

## 研究報告

## 墾丁高位珊瑚礁自然保留區土壤之化育作用與分類

許正一<sup>1,3)</sup> 王相華<sup>2)</sup> 伍淑惠<sup>2)</sup> 張英琇<sup>1)</sup>

## 摘 要

墾丁高位珊瑚礁自然保留區為台灣唯一完整保留的高位珊瑚森林生態系，但未曾進行土壤化育作用方面之探討。本研究依地形在保留區內選取5個代表性土壤剖面，其中CR-1剖面位於保留區邊緣之珊瑚礁與砂頁岩母岩交界處，CR-2與CR-5位於保留區內之礁頂，而CR-3與CR-4則位於保留區內之礁底。研究結果發現礁底土壤厚度遠大於礁頂土壤，而pH值、有機碳及碳酸鈣含量則以礁頂土壤較高。所有土壤粘粒幾乎都超過30%，這是因為高溫多雨的環境使粘粒與游離鐵在剖面中明顯移動，而礁底土壤之粘聚層更可發現各種型式之定位排列良好的粘粒膜等微形態學之洗入作用證據。雖然礁頂土壤之碳酸鈣含量稍高於礁底土壤，但整體來說碳酸鈣自珊瑚礁母質溶解後，在土體中並無發生再沉澱作用。根據美國土壤分類系統(Soil Taxonomy)，5個剖面分類至亞類為CR-1：淺的簡育濕潤淋餘土；CR-2與CR-5：典型高鹽基淡色弱育土；CR-3與CR-4：典型厚育濕潤淋餘土。

關鍵詞：高位珊瑚礁、土壤化育、粘粒、游離鐵、土壤分類。

許正一、王相華、伍淑惠、張英琇。2004。墾丁高位珊瑚礁自然保留區土壤之化育作用與分類。台灣林業科學19(2):153-64。

## Research paper

## Pedogenesis and Classification of Soils in the Kenting Uplifted Coral Reef Nature Reserve, Southern Taiwan

Zeng-Yei Hseu,<sup>1,3)</sup> Hsiang-Hua Wang,<sup>2)</sup> Shu-Hui Wu,<sup>2)</sup> Ing-Shou Chang<sup>1)</sup>

## 【 Summary 】

The Kenting Uplifted Coral Reef Nature Reserve (KUCRNR) is the only forest ecosystem of uplifted coral reef area which is well protected in Taiwan. No study has been conducted on soil genesis of the KUCRNR. Based on the landscape position, 5 representative soil pedons were selected in this study in order to explore the soil properties and pedogenesis. The CR-1 pedon was located at the margin between the parent rock of coral reef and sand-shale; the CR-2 and CR-5

<sup>1)</sup> 國立屏東科技大學環境工程與科學系，912屏東縣內埔鄉學府路一號 Department of Environmental Science and Engineering, National Pingtung University of Science and Technology, 1 Hsieh-Fu Road, Nei-Pu, Pingtung 912, Taiwan.

<sup>2)</sup> 行政院農業委員會林業試驗所恆春研究中心，946屏東縣恆春鎮公園路203號 Hengchun Research Center, Taiwan Forestry Institute, 203 Kunyein Road, Hengchun, Pingtung 94601, Taiwan.

<sup>3)</sup> 通訊作者 Corresponding author, e-mail:zyhseu@mail.npust.edu.tw

2003年10月送審 2004年2月通過 Received October 2003, Accepted February 2004.

pedons were at the top of the coral reef; and the CR-3 and CR-4 pedons were at the bottom of the coral reef. From the results, soil depths at the bottom of the coral reef were much thicker than those at the top. However, the pH values and organic carbon and carbonate contents of soils at the top of the coral reef were higher than those at the bottom. High clay contents were found in all soils because of strong illuviation of clay. Furthermore, translocation of clay and free Fe within the soil was significant. However, illuviation of clay was identified by differently oriented clay coatings in the argillic horizons by micromorphology. Calcium carbonate is being dissolved from the coral reef, but it has not reprecipitated in the soil. Based on the Soil Taxonomy, Subgroups of the 5 pedons are Lithic Hapludalf for CR-1, Typic Eutrochrepts for CR-2 and CR-5 and Typic Paleudalfs for CR-3 and CR-4.

**Key words:** uplifted coral reef, soil genesis, clay, free iron, soil classification.

**Hseu ZY, Wang HH, Wu SH, Chang IS. 2004.** Pedogenesis and classification of soils in the Kenting uplifted coral reef nature Reserve, southern Taiwan. *Taiwan J For Sci* 19(2):153-64。

## 緒言

墾丁高位珊瑚礁自然保留區位於台灣南端恆春鎮社頂附近，在民國83年經農委會公告為自然保留區。本保留區為台灣唯一完整保留的高位珊瑚森林生態系，區域內石灰岩洞穴及海中壟起之珊瑚礁岩塊林立，在此特殊的生態環境下蘊有了獨特的地質及生物資源，因此有極高的保育和學術研究價值。過去僅有少數研究曾廣泛地指出墾丁地區石灰岩母質紅壤之化育作用與分類，但仍欠缺針對本保留區土壤化育作用方面之探討。Liu and Chen (1993) 曾研究墾丁地區之紅壤，按美國土壤分類系統 (Soil Taxonomy) 區分，將墾丁公園土壤分類為淋餘土 (Alfisol)，而社頂公園土壤則分類為極育土 (Ultisol)，兩者主要的化育作用皆以碳酸鈣之溶解淋洗作用、粘粒洗入作用及游離鐵的移動為主，但極育土的淋洗作用較為強烈，因此鹽基飽和度均低於35%。國外有關珊瑚礁母質土壤方面的研究並不多，Simonson (1994) 探討日本硫球群島之海階土壤，發現其為質地粘重且交換性鹽基含量豐富之高鹽基淡色弱育土 (Eutrochrept)。Woodroffe and Morrison (2001) 分析太平洋中Kiribati島附近16個珊瑚環礁土壤時指出，由於珊瑚環礁形成年代不遠，都在3,000年內，因此各個土壤的剖面發育與化學性質差異並不大。

