

研究報告

太魯閣國家公園重金屬環境流布之研究

蘇銘千^{1,4}，李世應²，余奕賢¹，蔡佳穎¹，高年信³

¹國立東華大學自然資源與環境學系；²綠信環境科技股份有限公司；³崑山科技大學環境工程系；

⁴通訊作者 E-mail: mcsu@mail.ndhu.edu.tw

[摘要] 過去國家公園之研究鮮少環境污染物之監測及影響研究，基於太魯閣國家公園之開發歷史與使用狀況，對於重金屬污染物之流布與生態之關係，實有必要進行調查與探討，本研究主要目的為：(1)太魯閣國家公園重要生態系中持久性無機毒物之流布調查；(2)探討國家公園中環境與生物之重金屬累積現況並與國內外案例比較。調查結果顯示，所有土壤樣本之七項重金屬均在可偵測濃度之上，各項重金屬整體平均濃度均低於國內「土壤污染監測標準」，而太魯閣園區現有耕地之重金屬流布趨勢與陽明山竹子湖之案例類似，顯見園區內持續農耕之地區對於重金屬之累積具有一定程度之貢獻。水中七項重金屬除鉛與鎘未測得，其餘均在偵測極限範圍，顯示流動表面水體中重金屬對環境影響可忽略，後續水體重金屬調查監測應著重高山水池與農耕用水。生物體樣本以銅、鋅及汞濃度較高，與環境中重金屬流布具有一致性。研究結果建議長期監測生態與環境中重金屬，作為深入研究國家公園之生態風險評估與管理之基礎；未來高海拔地區重金屬特別是鉛、汞之環境流布調查研究，可與其他國際環境變遷與長程傳輸對生態保育區之影響研究建立長期合作計畫；此外國家公園內之現有耕地應納入長期監測重點之一，規劃長期管理措施確保生態保育與環境永續之目的。

關鍵字：農地土壤、重金屬、環境流布

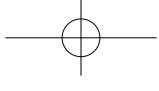
Distributions of Heavy Metals in Taroko National Park

Ming-Chien Su^{1,4}, Shih-Ying, Li², Yi-Sian Yu¹, Chia-Ying Tsai¹ and Nien-Hsin Kao³

¹Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University;

²Protect-Eco Technology & Consultants co., Ltd; ³Department of Environmental Engineering, Kun Shan University; ⁴Corresponding author E-mail: mcsu@mail.ndhu.edu.tw

ABSTRACT Up to 3% of Taroko National Park has been developed into farmlands over the past four decades. With insecticides and pesticides casually and widely used in the farming areas, the ecosystem of Taroko National Park may be threatened by chemicals. The objectives of this research are (1) to survey the distribution of heavy metals; and (2) to establish a framework of heavy metals distribution in the Park. Soil, water, and animal samples were analyzed for seven heavy metals: lead, zinc, copper, chromium, mercury, arsenic, and cadmium. The results showed that metals were detected in soil samples, and the average concentration of each metal was below the national "soil pollution monitoring standard. The heavy metal distribution in Taroko National Park was similar to Zhuzi Lake in Yangmingshan National Park, showing an accumulation of heavy metals due to agricultural activities. In water samples, lead and



cadmium were non-detectable and the other metals were at low detectable range, indicating negligible affect of heavy metal in flowing water. In the future heavy metal monitoring for water should be conducted in high mountain water pools and water for agricultural use. Copper, zinc and mercury showed up in high concentration in animal samples, suggesting incongruence with sulfur in the environment. The results demonstrate that the effect of human activities on heavy metal contamination is conspicuous and should not be overlooked. Further study is strongly recommended to complete the ecological risk assessment and management for national park management.

Keywords: agriculture soil, heavy metals, environmental distribution

前言

太魯閣國家公園於 1984 年行政院核定，並於 1986 年正式成立太魯閣國家公園及管理處。中橫公路完成後，引進大量人口進行資源開發及旅遊，使得本區的人文結構逐漸改變。早期之土地利用多以原住民之狩獵、漁獲、採集及少數游耕為主；之後退輔會陸續設置福壽山、西寶、武陵農場使得太魯閣內的土地大規模開發，耕種過程中施用的肥料與農藥，當中所含之重金屬環境之影響值得關注。而上述活動所造成之各類污染物，會隨著大氣傳輸與水系之流布作用進而影響棲地環境與生物，造成生物累積及環境蓄積之長期影響。

目前太魯閣國家公園內已有或進行中之研究，包含有機毒物之監測、動植物調查等，但缺乏對於重金屬之長期監測及相關背景資料之建置，持久性無機毒物中多項重金屬在先進國家之國家公園中均十分受重視，並進行長期監測，以其結果作為生態系經營管理之依據。因此本研究為釐清園區內無機毒物如重金屬對生態系可能之影響，針對生態系中重金屬毒物進行長期監測，以瞭解園區內重金屬在環境中的現況並分析探討。環境中重金屬來源極為廣泛，根據國內外文獻之分析，主要來源為大氣沉降、農藥、環境用藥、肥料、堆肥、污水污泥、畜牧糞肥、工業廢棄物及灌溉水等來源(Nicholson 2003)，以及環境地質天然母岩之溶出。各種人為污染來源之貢獻比例不等，而於生態保育區、國家公園可監測到濃度不等之各類重金屬，因此國外研究指出國家公園中之重金屬環境流布係由長程傳輸及現地污染二種模式(Chiroma *et al.* 2007, Hernandez *et al.*

