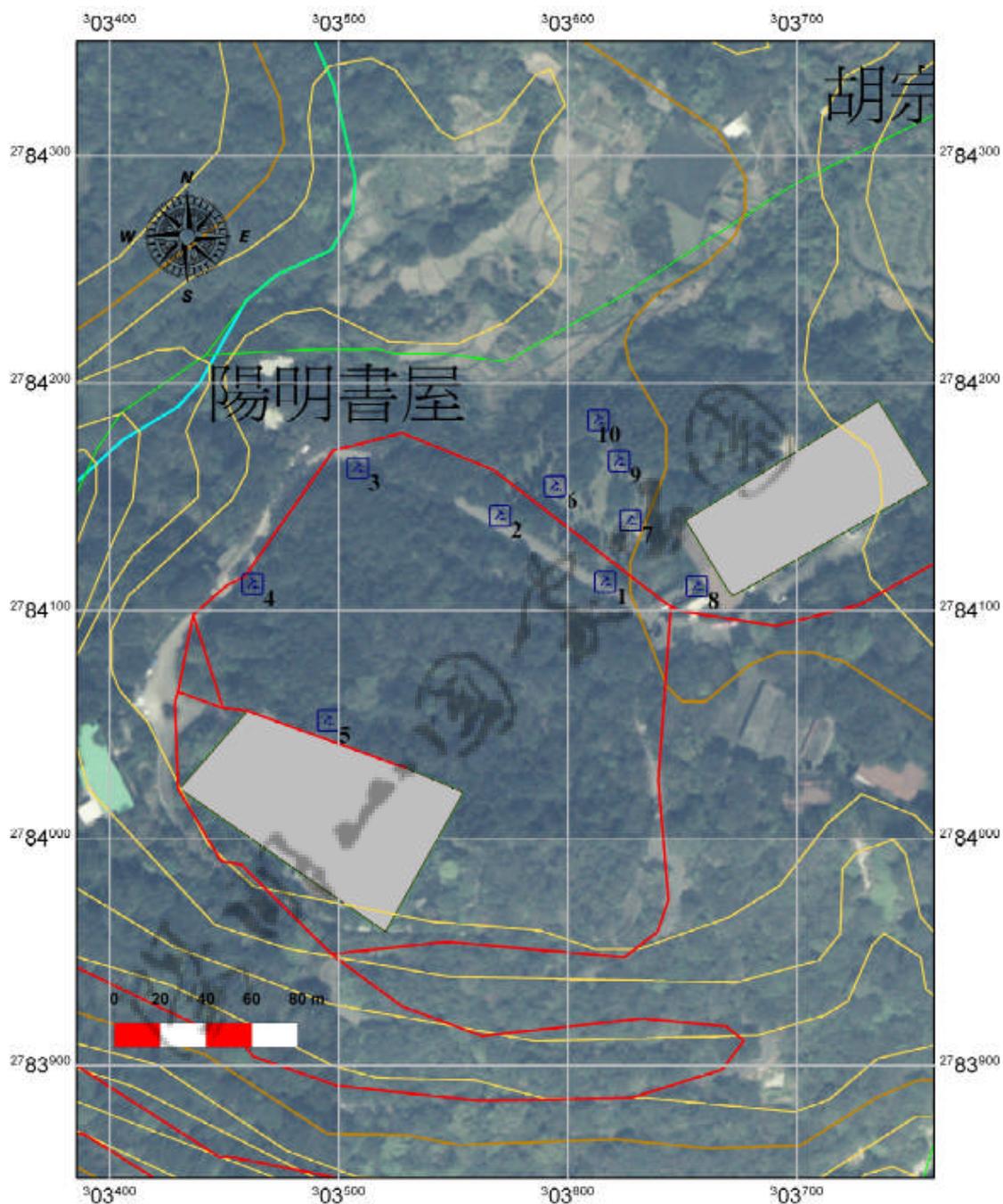


圖 4-3 陽明書屋附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

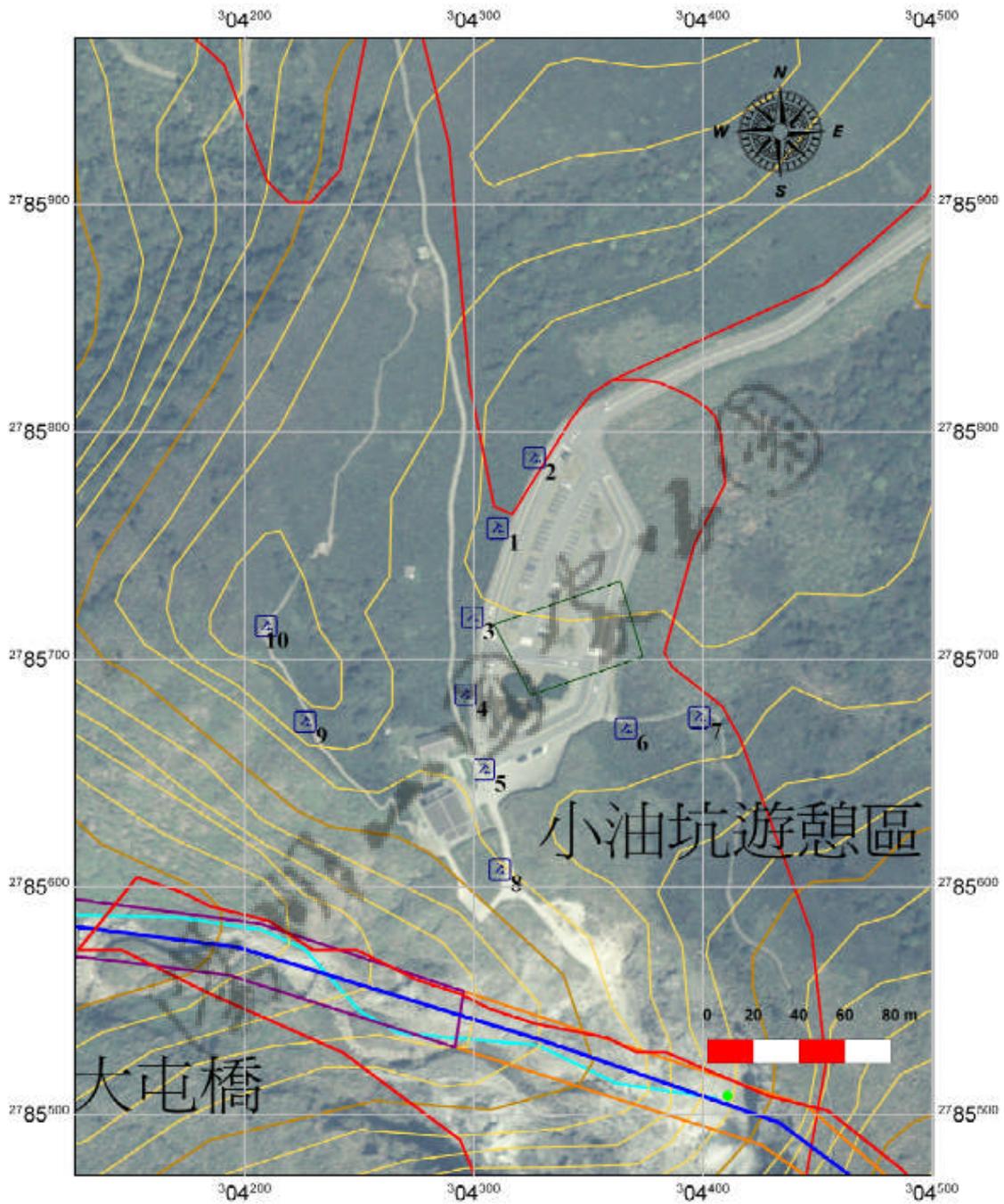


圖 4-4 小油坑遊憩區附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

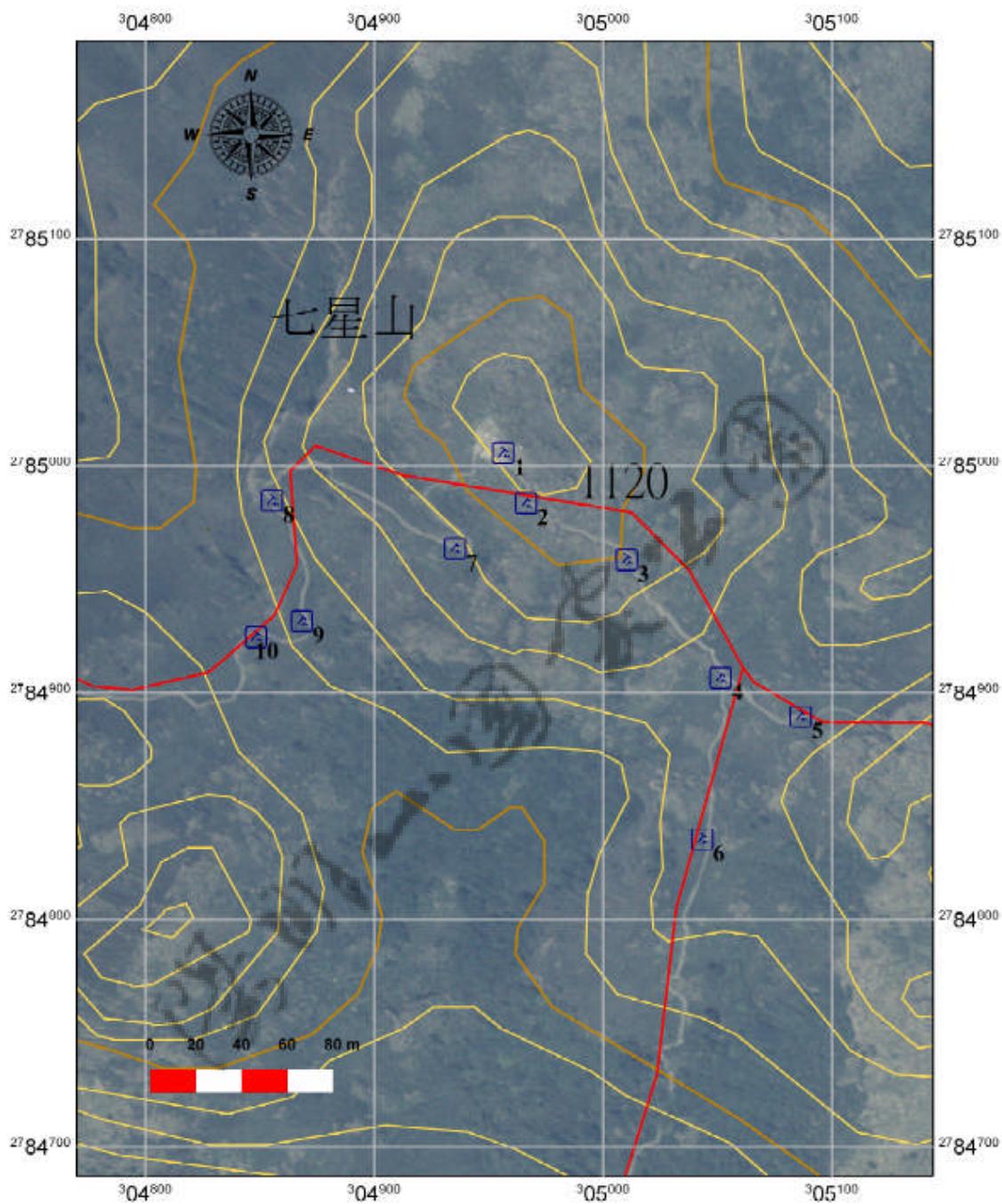


圖 4-5 七星公園附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

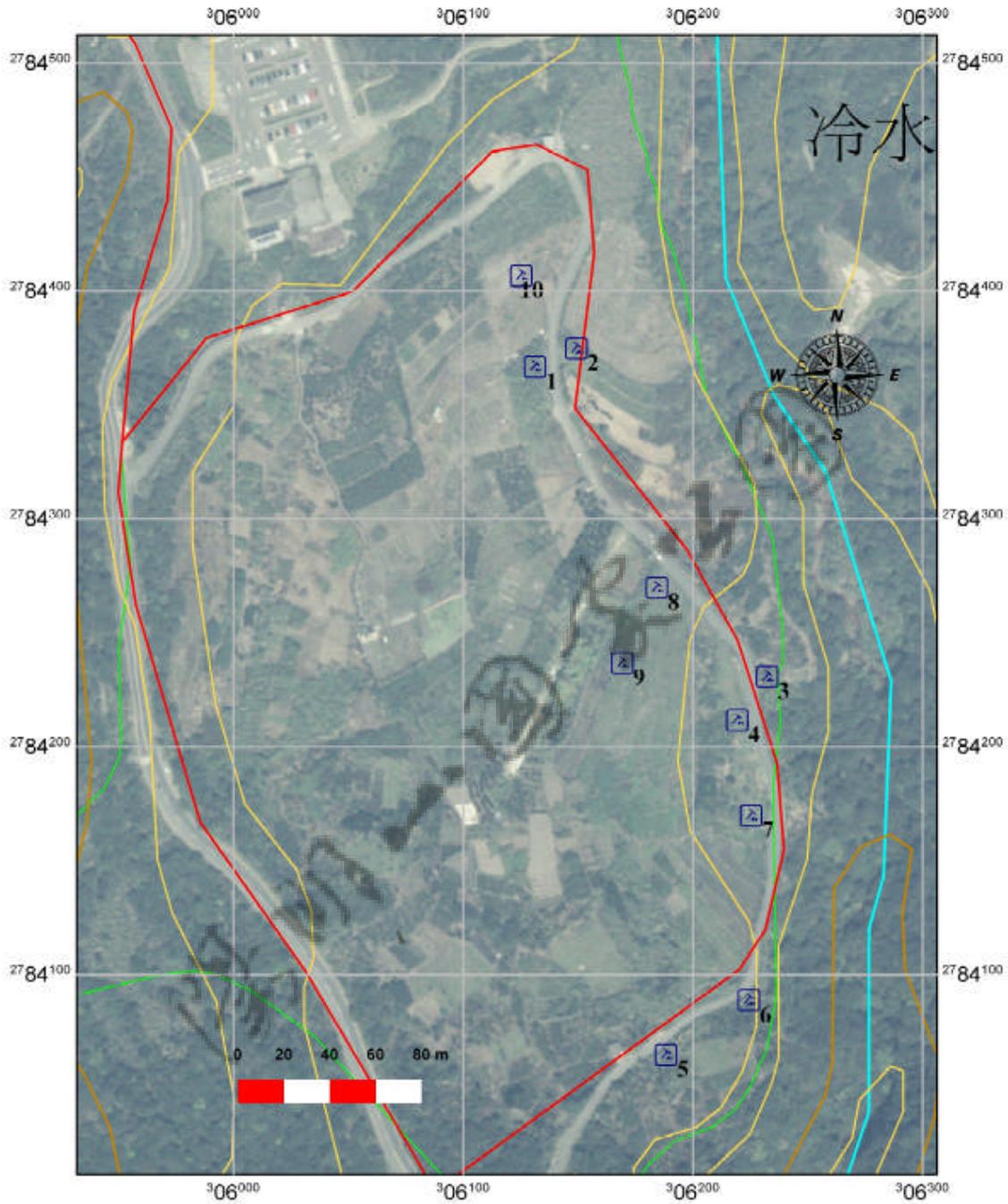


圖 4-6 冷水坑附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

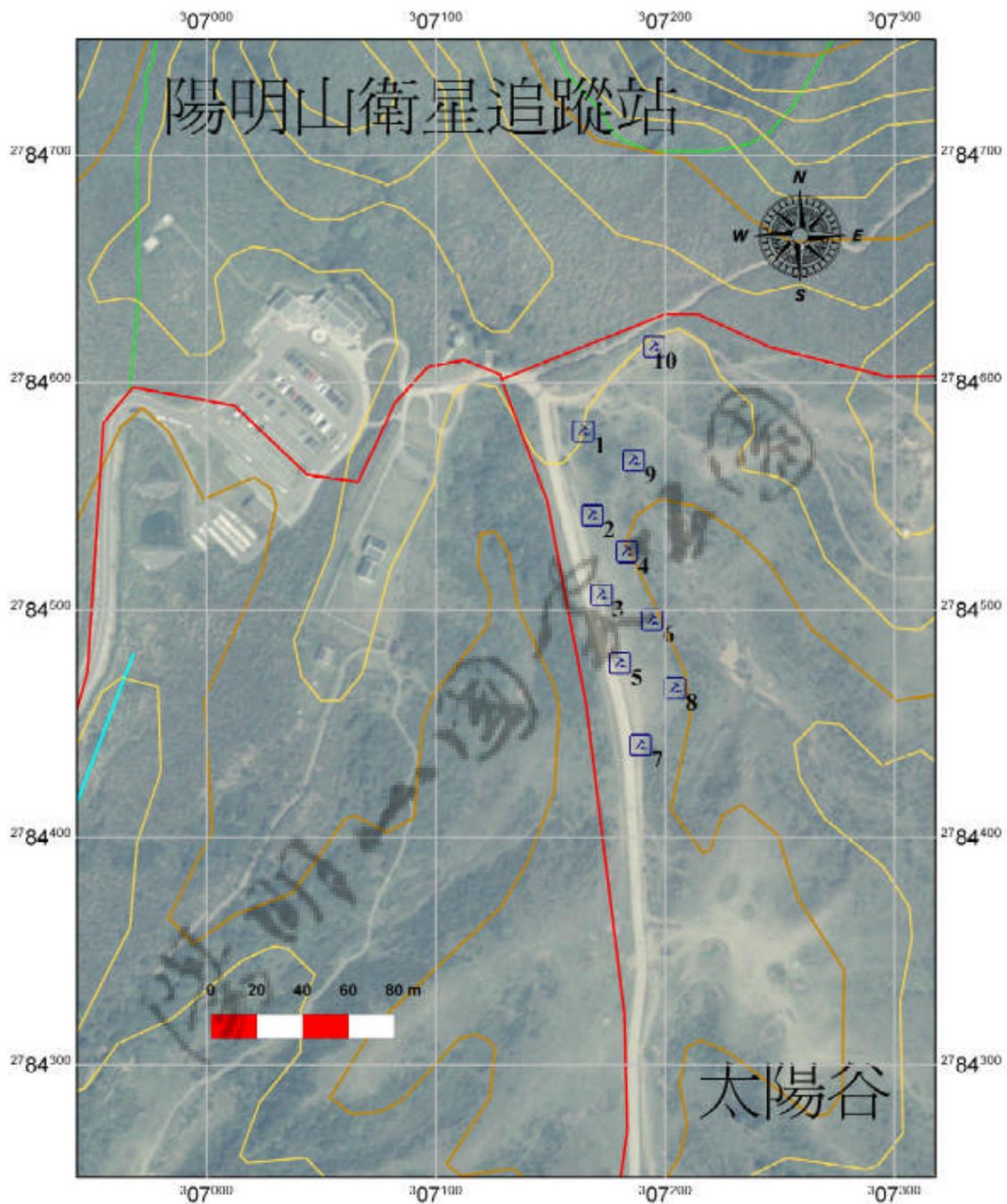


圖 4-7 擎天崗附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

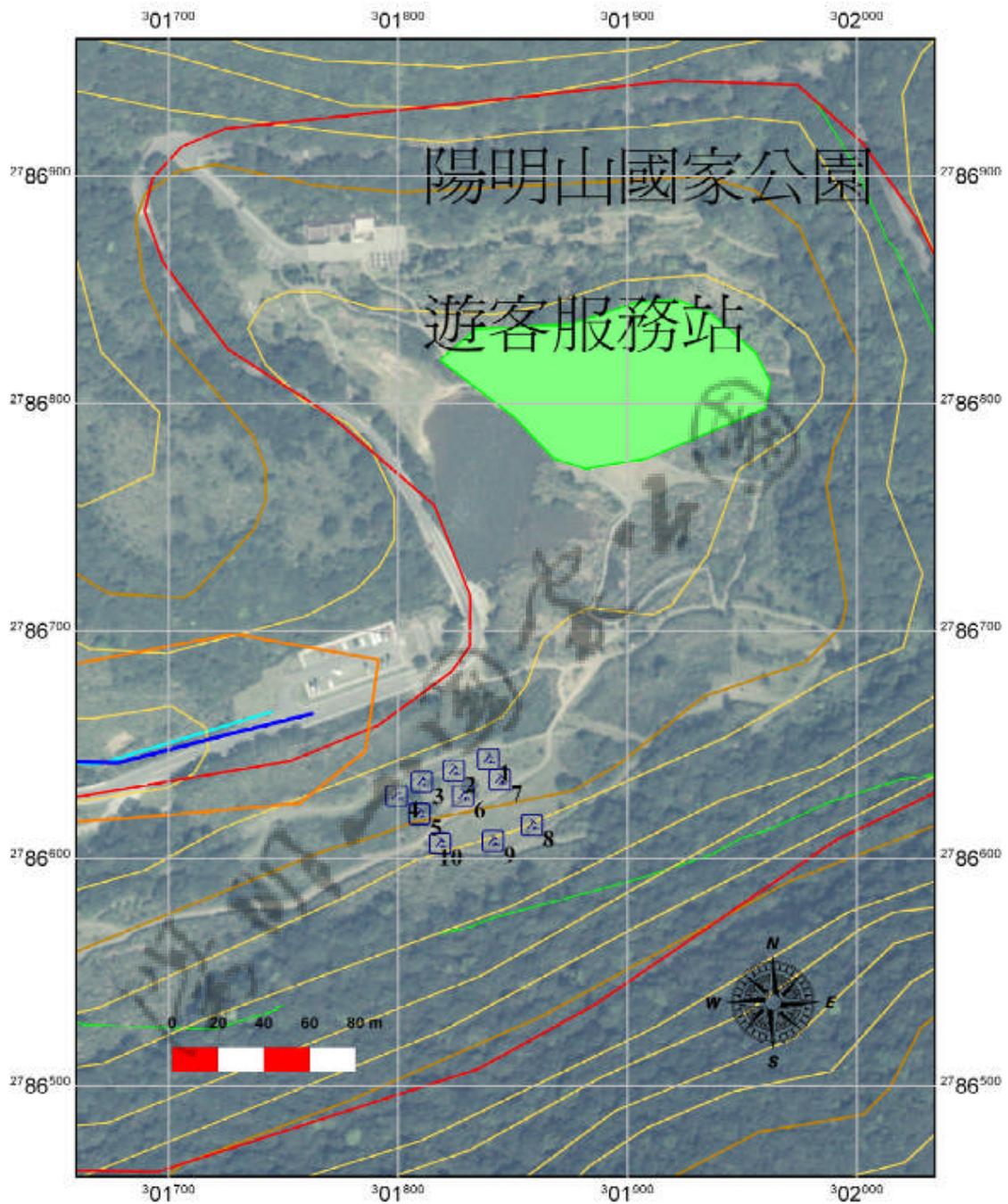


圖 4-8 大屯自然公園附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

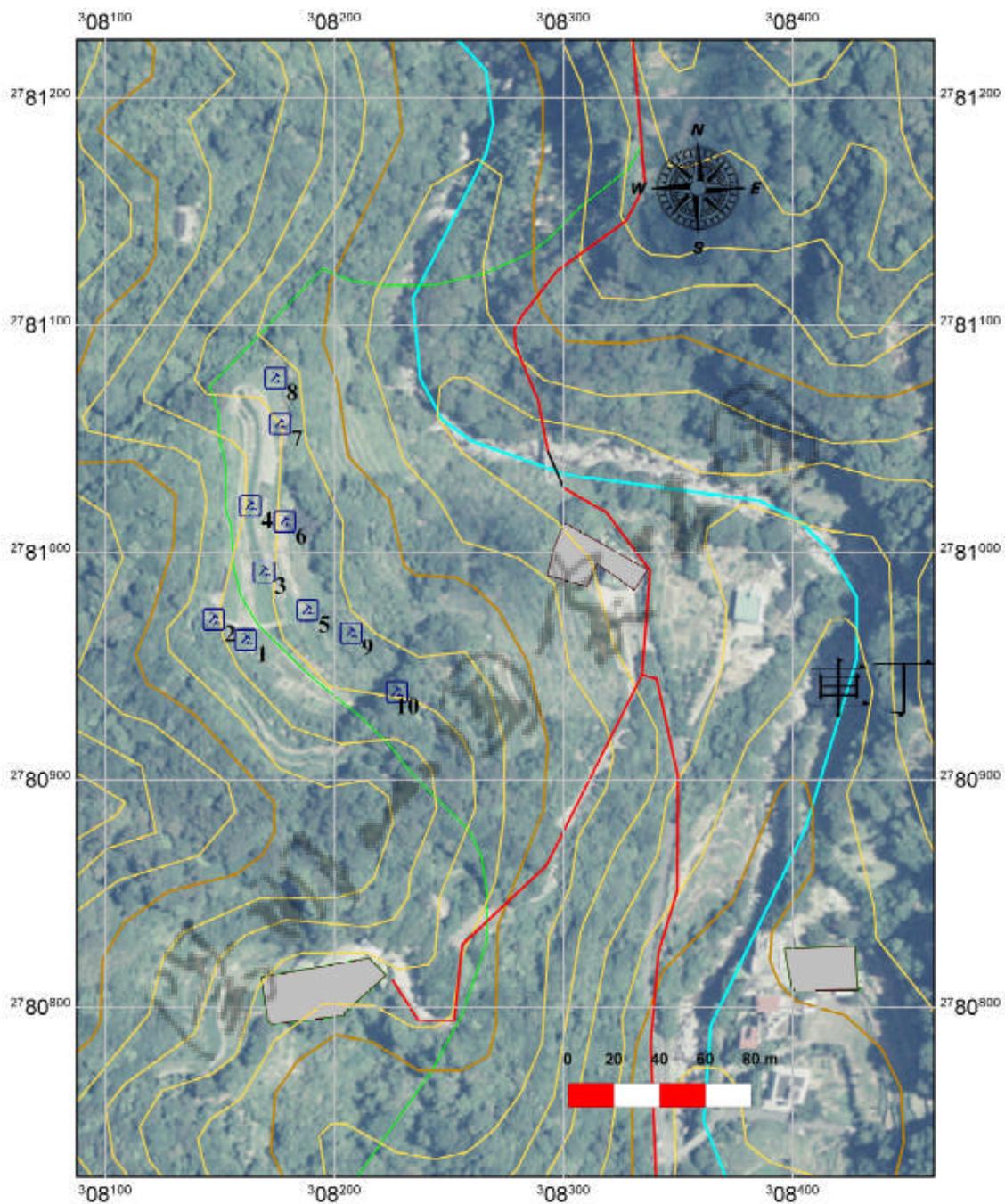


圖 4-9 雙溪附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

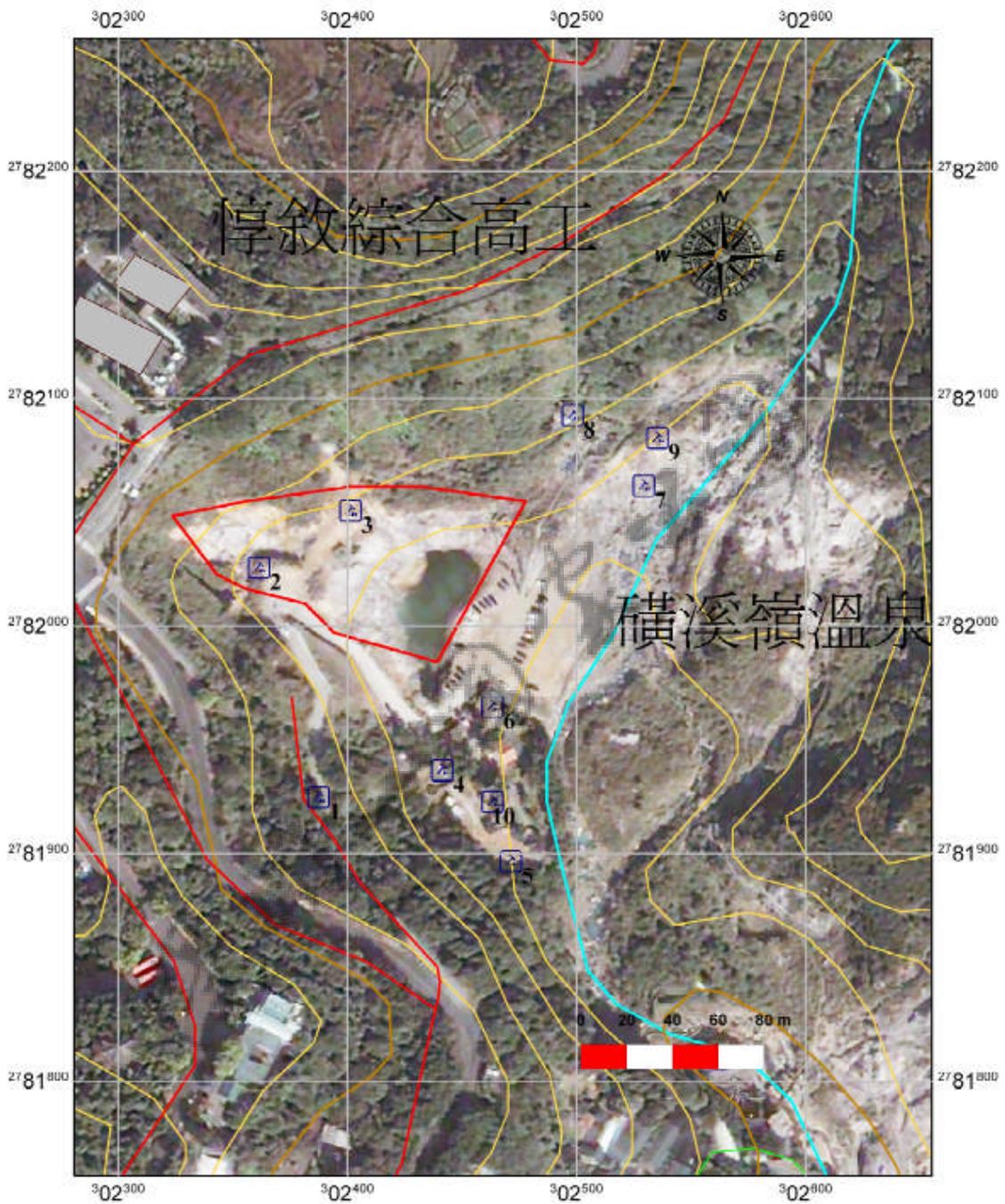


圖 4-10 龍鳳谷附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

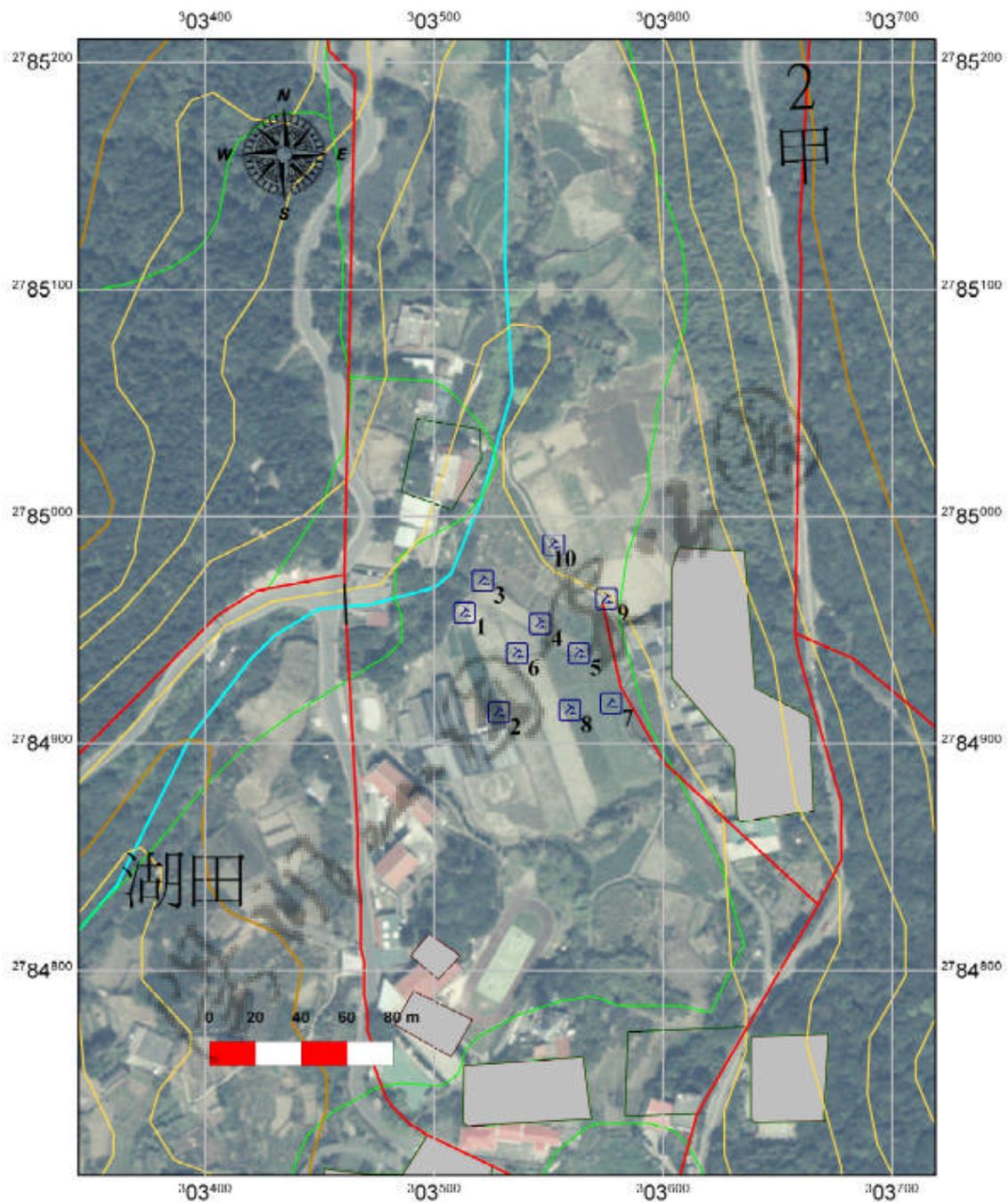


圖 4-11 竹子湖附近的土壤樣品各分樣採樣位置圖

(3)採樣過程

每個組合樣品分別由採集 10 個土壤分樣組成。採樣時以土壤採樣器垂直向下取樣，將表土(0~15cm)及裡土(15~30cm)，分別裝入樣品袋中，並將各點之土壤樣品在樣品袋中充分混合。每個樣品袋以預先編號標示清楚，以免錯誤。若因土壤過於乾燥或該點位置有過多石頭，而無法順利採樣時，則在附近選擇適當地點進行採樣。若遇堅硬岩石層，則依實際可達深度採集裡土樣品。每次土壤採樣時，應先以鑽土採樣器在該區採樣，將土壤棄之，如此重複 2~3 次後才正式採樣，以避免鑽土採樣器沾附前一採樣區之污染物質。使用鑽土採樣器須垂直向下，不可傾斜採樣以免未採足預定深度。

(4)採樣記錄

在採樣進行的同時，必須填寫採樣記錄表，包括樣品編號、區域內可能之道路、建築物、灌溉渠及河道的流向、污染源位置及所種植之農作物的種類等等。

(5)樣品處理及保存

將所採集之土壤樣品，置於乾淨之塑膠盤中，除去其中所含之石礫、樹枝及雜物等，在無陽光直射空氣流通處經自然風乾後，以木鎚打碎研磨成粉末狀。然後以篩號 20(孔徑為 0.84mm)尼龍或聚乙烯篩過篩，在混合均勻後，儲存於塑膠罐或玻璃罐中密封以備分析，保存期限不得超過 6 個月。

二、品質管制(QA/QC)

1. 品質管制方法

- (1)所有品質管制資料均應妥為保管，便於下次提供參考與查證。
- (2)樣品之濃度若大於檢量線之檢量範圍，應將樣品稀釋後再行測定。
- (3)每批樣品或同批中每隔 10 個樣品，至少做一個完整操作程序空白試驗，以檢查樣品是否遭受污染或是否有記憶效應存在。
- (4)每批樣品或同批中每隔 10 個樣品，應使用不同來源的標準品製備查核

標準溶液以檢查檢量線之適用性。

(5) 基質複雜之樣品，可能不適合使用於標準檢量線，此時須要使用標準添加法分析樣品。

(6) 每批樣品或每隔 10 個樣品，至少需選一樣品做重覆分析，以檢驗本方法的精密度。

(7) 利用標準土壤作 QC 之檢驗，由已知之重金屬濃度，檢驗由檢驗方法所檢驗出之重金屬濃度，比較此兩種濃度可以獲得所測重金屬之回收率，而且可檢驗所做檢驗之準確度。

(8) 購買與作檢量線標準品不同品牌之標準品，利用此標準品來檢驗所作出之檢量線。

2. 採樣之品保品管

在採樣過程中，為確保採樣工作之品保及品管，在採樣前、採樣中及採樣後都必須詳實填寫採樣表格，以確保樣品之品質。茲將各種表格之型式和內容說明如下：

(1) 採樣規劃表

採樣規劃表必須於採樣前確實填寫，以確保採樣工作順利進行，在本表格之中的主要內容包括日期、採樣單位與其地址、聯絡人與其電話、採樣地點、採樣方法、採樣現場所有之測試儀器、樣品保存 . . . 等。

(2) 採樣器材設備及藥劑行前檢查表

採樣器材設備及藥劑行前檢查表之其目的乃在於行前確認採樣所需之用品是否齊全，以免採樣時因試劑或器材設備不足而使採樣工作無法順利完成。為避免採樣器具或藥品準備不全，於本表上必須列出所需器具與藥劑，並應請準備人員及清點人員確實檢查各項目與填寫內容。

(3) 現場採樣記錄

現場採樣記錄表中列有採樣地點與聯絡人及其話，以利採樣過程突發事件之聯絡。樣品容器形式及體積皆必須填寫，並註明樣品之保存方法及分析項目。採樣完畢將樣品攜回實驗室時須填寫樣品轉交時間及接收人。

3. 品管樣品來源及說明

此次重金屬檢驗所使用之品管標準樣品，包括一個標準土樣以及一個標準岩樣，此二種標準樣品所含之金屬濃度可由廠商所提供之數據中獲得，其相關資料如表 4-1 及 4-2 所示。

第三節 化驗結果討論

一、國內外分析結果之比較

因為國內分析土壤八種元素的費用，一件樣品約需 5000 到 6000 元。本研究之經費有限，如果所有的樣品均在國內檢驗，總共 76 件樣品，單是分析費用就接近總研究經費。而本次研究之目的，旨在釐清母岩與土質之重金屬元素含量的關係，並非作為公證之使用。因此於計畫書中便已徵得委辦單位同意，除了公路沿線土壤樣品送國內認證實驗室化驗外，所有樣品均送國外有經認證的檢驗公司化驗。