本研究擬在墾丁高位珊瑚礁自然保留區內依地形選擇代表性土壤樣體 (soil pedons)，以探討此一特殊生態系之土壤化育作用，主要研究的目的為：(1) 了解本區土壤形態特徵，(2) 探討本區土壤之理化特性，與(3) 指出此熱帶森林土壤之化育作用與分類地位。

## 材料與方法

### 一、研究地區環境概述

墾丁高位珊瑚礁自然保留區位於東經120°48'，北緯20°58' (Fig. 1)，面積約138 ha，海拔高度約200至300 m，高度向南遞減。本保留區因壟起而生成一個海拔高約300 m的石灰岩台地，所以呈現石灰岩地區特有之溶蝕地形，因此所生成化育之土壤類似於地中海地區之鈣質紅壤 (terra rossa)，也就是母岩為碳酸鈣岩塊碎屑所風化的土壤，目前這類鈣質紅壤可能是淋餘土、極育土、弱育土 (Inceptisols) 和黑沃土 (Mollisols) 等 (Durn et al, 1999)。恆春半島主要地層共有長樂層、樂水層、墾丁層、馬鞍山層及恆春石灰岩層等。本保留區所出露的地層以恆春石灰岩層為主，而第四紀更新世的恆春石灰岩層，約(32-12) × 10<sup>4</sup> yr前，以生物礁岩為主。覆蓋在恆春石灰岩層上方之地層為

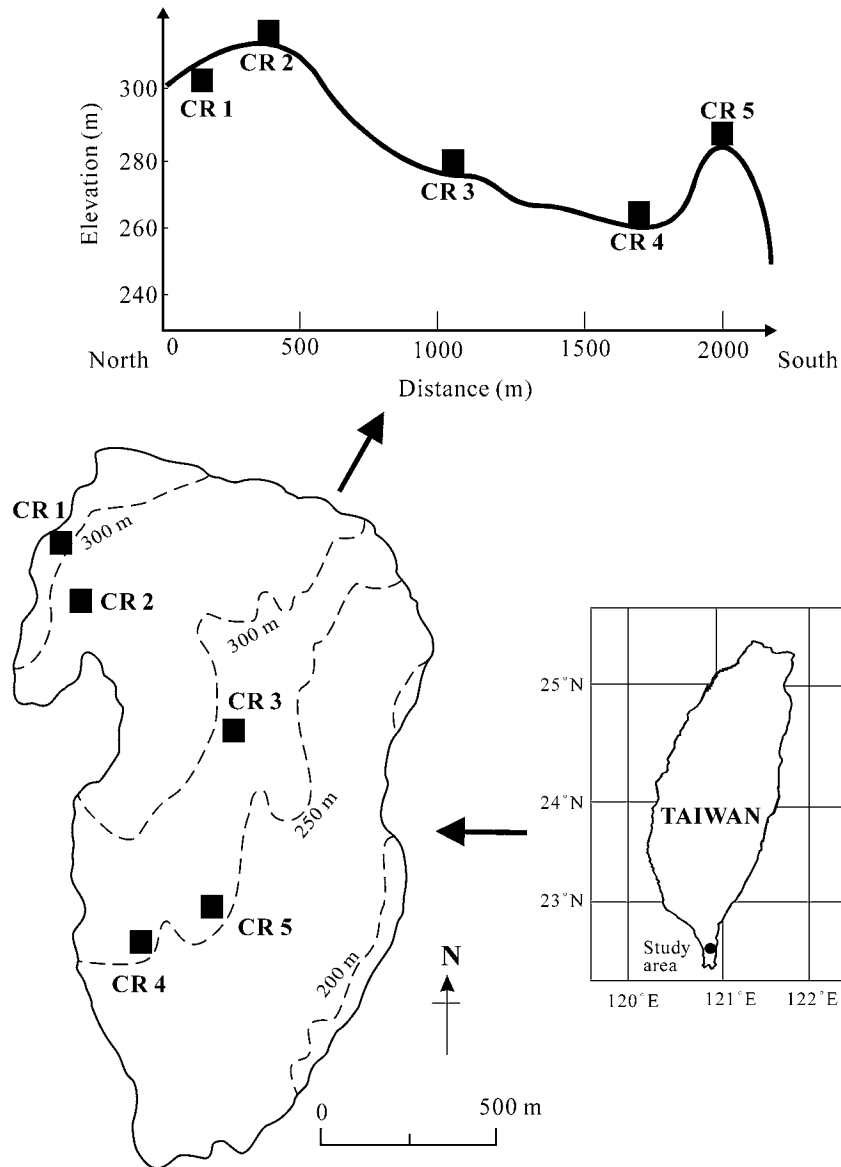


Fig. 1. Location of the study site in the Kenting area.

以紅土礫石為主之鵝鑾鼻層，而下方則為由泥岩與頁岩構成之墾丁層或馬鞍山層，地層間常可見到不整合面(Ho 1975)。根據中央氣象局的統計資料顯示，自1971至2000年之平均年雨量約2,017 mm左右，夏季的颱風帶來豐沛的降雨，使75%的年雨量集中在5至8 mo中。年平均氣溫約21.5°C，1 mo份較低，平均氣溫17.5°C，8 mo份最熱，平均氣溫26.4°C。平均

相對濕度全年變化不大，為85%左右(Wang and Kuo, 1995)。整個保留區以黃心柿(*Diospyros maritime* Blume)、白榕、茄苳為樹冠層主要優勢種，下層植物則以三叉蕨(*Tectaria subtriphylla* (Hook. & Arn.) Copel.)、莎勒竹(*Schizostachyum diffusum* (Blanco) Merr.)、印度鞭藤(*Flagellaria indica* L.)及黃心柿小苗等佔優勢。紅柴(*Aglaia formosana* (Hayata) Hayata)、

