

# 化育自變質岩與火成岩母質的台灣紅壤性質 Properties of Taiwan Red Soils Derived from Metamorphic and Igneous Rocks

江志峰<sup>1</sup>      黃政恆<sup>2</sup>      王明果<sup>2\*</sup>  
C. F. Chiang<sup>1</sup>    J. H. Huang<sup>2</sup>    M. K. Wang<sup>2\*</sup>

## 摘要

選擇三個化育自蛇紋岩、安山岩及玄武岩的台灣紅壤，探討其形態、理化性質、礦物種類及分類地位，結果發現母質及時間為三個土壤樣體化育的主要控制因子。三個土壤樣體的粘粒含量在A到Bt化育層間顯著增加，在關山系及東衛系Bt化育層均能發現粘粒膜，可是粘粒膜只發現於淡水系底層土壤，主要因淡水系所受風化作用最劇烈。強烈的風化作用，使關山系及淡水系土壤pH值偏低，東衛系土壤則因東北季風帶來細顆粒珊瑚粒子於表層，而呈鹼性反應。赤鐵礦為土壤中主要的氧化鐵礦物；層狀矽酸鹽粘土礦物以高嶺石為主，且含量隨土壤深度增加而減少，但是只有淡水系土壤因其CEC值小於24 cmol(+)/kg clay，符合低活性粘粒土壤性質。根據美國土壤分類系統，關山系、淡水系及東衛系分別分類為粘質、混合、炎熱的典型暗紅潤淋餘土，粘質、混合、炎熱的極育簡潤淋餘土及粘質、混合、炎熱的典型過育乾熱淋餘土。

關鍵字：安山岩，蛇紋岩，玄武岩，粘粒膜，赤鐵礦，淋餘土，低活性粘粒。

## ABSTRACT

Three well-drained red soil profiles derived from serpentine, andesite, and basalt materials were selected to study their characteristics. We found that different parent materials and time control significantly their pedogenic ways. In Ks and Btw soil series whose parent materials were mainly serpentine and basalt rocks, an increase in clay content from topsoil to B horizon and existence of clay skins was observed in all Bt horizons; however, clay skins were only found in the lower Bt horizon for Ts soil series from andesite due to the destroy of clay skins under more and longer strongly weathering conditions. Since the weathering state is high throughout the pedons, Ks and Ts soil series were acidic. The higher pH of surface soil for the Btw soil series was due to the addition of fine coral particles carried by northeastern monsoon. Hematite was the most abundant Fe oxide mineral in these soils. Kaolinite was the dominant layer silicate mineral and its content decreased with depth. Only Ts soil series was qualified as low activity clay soil due to its CEC less than 24 cmol(+)/kg clay. According to Soil Taxonomy, Ks, Ts, and Btw soil series were classified as clayey, mixed, hyperthermic Typic Rhodudalfs.

<sup>1</sup> 行政院農業委員會農業試驗所農業化學系。Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan.

<sup>2</sup> 國立中興大學土壤環境科學系。Department of Soil Environmental Science, National Chungshing University, Taichung, Taiwan.

\* Corresponding Author.

clayey, mixed, hyperthermic Ultic Hapludalfs, and clayey, mixed, hyperthermic Typic Paleustalfs, respectively.

Keywords: andesite, serpentine, basalt, clay skin, hematite, Alfisols, low activity clay.

## 前 言

土壤母質是決定土壤顏色生成的重要因子，而土壤顏色不僅反應出土壤礦物種類，而且是評估土壤排水情況的指標，也是判斷土壤風化程度高低的重要依據 (Yoothong 等人, 1997; Schwertmann, 1993; Fanning 及 Fanning, 1989)。母質中含鐵礦物的多寡，對於B層土壤顏色生成的影響最大 (Richardson, 1993)，一般酸性火成岩的鐵鎂礦物含量低於鹼性火成岩，因此風化後所生成的土壤顏色較黃 (Buol 等人, 1974)，而鹼性火成岩除了容易風化外，其風化後所生成的粘粒含量也會較酸性火成岩高。

台灣地處亞熱帶低區，化育生成紅壤的母質有玄武岩、安山岩、蛇紋岩、石灰岩與第四紀洪積層沖積物質，而其中以化育自第四紀洪積層沖積物質所生成的紅壤面積分佈最廣，主要分佈於西部地區蝕餘丘陵和台地，因此研究上也較為廣泛 (莊作權等, 1967; 陳振鐸, 1966; 梁鉅榮及黎靜韻, 1968)，但是對於變質岩及火成岩所生

