

台灣東部蛇紋岩母質化育土壤地區重金屬特性之初探¹

劉滄琴^{2,3} 郭鴻裕² 朱戩良² 連深²

摘 要

劉滄琴、郭鴻裕、朱戩良、連深。2007。台灣東部蛇紋岩母質化育土壤地區重金屬特性之初探。台灣農業研究 56:65~78。

本研究初步分析台灣東部蛇紋岩母質化育土壤區之岩體、土壤、溪水及藻類中的重金屬含量特徵，並探討其對農業環境潛在之影響。結果顯示，蛇紋岩化育土壤之重金屬組成特徵沿襲其母質之特性，具有高重金屬含量及低 Ca/Mg 比之特性。由三處受不同風化程度之土壤剖面的 pH 和鎳、鉻及鈷測值顯示，由於不同程度的風化作用，這些土壤的 pH 值分布在 4.5~6.5。風化程度越高之地區顯示有較高之重金屬有效性，且鎳、鈷的有效性高於鉻。由於本研究顯示台灣東部蛇紋岩化育土之 pH 偏酸，且研究區內溪水及溪流中藻類中之鎳亦有高含量現象，因此建議在東部蛇紋岩化育土壤地區之農業應注意是否有重金屬含量過高的疑慮。

關鍵詞：蛇紋石化育土壤、重金屬、台灣東部。

前 言

花東縱谷位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交接處，因弧陸碰撞並伴隨之火山活動造成了海岸山脈之台灣蛇綠岩系 (Chen 1990)，此蛇綠岩系主要是一雜亂的泥岩含由橄欖岩、輝長岩及玄武岩所組合之雜岩碎塊地層。根據地質特徵之區分，台灣蛇綠岩系分為關山火成雜岩和利吉混同層 (Chen 1990)。蛇紋岩即是由超基性岩石，如橄欖岩中的橄欖石或輝石和水作用之後產生蛇紋石類相關礦物，即所謂蛇紋岩化作用 (serpentinization)。蛇紋岩主要礦物組成爲蛇紋石 (約佔 82~100%)，次爲磁鐵礦 (約 1~7%)，另含有少量之水鎂石、碳酸鹽、透閃石、綠泥石、滑石、鉻鐵礦、鉻尖晶石及黃鐵礦 (Wildman *et al.* 1968; Tan 1979; Yui 1979; Rabenhorst *et al.* 1982)；部分蛇紋岩含有殘存的原生礦物如橄欖石、輝石、鉻鐵礦及鉻尖晶石。台灣蛇紋石礦物主要產在花東地區之南澳、豐田、萬榮、王武塔、瑞穗、玉里清水溪等地，以及海岸山脈之富里、電光、石頭山等地 (Chen 1998)。

以蛇紋岩爲母質所化育之土壤中，通常有鎳、鉻等重金屬含量過高之現象，此亦爲世界性之問題土壤 (Kruckbery 1951; Soane & Saunder 1959; Anderson *et al.* 1973)。典型之鎳或其他重金屬毒害包括葉片萎黃、妨礙根芽生長、植物變形、葉片有不正常斑點等。鉻之毒害則因鉻 (Cr^{3+} , Cr^{6+}) 被根部吸收後不易移動而留在根部，導致鉻害，其症狀包括生長矮小，根系生長不良，葉片捲曲且失

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2282 號。接受日期：2007 年 3 月 25 日。

2. 行政院農業委員會農業試驗所農業化學組助理研究員、研究員、助理研究員、退休研究員。台灣 台中縣。

3. 通訊作者，電子郵件：tsliu@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23398149。

去顏色等，有些植物則更顯出棕紅色葉片且有小面積壞疽 (Vanselow 1966; Aubert & Pinta 1977; Adriano 1986)。此外，Chiu 等 (1979) 在花蓮地區進行花生微量元素施用試驗亦指出，在強酸性大富和光復土壤栽種之花生葉片，其錳含量可分別達 320 至 1,300 mg/kg，他們認為此黃化原因可能與錳過量有關。由此推測，本省東部部份土壤鎳、鉻、鈷、錳毒害問題存在機率甚大。

本研究目的有二：1. 了解台灣東部蛇紋岩母質化育土壤區之岩體、土壤、溪水及藻類中的重金屬含量特性。2. 探討土壤金屬元素之總含量及有效性，及其對農業環境之潛在影響。

材料與方法

田間採樣

首先利用相關地質圖、土壤圖及調查報告等資料，篩選出含有蛇紋岩之地層、露頭、化育土及另依地形推測可能受蛇紋石影響之沖積土區域，供野外採樣之依據。蛇紋岩岩塊之採樣點計 8 處 (圖 1)，包括花蓮地區之鳳林鎮萬里溪橋 (R1)、萬榮鄉長漢山 (R2)、萬榮鄉紅葉村 (R3)、玉里鎮清水溪 (R4)，以及台東地區之池上鄉銅安山 (R5)、關山鎮電光 (R6)、東河鄉利吉村 (R7)、台東市石頭山 (R8)。蛇紋岩母質化育土壤採樣點計 5 處 (圖 1)，包括花蓮地區之萬榮鄉長漢山 (S1)，以及台東地區之池上鄉振興村 (S4)、池上鄉銅安山 (S5)、關山鎮電光 (S6)、台東市石頭山 (S7)。另為比較不同母質化育土壤，本研究同時採取花蓮玉里鎮長良 (S3)、瑞穗鄉之片岩沖積土 (S2)，以及宜蘭冬山鄉片岩沖積土 (S8)、霧峰砂頁岩沖積土 (S9)、八卦山紅土 (S10)，作為與蛇紋岩母質化育土對照之依據。此外，在台東池上鄉銅安山附近之振興村 (圖 1, S4)，依土壤外觀形態之差異選擇三處進行剖面採樣。

本研究另對流經蛇紋岩母質化育土壤地帶之支流溪水及溪水中之剛毛藻 (*Cladophora*) 屬藻類進行採樣。溪流採樣計 5 處，包括花蓮地區秀林鄉境內之白鮑溪 (C1)、萬榮鄉境內之紅葉溪 (C2)、卓溪鄉境內之清水溪 (C3)，以及台東地區池上鄉振興村境內之嘉武溪 (C4) 及大水湖野溪 (C5) (圖 1)。選擇剛毛藻屬藻類之原因乃剛毛藻為多年生，又屬於藻類之最大一屬，廣泛分布於水中 (Chiang 1972)，故選擇其為探測溪水鎳濃度受蛇紋岩化育土壤影響之間接指標。