樹青(*Pouteria obovata* (R. Br.) Baehni)、鐵色(*Drypetes littoralis* (C. B. Rob.) Merr.)等種類集中在在陽光充足、受風量高且土壤淺薄的珊瑚礁頂區域；皮孫木(*Pisonia umbellifera* (Forst.) Seem.)、大葉山欖(*Palaquium formosanum* Hayata)、茄苳(*Bischofia javanica* Blume)及毛柿(*Diospyros discolor* Willd.)集中於受風量低、土層深厚且部分陽光為礁岩遮蔽的平坦礁底環境(Chiou 1991)。

## 二、土壤剖面描述與採樣

### (一)土壤剖面挖掘與野外形態特徵描述

本研究在墾丁高位珊瑚礁自然保留區內，依地形位置選擇5個地點進行代表性土壤剖面的挖掘(Fig. 1)。其中CR-1位於本保留區北側俗稱“紅咾咕”之巨大岩塊旁，母岩特性為珊瑚礁混合砂頁岩，其餘4個剖面均為高位珊瑚礁，而CR-2與CR-5位於礁頂，CR-3與CR-4則位於礁底。林業試驗所曾在保留區內設置10 ha的植被永久樣區，因此CR-4與CR-5特選在永久樣區內，以提供更多的生態資料庫。本研究之礁頂剖面挖掘前先以土鑽試探其可能深度，盡量選擇土壤深度較大者，而礁底剖面除考量各個剖面不要太集中於某處外，亦選擇礁底寬度較大者。5個土壤剖面形態特徵描述方法，按美國農部土壤調查手冊進行(Soil Survey Staff 1993)。

### (二)土壤薄片製備與觀察

在每個土壤剖面中的各化育層中央位置，以6×8 cm尺寸的鋁製採樣盒(Kubiena box)採下完整的土塊，密封並標明上下方向後攜回實驗室。在室溫下風乾一週後打包送美國Spectrum Petrographics, Inc.製成厚度30 μm的土壤薄片。土壤薄片以偏光顯微鏡交錯使用平面偏光與正交偏光，在不同放大倍率下觀察。依FitzPatrick (1993)的系統性描述方式，描述並記錄土壤微形態特徵。

## 三、土壤理化性質分析

### (1)總體密度：石臘塊法(Blake and Hartge

1986)。

(2)質地分析：吸管法(Gee and Bauder 1986)。

(3)pH值：玻璃電極法(McLean 1982)。

(4)有機碳：Walkley-Black濕氧化法(Nelson and Sommers 1982)。

(5)交換性鹽基：1 M醋酸鉍法(pH 7.0) (Thomas 1982)。

(6)陽離子交換容量(CEC)：1 M醋酸鉍法(pH 7.0) (Rhoades 1982)。

(7)游離鐵、鋁、錳：Sodium citrate-bicarbonate-dithionite (CBD)法(Mehra and Jackson 1960)。

(8)無定型鐵、鋁、錳：草酸鉍(oxalate-oxalic acid, 0.2 M, pH 3.0)法(Mckeague and Day 1966)。

## 四、土壤分類

依美國土壤分類系統(Soil Taxonomy)，將本研究之土壤剖面加以分類(Soil Survey Staff 1999)。

## 結果與討論

### 一、野外形態特徵與微形態學

在五個剖面中CR-1是唯一位於高位珊瑚礁與砂頁岩母岩交界處的樣體，土層最淺而顏色也是最黃的，但其他四個樣體因母岩都是高位珊瑚礁而顯現了較厚的土層與較紅的色彩(Table 1)。CR-1母岩因含有較不易風化的砂岩，因此土壤風化程度較差。若經各土層色值與色度計算出紅色化指標(redness index, RI)，可發現僅CR-1的RI值為零，而其他樣體之RI值隨深度而遞增。

五個樣體的土壤質地均很細，除部分土層為砂質粘壤土外，大部分均為粘土，因此土壤構造良好，除部分表土可發現團粒狀構造外，其餘均為強且大的角塊狀或鈍角塊狀構造。本研究之良好土壤構造除肇因於極高的粘粒含量外，應與氧化鐵、鋁之含量有關。粘粒膜的存在與否是野外判斷土壤洗出與洗入作用重要的證據，而CR-1樣體與兩個高位珊瑚礁礁底樣體(即CR-3與CR-4)的B層均可發現粘粒膜，但