本次陽金公路沿線土壤樣品送交臺灣檢驗科技股份有限公司化驗，其化驗結果原始資料如附錄二所示。而全部樣品並同時寄送加拿大 ACME 化驗公司分析，該公司之化驗結果原始資料詳如附錄三。

國內檢驗公司之檢驗方法如表 3-4 及附錄二所示，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。但因此法消化過程中汞會揮發，因此該方法沒有化驗汞，是較大的遺憾。該公司另有專門檢驗汞的分析項目，每件另計約新台幣 250 元，如果連同前面提及的 56 種元素所需費用，寄送國外仍較國內經濟許多。

但是本次研究因為經費極為有限，因此僅進行 Group-1T-MS 的 56 種元素分析。

表 4-1 標準土樣之驗證資料及重金屬含量



WSP
ISO 9001

Certificate of Certified Reference Materials

NCS DC 73382 — NCS DC 73389

Soil

**Glen Spectra
Reference Materials**
2 Dalston Gardens, Slanmore
Middlesex HA7 1BO, England
Tel: +44 (0)20 8204 6656
Fax: +44 (0)20 8204 6654
E-mail: sales@gspm.co.uk
Website: www.gspm.co.uk

| Component | Method | Component | Methods |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| As | AA, AAN, ES, NA | Pb | AA, ES, ICP, ID, POL, XRF |
| Ba | AA, ICP, MS, NA | Pr | ICP, MS, NA |
| Be | AA, ICP, MS, NA | Rb | AA, ICP, MS, NA |
| Bi | AA, ICP, MS, NA | Sb | AA, AALAF, COL, POL, ES, NA |
| Bk | AA, ICP, MS, NA | Sc | ES, ICP, MS, NA |
| Br | AA, AAN, ES, ICP, NA, MS, XRF | Se | AAN, AF, COL, ICP, POL |
| Bs | AA, ICP, MS, NA | Si | AAN, ICP, MS, NA |
| Ca | AA, ICP, MS, NA | Sm | AAN, POL, COL, ES, MS, XRF |
| Ce | AA, ICP, MS, NA | Sr | AA, AAN, ES, ICP, NA, XRF |
| Cl | AA, ICP, MS, NA | Ta | AA, ICP, MS, NA |
| Co | AA, ICP, MS, NA | Tb | AA, ICP, MS, NA |
| Cu | AA, ICP, MS, NA | Tc | AAN, AF, COL, POL |
| Cy | AA, ICP, MS, NA | Te | AA, ICP, MS, NA |
| Dy | AA, ICP, MS, NA | Th | AA, ICP, MS, NA |
| Er | AA, ICP, MS, NA | Ti | AA, ICP, MS, NA |
| Eu | AA, ICP, MS, NA | Tl | AA, ICP, MS, NA |
| F | AA, ICP, MS, NA | Tm | AA, ICP, MS, NA |
| Ga | AA, ICP, MS, NA | U | AA, ICP, MS, NA |
| Ge | AA, ICP, MS, NA | V | AA, ICP, MS, NA |
| Hf | AA, ICP, MS, NA | W | AA, ICP, MS, NA |
| Hg | AA, ICP, MS, NA | X | AA, ICP, MS, NA |
| Ho | AA, ICP, MS, NA | Y | AA, ICP, MS, NA |
| I | AA, ICP, MS, NA | Zn | AA, ICP, NA, POL, XRF |
| La | AA, ICP, MS, NA | SiO ₂ | GR, ICP, VOL, XRF |
| Li | AA, ICP, MS, NA | Al ₂ O ₃ | COL, ICP, VOL, XRF |
| Lu | AA, ICP, MS, NA | Fe ₂ O ₃ | AA, COL, ICP, NA, VOL, XRF |
| Mn | AA, ICP, MS, NA | P ₂ O ₅ | COL, VOL |
| Mo | AA, ICP, MS, NA | MgO | AA, GR, ICP, VOL, XRF |
| Nb | AA, ICP, MS, NA | CaO | GR, ICP, VOL, XRF, AA |
| Ni | AA, ICP, MS, NA | N ₂ O | AA, ICP, NA, XRF |
| Os | AA, ICP, MS, NA | K ₂ O | AA, ICP, NA, XRF |
| P | AA, ICP, MS, NA | S | VOL, XRF |
| Pb | AA, ICP, MS, NA | H ₂ O | GR, EL |
| Pr | AA, ICP, MS, NA | CO ₂ | GR, VOL |
| Rb | AA, ICP, MS, NA | ORC | GR, VOL |
| Sb | AA, ICP, MS, NA | LOI | GR |

Note: Flame Atomic Absorption spectrometry
 AAN Non-Flame Atomic Absorption spectrometry with hydride generation
 AA Non-Flame Atomic Absorption spectrometry
 AF Atomic Fluorescence spectrophotometry
 COL Colorimetry
 DNA Delay Neutron Activation method
 ES Electrometric method
 ICP Inductively Coupled Plasma
 MS Mass Spectrometry
 POL Polarography
 XRF X-Ray Fluorescence spectrometry

Handwritten signature

Professor Wang Haizhou, Chief
China National Analysis Center for Iron and Steel

Issued in 2004

Approved by China National Analysis Center for Iron and Steel
 (Beijing China)

表 4-1 標準土樣之驗證資料及重金屬含量 (續)

Certified values of soil reference materials (Certification 1986, Revision 2003)

| 元素 | NCS DC 73382 | NCS DC 73383 | NCS DC 73384 | NCS DC 73385 | NCS DC 73386 | NCS DC 73387 | NCS DC 73388 | NCS DC 73389 |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ag | 0.35±0.05 | 0.054±0.007 | 0.091±0.007 | 0.070±0.011 | 4.4±0.4 | 0.20±0.02 | 0.057±0.011 | 0.060±0.009 |
| As | 34±4 | 13.7±1.2 | 4.4±0.6 | 58±6 | 412±16 | 220±14 | 4.8±1.3 | 12.7±1.1 |
| Au | (0.00055) | (0.0017) | | (0.0055) | 0.260±0.007 | (0.009) | (0.0008) | (0.0014) |
| B | 50±3 | 36±3 | 23±3 | 97±9 | 53±6 | 57±5 | (19) | 54±4 |
| Ba | 590±32 | 930±52 | 1210±65 | 213±20 | 296±26 | 118±14 | 180±27 | 480±23 |
| Be | 7.5±0.3 | 1.8±0.2 | 1.4±0.2 | 1.85±0.34 | 2.0±0.4 | 4.4±0.7 | 2.8±0.6 | 1.9±0.2 |
| H | 1.2±0.1 | 0.38±0.04 | 0.17±0.03 | 1.04±0.13 | 41±4 | 49±5 | 0.20±0.04 | 0.30±0.04 |
| Br | 2.9±0.6 | 4.5±0.7 | 4.3±0.8 | 4.0±0.7 | (1.5) | 8.0±1.7 | 5.1±0.5 | 2.5±0.5 |
| Cd | 4.3±0.4 | 0.071±0.014 | 0.060±0.009 | 0.35±0.06 | 0.45±0.06 | 0.13±0.03 | 0.08±0.02 | 0.13±0.02 |
| Ce | 70±4 | 402±16 | 39±4 | 136±11 | 91±10 | 66±6 | 98±11 | 66±7 |
| Cl | 70±9 | 62±10 | 53±11 | (39) | (76) | 95±7 | 100±6 | 68±12 |
| Cu | 14.2±1.0 | 8.7±0.9 | 5.5±0.7 | 22±2 | 12±2 | 7.6±1.1 | 97±6 | 12.7±1.1 |
| Cr | 62±4 | 47±4 | 32±4 | 370±16 | 118±7 | 75±6 | 410±23 | 68±6 |
| Cs | 9.0±0.7 | 4.9±0.5 | 3.2±0.4 | 21.4±1.0 | 15±1 | 10.8±0.6 | 2.7±0.8 | 7.4±0.7 |
| Cu | 21±2 | 16.3±0.9 | 11.4±1.1 | 40±3 | 14±6 | 390±14 | 97±6 | 24.3±1.2 |
| Dv | 4.6±0.3 | 4.4±0.3 | 2.6±0.2 | 6.6±0.6 | 3.7±0.5 | 3.3±0.3 | 6.6±0.6 | 4.8±0.4 |
| Fr | 2.6±0.2 | 2.1±0.4 | 1.5±0.3 | 4.5±0.7 | 2.4±0.3 | 2.2±0.3 | 2.7±0.5 | 2.5±0.2 |
| Fu | 1.0±0.1 | 3.0±0.2 | 0.72±0.04 | 0.85±0.07 | 0.82±0.04 | 0.66±0.04 | 3.4±0.2 | 1.2±0.1 |
| F | 506±32 | 2240±112 | 246±26 | 540±25 | 603±28 | 906±45 | 321±29 | 572±24 |
| Ga | 19.3±1.1 | 12±1 | 13.7±0.9 | 31±3 | 32±4 | 30±3 | 39±5 | 14.8±1.1 |
| Gd | 4.6±0.3 | 7.8±0.6 | 2.9±0.4 | 4.7±0.5 | 3.5±0.3 | 3.4±0.3 | 9.6±0.9 | 5.4±0.5 |
| Ge | 1.34±0.20 | 1.2±0.2 | 1.16±0.13 | 1.9±0.3 | 2.6±0.4 | 3.2±0.4 | 1.6±0.3 | 1.27±0.20 |
| Hf | 6.8±0.8 | 5.8±0.9 | 6.8±0.8 | 14±2 | 8.1±1.7 | 7.5±0.8 | 7.7±0.5 | 7.6±0.8 |
| Hg | 0.032±0.004 | 0.015±0.003 | 0.060±0.004 | 0.59±0.05 | 0.29±0.03 | 0.072±0.007 | 0.061±0.006 | 0.017±0.003 |
| Ho | 0.87±0.07 | 0.93±0.12 | 0.53±0.06 | 1.46±0.12 | 0.77±0.08 | 0.69±0.05 | 1.1±0.2 | 0.97±0.08 |
| I | 1.8±0.3 | 1.8±0.2 | 1.3±0.2 | 9.4±1.1 | 3.8±0.5 | 19.4±0.9 | 19±2 | 3.7±0.2 |
| In | 0.08±0.02 | 0.09±0.03 | 0.031±0.010 | 0.12±0.03 | 4.1±0.6 | 0.84±0.18 | 0.10±0.03 | 0.044±0.013 |
| Li | 34±2 | 164±11 | 21±2 | 53±4 | 36±4 | 30±2 | 46±5 | 36±3 |
| La | 35±1 | 22±1 | 18.4±0.8 | 55±2 | 56±2 | 36±1 | 19.5±0.9 | 35±2 |
| Lr | 0.41±0.04 | 0.32±0.05 | 0.29±0.02 | 0.75±0.06 | 0.42±0.05 | 0.42±0.05 | 0.35±0.06 | 0.43±0.04 |
| Nb | 1760±63 | 510±16 | 304±14 | 1420±75 | 1360±71 | 1450±82 | 1780±113 | 650±23 |
| Ma | 1.4±0.1 | 0.98±0.11 | 0.31±0.06 | 2.6±0.3 | 4.6±0.4 | 18±2 | 2.9±0.3 | 1.16±0.10 |
| N | 1870±67 | 630±59 | 610±50 | 1000±62 | 610±31 | 740±59 | 660±62 | 370±54 |
| Nb | 16.6±1.4 | 27±2 | 9.3±1.5 | 38±3 | 23±3 | 27±2 | 64±7 | 15±2 |
| Ne | 28±2 | 210±14 | 18.4±1.7 | 27±2 | 24±2 | 21±2 | 45±2 | 32±2 |
| Ni | 20.4±1.8 | 19.4±1.3 | 12±2 | 64±5 | 40±4 | 53±4 | 276±15 | 33.5±1.8 |
| P | 735±28 | 446±25 | 320±18 | 695±28 | 390±34 | 303±30 | 1150±39 | 775±25 |
| Pb | 98±6 | 20±3 | 26±3 | 58±5 | 552±29 | 314±13 | 14±3 | 21±2 |
| Pt | 7.5±0.5 | 57±6 | 4.8±0.4 | 8.4±1.7 | 7.0±1.2 | 5.8±0.6 | 11±3 | 8.3±0.8 |
| Rb | 140±6 | 88±4 | 85±4 | 75±4 | 117±6 | 27±8 | 16±3 | 96±4 |
| Re | | | | | (0.00053) | (0.00012) | | |
| S | 330±3 | 210±13 | 23±14 | 180±16 | 416±24 | 260±23 | 230±36 | (126) |
| Sb | 0.87±0.21 | 1.3±0.2 | 0.44±0.08 | 6.3±1.1 | 35±5 | 60±7 | 0.42±0.09 | 1.0±0.2 |
| Sc | 11.2±0.6 | 10.7±0.6 | 5.0±0.4 | 20±2 | 17±1 | 15.5±0.9 | 28±2 | 11.7±0.7 |
| Se | 0.14±0.03 | 0.16±0.03 | 0.09±0.02 | 0.64±0.14 | 1.6±0.2 | 1.34±0.17 | 0.32±0.05 | 0.10±0.01 |
| Si | 5.2±0.3 | 18±2 | 3.3±0.2 | 4.4±0.4 | 4.0±0.4 | 3.5±0.4 | 10.3±0.4 | 5.9±0.4 |
| Sn | 6.1±0.7 | 3.0±0.3 | 2.5±0.3 | 5.7±0.9 | 18±3 | 72±7 | 3.6±0.7 | 2.8±0.5 |
| Sr | 155±7 | 187±9 | 380±16 | 77±6 | 42±4 | 39±4 | 26±4 | 236±13 |
| Ta | 1.4±0.2 | 0.78±0.19 | 0.76±0.15 | 3.1±0.3 | 1.8±0.3 | 5.3±0.6 | 3.9±0.6 | 1.85±0.25 |
| Tb | 0.75±0.06 | 0.97±0.26 | 0.49±0.06 | 0.94±0.09 | 0.7±0.1 | 0.61±0.05 | 1.3±0.2 | 0.89±0.08 |
| Tc | 0.058±0.020 | (0.033) | 0.019±0.013 | 0.16±0.06 | (5) | 0.4±0.1 | (0.047) | 0.045±0.010 |
| Th | 11.6±0.7 | 16.6±0.8 | 6.0±0.5 | 27±2 | 23±2 | 23±2 | 9.2±0.7 | 11.8±0.7 |
| Ti | 4870±160 | 2710±80 | 2240±80 | 10800±310 | 6290±210 | 4290±120 | 20200±500 | 3890±120 |
| Tl | 1.0±0.2 | 0.62±0.20 | 0.48±0.05 | 0.94±0.25 | 1.6±0.3 | 2.4±0.5 | 0.21±0.06 | 0.58±0.10 |
| Tm | 0.35±0.06 | 0.43±0.11 | 0.38±0.08 | 0.78±0.10 | 0.41±0.04 | 0.40±0.06 | 0.42±0.05 | 0.46±0.07 |
| U | | | | | | | | |
| V | 3.1±0.3 | 1.08±0.22 | 0.96±0.12 | 6.2±0.5 | 34±2 | 90±7 | 1.2±0.2 | 1.7±0.2 |
| Y | 25±3 | 22±2 | 15±2 | 39±6 | 21±3 | 19±2 | 27±4 | 26±2 |
| Yb | 2.7±0.3 | 2.9±0.2 | 1.7±0.2 | 4.8±0.6 | 2.8±0.4 | 2.7±0.4 | 2.4±0.4 | 2.8±0.2 |
| Zn | 650±25 | 42±3 | 31±3 | 210±13 | 494±25 | 97±6 | 142±11 | 68±4 |
| Zr | 245±12 | 219±15 | 246±14 | 500±42 | 272±16 | 220±14 | 318±17 | 229±12 |
| AsO ₄ | 62.60±0.14 | 73.35±0.18 | 74.72±0.19 | 50.95±0.14 | 52.57±0.16 | 56.93±0.18 | 32.69±0.18 | 58.61±0.13 |
| Al ₂ O ₃ | 14.18±0.14 | 10.31±0.10 | 12.24±0.09 | 23.45±0.19 | 21.58±0.15 | 21.32±0.16 | 29.26±0.34 | 11.92±0.15 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.19±0.09 | 3.52±0.07 | 2.00±0.05 | 10.30±0.11 | 12.62±0.18 | 8.09±0.13 | 18.76±0.33 | 4.48±0.05 |
| FeO | (1.27) | 0.57±0.07 | 0.50±0.06 | (0.41) | (0.22) | (0.57) | (1.05) | 1.22±0.05 |
| MgO | 1.81±0.08 | 1.04±0.04 | 0.58±0.04 | 0.49±0.05 | 0.61±0.06 | 0.34±0.05 | 0.36±0.03 | 2.38±0.07 |
| CaO | 1.72±0.06 | 2.36±0.05 | 1.27±0.05 | 0.26±0.04 | (0.10) | 0.22±0.03 | 0.16±0.02 | 8.27±0.32 |
| Na ₂ O | 1.66±0.04 | 1.62±0.04 | 2.71±0.06 | 0.11±0.02 | 0.12±0.02 | 0.19±0.02 | 0.08±0.02 | 1.72±0.04 |
| K ₂ O | 2.59±0.04 | 2.54±0.05 | 3.04±0.05 | 1.03±0.06 | 1.50±0.04 | 1.70±0.06 | 0.20±0.02 | 3.42±0.04 |
| H ₂ O | (5.0) | (2.9) | (1.9) | (10.1) | (8.8) | (8.9) | (13.7) | (3.3) |
| CO ₂ | 1.12±0.09 | (0.97) | (0.13) | (0.12) | (0.10) | (0.084) | (0.11) | 5.97±0.16 |
| C _{org} | 1.80±0.16 | 0.49±0.07 | 0.51±0.03 | 0.62±0.08 | (0.32) | 0.81±0.09 | 0.64±0.07 | (0.70) |
| Flu | 2.11±0.19 | 0.75±0.10 | 0.55±0.05 | 0.65±0.10 | (0.35) | 0.83±0.10 | 0.67±0.09 | 1.93±0.13 |
| LOI | (8.59) | 4.4±0.2 | 2.67±0.13 | (10.9) | (9.1) | (10.0) | (14.3) | 9.12±0.17 |

Note: Data behind "±" are uncertainty; $U = t_{\alpha} \cdot s/\sqrt{N}$. $\alpha = 0.01$, S is standard deviation, N means number of data (N>8).

表 4-2 標準岩樣之驗證資料及重金屬含量



| Composition | Methods | Computation | Methods |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Ag | AA, AAN, ES, NA | Pt | ICP, MS, NA |
| As | AA, AF, COL, POL, ES, NA, XRF | Rb | AA, FP, NA, XRF |
| Au | AAN, ES | Sb | AA, AAH, AF, COL, POL, ES, NA |
| B | COL, ES, ICP | Sc | ES, ICP, NA, XRF |
| Ba | AA, AAN, ES, ICP, NA, MS, XRF | Sr | AA, AF, COL, ICP, POL |
| Be | AAN, COL, ES, ICP, POL | Sm | AA, AF, COL, ES, MS, XRF |
| Bi | AA, AAH, AF, COL, POL, MS, ES, ICP | Sn | AAN, POL, COL, ES, MS, XRF |
| Br | COL, ICP, NA | Str | AA, AAN, ES, ICP, NA, XRF |
| Cd | AA, AAN, ES, ICP, POL | Ta | COL, ICP, NA |
| Ce | ICP, ID, MS, NA, XRF | Tb | AAN, ICP, MS, NA |
| Cl | COL, ICP, ES, NA | Tc | AAN, AF, COL, POL |
| Co | AA, AAN, COL, ES, ICP, NA, POL, XRF | Th | COL, ICP, MS, NA, POL, XRF |
| Cr | AA, COL, ES, ICP, NA, XRF | Ti | COL, ICP, NA, XRF |
| Cs | AA, FP, NA | Tl | AAN, COL, POL, ES, MS |
| Cu | AA, COL, ICP, POL, XRF | Tm | AAN, ICP, MS, NA |
| Ds | AAN, ICP, ID, MS, NA | U | COL, DNA, ID, MS, NA, POL, XRF |
| Er | AAN, ICP, ID, MS, NA | V | COL, ES, ICP, NA, POL, XRF |
| F | AAN, ICP, MS, NA | W | COL, NA, MS, POL, XRF |
| Ga | COL, ICP, ES, ICP, XRF | Y | AA, ES, ICP, MS, XRF |
| Gd | AAN, COL, POL, ES, ICP, XRF | Zn | AA, ES, ICP, MS, NA |
| Hf | AAN, COL, POL | Zr | AA, ICP, NA, POL, XRF |
| Hg | COL, MS, NA, XRF | SrO | COL, ES, ICP, MS, NA, POL, XRF |
| He | AA, AF, AF | Al ₂ O ₃ | GR, ICP, VOL, XRF |
| Ho | AAN, ICP, MS, NA | PtCl ₂ | COL, ICP, VOL, XRF |
| In | AA, ES, NA, POL | FeO | AA, COL, ICP, NA, VOL, XRF |
| Li | ICP, MS, NA, XRF | L ₄ | COL, VOL |
| Lu | AA, FP, ICP | MgO | AA, GR, ICP, VOL, XRF |
| Mn | ICP, MS, NA | CeO | GR, ICP, VOL, XRF, AA |
| Mo | AA, COL, ICP, NA, POL, XRF | Na ₂ O | AA, FP, ICP, NA, XRF |
| Nb | COL, ES, NA, MS, POL, XRF | K ₂ O | AA, FP, ICP, NA, XRF |
| Nd | COL, ES, ICP, MS, XRF | S | VOL, XRF |
| Ni | ICP, ID, MS, NA, XRF | H ₂ O ⁺ | GR, EL |
| P | AA, AAN, COL, ES, ICP, NA, POL, XRF | CO ₂ | GR, VOL |
| Pb | COL, ICP, XRF | Cr ₂ O ₃ | GR, VOL |
| Pr | AA, ES, ICP, ID, POL, XRF | L ₂ O ₁ | GR |

Note: Flame Atomic Absorption Spectrometry
 AAN: Atomic Absorption Spectrometry with hydride generation
 AA: Atomic Absorption Spectrometry
 AF: Atomic Fluorescence Spectrometry
 COL: Colorimetry
 DNA: Delay Neutron Activation method
 ES: Electrode method
 FP: Flame Photometry
 MS: Mass Spectrometry
 POL: Polarography

Certificate of Certified Reference Materials

NCS DC 73301 - - NCS DC 73306

Rock

Glen Spectra Reference Materials
 2 Dalston Gardens, Stanmore
 Middlesex HA7 1BO, England
 Tel : +44 (0)20 8204 8656
 Fax : +44 (0)20 8204 8654
 E-mail : sales@gurm.co.uk
 Website: www.gurm.co.uk

Issued in 2004

Approved by China National Analysis Center for Iron and Steel
 (Beijing China)

Professor Wang Haizhou, Chief
 China National Analysis Center for Iron and Steel

表 4-2 標準岩樣之驗證資料及重金屬含量 (續)

| Certified values of rock reference materials(Certification 1986, Revision 2003) | | | | | | |
|---|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ug/g | NCS DC73301 | NCS DC73302 | NCS DC73303 | NCS DC73304 | NCS DC73305 | NCS DC73306 |
| Ag | 0.033±0.007 | 0.071±0.009 | 0.040±0.008 | 0.062±0.007 | 0.047±0.009 | 0.043±0.011 |
| As | 2.1±0.4 | 2.1±0.4 | (0.7) | 9.1±1.2 | 1.4±0.3 | 4.7±0.6 |
| Au | (0.00055) | (0.00095) | (0.00066) | (0.0018) | (0.0016) | (0.00094) |
| B | 24±3 | 4.7±0.8 | 3.5±1.0 | 34±6 | 154±11 | 16±4 |
| Ba | 343±29 | 1020±45 | 527±26 | 143±14 | 450±29 | 120±12 |
| Be | 12.2±1.4 | 1.1±0.2 | 2.5±0.4 | 0.97±0.10 | 3.0±0.3 | 0.8±0.2 |
| Bi | 0.53±0.06 | 0.081±0.016 | 0.048±0.017 | 0.18±0.03 | 0.23±0.03 | 6.16±0.04 |
| Br | | | | (0.4) | | |
| Cd | 0.029±0.009 | 0.061±0.014 | 0.067±0.016 | 0.060±0.016 | 0.033±0.012 | 0.072±0.02 |
| Ce | 108±7 | 40±3 | 105±8 | 48±4 | 169±8 | 25±3 |
| Cl | 127±17 | (46) | (114) | (44) | 41±6 | 78±15 |
| Co | 3.4±0.7 | 13.2±1.0 | 46.5±3.4 | 6.4±0.6 | 21±2 | 9±2 |
| Cr | 3.6±0.9 | 32±3 | 134±11 | 20±3 | 99±6 | 32±4 |
| Cs | 38.4±1.2 | 2.3±0.7 | (0.7) | 1.8±0.3 | 14±2 | 3.2±0.7 |
| Cu | 1.2±0.9 | 55±3 | 49±3 | 19±2 | 47±2 | 2.5±2 |
| Dy | 10.2±0.4 | 1.85±0.17 | 5.6±0.3 | 4.1±0.4 | 5.1±0.4 | 1.6±0.2 |
| Er | 6.5±0.3 | 0.85±0.13 | 2.0±0.2 | 2.0±0.3 | 2.7±0.4 | 1.9±0.2 |
| Eu | 0.85±0.07 | 1.02±0.05 | 3.2±0.2 | 1.02±0.08 | 1.7±0.2 | 0.51±0.05 |
| F | 2350±128 | 280±25 | 700±44 | 183±18 | 1290±64 | 460±29 |
| Ga | 19±2 | 18.1±1.4 | 24.8±0.9 | 5.3±0.8 | 26±3 | 3.1±0.8 |
| Gd | 9.3±0.7 | 2.7±0.4 | 8.5±0.6 | 4.5±0.4 | 6.7±0.5 | 1.9±0.2 |
| Ge | 2.0±0.3 | 0.93±0.15 | 0.98±0.21 | 1.16±0.27 | 3.1±0.5 | 0.77±0.20 |
| Hf | 6.3±0.8 | 2.9±0.5 | 6.5±0.8 | 6.6±0.7 | 2.9±0.5 | 1.8±0.3 |
| Hg | 0.0041±0.0012 | 0.012±0.003 | 0.006±0.002 | 0.008±0.002 | 6.010±0.002 | 0.016±0.002 |
| Ho | 2.05±0.17 | 0.14±0.03 | 0.88±0.04 | 0.75±0.12 | 0.98±0.05 | 0.33±0.05 |
| I | | (0.14) | | (0.2) | 0.24±0.06 | 0.23±0.08 |
| In | (0.02) | 0.037±0.013 | 0.064±0.022 | (0.026) | 0.082±0.028 | (0.04) |
| La | 54±4 | 22±2 | 56±5 | 21±2 | 62±4 | 15±4 |
| Li | 131±5 | 18.3±0.9 | 9.5±0.9 | 11.1±0.5 | 44±2 | 20±3 |
| Lu | 1.15±0.09 | 0.12±0.03 | 0.19±0.05 | 0.30±0.03 | 0.41±0.05 | 0.14±0.03 |
| Mn | 463±18 | 604±18 | 1310±61 | 155±7 | 173±11 | 434±27 |
| Mo | 3.5±0.2 | 0.54±0.09 | 2.6±0.2 | 0.76±0.14 | 0.35±0.09 | 0.38±0.06 |
| N | | | | | 540±60 | (170) |
| Nb | 40±3 | 6.8±1.4 | 68±8 | 5.9±0.9 | 14.3±1.6 | 6.6±1.7 |
| Nd | 47±4 | 19±2 | 54±4 | 21±2 | 45±3 | 12.0±1.0 |
| Ni | 2.3±0.8 | 17±2 | 140±7 | 16.6±1.1 | 37±3 | 15±2 |
| P | 405±20 | 1020±24 | 4130±122 | 970±39 | 690±34 | 220±35 |
| Pb | 31±3 | 11.3±1.8 | (7) | 7.6±0.8 | 8.7±1.8 | 12±3 |
| Pt | 12.7±0.8 | 4.9±0.4 | 13.2±1.3 | 5.4±0.6 | 13.6±1.7 | 3.4±0.4 |
| Rb | 466±17 | 38±3 | 37±4 | 29±2 | 205±6 | 32±4 |
| S | 380±33 | 192±21 | (100) | 660±42 | (66) | (470) |
| Sb | 0.21±0.06 | 0.12±0.04 | (0.05) | 0.60±0.13 | 0.18±0.04 | 0.43±0.11 |
| Sc | 6.1±0.4 | 9.5±0.7 | 15.2±1.2 | 4.2±0.3 | 18.5±1.2 | 0.5±0.1 |
| Se | (0.04) | (0.04) | 0.073±0.024 | 0.08±0.03 | 0.075±0.015 | 0.09±0.02 |
| Sm | 9.7±0.8 | 3.4±0.2 | 10.2±0.5 | 4.7±0.3 | 8.4±0.4 | 2.4±0.2 |
| Sr | 12.5±1.5 | 0.79±0.17 | 2.0±0.4 | 1.1±0.2 | 2.0±0.4 | 0.5±0.1 |
| Ta | 106±6 | 790±35 | 1100±64 | 58±5 | 90±7 | 913±54 |
| Tb | 7.2±0.7 | 0.40±0.10 | 4.3±0.6 | 0.38±0.05 | 0.9±0.1 | 0.42±0.05 |
| Ti | 1.65±0.09 | 0.41±0.05 | 1.2±0.2 | 0.79±0.09 | 1.02±0.08 | 0.35±0.05 |
| Te | 0.021±0.006 | 0.017±0.005 | (0.022) | 0.038±0.012 | 10.023) | (0.024) |
| Th | 54±3 | 2.6±0.3 | 6.0±0.8 | 7.0±0.4 | 12.8±0.9 | 4.4±0.5 |
| Tl | 1720±70 | 3090±90 | 14200±400 | 1580±80 | 3930±130 | 1960±90 |
| Tl | 1.93±0.38 | 0.16±0.05 | (0.12) | 0.36±0.06 | 0.71±0.09 | 0.33±0.07 |
| Tm | 1.06±0.09 | 0.15±0.05 | 0.28±0.04 | 0.32±0.04 | 0.43±0.03 | 0.17±0.04 |
| U | 18.8±1.4 | 0.90±0.19 | 1.4±0.3 | 2.1±0.3 | 1.5±0.3 | 1.9±0.3 |
| V | 24±2 | 94±4 | 167±11 | 33±3 | 87±4 | 36±6 |
| W | 8.4±0.5 | (0.45) | (0.4) | 1.2±0.2 | 0.79±0.14 | 0.67±0.18 |
| Y | 62±5 | 9.3±1.2 | 22±4 | 21.5±2.2 | 26±2 | 9.1±1.6 |
| Yb | 7.4±0.5 | 0.89±0.13 | 1.5±0.4 | 1.9±0.2 | 2.6±0.3 | 0.99±0.11 |
| Zn | 28±3 | 71±5 | 150±10 | 20±2 | 55±4 | 52±4 |
| Zr | 167±9 | 99±11 | 277±20 | 214±9 | 96±9 | 62±13 |
| % | | | | | | |
| SiO ₂ | 72.83±0.10 | 60.62±0.14 | 44.64±0.11 | 90.36±0.15 | 59.23±0.16 | 15.66±0.06 |
| Al ₂ O ₃ | 13.40±0.07 | 16.17±0.12 | 13.83±0.13 | 3.52±0.09 | 16.82±0.14 | 5.03±0.08 |
| IFe ₂ O ₃ | 2.14±0.06 | 4.90±0.06 | 13.40±0.19 | 3.22±0.07 | 7.60±0.09 | 2.22±0.07 |
| FeO | 1.62±0.04 | 2.39±0.07 | 7.60±0.13 | 0.61±0.05 | 1.39±0.06 | 1.64±0.06 |
| MgO | 0.42±0.04 | 1.72±0.06 | 7.77±0.17 | 0.082±0.020 | 2.01±0.05 | 5.19±0.12 |
| CaO | 1.55±0.05 | 5.20±0.07 | 8.81±0.09 | 0.30±0.04 | 0.60±0.04 | 35.67±0.23 |
| Na ₂ O | 3.13±0.06 | 3.86±0.07 | 3.38±0.05 | 0.061±0.014 | 0.35±0.02 | (0.06) |
| K ₂ O | 5.01±0.07 | 1.89±0.05 | 2.32±0.06 | 0.65±0.03 | 4.16±0.10 | 0.78±0.04 |
| H ₂ O ⁺ | 0.60±0.05 | (1.5) | 2.86±0.13 | 1.01±0.06 | 5.6±0.3 | (2.12) |
| CO ₂ | (0.15) | 3.47±0.07 | (0.19) | (0.19) | (0.10) | 32.4±0.3 |
| Org | | | | (0.05) | (0.16) | (0.11) |
| TC | | | | (0.10) | (0.19) | 9.0±0.2 |
| L.O.I | (0.70) | 4.44±0.12 | (2.24) | 1.10±0.07 | (5.95) | 34.1±0.2 |

Note: Data behind "±" are uncertainty; U = t_α * s/√N. α=0.01. S is standard deviation, N means number of data(N>6)

Data enclosed in brackets are reference values

表4-3 NCS標準樣品 DC73389 (土壤) 數值與ACME分析比較

| 元素 | Ag | Al | As | Ba | Be | Bi | Ca | Cd | Ce | Co | Cr | Cs | Cu | Dy | Er | Eu | Fe | Ga |
|---------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 含量 | ppb | % | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm |
| ACME分析結果 | 55 | 5.83 | 14.8 | 458 | 2 | 0.31 | 5.92 | 0.18 | 71.94 | 11.8 | 49 | 7.3 | 25.11 | 3.3 | 2.3 | 1.1 | 3.04 | 13.9 |
| NSC分析數值 | 60 | 6.3 | 12.7 | 480 | 1.9 | 0.3 | 6.62 | 0.13 | 66 | 12.7 | 68 | 7.5 | 24.3 | 4.8 | 2.8 | 1.2 | 3.13 | 14.8 |
| NCS誤差值 | 9 | 0.08 | 1.1 | 23 | 0.2 | 0.04 | 0.1 | 0.02 | 7 | 1.1 | 6 | 0.7 | 1.2 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.03 | 1.1 |
| NCS誤差百分比(正負) | 15.0% | 1.3% | 8.7% | 4.8% | 10.5% | 13.3% | 1.5% | 15.4% | 10.6% | 8.7% | 8.8% | 9.3% | 4.9% | 8.3% | 7.1% | 8.3% | 1.0% | 7.4% |
| ACME與NSC誤差百分比 | -8.3% | -7.5% | 16.5% | -4.6% | 5.3% | 3.3% | -10.6% | 38.5% | 9.0% | -7.1% | -27.9% | -2.7% | 3.3% | -31.3% | -17.9% | -8.3% | -2.9% | -6.1% |
| 元素 | Gd | Hf | Ho | K | La | Li | Lu | Mg | Mn | Mo | Na | Nb | Nd | Ni | P | Pb | Pr | Rb |
| 含量 | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm |
| ACME分析結果 | 4.6 | 1.9 | 0.7 | 2.04 | 33 | 40 | 0.2 | 1.39 | 666 | 1.15 | 1.193 | 8.83 | 29.3 | 28.9 | 0.077 | 20.35 | 7.5 | 95.4 |
| NSC分析數值 | 5.4 | 7 | 0.97 | 2 | 36 | 35 | 0.43 | 1.44 | 650 | 1.16 | 1.28 | 15 | 32 | 31.5 | 0.0775 | 21 | 8.3 | 96 |
| NCS誤差值 | 0.5 | 0.8 | 0.08 | 0.03 | 3 | 2 | 0.04 | 0.04 | 23 | 0.1 | 0.03 | 2 | 2 | 1.8 | 0.0025 | 2 | 0.8 | 4 |
| NCS誤差百分比(正負) | 9.3% | 11.4% | 8.2% | 1.5% | 8.3% | 5.7% | 9.3% | 2.8% | 3.5% | 8.6% | 2.3% | 13.3% | 6.3% | 5.7% | 3.2% | 9.5% | 9.6% | 4.2% |
| ACME與NSC誤差百分比 | -14.8% | -72.9% | -27.8% | 2.0% | -8.3% | 14.3% | -53.5% | -3.5% | 2.5% | -0.9% | -6.8% | -41.1% | -8.4% | -8.3% | -0.6% | -3.1% | -9.6% | -0.6% |
| 元素 | S | Sb | Sc | Sm | Sn | Sr | Ta | Tb | Th | Ti | Tm | U | V | W | Y | Yb | Zn | Zr |
| 含量 | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| ACME分析結果 | 0.06 | 1.46 | 10 | 6 | 2.8 | 228 | 0.7 | 0.6 | 11.6 | 0.363 | 0.3 | 2.4 | 80 | 1.5 | 17.3 | 1.8 | 66.9 | 52.9 |
| NSC分析數值 | 0.0126 | 1 | 11.7 | 5.9 | 2.8 | 236 | 1.05 | 0.89 | 11.8 | 0.38 | 0.46 | 2.7 | 81 | 1.7 | 26 | 2.8 | 68 | 229 |
| NCS誤差值 | | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.5 | 13 | 0.25 | 0.08 | 0.7 | 0.012 | 0.07 | 0.4 | 5 | 0.2 | 2 | 0.2 | 4 | 12 |
| NCS誤差百分比(正負) | | 20.0% | 6.0% | 6.8% | 17.9% | 5.5% | 23.8% | 9.0% | 5.9% | 3.2% | 15.2% | 14.8% | 6.2% | 11.8% | 7.7% | 7.1% | 5.9% | 5.2% |
| ACME與NSC誤差百分比 | 376.2% | 46.0% | -14.5% | 1.7% | 0.0% | -3.4% | -33.3% | -32.6% | -1.7% | -4.5% | -34.8% | -11.1% | -1.2% | -11.8% | -33.5% | -35.7% | -1.6% | -76.9% |

| 元素 | Ag | Al | As | Ba | Be | Bi | Ca | Cd | Ce | Co | Cr | Cs | Cu | Dy | Er | Eu | Fe | Ga |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 含量 | ppb | % | ppm | ppm | ppm | ppm | % | ppm | % | ppm |
| ACME分析結果 | 63 | 7.6 | 3 | 936 | 1 | 0.06 | 3.46 | 0.08 | 33.63 | 11.6 | 24 | 1.6 | 58.88 | 1.5 | 0.7 | 0.8 | 3.21 | 18.46 |
| NSC誤差值 | 71 | 8.56 | 2.1 | 1020 | 1.1 | 0.081 | 4.16 | 0.061 | 40 | 13.2 | 32 | 2.3 | 55 | 1.85 | 0.85 | 1.02 | 3.43 | 18.1 |
| NSC誤差值 | 9 | 0.064 | 0.4 | 45 | 0.2 | 0.016 | 0.056 | 0.014 | 3 | 1 | 3 | 0.7 | 3 | 0.17 | 0.13 | 0.05 | 0.042 | 1.4 |
| NSC誤差百分比(正負) | 12.7% | 0.7% | 19.0% | 4.4% | 18.2% | 19.8% | 1.3% | 23.0% | 7.5% | 7.6% | 9.4% | 30.4% | 5.5% | 9.2% | 15.3% | 4.9% | 1.2% | 7.7% |
| ACME與NSC誤差百分比 | -11.3% | -11.2% | 42.9% | -8.2% | -9.1% | -25.9% | -16.8% | 31.1% | -15.9% | -12.1% | -25.0% | -30.4% | 7.1% | -18.9% | -17.6% | -21.6% | -6.4% | 2.0% |
| 元素 | Gd | Hf | Ho | K | La | Li | Lu | Mg | Mn | Mo | Na | Nb | Nd | Ni | P | Pb | Pr | Rb |
| 含量 | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm | % | ppm | ppm | ppm |
| ACME分析結果 | 2 | 2.07 | 0.2 | 1.39 | 17 | 18.5 | 0.1 | 0.96 | 595 | 0.5 | 2.739 | 4.75 | 14.9 | 15.6 | 0.09 | 10.25 | 3.4 | 31.2 |
| NSC誤差值 | 2.7 | 2.9 | 0.34 | 1.57 | 22 | 18.3 | 0.12 | 1.037 | 604 | 0.54 | 2.508 | 6.8 | 19 | 17 | 0.103 | 11.3 | 4.9 | 38 |
| NSC誤差值 | 0.4 | 0.5 | 0.03 | 0.042 | 2 | 0.9 | 0.03 | 0.036 | 18 | 0.09 | 0.052 | 1.4 | 2 | 2 | 0.0024 | 1.8 | 0.4 | 3 |
| NSC誤差百分比(正負) | 14.8% | 17.2% | 8.8% | 2.7% | 9.1% | 4.9% | 25.0% | 3.5% | 3.0% | 16.7% | 2.1% | 20.6% | 10.5% | 11.8% | 2.3% | 15.9% | 8.2% | 7.9% |
| ACME與NSC誤差百分比 | -25.9% | -28.6% | -41.2% | -11.5% | -22.7% | 1.1% | -16.7% | -7.4% | -1.5% | -7.4% | 9.2% | -30.1% | -21.6% | -8.2% | -12.6% | -9.3% | -30.6% | -17.9% |
| 元素 | S | Sb | Sc | Sm | Sn | Sr | Ta | Tb | Th | Ti | Tm | U | V | W | Y | Yb | Zn | Zr |
| 含量 | % | ppm | % | ppm |
| ACME分析結果 | <.04 | 0.18 | 7.4 | 2.7 | 0.6 | 682 | 0.3 | 0.3 | 2.4 | 0.316 | 0.1 | 0.8 | 92 | 0.4 | 6.9 | 0.7 | 69.5 | 69.6 |
| NSC誤差值 | 0.0192 | 0.12 | 9.5 | 3.4 | 0.79 | 790 | 0.4 | 0.41 | 2.6 | 0.309 | 0.15 | 0.9 | 94 | 0.45 | 9.3 | 0.89 | 71 | 99 |
| NSC誤差值 | 21 | 0.04 | 0.7 | 0.2 | 0.17 | 35 | 0.1 | 0.05 | 0.3 | 0.009 | 0.05 | 0.19 | 4? | ? | 1.2 | 0.13 | 5 | 11 |
| NSC誤差百分比(正負) | | 33.3% | 7.4% | 5.9% | 21.5% | 4.4% | 25.0% | 12.2% | 11.5% | 2.9% | 33.3% | 21.1% | 4.3% | | 12.9% | 14.6% | 7.0% | 11.1% |
| ACME與NSC誤差百分比 | | 50.0% | -22.1% | -20.6% | -24.1% | -13.7% | -25.0% | -26.8% | -7.7% | 2.3% | -33.3% | -11.1% | -2.1% | -11.1% | -25.8% | -21.3% | -2.1% | -29.7% |