1999, Sobczyński *et al.* 2001, 蘇銘千 2005)為主要之污染途徑。

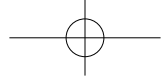
太魯閣國家公園內位處高海拔的農墾地帶如塔次基里流域內的大禹嶺及關原，而位於中海拔的花蓮農場西寶分場主要散布在陶塞河流域，範圍內有竹村、梅園、蓮花池、天祥等，所進行的各項農業活動，如肥料施用及農藥噴灑，經長期累積之殘留量，應較園區內其他地方為高。因此本研究規劃採樣點於西寶、洛韶與新白楊，均為農業活動較頻繁之地帶。

綜合以上相關之研究，顯示太魯閣國家公園因過去之農業與道路開發行為及現在仍進行之農墾區與旅遊推廣，對園區內之生態系應有明顯之衝擊，主要影響之持久性毒物重金屬共歸納為鉛(Pb)、鋅(Zn)、銅(Cu)、鉻(Cr)、鎘(Cd)及汞(Hg)、砷(As)七種。因此針對園區內之農耕(含已廢耕之農地及目前使用中之區域)及重要旅遊景點，進行環境及生態監測計畫，並將監測結果提供後續建置生態風險評估架構，研擬生態風險管理對策，做為未來規劃生態系經營管理之依據。本研究目的為調查、分析持久性無機毒物在廢耕或使用中之農地流布現況，並比較探討國內外相關案例。採樣篩選以農墾範圍內之環境介質與生物為主，進行持久性無機毒物檢測，提供相關數據資料整合於國家公園之既有資料庫，供後續追蹤比較。

材料與方法

一、研究樣區

研究樣區以國家公園範圍為主，如圖 1 所示，其中實線表示中低海拔區域，虛線表示



蘇銘千，李世應，余奕賢，蔡佳穎，高年信

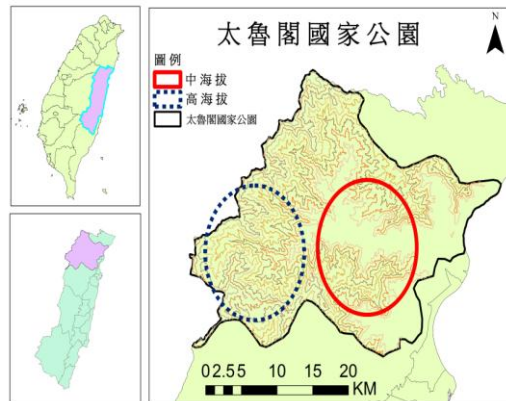


圖 1. 中海拔及高海拔研究樣區示意圖

高海拔地區。依國家公園過去土地使用調查報告，及本研究現勘調查之結果，規劃溪畔、蓮花池、西寶、慈恩、新白楊、小奇萊、奇萊北峰、松泉崗、天鑾池為調查樣區，調查環境現況(如農地使用狀況、交通運輸、採樣區篩選依據、植被覆蓋現況、水系分布等)並採集水、土壤及底泥樣本，同時由巡山志工協助提供部分區域如黑水塘、卡拉寶、南湖等之土壤及底泥樣本。農地部分以位於中海拔地區之花蓮農場西寶分場內之蓮花池、西寶、洛韶、新白楊等為研究樣區，該區主要農作物以高麗菜、番茄、玉米、水蜜桃、柑桔、梨等為主，依使用現況可區分為廢耕以及現耕農地兩部分：廢耕地以蓮花池為樣區，該區於 2006 年由國家公園收回土地後已完全廢耕；現耕地則以西寶、洛韶、慈恩以及新白楊等地為樣區，供本研究比較廢耕與現耕農地土壤及其流域水體中之重金屬含量。

二、實驗方法

研究進行所使用之採樣及分析方法依循環保署公告之方法進行，以確保研究適當性與有效性。

土壤採樣方法依樣區土壤特性及採樣深度分別使用採樣鏟及土鑽採樣器採集樣本。底泥採樣方法依樣區底泥深度，分別使用抓取式採樣器(Grab Sampler)或鑽取式採樣器(Core Sampler)採集樣本。水樣採樣內容可分為現場監測項目(水溫、pH、溶氧)，與攜回實驗室分

析項目(重金屬)，採樣設備為水平採水器(Horizontal Alpha Water Sampler)。水樣採樣分為乾、濕季節進行，採樣季節及頻率規劃依照本研究蒐集彙整自中央氣象局氣象站歷年降水資料，氣象站包含大禹嶺、慈恩、洛韶、布洛灣及合歡山等站，結果顯示降水量集中於 5-10 月份因此將其區分為濕季，而 11-4 月份降水量明顯較少則為乾季。同時本研究與其他生態系長期研究計畫合作，共同採集生物樣本，進行重金屬累積之研究。

本研究所採集之土壤樣本，分析鉛、鎘、鉻、銅、鋅、砷及汞等七項重金屬，樣本經冷凍乾燥及過篩前處理後，鉛、鋅、銅、鎘及鉻等五樣金屬採用王水消化(S321.63B)分析；汞、砷分析方法採用冷蒸氣原子吸收光譜法(M317.02C)與砷化氫原子吸收光譜法(S310.63C)。動物體除汞、砷外之五項重金屬採魚介類酸性消化總則—熱板消化/元素分析(C303.02T)，汞、砷分析與土壤檢測法相同。