實驗室分析

岩塊與土壤全量分析：(1) 岩塊樣本以鑽石切片機切成薄片取樣，再以行星式球磨機磨細。(2) 土壤樣品攜回實驗室以除濕機 (30~35°C) 風乾，土塊以木槌及圓桿敲碎、磨細，通過 10 mesh (2 mm) 網篩，裝罐待分析。(3) 岩塊與土壤元素全量分析方法 (王水微波消化分解)：於 100 mL 鐵氟龍高壓密閉容器中加入 1 g 土壤及 10 mL 王水，以微波消化裝置 (CEMMDS-81D) 600 watts 煮 3 min，480 watts 煮 40 min，待冷卻後加入 5 mL 30% 雙氧水，等冒泡停止後以去離子水稀釋至 100 mL，再以 Whatman No.42 濾紙過濾，濾液以原子吸光儀測鎳、鉻、鈷、錳、鈣、鎂之含量。另以 BCR141 及 143 號標準土壤樣品為標準比對。

土壤 0.1 N 鹽酸抽出：為了解重金屬之有效性，於 250 mL 三角瓶中，秤 10 g 之表層土樣，加入 100 mL 0.1 N 鹽酸，以往復式振盪機 140 rpm 搖盪 1 hr 後用 Whatman No.42 濾紙過濾，濾液以感應耦合電漿光譜分析儀 (ICP) 測定鎳、鉻、鈷之含量。

溪水分析：現場溪水以 0.45 μM 濾紙過濾，在實驗室中以 70°C，將水樣濃縮為 1/50，以 ICP 測定鎳含量。

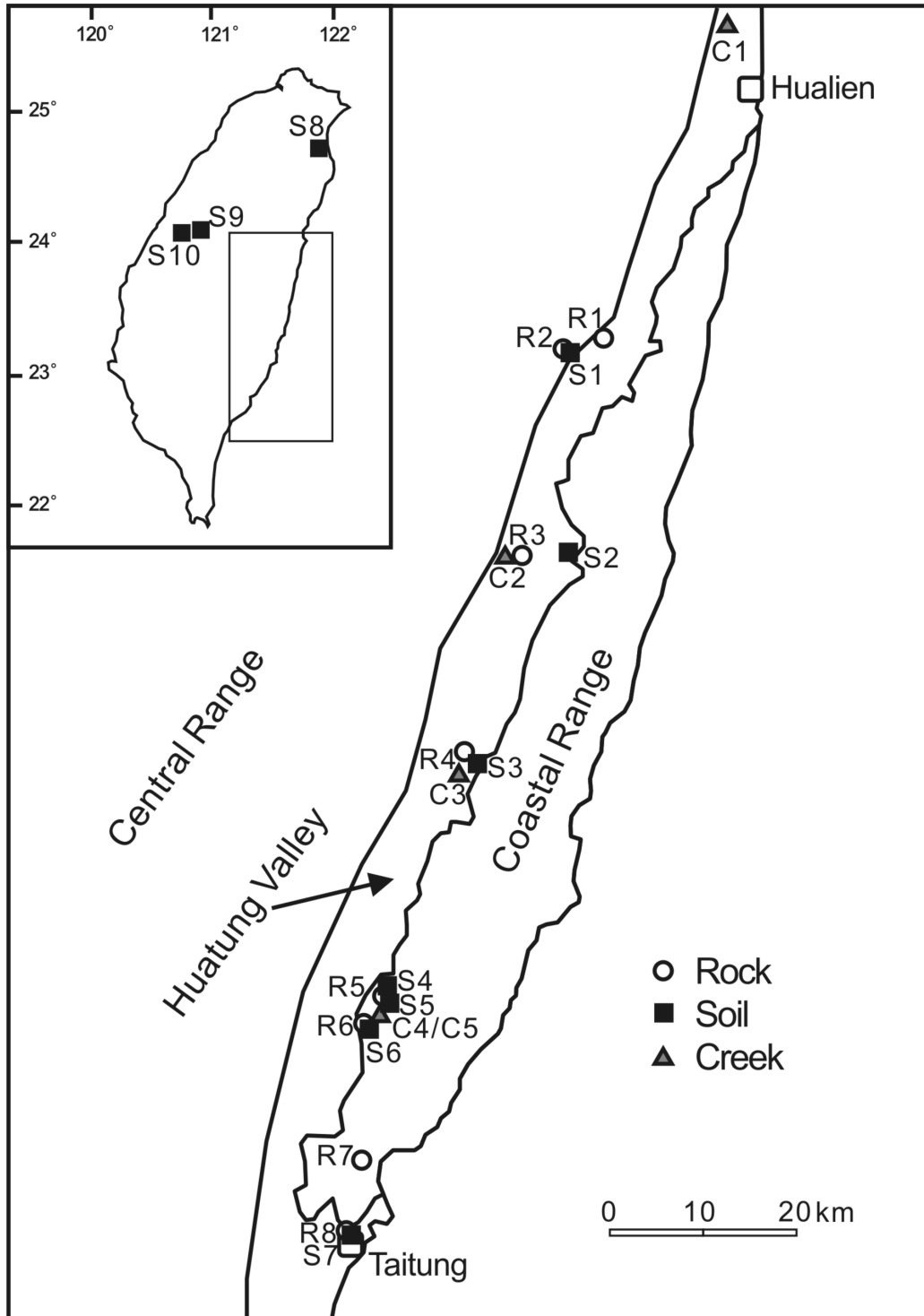


圖 1. 本研究採樣點位置圖。
Fig. 1. Localities of sampling in the study.