表4-5 陽金公路土壤樣品國內及國外公司分析結果比較表

| ELEMENT | 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 | 62.4 | 86.05 | 94.2 | - | 0.165 | 15.9 | 28.0 | 77.48 | 76.0 | 141.5 | 148.0 |
| RD1-b | 15.4 | 13.1 | 0.21 | ND | 37 | 51.0 | 101.29 | 102.0 | - | 0.134 | 17.0 | 23.4 | 83.19 | 73.9 | 142.2 | 142.0 |
| RD2-a | 15.6 | 13.5 | 0.17 | ND | 36 | 58.6 | 77.30 | 70.2 | - | 0.311 | 14.4 | 24.2 | 82.25 | 70.8 | 116.9 | 106.0 |
| RD2-b | 17.5 | 15.6 | 0.17 | ND | 30 | 38.2 | 83.02 | 79.9 | - | 0.257 | 12.5 | 15.6 | 67.76 | 60.8 | 120.6 | 111.0 |
| RD3-a | 14.5 | 12.2 | 0.35 | ND | 38 | 59.2 | 88.22 | 80.7 | - | 0.507 | 15.6 | 24.1 | 99.98 | 91.5 | 164.0 | 161.0 |
| RD3-b | 15.4 | 11.7 | 0.30 | ND | 35 | 60.4 | 81.06 | 76.9 | - | 0.593 | 16.0 | 27.1 | 60.86 | 50.5 | 137.2 | 140.0 |
| RD4-a | 18.3 | 13.6 | 0.35 | ND | 36 | 51.6 | 84.24 | 168.0 | - | 0.251 | 12.8 | 20.5 | 82.61 | 65.2 | 151.2 | 136.0 |
| RD4-b | 19.0 | 12.6 | 0.25 | ND | 27 | 57.6 | 81.52 | 71.3 | - | 0.178 | 12.9 | 23.0 | 40.65 | 34.7 | 122.1 | 117.0 |
| RD5-a | 16.5 | 13.5 | 0.24 | ND | 34 | 96.2 | 65.71 | 57.7 | - | 0.170 | 12.8 | 37.0 | 57.52 | 52.3 | 119.2 | 104.0 |
| RD5-b | 17.0 | 13.1 | 0.16 | ND | 28 | 41.8 | 68.08 | 55.0 | - | 0.159 | 10.5 | 15.7 | 39.68 | 31.3 | 103.9 | 75.5 |
| RD6-a | 25.0 | 19.4 | 0.22 | ND | 38 | 40.8 | 79.96 | 71.8 | - | 0.413 | 11.0 | 14.1 | 41.04 | 31.8 | 101.0 | 90.6 |
| RD6-b | 23.3 | 18.9 | 0.16 | ND | 36 | 44.9 | 68.81 | 57.9 | - | 0.452 | 11.9 | 16.5 | 27.11 | 17.4 | 77.8 | 65.3 |
| RD7-a | 137.5 | 131.0 | 0.24 | ND | 53 | 53.2 | 128.96 | 126.0 | - | 2.120 | 15.3 | 17.6 | 55.93 | 40.0 | 109.0 | 99.1 |
| RD7-b | 133.5 | 126.0 | 0.20 | ND | 64 | 48.6 | 123.84 | 128.0 | - | 2.790 | 16.3 | 15.4 | 47.34 | 32.8 | 104.3 | 103.0 |
| RD8-a | 71.2 | 76.5 | 0.16 | ND | 24 | 49.4 | 78.32 | 74.9 | - | 0.449 | 6.1 | 17.9 | 79.49 | 52.5 | 58.1 | 52.5 |
| RD8-b | 87.8 | 83.8 | 0.18 | ND | 23 | 14.5 | 89.81 | 119.0 | - | 0.346 | 9.8 | 4.6 | 104.44 | 67.4 | 59.7 | 58.8 |
| RD9-a | 31.1 | 26.7 | 0.24 | ND | 36 | 36.9 | 87.33 | 82.0 | - | 0.093 | 13.9 | 14.9 | 44.32 | 37.4 | 106.6 | 106.0 |
| RD9-b | 34.0 | 30.8 | 0.18 | ND | 39 | 61.1 | 83.88 | 81.8 | - | 0.087 | 15.1 | 15.0 | 36.14 | 29.6 | 99.1 | 94.8 |
| RD10-a | 18.1 | 13.5 | 0.21 | ND | 67 | 41.9 | 127.90 | 121.0 | - | 0.049 | 20.2 | 17.8 | 24.61 | 17.3 | 104.5 | 93.7 |
| RD10-b | 18.9 | 13.4 | 0.30 | ND | 66 | 39.3 | 111.40 | 109.0 | - | 0.088 | 18.2 | 16.5 | 34.66 | 28.1 | 123.5 | 118.0 |

圖4-12 土壤砷 (As)含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 (單位：ppm)

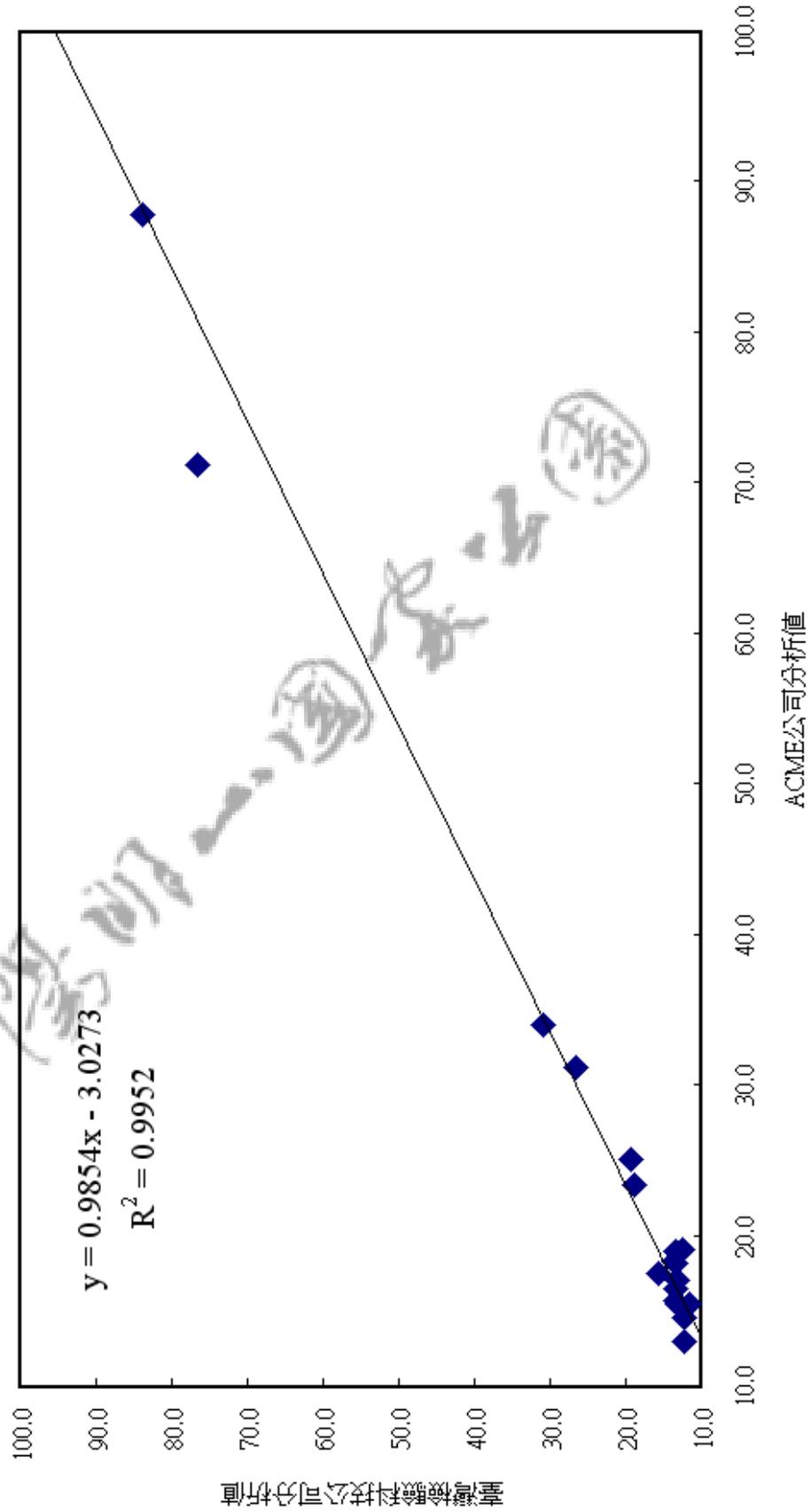


圖4-13 土壤銅 (Cu)含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 (單位: ppm)

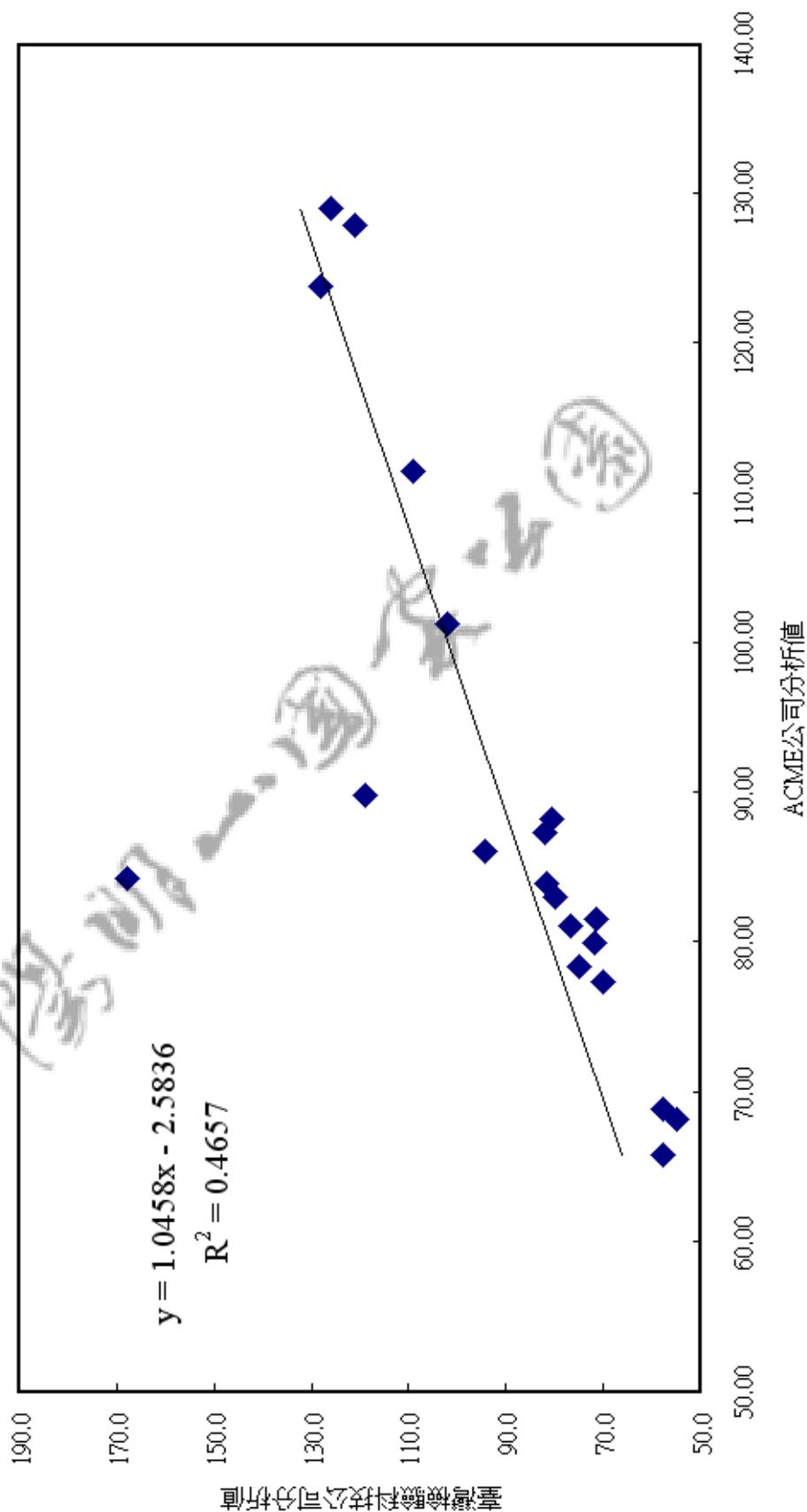


圖4-14 土壤鉛 (Pb)含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 (單位：ppm)

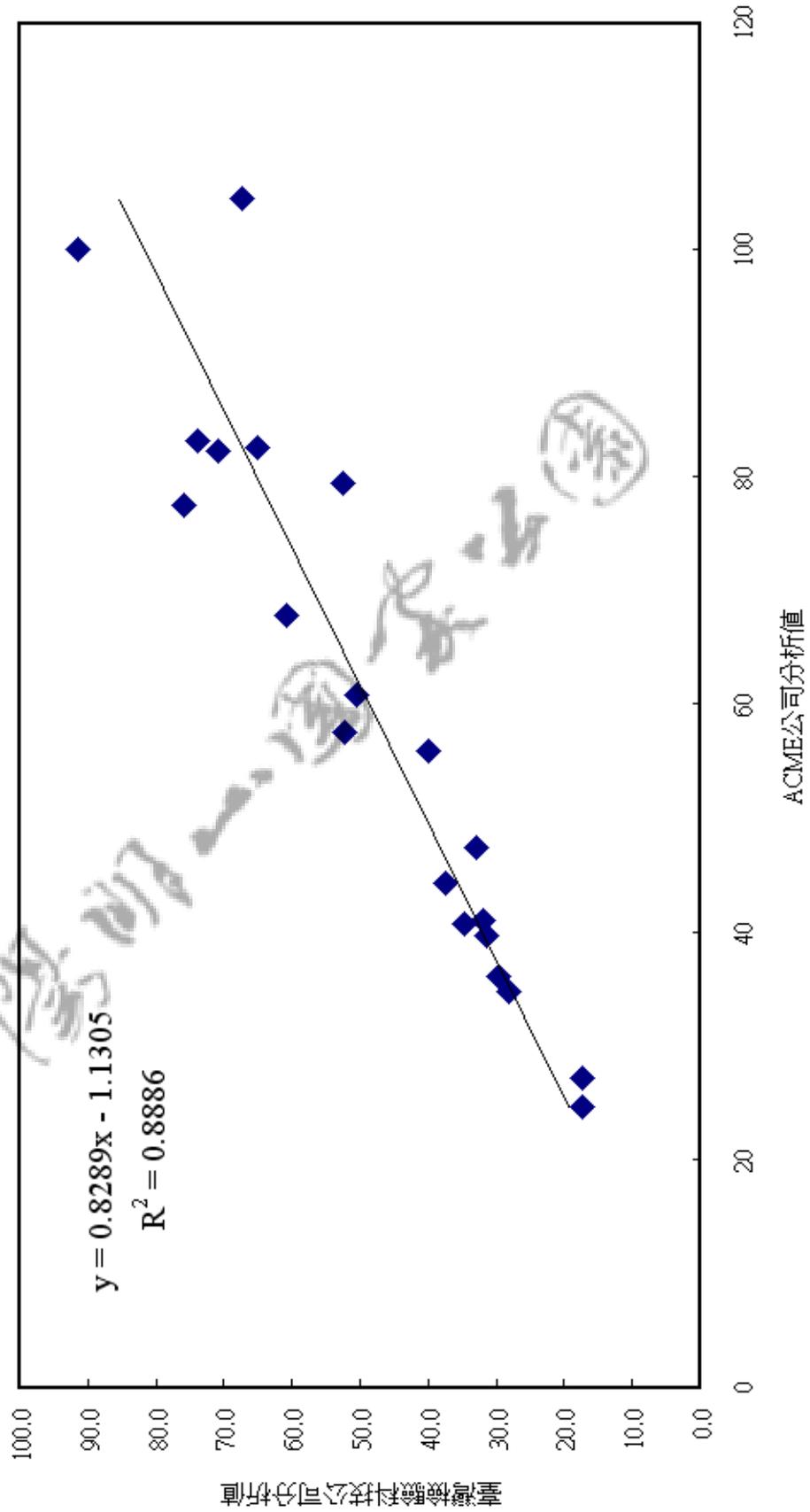


圖4-15 土壤鋅 (Zn)含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 (單位：ppm)

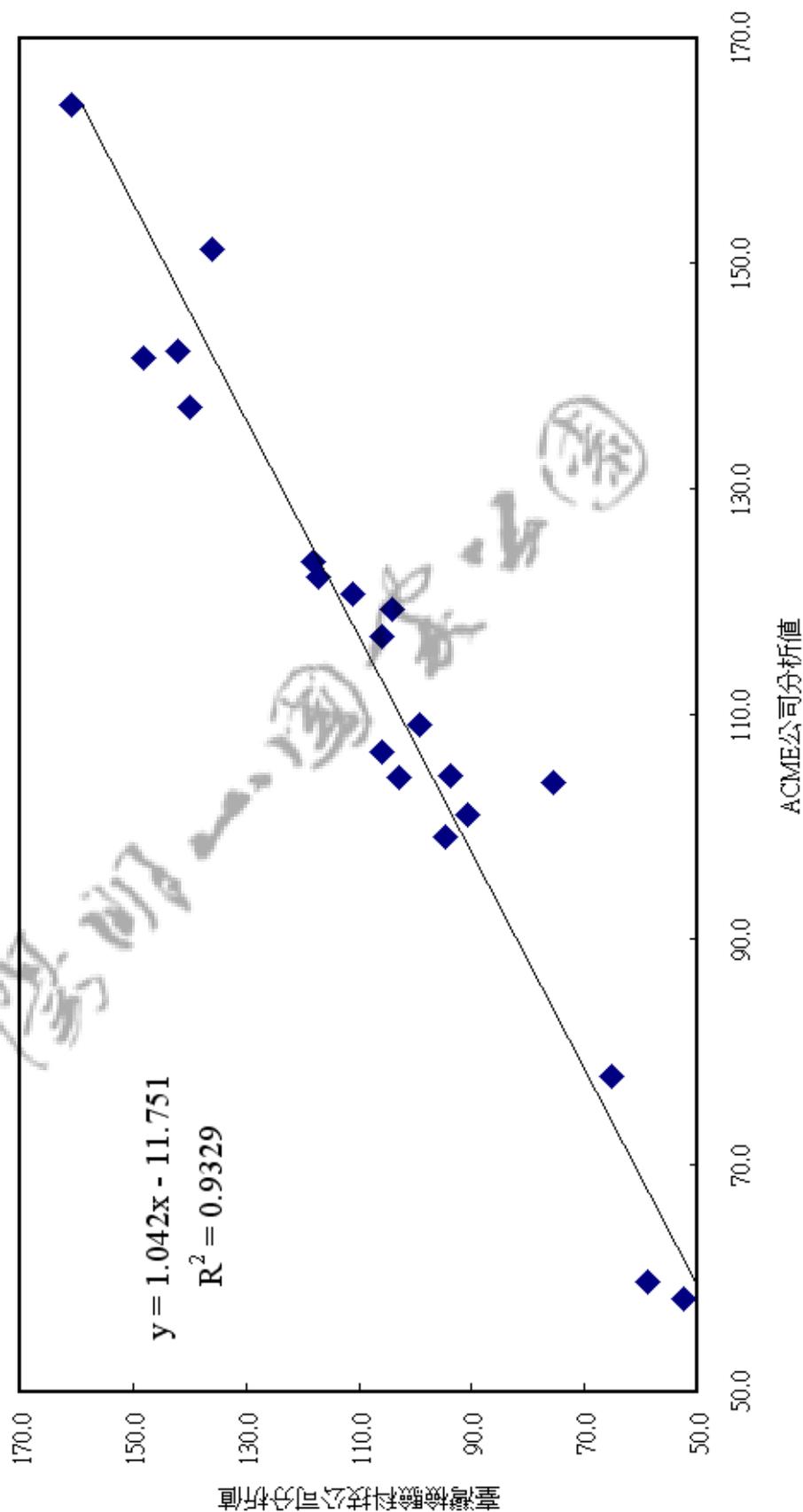


圖4-16 土壤鉻 (Cr) 含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 (單位: ppm)

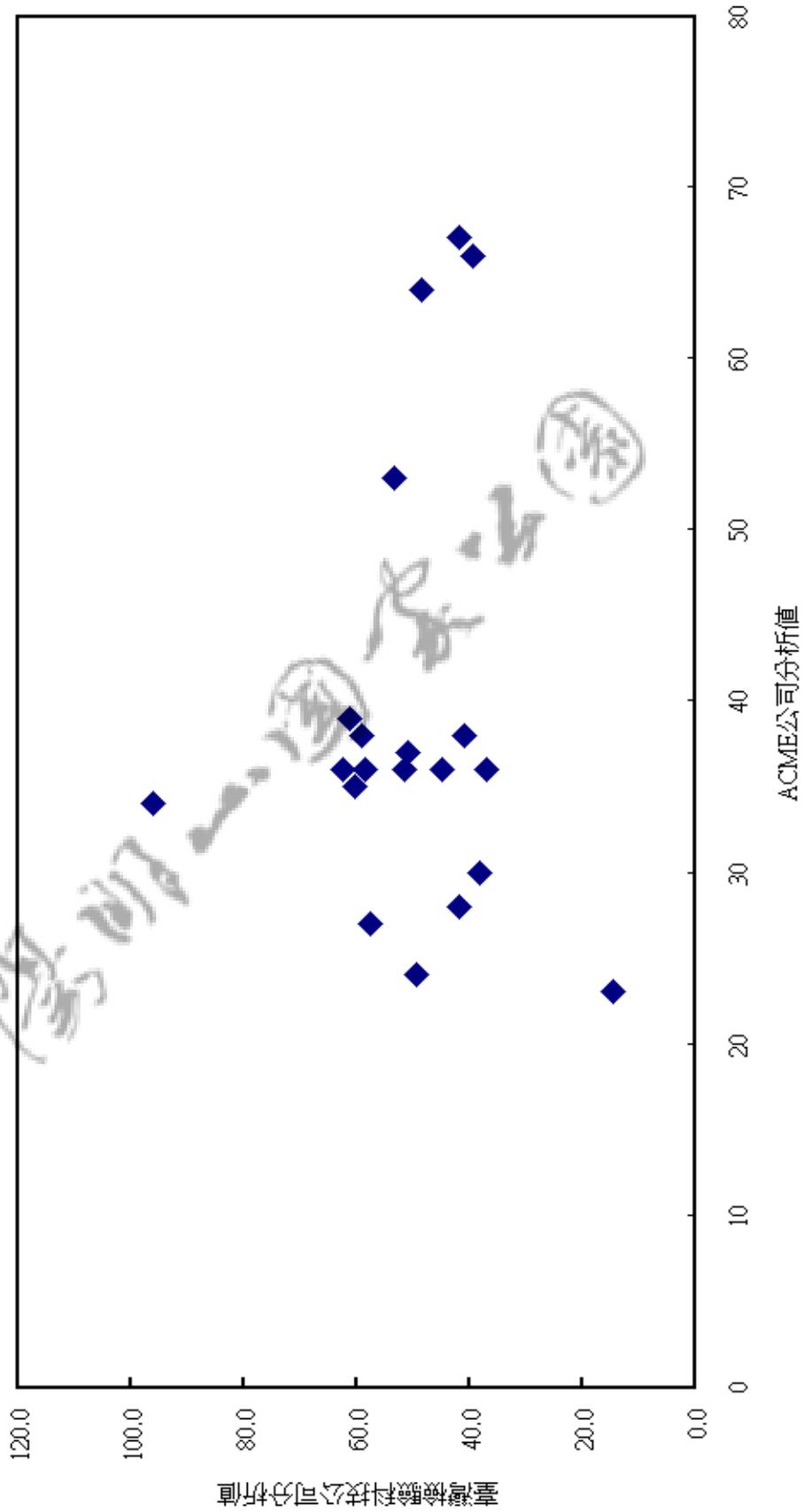
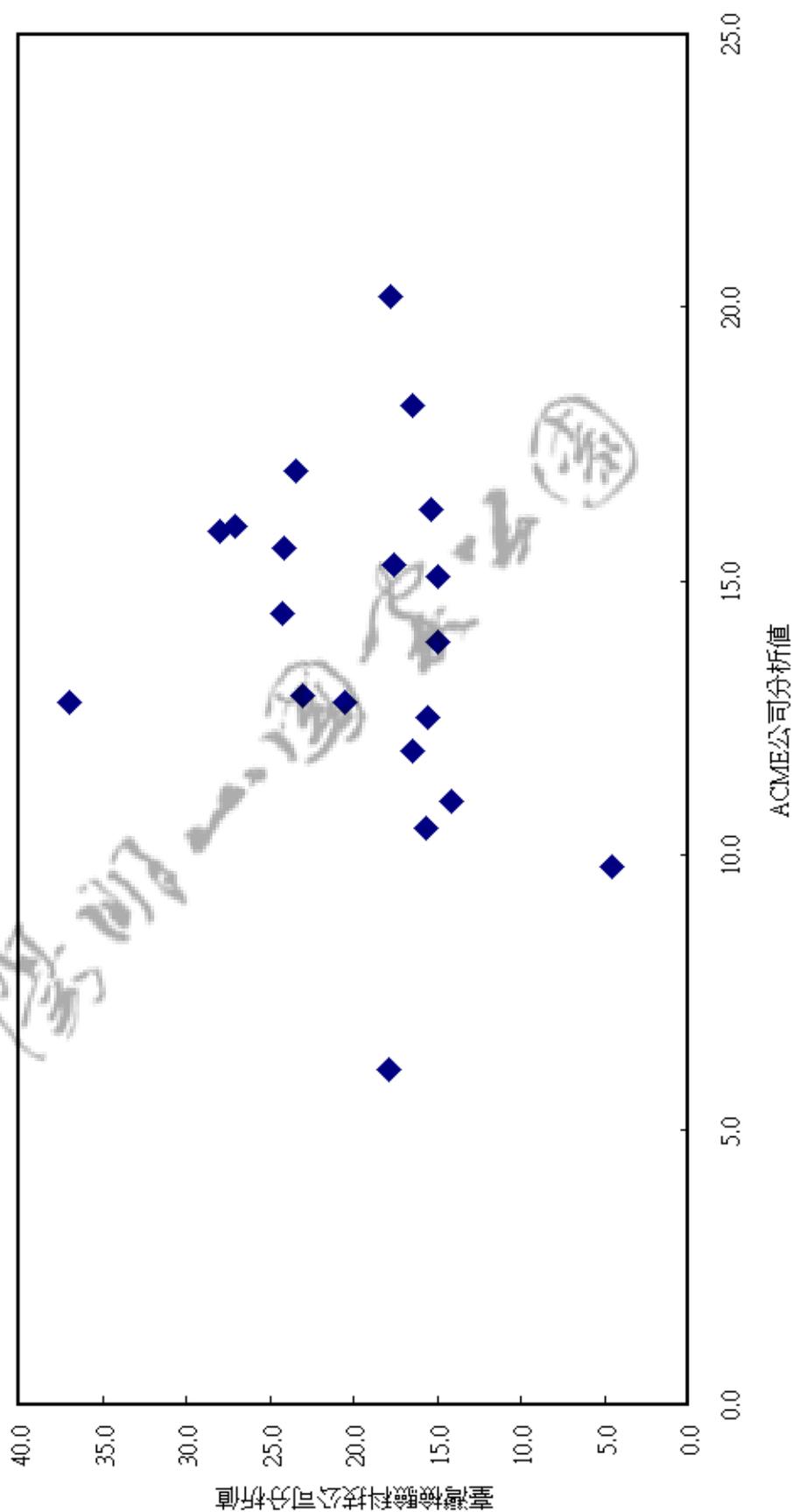


圖4-17 土壤鎳 (Ni)含量之國內公司及加拿大公司分析結果比較 (單位：ppm)



| ELEMENT | As | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | 岩性 | 地點 |
|----------------------------|-------------|-------------|-----|--------------|-------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| Rock-1-1 | 5.6 | 0.15 | 83 | 128.07 | 26.9 | 7.94 | 86.6 | 高鋁玄武岩 | 菜公坑(溪谷) |
| Rock-1-2 | 4.0 | 0.12 | 54 | 91.63 | 24.1 | 6.83 | 92.7 | 高鋁玄武岩 | 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 | 含橄欖石兩輝安山岩 | 中正山 |
| Rock-3-2 | 5.7 | 0.13 | 5 | 34.70 | 1.0 | 14.13 | 78.8 | 含橄欖石兩輝安山岩 | 三芝冷泉(老梅瀑布) |
| Rock-4-1 | 4.2 | 0.08 | 14 | 129.57 | 3.9 | 10.96 | 76.8 | 含角閃石兩輝安山岩 | 內寮 |
| Rock-4-2 | 4.7 | 0.10 | 5 | 66.91 | 4.8 | 6.77 | 67.5 | 含角閃石兩輝安山岩 | 大油坑附近溪谷 |
| Rock-5-1 | 2.3 | 0.09 | 6 | 68.76 | 2.6 | 7.95 | 73.4 | 紫蘇輝石角閃安山岩 | 紗帽山 |
| Rock-5-2 | 7.2 | 0.08 | 9 | 64.51 | 4.6 | 9.24 | 71.1 | 紫蘇輝石角閃安山岩 | 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 (2.5) | 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 | | | | | | | | | |

| | 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 | | | | | | | | | |

圖4-18 陽明山主要岩性母岩及相關土壤砷(As)含量 (ppm)

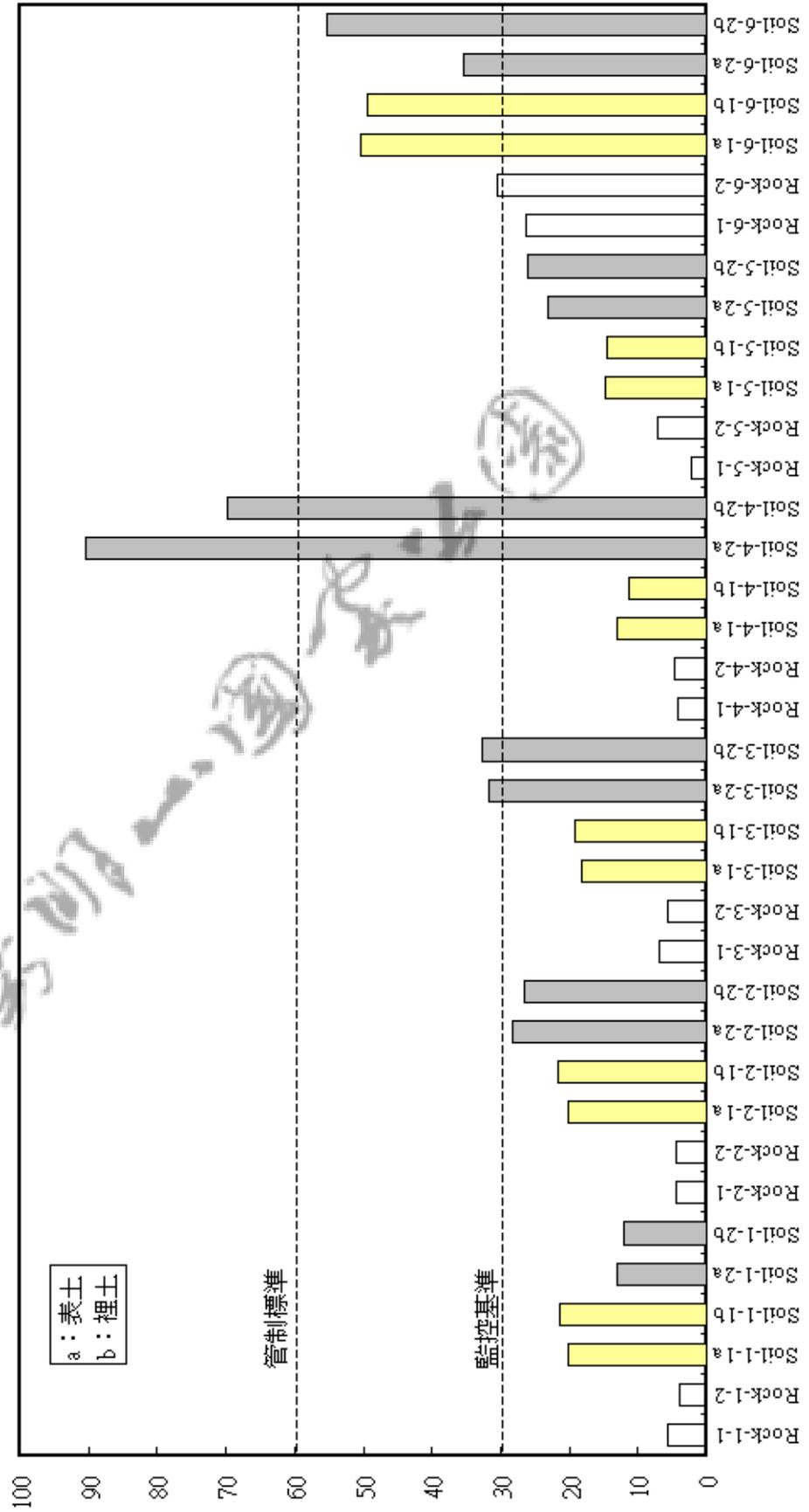


圖4-19 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鎘(Cd)含量 (ppm)