**Table 1. Morphological characteristics of the 5 soil pedons in the study area**

Horizon	Depth (cm)	Munsell Color	Texture <sup>1)</sup>	Structure <sup>2)</sup>	Clay <sup>3)</sup> coating	Boundary <sup>4)</sup>	RI <sup>5)</sup>
CR-1 Pedon							
Ae	0-12	10YR 2/1	SCL	2vf&fgr, 2f&mcbk	- <sup>6)</sup>	cs	0
Bt1	12-25	10YR 3/3	C	3m&cabk	cth	ds	0
Bt2	25-43	10YR 4/4	C	3m&cabk	cth	aw	0
C	> 43	10YR 5/4	CL	2f&mabk, sbk	-	vfvf	0
CR-2 pedon							
Ae	0-10	10YR 2/2	C	2vf&fgr	-	cs	0
BA	10-22	10YR 3/6	CL	3f&mabk, sbk	-	ds	0
Bw1	22-42	7.5YR 4/6	C	2f&mabk	-	ds	3.75
Bw2	42-70	7.5YR 3/4	C	2f&mabk	-	dw	3.33
Bw3	70-90	7.5YR 4/6	C	2f&mabk	-	aw	3.75
R	> 90						
CR-3 pedon							
Ae	0-7	7.5YR 3/2	SCL	2vf&fgr	-	gw	1.67
BA	7-18	7.5YR 3/3	CL	2f&mcbk	-	dw	2.50
Bt1	18-40	7.5YR 4/6	CL	3m&cabk	ft	ds	3.75
Bt2	40-70	7.5YR 4/4	C	3m&cabk	cth	ds	2.50
Bt3	70-100	7.5YR 5/4	C	3msbk, m&cabk	fm	ds	2.00
Bt4	100-130	7.5YR 5/6	C	3msbk, m&cabk	ft	ds	3.00
Bt5	130-150	7.5YR 5/6	C	3m&cabk	ft	ds	3.00
Bt6	150-200	7.5YR 5/6	C	3m&cabk	ft	ds	3.00
CR-4 pedon							
Ae	0-14	7.5YR 4/3	SCL	2f&mgr, sbk	-	ds	1.88
Bt1	14-36	7.5YR 4/4	CL	3m&cabk	ft	ds	2.50
Bt2	36-60	7.5YR 4/4	SCL	3m&cabk	ft	ds	2.50
Bt3	60-92	7.5YR 4/4	C	3m&cabk	cth	ds	2.50
Bt4	92-120	7.5YR 4/6	C	3m&cabk	cm	ds	3.75
Bt5	120-150	7.5YR 4/6	C	3m&cabk	ft	ds	3.75
Bt6	150-200	7.5YR 4/6	C	3m&cabk, sbk	ft	ds	3.75
CR-5 pedon							
Ae	0-5	7.5YR 2.5/1	C	2vf&fgr	-	gw	1.00
AB	5-18	7.5YR 3/2	C	2f&mcbk	-	gw	1.67
Bw1	18-40	7.5YR 4/3	C	2m&csbk	-	ds	1.88
Bw2	40-60	7.5YR 4/4	C	2m&csbk	-	aw	2.50
R	>60						

<sup>1)</sup> CL, clay loam; SCL, sandy clay loam; C, clay.

<sup>2)</sup> 3, strong; 2, moderate; 1, weak; vf, very fine; f, fine; m, medium; c, coarse; vc, very coarse; gr, granular; sbk, subangular blocky; abk, angular block.

<sup>3)</sup> f, few; c, common; th, thick; t, thin.

<sup>4)</sup> a, abrupt; c, clear; g, gradual; d, diffuse; w, wavy; s, smooth.

<sup>5)</sup> RI, Redness index =  $[(10 - \text{hue}) \times \text{chroma}] / \text{value}$ .

<sup>6)</sup> No feature.

CR-2與CR-5兩個礁頂樣體就沒有粘粒膜。

本研究之土壤粘粒來源除了因高溫而在現地(*in situ*)快速化學風化外,高雨量所導致的強烈洗入作用也是重要的因素,不過一般的破壞性土壤分析並不易區別這兩種不同來源的粘粒。微形態學在探討土壤化育作用上,是很好的輔助工具,因為在偏光顯微鏡的觀察下,通常洗入型的粘粒具有定位排列(*oriented arrangement*)良好的雙折射特性(*birefringence*)。在本研究中,表土含有較多的粗顆粒礦物粒子且排列分散,根孔等土壤孔隙表面不會堆積洗入物質(Fig. 2a),但在洗入層的土體內部或土塊表面就會看到定位排列的粘粒膜。Fig. 2b所見之CR-1樣體的Bt1層因洗入作用不強,故定位排列粘粒膜僅見於土塊表面的微細條痕,甚至像CR-2之Bw1層在野外即難以發現粘粒膜,而其薄切片在偏光顯微鏡下的雙折射性就很差(Fig. 2c),也就是說CR-2剖面的洗入作用是不明顯的。相較之下,CR-3與CR-4這兩個礁底剖面的粘粒洗入作用是較強的,例如CR-3樣體的Bt層其洗入粘粒明顯地呈一定方向的規則排列(Fig. 2d),甚至在CR-4樣體的Bt層可看到很厚(>0.1 mm)的洗入粘粒堆積物(Fig. 2e),運用偏光顯微鏡的正交偏光仍可見到這些堆積物強烈的條痕化特徵(Fig. 2f),表示洗入作用旺盛且少受擾動作用。

## 二、理化性質

從野外形態特徵與微形態特徵中已初步了解本研究土壤質地粘重,而進一步以實驗室的質地分析發現,除了CR-3與CR-4樣體之表土層外,所有化育層之粘粒含量都在30%以上,而CR-3的粘聚層甚至有60%以上的粘粒,如此多的粘粒也導致總體密度偏高,部分土層高達 $1.6 \text{ Mg m}^{-3}$  (Table 2)。若按美國土壤分類系統(*Soil Survey Staff 1999*)的標準,CR-1、CR-3及CR-4樣體的B層符合粘聚層的要求,而CR-2與CR-5樣體之B層則僅為變育層(*cambic horizons*)。

在五個樣體中,CR-1與CR-5樣體之pH值較高,而CR-3與CR-4樣體則幾乎都在6.0以下,這表示位在礁底的土壤因土層較厚、風化

作用較強而淋洗作用也較明顯,因而pH值較低。樣體間pH值與碳酸鹽含量的類似趨勢,更證明了礁頂與礁底土壤化育作用程度的差異。有機碳含量在各個樣體中均是向下層遞減,而若以整個表土層之體積而言,礁頂樣體之土壤有機碳含量則高於礁底。在CEC方面,因極高的粘粒含量與研究區域含海相沉積物之故,大部分均在 $10 \text{ cmol kg}^{-1}$ 以上,而珊瑚礁提供豐富的鈣、鎂等鹽基性陽離子之來源,故鹽基飽和度都很高,甚至已達100%。