成的紅壤，則只有少數的報告 (張仲民, 1975; 梁鉅榮及黎靜韻, 1965)，且台灣土壤分類系統主要根據美國農部 1949 年分類體系，而與現今美國分類體系有所脫軌，所以本文研究目的在於探討化育自變質岩與火成岩母質台灣紅壤的性質，與在美國新分類體系下的分類位階 (Soil Survey Staff, 1998)。

## 材料與方法

分別於台灣東部、北部及澎湖離島採集化育自超鹼性蛇紋岩(變質岩)母質的關山系(Ks)、安山岩(偏鹼性火成岩)所生成的淡水系(Ts)及玄武岩(鹼性火成岩)所生成的東衛系(Btw)土壤剖面，關山系年平均氣溫、夏季及冬季溫度為 23.7、27.8 及 19.1°C，年平均雨量及蒸發散量分別為 1835 及 1154 mm；淡水系年平均氣溫、夏季及冬季溫度為 22.2、26.8 及 17.6°C，年平均雨量及蒸發散量分別為 2054 及 1533 mm；東衛系年平均氣溫、夏季及冬季溫度為 22.9、27.0 及 18.8°C，年平均雨量及蒸發散量分別為 1847 及 1013 mm；三個土壤剖面的地理位置、母質及生成環境如表一所示，土壤溫度境況由年平均氣溫加上 1°C 概估，推論其年平均土壤溫度高於 22°C，平均夏冬季土壤溫差高於 8°C，所以三個土壤溫度境況均為炎熱的；而土壤水分境況由月平均雨量、氣溫及蒸發散量資料判斷，得知除了東衛系為

Table 1. The Geographic, parent materials and environmental conditions of sampled profiles

Soil Series	Ks	Ts	Btw
Latitude and Longitude	(23° 02'05", 121° 10'47")	(25° 16'46", 121° 30'32")	(23° 34'25", 119° 35'45")
Elevation (M)	200	50	30
Parent Materials	Serpentine	Andesite	Basalt
Soil Temperature Regime	Hyperthermic	Hyperthermic	Hyperthermic
Soil Moisture Regime	Udic	Udic	Ustic

乾熱外，關山系及淡水系則為潤的。

以虹吸法分析土壤質地；總體密度以不鏽鋼上環於野外採集樣品，而後於實驗室分析；水分含量以壓力膜方法測定；pH值分別採1：1蒸餾水或氯化鉀與土壤(重量比)，以pH電極測定；以Walkley-Black濕燒法測定土壤有機質含量；陽離子交換能量(CEC)採Peech(1947)等人之方法，各種交換性陽離子含量用原子吸光儀分析；游離鐵(Fe)含量採用Mehra及Jackson(1960)方法分析；礦物種類以X射線繞射(XRD)分析，分別有下列五種處理：鎂飽和、鎂及丙三醇飽和、鉀飽和室溫、鉀飽和350°C處理2小時及鉀飽和550°C處理2小時(Soil Conservation Service, 1982)。

## 結果與討論

### 一、形態特徵

關山系土壤樣體位於海岸山脈南端的丘陵緩坡，坡度約8%，在Bt層可以發現粘粒膜，儘管粘粒膜在富含膨脹性粘粒的上層不容易存在(Nettleton等, 1969)，表層質地為粉質粘土，粘聚層質地為粘土，顯示粘粒的洗入作用，雖然在形態特徵上，並沒有發現明顯的洗出層，但是在表層與洗入層間的層界則相當清楚(表二)。土壤構造及結持度則以鈍角塊狀及易碎的為主；A與B層土壤顏色介於10YR到2.5YR(潤)之間，土壤顏色偏紅，主要歸因於超鹼性蛇紋岩母質所含大量容易風化的鐵鎂礦物，因風化作用而釋放出來所致；A層因有機質含量較高，所以有偏低的色質與色度(2/1)(Fernandez等, 1988)，在BC過渡層以下的土壤顏色呈偏黃(10Y)，意味風化程度較低。

淡水系土壤樣體位於北部濱海公路旁

的低丘陵地上，坡度約10%，在接近地表的Bt層，並沒有發現粘粒膜，而在Bt8以下的層次，才能依稀判斷出粘粒膜的存在，由於高度風化的結果，不只是土體相當厚，而表層的粘粒膜也已經被破壞。Cady及Daniel(1968)也發現土層較厚的極育土，雖然有粘粒的洗入作用，但通常只能在底層或無法發現粘粒膜的生成。土壤構造及結持度則以鈍角塊狀及柱狀為主(表二)，但柱狀構造為複合構造，會再破裂為鈍角構造；表層土壤的結持度為易碎的，但底層土壤因粘粒含量較高，而呈緊密的結持度；其土壤母質屬偏鹼中性安山岩，在挖掘至270公分時仍未達C層，雖然土壤剖面很厚，但因母質鐵鎂礦物含量較低，所以土壤顏色多呈5YR至7.5YR，而在土壤底層188公分以下，顏色則又偏紅(5YR)，表示表層風化後的鐵可能已經淋洗至底層。