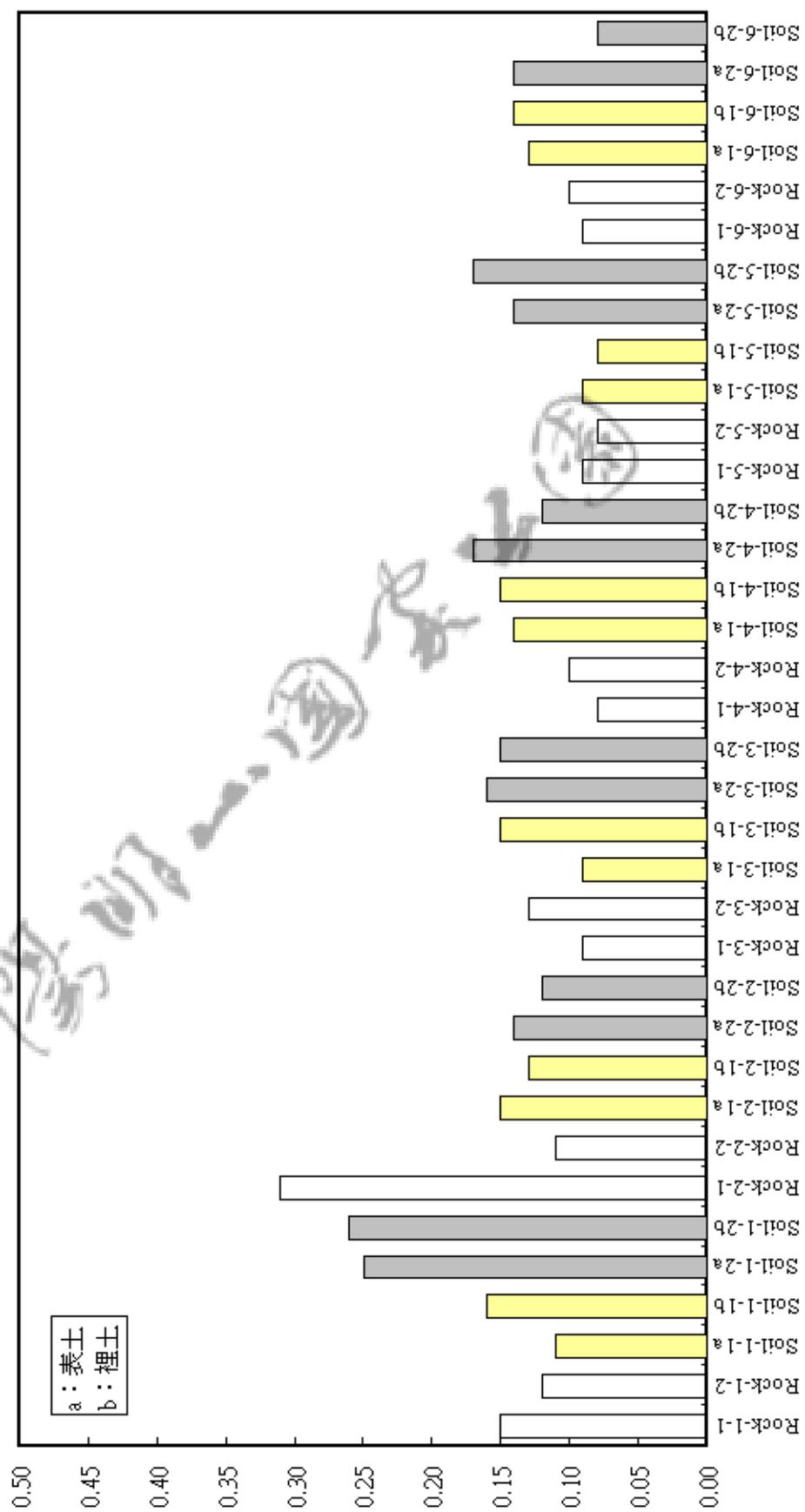


圖4-20 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鉻(Cr)含量 (ppm)

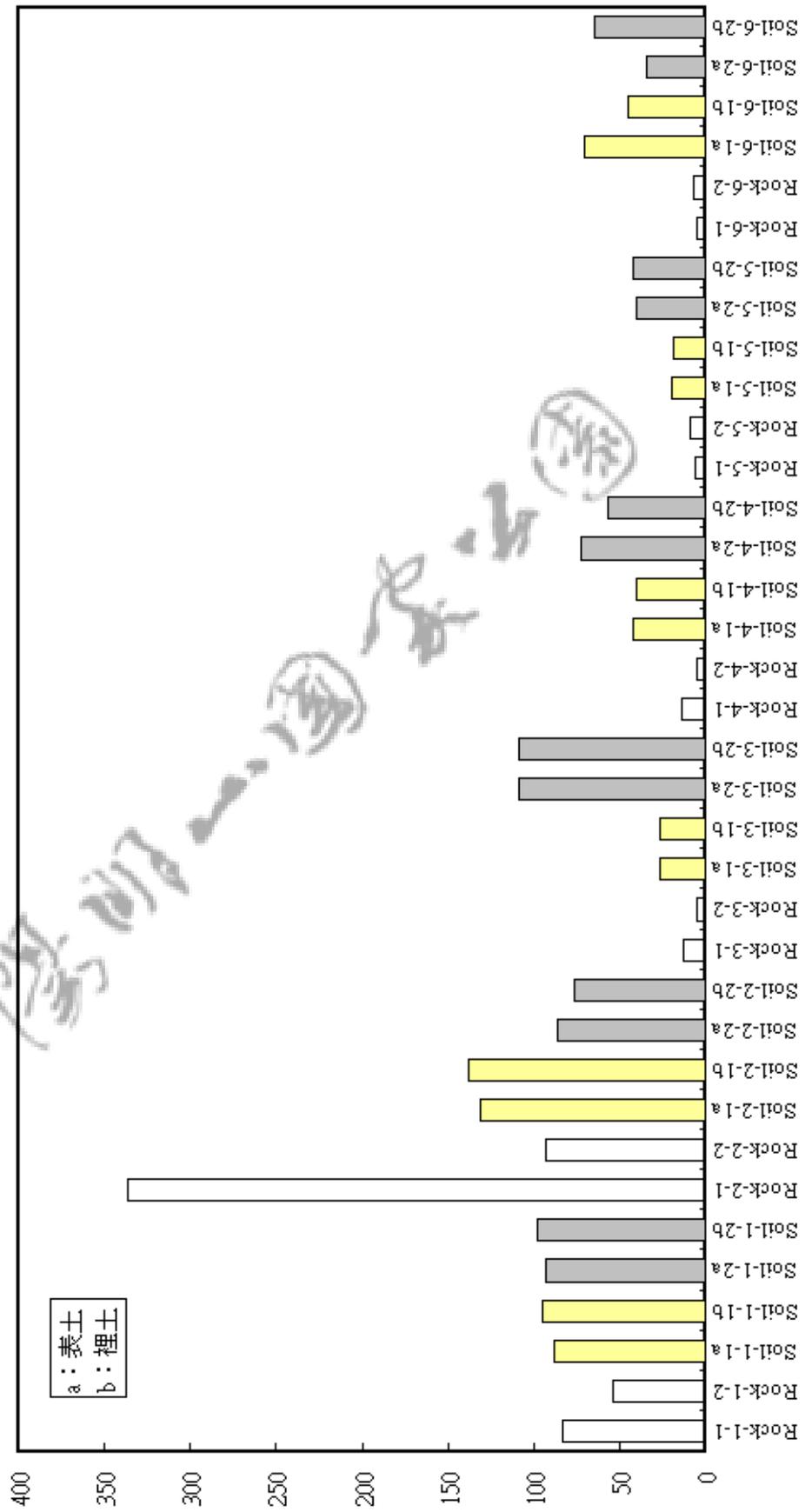


圖4-21 陽明山主要岩性母岩及相關土壤銅(Cu)含量 (ppm)

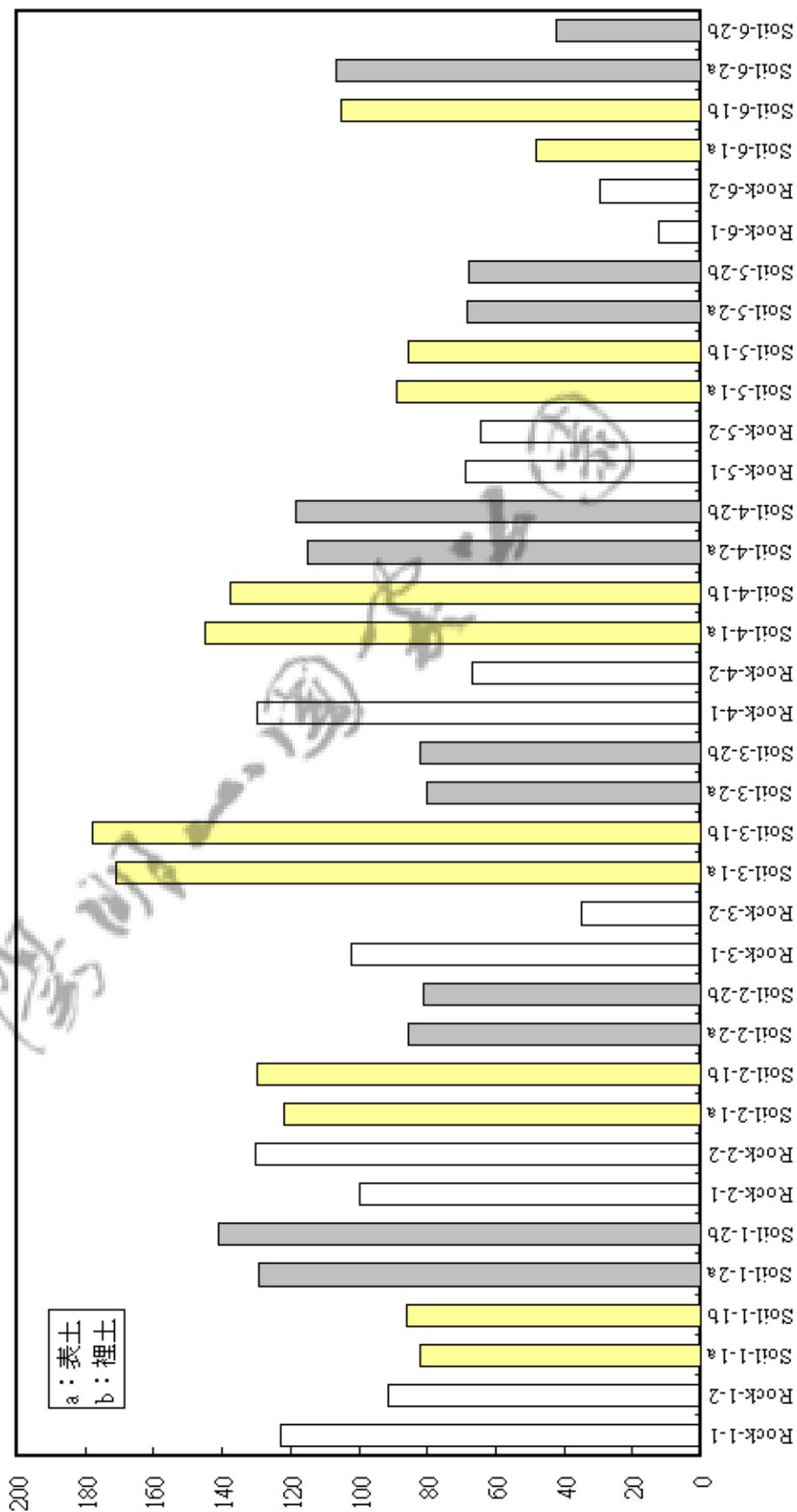


圖4-22 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鎳(Ni)含量 (ppm)

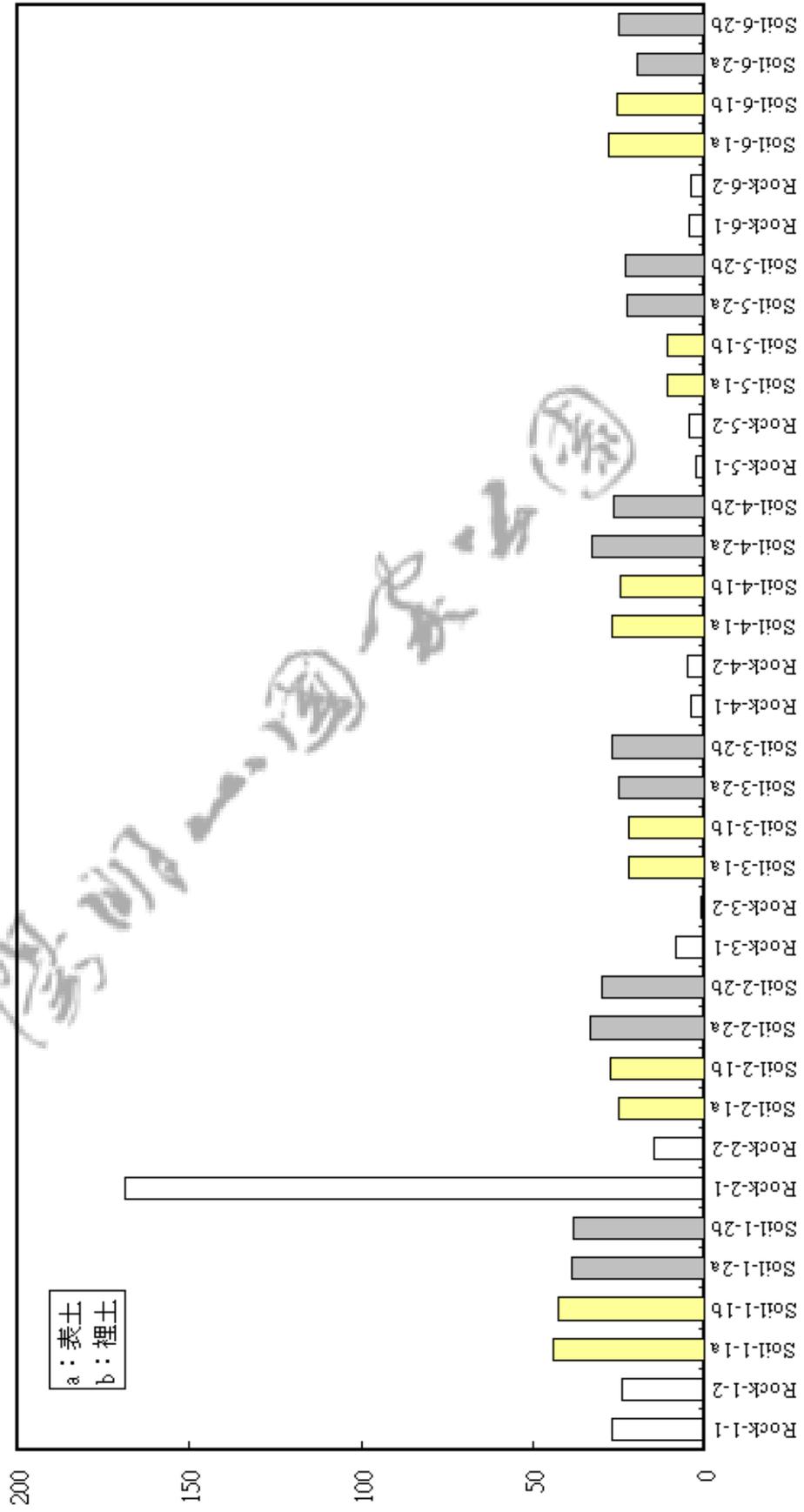


圖4-23 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鉛(Pb)含量 (ppm)

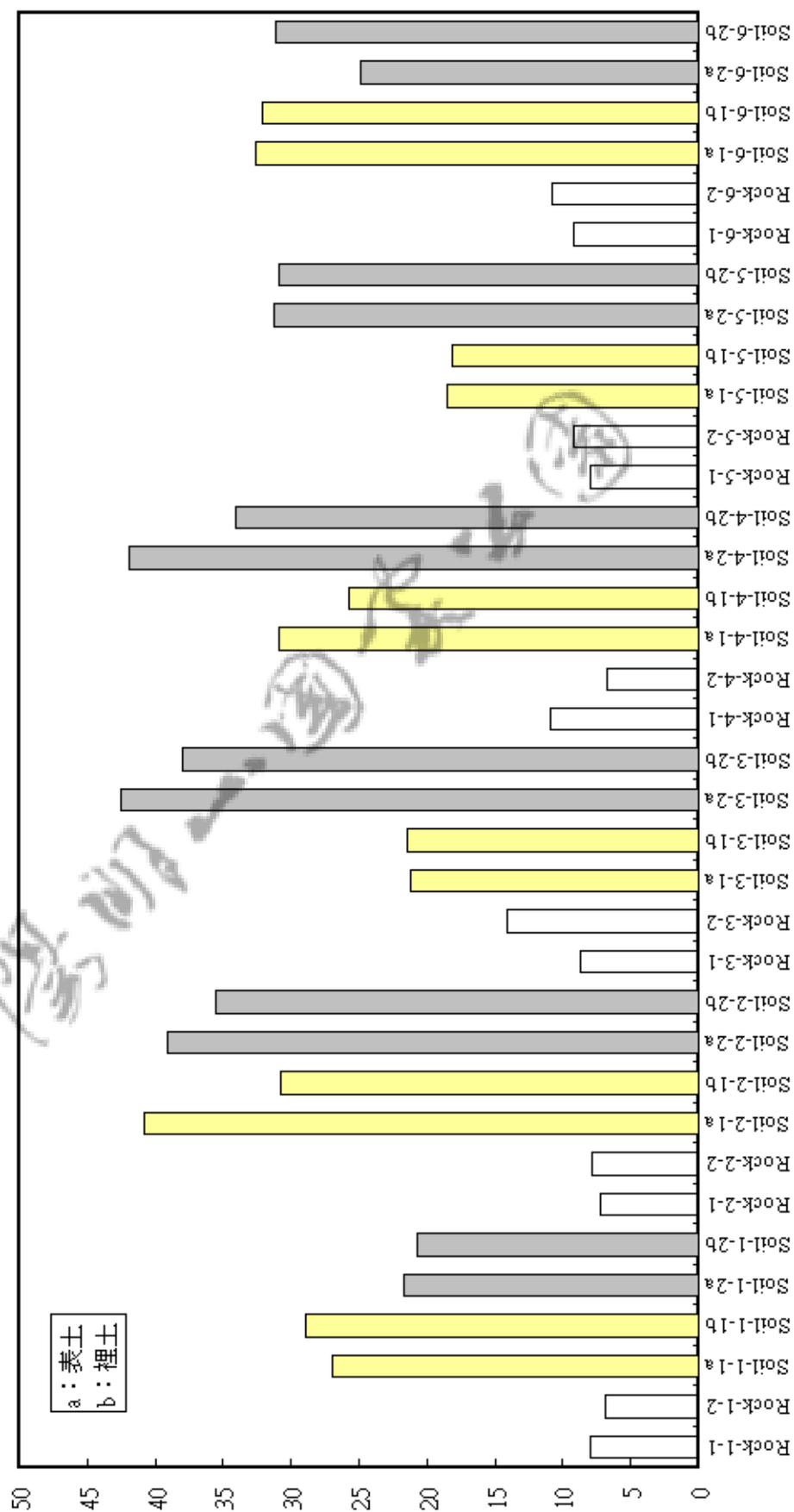


圖4-24 陽明山主要岩性母岩及相關土壤鋅(Zn)含量 (ppm)

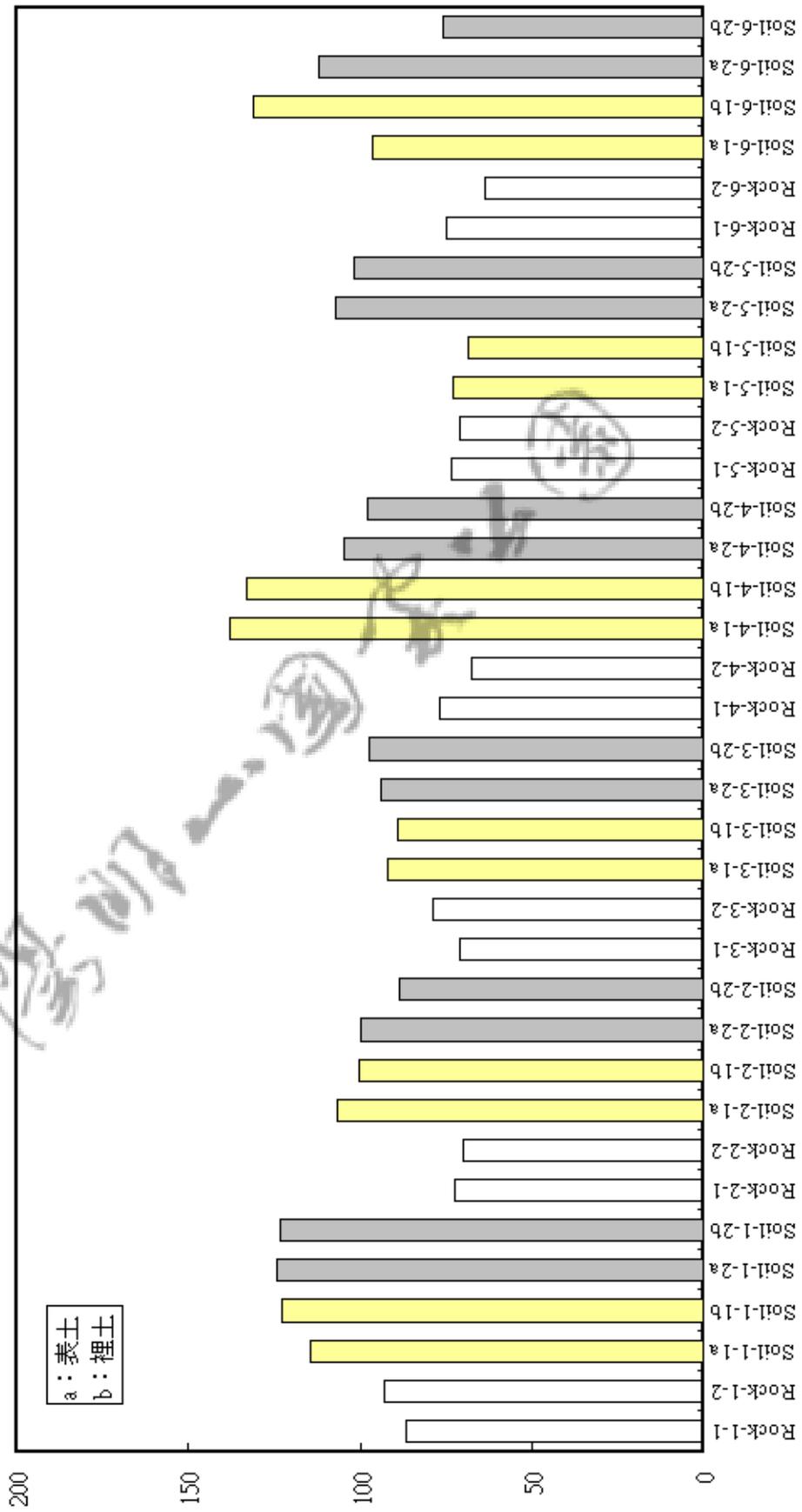


圖4-25 高鋁玄武岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖

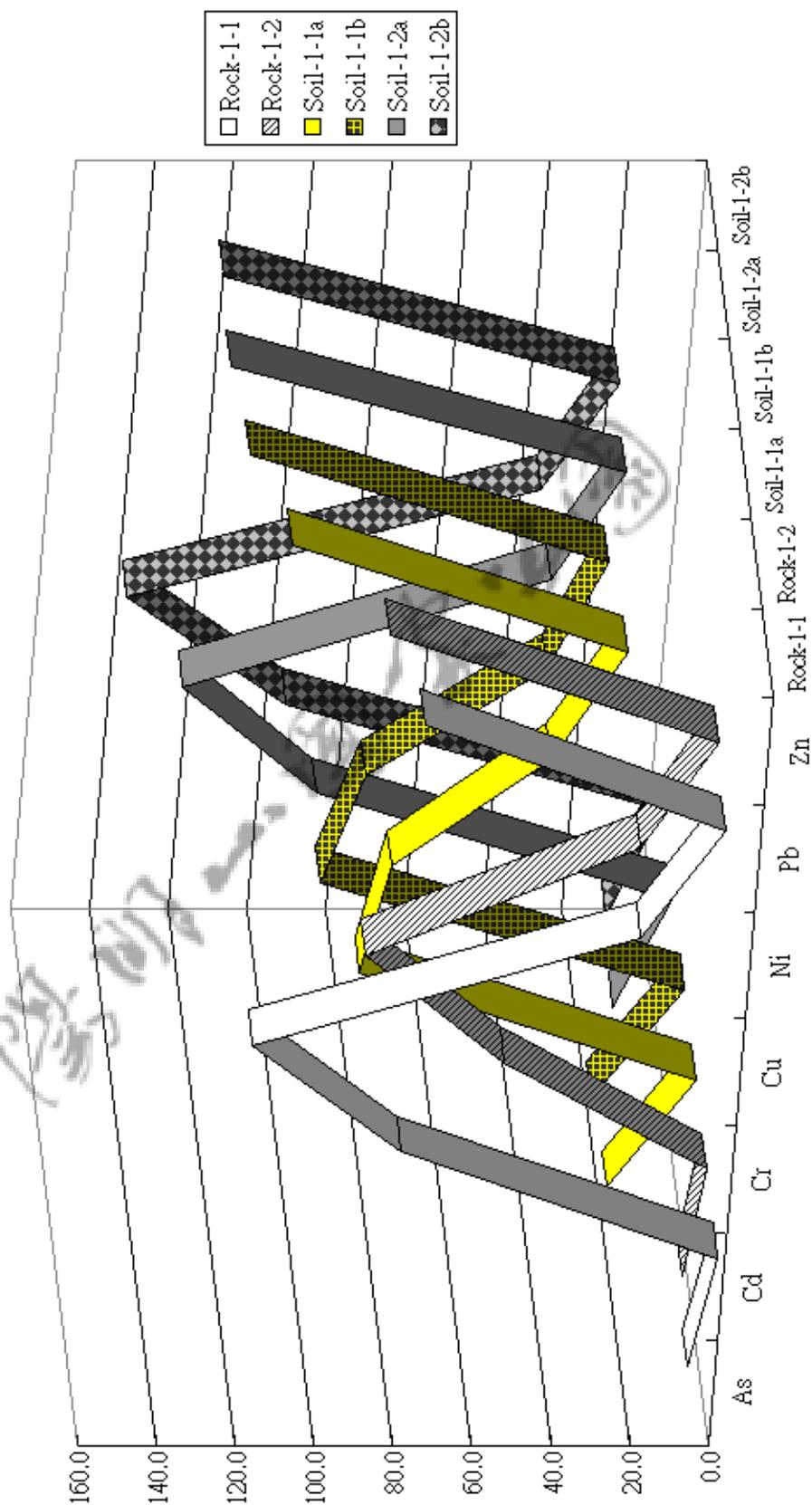


圖4-26 兩輝安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖

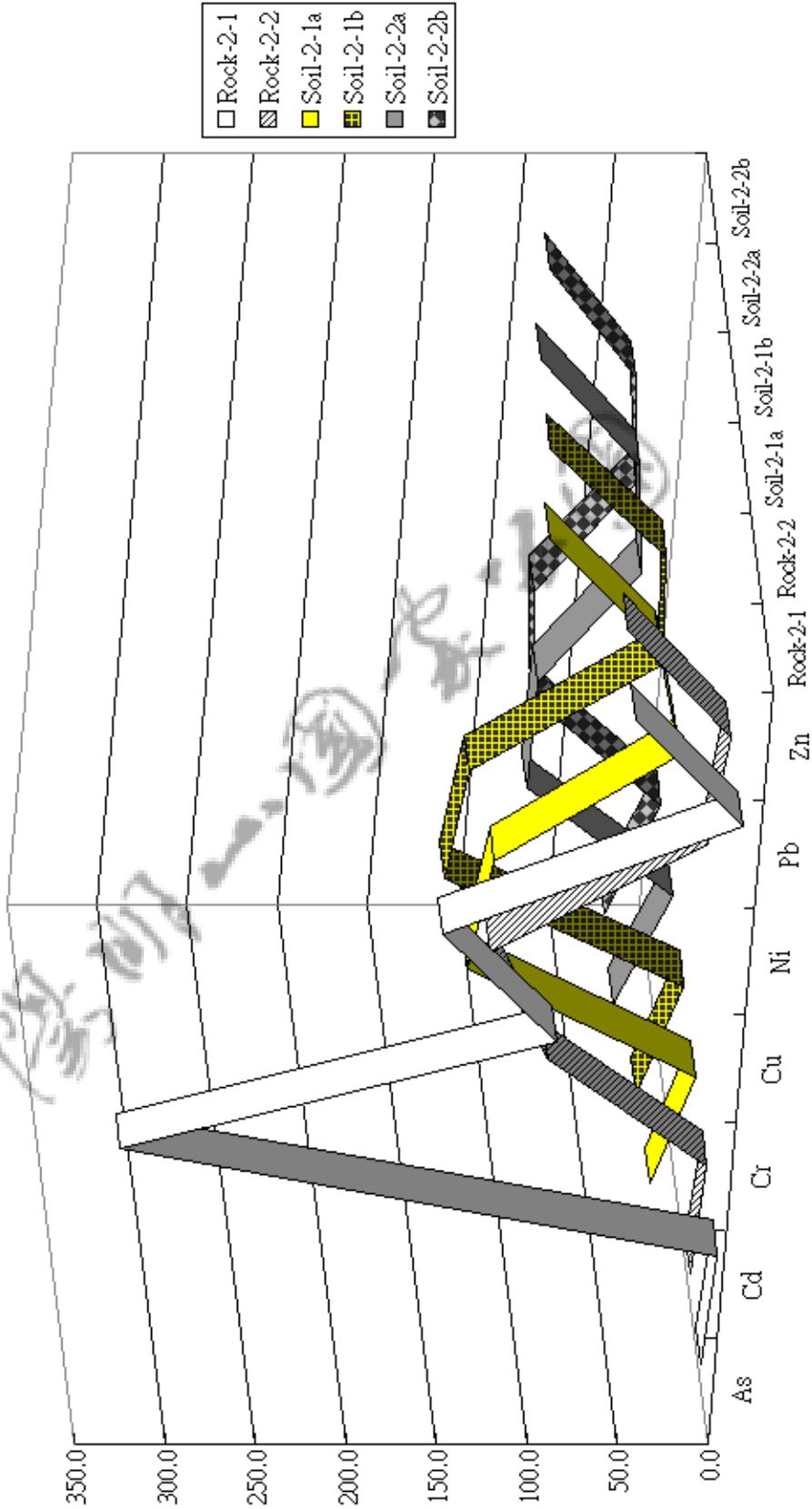


圖4-27 含橄欖石兩輝安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖

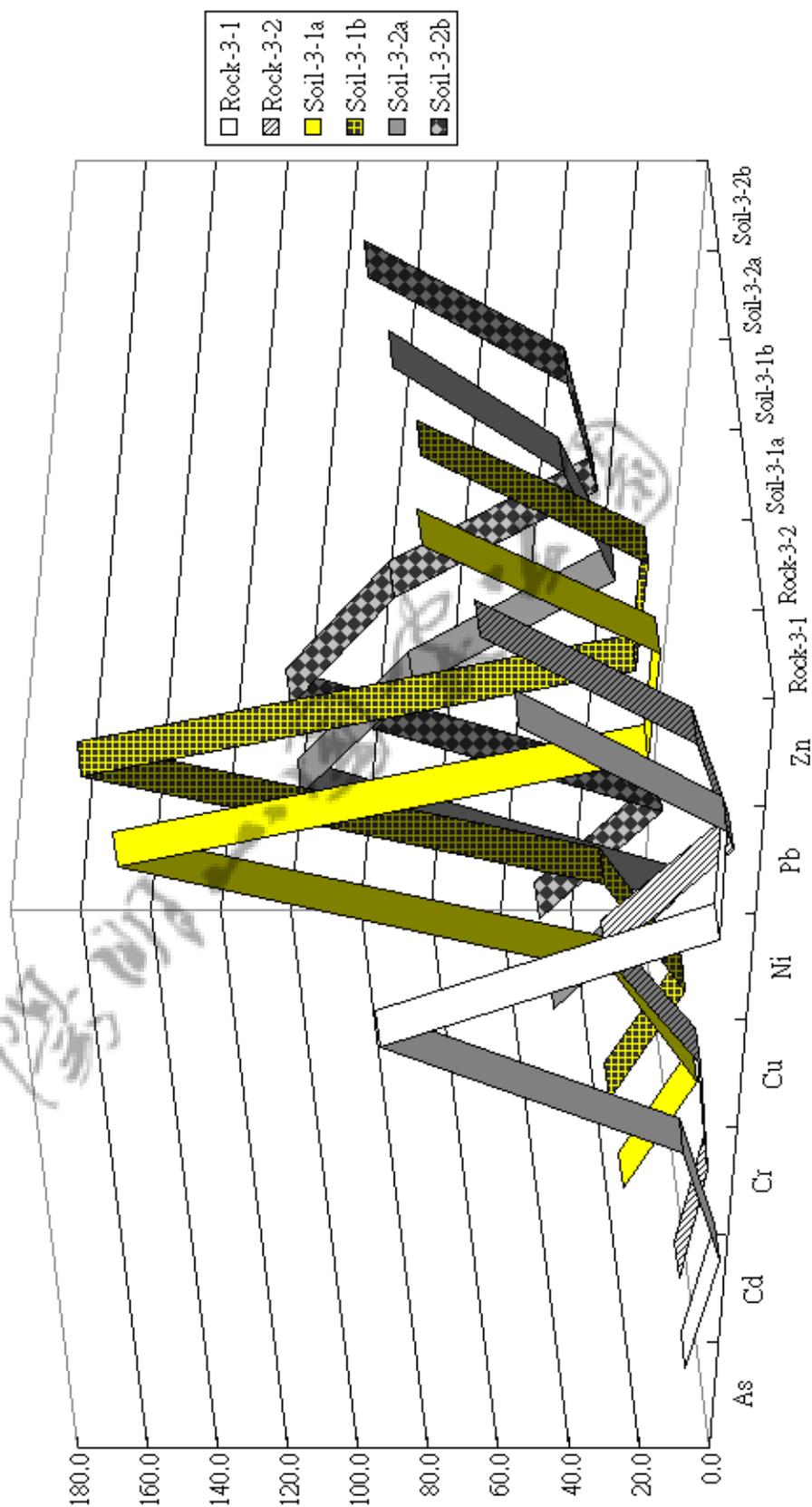


圖4-28 合角閃石兩輝安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖

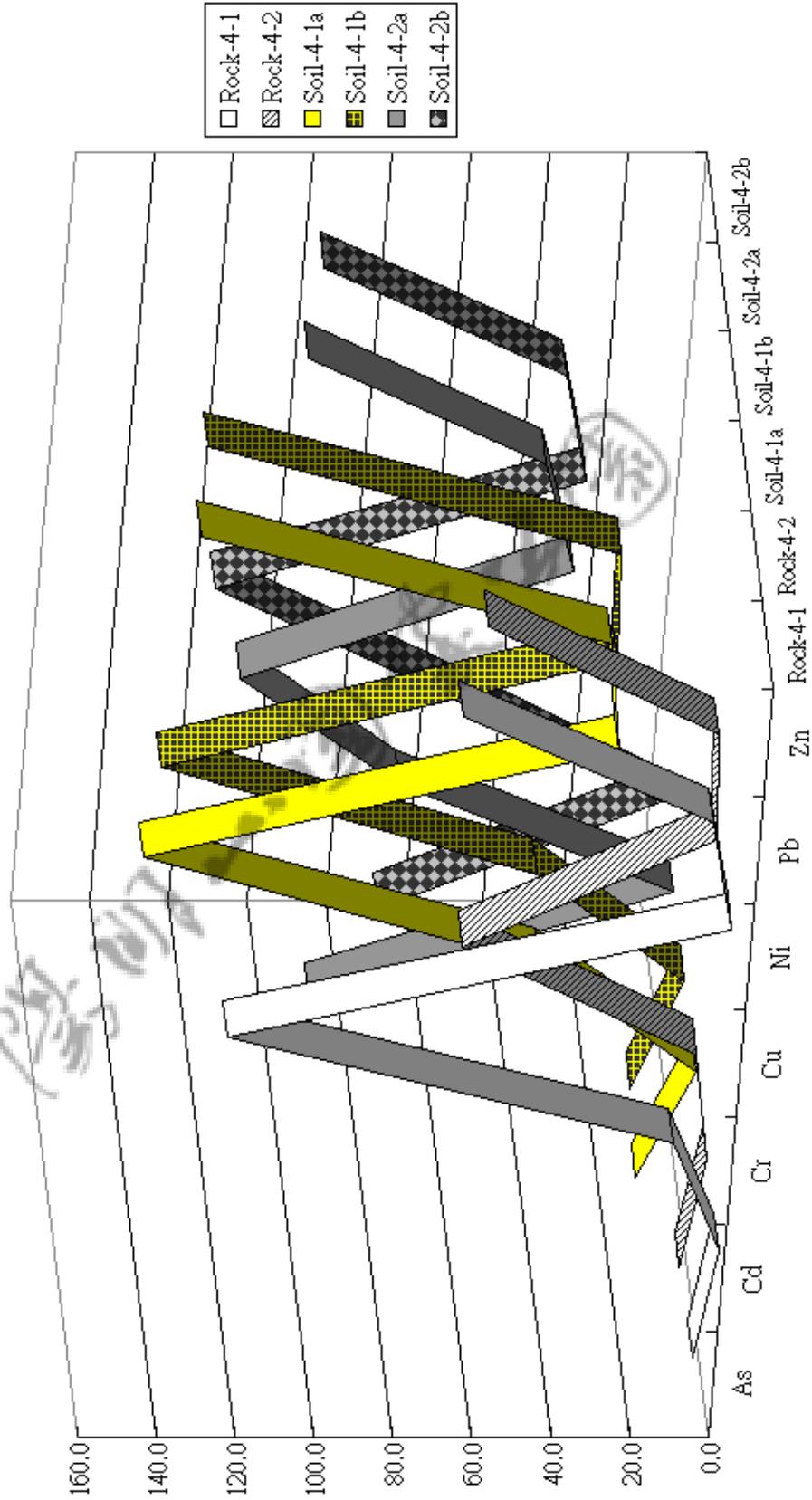


圖4-29 紫蘇輝石角閃安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖

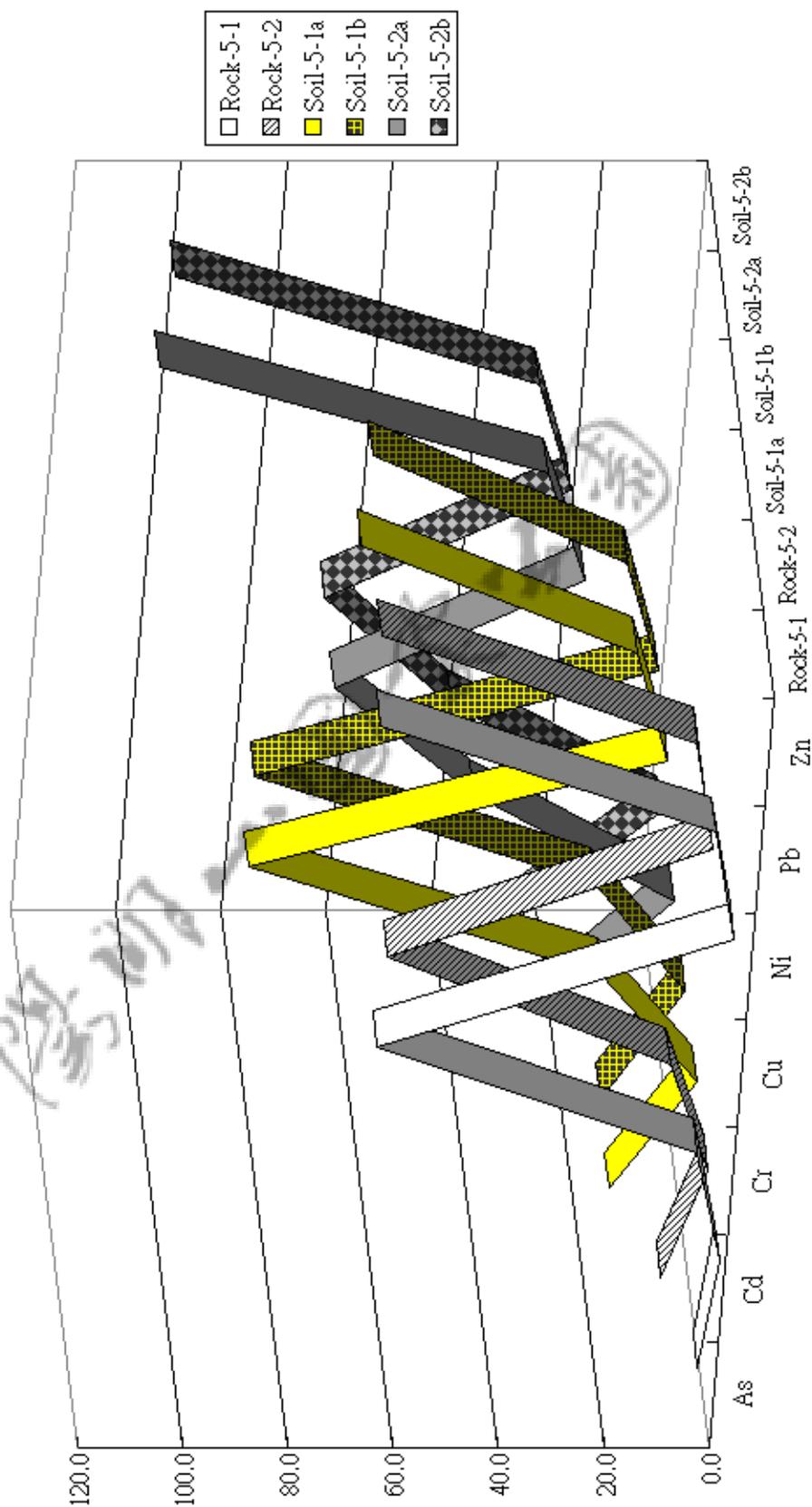
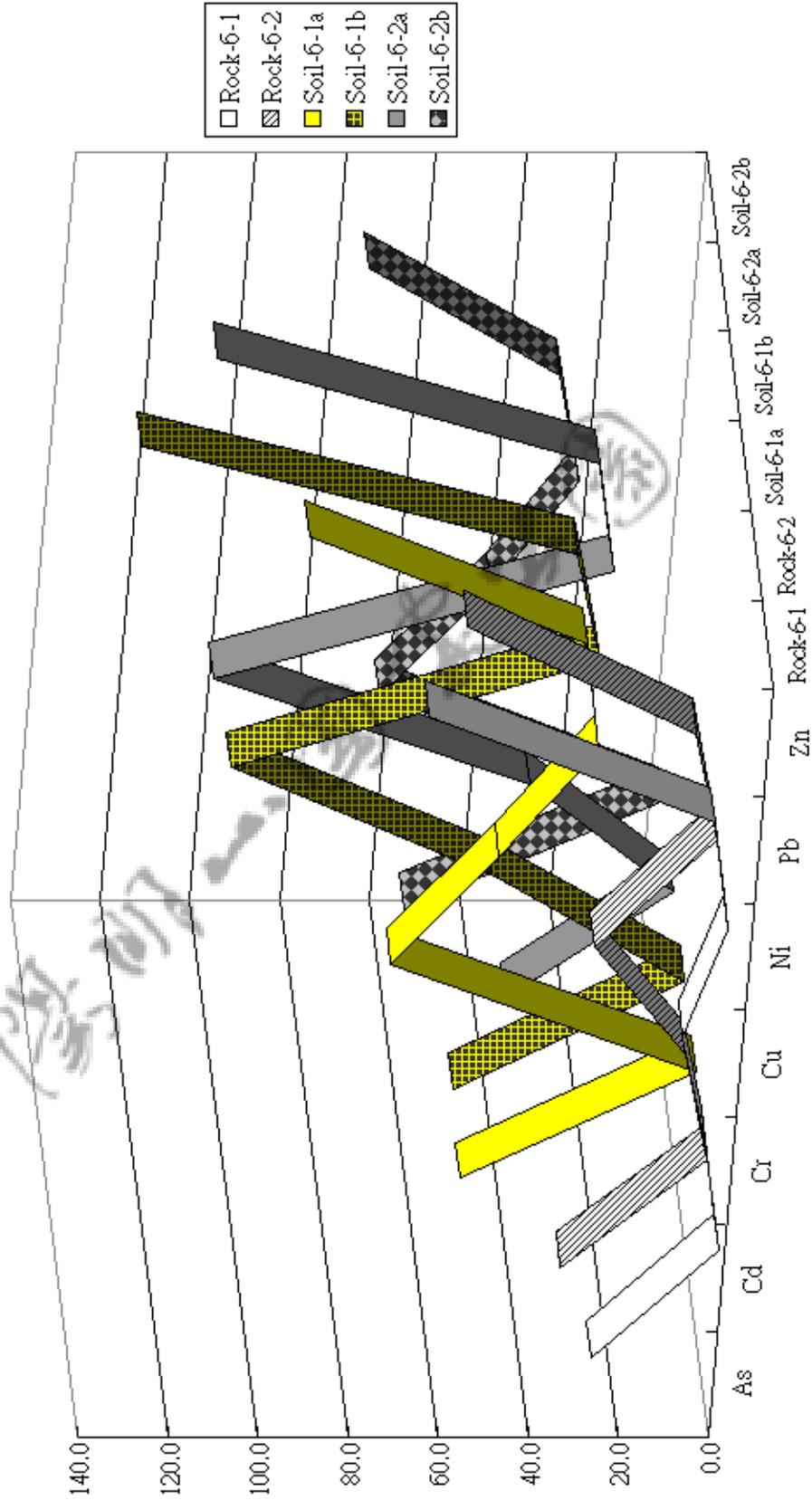