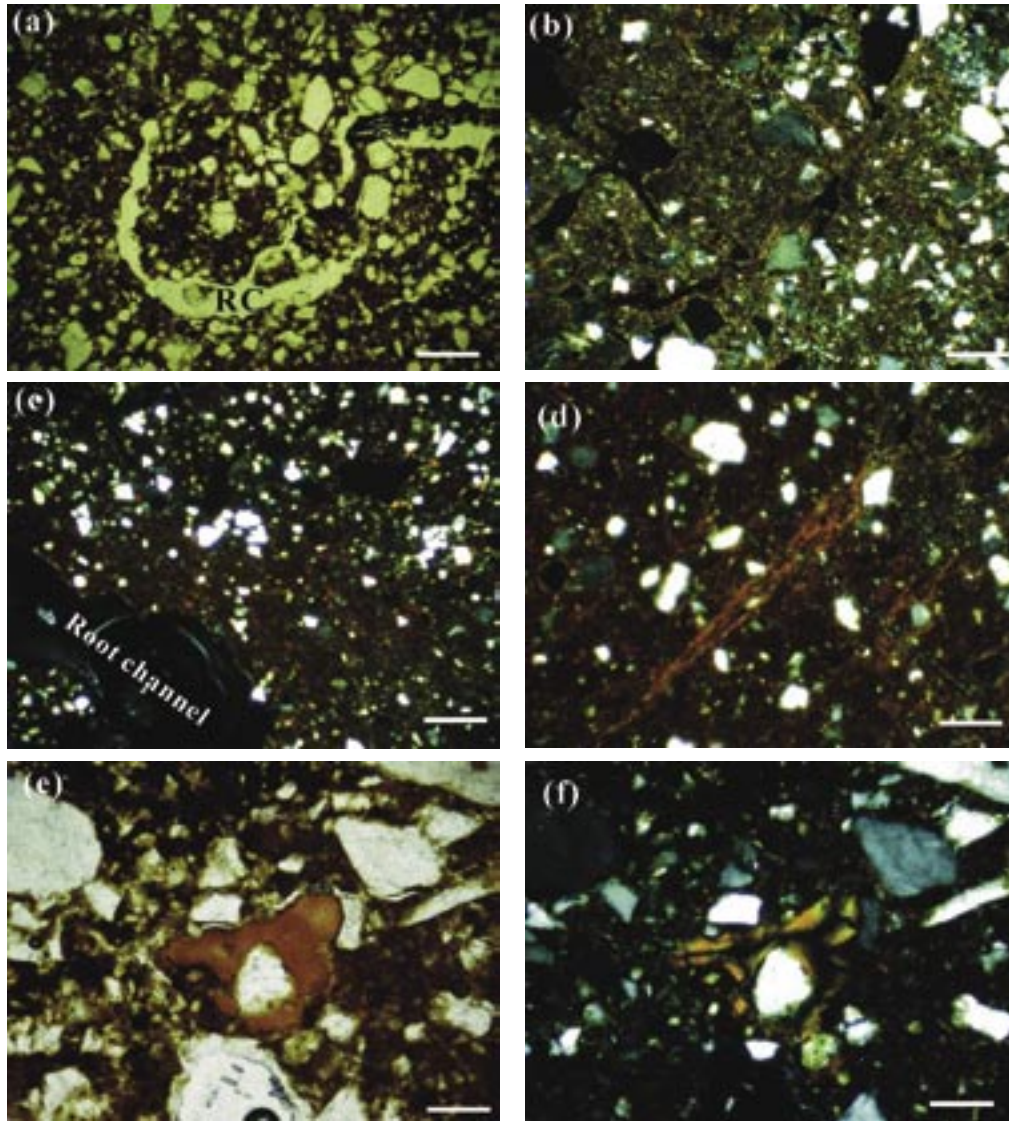
游離性的鐵、鋁、錳是指土壤在風化過程中,由初生礦物所釋放出來而自外於礦物晶格的部分,尤其是以DCB混合液抽出之游離鐵往往被拿來印證土壤淋溶作用的證據之一。本研究可發現所有樣體之游離鐵均呈向下遞增的趨勢,而平均含量則以CR-3與CR-4之礁底樣體較高(Table 3),可推測在風化過程中,隨著矽酸鹽礦物的崩解,鐵與粘粒一起向下移動(*Blume and Schwertmann 1969*),同時也驗證了上節所述愈是下層土壤其RI值較高之原因。草酸鉍抽出的鐵、鋁、錳通常是指游離性中結晶不良的部分,也就是無定型物。本研究中無定型鐵含量遠低於游離鐵,表示鐵的結晶程度頗高,這反應了本研究區域高溫且排水良好的特性,使鐵趨於氧化的狀態。游離鋁與無定型鋁含量均較鐵低,此乃因鋁在土壤中較鐵難移動之故,而錳遠低於鐵、鋁的原因除自然含量較低外,也與錳在土壤中較易還原溶解有關。

## 三、土壤化育作用過程與分類

從形態特徵與理化性質可看出本研究區域土壤雖然粘粒含量都很高,但CR-2與CR-5樣體之礁頂土壤,因粘粒洗入作用較微弱,因此B層並無洗入型粘粒聚積的現象(Fig. 2e),反觀CR-3與CR-4樣體之礁底土壤除現地風化之粘粒豐富外,其洗入型粘粒更以各種型態之粘粒膜聚積在下層土壤中,因而CR-3與CR-4樣體之土壤構造發育比其他土壤良好(Table 1)。例如在CR-3樣體可發現其Bt層之孔隙內壁有洗入粘粒的聚積(Fig. 3a),運用交叉偏光可發現這種粘粒膜已在孔壁內浸染(*impregnated*),是屬於早期

洗入且定位排列良好的準粘粒膜(hypocoating) (Fig. 3b)。除此之外，CR-3與CR-4樣體現時的化育作用，使多量的洗入粘粒在大型土壤孔室

內堆積至少0.4 mm的厚度(Fig. 3c)，且因少受擾動作用的影響，定位排列良好(Fig. 3d)。定位排列良好的粘粒膜在本研究中另可解釋的一個



**Fig. 2.** Thin-section micrographs. (a) Groundmass and root channel (RC) in the Ae horizon of the CR-1 pedon under plane polarized light (PPL). Length of the bar is 0.5 mm. (b) Stipple-speckled b-fabric of the Bt1 horizon of the CR-1 pedon under cross polarized light (XPL). Length of the bar is 0.125 mm. (c) Root channel behind the aseptic plasma with slight birefringence in the Bw1 horizon of the CR-2 pedon under XPL. Length of the bar is 0.5 mm. (d) Parallel striated b-fabric in the Bt4 horizon of the CR-3 pedon under XPL. Length of the bar is 0.125 mm. (e) Grain coating in the Bt4 horizon of the CR-4 pedon under PPL. Length of the bar is 0.1 mm. (f) The same as (e) but under XPL.