藻類分析：(1) 藻類植體樣品攜回實驗室以純水清洗後，置於棕色紙袋中於 60~80°C 下烘乾，以粉碎機磨碎，通過 20 mesh 網篩，裝於封口塑膠袋中以待分析。(2) 分解方法：秤取 0.5 g 於 60~80°C 下烘乾之植體樣品置入 50 mL 分解管，加入 2.5 mL 的濃硝酸並搖勻，靜置過夜，在鉛塊分解爐上以低溫 (80°C) 加熱 1 hr，取出放冷後加入 2.5 mL 的濃過氯酸，在鉛塊分解爐上以高溫 (180~200°C) 加熱 2~3 hr，至分解液澄清，再以低溫 (100°C) 加熱至過氯酸的白煙消失，放冷後以去離子水稀釋至 50 mL 後，以 ICP 測定鎳之含量。

結 果

蛇紋岩金屬含量

台灣東部 8 處蛇紋岩之鎳、鉻、鈷、錳、鈣、鎂含量的全量分析結果列於表 1。由表 1 顯示，供試之 8 處岩石測值中除鈷、錳元素含量較文獻 (Faure 1991) 之超基性岩石為低外，其餘金屬元素含量之平均值均與文獻之值相似。以文獻中超基性岩石與砂岩、頁岩比較，超基性岩石之親鐵元素 (siderophile elements) 如鎳、鉻、鈷、錳、鎂等元素含量顯著較高，但鈣含量則有相對較低的特性。台灣東部蛇紋岩如同超基性岩石般，亦顯示其鎳、鉻、鈷、鎂元素含量較沉積岩 (砂岩、頁岩) 顯著為高的現象 (表 1)，但其錳含量並沒有如超基性岩石般顯示較高的含量；同時，東部蛇紋岩之鈣含量差異頗大，但以全量之 Ca/Mg 而言，基性岩或本研究之蛇紋岩之 Ca/Mg 值大都比砂、頁岩為低。

蛇紋岩化育土壤金屬含量

供試 5 處蛇紋岩化育土壤及 2 處片岩沖積土、宜蘭冬山片岩沖積土、台中霧峰砂頁岩沖積土及彰化芬園八卦山紅壤之鎳、鉻、鈷、錳、鈣、鎂全量分析結果列於表 2。整體而言，此 6 處蛇紋

表 1. 台灣東部蛇紋岩塊之金屬元素含量

Table 1. Metal element contents in serpentinite of eastern Taiwan

Sampling locality ^z	Concentration (mg/kg)				Concentration (%)		Ca/Mg
	Ni	Cr	Co	Mn	Ca	Mg	
R1	1587	1857	86	739	0.22	16.18	0.013
R2	2565	3238	126	773	0.14	20.00	0.007
R3	1662	727	111	658	0.93	19.28	0.048
R4	1989	2292	110	761	1.04	21.11	0.049
R5	3088	1713	137	523	0.07	21.43	0.003
R6	3397	2565	143	766	0.04	21.31	0.002
R7	2328	373	110	727	11.50	17.05	0.674
R8	1369	718	83	1068	24.22	16.28	1.487
Average	2248	1685	113	752	4.77	19.08	0.285
SD	732	1011	22	152	8.77	2.26	0.537
Ultramafic rocks ^y	2000	1800	175	1560	1.6	23.2	0.069
Sandstone ^y	2	35	0.3	10	3.91	0.70	5.586
Shale ^y	68	90	19	850	2.21	1.50	1.473

^z See Fig. 1 and text.

^y Data were from Faure (1991).

表 2. 蛇紋岩化育土壤與台灣其他土類之金屬元素含量

Table 2. Metal contents in serpentinite-developed soils as well as other soil types in Taiwan

Sampling locality ^z	Concentration (mg/kg)				Concentration (%)		Ca/Mg
	Ni	Cr	Co	Mn	Ca	Mg	
Serpentinite-developed soils							
S1 (n=1)	1504	1908	169	1579	0.10	3.60	0.027
S4 (n=1)	869	711	119	1417	0.18	0.86	0.209
S5 (n=3)	2404±271	1376±31	287±31	2860±335	0.37±0.13	1.77±0.75	0.209
S6 (n=1)	1891	955	109	1270	0.19	10.71	0.017
S7 (n=1)	2067	1018	134	1543	0.37	7.49	0.049
Schist alluvial soils							
S2 (n=6)	92±8	99±9	23±4	421±37	0.32±0.17	0.60±0.66	0.200
S3 (n=12)	303±51	172±37	28±9	702±63	2.23±1.23	2.43±0.85	0.917
S8 (n=7)	57±7	43±4	33±5	934±561	0.18±0.04	0.03±0.11	0.174
Sandstone-shale alluvial soils							
S9 (n=2)	31±5	26±1	11±2	295±30	0.13±0.04	0.61±0.08	0.213
Red soil							
S10 (n=2)	39±3	38±2	16±3	528±21	0.03±0.01	0.16±0.04	0.187

^z See Fig. 1 and text.

岩化育土壤之重金屬組成特性與蛇紋岩之特性相同；即相對於其它片岩沖積土、砂頁岩沖積土及紅壤而言，蛇紋岩化育土壤有明顯較高之鎳、鉻、鈷、錳等重金屬含量。蛇紋岩化育土全量之 Ca/Mg 值分布範圍為 0.017~0.209，明顯比片岩沖積土之比值 (0.174~0.917) 為低；而砂頁岩沖積土之比值 (0.213) 及八卦山紅壤之比值 (0.187) 則在供試之蛇紋岩化育土壤的範圍內。

土壤剖面之 pH 及金屬元素分布

台東池上鄉三個供試蛇紋岩化育土壤之土壤剖面 pH 及鎳、鉻、鈷重金屬全量分析結果分別如圖 2 及圖 3 所示。此三個土壤剖面以其地區名及表面特徵區分，暫以銅安山黑土、銅安山紅土及振興風化土分別稱之。振興風化土之 pH 約分布在 4.5~5.0，土壤剖面 pH 值有隨深度而增加的趨勢(圖 2)；銅安山黑土之 pH，若不計 40 cm 處之低 pH (約 4.5)，約分布在 5.5~5.9，且表層較底層稍高；而銅安山紅土 pH 分布在 6.0~6.5，且表層之 pH 略低。

圖 3 顯示，在土壤剖面之鎳、鉻、鈷重金屬元素全量，以振興風化土而言，此三金屬之剖面分布均呈表土含量較低，而隨著剖面深度增高的現象。在銅安山黑土方面，此三金屬元素全量濃度之剖面分布也有相同之變化型態。在深度 80 cm 以上之土壤，此三金屬元素全量濃度之剖面變異不大；而在深度 100 cm 處有高含量值出現。在銅安山紅土方面，此三金屬全量之剖面變化較為複雜，主要之特徵是在深度 60 cm 處出現低含量值。綜合上述，三種土壤剖面在深度 80 cm 以內，此三金屬全量含量係隨深度增加而降低；而在超過 80 cm 深度則反之。