東衛系土壤樣體所在的坡度約3%，其在Ap與Bt1層之間有質地突變現象，因此層界也相當清楚(表二)，在Bt層構造間可以發現粘粒膜，土壤構造類似淡水系，但是結持度則較為緊密；其雖然由玄武岩風化而成，其土壤剖面深度最淺，C層以下為腐岩所構成，岩石構造清晰可見。但是本土壤表層具有最紅的顏色，而依土壤顏色(2.5YR-10R)判斷，鐵礦物以赤鐵礦為主(Bigham等, 1978)。

### 二、物理性質

具有粘聚層土壤的表土質地，可能由極粗的砂土到極細的粉質粘土，分佈範圍相當廣泛(Smyth及Montgomery, 1972；Ross及Presant, 1976)。而所採集的二個剖面，土壤質地為粘質壤土至粉質粘土(表三)，其中以關山系土壤表層的質地最細，為粉質粘土。由於粘粒可能因聚集作用而

Table 2. Morphological properties of three selected pedons

Soil Series	Depth(cm)	Horizon	Munsell Color		Texture	Structure <sup>1</sup>	Consistence <sup>2</sup>	Boundary <sup>3</sup>
			Moist	Dry				
Ks	0-15	A	2.5YR 2/1	5YR 3/2	SiC	3f-mgr + 2msbk	fr	cs
	15-31	Bt1	10R 3/4	5YR 4/6	C	2f-msbk	fr	gs
	31-55	Bt2	2.5YR 3/4	5YR 4/6	C	2msbk	fr	gs
	55-75	Bt3	2.5YR 3/4	5YR 4/4	C	2-3msbk	fr	gs
	75-91	BC	10Y 6/2	10Y 7/2	C	2msbk	fr	gw
	91-109	C1	10Y 6/2	10Y 7/2	SiC	2msbk	fr	gs
	109-128	C2	10Y 6/2	10Y 7/2	SiC	3msbk	fr	cs
	128-145	C3	10Y 6/2	10Y 7/2	SiC	3msbk	fi	
Ts	0-6	A	7.5YR 3/4	10YR 6/6	SiCL	1mgr+2fsbk	fr	cw
	6-20	Bt1	5YR 3/4	10YR 6/6	SiCL	1cabk+2fsbk	fr	gs
	20-39	Bt2	5YR 4/4	7.5YR 6/8	SiCL	1cpr+2fsbk	fr	gs
	39-65	Bt3	5YR 4/4	10YR 6/6	SiCL	1cpr+2fsbk	fr	gs
	65-89	Bt4	5YR 5/6	10YR 6/6	SiCL	1cpr+2fsbk	fr	gs
	89-127	Bt5	5YR 5/6	10YR 6/6	SiCL	1cpr+2fsbk	fr	ds
	127-161	Bt6	5YR 5/6	10YR 6/8	SiCL	1cpr+2msbk	fr	ds
	161-188	Bt7	5YR 5/6	7.5YR 6/8	C	2cpr+2msbk	fi	ds
	188-229	Bt8	2.5YR 3/6	5YR 5/8	C	2cpr+2msbk	fi	ds
	229-270	Bt9	2.5YR 3/6	5YR 5/8	C	2cpr+2msbk	fi	
Btw	0-16	Ap	2.5YR 3/4	5YR 4/4	CL	2-3cabk	fi	as
	16-38	Bt1	10R 3/6	2.5YR 4/6	C	3cpr + csbk	vfi	ds
	38-62	Bt2	10R 3/6	2.5YR 4/6	C	3m-cpr + csbk	fi	ds
	62-88	BC	10R 3/6	2.5YR 4/6	SiCL	3m-cpr + csbk	fi	ci
	88-180	C						

<sup>1</sup> 1: weak, 2: moderate, 3: strong; f: fine, m: medium, c: coarse; gr: granular, sbk: subangular blocky, abk: angular blocky, pr: prism.

<sup>2</sup> fr: friable, fi: firm, vfi: very firm.

<sup>3</sup> c: clear, g: gradual, a: abrupt, d: diffuse; w: wave, m: smooth, i: irregular.