圖4-30 角閃石安山岩母岩及相關土壤元素指紋比對圖



| ELEMENT | As | Cd | Cr | Cu | Hg | Ni | Pb | Zn |
|----------------------------|-------|-------------|-----|--------------|-----------|------|---------------|---------------|
| RD1-a | 12.9 | 0.21 | 36 | 86.05 | 0.165 | 15.9 | 77.48 | 141.5 |
| RD1-b | 15.4 | 0.21 | 37 | 101.29 | 0.134 | 17.0 | 83.19 | 142.2 |
| RD2-a | 15.6 | 0.17 | 36 | 77.30 | 0.311 | 14.4 | 82.25 | 116.9 |
| RD2-b | 17.5 | 0.17 | 30 | 83.02 | 0.257 | 12.5 | 67.76 | 120.6 |
| RD3-a | 14.5 | 0.35 | 38 | 88.22 | 0.507 | 15.6 | 99.98 | 164.0 |
| RD3-b | 15.4 | 0.30 | 35 | 81.06 | 0.593 | 16.0 | 60.86 | 137.2 |
| RD4-a | 18.3 | 0.35 | 36 | 84.24 | 0.251 | 12.8 | 82.61 | 151.2 |
| RD4-b | 19.0 | 0.25 | 27 | 81.52 | 0.178 | 12.9 | 40.65 | 122.1 |
| RD5-a | 16.5 | 0.24 | 34 | 65.71 | 0.170 | 12.8 | 57.52 | 119.2 |
| RD5-b | 17.0 | 0.16 | 28 | 68.08 | 0.159 | 10.5 | 39.68 | 103.9 |
| RD6-a | 25.0 | 0.22 | 38 | 79.96 | 0.413 | 11.0 | 41.04 | 101.0 |
| RD6-b | 23.3 | 0.16 | 36 | 68.81 | 0.452 | 11.9 | 27.11 | 77.8 |
| RD7-a | 137.5 | 0.24 | 53 | 128.96 | 2.120 | 15.3 | 55.93 | 109.0 |
| RD7-b | 133.5 | 0.20 | 64 | 123.84 | 2.790 | 16.3 | 47.34 | 104.3 |
| RD8-a | 71.2 | 0.16 | 24 | 78.32 | 0.449 | 6.1 | 79.49 | 58.1 |
| RD8-b | 87.8 | 0.18 | 23 | 89.81 | 0.346 | 9.8 | 104.44 | 59.7 |
| RD9-a | 31.1 | 0.24 | 36 | 87.33 | 0.093 | 13.9 | 44.32 | 106.6 |
| RD9-b | 34.0 | 0.18 | 39 | 83.88 | 0.087 | 15.1 | 36.14 | 99.1 |
| RD10-a | 18.1 | 0.21 | 67 | 127.90 | 0.049 | 20.2 | 24.61 | 104.5 |
| RD10-b | 18.9 | 0.30 | 66 | 111.40 | 0.088 | 18.2 | 34.66 | 123.5 |
| 監測基準值 | 30 | 10 (2.5) | 175 | 220 (120) | 10 (2) | 130 | 1000 (300) | 1000 (260) |
| 管制標準值 | 60 | 20 (5) | 250 | 400 (200) | 20 (5) | 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4-31 陽金公路沿線土壤砷(As)含量 (ppm)

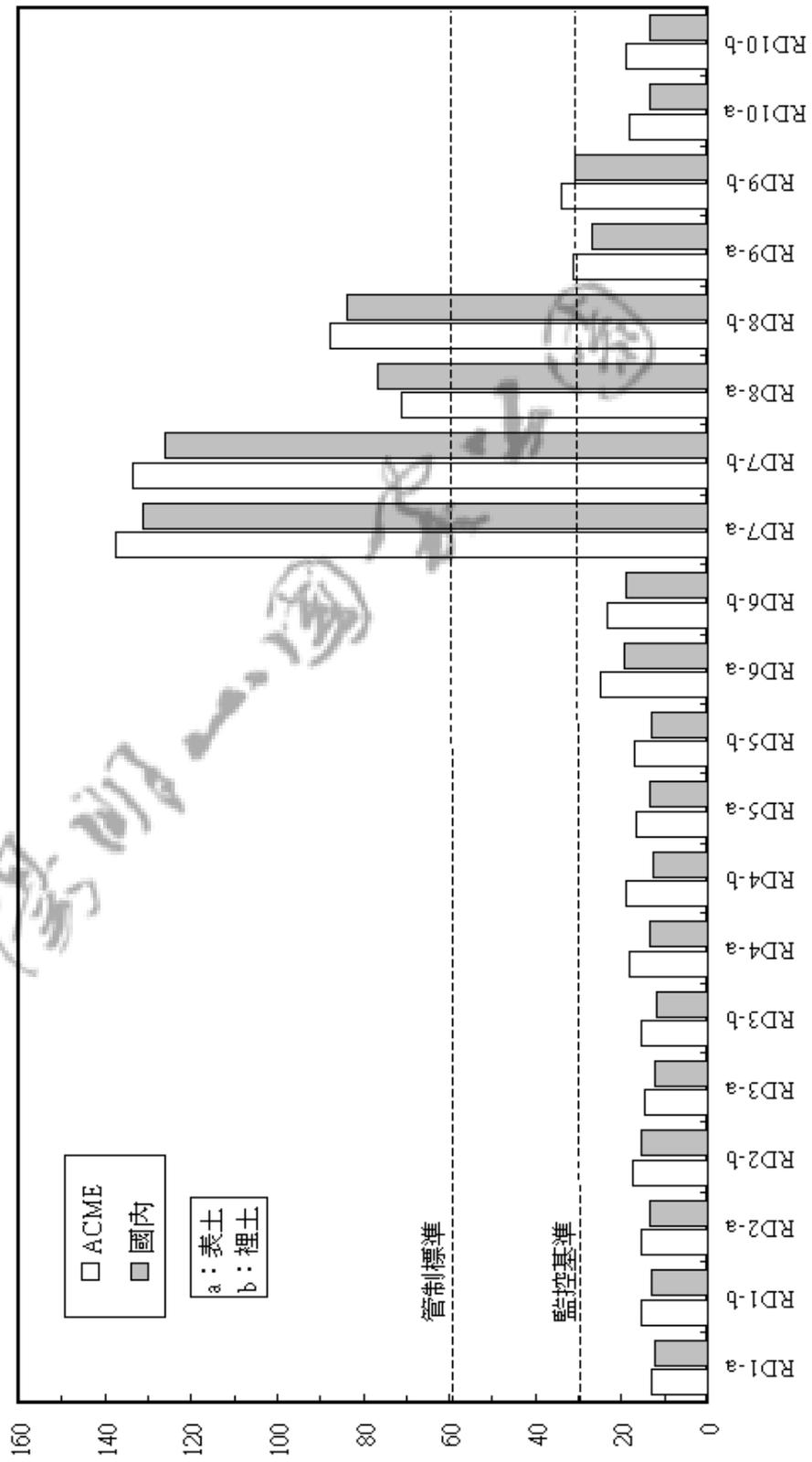


圖4-32 陽金公路沿線土壤鎘(Cd)含量 (ppm)

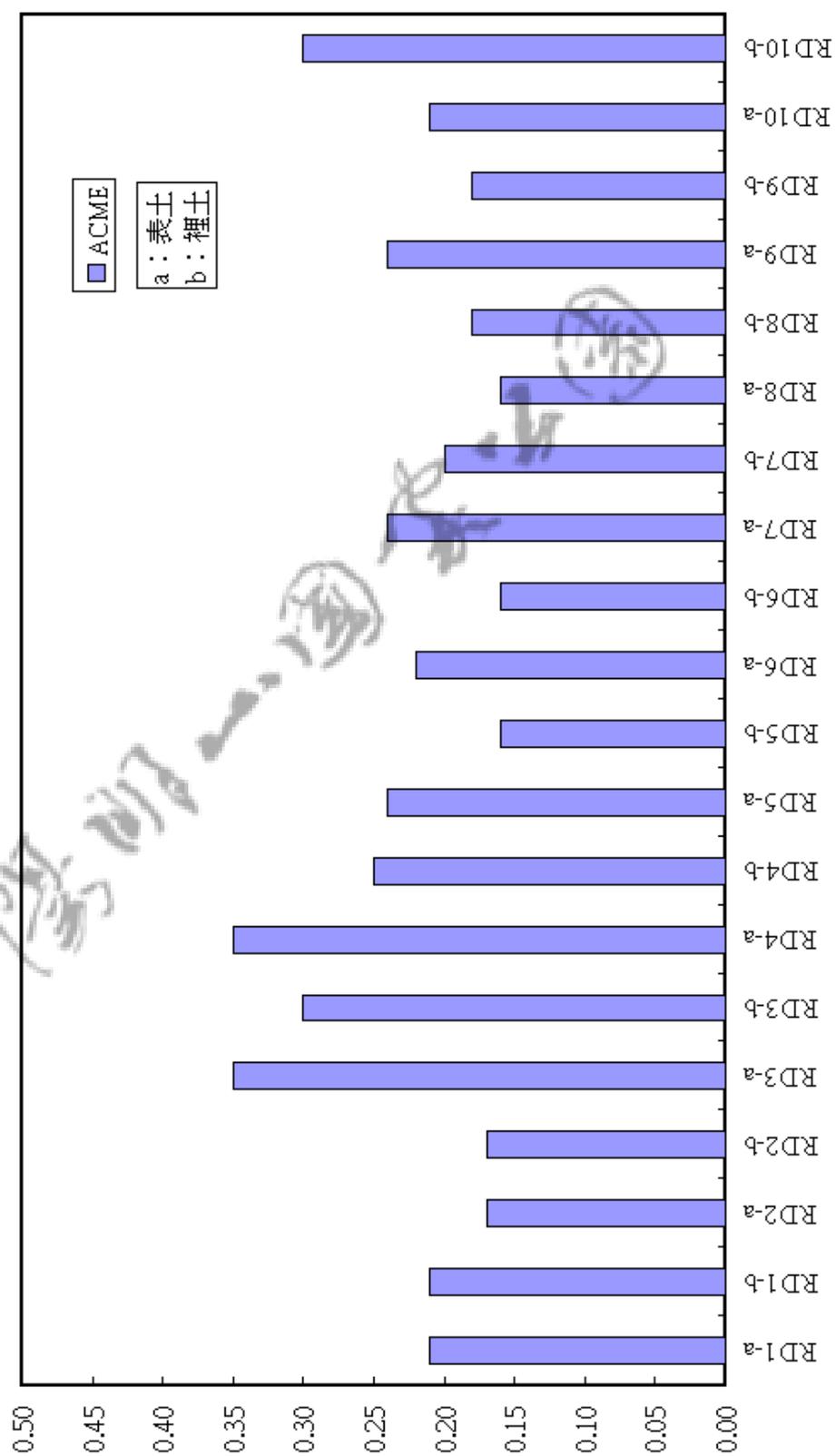


圖4-33 陽金公路沿線土壤鎳(Cr)含量 (ppm)

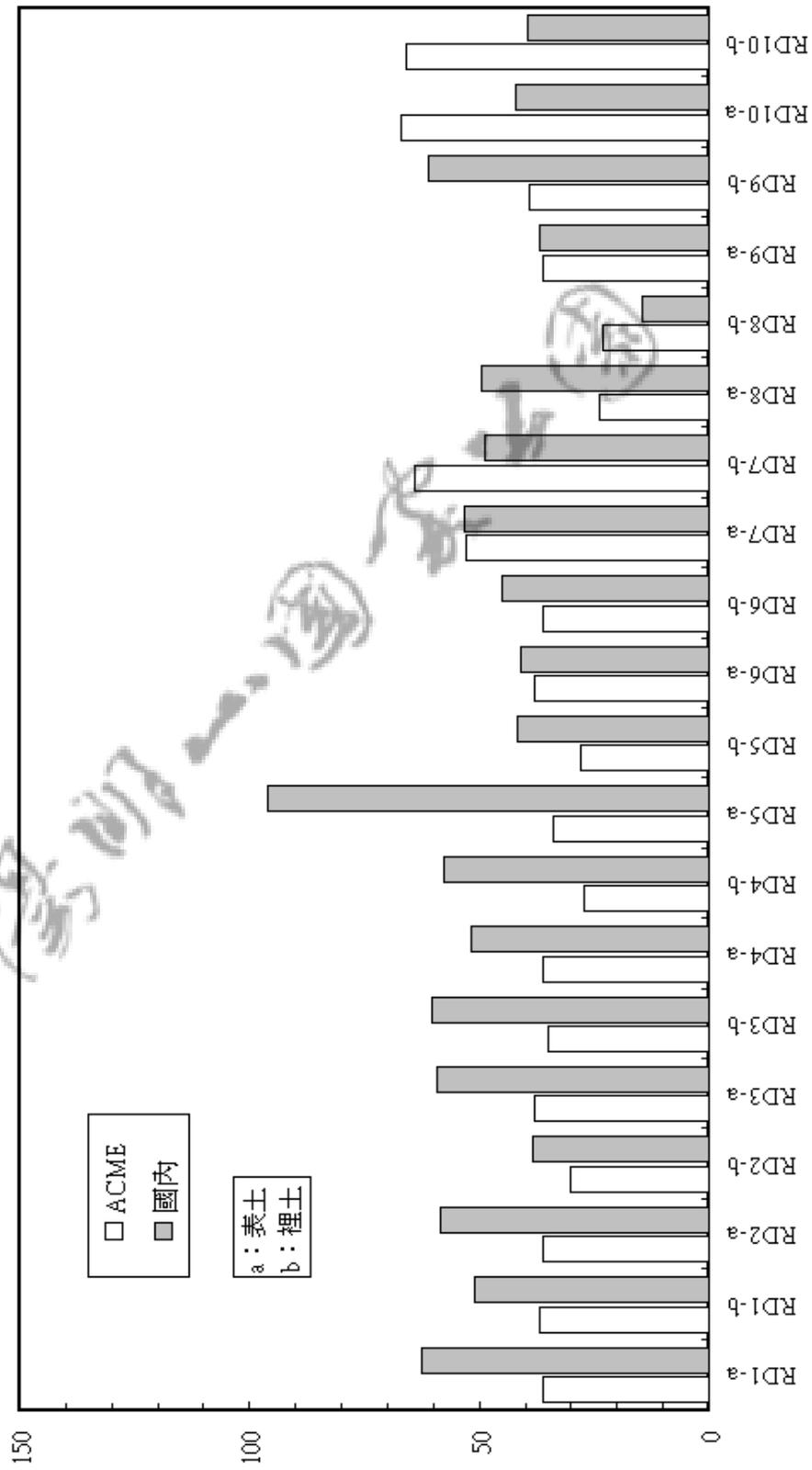


圖4-34 陽金公路沿線土壤銅(Cu)含量 (ppm)

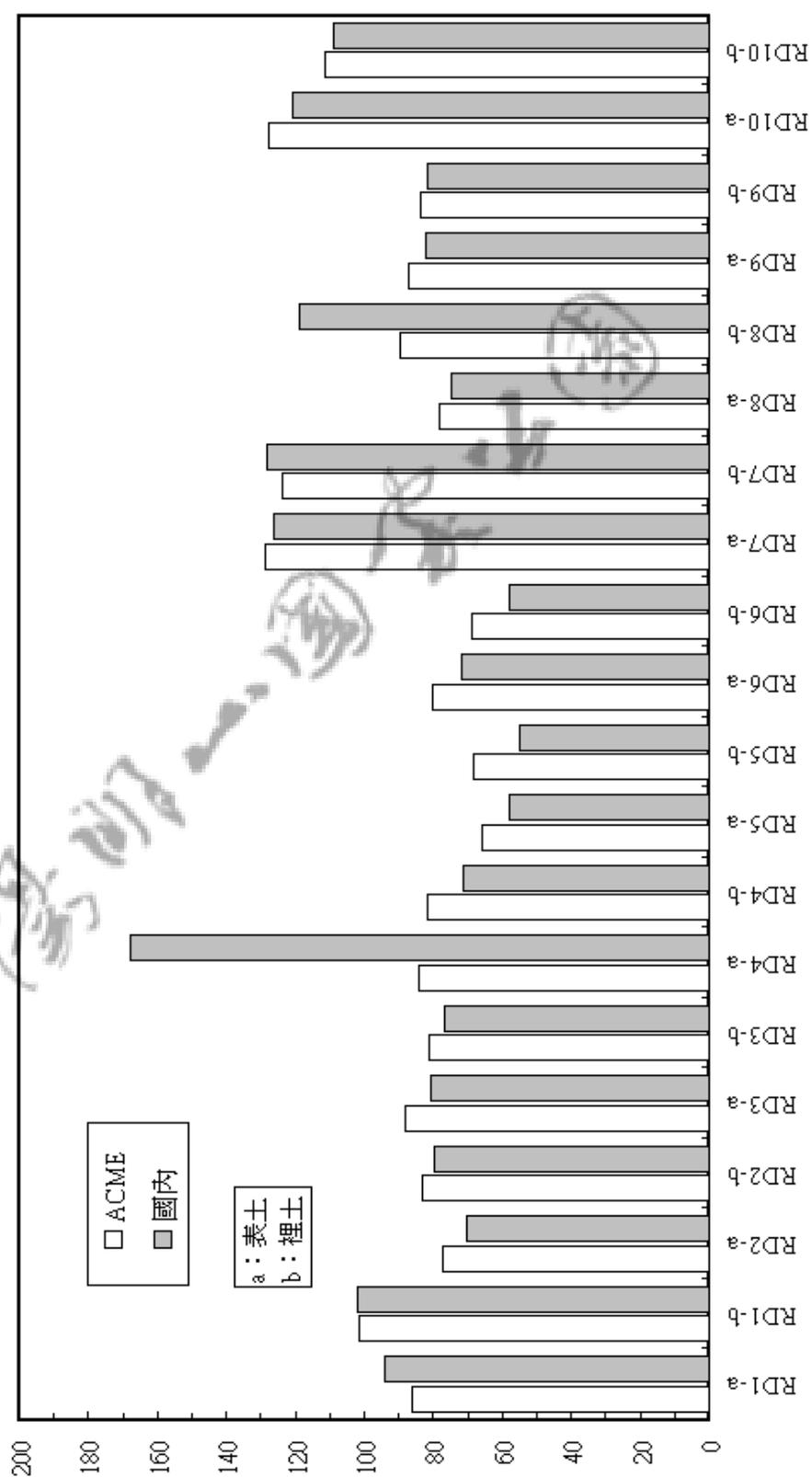


圖4-35 陽金公路沿線土壤汞(Hg)含量 (ppm)

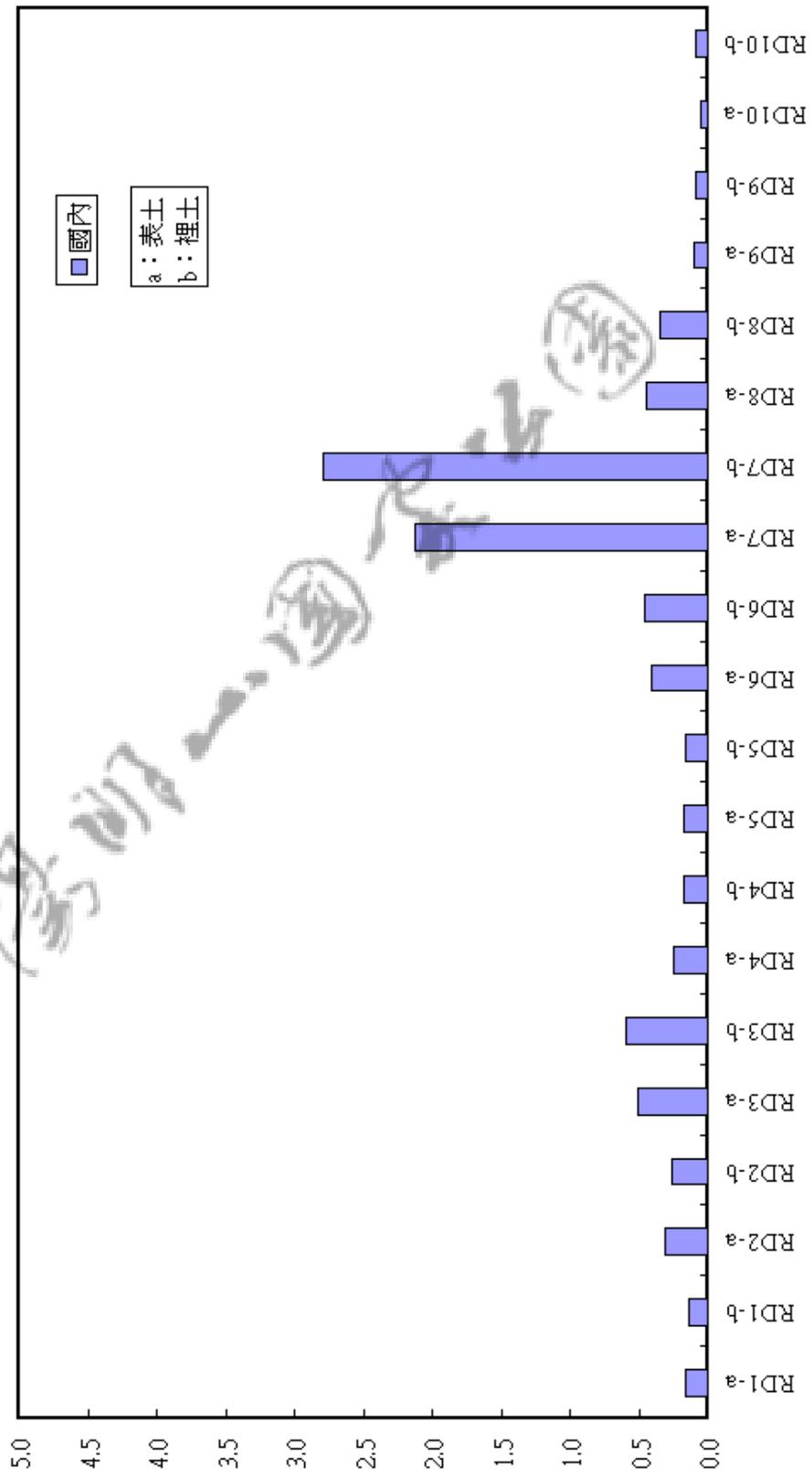


圖4-36 陽金公路沿線土壤鎳(Ni)含量 (ppm)

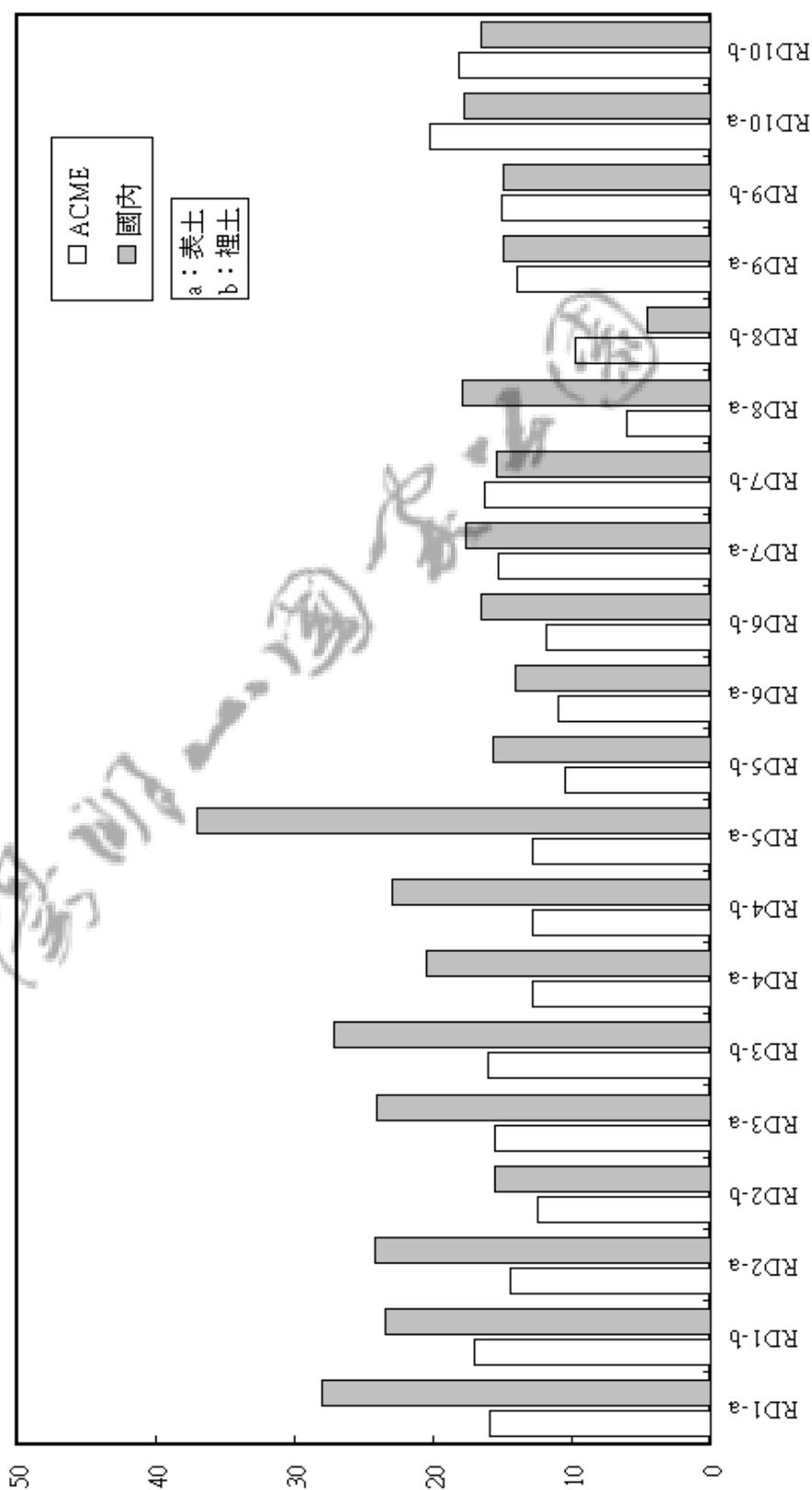


圖4-37 陽金公路沿線土壤鉛(Pb)含量 (ppm)

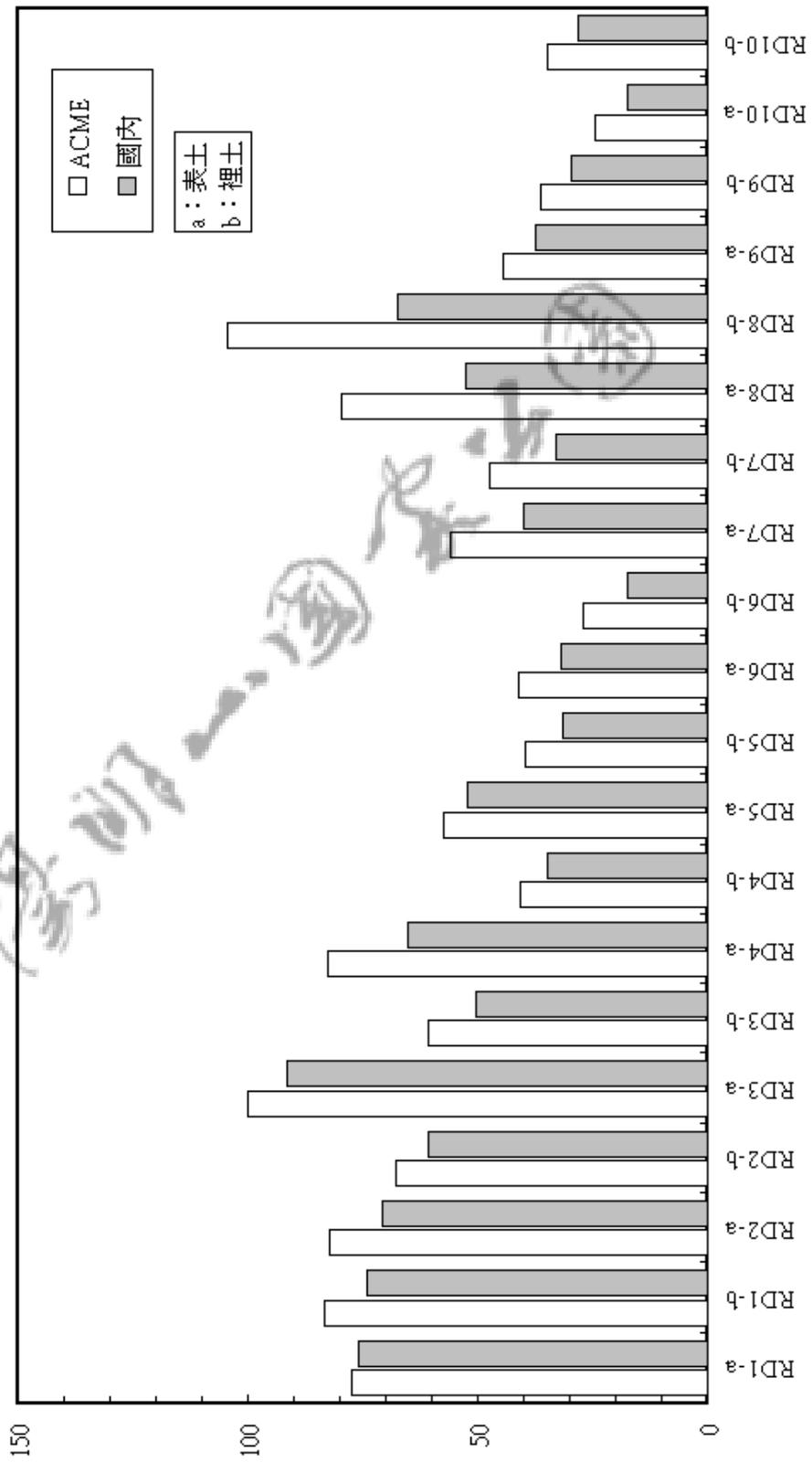
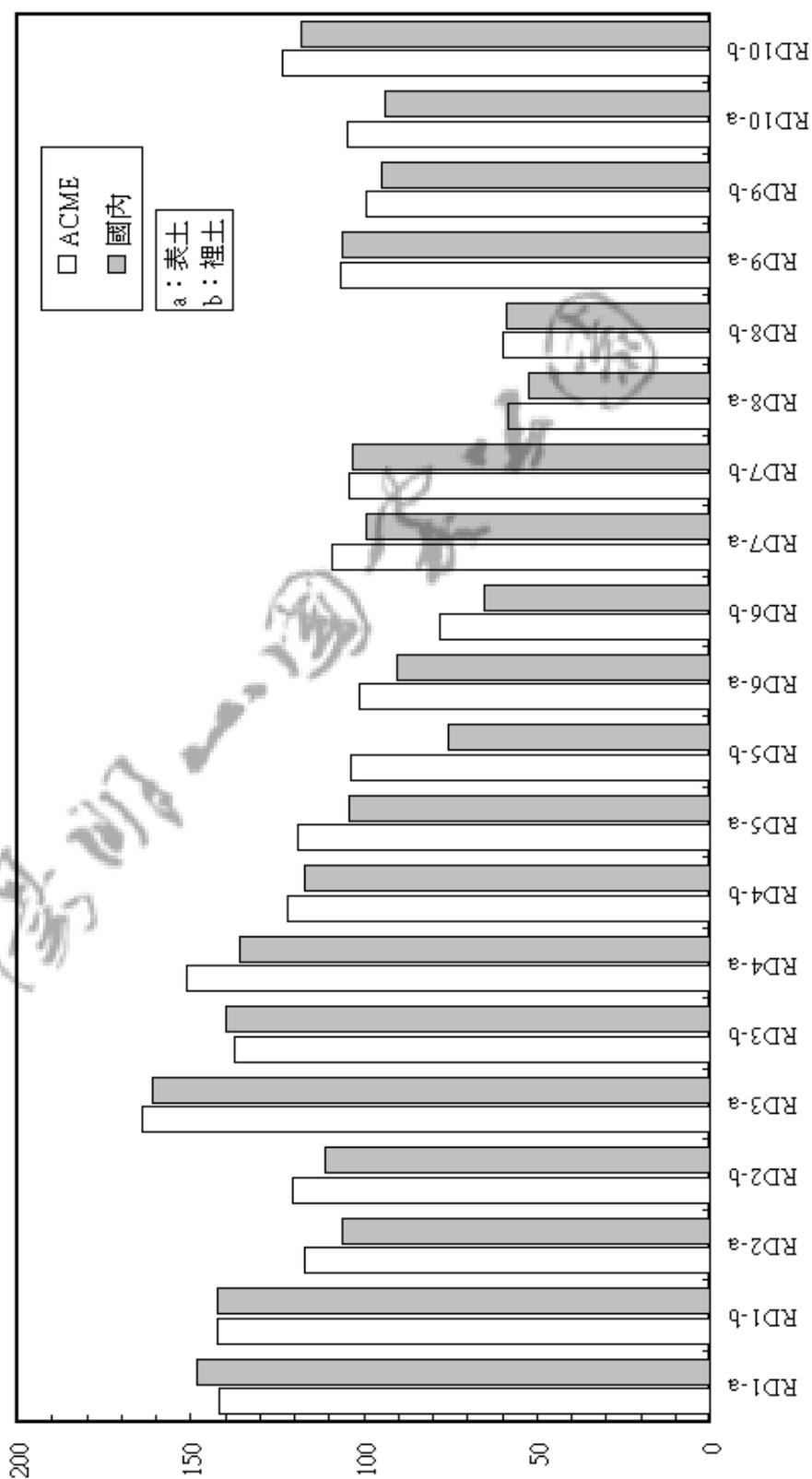