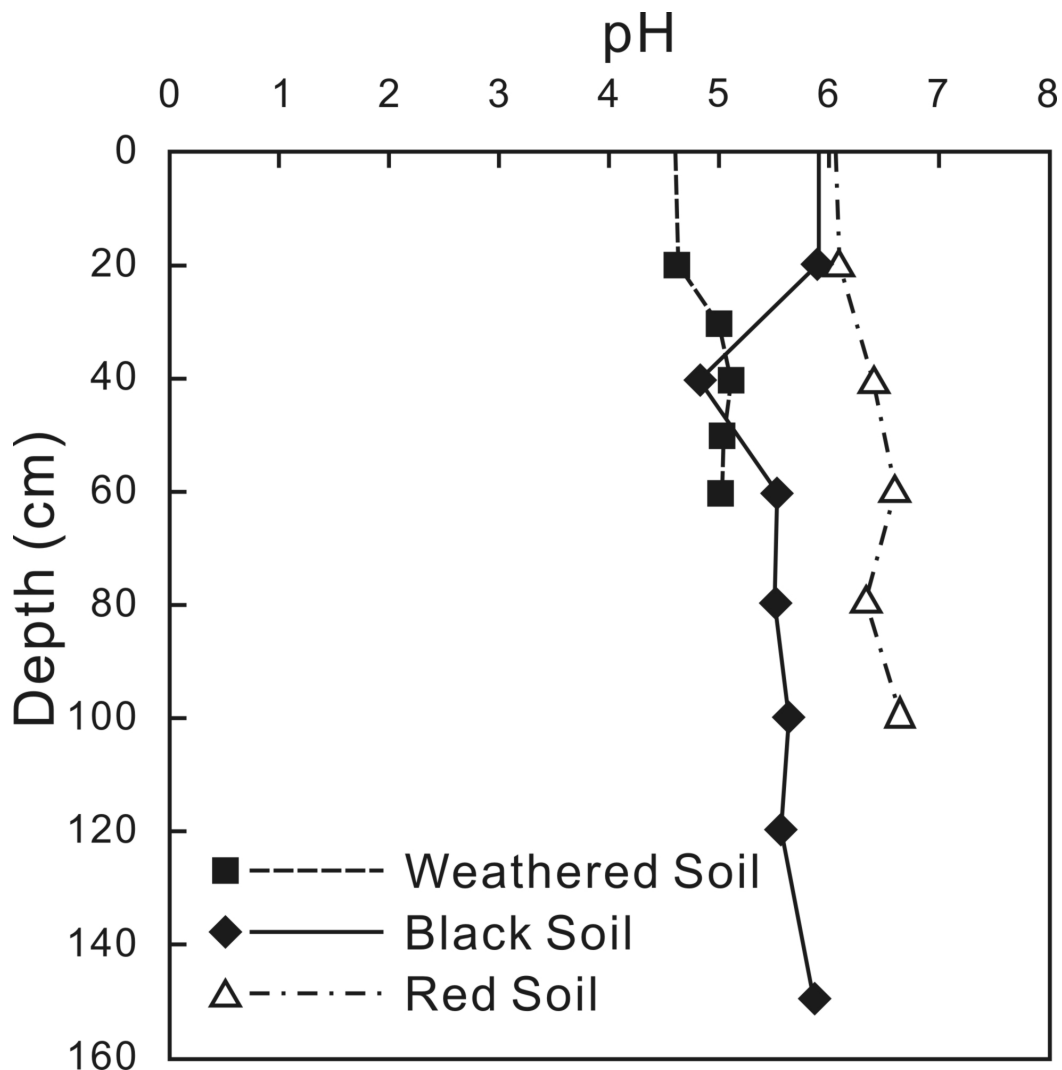


圖 2. 台東池上地區三種不同土壤之酸鹼值 (pH) 剖面分布。

Fig. 2. The pH profiles of three different soils at Chishang area, Taitung.

溪水及藻類鎳金屬含量

研究區內包括台東池上鄉振興村境內之嘉武溪及大水湖野溪，花蓮卓溪鄉境內之清水溪，花蓮萬榮鄉境內之紅葉溪，以及花蓮秀林鄉境內之白鮑溪等溪水及溪流中剛毛藻屬 (*Cladophora*) 藻類中之鎳含量分析結果如表 4 所示。基本上，研究區內之溪水鎳濃度雖然很低 (ND~0.003 mg/kg)，但其高值仍顯著高於一般溪水 (0.0003 mg/kg)。各溪流剛毛藻屬藻類 (乾物重) 之鎳濃度分布範圍為 29~105 mg/kg，如以 37 種海草之鎳含量平均值 2.8 mg/kg (Mishra & Kar 1974) 作為背景值以供對照比較，顯然調查區內之藻類體內鎳含量高於背景值達 10~40 倍之多。