形成粉粒 (Ahh, 1979; Verheye, 1974), 再加上富含游離鐵的土壤, 分散不易, 因此往往造成土壤粘粒含量的低估。然而, 粘粒含量在關山系土壤剖面的變化(表三), 不僅是粘粒含量量由 45.3 增至 59.9%, 而細粘粒含量也增加了 10%, 並且細粘粒對總粘粒含量比值也增加了 1.36 倍, 強烈顯示粘粒在土壤剖面中的位移, 但由於粘粒增加量未達 20%, 因此不屬於質地突變現象 (Soil Survey Staff, 1998)。關山系土壤的低

總體密度, 約在  $1.1 \text{ Mg m}^{-3}$  左右, 常見於在潤水分境況之環境, 主要可能是高土壤動物活性所造成 (Lal, 1976)。水分結持力的多寡, 不外乎受到有機質、土壤構造與粘粒含量及種類所影響, 本樣體具有高粘粒含量、鈍角塊狀構造及低總體密度, 因此在 33 及 1500 kPa 張力下, 其水分結持力明顯較淡水系為高, 但是除了 C 層土壤因質地為粉質粘壤土外, 其土壤的有效水分含量則偏低。

Table 3. Physical properties of three selected pedons

Soil Series	Depth(cm)	Horizon	Particle Size Distribution				Fine Clay/Total Clay	Bulk Density	Water Content	
			Sand	Silt	Clay	Fine Clay			33kPa	1500kPa
			.....%.....				Mg m <sup>-3</sup>		.....%.....	
Ks	0-15	A	7.3	46.9	45.3	12.5	0.28	1.13	33.3	22.8
	15-31	Bt1	5.2	34.9	59.9	22.8	0.38	1.10	40.3	32.2
	31-55	Bt2	4.7	25.0	69.4	32.7	0.47	1.10	42.7	36.0
	55-75	Bt3	5.5	26.7	67.3	30.8	0.46	1.17	46.8	35.2
	75-91	BC	7.6	33.1	59.3	22.4	0.38	45.2	33.9	
	91-109	C1	12.8	41.0	46.2	12.8	0.28	50.8	36.8	
	109-128	C2	9.7	43.3	47.0	13.8	0.29	53.0	37.5	
	128-145	C3	9.6	48.2	42.2	10.7	0.25	53.4	35.9	
Ts	0-6	A	10.2	45.3	44.5	24.0	0.54	1.48	29.0	18.2
	6-20	Bt1	3.7	41.5	54.8	29.5	0.54	1.56	28.0	19.9
	20-39	Bt2	2.6	43.7	53.7	26.4	0.49	1.53	29.5	20.8
	39-65	Bt3	2.6	44.9	52.5	25.2	0.48	1.56	31.5	20.7
	65-89	Bt4	3.9	45.7	50.4	22.0	0.44	1.51	33.9	20.9
	89-127	Bt5	4.2	41.8	54.0	24.3	0.45	1.49	34.9	22.0
	127-161	Bt6	4.5	41.6	53.9	25.1	0.47	1.50	30.1	22.8
	161-188	Bt7	5.1	38.9	56.0	26.4	0.47	1.44	36.9	23.7
	188-229	Bt8	2.4	31.0	66.6	37.3	0.56	1.53	34.9	25.8
229-270	Bt9	2.8	32.1	65.1	38.1	0.59	1.51	34.9	27.3	
Btw	0-16	Ap	38.3	26.5	35.2	18.0	0.51	27.8	19.8	
	16-38	Bt1	2.3	22.2	75.5	45.5	0.60	1.48	47.9	35.5
	38-62	Bt2	2.7	33.3	64.0	38.7	0.60	1.42	45.5	34.0
	62-88	BC	19.6	49.1	31.3	16.1	0.51	1.46	43.9	25.6
	88-180	C	33.4	47.2	19.4	7.0	0.36	1.48	41.5	23.6

淡水系土壤的總粘粒含量隨土壤深度的增加而增加(表三)，在 A 與 Bt1 層的粘粒含量增加了 10%，且細粘粒也增加了 5%，但是其細粘粒對總粘粒含量比值卻沒有變化，該比值甚至隨著土壤深度增加而減少，一直到 Bt8 層時才又增加，細粘粒對總粘粒含量比值在 Bt1 到 Bt7 層之間不變或減少的情形，類似氧化土綱的氧化層粘粒分布情形，即意味著本土壤所受風化程度很高，其接近表層的細粘粒已經被風化所破壞，而在 Bt8 層以下的土層，因所受風化作用較輕微，因此總粘粒、細粘粒及細粘粒對總粘粒含量比值才又增加，而此結果與