園區內水樣於採樣同時使用手提式多參數水質測試儀(WTW Multi 340i)現場進行水質基礎性質測量，項目包括水溫、電導度、氫離子濃度(pH)、溶氧(DO)等。檢測水質重金屬之分析方法依照公告之水中銀、鎘、鉻、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測方法—火焰式原子吸收光譜法(W306.52A)分析水中鉛、鋅、銅、鉻、鎘等五項；水中汞檢測方法—冷蒸氣原子吸收光譜法(W330.52A)；水中砷檢測方法—自動化連續流動式氫化物原子吸收光譜法(W434.53B)等方法共檢測七項重金屬。

三、品保與品管

本研究中，水樣、土壤、底泥、動物體各類樣本均立即運送至實驗室進行化學分析、樣品密封及保存。實驗分析各項重金屬標準品之回收率平均介於 95-108%，依據空白分析試驗之測試結果顯示，實驗分析之環境與過程中未遭受污染。

結果與討論

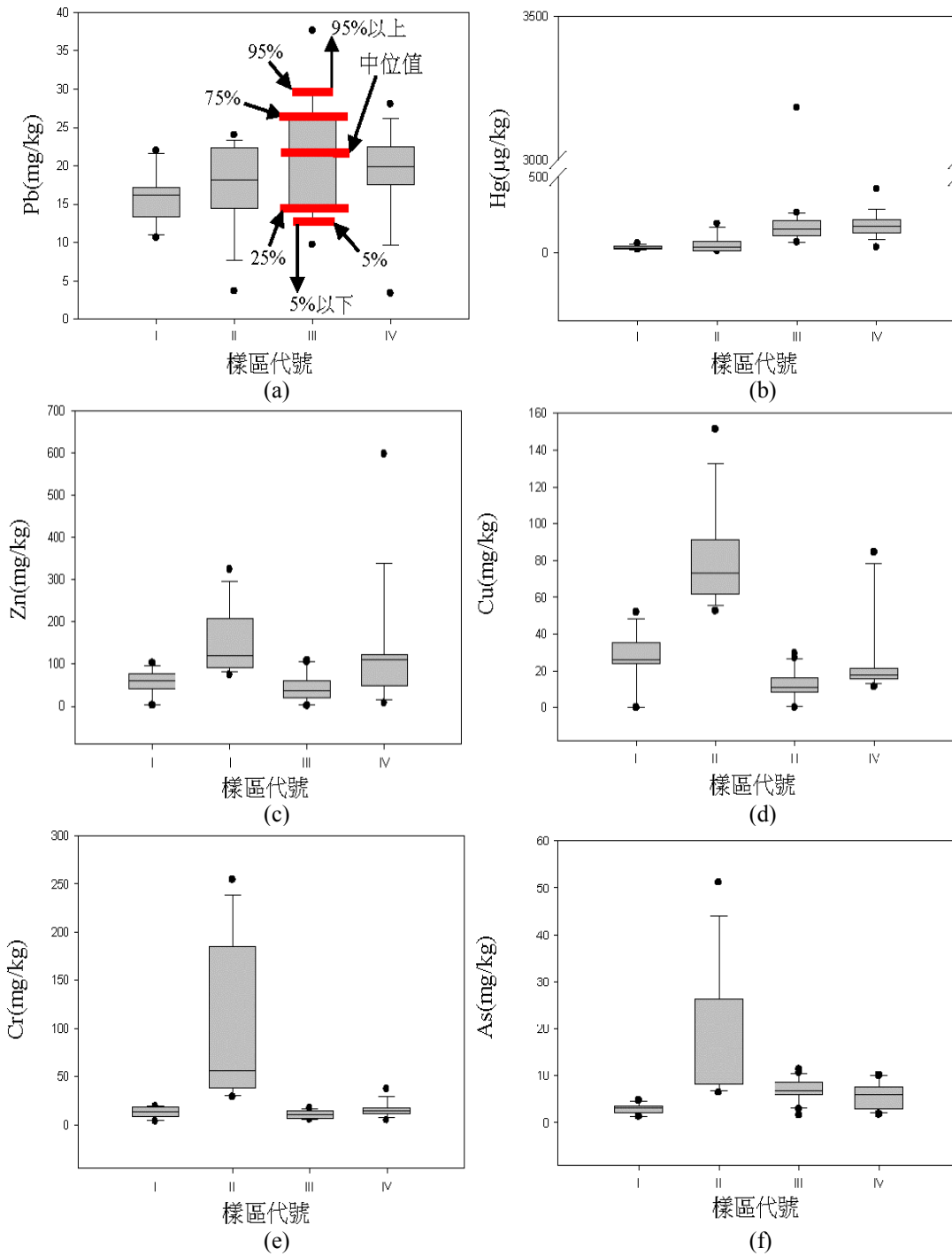
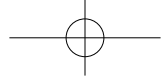