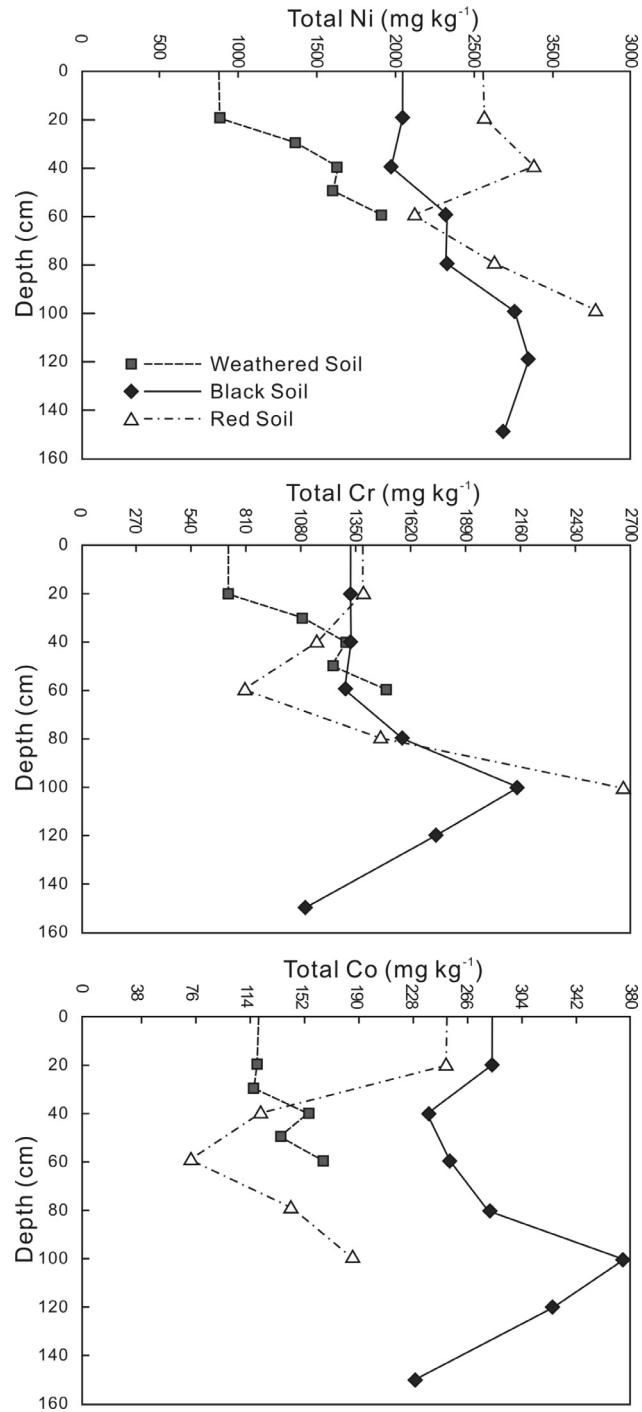


圖 3. 台東池上地區三種不同土壤之全量鎳、鉻和鈷的剖面分布。

Fig. 3. The distribution of total nickel, chromium and cobalt along the profiles in three different soils at Chishang area, Taitung.

討 論

由於缺乏完整台灣蛇紋岩相關金屬含量之數據 (Chen 1998)，且蛇紋岩主要為超基性岩石經蛇紋岩化作用產生，因此，本研究之蛇紋岩分析結果暫先與世界其他地區超基性岩石之值比較 (Faure 1991)。基本上，台灣東部蛇紋岩除錳、鈷元素含量較低外，其餘金屬元素含量之平均值與超基性岩石相近 (表 1)。如與文獻之沉積岩 (砂岩、頁岩) 組成比較，台灣東部蛇紋岩亦顯示鎳、鉻、鈷、鎂元素含量較高的現象 (表 1)。供試之東部蛇紋岩鈣含量有高有低，因此，本研究東部蛇紋岩之金屬組成可能有地域性之差異。

以採樣地所屬地區之鎳濃度而言，銅安山、電光、長漢山等地之樣品鎳含量最高，均在 2,500 mg/kg 以上；次為石頭山、利吉村、清水溪、紅葉村及萬里橋溪等地之岩體，鎳含量在 1,300~2,000 mg/kg 間。整體而言，8 處供試之蛇紋岩之 Ca/Mg 值 (全量比) 分布在 0.002~1.487 間 (表 1)，均明顯較文獻中砂岩之 5.586 及頁岩之 1.473 為低 (Faure 1991)。

蛇紋岩是由超基性或橄欖岩中的橄欖石與輝石和水作用之後產生蛇紋石類相關礦物，即所謂蛇紋岩化作用，以下式作為代表說明 (Coleman 1977)：



因此蛇紋岩通常具高鎂含量。一般而言，若蛇紋岩化作用之原岩為橄欖石，其產生之蛇紋石通常較原岩為輝石之蛇紋石具較低鉻、鈣、鐵及較高鎂含量之特性 (Chen 1998)。

事實上，橄欖石與輝石中都含有鐵、鎳、鉻、鈷等金屬元素，在蛇紋岩化過程中，這些金屬部分會進入蛇紋石結晶格內。同時，因鈷和鎳之二價離子半徑分別為 0.072 及 0.069 nm，與二價鎂離子半徑 (0.072 nm) 近似而發生替代作用，導致蛇紋岩具有高濃度之鈷、鎳元素。同理，蛇紋岩具高濃度之鉻，亦可能因鉻之三價離子半徑 (0.064 nm) 與三價鐵離子半徑 (0.067 nm) 近似而發生替代作用所致 (Brooks 1987)。

蛇紋岩具較低 Ca/Mg 比值之原因乃其主要為鐵鎂礦物所組成，而有別於以長英質礦物為主的砂、頁岩。在超基性或橄欖岩中的橄欖石與輝石，其中的鈣含量原本就相對較少，因此造成蛇紋岩具低 Ca/Mg 比值的特徵。因此，蛇紋岩之重金屬組成特徵在鎳、鉻、鈷等金屬含量及 Ca/Mg 比值與沉積岩類有明顯差異。

一般而言，超基性岩石之 Ca/Mg 值 (全量比) 約為 0.069 (Faure 1991)，本供試之蛇紋岩，依此 Ca/Mg 值之差異可分為三類：(1) 石頭山岩體屬高 Ca/Mg 值 (1.487)；(2) 利吉村岩體屬中 Ca/Mg 值 (0.674)；(3) 其餘銅安山、電光、長漢山、清水溪、紅葉村、萬里橋溪等地之岩體如同文獻之超基性岩石所示，屬低 Ca/Mg 值區 (0.002~0.049) (表 1)。造成本研究東部蛇紋岩有不同 Ca/Mg 比值差異的原因，可能是前述蛇紋岩化作用前原礦物之差異所致 (Chen 1998)；如果蛇紋岩是由輝石類礦物經蛇紋岩化作用後產生，則鎂含量會有較低、而鈣含量較高之現象。再者，蛇紋岩的鈣離子屬流動性較大者，如果受水-岩作用則鈣離子易被帶離造成蛇紋岩中鈣含量降低。此外，蛇紋岩化作用之溫度、蛇紋岩中蛇紋石種類不同、以及之後環境之化學條件的改變亦會造成蛇紋岩中 Ca/Mg 比值之差異 (Chen 1998)。