只在 Bt8 層以下土層才發現粘粒膜的形態特徵相符。淡水系土壤總體密度高於關山系土壤，約為 1.5 Mg m<sup>-3</sup>，主要原因是土壤構造以粗柱狀構造(表二)為主。本樣體雖然總體密度較關山系為高，但由於其質地為坩質粘壤，反而使得土壤有效水分較高。

東衛系土壤的總粘粒含量，由 Ap 至 Bt1 層在 7.5 公分內增加了 40%(表三)，符合質地突變現象的定義，細粘粒含量也大幅增加 27%。主要是由於本樣體所在地勢相當平坦，加上乾熱水分境界，乾濕交替相當明顯，有助於粘粒的洗入作用(Fanning 及

Fanning, 1989)。而本樣體的Bt層只有46公分，卻有如此高的粘粒含量與洗入作用，表示化育自玄武岩母質土壤極易風化。土壤樣體的總體密度與淡水系樣體類似，由於其與淡水系樣體均以粗柱狀土壤構造為主，因此總體密度比以鈍角塊狀構造為主的關山系樣體為高。33及1500 kPa張力下的水分結持能力，在高粘粒(76%)的Bt層最高，顯示水分結持力主要來自於粘粒含量的貢獻(Philipson及Drosdoff, 1972)。

### 三、化學性質

鹼性蛇紋岩風化所成的關山系土壤，

其pH值介於5.3到6.1之間(表四)。其中以表土層pH值最高，此乃由於植物根對鹽基再吸收作用造成，所以表層土壤的鹽基飽和度也比Bt層高。在每個化育層KCl所測得的pH值均較水測值為低，表示土壤靜負電荷量高於靜正電荷含量(Shoji等人, 1987)。土壤有機碳含量隨著土壤深度而漸減，較高的有機質表層是提供表土CEC值較Bt層高的原因，否則，CEC應以高粘粒含量的Bt層較高。然而在粘粒含量較低的C層，卻具有最高的CEC值，則表示在Bt層的粘粒種類可能是含有多量的低活性粘粒，如高嶺石、鐵鋁氧化物(Jungarius及

Table 4. Chemical properties of three selected pedons

Soil Series	Depth(cm)	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	O.C.	Exchangeable Bases				CEC	BSP	Fed	CEC NH <sub>4</sub> OAc
						K	Na	Ca	Mg				
					mg/kg	.....cmol(+)/kg soil.....				.....%		cmol(+)/kg clay	
Ks	0-15	A	6.1	5.0	45.9	0.1	0.7	13.8	8.1	25.8	88	10.1	57
	15-31	Bt1	5.7	4.6	28.3	0.1	0.3	7.6	8.0	22.8	70	12.8	38
	31-55	Bt2	5.5	4.6	18.7	0.1	0.2	6.3	8.9	25.6	61	17.1	37
	55-75	Bt3	5.3	4.4	12.0	0.1	0.3	7.4	15.9	33.6	71	14.8	50
	75-91	BC	5.4	4.4	9.6	0.1	0.4	8.1	16.2	31.8	78	13.5	54
	91-109	C1	5.5	4.4	6.4	0.1	0.4	4.4	22.8	38.9	71	12.8	84
	109-128	C2	5.7	4.4	4.3	tr	0.4	11.5	24.4	41.3	88	10.1	88
	128-145	C3	5.8	4.5	3.2	0.1	0.4	11.7	25	41.8	89	10.7	99
	Ts	0-6	A	5.0	4.0	27.3	0.6	0.3	1.6	1.4	15.7	21	3.9
6-20		Bt1	5.1	4.0	10.1	0.4	0.2	0.8	1.1	10.2	21	4.4	19
20-39		Bt2	5.2	4.1	5.0	0.3	0.4	1.4	1.8	9.8	37	4.4	18
39-65		Bt3	5.3	4.1	3.6	0.2	0.4	1.8	1.9	9.9	41	4.3	19
65-89		Bt4	5.3	4.1	3.5	0.2	0.5	1.9	2.0	10.4	42	4.3	21
89-127		Bt5	5.4	4.1	2.6	0.2	0.5	1.7	2.5	10.9	43	4.6	20
127-161		Bt6	5.3	4.1	2.1	0.2	0.5	1.6	2.9	10.9	46	4.6	20
161-188		Bt7	5.3	4.1	2.1	0.2	0.5	1.5	3.2	11.2	46	5.1	20
188-229		Bt8	5.3	4.2	2.0	0.2	0.5	1.4	3.0	11.9	41	4.7	18
Btw	229-270	Bt9	5.2	4.2	1.8	0.2	0.4	1.5	2.9	12.5	38	5.0	19
	0-16	Ap	8.3	7.5	13.0	0.5	1.0	25.0	6.3	19.2	100	10.7	55
	16-38	Bt1	8.0	7.9	5.5	0.1	0.7	11.2	4.6	15.2	100	16.6	20
	38-62	Bt2	7.6	7.4	3.3	0.1	0.6	4.8	3.6	14.8	61	18.3	23
	62-88	BC	7.2	7.2	2.3	tr	0.7	2.1	3.6	12.7	50	16.2	41
88-180	C	6.5	6.4	0.8	tr	0.7	2.4	3.6	10.6	63	16.3	55	