**Table 2. Selected physical and chemical properties of the 5 pedons**

Horizon	Depth (cm)	Texture (%)			Bd <sup>1)</sup> Mg m <sup>-3</sup>	pH	OC <sup>2)</sup> g kg <sup>-1</sup>	CEC <sup>3)</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	BSP <sup>4)</sup> %	Carbonate %
		Sand	Silt	Clay						
CR-1 Pedon										
Ae	0-12	52	16	32	1.3	6.6	3.03	20.2	100	0.76
Bt1	12-25	42	17	41	1.6	6.8	0.75	16.1	100	0.80
Bt2	25-43	36	20	44	1.6	6.9	0.63	16.3	100	1.00
C	>43	- <sup>5)</sup>	-	-	-	7.4	0.39	17.1	100	4.43
CR-2 pedon										
Ae	0-10	34	21	45	1.1	6.2	6.06	30.1	72.9	0.61
BA	10-22	37	31	32	1.3	6.2	1.50	15.1	73.9	0.43
Bw1	22-42	38	21	41	1.4	5.8	0.91	10.6	79.1	0.81
Bw2	42-70	33	14	53	1.4	5.3	0.63	12.1	74.9	0.60
Bw3	70-90	28	17	55	1.4	5.4	0.59	13.0	90.9	0.61
R	>90									
CR-3 pedon										
Ae	0-7	58	14	28	1.2	6.2	1.66	17.5	100	1.12
BA	7-18	38	27	35	1.2	5.9	1.53	11.1	100	0.97
Bt1	18-40	44	22	54	1.2	5.6	0.71	9.86	100	0.58
Bt2	40-70	32	18	60	1.4	5.6	0.39	10.9	100	0.45
Bt3	70-100	24	16	60	1.6	5.7	0.35	12.7	100	0.48
Bt4	100-130	20	19	61	1.5	5.7	0.39	13.3	100	0.55
Bt5	130-150	17	10	63	1.5	5.8	0.39	14.8	87.1	0.46
Bt6	150-200	13	11	64	1.5	5.7	0.20	13.4	100	0.26
CR-4 pedon										
Ae	0-14	54	18	28	1.2	5.5	0.55	6.60	100	0.30
Bt1	14-36	42	23	35	1.3	5.6	0.35	8.31	100	0.16
Bt2	36-60	42	25	33	1.4	5.6	0.35	7.28	100	0.33
Bt3	60-92	36	25	39	1.6	5.7	0.35	8.63	100	0.10
Bt4	92-120	34	16	50	1.5	5.5	0.35	15.1	100	0.07
Bt5	120-150	30	23	47	1.5	5.4	0.20	11.0	100	0.11
Bt6	150-200	38	15	47	1.5	5.3	0.39	9.20	100	0.05
CR-5 pedon										
Ae	0-5	36	17	47	1.1	7.0	3.27	35.3	100	1.42
AB	5-18	39	16	45	1.1	6.9	2.09	25.0	100	0.55
Bw1	18-40	35	20	45	1.4	6.9	0.43	21.9	100	0.59
Bw2	40-60	35	18	43	1.4	6.8	0.43	14.2	100	0.63

<sup>1)</sup> Bulk density.

<sup>2)</sup> Organic carbon.

<sup>3)</sup> Cation exchange capacity.

<sup>4)</sup> Base saturation percentage.

<sup>5)</sup> Not determined.



**Table 3. Chemical extraction of Al, Fe and Mn from the 5 pedons**

Horizon	Depth (cm)	DCB extractable			Oxalate extractable		
		Al	Fe	Mn	Al	Fe	Mn
		----- g kg <sup>-1</sup> -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----		
CR-1 Pedon							
Ae	0-12	0.53	13.1	0.17	1.43	3.32	0.38
Bt1	12-25	2.78	18.3	0.42	1.74	3.86	0.43
Bt2	25-43	2.82	21.2	0.41	1.50	3.98	0.43
C	>43	2.27	21.4	0.36	1.25	3.60	0.32
CR-2 pedon							
Ae	0-10	4.18	17.2	0.19	1.73	4.12	0.64
BA	10-22	5.22	29.4	0.34	1.91	4.40	0.58
Bw1	22-42	5.29	30.4	0.41	1.28	4.79	0.44
Bw2	42-70	6.82	27.8	0.32	2.48	3.51	0.31
Bw3	70-90	6.74	27.9	0.34	2.63	3.36	0.29
R	>90	-	-	-	-	-	-
CR-3 pedon							
Ae	0-7	2.50	17.7	0.39	1.21	4.61	0.39
BA	7-18	3.27	23.0	0.69	1.41	4.61	0.52
Bt1	18-40	3.44	27.0	0.67	1.45	5.45	0.46
Bt2	40-70	3.83	30.2	0.38	1.90	6.00	0.37
Bt3	70-100	5.40	32.3	0.34	2.10	5.84	0.34
Bt4	100-130	6.04	36.5	0.29	2.38	5.94	0.24
Bt5	130-150	6.92	40.6	0.27	2.33	6.12	0.17
Bt6	150-200	6.91	39.6	0.23	2.38	6.23	0.16
CR-4 pedon							
Ae	0-14	3.20	22.3	0.56	1.14	4.24	0.16
Bt1	14-36	3.44	26.6	0.61	1.27	4.72	0.35
Bt2	36-60	3.62	23.5	0.55	1.24	4.71	0.36
Bt3	60-92	3.40	25.4	0.61	1.34	5.68	0.34
Bt4	92-120	4.50	29.4	0.73	1.52	5.80	0.42
Bt5	120-150	4.46	29.1	0.70	1.49	5.98	0.66
Bt6	150-200	3.98	29.8	0.71	1.40	7.18	0.57
CR-5 pedon							
Ae	0-5	2.00	16.0	0.64	1.20	3.74	0.39
AB	5-18	2.60	24.6	0.82	1.50	4.27	0.50
Bw1	18-40	2.84	24.2	0.76	1.55	5.20	0.67
Bw2	40-60	1.13	24.8	0.85	1.39	5.10	0.67