表 2 顯示，供試之 5 處蛇紋岩化育土壤之重金屬組成特性與上述蛇紋岩之特性相同；即相對於其它片岩沖積土、砂頁岩沖積土及紅壤，蛇紋岩化育土壤有顯著較高之鎳、鉻、鈷、錳等金屬含量，且具較低之 Ca/Mg 值 (全量比)。

與其他母岩所化育土壤之化學成分相較，一般蛇紋岩化育土壤的親鐵元素濃度較高，且 Ca/Mg 比值較低 (Brooks 1987)，而本研究 5 處東部蛇紋岩化育土壤之重金屬組成特性亦有相似的現象，但其 Ca/Mg 比，以區域性而言，並無明顯之區隔。若以地域性露頭產狀區別，台東地區之石頭山、電光，以及花蓮地區之長漢山等地之土壤就顯現此高親鐵元素濃度及低 Ca/Mg 比之蛇紋岩化育土壤的化學組成特性。台東地區之振興、銅安山等，雖具高親鐵元素濃度，但其 Ca/Mg 比值 (0.209) 並未如前述地區之蛇紋岩化育土壤低。此原因可能是上述所言，如果蛇紋岩主要是由輝石類礦物經蛇紋岩化作用後產生，則呈現鎂含量較低，而鈣含量較高之現象；或其母質為蛇紋岩但夾雜其他岩塊所致。

因不同地區土壤化學特性可能因蛇紋岩母質組成不同而有差異，由上述蛇紋岩及蛇紋岩化育土壤之重金屬組成特性可知，蛇紋岩母質之差異主要顯示在 Ca/Mg 比值，整體而言，高濃度之鎳、鉻、鈷金屬確是明顯之特徵。本研究接續以台東池上地區之三個採樣點土壤剖面之鎳、鉻、鈷金屬及 pH 測值，探討此等金屬之剖面變化及其意義。

振興風化土之 pH 約為 4.5~5.0，且 pH 值有隨剖面深度而增加的趨勢；銅安山黑土之 pH，若不計 40 cm 處之低 pH (約 4.5)，約分布在 5.5~5.9，且表層 pH 較底層者稍高；銅安山紅土 pH 分布在 6.0~6.5，表層者略低 (圖 2)。一般認為蛇紋石土壤之 pH 值約為中性 (Brooks 1987)，但甚少低於 5 或 5.5 (Legros 1992)，因此，以此台東池上地區三個採樣點之土壤 pH 而言，振興風化土之 pH 較低，銅安山黑土及紅土尚在文獻之範圍內，但銅安山黑土有偏低的現象。因這三個土壤剖面採樣點均在池上鄉境內之海岸山脈山坡，且位置相近 (圖 1 中之 S4、S5)，因此假設此三個採樣點具相同之母質。如果此三個採樣點土壤源自相同之母質，則造成土壤 pH 差異之原因可能與風化程度有關；即風化程度越高，其土壤鹽基飽和度越低，因此 pH 值越低 (Chen 2005)。據此，振興風化土受風化之程度大於銅安山黑土及紅土。以 pH 剖面變化而言，振興風化土與銅安山紅土 pH 值略有隨深度而增加的趨勢，可能是表層土壤較深層土壤受風化程度較高，造成鹽基物質在淋洗過程中被移至於較下層土壤所致。然而，銅安山黑土 pH 剖面變化則呈相反之趨勢，或許深度 40 cm 以上之土壤受農民施肥之影響，導致 pH 增高。但土層中所累積之殘株落葉的種類及數量，亦會影響著土壤 pH 剖面的變化。

此三個土壤剖面之鎳、鉻和鈷金屬全量在土壤剖面之分布如圖 3 所示。以振興風化土而言，鎳、鉻和鈷三金屬之剖面分布均呈表土含量較低，而隨著剖面深度增高的現象。由上述土壤 pH 值分析指示，振興風化土為受較高風化程度之土壤，且表層較底層有較高之風化程度，表土礦物因受風化、淋洗下移而造成此三金屬之全量隨剖面深度增加而增高的現象。銅安山黑土亦有相同之變化趨勢，在深度 80 cm 以內之土壤，此三金屬含量在剖面之變異不大；在深度 100 cm 處有高含量出現，此高值亦可能是由淋洗下移所造成。此三金屬含量在銅安山紅土剖面變化較為複雜，而在深度 80 cm 處出現低含量。在深度 80 cm 以內，此三金屬含量隨深度增加而降低；而在超過深度 80 cm 則反之，此現象或許與土層中礦物組成的變異性有關。

基本上，鎳、鉻和鈷三金屬含量之剖面分布受地域性之影響，即不同地區之土壤剖面有不同的金屬含量分布型態。雖本研究同一採樣點之鎳、鉻和鈷三金屬含量之剖面分布類似，但其他重金屬含量在同一採樣點之剖面分布是否會一致，仍難定論。

表 3. 台東池上地區三種不同土壤表層 (0-20 cm) 鎳、鉻、鈷之可溶含量對全量的比值

Table 3. The ratios of soluble to total contents of nickel, chromium, and cobalt in surface layer (0-20 cm) of three different soils in Chishang area

Soil type	Soluble content/ Total content (%)		
	Ni	Cr	Co
Black soil	3.5	~0.1	2.1
Red soil	2.4	0.2	2.4
Weathered soil	12.0	~0.1	5.0

表 4. 蛇紋岩化育土壤區內溪水及藻類之鎳含量

Table 4. The nickel contents of creek water and algae in serpentinite-developed soil regions

Sample ^z	Concentration (mg/L)					
	Reference	C1	C2	C3	C4	C5
Creek water	0.0003 ^y	-	ND	0.001	0.003	-
Algae	2.8 ^x	105	29	82	57	55

^z C1~C5 are the creeks tested in this study. See Fig. 1 and text for the detailed localities and descriptions.^y Faure (1991).^x Mishra & Kar (1974).