Levelt, 1964), 另外在較底層的C層仍含有大量的高活性粘粒, 主要可能是接受來自表層矽酸鹽的洗入, 而底層具有較高的鹽基飽和度, 也有助於高活性粘粒的生成與穩定性。亞表層土壤中的交換性鹽基以鎂為主, 且含量隨著土壤深度的增加而增加。此不只表示蛇紋岩母質內含有大量的鐵鎂礦物, 而且隨著風化作用仍不斷的釋出。由於Bt層的CEC值高於24 cmol(+)/kg clay, 顯然土壤中仍含有大量的高活性粘粒(Juo, 1980)。由於母質中含有大量的鐵鎂礦物, 使各層土壤中的游離鐵含量均高於10%, 而土壤中大量游離鐵的存在, 會膠結粘粒而阻礙粘粒在土壤中的洗入作用(Fanning 及 Fanning, 1989), 而由表四結果發現, 具有最高總粘粒或細粘粒的土層, 其游離鐵含量也高, 顯示土壤中的粘粒與游離鐵可能是一種共同洗入作用。

高度風化作用不僅使淡水系土壤有很厚的土體, 而強烈的淋洗作用也使土壤的pH值在5.2左右(表四), 鹽基飽和度在土壤表層為21%, 但在Bt層以下的土壤則高於

35%。除了表土層外, 其他土層的粘粒含量高於50%, 但是CEC卻低於24 cmol(+)/kg clay, 顯然其粘粒種類是以低活性粘粒為主要礦物, 而且因其母質為安山岩, 即使在粘粒含量最高的Bt8化育層, 其游離鐵含量也低於另外兩種母質(表四), 因此高嶺石為土壤中的主要矽酸鹽粘土礦物(表五)。

化育自玄武岩的東衛系土壤, 土壤的pH值並不因淋洗作用而底層較高, 反而越表層越高, 甚至高達8.3(表四), 主要可能是在澎湖地區, 冬季時東北季風盛行, 帶來細顆粒的珊瑚粒子覆蓋在土壤表層, 珊瑚粒子風化後釋出大量鹽基所造成, 另外由交換性鹽基種類及含量中, 也可以發現交換性鈣離子濃度遠高於其他種類的交換性陽離子, 且因此在土壤表層的鹽基飽和度高達100%。玄武岩母質內含有大量的鐵鎂礦物, 因此其游離鐵含量也較淡水系土壤高, 而游離鐵含量在土壤中的分佈與關山系土壤類似, 也是以高粘粒的化育層較高, 但是在粘粒含量較低的BC及C化育層, 其游離鐵含量仍高達16%, 表示高游

Table 5. Kinds of clay minerals and relative amounts assigned by XRD diffractograms after DCB treatment for selected horizons of three pedons

Soil Series	Depth (cm) Horizon		Clay Mineralogy			
Ks	0-15	A	KK <sup>1</sup> 3 <sup>2</sup>	M11	VR3	VC1
	55-75	Bt3	KK2	M11	VR3	VC1
	128-145	C3	KK1	M11	VR4	VC1
Ts	6-20	Bt1	KK3	M12		VM1
	20-39	Bt2	KK3	M12	VR2	
	39-65	Bt3	KK3	M12	VR2	
	188-229	Bt8	KK3	M12	VR1	
Btw	0-16	Ap	KK4	M11	VR1	SM1
	16-38	Bt1	KK2		VR1	
	62-88	BC	KK2		VR1	
	88-180	C	KK2		VR1	

<sup>1</sup> KK: kaolinite, MI: mica, VR: vermiculite, VC: vemi-chl interlayer, SM: smectite, VM: veri-mica interlayer.

<sup>2</sup> 4: abundant, 3: common, 2: little, 1: very little.