圖 2. 太魯閣園區土壤、底泥重金屬流布現況 (a) Pb、(b) Hg、(c) Zn、(d) Cu、(e) Cr、(f) As

一、土壤與底泥中重金屬

本研究規劃土壤、底泥中重金屬調查，因採樣區域之底泥於乾季時長時間裸露在外，並非全年在水面之下，所以將土壤與底泥調查結果綜合整理進行比較。調查結果區分為四大區

域進行說明：廢耕地(I區)；現有耕地(II區)；高海拔北區(III區)，此區登山、旅遊等人為活動及交通略少於高海拔南區；高海拔南區(IV區)，其中III及IV區以登山、生態旅遊及交通運輸等人為活動為主，而III區之活動頻率



蘇銘千，李世應，余奕賢，蔡佳穎，高年信

及交通運輸量均低於 IV 區。

重金屬於各區土壤、底泥中的監測結果彙整如圖 2，各區比較說明以土壤、底泥中重金屬之平均濃度與 75%之濃度(意即該區域中 75%之樣本數量之濃度)為基準。園區內土壤、底泥各項重金屬調查結果，鉛(圖 2(a))與汞(圖 2(b))的濃度於高海拔(III、IV 區)較高於農耕區(I、II 區)，其中 III 區之鉛最高平均濃度為 21.3 mg/kg，且汞之平均濃度於 III 區為最高達 303.1 µg/kg；廢耕之 I 區其鉛與汞平均濃度則為最低，汞僅約為 III 區之 10%。許多相關文獻指出鉛與汞排放後隨空氣懸浮微粒於大氣中經長程傳輸之方式擴散，Bellis *et al.* (2005)以同位素分析降雨及日本杉之樹幹顯示，1999 年後日本之大氣沈降中鉛污染物主要來自亞洲大陸，且來源隨季節風向不同而異。Travnikov (2005)研究顯示北極地區並無顯著的汞排放源，但是可偵測之汞含量超過 50%是經由大氣沈降，其中 33%來自亞洲、22%來自歐洲。此外，Steffen *et al.* (2008)更進一步指出大氣中汞之沈降，在北極地區隨氣候變遷由冰及雪中溶出沉積到土壤中再經由入大氣循環有增加之趨勢。因此為釐清園區內鉛與汞之來源，未來應持續監測調查重金屬濃度分布與變化，藉由長期監測資料以探討其來源與成因。

而 III、IV 區之鉛、汞於高海拔之分布狀況極為類似，顯示污染物長程傳輸對高海拔區域之影響確實為不可忽視之現象，高海拔地區因無工廠設置及工業活動，以遊客登山、旅遊活動及交通運輸為主，而這些活動並不會產生顯著重金屬污染，因此推論大氣長程傳輸機制為造成該區環境中重金屬濃度偏高之因素。據此，後續應針對高海拔地區重金屬特別是鉛、汞之環境流布進行調查研究，以使國家公園之長期生態研究更完整。

整體而言鋅、銅、鉻、砷(圖 2(c)-(f))之濃度分布趨勢以現耕地(II 區)明顯最高，其次為廢耕區(I 區)，高海拔的 III 與 IV 區則為最低。廢耕之 I 區其土壤、底泥中之鋅、銅濃度較 III、IV 區高，過去因農耕主要施用之肥料以動物

糞肥為主，大多含有較高濃度之銅與鋅，一旦農民長期施用過量或使用不當時，將造成銅、鋅在環境中累積並對生態造成一定的風險。銅於 II 區之濃度明顯較高，其平均濃度約為其他三區之 2.5-5 倍之多，故可看出農耕行為對土壤中重金屬累積之影響非常明確，且因持續耕種將使其累積量增加。

另外，研究結果顯示位於 II 區之部分採樣點，其土壤中鉻、砷含量有偏高之趨勢，鉻、砷為早期無機農藥及土壤改良劑中常見之污染物，後續研究調查應針對農耕地區進行深入監測討論，而其結果可作為農藥、肥料施用之參考，以避免過度及不當使用造成重金屬累積，進而對生態與環境產生衝擊(Sobczyński and Siepak 2001)。

鉻僅在第 II 區現有耕地中有較高濃度，雖然鉻在一般肥料或農藥中極少使用，但已知石灰因製造原料之使用，部分含有可偵測到的鉻含量，而石灰經常大量應用於過度酸化之耕地。本研究在採樣過程中確實觀察到大多數農地上有使用石灰的狀況，且因此長期使用將明顯累積，較其他土地使用類型區高。砷在自然環境中可因火山落塵或母岩溶出所造成，然太魯閣地質研究指出並無該項金屬之含量(何春蓀 2003)。而砷之來源除開礦及金屬精練作業，部分來自燃煤發電，而使用殺蟲劑等用藥也為其一，前二者為大氣傳輸之結果—後者則為現地使用，然國內工業開發因現行空氣污染管制因此大氣傳輸之砷來源較有限，而農業用藥隨科技發展種類數量繁多，在中高海拔之管理難以落實之情形下，因此於現耕區(II)測得之砷濃度最高，其次為高海拔地區，其結果符合上述之來源分析。

鎘為七項重金屬中最不易被測得之項目，在毒理學相關研究資料指出，鎘與其他六項重金屬不同，尤其是鎘在環境中即便是非常微量的存在也會產生不良的影響。本研究結果大多低於偵測極限以下，僅在 II 區與 III 區其中各一點測得，上述提及過度酸化之耕地常會使用石灰改善土壤，但石灰因為製作過程添加

表 1. 國內外農地重金屬標準及研究案例重金屬濃度(單位：乾重 mg/kg)