本研究續以 0.1 N 鹽酸抽出法分析表層土壤 (0~20 cm) 鎳、鉻和鈷之含量，並與該三金屬在表層土壤的全量對照，以了解鎳、鉻和鈷三金屬之有效性。表 3 顯示，銅安山黑土之 0.1 N 鹽酸抽出之鎳含量與全量之比值為 3.5%，銅安山紅土為 2.4%，而振興風化土為 12%。以鈷而言，銅安山黑土、銅安山紅土、振興風化土之比值分別為 2.1%、2.4%、5.0%。在鉻方面，可溶性和全量間之比值較低，銅安山黑土及振興風化土之比值小於 0.1%，而銅安山紅土約為 0.1%，故以此三種金屬而言，鎳、鈷之有效性大於鉻；以採樣點而言，振興風化土似有較高之金屬有效性。

本研究鎳、鈷之有效性大於鉻與國內外文獻所述結果相同 (Kabata-Pendias & Pendias 1992; Fernandez *et al.* 1999; Hseu 2006)，此現象可能與相關礦物之鍵結強度有關。因鈷、鎳為具二價之離子，而鉻常為三價離子，以鍵結強度而言，與三價鉻離子有關之礦物，其抵抗風化作用的能力會大於與二價鎳、鈷有關之礦物。振興風化土似有較高之金屬元效性，應與前述其受風化之程度大於銅安山黑土及銅安山紅土有關；因岩體受風化程度越高，其礦物結構越易分解。

由上可知，鎳和鈷為二價之離子，在土壤風化程度高之地區具較大之移動性，而花東縱谷地區之灌溉水源主要來自河水，為瞭解河水受蛇紋岩化育土壤影響之情況，本研究續比較台東池上鄉振興村境內之嘉武溪及大水湖野溪，花蓮卓溪鄉境內之清水溪，花蓮萬榮鄉境內之紅葉溪，以及花蓮秀林鄉境內之白鮑溪等溪水及溪流中剛毛藻屬 (*Cladophora*) 藻類中之鎳含量。表 4 顯示，供試之溪水的鎳含量雖然很低，但其值仍顯著高於一般溪水 (表 4)。各溪流剛毛藻屬藻類 (乾重) 之鎳含量分布範圍為 29~105 mg/kg，如以海草之鎳含量平均值 (2.8 mg/kg, Mishra & Kar 1974) 做對照，顯然供試溪水之藻類體內鎳含量比對照高達 10~40 倍之多。

雖然 Chen (2005) 在台東池上鄉振興村之銅安山的研究指出蛇紋岩土壤中鎳、鉻之結合型態皆是以殘餘態為主，縱使蛇紋岩土壤特性含有極高的重金屬全量，但絕大部分的重金屬皆是被土壤晶格所固定，且在酸可交換態與可還原態的含量偏低，所以蛇紋岩土壤中鎳、鉻的生物有效性與移動性低。但細究其分析數據顯示，植體鎳之平均含量為 16.7 mg/kg，鉻為 19.6 mg/kg (Chen 2005)，顯較一般植體之鎳、鉻平均含量 (2.7 與 1.0 mg/kg) 分別大了約 5 與 20 倍。顯然高含量土壤重金屬之背景，仍可能造成植作出現較高之重金屬含量現象。

以各溪而言，紅葉溪支流溪水及藻類中之鎳含量較其他溪為低，與一般溪流之值相似，可能其溪水集流之時間較短，因此受蛇紋岩化育土壤之影響較小所致。白鮑溪及清水溪水中藻類之鎳含量明顯較高，可能是此二集水區之土壤為風化程度較高之蛇紋岩化育土壤，且白鮑溪上游存有廢棄之石棉、玉礦場的礦渣所致。因此，由上述溪水及藻類中鎳含量之資料顯示，東部蛇紋岩區岩石及土壤之重金屬組成特性會影響該區之水質及溪流藻類，至於是否會進一步影響灌溉區或沖積地農田作物之生長，則需進一步之追蹤調查。由於花東縱谷區內之主要河流之水源大都源自西側之中央山脈，而蛇紋岩及蛇紋岩化育土壤主要分布在東側之海岸山脈。相較而言，海岸山脈所能提供的水量較少，因此，源自海岸山脈溪水中高金屬含量的現象可能會被中央山脈的水源所稀釋。

另外，在關山、池上東岸山區之蛇紋岩化育土壤其構造良好，屬中強度之團粒狀構造，其土壤剖面亦可見破碎、半風化之蛇紋石，且構造良好；一般而言，蛇紋岩化育土壤土壤孔隙大，排水性佳，故易造成淺土或表土容易缺水 (Burt *et al.* 2001)。但在發育深厚之土層內部，質地則為粘土至粘質壤土，容易結成不透水之構造，導致水分積聚、排水不良的現象 (Chen 2005; Hseu 2006)，故農作之耕犁方式及水分管理需特別注意。因為蛇紋岩所化育的土壤中，常由於含有過多的重金屬而對植物有害，假如其 pH 小於 8，則重金屬的毒害將較嚴重 (Wang 2000)。由振興風化土、銅安山黑土及銅安山紅土三處土壤之 pH 測定偏酸的現象，顯示在台灣東部蛇紋岩化育土壤地區之植作，應注意是否有重金屬含量過高的疑慮。

綜合上述討論可知，台灣東部蛇紋岩化育土壤之重金屬組成特性沿襲其母質之特性，具有高濃度之重金屬含量及低 Ca/Mg 值之特徵。鎳、鉻和鈷之有效性與區域性土壤所受風化作用強弱有關；風化程度越高之地區，因礦物結構越易分解，致其鎳、鉻和鈷之有效性也越大。同一地區而言，鎳和鈷之有效性大於鉻，此與相關礦物之鍵結強度有關。由本研究東部蛇紋岩化育土壤區內溪水及溪流中藻類中之鎳含量結果顯示，研究區內溪水及藻類之鎳濃度明顯較背景值高；同時，研究區內蛇紋岩化育土之 pH 偏酸。因此，在東部蛇紋岩化育土壤地區之植作應注意是否有重金屬有效性過高的疑慮；同時，對於東部蛇紋岩化育土壤地區重金屬特性應有更進一步做全面性且深入的探討。

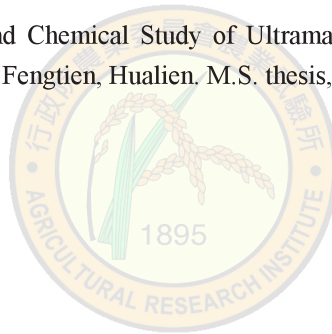
誌 謝

作者感謝二位未具名之審稿者提供諸多建設性之修正意見；同時感謝國立中興大學土壤環境科學系彭宗仁助理教授提供地質方面之資料及建議，范家華小姐協助繪製圖表。

引用文獻 (Literature cited)