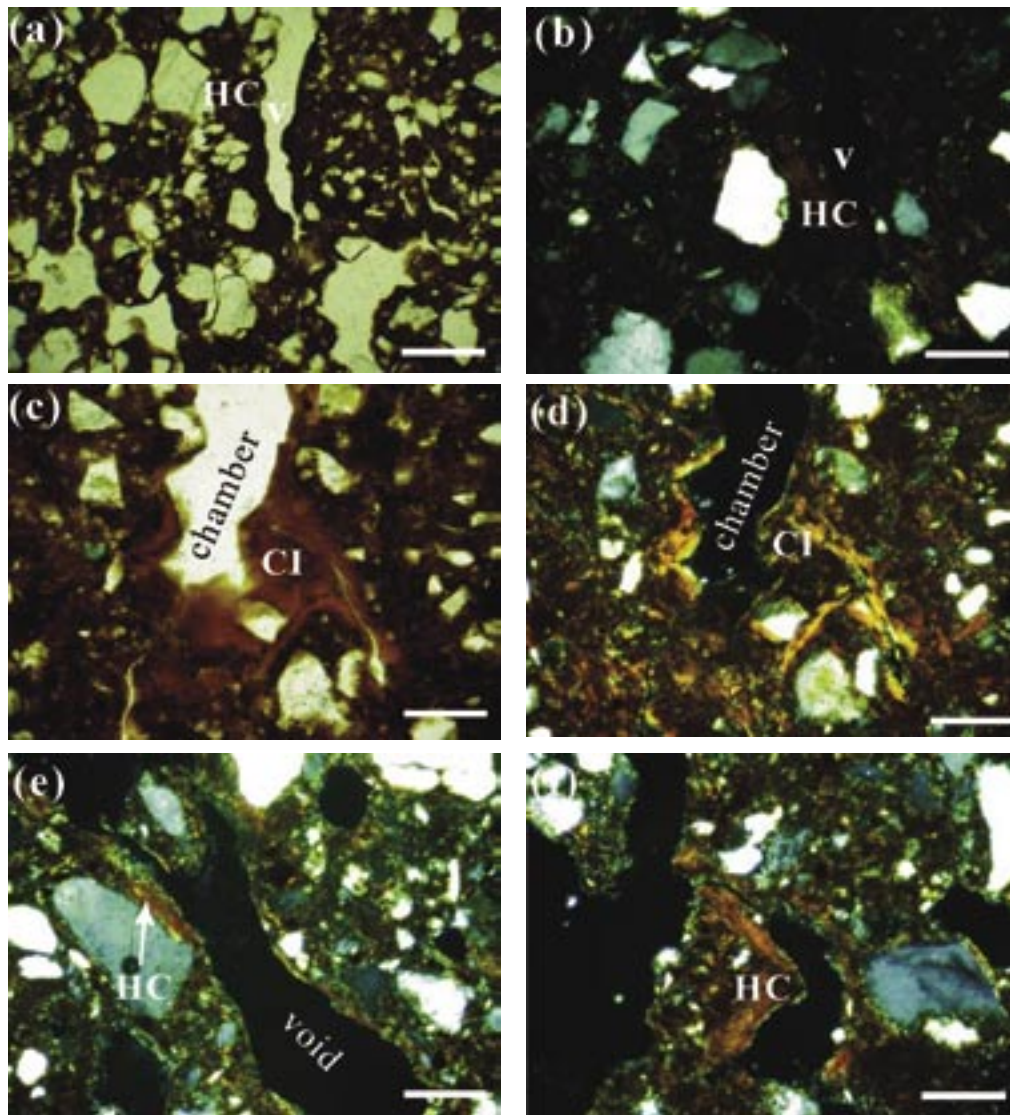
化育作用是，可驗證水分進入土壤時規律性地通過孔隙的遺跡(Fig. 3e)。但因墾丁高位珊瑚礁壟起年代推測已超過 $50 \times 10^4$  yr，因此在部分土塊中甚至可看到土壤構造的內外都有很明顯的

粘粒膜(Fig. 3f)。Tsai and Chen (2000)曾利用砂粒與粉粒含量在土體中除表層以外之化育層的比值，做為判斷土壤母質均質度的依據，而從本研究五個樣體各個化育層(表層除外)之砂粒

/粉粒比值來看，差異並不大，可視為來自均質的母質，即土壤同為高位珊瑚礁風化而來。

Liu and Chen (1993)雖曾指出墾丁地區珊

瑚礁母質土壤化育作用之一是碳酸鈣的溶解與淋洗作用，而從本研究中之鹽基飽和度與碳酸鹽含量則發現(Table 2)，碳酸鈣確實溶解在土



**Fig. 3. Thin-section micrographs. (a) Hypocoating (HC) along the wall of a void (V) in the Bt2 horizon of the CR-3 pedon under PPL. Length of the bar is 0.5 mm. (b) The same as (a) but length of the bar is 0.125 mm and under XPL. (c) Illuvial clay shown as infillings (CI) in the chamber of the Bt3 horizon of the CR-3 pedon under PPL. Length of the bar is 0.125 mm. (d) The same as (c) but under XPL. (e) Hypocoating (HC) impregnating the wall of the void in the Bt4 horizon of the CR-4 pedon under XPL. Length of the bar is 0.125 mm. (f) HC on the pedsurface and packing void in the Bt4 horizon of the CR-4 pedon under XPL. Length of the bar is 0.125 mm**