圖4-38 陽金公路沿線土壤鋅(Zn)含量 (ppm)



| 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4-39 重點地區土壤砷 (As) 含量 (ppm)

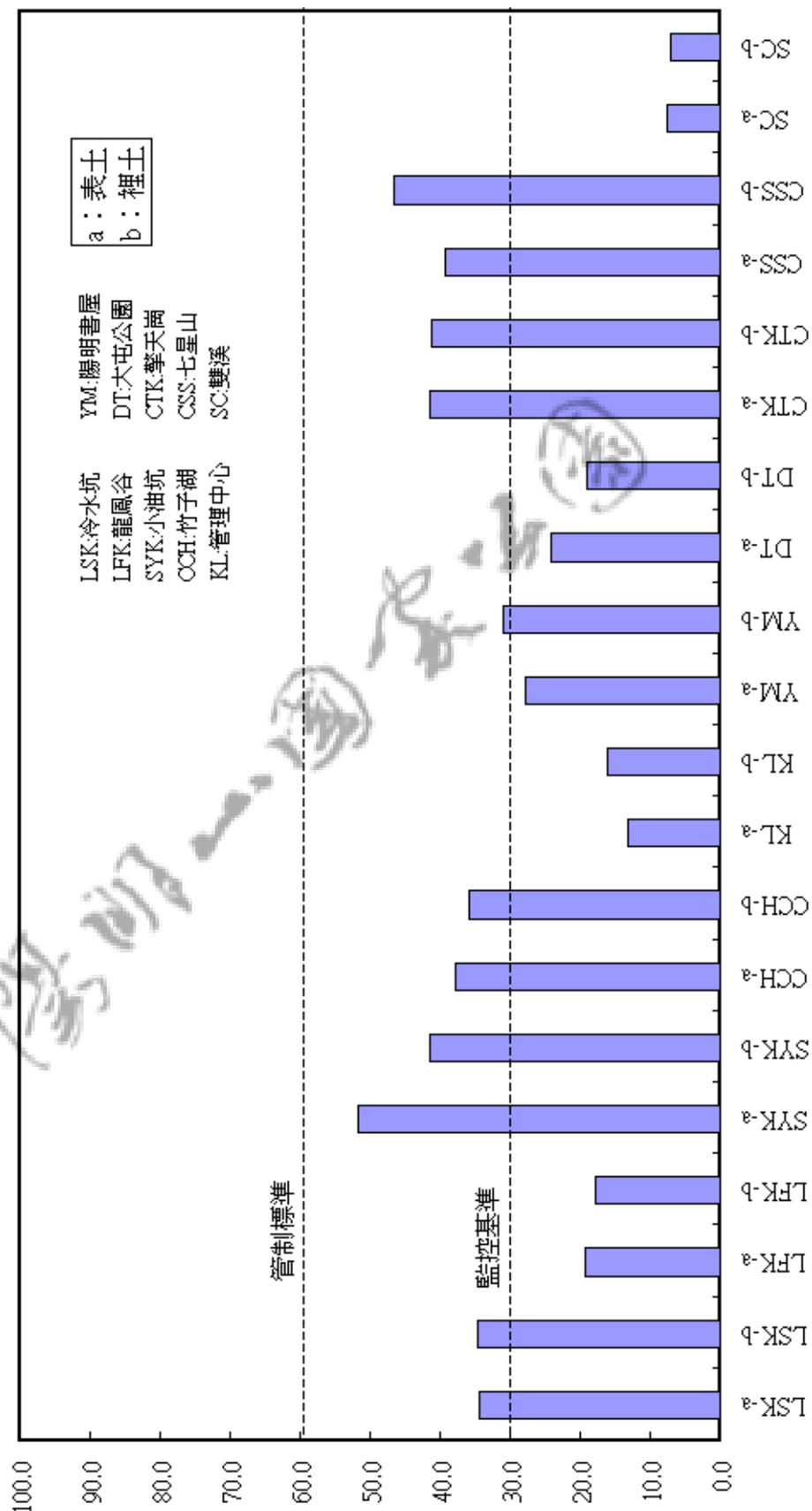


圖4-40 重點地區土壤鎘 (Cd) 含量 (ppm)

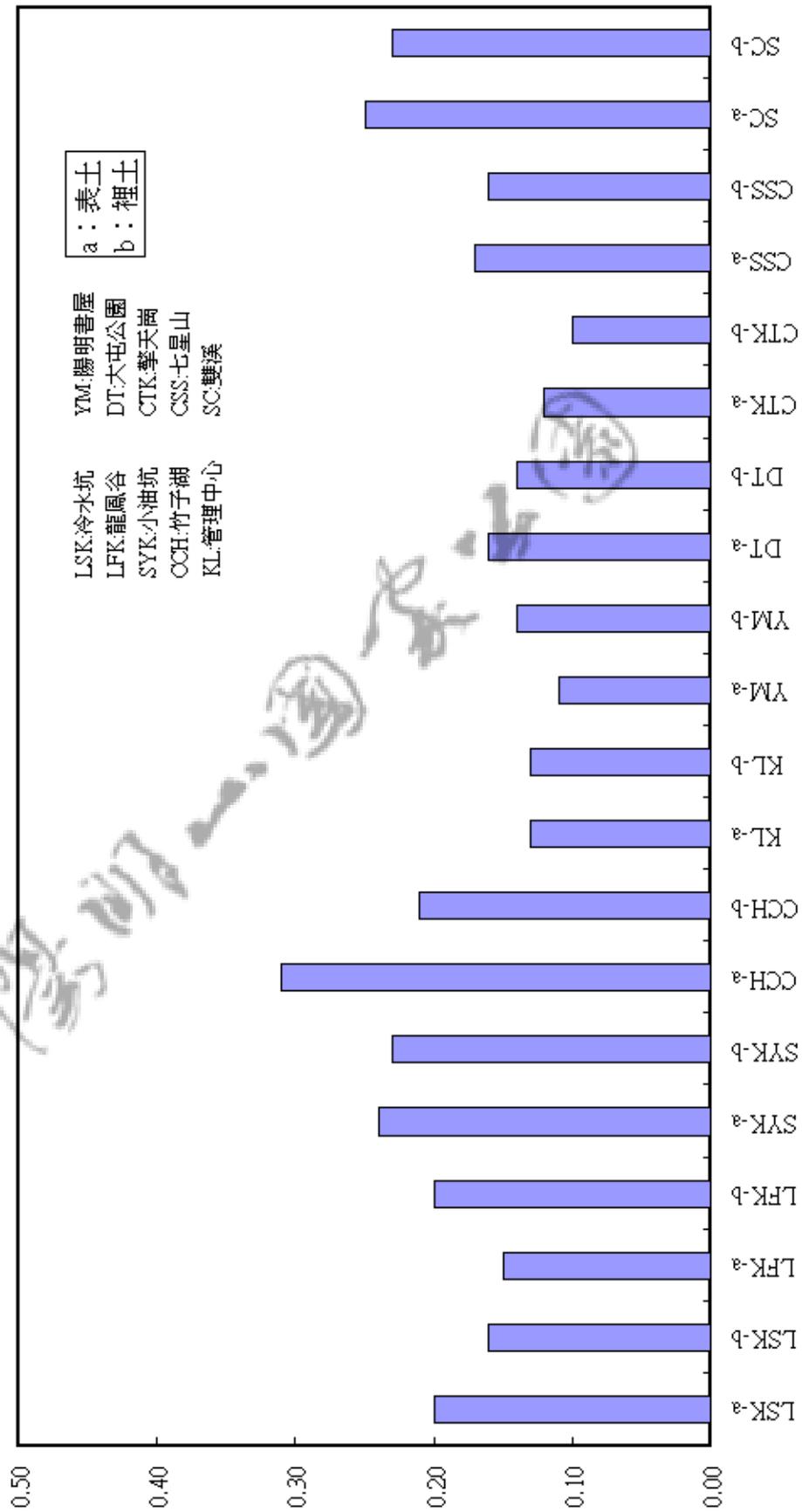


圖4-41 重點地區土壤鎳 (Cr) 含量 (ppm)

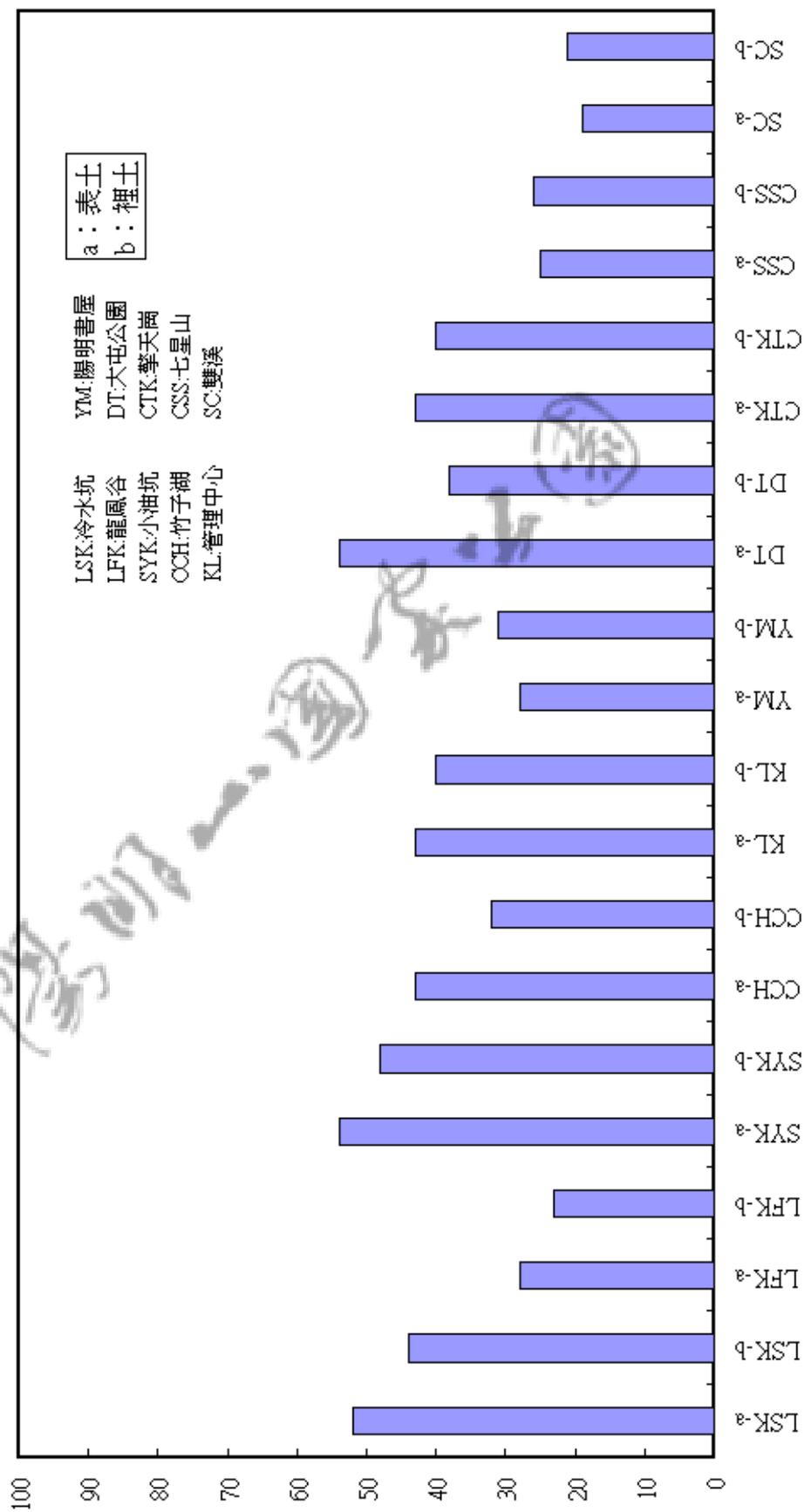


圖4-42 重點地區土壤銅 (Cu) 含量 (ppm)

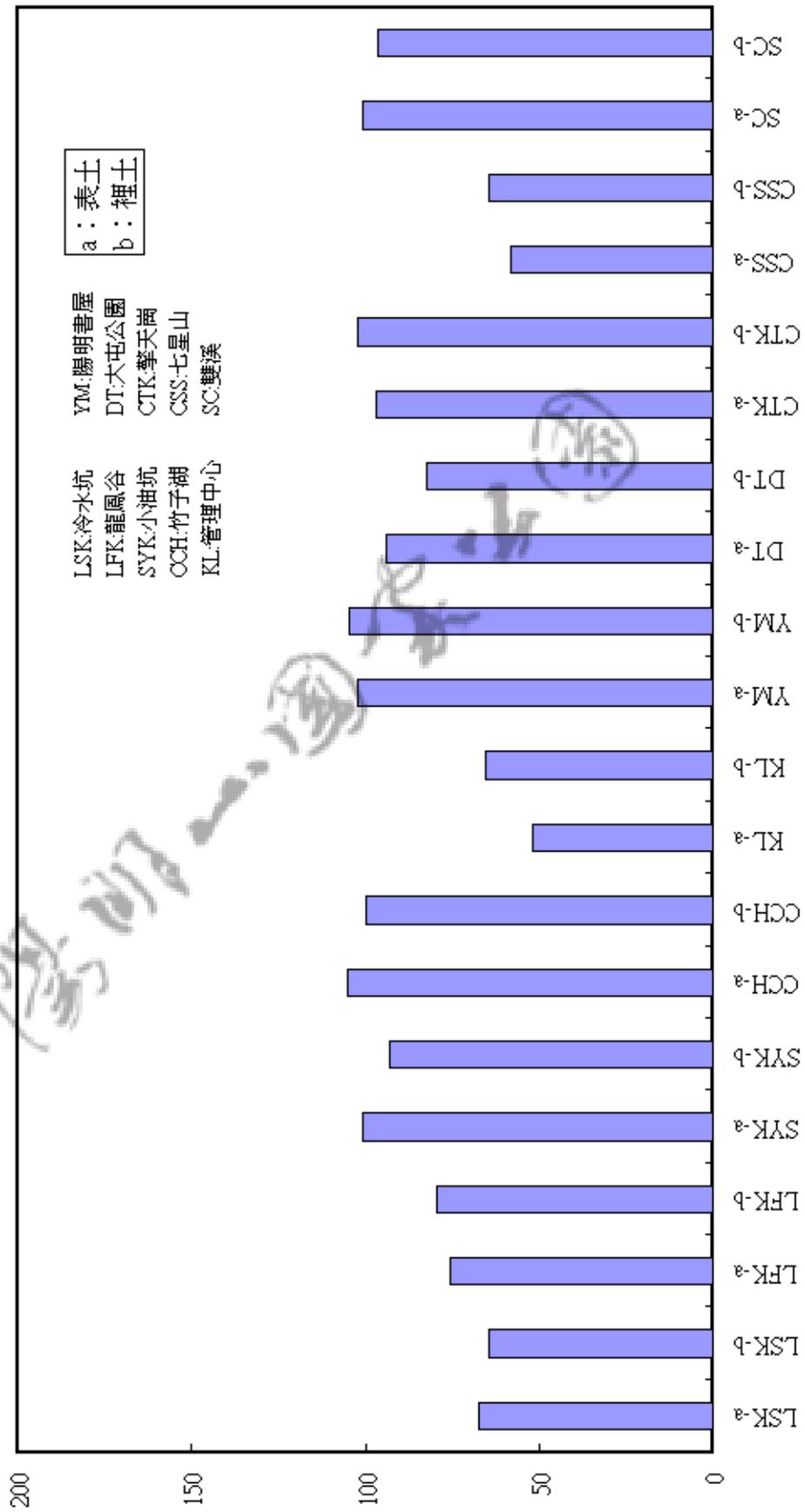


圖4-43 重點地區土壤鎳 (Ni) 含量 (ppm)

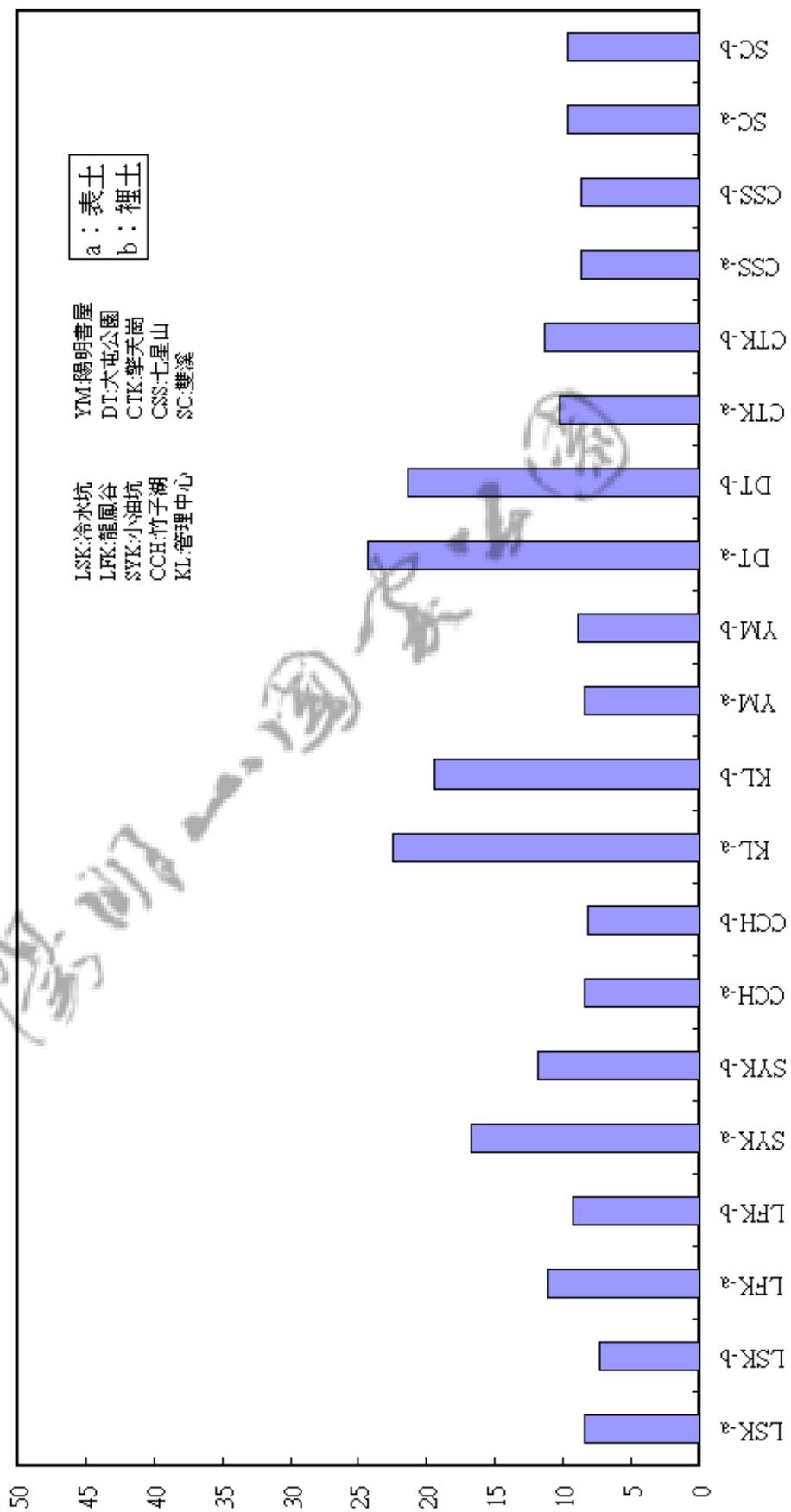


圖4-44 重點地區土壤鉛 (Pb) 含量 (ppm)

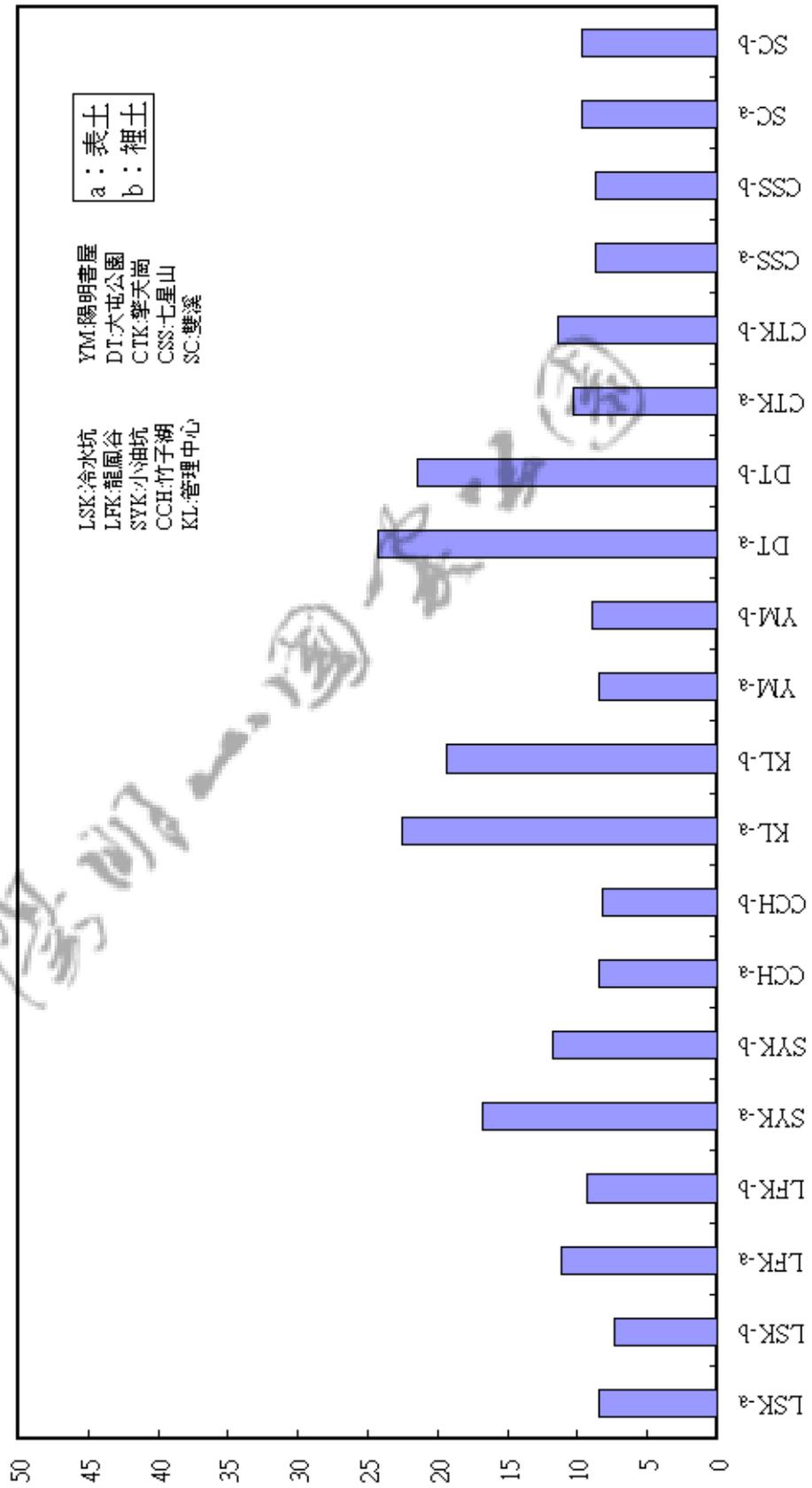
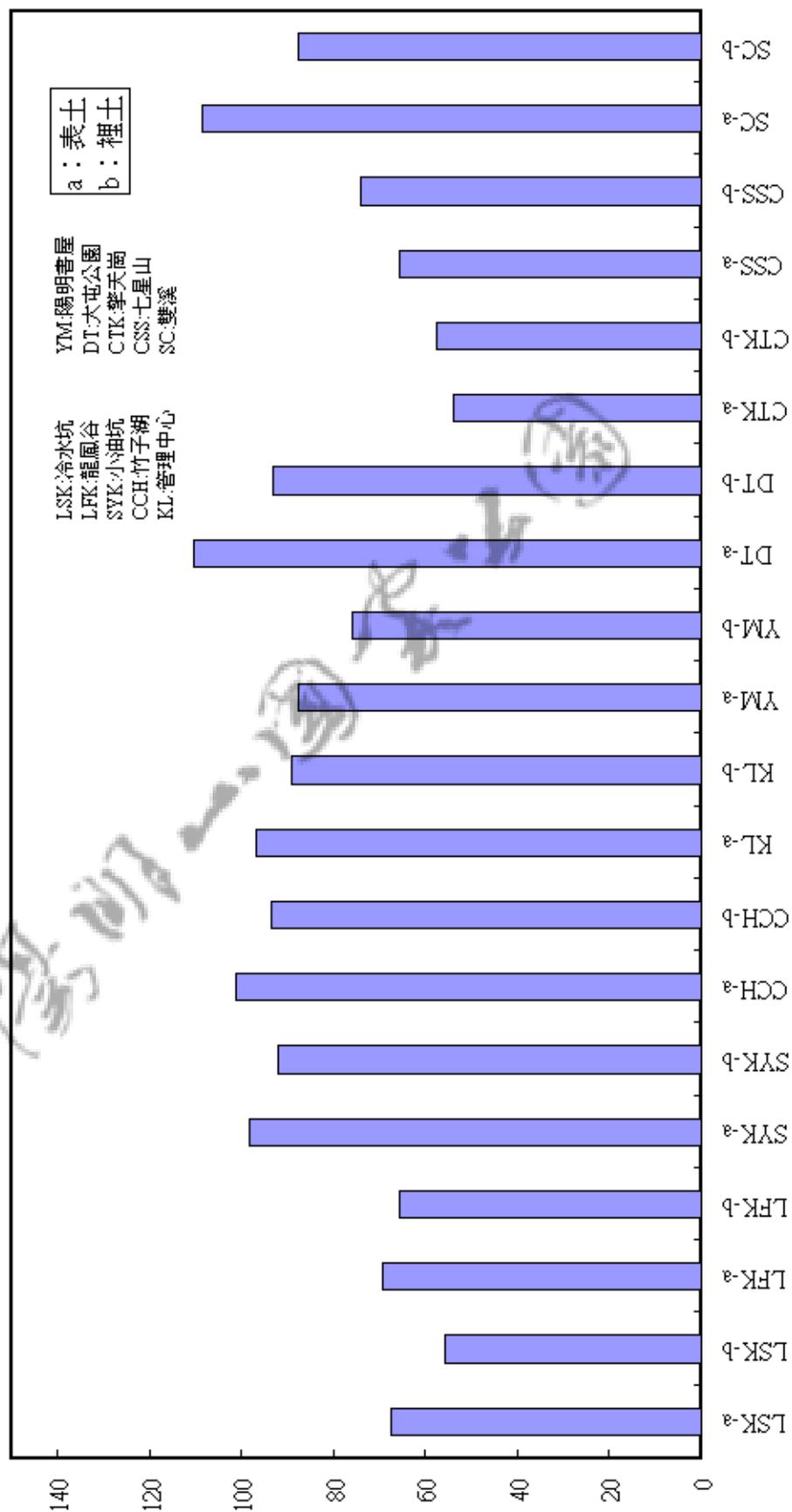


圖4-45 重點地區土壤鋅 (Zn) 含量 (ppm)



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好壞。

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比較，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據較高些。因此，目前環保署所規定採用的王水消化法-AA/ICP 分析，也並非最佳的檢驗方法。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。

表 4-3 及表 4-4 為 NCS 標準樣品數值與 ACME 公司分析值的比較。

在土壤方面，七種重金屬中的銅、鉛、鋅分析結果均在 NCS 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%。就地球化學研究而言，土壤礦物或岩石的不均勻性，所造成的誤差長遠大於此，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。由於岩石內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。

NCS 標準樣品的分析值是針對每種不同元素的特性，分別採用最適合且精密的儀器進行分析（如表 4-1 及 4-2），而本研究的分析只以一種方法檢驗，因此部分元素會有較大的誤差。但是整體而言，多數元素的誤差均算小。而除了汞之外的其他七種重金屬的分析結果比較，顯示 ACME 公司的數據可作為此次討論之依據。

表 4-5 為公路土壤樣品國內及國外公司分析之比較，圖 4-12 圖 4-17 分別為兩公司之土壤砷、銅、鉛、鋅、鉻、鎳含量分析值比較圖。從圖表顯示，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，且斜率接近於 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，可能導致樣品的不均勻性，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，此相差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

本次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。各樣品分析結果詳如附錄三，主要重金屬含量整理如表 4-6 及表 4-7，主要岩性母岩及其相關土壤之砷、鎳、鉻、銅、鎳、鉛、鋅元素含量情形，分別整理如圖 4-18 圖 4-24，而各種岩性之母岩及相關土壤之元素指紋比對圖，分別整理如圖 4-25 圖 4-30 所示。

在第二章前文中曾提及前人之研究，顯示大屯山地區之土壤性質受母岩影響頗巨。從本研究的母岩與相關化育土壤元素含量指紋比對圖（圖 4-25 圖 4-30），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，顯見大屯山地區土壤的微量元素的含量深受火成岩母岩所影響。

本次調查結果顯示，土壤中各種重金屬含量均高於母岩，在 NCS 標準安山岩岩石及土壤樣品中，也具有同樣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而富集，可能是導致土壤較母岩含量高的原因。

本次研究之母岩及土壤中的砷含量（圖 4-18）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。由本研究得知，陽明山

地區之砷含量的偏高，是母岩與特殊地質環境所致。

在本研究中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。

鎳、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等元素含量方面均低於監測值。各岩性母岩及土壤的鎳、銅、鉛、鋅含量與岩性的關連性不大，而鉻以及鎳的含量，則明顯在較基性的火成岩母岩及土壤中含量較高。基性成岩中常含有較多的鉻鐵礦及鎳黃鐵礦等礦物，是造成基性火成岩較中酸性火成岩含鉻與鎳高的原因。Rock2-1 樣品鉻與鎳含量較為突出，可能是因為含有攬獲岩或包裹體所致，其含量不能當為背景值的參考。

母岩及相關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。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，如果有土壤銅含量超過 120ppm 之食用作物的監測基準，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

本次研究共採取陽金公路沿線十個路段，分表裡土共計 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。各樣品分析結果詳如附錄二及三，主要重金屬含量整理如表 4-5 及 4-8，各樣品土壤之砷、鎳、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅元素含量情形分別整理如圖 4-31 圖 4-38 所示。

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。陽明山地區土壤背景值砷含量偏高的現象已於前文說明，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，但仍有待進一步驗證。

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，他的原因可能

和砷的異常一樣。

公路沿線的銅含量雖然也都未超過未超過一般監測基準，但普遍偏高，其中 Rd4、Rd7、Rd8 及 Rd10 的含量已超過食用作物的監測基準。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。

其他陽金公路沿線土壤的鎘、鉻、鎳、鉛、鋅等元素含量均較一般監測基準低。

四、國家公園重點地區土壤分析結果與討論

本次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。各樣品分析結果詳如附錄三，主要重金屬含量整理如表 4-9，各樣品土壤之砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅元素含量情形分別整理如圖 4-39 圖 4-45 所示。

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，均超過超過監控基準，而其他各地區砷含量也都頗高。其原因如前所述，可能是由陽明山地區土壤背景值砷含量偏高所致。

遊客較多的重點地區銅含量雖然也都未超過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。由於陽明山火成岩的銅含量背景值本來便高，筆者認為此乃背景值所致。

其他陽金公路沿線土壤的鎘、鉻、鎳、鉛、鋅等元素含量均較一般監測基準低。

第五章 結論與建議

第一節 結論

土壤中砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅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。故在近年各國倡導環保之際，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的局部污染，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。

前人之研究顯示陽明山地區之土壤性質受母岩影響頗巨。本次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。

本次調查結果顯示，土壤中各種重金屬含量均高於母岩，在 NCS 標準安山岩岩石及土壤樣品中，也同樣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中的遷移能力較差，容易被土壤中的黏土礦物吸附而富集，可能是導致土壤較母岩含量高的原因。

就岩石與土壤背景值而言，本次研究結果最值的注意的是，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的偏高，應是火成岩母岩，與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致。

在本研究中送國外樣品雖未分析汞，但就地球化學上而言，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。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。

鎳、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等元素含量方面均低於監測值。各岩性母岩及土壤的鎳、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母岩及土壤中含量較高。基性成岩中常含有較多的鉻鐵礦及鎳黃鐵礦等礦物，是造成基性火成岩較中酸性火成岩含鉻與鎳較高的重要原因。Rock2-1 樣品鉻與鎳含量較為突出，可能是因為含有擄獲岩或包裹體所致，其含量不能當為背景值的參考。

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。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，如果有土壤銅含量超過 120ppm 之食用作物的監測基準，極有可能是背景值所致。

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超過監控基準，而其他各地區砷含量也都頗高。陽明山地區土壤背景值砷含量偏高的現象已於前文說明，筆者認為此為背景值所致。

尤其 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的樣品，其沿途有許多斷層、裂隙、溫泉、小硫氣孔，甚而熱水換質作用發生，砷含量的異常偏高應該也是這些地質作用所致，但仍有待進一步驗證。

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，他的原因可能和砷的異常一樣。

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，其他鎳、鉻、鎳、鉛、鋅等元素含量，均較一般監測基準低。

第二節 建議

1. 本研究結果顯示陽明山火成岩地區土壤的砷含量偏高乃母岩特性的背景值，以及後火山作用等地質作用所致，但歷年之調查均一直認為此區之砷含量偏高為疑似污染造成，在探詢污染源或思考整治方面都徒費許多無謂的人力與經費。因此建議在陽明山火成岩地區之土壤砷含量的監測基準與管制標準能因地制宜，作適當調整，以免經常造成無謂的困擾與社會的恐慌。
2. 本研究雖然釐清陽明山地區土壤砷含量偏高的情形乃地質背景所致，但是對於距離硫氣孔等地質作用遠近與砷含量之空間關係，仍有待進一步研究。
3. 本研究對於陽明山地區砷、鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等重金屬含量背景資料已有初步的建立，但受限於本次計畫之經費有限，對於汞元素雖然透過統計學的方法，以及一般地球化學之資料，推論陽明山地區的汞含量偏高也是肇因於地質作用，但為證實起見，仍建議日後能對汞之異常現象，作進一步分析探討。
4. 陽明山國家公園內仍有部分岩性為沈積岩層，建議對此能比照本計畫進行研究，當更能瞭解火成岩與沈積岩母岩，以及風化土壤之重金屬含量特性與異同，對於日後此區土壤重金屬污染之調查與防制，提供更完整之資料庫。



第六章 參考文獻

中文部分

- 王一雄, 1997, 土壤環境污染與農業, 明文書局, 648 頁。
- 王文祥, 1989, 大屯火山群之火山學及核非跡定年: 國立台灣大學理學院地質學研究所碩士論文, 共 154 頁。
- 行政院環保署規定 (中華民國八十四年三月十八日行政院環署廢字第一 00 五八號)
- 余炳盛, 1994, 金瓜石含金角礫岩礦筒之研究。國立台灣大學理學院地質學研究所博士論文, 322 頁。
- 李國欽、王銀波、張仲民, 1987, 台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分暫訂表, 台灣地區土壤重金屬含量調查總報告(一), 行政院環保署, 206 頁。
- 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。
- 莊文星, 陳汝勤, 1989, 台灣北部火山岩之定年與地球化學研究: 經濟部中央地質調查所彙刊, 第五號, 第 31-66 頁。
- 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。
- 陳明竺、陳博雅、陳蕙婷, 1996, 土壤品質管理改善。行政院環保署研究報告, 台北都會區環境品質管理計畫報告, 第二冊, 第 7-22~7-26 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, 1993, 大屯山東北側火山灰土壤的性質與黏土礦物, 中國農業化學會誌, 卷 31:3, 第 325-339 頁。
- 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, 卷 32:3, 第 294-308 頁。
- 楊金臻, 1989, 大屯火山群噴發活動史: 陽明山國家公園簡訊, 第十一期, 第四版。
- 經濟部礦業司, 1988, 台灣之礦業, 107 頁。
- 劉聰桂, 1982, 台灣磷灰石、鋯石、榍石之核飛跡研究與其在大陸構造上之意義: 國立台灣大學理學院地質學研究所博士論文, 共 95 頁。
- 蔡博富, 1985, 大屯火山群之古地磁學研究: 國立台灣大學理學院地質學研究所碩士論文, 共 175 頁。
- 譚立平, 1991, 金瓜石土壤之汞與金銅礦床之關係, 國科會報告, NSC79-0202-M002-28, 39 頁。
- 譚立平, 1992, 台北縣石筍地區之地質及地球化學研究, 國科會報告, NSC80-0202-M002-25, 49 頁。
- 譚立平、黃大邦、陳明俊, 1990, 中央山脈金礦之地球化學初步探勘, 國科會報告, NSC79-0202-M002-13, 45 頁。

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.

英文部分

- Chen, C. H. and Wu, Y. T., 1971, Volcanic geology of the Tatun geothermal area, northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China 14, 5-20.
- Chen, C. H., 1975, Petrological and chemical study of volcanic rocks from Tatun Volcano Group: Proc. Soc. China 18, 59-72.
- Chen, C. H., 1978 Petrochemistry and origin of Pleistocene volcanic rocks from northern Taiwan: Bull. Volcano. 41, 513-528.
- Govett, G. J. S., 1983, Rock geochemistry in mineral exploration, Elsevier Scientific Pub. Company, 461 p.
- Hawkes, H. E. and Webb, J. S., 1962, Geochemistry in mineral exploration, Harper and Row publishers, 415p.
- Jensen, M. L. and Bateman, A. M., 1985, Economic mineral deposits, 3rd ed. 亞東書局翻印, 593p.
- Jiang-Dezhen, Liu-Zhihong and Sun-Benming, 1991, Database of background soil element values and its applications, International Symposium on computer applications in geoscience, p. 649-654.
- Juan, V. C., Hsu, L. C. and Yao, T. S., 1963, High-alumina basalt from northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China 6, 67-71.
- Juang, W. S. and Bellon, H., 1984, The potassium-argon dating of andesites from Taiwan: Proc. Geol. Soc. China 27, 86-100.
- Krauskopf, K. B., 1979, Introduction to geochemistry, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, 617 p.
- Ku, T. L., Teng, T. L., Wu, T. M., Lee, Y. H., Wang, N. D., Yao, T. H., Hsu, L. C. and Juan, V. C., 1968, The geological map of Tatun volcanic area (1:25,000): Dept. of Geology, National Taiwan University.
- Liu, T. K., Chen, C. H. and Jiang, S. H., 1986, Fission track study of igneous rocks from northern Taiwan: A report to Nat. Sci. Council., ROC.
- 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.
- Richard, M., Bellon, H., Maury, R. C., Barrier, E. and Juang, W. S., 1986a, Miocene to recent calc-alkalic volcanism in eastern Taiwan: K-Ar ages and petrography: Mem. Geol. Soc. China 6, 369-382.
- Shacklette, H. T., Hamilton, J. C., Boerngen, J. C. and Bowles, J. M., 1971, Elemental composition of surficial materials in the conterminous United States., U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 574-D.
- Siegel, F. R., 1974, Applied geochemistry, John Wiley & Sons, 353 p.
- Swaine, D. J., 1955, The trace element content of soils, Commonw. Bur. Soil Sci., Tech. Commun. No. 5.
- Tan, L. P., 1994, Horizontal and vertical zonations of the Main Veins, Chinkuashih, National Science Council Report, NSC-82-0202-M002-160, 57p.
- Tiller, K. G., 1993, Micronutrients, Soils: an Australian viewpoint, CSIRO, p.