- Adriano, D. C. 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York. 533 pp.
- Anderson, A. J., D. R. Meyer, and K. M. Mager. 1973. Heavy metal toxicities: Level of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop. *Aust. J. Agric. Res.* 24:557-571.
- Aubert, H., and M. Pinta. 1977. Trace Elements in Soils. Elsevier, Amsterdam, Netherland. 395 pp.
- Brooks, R. R. 1987. Serpentine and its Vegetation: A Multidisciplinary Approach. Dioscorides Press, Portland. 454 pp.
- Burt, R., M. Fillmore, M. A. Wilson, E. R. Gross, R. W. Langridge, and D. A. Lammers. 2001. Soil properties of selected pedons on ultramafic rocks in Klamath Mountains, Oregon. *Commun. Soil Sci. & Plant Anal.* 32:2145-2175.
- Chen, C. H. 1990. Igneous Rocks of Taiwan. Central Geology Survey, Ministry of Economic Affairs, Taipei. 137 pp. (in Chinese).
- Chen, C. H. 1998. Metamorphic Rocks of Taiwan. Central Geology Survey, Ministry of Economic Affairs, Taipei. 356 pp. (in Chinese).
- Chen, Y. C. 2005. Biogeochemical Characteristics of Chromium and Nickel in the Serpentinic Soils at Chih-Sang area in Taitung. M. S. thesis, Natl. Pingtung Univ. Sci. & Tech. 163pp. (in Chinese with English abstract).
- Chiang, Y. M. 1972. Taxonomy of chlorophyta division. p.394-403. *in: The Sun Yat-Sen Glossary of Natural Sciences*, Vol. 8. (Wang *et al.* eds.) The Commercial Press Ltd., Taipei. (in Chinese).
- Chiu, T. F., S. S. Chang, and C. S. Lin. 1979. Observation experiments of trace element on peanut. p.79. *in: Annual Report of Soil and Fertilizer Experiment in 1979*. Department of Agriculture and Forestry, Taiwan Provincial Government. Chung Hsing New Village, Taiwan. (in Chinese).
- Coleman, R. G. 1977. Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere. Springer-Verlag, New York. 229 pp.
- Faure, G. 1991. Inorganic geochemistry. Macmillan Publishing Company, New York. 626 pp.
- Fernandez, S., S. Seoane, and A. Merino. 1999. Plant heavy metal concentrations and soil biological properties in agricultural serpentine soils. *Commun. Soil Sci. & Plant Anal.* 30:1867-1884.
- Hseu, Z. Y. 2006. Concentration and distribution of chromium and nickel fractions along a serpentinic toposequence. *Soil Sci.* 171(4):341-353.
- Kabata-Pendias, A. , and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, FL. 365pp.
- Kruckbery. A. R. 1951. Intraspecific variability in the response of certain native plant species to serpentine soil. *Am. J. Bot.* 38:409-419.
- Legros, J. P. 1992. Soils of Alpine mountain. p.155-176. *in: Weathering, Soils & Paleosols*. (Martini, I. P. and W. Chesworth, eds.) Elsevier, Amsterdam, Netherland.

- Mishra, D., and M. Kar. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *Bot. Rev.* 40(4):395-452.
- Rabenhorst, M. C., J. E. Foss, and D. S. Fanning. 1982. Genesis of Maryland soils formed from serpentinite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:607-615.
- Soane, B. D., and D. H. Saunder. 1959. Nickel and chromium toxicity of serpentine soils in Southern Rhodesia. *Soil Sci.* 88:322-330.
- Tan, L. P. 1979. Lateral Variation of the Ultramafic Rocks Associated with Nephrite Deposits in the Fengtien-Wanyung Area, Taiwan. National Science Council, Taipei. 87pp.
- Vanselow, A. P. 1966. Nickel. p.302-309. *in: Diagnostic Criteria for Plants and Soils.* (Chapman, H. D., ed.) University of California, CA.
- Wang, M. K. 2000. *Minerology in Soil Environments.* Yi Hsien Publishing Company, Taipei. 818pp. (in Chinese).
- Wildman, W. E., M. L. Jackson, and L. D. Whitting. 1968. Iron-rich montmorillonite formation in soils developed from serpentinite. *Soil Sci. Am. Proc.* 32:787-794.
- Yui, T. F. 1979. Mineralogical and Chemical Study of Ultramafic rocks and Associated Metasomatic Zones in Laonaoshan Area, Fengtien, Hualien. M.S. thesis, Natl. Taiwan Univ. 104 pp.



Preliminary Study on Heavy Metal Characteristics in Serpentine-developed Soil Regions in Eastern Taiwan¹

Tsang-Sen Liu^{2,3}, Horng-Yuh Guo², Jiang-Liung Chu² and Shen Lian¹

Abstract

Liu, T. S., H. Y. Guo, J. L. Chu, and S. Lian. 2007. Preliminary study on heavy metal characteristics in serpentine-developed soil regions in Eastern Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 56:65-78.

Characteristics of heavy metal contents in rocks, soils, creeks, and algae have been preliminarily analyzed in serpentine-developed soil regions in eastern Taiwan for understanding the potential effect of heavy metals on agriculture environments in this area. The results showed that the serpentine-developed soils with high content of heavy metals and low Ca/Mg ratios are similar to their parent rocks. Soil profile analyses of pH and contents of nickel, chromium, and cobalt at three sampling sites indicated that the pH of these serpentine-developed soils was affected by degree of weathering. These soils exhibited acid feature with the pH ranging from 4.5~6.5 depending on the extent of weathering. High-weathered regions with lower pH value had the greater availability of heavy metals than that in low-weathered regions with higher pH value. The availability of nickel and cobalt in each sampling site was greater than that of chromium. Our results suggested that the agriculture in serpentine-developed soil regions in eastern Taiwan should pay more attention to the potential hazard of heavy metals because the soil pH values were low and the nickel contents were high in creek waters and algae in this area.

Key words: Serpentine-developed soil, Heavy metal, Eastern Taiwan.

1. Contribution No.2282 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: March 25, 2007.

2. Respectively, Assistant Researcher, Researcher, Assistant Researcher and Retired Researcher, Department of Agricultural Chemistry, TARI., Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Corresponding author, e-mail: tslu@wufeng.tari.gov.tw; Fax: (04)23398149.