		Pb	Zn	Cu	Cr	Cd	Hg	As
台灣地區農田土壤背景值 ¹	表土	5.57	5.01	4.94	0.22	0.16	0.09	8.46
	裡土	3.29	3.07	3.12	0.13	0.09	0.11	9.33
食用作物農地 ²	監測標準 (STD-TS)	300	260	120	-	2.5	2	-
	管制標準	500	600	200	-	5	5	-
加拿大土壤品質準則 ³	農業(STD-CS)	70	200	63	64	1.4	6.6	12
陽明山國家公園 ⁴	竹子湖(Y-C)	78.83	101.10	105.27	43	0.31	-	37.80
	大屯山(Y-D)	28.75	24.20	94.01	54	0.16	-	24.20
中國珠江地區 ⁵	農耕地(C-C)	180	284	189	317	1.47	-	-
	自然區(C-N)	54.70	110	44	144	1.76	-	-

資料來源：¹ 衛宇科技股份有限公司 2002 農地土壤重金屬調查與場址列管計畫 (100 公頃農地農地土壤重金屬調查與場址列管計畫) ² 行政院環保署 2011 『土壤污染監測標準』、『土壤污染管制標準』 ³ Canadian Council of Ministers of the Environment. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health for Agricultural. ⁴ 余炳盛 2004 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 ⁵ Wong SC, XD Li, G Zhang, SH Qi and YS Min. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China.

之原料來源複雜，其中部分可能含有鎘，因此未來仍有監測之必要。

彙整國內、外針對土壤中重金屬濃度規範與相關研究如表 1，包含台灣及加拿大之土壤品質標準、陽明山國家公園土壤重金屬調查與中國珠江地區土壤重金屬調查研究，以做為農耕地之比較參考。

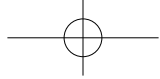
據聯合國糧食及農業組織(FAO)統計顯示中國無機肥料用量從 1949 至 1995 年增加約一百倍(Li *et al.* 1997)；國外文獻指出牲畜糞便、磷肥以及石灰等為農地重金屬的重要來源，Nicholson 等人(2003)於英格蘭與威爾斯對於農業使用地進行大規模之重金屬調查，農地重金屬投入總量以牲畜糞便占其中之 37-40%，在 2000 年共有 643 噸(銅)和 1,858 噸(鋅)進入英格蘭與威爾斯農地土壤。飼料添加銅和鋅等微量元素是以牲畜健康及其生長過程需求為目的，但牲畜並不會百分之百吸收，因此牲畜食入後經吸收代謝後多餘之銅、鋅隨糞便或尿液排放，而牲畜糞便及尿液常作為糞肥使用於農地，故造成土壤中重金屬濃度增加並累積(Chiroma *et al.* 2007, Ogwok *et al.* 2009)。農業中，石灰通常使用於農地酸化之土壤改良劑，可提高土壤中營養素、作物所需之鈣及去除酸性土壤中的有毒物質等，但因大量使用造成鉻含量增加而影響土壤。而在作物生長期間施用

除草劑、殺蟲劑及殺菌劑等，亦使土壤中砷含量增加(連深與李豔琪 1994, 陳健民 2007)。

比較園區與國內外相關規範(表 1)，各項重金屬皆以該區域之背景值為其代表，經分析比較結果顯示太魯閣園區內之各樣點七項重金屬之平均濃度皆符合國內之「農地土壤污染監測標準(STD-TS)」，而銅、鋁與砷則略高於加拿大農耕地之標準(STD-CS)，但台灣之規範均較加拿大之標準寬鬆。此外，鋅與銅之濃度趨勢在現有耕地之 II 區與陽明山國家公園之竹子湖(Y-C, Y-D)極為類似(圖 3(a)、(b))，且二者均為現有耕地，而鋅、銅為畜牧飼料常用之營養鹽添加物，普遍存在於有機糞肥，長期使用可造成土壤中銅、鋅之持續累積。若與國外其他案例研究結果比較，則研究區現有耕地之 II 區的鋅、銅濃度雖仍低於珠江三角洲農地重金屬(C-C, C-N)，但明顯高於非農耕區，顯見目前園區內持續農耕之地區對於重金屬之累積具有一定程度之貢獻，也是未來研究不可忽略的重點之一。

二、表面水體中重金屬

表面水體重金屬調查分為乾季與濕季之樣本，另外也包含由志工協助採取之水樣，研究將樣本分為三大類別：中海拔乾季採集水樣計 17 個樣本；中海拔濕季採集水樣計 8 個樣