- 365-387.
- Vinogradov, A. P., 1959, The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils, (Consultants Bureau: New York)
- Walker, G. P. L., 1983, Ignimbrite types and ignimbrite problems: Jour. Volcano. Geotherm. Res. 17, 65-88.
- Wells, N., 1960, Total elements in topsoils from igneous rocks: an extension of geochemistry. Journal of Soil Science, No. 11, p. 409-424.
- Yen T. P., Tzou, Y. H. and Lin, W. H., 1984, Subsurface geology of the region of the Tatun Volcano Group: Petrol. Geol. Taiwan 20, 143-154.





附錄一

陽明山國家公園土壤及岩石樣品
採樣位置座標及相關資料

附錄一 陽明山國家公園土壤及岩石樣品採樣位置

A-1：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之1，(代號：RD-1)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|----|
| 1 | 304553,2781920 | 雜草 | 右 |
| 2 | 304505,2782062 | 籬笆樹 | 左 |
| 3 | 304600,2782222 | 原始林下 | 右 |
| 4 | 304516,2782412 | 松木花壇內 | 左 |
| 5 | 304572,2782634 | 榕樹下 | 右 |
| 6 | 304628,2782800 | 榕樹下 | 右 |
| 7 | 304525,2782940 | 雜草地 | 右 |
| 8 | 304310,2782970 | 雜林 | 右 |
| 9 | 304160,2782935 | 雜林 | 左 |
| 10 | 303985,2782990 | 芒草下 | 右 |

(約中國大飯店附近到公車總站附近)

A-2：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之2，(代號：RD-2)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|--------|----|
| 1 | 304674,2783036 | 草地 | 右 |
| 2 | 304848,2783136 | 草地 | 右 |
| 3 | 304857,2783206 | 雜林，草地 | 右 |
| 4 | 304705,2783294 | 入口中央草地 | 左 |
| 5 | 304765,2783465 | 雜林+草地 | 左 |
| 6 | 304798,2783630 | 雜林+草地 | 右 |
| 7 | 304204,2783822 | 雜林+草地 | 右 |
| 8 | 304045,2783934 | 雜林+草地 | 右 |
| 9 | 304042,2784088 | 雜林+草地 | 右 |
| 10 | 304038,2784282 | 草地 | 左 |

(約公車總站附近到往陽明書屋分岔路口附近)

A-3：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之3，(代號：RD-3)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|----|
| 1 | 303928,2784446 | 草地 | 左 |
| 2 | 303770,2784506 | 林下 | 左 |
| 3 | 303632,2784628 | 草地 | 右 |
| 4 | 303665,2784706 | 雜林 | 右 |
| 5 | 303670,2784995 | 雜林+草地 | 右 |
| 6 | 303658,2785116 | 草地 | 左 |
| 7 | 303670,2785334 | 草地+雜林 | 右 |
| 8 | 303738,2785006 | 草地+雜林 | 右 |
| 9 | 303912,2785036 | 草地+雜林 | 右 |
| 10 | 304115,2785069 | 草地+雜林 | 右 |

(由往陽明書屋分岔路口附近至小油坑溪谷下游與公路交會處)

A-4：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之 4，(代號：RD-4)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|---------|----|
| 1 | 304020,2785730 | 雜林 | 左 |
| 2 | 304090,2785908 | 雜林 | 右 |
| 3 | 303914,2785998 | 停車格附近林中 | 右 |
| 4 | 304000,2785990 | 草地 | 右 |
| 5 | 304148,2786070 | 雜林 | 左 |
| 6 | 304302,2786054 | 芒草 | 右 |
| 7 | 304500,2786100 | 芒草 | 右 |
| 8 | 304640,2786080 | 芒草 | 右 |
| 9 | 304830,2786046 | 芒草 | 右 |
| 10 | 305030,2786042 | 雜林 | 右 |

(由小油坑溪谷下游與公路交會處至往冷水坑分岔路口前約半公里處)

A-5：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之 5，(代號：RD-5)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 305196,2785954 | 草地 | 左 |
| 2 | 305300,2785810 | 草地 | 右 |
| 3 | 305325,2785860 | 草地 | 右 |
| 4 | 305224,2786000 | 草地 | 右 |
| 5 | 305106,2786164 | 雜林 | 左 |
| 6 | 305088,2786190 | 雜林 | 右 |
| 7 | 305270,2786150 | 雜林 | 左 |
| 8 | 305460,2786176 | 雜林 | 右 |
| 9 | 305386,2786252 | 雜林 | 左 |
| 10 | 305266,2786418 | 雜林 | 右 |

(由往冷水坑分岔路口前約半公里處至淨水廠鹿角坑第三加壓站附近)

A-6：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之 6，(代號：RD-6)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|--------|
| 1 | 305295,2786600 | 雜林下 | 左 |
| 2 | 305414,2786506 | 雜林下 | 右 |
| 3 | 305458,2786326 | 雜林+草地 | 右 |
| 4 | 305660,2786314 | 雜林+草地 | 右 |
| 5 | 305695,2786146 | 雜林+草地 | 右 |
| 6 | 305822,2786032 | 草地 | 右 |
| 7 | 305858,2785872 | 草地 | 右 |
| 8 | 306128,2785740 | 草地 | 右 |
| 9 | | | (無法採樣) |
| 10 | | | (無法採樣) |

(由淨水廠鹿角坑第三加壓站附近至過馬槽橋附近)

A-7：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之 7，(代號：RD-7)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|----|
| 1 | 306485,2785860 | 雜林 | 右 |
| 2 | 306548,2786032 | 草地榕樹 | 左 |
| 3 | 306662,2786212 | 雜林+草地 | 右 |
| 4 | 306765,2786342 | 雜林+草地 | 右 |
| 5 | 306920,2786352 | 雜林+草地 | 左 |
| 6 | 306990,2786242 | 雜林+草地 | 左 |
| 7 | 306894,2786370 | 雜林+草地 | 左 |
| 8 | 306842,2786496 | 雜林+草地 | 右 |
| 9 | 307032,2786388 | 雜林 | 左 |
| 10 | 307104,2786268 | 雜林 | 左 |

(由過馬槽橋附近至連續彎路附近)

A-8：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之 8，(代號：RD-8)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|----|
| 1 | 307128,2786308 | 雜林+草地 | 右 |
| 2 | 307014,2786470 | 雜林+草地 | 右 |
| 3 | 307072,2786462 | 雜林+草地 | 右 |
| 4 | 307215,2786300 | 雜林+草地 | 右 |
| 5 | 307212,2786122 | 雜林+草地 | 左 |
| 6 | 307210,2786002 | 雜林+草地 | 右 |
| 7 | 307446,2786042 | 草地 | 左 |
| 8 | 307530,2785920 | 雜林 | 右 |
| 9 | 307648,2786050 | 榕樹 | 右 |
| 10 | 307882,2785994 | 榕樹 | 右 |

(由連續彎路附近至迎賓亭附近)

A-9：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之 9，(代號：RD-9)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|----|
| 1 | 307820,2786150 | 雜林+草地 | 右 |
| 2 | 307926,2786335 | 雜林+草地 | 左 |
| 3 | 308026,2786478 | 楓樹下 | 左 |
| 4 | 308023,2786690 | 楓樹下 | 左 |
| 5 | 308133,2786732 | 雜林 | 左 |
| 6 | 308134,2786905 | 楓樹下 | 左 |
| 7 | 308302,2787063 | 雜林 | 右 |
| 8 | 308416,2787028 | 雜林 | 右 |
| 9 | 308578,2787038 | 雜林 | 右 |
| 10 | 308740,2787115 | 雜林 | 右 |

(由迎賓亭附近至金山養鱒漁場附近)

A-10：陽金公路沿線採樣點：陽金公路沿線之 10，(代號：RD-10)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 308878,2787185 | 雜林 | 右 |
| 2 | 308300,2787384 | 雜林 | 右 |
| 3 | 308917,2787565 | 竹林下 | 左 |
| 4 | 309000,2787736 | 雜林 | 左 |
| 5 | 308855,2787735 | 竹林下 | 左 |
| 6 | 309032,2787848 | 雜林 | 右 |
| 7 | 309153,2787975 | 雜林 | 右 |
| 8 | 308980,2788182 | 草地 | 左 |
| 9 | 308995,2788405 | 雜林 | 右 |
| 10 | 309030,2788610 | 雜林 | |

(由金山養鱒漁場附近至出國家公園界線約 400 米)

B-1：重點地區採樣點：管理中心，(代號：KL)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 304323,2783301 | 草地 | |
| 2 | 304345,2783292 | 草地 | |
| 3 | 304302,2783339 | 草地 | |
| 4 | 304284,2783347 | 草地 | |
| 5 | 304254,2783348 | 草地 | |
| 6 | 304318,2783353 | 草地 | |
| 7 | 304339,2783368 | 草地 | |
| 8 | 304371,2783373 | 草地 | |
| 9 | 304350,2783354 | 草地 | |
| 10 | 304394,2783377 | 草地 | |

B-2：重點地區採樣點：陽明書屋，(代號：YM)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 303616,2784113 | 草地 | |
| 2 | 303568,2784140 | 草地 | |
| 3 | 303508,2784163 | 草地 | |
| 4 | 303462,2784112 | 草地 | |
| 5 | 303495,2784052 | 草地 | |
| 6 | 303594,2784155 | 草地 | |
| 7 | 303627,2784140 | 草地 | |
| 8 | 303656,2784111 | 草地 | |
| 9 | 303622,2784166 | 草地 | |
| 10 | 303613,2784184 | 草地 | |

B-3：重點地區採樣點：小油坑遊憩區，(代號：SYK)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 304310,2785758 | 竹林 | |
| 2 | 304326,2785789 | 竹林 | |
| 3 | 304299,2785719 | 竹林 | |
| 4 | 304269,2785685 | 竹林 | |
| 5 | 304304,2785652 | 草地 | |
| 6 | 304366,2785670 | 竹林 | |
| 7 | 304398,2785675 | 竹林 | |
| 8 | 304311,2785608 | 竹林 | |
| 9 | 304266,2785673 | 竹林 | |
| 10 | 304209,2785715 | 竹林 | |

B-4：重點地區採樣點：七星公園，(代號：CSS)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 304956,2785006 | 裸地 | |
| 2 | 304967,2784985 | 裸地 | |
| 3 | 305010,2784959 | 草地 | |
| 4 | 305051,2784907 | 草地 | |
| 5 | 305086,2784890 | 草地 | |
| 6 | 305043,2784836 | 草地 | |
| 7 | 304935,2784994 | 草地 | |
| 8 | 304855,2784985 | 草地 | |
| 9 | 304868,2784932 | 草地 | |
| 10 | 304848,2784925 | 草地 | |

B-5：重點地區採樣點：冷水坑，(代號：LSK)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|--------|----|
| 1 | 306131,2784367 | 人工林 | |
| 2 | 306149,2784375 | 人工林 | |
| 3 | 306232,2784231 | 楓林 | |
| 4 | 306219,2784212 | 枯草地 | |
| 5 | 306188,2784065 | 苗圃(林) | |
| 6 | 306224,2784089 | 苗圃(林) | |
| 7 | 306225,2784170 | 苗圃(茶花) | |
| 8 | 306184,2784270 | 荒地(田) | |
| 9 | 306169,2784234 | 荒地(田) | |
| 10 | 306125,2784407 | 菜園 | |

B-6：重點地區採樣點：擎天崗，(代號：CTK)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 307164,2784579 | 草地 | |
| 2 | 307168,2784542 | 草地 | |
| 3 | 307172,2784507 | 草地 | |
| 4 | 307183,2784526 | 草地 | |
| 5 | 307180,2784477 | 草地 | |
| 6 | 307194,2784496 | 草地 | |
| 7 | 307189,2784441 | 草地 | |
| 8 | 307204,2784466 | 草地 | |
| 9 | 307186,2784566 | 草地 | |
| 10 | 307195,2784616 | 草地 | |

B-7：重點地區採樣點：大屯山自然公園，(代號：DT)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 301833,2786651 | 草地 | |
| 2 | 301817,2786643 | 草地 | |
| 3 | 301818,2786637 | 草地 | |
| 4 | 301811,2786626 | 草地 | |
| 5 | 301821,2786630 | 草地 | |
| 6 | 301836,2786625 | 草地 | |
| 7 | 301844,2786631 | 草地 | |
| 8 | 301848,2786612 | 草地 | |
| 9 | 301834,2786600 | 草地 | |
| 10 | 301821,2786614 | 草地 | |

B-8：重點地區採樣點：雙溪，(代號：SC)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|----|
| 1 | 308161,2780966 | 薑田角落 | |
| 2 | 308147,2780971 | 山藥田下 | |
| 3 | 308169,2780992 | 絲瓜田下 | |
| 4 | 308163,2781021 | 絲瓜田下 | |
| 5 | 308188,2780975 | 菜圃 | |
| 6 | 308178,2781014 | 冬瓜田 | |
| 7 | 308176,2781057 | 南瓜田 | |
| 8 | 308174,2781077 | 絲瓜田 | |
| 9 | 308207,2780965 | 竹林 | |
| 10 | 308227,2780939 | 竹林，砂岩 | |

B-9：重點地區採樣點：龍鳳谷，(代號：LFK)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-------|----|
| 1 | 302387,2781925 | 雜林 | |
| 2 | 302361,2782026 | 草地 | |
| 3 | 302401,2782051 | 草地 | |
| 4 | 302441,2781937 | 草地 | |
| 5 | 302471,2781897 | 草地 | |
| 6 | 302463,2781965 | 草地及榕樹 | |
| 7 | 302529,2782062 | 回填沖積區 | |
| 8 | 302498,2782093 | 崩積地 | |
| 9 | 302535,2782083 | 空地少量草 | |
| 10 | 302463,2781923 | 樹下 | |

B-10：重點地區採樣點：竹子湖，(代號：CCH)

| 分樣 | 座標 | 植 被 | 備註 |
|----|----------------|-----|----|
| 1 | 303513,2784958 | 農田 | |
| 2 | 303528,2784914 | 農田 | |
| 3 | 303521,2784972 | 農田 | |
| 4 | 303546,2784953 | 農田 | |
| 5 | 303563,2784940 | 農田 | |
| 6 | 303536,2784940 | 農田 | |
| 7 | 303577,2784918 | 農田 | |
| 8 | 303559,2784915 | 農田 | |
| 9 | 303575,2784964 | 農田 | |
| 10 | 303552,2784988 | 農田 | |

C：土壤背景樣品

| 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 代表裡土

D：岩石背景樣品

| 樣品編號 | 地點 | 座標 | 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 |

附錄二

陽金公路沿線土壤樣品
國內檢驗原始資料

檢驗報告

委託單位：國立台北科技大學材料及資源工程系
 計畫名稱：*
 樣品基質：土壤
 樣品編號：PL9001201~20
 採樣單位：委託單位自行採樣
 採樣地點：*

採樣時間：*年*月*日*時*分
 收樣時間：93年09月06日14時30分
 報告日期：93年09月20日
 報告編號：PL/2004/90012
 聯絡人：林蓮蔭
 電話/傳真：02-2299-3279ext2305 / 02-2299-3230

備註：
 1. 本報告共4頁，分離使用無效。
 2. 檢測項目有標示“*”者，係指該檢測項目經環保署許可，並依公告檢測方法分析。
 3. 低於方法偵測極限之測定，以“ND”表示，並註明其方法偵測極限(MDL)。
 4. 本報告僅對該樣品負責，不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。
 5. 未經認可之項目，其參考方法如報告頁之檢驗方法欄所示。
 6. 土壤一般重金屬之機械方法是依據NIEA M1104.01C。

聲明書：
 (一) 茲保證本機構實驗室分析之樣品，自本實驗室收樣至報告發出之過程，係在委託人/申報人指示下，以本公司人員最佳之專業知能，完全依照行政院環保署及有關機關之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正、誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實，如有違反，就政府機關所受損失願負連帶賠償責任之外，並接受主管機關依法所為之行政處分及刑事處罰。
 (二) 吾人瞭解如自身政府機關委任從事公務，亦屬於刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。

公司名稱：台灣檢驗科技股份有限公司

負責人(簽章)：[簽章]

實驗室主任(簽名蓋章)：[簽名蓋章]

實驗室主任郭淑清



(第1頁，共4頁)

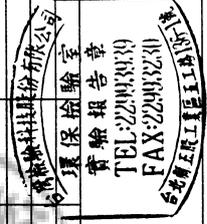
This Test Report is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf. Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification, and jurisdictional issues defined therein. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested unless otherwise stated. This Test Report cannot be reproduced, except in full, without the prior written permission of the Company. 此報告係根據本公司訂定之通用服務條件所製作，請注意服務條件中關於責任、免責、有關賠償及管轄之條文。未經本公司書面許可，不得翻印或複製。



行政院環保署許可證字號:環署環檢字第035號
 樣品檢驗報告

樣品編號: PL9001201-10

| 序 號 | 樣品 檢驗項目 | 樣品 編號 | 檢驗方法 | MDL | 單位 | PL9001201 | PL9001201 | PL9001201 | PL9001202 | PL9001202 | PL9001203 | PL9001204 | PL9001205 | PL9001206 | PL9001207 | PL9001208 | PL9001209 | PL9001210 |
|--------|------------|----------|---------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | | Rd1a | Rd1b | Rd2a | Rd2b | Rd3a | Rd3b | Rd4a | Rd4b | Rd5a | Rd5b | | | |
| 1 | pH | | NIEA S410.60T | - | - | 4.9 | 4.8 | 4.8 | 5.1 | 4.9 | 5.5 | 5.1 | 5.1 | 5.6 | 5.0 | 5.1 | | |
| * | 2 砷 | | NIEA S310.62C | 0.223 | mg/kg | 12.2 | 13.1 | 13.5 | 15.6 | 12.2 | 11.7 | 13.6 | 13.6 | 12.6 | 13.5 | 13.1 | | |
| * | 3 鎘 | | NIEA S321.63B | 0.16 | mg/kg | ND | | |
| * | 4 鎘 | | NIEA S321.63B | 2.67 | mg/kg | 62.4 | 51.0 | 58.6 | 38.2 | 59.2 | 60.4 | 51.6 | 51.6 | 57.5 | 96.2 | 41.8 | | |
| * | 5 銅 | | NIEA S321.63B | 4.09 | mg/kg | 94.2 | 102 | 70.2 | 79.9 | 80.7 | 76.9 | 168 | 168 | 71.3 | 57.7 | 55.0 | | |
| * | 6 汞 | | NIEA M317.01C | 0.038 | mg/kg | 0.165 | 0.134 | 0.311 | 0.257 | 0.507 | 0.593 | 0.251 | 0.178 | 0.170 | 0.159 | | | |
| * | 7 錳 | | NIEA S321.63B | 4.51 | mg/kg | 28.0 | 23.4 | 24.2 | 15.6 | 24.1 | 27.1 | 20.5 | 23.0 | 37.0 | 15.7 | | | |
| * | 8 鉛 | | NIEA S321.63B | 4.62 | mg/kg | 76.0 | 73.9 | 70.8 | 60.8 | 91.5 | 50.5 | 65.2 | 34.7 | 52.3 | 31.3 | | | |
| * | 9 鋅 | | NIEA S321.63B | 3.02 | mg/kg | 148 | 142 | 106 | 111 | 161 | 140 | 136 | 117 | 104 | 75.5 | | | |
| | | | 以下空白 | | | | | | | | | | | | | | | |



1. PL9001201-10土壤之pH值為「在純水中土壤之酸鹼值」。

(第2頁, 共4頁)

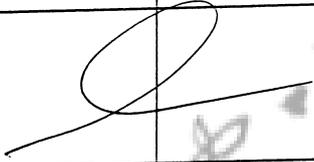
This Test Report is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf. Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification, and jurisdictional issues defined therein. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested unless otherwise stated. This Test Report cannot be reproduced, excised, or used without the prior written permission of the Company. 此報告僅供客戶參考, 不得翻印或轉載。此報告僅供客戶參考, 不得翻印或轉載。 中華民國95年10月10日

SGS Taiwan Ltd. No. 136-1 Wu Kung Road, Wuku Ind. Zone, Taipei County, Taiwan. / 台北縣五股工業區五工路136-1號
 台灣檢驗科技股份有限公司
 Member of SGS Group
 TEL: 2219-8989 FAX: 2219-8989
 TUV 1055594
 1 (886-2) 2299-3230
 WWW.TW.SGS.COM

SGS 台灣檢驗科技股份有限公司

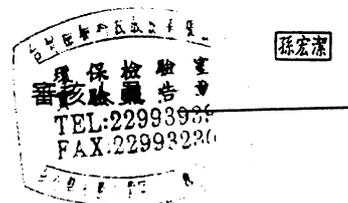
樣品監管記錄表

樣品編號： FD90012 01~20

| 收送流程 | 簽名 | 樣品數量/點收 | 記錄事項 |
|------------|--|---------------------------------------|---|
| 1. 運送人員 |  | | 運送方式： <u>A</u> 運送時間： <u>93.09.06</u> |
| 2. 實驗室接收人員 |  | 100g 封袋 *20個 | 收樣日期/時間 <u>93.09.06 14:30</u> |
| 3. 貯存管理 | | 1. 冷藏 (樣品取用記錄) 2. 外包 (樣品轉委託記錄) | |

註：運送方式 - A. 快遞

B. 委託者自行送樣





附錄三

土壤及岩石樣品國外檢驗原始資料

ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. 852 E. HASTINGS ST. VANCOUVER BC V6A 1R6 PHONE (604)253-3158 FAX (604)253-1716



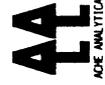
GEOCHEMICAL ANALYSIS CERTIFICATE

Yu, Bing-Sheng File # A406233 Page 1 (a)
NTUT - Dept. of Material, Taipei Taiwan R.O.C. 106 submitted by: Bing-Sheng Yu

Table with columns for element symbols (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Tl, Al, Na, K, W, Zr, Sn, Be, Sc) and rows for sample IDs (G-1, R01-a, R01-b, R02-a, R02-b, R03-a, R03-b, R04-a, R04-b, R05-a, R05-b, R06-a, R06-b, R07-a, R07-b, R08-a, R08-b, R09-a, R09-b, R10-a, R10-b, LSK-a, LSK-b, LFK-a, LFK-b, SYK-a, SYK-b, CCH-a, CCH-b, KL-a, KL-b, YH-a, YH-b, DT-a, STANDARD). Each cell contains numerical values representing concentrations.



Standard is STANDARD DS15.
GROUP 11-MS - 0.25 GM SAMPLE DIGESTED WITH HClO4-HNO3-HCl-HF TO 10 ML. (v) CONCENTRATION EXCEEDS UPPER LIMITS. SOME MINERALS MAY BE PARTIALLY ATTACKED/VOLATILIZED. REFRACTORY AND GRAPHITIC SAMPLES CAN LIMIT AU SOLUBILITY. ANALYSIS BY ICP-MS.
- SAMPLE TYPE: SOIL SCP100 60C
Samples beginning 'RE' are Retuns and 'RRE' are Reject Retuns.
Data WJ/FA DATE RECEIVED: OCT 13 2004 DATE REPORT MAILED: Oct 29/04
All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of the analysis only.



| SAMPLE# | Mo | Cu | Pb | Zn | Ag | Ni | Co | Mn | Fe | As | U | Au | Th | Sr | Cd | Sb | Bi | V | Ca | P | La | Cr | Mg | Ba | Ti | Al | Na | K | W | Zr | Sn | Be | Sc | S |
|---------------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|
| DT-b | 1.39 | 82.52 | 25.82 | 93.3 | 69.21 | 4.0 | 15.0 | 911.5 | 52.19 | 0.2 | 2.8 | <1 | 11.1 | 51 | 14 | 94 | 60 | 181 | 35 | 117 | 20 | 38 | 1.19 | 178 | 487 | 9.39 | 205 | 70 | 1.8 | 64.3 | 2.2 | 2 | 20.4 | 15 |
| CTK-a | 3.36 | 96.77 | 45.26 | 54.0 | 83.10 | 3.8 | 369.6 | 51.41 | 4.2 | 2.6 | <1 | 11.2 | 109 | 12 | 2.77 | 1.43 | 242 | 2.22 | 0.86 | 15 | 43 | 69 | 207 | 534 | 7.95 | 161 | 70 | 1.9 | 59.4 | 2.9 | 1 | 21.3 | 37 | |
| CTK-b | 2.90 | 101.99 | 40.25 | 57.6 | 70.11 | 4.0 | 384.6 | 64.41 | 2.5 | <1 | 11.0 | 106 | 10 | 2.66 | 1.34 | 228 | 2.07 | 0.77 | 14 | 40 | 71 | 196 | 534 | 8.35 | 150 | 70 | 1.9 | 58.4 | 2.9 | 1 | 21.2 | 32 | | |
| CSS-a | 2.23 | 58.31 | 49.33 | 65.7 | 100.8 | 7.1 | 740.5 | 48.39 | 2.2 | <1 | 8.5 | 111 | 17 | 1.39 | 1.32 | 181 | 84 | 0.88 | 14 | 25 | 1.56 | 211 | 454 | 5.71 | 370 | 72 | 2.0 | 59.7 | 4.2 | 1 | 20.3 | 23 | | |
| CSS-b | 2.47 | 64.54 | 45.95 | 74.0 | 8.7 | 12.9 | 808.6 | 22.46 | 7.2 | 4.4 | <1 | 9.7 | 118 | 16 | 1.41 | 1.12 | 237 | 85 | 0.78 | 16 | 26 | 1.70 | 231 | 507 | 6.40 | 379 | 67 | 2.3 | 71.5 | 2.7 | 1 | 22.9 | 20 | |
| SC-a | 68 | 100.90 | 24.23 | 108.4 | 60 | 9.7 | 19.9 | 1420.5 | 56.7 | 5.3 | 3.1 | <1 | 8.5 | 155 | 25 | 67 | 26 | 212 | 1.51 | 1.74 | 25 | 19 | 1.40 | 480 | 541 | 9.70 | 553 | 81 | 2.0 | 58.9 | 1.8 | 2 | 20.7 | <0.4 |
| SC-b | 66 | 96.21 | 20.06 | 87.8 | 78 | 9.7 | 20.6 | 1497.5 | 65.7 | 7.0 | 2.7 | <1 | 9.1 | 169 | 23 | 65 | 26 | 216 | 1.40 | 1.28 | 25 | 21 | 1.28 | 507 | 535 | 9.62 | 604 | 97 | 2.1 | 60.1 | 1.9 | 2 | 19.7 | <0.4 |
| Soil1-1-la | 1.31 | 82.08 | 27.00 | 114.6 | <20 | 44.2 | 33.9 | 1168.7 | 55.20 | 3.3 | <1 | 16.4 | 45 | 11 | 1.37 | 51 | 271 | 0.8 | 0.64 | 29 | 88 | 62 | 318 | 959 | >10 | 122 | 1.13 | 2.3 | 90.7 | 3.5 | 2 | 27.6 | <0.4 | |
| Soil1-1-lb | 1.40 | 85.87 | 28.97 | 122.5 | 24 | 42.3 | 34.2 | 1079.7 | 01 | 21.3 | 3.6 | <1 | 17.1 | 55 | 16 | 1.44 | 56 | 282 | 0.7 | 0.62 | 31 | 95 | 61 | 323 | 904 | >10 | 128 | 1.19 | 2.5 | 98.9 | 4.0 | 1 | 28.6 | <0.4 |
| Soil1-1-2a | 83 | 129.41 | 21.70 | 124.3 | 73 | 38.4 | 43.0 | 1429.8 | 5.1 | 13.0 | 2.7 | <1 | 10.8 | 66 | 25 | 80 | 32 | 359 | 50 | 0.97 | 22 | 93 | 90 | 366 | 1221 | >10 | 093 | 40 | 1.4 | 112.9 | 2.7 | 2 | 46.4 | <0.4 |
| Soil1-1-2b | 81 | 140.82 | 20.69 | 123.4 | 81 | 38.0 | 45.6 | 1509.8 | 8.1 | 12.0 | 2.8 | <1 | 11.2 | 71 | 26 | 71 | 30 | 363 | 75 | 0.98 | 21 | 98 | 1.07 | 387 | 1284 | >10 | 095 | 39 | 1.3 | 116.4 | 2.9 | 2 | 48.6 | <0.4 |
| Soil1-2-1a | 1.53 | 121.86 | 40.84 | 106.8 | 72 | 24.9 | 21.9 | 748.7 | 32 | 20.2 | 3.2 | <1 | 12.9 | 43 | 15 | 1.56 | 73 | 257 | 87 | 1.40 | 16 | 131 | 1.29 | 266 | 596 | >10 | 152 | 86 | 2.4 | 76.4 | 3.1 | 1 | 37.8 | 11 |
| Soil1-2-1b | 1.53 | 129.75 | 30.77 | 100.1 | 67 | 27.4 | 26.5 | 892.7 | 66 | 21.6 | 3.2 | <1 | 12.9 | 46 | 13 | 1.31 | 55 | 289 | 99 | 1.38 | 15 | 138 | 1.48 | 291 | 614 | >10 | 141 | 81 | 2.3 | 86.1 | 2.9 | 1 | 40.1 | 12 |
| Soil1-2-2a | 1.82 | 85.89 | 39.05 | 99.6 | 45 | 33.2 | 15.9 | 730.7 | 70 | 28.2 | 3.3 | <1 | 19.8 | 64 | 14 | 2.04 | 76 | 255 | 08 | 0.57 | 31 | 86 | 88 | 398 | 752 | >10 | 207 | 1.84 | 2.9 | 90.1 | 4.7 | 1 | 25.3 | 09 |
| Soil1-2-2b | 1.64 | 80.92 | 35.54 | 88.4 | 41 | 29.8 | 14.6 | 616.6 | 08 | 26.5 | 3.2 | <1 | 19.1 | 55 | 12 | 1.69 | 70 | 228 | 07 | 0.50 | 27 | 76 | 72 | 371 | 603 | 9.77 | 209 | 1.76 | 2.5 | 82.4 | 4.1 | 1 | 23.7 | 15 |
| Soil1-3-1a | 84 | 170.77 | 21.25 | 92.0 | 31 | 21.9 | 40.9 | 1246.7 | 89 | 18.3 | 3.1 | <1 | 12.5 | 18 | 09 | 1.03 | 28 | 326 | 09 | 0.79 | 20 | 26 | 31 | 405 | 761 | >10 | 051 | 37 | 1.8 | 89.1 | 2.2 | 1 | 41.3 | 12 |
| Soil1-3-1b | 85 | 177.89 | 21.47 | 89.1 | 27 | 22.2 | 43.3 | 1286.7 | 96 | 19.2 | 3.2 | <1 | 11.8 | 18 | 15 | 1.03 | 27 | 325 | 08 | 0.79 | 20 | 26 | 29 | 522 | 772 | >10 | 050 | 30 | 1.7 | 97.3 | 2.0 | 2 | 40.0 | 11 |
| Soil1-3-2a | 2.93 | 79.86 | 42.49 | 93.8 | 22 | 25.0 | 15.7 | 556.7 | 88 | 31.6 | 4.3 | <1 | 20.7 | 39 | 16 | 2.44 | 90 | 288 | 03 | 0.56 | 20 | 109 | 44 | 286 | 779 | >10 | 081 | 1.48 | 3.2 | 106.5 | 4.9 | 1 | 29.8 | 08 |
| RE Soil1-3-2a | 2.84 | 86.78 | 42.19 | 96.1 | 47 | 26.3 | 15.3 | 556.8 | 03 | 32.6 | 4.5 | <1 | 19.6 | 39 | 17 | 2.50 | 89 | 322 | 03 | 0.59 | 15 | 122 | 46 | 283 | 783 | >10 | 084 | 1.59 | 3.2 | 109.5 | 4.9 | 1 | 30.3 | 10 |
| Soil1-3-2b | 3.08 | 82.18 | 37.95 | 97.5 | 24 | 27.1 | 14.0 | 519.8 | 15 | 33.6 | 4.5 | <1 | 21.6 | 41 | 15 | 2.36 | 88 | 295 | 02 | 0.52 | 19 | 109 | 43 | 276 | 793 | >10 | 078 | 1.53 | 3.1 | 109.9 | 4.9 | 1 | 29.9 | 10 |
| Soil1-4-1a | 1.09 | 145.13 | 30.87 | 137.7 | 94 | 26.8 | 35.9 | 1687.8 | 65 | 13.0 | 2.4 | <1 | 11.2 | 32 | 14 | 1.00 | 42 | 401 | 25 | 154 | 20 | 42 | 61 | 372 | 705 | >10 | 135 | 54 | 1.4 | 97.5 | 2.5 | 1 | 37.2 | 13 |
| Soil1-4-1b | 1.06 | 137.81 | 25.73 | 133.1 | 85 | 24.3 | 36.4 | 1794.9 | 23 | 11.4 | 2.2 | <1 | 10.3 | 33 | 15 | 0.83 | 35 | 405 | 29 | 132 | 20 | 40 | 69 | 392 | 745 | >10 | 121 | 47 | 1.2 | 93.7 | 2.4 | 1 | 36.1 | 04 |
| DC73389 PULP | 1.15 | 25.11 | 20.35 | 66.9 | 55 | 28.9 | 11.8 | 666.3 | 04 | 14.8 | 2.4 | <1 | 11.6 | 228 | 18 | 1.46 | 31 | 80 | 5.92 | 0.77 | 33 | 49 | 1.39 | 458 | 363 | 5.83 | 1.93 | 2.04 | 1.5 | 52.9 | 2.8 | 2 | 10.0 | 06 |
| Soil1-4-2a | 1.54 | 114.77 | 41.87 | 104.7 | 31 | 32.7 | 33.4 | 1380.6 | 66 | 90.3 | 4.1 | <1 | 14.3 | 37 | 17 | 1.54 | 128 | 259 | 84 | 113 | 19 | 72 | 1.41 | 207 | 569 | >10 | 187 | 79 | 3.1 | 97.1 | 3.3 | 3 | 33.3 | 14 |
| Soil1-4-2b | 1.19 | 118.26 | 34.01 | 97.9 | 38 | 26.4 | 33.5 | 1466.6 | 79 | 69.8 | 3.8 | <1 | 14.1 | 38 | 12 | 1.34 | 89 | 267 | 1.13 | 131 | 18 | 57 | 1.83 | 164 | 572 | >10 | 214 | 57 | 2.8 | 101.2 | 2.8 | 4 | 32.6 | 20 |
| Soil1-5-1a | 93 | 88.95 | 18.55 | 72.8 | 40 | 11.0 | 13.8 | 682.4 | 42 | 14.8 | 1.7 | <1 | 7.7 | 75 | 09 | 0.84 | 30 | 152 | 54 | 0.71 | 17 | 20 | 71 | 287 | 375 | 9.68 | 353 | 80 | 1.5 | 41.9 | 1.4 | 1 | 16.3 | 23 |
| Soil1-5-1b | 88 | 85.54 | 18.18 | 68.5 | 38 | 10.6 | 14.7 | 670.4 | 24 | 14.4 | 1.7 | <1 | 7.7 | 74 | 08 | 0.87 | 32 | 142 | 48 | 0.69 | 18 | 19 | 68 | 285 | 362 | 9.24 | 351 | 80 | 1.4 | 40.3 | 1.4 | 1 | 16.4 | 27 |
| Soil1-5-2a | 1.42 | 68.17 | 31.25 | 107.0 | 87 | 22.5 | 16.9 | 848.5 | 55 | 23.1 | 2.6 | <1 | 10.9 | 45 | 14 | 1.32 | 50 | 165 | 31 | 102 | 21 | 40 | 1.01 | 223 | 508 | 9.59 | 260 | 83 | 1.8 | 63.4 | 2.9 | 1 | 18.3 | 15 |
| Soil1-5-2b | 1.33 | 67.97 | 30.86 | 101.8 | 91 | 22.9 | 17.0 | 787.5 | 35 | 26.0 | 2.8 | <1 | 11.5 | 45 | 17 | 1.32 | 50 | 166 | 27 | 0.98 | 21 | 42 | 94 | 243 | 500 | >10 | 258 | 91 | 2.0 | 66.1 | 2.6 | 1 | 19.3 | 21 |
| Soil1-6-1a | 1.79 | 47.99 | 32.59 | 96.3 | 56 | 27.9 | 13.8 | 647.5 | 62 | 50.3 | 2.9 | <1 | 16.8 | 49 | 13 | 2.69 | 69 | 190 | 07 | 0.58 | 29 | 70 | 57 | 330 | 594 | 9.76 | 165 | 1.78 | 2.2 | 67.9 | 3.8 | 1 | 17.1 | 16 |
| Soil1-6-1b | 1.19 | 105.02 | 32.14 | 131.2 | 336 | 25.2 | 28.9 | 1461.5 | 42 | 49.4 | 2.3 | <1 | 12.1 | 73 | 14 | 4.87 | 127 | 228 | 19 | 112 | 28 | 45 | 74 | 363 | 570 | >10 | 192 | 1.33 | 2.0 | 69.3 | 4.6 | 1 | 21.1 | 25 |
| Soil1-6-2a | 89 | 106.47 | 24.85 | 111.8 | 349 | 19.6 | 33.1 | 1742.6 | 65 | 35.4 | 1.9 | <1 | 9.7 | 53 | 14 | 3.33 | 85 | 279 | 49 | 134 | 19 | 34 | 1.09 | 246 | 630 | >10 | 182 | 87 | 1.6 | 75.5 | 3.0 | 1 | 24.5 | 27 |
| Soil1-6-2b | 1.81 | 42.34 | 31.08 | 75.6 | <20 | 24.8 | 11.6 | 585.5 | 74 | 5.4 | 2.8 | <1 | 16.3 | 48 | 08 | 2.80 | 74 | 183 | 05 | 0.49 | 29 | 65 | 57 | 343 | 614 | 9.96 | 152 | 1.80 | 2.2 | 66.5 | 3.7 | 2 | 16.8 | 14 |
| STANDARD DST5 | 12.43 | 151.09 | 29.80 | 159.1 | 317 | 30.5 | 15.0 | 1017.4 | 04 | 20.9 | 7.5 | <1 | 6.8 | 347 | 5.29 | 6.89 | 5.72 | 120 | 2.30 | 106 | 25 | 220 | 1.24 | 675 | 440 | 6.90 | 1.718 | 1.42 | 9.9 | 47.9 | 7.1 | 2 | 12.2 | 11 |

Sample type: SOIL SCP100 60C. Samples beginning 'RE' are Retruns and 'RRE' are Reject Retruns.