壤但卻沒有被大量流失，微形態特徵無法發現碳酸鈣沉澱物。但這種溫度、雨量及pH值的環境卻造就了粘粒及游離鐵在土體內的垂直移動，尤其是礁底土壤除接收雨水外更能匯集整個保留區的地表水，因此粘粒及游離鐵的洗入更為明顯。另外，游離鐵含量遠高於無定型鐵，顯示鐵在本研究區中之結晶程度較高，意即高溫且排水良好的土壤特性，使鐵不易因還原而溶解。錳遠低於鐵及鋁的原因除自然含量較低外，也與錳在土壤中較易還原溶解有關。

在美國土壤分類系統(Soil Survey Staff 2000)中，CR-1、CR-3與CR-4因具有粘聚層且鹽基飽和度均在35%以上，故為淋餘土綱，而CR-2與CR-5則為弱育土綱。若分類至土族(Soil Family)，則CR-1為細質地混合型礦物炎熱的淺的簡育濕潤淋餘土(Fine, mixed, hyperthermic, Lithic Hapludalfs)，CR-2與CR-5為細質地混合型礦物炎熱的典型高鹽基淡色弱育土(Fine, mixed, hyperthermic, Typic Eutrochrepts)，而CR-3與CR-4均為細質地混合型礦物炎熱的典型厚育濕潤淋餘土(Fine, mixed, hyperthermic, Typic Paleudalfs)。

## 結論

本研究之樣體在高溫多雨的環境下土壤粘粒含量都很高，加以游離鐵明顯的移動，因此土壤構造良好。土壤中的粘粒除了來自現地化學風化產生外，強烈的洗入作用也是重要的因素，尤其是CR-3與CR-4兩個礁底土壤樣體的Bt層，有各種定位排列良好的粘粒膜。但CR-2與CR-5樣體之礁頂土壤，因粘粒洗入作用較弱，因此B層並無洗入型粘粒聚積的現象，而pH值及碳酸鹽含量都較礁底土壤高。相較於粘粒與游離鐵的強烈洗入作用，碳酸鈣自母質溶解後，在土體中並無發生再沉澱作用。五個剖面之分類結果為CR-1：細質地混合型礦物炎熱的淺的簡育濕潤淋餘土；CR-2與CR-5：細質地混合型礦物炎熱的典型高鹽基淡色弱育土；CR-3與CR-4：細質地混合型礦物炎熱的典型厚育濕潤淋餘土。

## 謝誌

本研究承行政院農業委員會林業試驗所補助經費(計畫編號：92農科-2.2.3-森-G2)，謹此致謝。

## 引用文獻

- Blake GR, Hartge KH. 1986.** Bulk density. In: Klute A, editor. Methods of soil analysis, Part 1. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI, SSSA: p 363-75.
- Blume HP, Schwertmann U. 1969.** Genetic evaluation of profile distribution of aluminum, iron, and manganese oxides. Soil Sci Soc Am Proc 33:438-44.
- Chiou WL. 1991.** The vegetation of Hengchun nature preserved area. Bull Taiwan For Res Inst 6:203-27.
- Durn G, Ottner F, Slovence D. 1999.** Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. Geoderma 91:125-50.
- FitzPatrick EA. 1993.** Soil microscopy and micromorphology. Chichester, UK: J Wiley. 304 p.
- Gee GW, Bauder JW. 1986.** Particle-size analysis. In: Klute A, editor. Methods of soil analysis, Part 1. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI, SSSA: p 383-411.
- Ho CS. 1975.** An introduction to the geology of Taiwan. Taipei, Taiwan: Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs. 192 p.
- Liu JC, Chen ZS. 1993.** Ultisols and Alfisols of Kenting area, south Taiwan: morphology, properties and classification. Chinese Agri Chem Soc J 31:274-85.
- Mckeague JA, Day JH. 1966.** Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as acids in different various classes of soils. Can J Soil Sci 46:13-22.
- Mclean EO. 1982.** Soil pH and lime requirement. In: Page AL, Miller RH, Keeney

DR editors. Methods of soil analysis, Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI, SSSA: p 199-224.

**Mehra OP, Jackson ML. 1960.** Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner* 7:317-27.

**Nelson DW, Sommer LE. 1982.** Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR editors. Methods of soil analysis, Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI, SSSA: p 539-77.

**Rhoades JD. 1982.** Cation exchange capacity. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR editors. Methods of soil analysis, Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI, SSSA: p 149-57.

**Simonson RW. 1994.** Morphology and composition of specimen soils, Okinawa. *Geoderma* 63:19-42.

**Soil Survey Staff. 1993.** Soil survey manual. USDA. Handbook. no. 18. Washington, DC:

US Govt Print Office. 437 p.

**Soil Survey Staff. 1999.** Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agricultural Handbook. no. 436. 2<sup>nd</sup>. Washington, DC: US Govt Print Office. 870 p.

**Thomas GW. 1982.** Exchangeable cation. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR. editors. Methods of soil analysis, Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI, SSSA: p 159-65.

**Tsai CC, Chen ZS. 2000.** Lithologic discontinuities in ultisols along a toposequence in Taiwan. *Soil Sci* 165:587-96.

**Wang SH, Kuo YL. 1995.** Population dynamics of young *Bischofia javanica* Blume seedlings in the Kenting uplifted coralreef forest. *Bull Taiwan For Res Inst* 10:383-89.

**Woodroffe CD, Morrison RJ. 2001.** Reef-island accretion and soil development on Makin, Kiribati, central Pacific. *Catena* 44:245-61.