蘇銘千，李世應，余奕賢，蔡佳穎，高年信

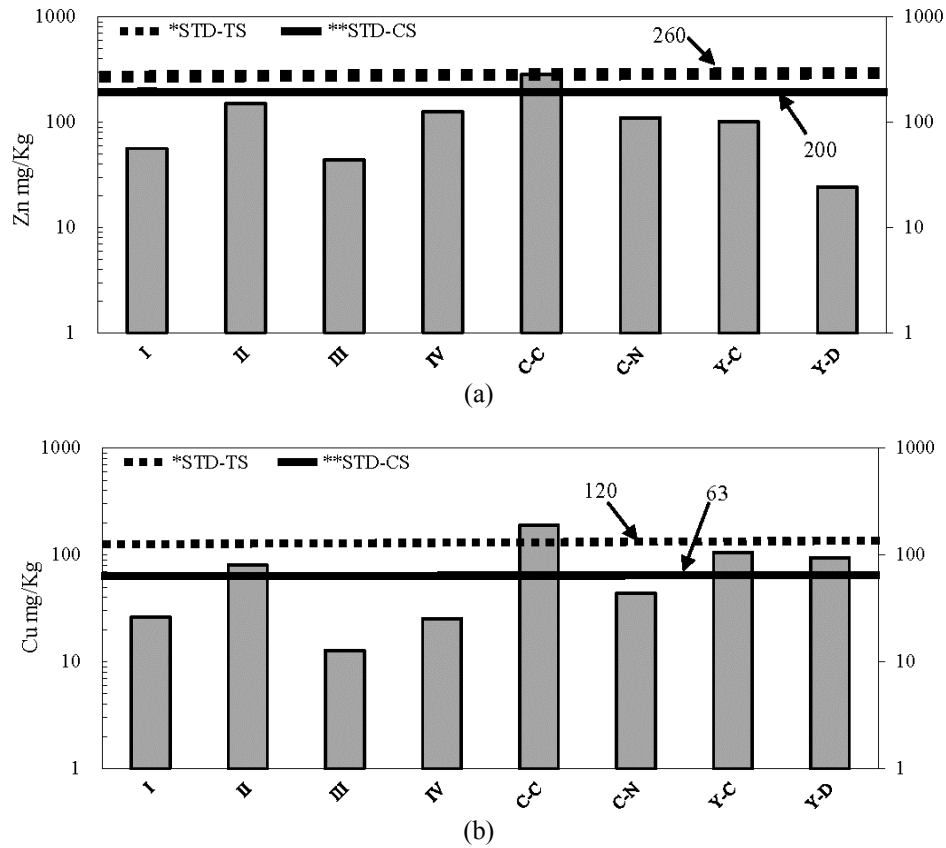


圖 3. 太魯閣園區土壤、底泥(a) Zn、(b) Cu 與國內外標準及案例之比較(其中 Y-C、Y-D 為陽明山國家公園竹子湖地區與大屯山自然公園地區樣點；珠江三角洲樣點 C-C 為農耕地、C-N 為自然區域) *STD-TS 為行政院環保署訂定之土壤污染監測標準；**STD-CS 為加拿大農業之土壤品質準則(Canadian Soil Quality Guidelines)

本；高海拔 9 個水樣樣本，共完成 34 個水樣，表面水體之監測以立霧河流域濕季水樣為主，包含洛韶、蓮花池、西寶、天祥、溪畔電廠等及奇萊北峰等水池。結果顯示各點七項重金屬大多低於偵測極限，其中鉛與鎘均未測得，而其他各項重金屬濃度分別與環保署河川水質測站(普渡大橋、錦文橋)之 3 月與 9 月結果相近，園區內水質分析結果均符合甲類地面水體標準值，僅立霧河流域濕季樣本之銅濃度為 0.07 mg/L 超過標準值(0.03 mg/L)，其餘樣本濃度均低於各項標準值。總結園區內水體樣本重金屬含量，其濃度與環保署水質測站之結果相近而略低。後續水體重金屬調查監測應著重高山水池與農耕用水部分，其餘水質監測建議可採用既有之環保署或其他測站資訊即可，以整合既有水質監測站資料，並可增加園

區水質監測網絡及資料，使未來長期環境監測資料能具有整體及一致性並提高調查之效益。

三、生物體

國家公園園區內生物體樣本不易取得，樣本來源區分為兩類，一為太魯閣園區志工協助取得之鳥類(TBB)；另為園區志工與其他研究團隊協助取得之山羌與山羊樣本(TBM)。分析結果除鉛、鋅、銅及汞有明顯之趨勢，可供深入討論，其餘三項金屬數據仍須較多樣本方具有統計分析之意義，因此將不予探討。

研究結果顯示鉛在所有樣本中僅有約 40% 可測得，其平均濃度略低於 2 mg/kg。Belliset *al.*(2005)指出鉛污染源主要為工業及交通所造成，檢測結果確實反應保護區內之生物應不可能直接受工業污染，因此交通及大氣