All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of the analysis only.

Data MLSA



GEOCHEMICAL ANALYSIS CERTIFICATE

Yu, Bing-Sheng File # A406233 Page 1 (b)
 NTUT - Dept. of Material, Taipei Taiwan R.O.C. 106 submitted by: Bing-Sheng Yu

| SAMPLE# | Y | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Im | Yb | Lu | Hf | Li | Rb | Ta | Nb | Cs | Ga |
|---------------|------|-------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|-----|-------|------|-------|
| | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| G-1 | 15.6 | 60.62 | 6.5 | 24.1 | 4.2 | 1.1 | 3.2 | 6 | 2.7 | 5 | 1.8 | 2 | 2.0 | 3 | 68 | 37.8 | 122.7 | 1.3 | 18.33 | 6.1 | 19.17 |
| RD1-a | 8.5 | 39.54 | 3.9 | 14.7 | 3.2 | 7 | 2.3 | 4 | 1.9 | 3 | 1.1 | 2 | 1.0 | 1 | 1.33 | 21.0 | 55.9 | 4 | 5.05 | 5.2 | 14.68 |
| RD1-b | 9.0 | 45.34 | 4.4 | 16.5 | 3.6 | 7 | 2.2 | 4 | 2.0 | 4 | 1.2 | 2 | 1.2 | 2 | 1.53 | 24.0 | 54.3 | 4 | 5.46 | 5.3 | 15.86 |
| RD2-a | 7.6 | 36.84 | 3.7 | 14.2 | 3.2 | 7 | 2.5 | 3 | 1.8 | 3 | 1.0 | 1 | 1.0 | 1 | 1.40 | 20.0 | 50.1 | 4 | 5.08 | 4.3 | 15.58 |
| RD2-b | 8.1 | 33.75 | 3.4 | 13.7 | 2.9 | 6 | 2.1 | 4 | 1.8 | 3 | 1.1 | 1 | 1.2 | 2 | 1.65 | 18.5 | 45.0 | 4 | 5.59 | 4.1 | 16.08 |
| RD3-a | 8.8 | 31.48 | 3.3 | 13.4 | 3.0 | 7 | 2.4 | 4 | 1.9 | 3 | 1.1 | 2 | 1.3 | 1 | 1.27 | 21.8 | 53.5 | 3 | 4.75 | 4.5 | 14.14 |
| RD3-b | 10.2 | 53.39 | 5.7 | 21.3 | 4.4 | 9 | 2.8 | 4 | 2.3 | 4 | 1.4 | 2 | 1.4 | 2 | 1.38 | 23.9 | 60.3 | 4 | 5.48 | 4.8 | 14.86 |
| RD4-a | 13.3 | 37.37 | 3.9 | 15.2 | 3.6 | 9 | 2.7 | 5 | 2.4 | 5 | 1.7 | 2 | 1.7 | 2 | 1.76 | 18.1 | 49.6 | 1.4 | 7.04 | 4.8 | 16.17 |
| RD4-b | 14.6 | 40.30 | 4.4 | 16.4 | 3.5 | 1.0 | 2.9 | 5 | 2.8 | 5 | 1.8 | 3 | 1.9 | 3 | 1.96 | 19.3 | 53.8 | 4 | 6.50 | 4.7 | 16.83 |
| RD5-a | 10.4 | 51.72 | 6.0 | 24.7 | 5.5 | 1.1 | 3.5 | 5 | 2.5 | 4 | 1.3 | 2 | 1.3 | 2 | 1.50 | 17.8 | 48.6 | 4 | 4.84 | 4.5 | 15.01 |
| RD5-b | 10.3 | 27.80 | 2.9 | 11.8 | 2.6 | 6 | 2.2 | 4 | 2.1 | 4 | 1.4 | 2 | 1.3 | 2 | 1.62 | 16.7 | 52.6 | 3 | 4.84 | 4.7 | 15.37 |
| RD6-a | 9.2 | 37.64 | 3.7 | 14.0 | 3.0 | 8 | 2.3 | 4 | 2.2 | 4 | 1.2 | 2 | 1.3 | 2 | 2.29 | 15.4 | 47.7 | 4 | 5.61 | 5.8 | 17.65 |
| RD6-b | 7.6 | 33.97 | 3.5 | 13.1 | 2.7 | 6 | 2.0 | 3 | 1.7 | 3 | 1.1 | 2 | 1.1 | 1 | 2.23 | 18.8 | 53.9 | 4 | 5.85 | 5.8 | 16.55 |
| RD7-a | 7.1 | 39.06 | 3.8 | 13.7 | 3.0 | 7 | 2.0 | 3 | 1.6 | 3 | 0.9 | 1 | 0.9 | 1 | 2.98 | 15.2 | 46.8 | 6 | 7.90 | 5.6 | 19.93 |
| RD7-b | 7.4 | 59.27 | 5.7 | 21.6 | 4.5 | 9 | 2.9 | 5 | 1.9 | 3 | 1.1 | 1 | 1.2 | 2 | 3.05 | 17.2 | 47.6 | 6 | 8.59 | 5.5 | 20.89 |
| RD8-a | 6.2 | 32.25 | 3.4 | 13.6 | 2.8 | 7 | 2.0 | 3 | 1.5 | 2 | 0.7 | 1 | 0.7 | 1 | 0.82 | 9.1 | 64.4 | 3 | 5.11 | 5.4 | 16.90 |
| RE RD8-a | 6.1 | 32.51 | 3.4 | 13.2 | 2.8 | 7 | 2.3 | 3 | 1.5 | 3 | 1.1 | 1 | 1.1 | 1 | 0.92 | 9.4 | 64.9 | 4 | 5.14 | 5.5 | 17.60 |
| RD8-b | 6.5 | 37.97 | 4.0 | 15.6 | 3.4 | 8 | 2.4 | 3 | 1.5 | 3 | 0.8 | 1 | 0.7 | 1 | 0.91 | 8.6 | 63.2 | 4 | 5.69 | 5.6 | 18.53 |
| RD9-a | 10.5 | 40.30 | 3.7 | 14.8 | 2.9 | 7 | 2.3 | 4 | 2.0 | 4 | 1.2 | 2 | 1.4 | 2 | 2.13 | 18.7 | 63.7 | 4 | 5.96 | 6.8 | 18.77 |
| RD9-b | 9.7 | 43.78 | 4.0 | 15.0 | 3.2 | 7 | 2.4 | 4 | 1.9 | 4 | 1.2 | 2 | 1.3 | 2 | 2.16 | 20.9 | 71.8 | 5 | 6.52 | 7.9 | 20.18 |
| RD10-a | 11.8 | 50.63 | 4.6 | 17.4 | 3.7 | 8 | 2.6 | 5 | 2.4 | 5 | 1.6 | 2 | 1.7 | 2 | 1.97 | 29.1 | 62.4 | 5 | 7.11 | 7.1 | 20.90 |
| RD10-b | 12.2 | 45.31 | 4.4 | 16.1 | 3.3 | 8 | 2.5 | 5 | 2.2 | 4 | 1.5 | 2 | 1.5 | 2 | 2.12 | 25.1 | 55.7 | 5 | 6.70 | 6.0 | 19.54 |
| LSK-a | 10.7 | 40.72 | 4.1 | 15.8 | 3.3 | 8 | 2.6 | 4 | 2.1 | 4 | 1.4 | 2 | 1.4 | 2 | 2.61 | 17.0 | 51.8 | 5 | 7.26 | 10.6 | 23.61 |
| LSK-b | 10.2 | 38.06 | 4.1 | 15.4 | 2.9 | 7 | 2.3 | 4 | 2.2 | 4 | 1.3 | 2 | 1.4 | 2 | 2.37 | 14.3 | 45.6 | 5 | 6.71 | 9.8 | 22.46 |
| LFK-a | 7.3 | 66.63 | 7.4 | 28.0 | 6.0 | 1.2 | 3.8 | 5 | 1.7 | 3 | 0.8 | 1 | 0.8 | 1 | 2.56 | 16.1 | 49.0 | 5 | 7.76 | 4.7 | 18.18 |
| LFK-b | 5.9 | 39.17 | 3.6 | 13.5 | 2.8 | 6 | 1.8 | 3 | 1.4 | 2 | 0.7 | 1 | 0.9 | 1 | 3.07 | 11.5 | 42.0 | 6 | 8.46 | 4.6 | 18.41 |
| SYK-a | 9.8 | 41.76 | 4.2 | 15.9 | 3.5 | 8 | 2.6 | 4 | 2.2 | 4 | 1.3 | 2 | 1.4 | 2 | 1.67 | 21.4 | 57.2 | 4 | 5.57 | 5.6 | 17.87 |
| SYK-b | 10.6 | 35.18 | 3.6 | 14.5 | 3.0 | 7 | 2.6 | 4 | 2.2 | 4 | 1.4 | 2 | 1.4 | 2 | 1.74 | 18.0 | 51.9 | 4 | 5.06 | 5.3 | 17.83 |
| CCH-a | 11.3 | 31.68 | 3.3 | 13.1 | 3.0 | 7 | 2.4 | 4 | 2.1 | 4 | 1.4 | 2 | 1.4 | 2 | 1.46 | 13.8 | 48.6 | 3 | 4.39 | 7.1 | 16.02 |
| CCH-b | 10.2 | 29.90 | 3.3 | 12.2 | 2.7 | 6 | 2.3 | 4 | 2.1 | 4 | 1.2 | 2 | 1.3 | 2 | 1.36 | 13.5 | 47.6 | 3 | 4.25 | 6.5 | 15.32 |
| KL-a | 7.8 | 52.87 | 5.4 | 20.6 | 4.6 | 8 | 3.1 | 5 | 2.0 | 3 | 1.0 | 1 | 0.9 | 1 | 1.12 | 40.4 | 85.6 | 6 | 7.52 | 6.3 | 18.79 |
| KL-b | 7.7 | 41.96 | 4.1 | 15.7 | 3.6 | 7 | 2.5 | 4 | 2.0 | 3 | 1.0 | 1 | 1.0 | 1 | 1.24 | 33.0 | 72.8 | 5 | 6.44 | 5.9 | 17.90 |
| YM-a | 8.4 | 34.37 | 3.4 | 12.8 | 2.9 | 7 | 2.2 | 4 | 2.1 | 4 | 1.2 | 2 | 1.4 | 2 | 1.89 | 13.0 | 46.5 | 4 | 5.23 | 6.6 | 19.82 |
| YM-b | 8.7 | 35.78 | 3.7 | 14.2 | 3.2 | 8 | 2.4 | 4 | 2.0 | 4 | 1.2 | 2 | 1.3 | 2 | 2.00 | 13.4 | 47.7 | 4 | 5.21 | 7.2 | 20.71 |
| DT-a | 16.1 | 63.39 | 6.1 | 24.0 | 5.3 | 1.1 | 3.8 | 7 | 3.5 | 6 | 2.3 | 3 | 2.4 | 3 | 2.71 | 27.6 | 56.9 | 6 | 8.26 | 8.8 | 21.87 |
| STANDARD DST5 | 14.5 | 51.40 | 5.4 | 20.9 | 4.3 | 1.0 | 3.4 | 6 | 2.9 | 6 | 1.7 | 2 | 1.7 | 2 | 1.59 | 24.8 | 55.0 | 5 | 7.96 | 8.3 | 16.37 |



GROUP 17-MS - 0.25 GM SAMPLE DIGESTED WITH HClO₄-HNO₃-HCl-HF TO 10 ML. (>) CONCENTRATION EXCEEDS UPPER LIMITS. SOME MINERALS MAY BE PARTIALLY ATTACKED. REFRACTORY AND GRAPHITIC SAMPLES CAN LIMIT AU SOLUBILITY. FOR SOME MINERALS & MAY VOLATIZE SOME ELEMENTS, ANALYSIS BY ICP-MS. SAMPLE TYPE: SOIL SCP100 60C Samples beginning 'RE' are Retruns and 'RRE' are Reject Retruns.

Data WJFA DATE RECEIVED: OCT 13 2004 DATE REPORT MAILED: Oct 29/04.....

All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of the analysis only.

| SAMPLE# | Yu, Bing-Sheng FILE # A406233 Page 2 (b) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--------|-----|------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|----|------|------|-------|-----|-------|------|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| | Y | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Hf | Li | Rb | Ta | Nb | Cs | Ga | | | | | | | |
| DT-b | 13.5 | 55.55 | 5.1 | 21.8 | 4.9 | 1.1 | 3.8 | .6 | 3.1 | .7 | 2.3 | .3 | 1.8 | .3 | 2.22 | 27.8 | 49.6 | .5 | 7.64 | 8.0 | 18.33 | | | | | | | |
| CIK-a | 6.7 | 36.64 | 3.4 | 13.6 | 3.1 | 1.7 | 2.1 | .3 | 1.8 | .4 | 1.3 | .2 | 1.2 | .2 | 2.22 | 19.1 | 42.0 | .5 | 6.98 | 6.8 | 20.83 | | | | | | | |
| CIK-b | 6.1 | 40.10 | 3.1 | 13.1 | 3.2 | .7 | 2.0 | .3 | 1.8 | .3 | 1.2 | .2 | 1.2 | .2 | 2.22 | 19.5 | 42.3 | .5 | 6.64 | 6.4 | 20.37 | | | | | | | |
| CSS-a | 11.0 | 34.14 | 3.5 | 14.5 | 3.1 | .7 | 2.4 | .4 | 2.4 | .6 | 1.8 | .2 | 1.6 | .3 | 2.28 | 18.4 | 41.2 | .4 | 6.05 | 7.3 | 18.47 | | | | | | | |
| CSS-b | 12.2 | 36.09 | 3.6 | 15.3 | 3.6 | .8 | 2.6 | .4 | 2.8 | .6 | 2.1 | .3 | 1.8 | .3 | 2.47 | 19.1 | 42.5 | .4 | 6.36 | 7.4 | 21.06 | | | | | | | |
| SC-a | 14.9 | 54.59 | 5.5 | 23.3 | 4.9 | 1.1 | 3.8 | .5 | 3.0 | .7 | 2.3 | .3 | 2.0 | .3 | 2.27 | 20.4 | 44.1 | .4 | 6.46 | 8.3 | 18.21 | | | | | | | |
| SC-b | 15.5 | 57.12 | 5.5 | 23.1 | 4.8 | 1.2 | 3.9 | .6 | 3.1 | .7 | 2.4 | .3 | 1.9 | .3 | 2.07 | 21.8 | 48.8 | .4 | 6.59 | 8.6 | 18.19 | | | | | | | |
| Soil-1-1a | 13.6 | 97.86 | 6.6 | 26.7 | 6.1 | 1.2 | 4.1 | .6 | 3.4 | .7 | 2.5 | .3 | 2.0 | .3 | 3.49 | 51.7 | 80.8 | .9 | 12.51 | 12.2 | 25.31 | | | | | | | |
| Soil-1-1b | 15.1 | 105.82 | 7.0 | 28.9 | 6.6 | 1.3 | 4.6 | .7 | 3.4 | .8 | 2.4 | .4 | 2.1 | .3 | 3.81 | 57.0 | 94.7 | 1.0 | 13.22 | 12.8 | 27.26 | | | | | | | |
| Soil-1-2a | 21.3 | 77.15 | 5.9 | 26.1 | 6.7 | 1.6 | 5.3 | .8 | 4.6 | 1.0 | 3.2 | .5 | 2.8 | .4 | 4.45 | 23.3 | 28.4 | .7 | 10.41 | 6.4 | 26.41 | | | | | | | |
| Soil-1-2b | 21.5 | 76.06 | 6.1 | 27.5 | 6.9 | 1.7 | 5.7 | .8 | 4.6 | 1.1 | 3.6 | .4 | 2.8 | .4 | 4.74 | 22.5 | 24.1 | .7 | 11.02 | 6.1 | 26.40 | | | | | | | |
| Soil-2-1a | 7.1 | 49.82 | 3.5 | 14.6 | 3.1 | .7 | 2.3 | .3 | 1.8 | .4 | 1.5 | .2 | 1.3 | .2 | 2.99 | 26.9 | 53.8 | .6 | 7.80 | 7.1 | 22.58 | | | | | | | |
| Soil-2-1b | 7.3 | 49.09 | 3.2 | 12.9 | 2.8 | .6 | 1.8 | .3 | 1.8 | .4 | 1.3 | .2 | 1.4 | .2 | 3.09 | 27.4 | 56.7 | .6 | 7.91 | 7.1 | 23.79 | | | | | | | |
| Soil-2-2a | 8.1 | 90.19 | 6.4 | 24.0 | 4.9 | .8 | 2.8 | .4 | 1.8 | .4 | 1.5 | .2 | 1.4 | .2 | 3.38 | 56.3 | 117.6 | 1.0 | 13.71 | 13.1 | 27.91 | | | | | | | |
| Soil-2-2b | 7.2 | 81.57 | 5.6 | 21.4 | 4.0 | .6 | 2.7 | .3 | 1.8 | .3 | 1.3 | .2 | 1.2 | .2 | 3.00 | 53.5 | 100.1 | 1.0 | 12.60 | 11.5 | 26.21 | | | | | | | |
| Soil-3-1a | 17.7 | 72.60 | 4.9 | 22.6 | 5.6 | 1.4 | 4.6 | .7 | 4.1 | .9 | 3.0 | .4 | 2.5 | .4 | 3.43 | 17.1 | 34.7 | .6 | 9.73 | 5.6 | 24.94 | | | | | | | |
| Soil-3-1b | 21.0 | 68.73 | 5.1 | 22.0 | 5.7 | 1.5 | 4.9 | .8 | 4.6 | 1.0 | 3.3 | .4 | 2.8 | .4 | 3.47 | 16.7 | 29.8 | .6 | 10.54 | 5.0 | 25.35 | | | | | | | |
| Soil-3-2a | 7.2 | 97.22 | 4.3 | 16.3 | 3.3 | .6 | 1.8 | .3 | 1.7 | .3 | 1.1 | .2 | 1.3 | .2 | 4.06 | 52.3 | 97.1 | 1.1 | 14.21 | 14.0 | 31.14 | | | | | | | |
| RE Soil-3-2a | 6.2 | 75.34 | 3.4 | 14.3 | 3.2 | .5 | 1.9 | .3 | 1.5 | .3 | 1.2 | .2 | 1.2 | .2 | 4.09 | 56.0 | 104.4 | 1.1 | 14.57 | 13.9 | 33.12 | | | | | | | |
| Soil-3-2b | 7.5 | 87.98 | 4.2 | 15.9 | 3.3 | .5 | 2.1 | .3 | 1.8 | .3 | 1.3 | .2 | 1.3 | .2 | 4.15 | 57.3 | 104.7 | 1.1 | 14.32 | 14.2 | 31.69 | | | | | | | |
| Soil-4-1a | 11.6 | 59.19 | 4.4 | 18.8 | 4.6 | 1.1 | 3.4 | .5 | 2.9 | .6 | 2.2 | .3 | 2.1 | .3 | 3.36 | 22.3 | 33.5 | .5 | 6.97 | 5.4 | 26.95 | | | | | | | |
| Soil-4-1b | 10.9 | 55.72 | 4.1 | 17.3 | 4.3 | 1.0 | 3.1 | .5 | 2.9 | .6 | 2.1 | .3 | 2.1 | .3 | 3.24 | 18.7 | 29.9 | .4 | 6.69 | 5.0 | 25.60 | | | | | | | |
| DC73389 PULP | 17.3 | 71.94 | 7.5 | 29.3 | 6.0 | 1.1 | 4.6 | .6 | 3.3 | .7 | 2.3 | .3 | 1.8 | .2 | 1.90 | 40.0 | 95.4 | .7 | 8.83 | 7.3 | 13.90 | | | | | | | |
| Soil-4-2a | 12.9 | 59.27 | 4.4 | 18.0 | 4.4 | 1.0 | 3.1 | .5 | 3.1 | .7 | 2.6 | .4 | 2.4 | .3 | 3.53 | 34.3 | 48.9 | .7 | 8.63 | 5.7 | 26.67 | | | | | | | |
| Soil-4-2b | 13.8 | 52.95 | 4.4 | 18.1 | 4.8 | 1.0 | 3.6 | .6 | 3.4 | .7 | 2.6 | .3 | 2.7 | .4 | 3.73 | 25.1 | 34.8 | .6 | 8.09 | 4.2 | 26.06 | | | | | | | |
| Soil-5-1a | 10.2 | 49.59 | 3.9 | 16.4 | 3.8 | .8 | 2.9 | .4 | 2.4 | .5 | 1.7 | .2 | 1.5 | .2 | 1.60 | 20.7 | 48.2 | .4 | 5.14 | 6.3 | 17.49 | | | | | | | |
| Soil-5-1b | 9.9 | 49.36 | 4.1 | 16.8 | 3.8 | .9 | 2.7 | .4 | 2.4 | .5 | 1.7 | .2 | 1.5 | .2 | 1.53 | 19.5 | 47.1 | .3 | 5.14 | 6.4 | 17.11 | | | | | | | |
| Soil-5-2a | 14.7 | 59.90 | 5.0 | 21.7 | 4.7 | 1.0 | 4.1 | .6 | 2.9 | .6 | 2.2 | .3 | 1.9 | .3 | 2.37 | 36.2 | 61.9 | .5 | 7.94 | 8.2 | 20.45 | | | | | | | |
| Soil-5-2b | 14.1 | 63.65 | 5.0 | 19.6 | 4.8 | .9 | 3.5 | .5 | 3.2 | .6 | 2.3 | .3 | 2.0 | .3 | 2.59 | 39.4 | 63.2 | .6 | 7.94 | 8.7 | 21.23 | | | | | | | |
| Soil-6-1a | 9.6 | 92.17 | 6.5 | 25.7 | 5.6 | 1.0 | 3.5 | .5 | 2.4 | .5 | 1.7 | .2 | 1.5 | .2 | 2.50 | 47.3 | 118.8 | .9 | 11.91 | 10.4 | 23.93 | | | | | | | |
| Soil-6-1b | 10.7 | 90.13 | 6.8 | 27.9 | 6.2 | 1.3 | 4.0 | .6 | 3.1 | .6 | 2.3 | .3 | 2.1 | .3 | 2.46 | 34.9 | 90.2 | .8 | 9.84 | 7.8 | 23.48 | | | | | | | |
| Soil-6-2a | 9.3 | 75.89 | 5.1 | 21.3 | 5.5 | 1.1 | 3.7 | .6 | 3.2 | .6 | 2.1 | .3 | 2.1 | .3 | 2.71 | 24.0 | 60.5 | .6 | 7.62 | 5.4 | 23.39 | | | | | | | |
| Soil-6-2b | 8.9 | 91.77 | 6.3 | 24.1 | 5.3 | .8 | 3.2 | .5 | 2.3 | .5 | 1.6 | .2 | 1.4 | .2 | 2.38 | 47.9 | 120.8 | .9 | 11.85 | 10.6 | 22.11 | | | | | | | |
| STANDARD DST5 | 14.4 | 54.02 | 5.6 | 22.6 | 4.7 | 1.0 | 3.8 | .5 | 2.9 | .6 | 2.0 | .2 | 1.8 | .2 | 1.77 | 26.6 | 55.6 | .5 | 8.30 | 8.2 | 16.32 | | | | | | | |

Sample type: SOIL SCP100_60C. Samples beginning 'RE' are Retuns and 'RRE' are Reject Retuns.

All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of the analysis only.

| ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. (ISO 9002 Accredited Co.) | | 852 E. HASTINGS ST. VANCOUVER BC V6A 1R6 | | | | | | | | | | | | PHONE (604) 253-3158 FAX (604) 253-1716 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| AA | | GEOCHEMICAL ANALYSIS CERTIFICATE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AA | | Yu, Bing-Sheng File # A406234 (a) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AA | | NTUT - Dept. of Material, Taipei Taiwan R.O.C. 106 Submitted by: Bing-Sheng Yu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAMPLE# | No ppm | Cu ppm | Pb ppm | Zn ppm | Ag ppm | Ni ppm | Co ppm | Mn ppm | Fe ppm | As ppm | U ppm | Au ppm | Th ppm | Sr ppm | Cd ppm | Sb ppm | Bi ppm | V ppm | Ca ppm | P ppm | La ppm | Cr ppm | Mg ppm | Ba ppm | Ti ppm | Al ppm | Na ppm | K ppm | W ppm | Zr ppm | Sn ppm | Be ppm | Sc ppm | S % |
| SI | 41 | 4.06 | 8.36 | 17.2 | 44 | 1.5 | <2 | 33 | 06 | 4 | 3 | <1 | 3 | 133 | .11 | .57 | .04 | 1 | 7.39 | 010 | 2 | 3 | 14 | 166 | .040 | 83 | 9.279 | .18 | 1 | 61.2 | 1.9 | <1 | 2 | 11 |
| Rock-1-1 | .59 | 123.07 | 7.94 | 86.6 | 79 | 26.9 | 30.7 | 1328 | 6.59 | 5.6 | 1.3 | <1 | 4.1 | 362 | .15 | .43 | .05 | 310 | 7.47 | .093 | 15 | 83 | 4.25 | 376 | .899 | 8.79 | 1.845 | 1.03 | .9 | 71.2 | 1.4 | 1 | 39.4 | <.04 |
| Rock-1-2 | .61 | 91.63 | 6.83 | 92.7 | 64 | 24.1 | 31.7 | 1359 | 6.79 | 4.0 | 1.6 | <1 | 5.2 | 404 | .12 | .35 | .04 | 312 | 6.82 | .112 | 18 | 54 | 4.15 | 515 | 1.050 | 8.95 | 1.750 | 1.15 | 1.0 | 88.9 | 1.6 | 2 | 38.1 | <.04 |
| Rock-2-1 | 3.18 | 99.87 | 7.26 | 72.2 | 107 | 168.5 | 28.2 | 1194 | 5.73 | 4.3 | 1.7 | <1 | 4.7 | 409 | .31 | .53 | .04 | 282 | 5.87 | .113 | 12 | 336 | 3.44 | 389 | .380 | 8.32 | 1.690 | 1.35 | 2.0 | 55.2 | 1.3 | 1 | 35.6 | <.04 |
| Rock-2-2 | .51 | 130.40 | 7.86 | 69.9 | 61 | 14.7 | 26.2 | 1190 | 5.63 | 4.3 | 1.7 | <1 | 4.8 | 414 | .11 | .37 | .05 | 274 | 5.64 | .115 | 12 | 93 | 3.39 | 416 | .389 | 8.73 | 1.722 | 1.39 | 1.0 | 56.0 | 1.0 | 1 | 34.6 | <.04 |
| Rock-3-1 | .39 | 102.16 | 8.67 | 70.8 | 58 | 8.2 | 23.4 | 1119 | 5.46 | 7.0 | 1.3 | <1 | 4.6 | 375 | .09 | .49 | <.04 | 276 | 6.29 | .086 | 10 | 13 | 2.83 | 388 | .465 | >10 | 1.904 | 1.29 | 1.2 | 46.1 | 1.1 | <1 | 27.4 | <.04 |
| Rock-3-2 | .48 | 34.70 | 14.13 | 78.8 | 61 | 1.0 | 14.7 | 1124 | 4.85 | 5.7 | 1.6 | <1 | 5.1 | 416 | .13 | .54 | .04 | 200 | 4.86 | .085 | 14 | 5 | 1.79 | 514 | .340 | >10 | 2.328 | 1.52 | 1.3 | 81.7 | 1.2 | 1 | 15.9 | <.04 |
| RE Rock-3-2 | .47 | 34.78 | 13.50 | 77.8 | 60 | 1.7 | 14.4 | 1128 | 4.83 | 5.7 | 1.6 | <1 | 5.4 | 414 | .13 | .56 | <.04 | 203 | 4.83 | .087 | 14 | 5 | 1.77 | 522 | .341 | >10 | 2.289 | 1.50 | 1.3 | 80.6 | 1.2 | 1 | 16.1 | <.04 |
| Rock-4-1 | .46 | 129.57 | 10.96 | 76.8 | 60 | 3.9 | 19.6 | 1177 | 5.35 | 4.2 | 1.7 | <1 | 4.7 | 441 | .08 | .51 | .07 | 248 | 5.38 | .112 | 13 | 14 | 2.18 | 465 | .432 | 9.90 | 2.109 | 1.34 | .9 | 59.3 | .9 | 1 | 21.7 | <.04 |
| Rock-4-2 | .42 | 66.91 | 6.77 | 67.5 | 46 | 4.8 | 19.6 | 1099 | 5.23 | 4.7 | 1.4 | <1 | 4.4 | 379 | .10 | .43 | <.04 | 272 | 5.39 | .098 | 10 | 5 | 2.29 | 394 | .389 | 9.69 | 1.945 | 1.20 | .9 | 50.5 | 1.0 | 1 | 24.1 | <.04 |
| Rock-5-1 | .84 | 68.76 | 7.95 | 73.4 | 52 | 2.6 | 15.6 | 1105 | 4.62 | 2.3 | 6 | <1 | 2.2 | 336 | .09 | .23 | <.04 | 199 | 4.61 | .079 | 11 | 6 | 1.75 | 431 | .344 | 9.73 | 2.129 | 1.20 | .7 | 17.0 | .8 | 1 | 17.1 | <.04 |
| Rock-5-2 | .75 | 64.51 | 9.24 | 71.1 | 59 | 4.6 | 17.3 | 1146 | 5.02 | 7.2 | 1.3 | <1 | 4.3 | 358 | .08 | .65 | <.04 | 228 | 4.85 | .079 | 9 | 9 | 2.12 | 433 | .375 | 9.78 | 2.149 | 1.17 | 1.5 | 59.4 | .8 | <1 | 19.9 | .06 |
| DC73302 PULP | .50 | 58.88 | 10.25 | 69.5 | 63 | 15.6 | 11.6 | 595 | 3.21 | 3.0 | .8 | <1 | 2.4 | 682 | .08 | .18 | .06 | 92 | 3.46 | .090 | 17 | 24 | .96 | 936 | .316 | 7.60 | 2.739 | 1.39 | .4 | 69.6 | .6 | 1 | 7.4 | <.04 |
| Rock-6-1 | .15 | 12.19 | 9.23 | 74.8 | 32 | 4.2 | 19.9 | 1143 | 5.52 | 26.3 | 1.5 | <1 | 3.1 | 547 | .09 | 2.79 | <.04 | 176 | 2.49 | .108 | 10 | 5 | 2.15 | 444 | .336 | >10 | 1.599 | 1.56 | .6 | 47.5 | .8 | 2 | 19.3 | <.04 |
| Rock-6-2 | .13 | 29.34 | 10.80 | 63.7 | 32 | 4.1 | 17.2 | 1041 | 5.03 | 30.5 | 1.4 | <1 | 3.5 | 337 | .10 | 1.98 | <.04 | 147 | 2.85 | .098 | 11 | 7 | 1.75 | 429 | .344 | 9.27 | 1.597 | 1.52 | 1.2 | 46.0 | .9 | 1 | 18.4 | <.04 |
| STANDARD DSTS | 12.55 | 151.77 | 32.17 | 165.1 | 353 | 30.7 | 14.9 | 1077 | 4.29 | 19.8 | 7.1 | <1 | 6.5 | 321 | 5.32 | 6.37 | 5.88 | 115 | 2.34 | .108 | 25 | 238 | 1.30 | 692 | .427 | 6.88 | 1.737 | 1.34 | 10.4 | 49.2 | 7.1 | 2 | 12.3 | <.04 |

GROUP 11-MS - 0.25 GM SAMPLE DIGESTED WITH HClO₄-HNO₃-HCl-HF TO 10 ML. (>) CONCENTRATION EXCEEDS UPPER LIMITS. SOME MINERALS MAY BE PARTIALLY ATTACKED/VOLATILIZED. REFRACTORY AND GRAPHITIC SAMPLES CAN LIMIT AU SOLUBILITY. ANALYSIS BY ICP-MS.
 - SAMPLE TYPE: ROCK CHP PSCB Samples beginning 'RE' are Retuns and 'RRE' are Reject Retuns.

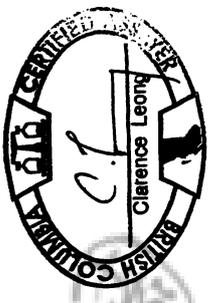


Data FA DATE RECEIVED: OCT 13 2004 DATE REPORT MAILED: Nov 3/04

All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of the analysis only.

| ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. (ISO 9002 Accredited Co.) 852 E. HASTINGS ST. VANCOUVER BC V6A 1R6 PHONE (604) 253-3158 FAX (604) 253-1716 GEOCHEMICAL ANALYSIS CERTIFICATE Yu. Bing-Sheng File # A406234 (b) NTU - Dept. of Material, Taipei Taiwan R.O.C. 106 Submitted by: Bing-Sheng Yu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|   | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAMPLE# | Y ppm | Ce ppm | Pr ppm | Nd ppm | Sm ppm | Eu ppm | Gd ppm | Tb ppm | Dy ppm | Ho ppm | Er ppm | Tm ppm | Yb ppm | Lu ppm | Hf ppm | Li ppm | Rb ppm | Ta ppm | Nb ppm | Cs ppm | Ga ppm |
| SI | 2.2 | 3.25 | 4 | 1.7 | 3 | 2 | 3 | 1 | 4 | 1 | 2 | <1 | 2 | <1 | 1.62 | 2.5 | 2.3 | <1 | .59 | .2 | 1.61 |
| Rock-1-1 | 17.5 | 32.73 | 3.7 | 18.0 | 4.1 | 1.2 | 3.7 | 6 | 3.4 | 7 | 2.1 | 3 | 2.0 | 3 | 2.54 | 7.2 | 35.6 | 4 | 6.36 | 4.9 | 19.86 |
| Rock-1-2 | 19.9 | 39.27 | 4.5 | 20.9 | 4.9 | 1.4 | 4.0 | 7 | 4.1 | 8 | 2.5 | 3 | 2.4 | 3 | 3.06 | 8.1 | 34.4 | 5 | 8.34 | 2.4 | 21.68 |
| Rock-2-1 | 13.0 | 22.56 | 2.4 | 10.7 | 2.4 | .8 | 2.2 | 4 | 2.3 | 5 | 1.6 | 2 | 1.7 | 3 | 1.79 | 9.0 | 51.5 | 2 | 3.46 | 4.6 | 16.61 |
| Rock-2-2 | 13.4 | 23.93 | 2.6 | 12.1 | 2.6 | .7 | 2.6 | 4 | 2.3 | 5 | 1.7 | 2 | 1.7 | 2 | 1.78 | 9.0 | 49.0 | 2 | 3.39 | 5.3 | 16.98 |
| Rock-3-1 | 13.2 | 21.86 | 2.4 | 11.1 | 2.6 | .8 | 2.5 | 4 | 2.6 | 5 | 1.7 | 2 | 1.8 | 2 | 1.66 | 9.0 | 29.9 | 2 | 3.66 | 3.4 | 19.04 |
| Rock-3-2 | 13.4 | 28.71 | 3.0 | 12.8 | 2.8 | .8 | 2.5 | 4 | 2.5 | 5 | 1.7 | 3 | 1.9 | 3 | 2.50 | 11.9 | 34.4 | 3 | 5.16 | 2.6 | 20.50 |
| RE Rock-3-2 | 13.3 | 29.24 | 3.1 | 13.0 | 2.8 | .8 | 2.5 | 4 | 2.6 | 5 | 1.8 | 3 | 1.7 | 3 | 2.43 | 11.3 | 33.4 | 3 | 5.14 | 2.5 | 20.51 |
| Rock-4-1 | 13.4 | 26.28 | 3.0 | 13.4 | 3.0 | .9 | 2.6 | 4 | 2.6 | 5 | 1.8 | 3 | 1.7 | 3 | 1.92 | 8.5 | 37.2 | 2 | 4.75 | 2.9 | 19.63 |
| Rock-4-2 | 12.5 | 21.06 | 2.3 | 10.8 | 2.4 | .7 | 2.1 | 3 | 2.4 | 5 | 1.6 | 2 | 1.9 | 2 | 1.77 | 8.8 | 35.8 | 2 | 3.38 | 3.1 | 18.73 |
| Rock-5-1 | 11.8 | 23.75 | 2.4 | 11.0 | 2.3 | .7 | 2.1 | 3 | 2.2 | 5 | 1.5 | 2 | 1.7 | 2 | .78 | 12.7 | 39.2 | 3 | 4.16 | 2.9 | 19.63 |
| Rock-5-2 | 10.7 | 19.87 | 2.0 | 9.0 | 2.2 | .8 | 1.8 | 3 | 2.1 | 4 | 1.5 | 2 | 1.6 | 3 | 2.05 | 10.4 | 33.7 | 2 | 4.31 | 4.5 | 18.86 |
| DC73302 PULP | 6.9 | 33.63 | 3.4 | 14.9 | 2.7 | .8 | 2.0 | 3 | 1.5 | 2 | .7 | 1 | .7 | 1 | 2.07 | 18.5 | 31.2 | 3 | 4.75 | 1.6 | 18.46 |
| Rock-6-1 | 11.7 | 19.48 | 2.4 | 10.9 | 2.5 | .8 | 2.2 | 4 | 2.4 | 5 | 1.6 | 2 | 1.7 | 2 | 1.71 | 17.6 | 50.6 | 2 | 3.24 | 2.6 | 20.14 |
| Rock-6-2 | 11.2 | 22.36 | 2.5 | 11.5 | 2.3 | .7 | 2.0 | 3 | 2.1 | 4 | 1.3 | 2 | 1.5 | 2 | 1.57 | 17.5 | 68.2 | 2 | 3.07 | 2.3 | 18.37 |
| STANDARD DST5 | 13.6 | 51.73 | 5.2 | 21.8 | 4.6 | 1.1 | 3.5 | 5 | 3.0 | 5 | 1.7 | 2 | 1.8 | 2 | 1.60 | 25.4 | 51.3 | 5 | 8.61 | 8.0 | 17.79 |

GROUP 1T-MS - 0.25 GM SAMPLE DIGESTED WITH HClO₄-HNO₃-HCl-HF TO 10 ML. (>) CONCENTRATION EXCEEDS UPPER LIMITS. SOME MINERALS MAY BE PARTIALLY ATTACKED. REFRACTORY AND GRAPHITIC SAMPLES CAN LIMIT AU SOLUBILITY. FOR SOME MINERALS & MAY VOLATILIZE SOME ELEMENTS, ANALYSIS BY ICP-MS.
 - SAMPLE TYPE: ROCK CHIP PSCB Samples beginning 'RER' are Retuns and 'RRE' are Reflect Retuns.



Data LA FA _____ DATE RECEIVED: OCT 13 2004 DATE REPORT MAILED: Nov 2/04...

All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of the analysis only.