離鐵含量阻礙粘粒繼續往下洗入。而C層主要由腐石所組成，卻仍有如此高的游離鐵含量，表示玄武岩母質容易因風化作用，而釋放出大量的游離鐵，所以土壤顏色較其他兩種土壤為紅(表二)。

#### 四、礦物性質：

生成於潤及乾熱水分境況的土壤，其鐵氧化物分別以針鐵礦及赤鐵礦為主(Schwertmann, 1993)，然而因結晶構造、顆粒大小、同構取代及含量等緣故，土壤中之鐵氧化物往往無法用X射線繞射儀判斷，而土壤顏色成為判斷鐵氧化物的重要指標。土壤顏色為5YR或更紅，鐵氧化物是以赤鐵礦為主要礦物，若為10YR或更黃，則幾乎是以赤鐵礦為主要礦物(Bigham, 1978)。雖然本文未對鐵氧化物進行X射線繞射分析，但是即使做X射線繞射分析可能也難以的到此礦物之特性繞射峰，而由土壤顏色判斷(表二)，除了淡水系表土顏色為7.5YR外，其餘土壤化育層顏色為5YR或更紅，而且三個土壤剖面均生成於排水良好的環境，因此認為鐵氧化物以赤鐵礦為主礦物(Soileau及McCracken, 1967)。

在不同剖面中選擇代表性化育層進行X射線繞射分析，結果如表五所示。關山系土壤表層以高嶺石為主要礦物，且含量隨土壤深度增加而漸減(半定量)，顯示表層所受風化作用最旺盛；具有粘聚層土壤中含有雲母、蛭石及高嶺石礦物相當普遍(Ojanuga, 1978)，而在土壤表層仍含有中量蛭石，表示土壤中仍有豐富的可風化礦物存在，但是在高度風化的潤熱帶土壤，蛭石被認為只是轉型成其他礦物的中間產物(Fripiat及Herbillon, 1971)。在各化育層都可以發現雲母、蛭石及蛭石-綠泥石間層礦物，而且含量的變化不大，因此無法說

明粘聚層中的粘粒洗入作用，是以何種礦物為主；淡水系土壤的矽酸鹽粘土礦物也如預期，以高嶺石為主，而即使在Bt8層仍含有中量的高嶺石，表示淡水系土壤所受之風化作用較其他兩種土壤劇烈；而土壤中含有雲母，由於是由安山岩母質風化而成，可能是二八型白雲母(Juo, 1980)。高嶺石在東衛系土壤也是以表層最高，另外只有在表層含有微量的蛭石與蒙特石，蒙特石的生成是否與表層土壤高pH值及鹽基含量有關，或是由東北季風所搬運而來，則仍有待進一步探討。

#### 五、分類地位

雖然關山系表層土壤色質、色度、構造、有機碳及鹽基飽和度符合黑沃披被層的標準(表二)，但是上層厚度只有15公分，因此仍分成淡色被被層；而淡水系及東衛系則因色度沒有小於或等於3，因此分類成淡色被被層(Soil Survey Staff, 1998)。關山系A層土壤的粘粒含量為45%，因此當亞表層土壤粘粒含量高於53%及具有粘粒膜，便可符合粘聚層定義，所以Bt1至Bt3化育層都符合粘聚層定義，土壤由Bt1至Bt3化育層的鹽基飽和度大於35%，因此分類為淋餘土綱，然後再依潤的水分境況、粘聚層之2.5YR色彩及色質小於或等於3(潤)、粒徑大小等級、礦物種類及含量與土壤溫度境況分類為粘質、混合、炎熱的典型暗紅潤淋餘土(clayey, mixed, hyperthermic Typic Rhodudalfs)。雖然只在淡水系土壤Bt8及Bt9化育層發現粘粒膜，但Bt1化育層之粘粒含量已達粘聚層定義(比A層高8%)，因此認為Bt1至Bt9均屬於粘聚層。雖然Bt1化育層的鹽基飽和度小於35%，但在Bt2化育層以下125公分內的鹽基飽和度大於35%，另外依粒徑大小等級、礦物種類及含量與土壤溫度境況分類為粘質、混合、炎熱的極育簡潤淋餘土



(clayey, mixed, hyperthermic Ultic Hapludalfs)。東衛系的 Bt1 及 Bt2 均符合粘聚層定義，其土壤水分境況為乾熱的，鹽基飽和度大於 35%，粘聚層質地為粘質的，並且在 7.5 公分深度內，粘粒增加 20% (絕對值)，再依粒徑大小等級、礦物種類及含量與土壤溫度境況分類為粘質、混合、炎熱的典型過育乾熱淋餘土 (clayey, mixed, hyperthermic Typic Paleustalfs)。