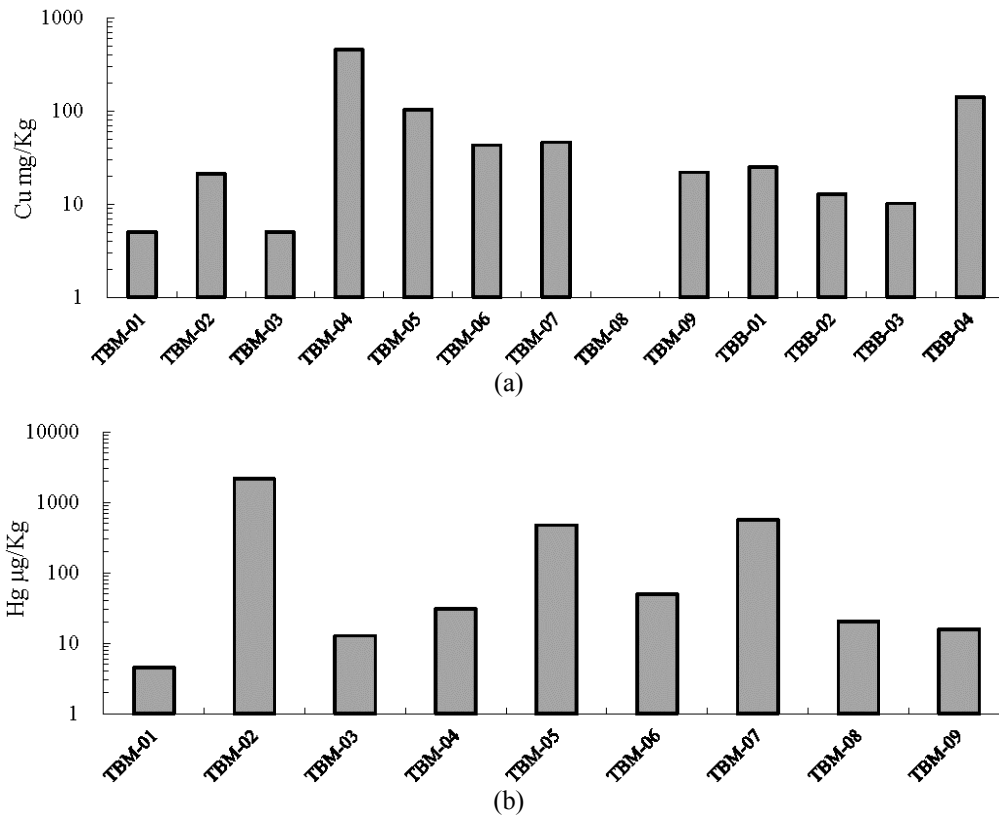


圖 4. 太魯閣園區生物體中(a) Cu、(b) Hg 之含量

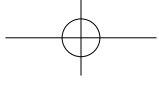
傳輸應為主要污染源。鋅在生物體內之檢測結果極為平均，約在 100 mg/kg，因鋅為生物之必要微量營養素，檢測結果尚無污染之虞。銅在腎的累積濃度相對較高於其他器官之累積量，本項發現符合重金屬之生物毒性在腎臟較易累積之趨勢，且無論是鳥類或山羊及山羌均有偏高之趨勢(圖 4(a))，且其單位濃度之變化趨勢未受生物體之大小而有明顯之差異，重金屬於生物體之累積受生物之覓食習性及分布區域而異。在本次收集之生物樣本除洛韶之鳥類標本外，其餘樣本量尚不足以分區域進行區域流布分析。

所有山羊與山羌樣本各部位均檢測到汞，惟腎臟樣本汞含量偏高(達 476-2150 µg/kg)其餘樣本則均小於 50 µg/kg(圖 4(b))。根據動物毒性報告，汞於生物體最終累積及易產生病變之器官為腎臟，初步調查結果已符合已知之生物毒性研究。未來將持續調查研究累積更多案例，以進一步做整體趨勢探討。鳥類樣本因

數量少且可收集之肝、腎量小，因此無法進行汞分析。

分析國外生物體中重金屬之研究，Hernández *et al.* (1999)研究西班牙 Doñana 國家公園為歐洲之重要野鳥保護區域，但於園區內監測 16 種水鳥之肝臟、蛋內均含有重金屬，鋅含量為最高，其次為銅、鉛、鎘及砷，且重金屬對於鳥類之生存與繁殖具有相當威脅性。該園區含有豐富之金屬，且位於北邊 Aznalcollar 設有礦石開採場，因此該地區受重金屬影響最為嚴重，研究顯示 1982-1992 年間環境中重金屬有逐漸增加趨勢。由於開採礦石時採用沖洗方式將礦石作礦物分離，沖洗水則造成銅、鋅及鉛等重金屬之污染，該研究結果顯示園區內水鳥之肝臟與蛋測得鉛 ND-24.28 mg/kg、銅 2.05-498 mg/kg、鎘 ND-10.8 mg/kg、鋅 2.92-515 mg/kg 及砷 2.89-3.13 mg/kg (Hernández *et al.* 1999)。

與西班牙 Doñana 國家公園之案例比較，



蘇銘千，李世應，余奕賢，蔡佳穎，高年信

太魯閣園區各項重金屬檢測濃度除銅以外，皆低於西班牙案例之研究數據(西班牙案例缺鉛與汞)，惟西班牙案例研究生物為水鳥，與本研究分析之物種不同且其特性不同。本研究之鳥類樣本多為洛韶農耕地附近之樣本，該區土壤中含較高濃度之銅，疑似為環境開發的影響，此特性與西班牙案例較為類似，Doñana 國家公園因其鄰近開發狀況造成園區生態之影響，因此顯示人為環境衝擊產生之重金屬對生物體有造成影響之可能。

結論

整體而言，土壤與底泥中鉛與汞之分布趨勢以高海拔南區(IV)最高，現有耕地(II)次高，而廢耕區(I)濃度最低。其他如鋅、銅、鎳、砷以現有耕地(II)最高，高海拔兩區(III、IV)較低，農耕行為對重金屬含量之影響可見一斑；各項重金屬之平均濃度均符合國內土壤之監測標準，但銅、鎳與砷略高於加拿大之標準。比較園區內現有耕地之重金屬檢測結果與中國珠江地區的濃度趨勢相似但略低，顯見持續農耕之地區對重金屬累積具有一定程度之影響。未來探討園區內人為活動及農耕區域重金屬流布現況，可作為重金屬生態風險評估之主要範疇。

水體重金屬調查結果，鉛與鎳均在偵測極限下，其他重金屬平均濃度與環保署於園區內之測站監測結果相近；相較於甲類地面水體標準值，僅濕季樣本之銅略高於標準值，整體而言立霧溪流域水中重金屬之含量仍偏低。未來建議以現有耕地與高海拔地區之水池為研究樣區，如澆灌蓄水池等規劃長期監測研究，其結果可作為污染物長程傳輸、人為活動及農業開發對環境衝擊之研究依據，並可以釐清重金屬來源與分布狀況。

生物體內重金屬在腎之累積狀況，明顯高於其他器官，此結果符合生物毒性之研究，因此本項生物檢測結果為顯著不可忽略，然因樣本取得不易，受限於樣本數，未來需以區域特

性及食物鏈為規劃，以小型哺乳類動物作為主要的生物體調查種類，方得以評估持久性無機毒物之生態風險。

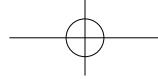
本研究結果顯示有必要長期監測生態與環境中重金屬，作為深入研究國家公園之生態風險評估與管理措施之基礎；後續應針對高海拔地區重金屬特別是鉛、汞之環境流布進行深入調查研究，以使國家公園之長期生態研究更完整，且可與其他國際環境變遷與長程傳輸對生態保育區之影響研究建立長期合作計畫，規劃長期管理措施確保生態保育與環境永續之目的。

誌謝

本研究感謝內政部營建署太魯閣國家公園管理處經費補助；兩位匿名專家審查本文，提供寶貴意見，謹此表示誠摯感謝。

引用文獻

- 行政院環保署。2011。土壤污染監測標準。2011年1月31日訂定。
- 行政院環保署。2011。土壤污染管制標準。2011年1月31日修正。
- 何春蓀。2003。臺灣地質概論-臺灣地質圖說明書。經濟部中央地質調查所。
- 余炳盛。2004。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。
- 連深、李艷琪。1994。有機質肥料之重金屬含量及「肥料規格」之有關規範。中華農業研究 43(4):412-424。
- 陳健民。2007。環境毒物學。新文京出版社，台北。
- 陳尊賢。1998。臺灣地區土壤環境重金屬背景值調查分析。行政院環境保護署委託研究計畫成果報告，計畫編號：EPA-87-H104-03-03。
- 衛宇科技股份有限公司。2002。農地土壤重金



- 屬調查與場址列管計畫(100 公頃農地農地土壤重金屬調查與場址列管計畫)，計畫編號：EPA-90-GA13-03-90A285。
- 蘇銘千。2005。環境污染物長程傳輸對環境變遷之研究-以福山地區及鴛鴦湖為對象。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫。
- Bellisa DJ, K Satake, M Inagaki, J Zeng, T Oizumi, 2005. Seasonal and long-term change in lead deposition in central Japan: evidence for atmospheric transport from continental Asia. *Science of the Total Environment* 341:149-158.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health for Agricultural. Available from Canadian Environmental Quality Guidelines(CEQG online)<http://st-ts.cme.ca>
- Chiroma TM, BI Abdulkarim and HM Kefas. 2007. The Impact of Pesticide Application on Heavy Metal(Cd, Pb and Cu)Levels in Spniach. Nigeria: Federal University of Technology.
- Hernández LM, B G´omara, M Fern´andez, B Jim´enez, MJ Gonz´alez, R Baos, F Hiraldo, M Ferrer, V Benito, MA Suñer, V Devesa, O Muñoz and R Montoro. 1999. Accumulation of Heavy Metals and As in Wetland Birds in the Area around Doñana National Park Affected by the Aznalcollar Toxic Spill. *The Science of the Total Environment* 242:293-308.
- Li X, C Zuo, J Tschirley, S Webb and A Morton. 1997. Sustainable agriculture and rural development in China, Part 2: China's Transition to SARD. *Promotion of sustainable agriculture and rural development in China: Elements for a Policy Framework and a National Agenda*, 21.
- Nicholson FA, SR Smith, BJ Alloway, C Carlton-Smith and BJ Chambers. 2003. An Inventory of Heavy Metals inputs to Agricultural Soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment* 311:205-219.
- Ogwok P, JH Muyonga and ML Sserunjogi. 2009. Pesticide Residues and Heavy Metals in Lake Victoria Nile Perch, Lates Niloticus, Belly Flap Oil. *Bull Environ Contam Toxicol* 82:529-533.
- Sobczyński T and J Siepak. 2001. Speciation of Heavy Metals in Bottom Sediments of Lakes in the Area of Wielkopolski National Park. *Polish Journal of Environmental Studies* 10(6):463-474.
- Steffen A, T Douglas, M Amyot, P Ariya, K Aspino, T Berg, J Bottenheim, S Brooks, F Cobbett, A Dastoor, A Dommergue, R Ebinghaus, C Ferrari, K Gardfeldt, ME Goodsite, D Lean, AJ Poulain, C Scherz, H Skov, J Sommar and C Temme. 2008. A synthesis of atmospheric mercury depletion event chemistry in the atmosphere and snow. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8:1445-1482.
- Travnikov O. 2005. Contribution of the intercontinental atmospheric transport to mercury pollution in the Northern Hemisphere. *Atmospheric Environment* 39:7541-7548.
- Wong SC, XD Li, G Zhang, SH Qi and YS Min. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution* 119:33-44.