### 參考文獻

- 莊作權、方士烈、謝德上。1967。蔗田土壤中雲母礦物構造之研究。台灣糖業研究所研究彙報。44:167-175。
- 張仲民。1975。大屯山區玄武岩與及集塊岩育成土壤之黏土礦物及其相關化學性質研究。中國農業化學會誌。13:46-57。
- 陳振鐸。1966。台灣紅壤之理化學性質。中國農業化學會誌。3:16-22。
- 梁鉅榮及黎靜韻。1968。台灣紅黃色灰化土生成之研究。2：石牌黏土之化育的研究。中國農業化學會誌。6:33-43。
- 梁鉅榮及黎靜韻。1965。澎湖紅棕壤之化育之研究。農業研究。14(1):42-54。
- Ahn, P. 1979. Micro-aggregation in tropical soils. In: Lai, R. and D. J. Greenland (eds.), Soil physics properties and crop production in the tropics. John Wiley and Sons, Chichester, 75-85 pp.
- Bigham, J. M., D. C. Golden, S. W. Buol, S. B. Weed., and L. H. Bowen. 1978. Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols: II. Influence on colour, surface area, and phosphate retention. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:825-830.
- Buol, S. W., F., D. Hole, and R. J. McCracken. 1974. Soil genesis and Classification. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Cady, J. G. and R. B. Daniel. 1968. Genesis of some old soils-the Paleudults. Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci., Adelaide, IV: 103-112.
- Fanning and Fanning. 1989. Soil morphology, genesis, and classification. John Wiley and Sons, New York.
- Fernandez, R. N., D. G. Schulze, D. L. Coffin, and G. E. Van Scoyoc. 1988. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:1023-1026.
- Fripiat, J. J. and A. J. Herbillon. 1971. Formation and transformation of clay minerals in tropical soils. Proc. Symposium on Soils and Tropical Weathering, Bandung, Indonesia. Unesco, Natural Resource Research XI, 15-24 pp.
- Jungarius, P. D. and Levelt, T. W. M. 1964. Clay mineralogy of soils over sedimentary rocks in Eastern Nigeria. Soil Sci., 97:89-95.
- Juo, A. S. R. 1980. Mineralogical characteristics of Alfisols and Ultisols. In: B. K. G. Theng (ed.) Soil with variable charge. New Zealand Soc. Soil Sci., Palmerston North, New Zealand.
- Lal, R. 1976. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:762-768.
- Mehra, O. P. and M. L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Min. 7:317-327.
- Nettleton, W. D., K. W. Flach, and B. R. Brasher. 1969. Argillic horizon without clay skins. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:121-125.
- Ojanuga, A. G. 1978. Genesis of soils in the metamorphic, forest region of south-western Nigeria. Pedologie. 28:105-117.
- Peech, M., L. T. Alexander, L. A. Dean, and J. F. Reed. 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S. Dept. Agr. C. 757, 25pp.
- Philipson, W. R. and M. Drosdoff. 1972. Relationship among physical and chemical

- properties of representative soils of the tropics from Puerto Rico. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:815-819.
- Richardson, J. L. and R. B. Daniels. 1993. Stratigraphic and hydraulic influences on soil color development. In: J. M. Bigham and E. J. Ciolkosz (eds.) *Soil color*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. Special Publication Number 31.
- Ross, G. J. and E. W. Presant. 1976. Physical, chemical, and mineralogical properties of selected soils of Tanzania with reference to their genesis and behavior. *East Africa Agro. For. J.* 41:201-217.
- Schwertmann, U. 1993. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In: J. M. Bigham and E. J. Ciolkosz (eds.) *Soil color*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. Special Publication Number 31.
- Shoji, S., Y. Suzuki, and M. Saigusa. 1987. Clay mineralogical and chemical properties of non-allophanic Andept (Andisols) from Oregon, USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:986-990.
- Smyth, A. J. and R. J. Montgomery. 1962. *Soils and land use in central western Nigeria*. Govt. Printer, Ibadan, Nigeria. 265 pp.
- Soil Conservation Service. 1982. *Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey*. U.S. Dept. of Agro. Washinton, D. C.
- Soil Survey Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th ed. USDA-SCS Publ. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Soileau, J. M. and R. J. McCracken. 1967. Free iron and coloration in certain well-drained Coastal Plain soils in relation to their properties and classification. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31:248-255.
- Verheye, W. 1974. Nature and evolution of soils developed on the granite complex in the sub-humid tropics. I: Morphology and classification. *Pedology*. 24:266-282.
- Yoothong, K., L. Moncharoen, P. Vijarnson, and H. Eswaran. 1997. Clay mineralogy of Tai soils. *Applied Clay Sci.* 11:357-371.