

海南島热带土壤的粘土矿物*

張效年

(中国科学院土壤研究所)

海南島位于我国的南端,属热带地区,具有优越的自然条件,是发展热带作物的理想地区。島的四周低平,中部有高达1,800米以上的高山,由于地势特点的影响,本島各部的氣候有显著的不同。这种气候上的差异以及复杂的植被类型和不同的母岩的影响,使本島各部的土壤也有很大的差异。关于本島的自然环境条件、土壤的分布情况,以及某些土壤的化学、矿物特性,过去已有一些报导^[1-5],本文主要是从土壤的粘土矿物方面提供一些資料,供进一步綜合研究本島的土壤时参考。

一、研究标本

研究标本包括砖紅壤、砖紅壤性土、热带紅壤、黃壤、热带干草原土和热带幼年土等六个土类,根据不同土类选用了十六个剖面,共四十多个标本,各标本的情况及其化学性質列于表1^[1,3,5](見第38頁)。

砖紅壤主要分布在本島北部的平坦地区,由玄武岩等噴出岩的深度风化物所形成,土色赭紅,土层深厚,一般約3—5米,質地极为粘重,全剖面皆为重粘土。所研究的土壤剖面系李庆遠、石华、龔子同等采自福山次生杂木林下(剖面1号)。

- 0—30 厘米 暗赭紅色重粘土,核粒状結構,略紧,有孔隙及虫穴富含植物根。
- 30—50 厘米 赭紅色重粘土,块状結構,紧实,有孔隙,植物根較少。
- 50—80 厘米 赭紅色重粘土,块状結構,紧实,仍显孔隙,有植物細根。
- 80 厘米以下 赭紅色重粘土,块状結構,結構表面有光亮的胶膜,仍有孔隙,植物根极少。

这类土壤的pH多在5以上,交換性氫鋁含量都很低,土壤的交換量也小。

砖紅壤性土主要分布在拔海600米以下的雨量充沛的山区和丘陵区,多发育于酸性母岩,风化度已深,剖面厚度多在1米左右或1米以上,質地一般为壤土到重粘土。所研究的土壤剖面采自东平茂密的芒箕、崗松植被下(剖面6号)。

- 0—10 厘米 暗灰色土层,极多量芒箕粗根交織成网状,多孔隙,有虫穴,質地为砾质輕壤土。
- 10—30 厘米 暗灰棕色砾质中壤土,植物根多,小团粒状結構,多孔隙虫穴,較松,向下逐渐过渡。
- 30—47 厘米 灰棕色砾质中壤土,植物根中量,根細,小块状結構,多裂隙,裂隙中有上层移下的暗灰色細土粒,稍紧。
- 47—70 厘米 紅棕色砾质輕粘土,植物根少,块状結構,稍具胶膜,紧实。
- 70—95 厘米 浅紅棕色砾质重壤土,偶見植物細根,块状結構,紧实,可見矿物风化所产生的紅、白斑点。向下即为較均匀的母岩风化层。

除上述标本外,还有剖面3、4、5号是由何金海、侯传庆、林心雄等采集。

* 本文蒙熊毅先生指正,并提出宝贵意見;部分标本由本所野外队、点的同志供給;肖秀英、楊德湧同志参加部分測定,特此致謝。

- 这类土壤的剖面发育良好,有明显的粘粒淋淀现象。土壤 pH 多在 4.0—5.0 之間,为本島分布較广的土壤。

热带紅壤主要分布在本島西南部較干热的地区,由于气候干燥,土壤发育程度較砖紅壤性土为浅,酸度也較小, pH 多在 5.5 左右。下面記載的剖面形态为李庆逵、何金海、陈家坊等采自东方水头的标本(剖面 8 号)。

- 0—12 厘米 灰棕色粘壤土,核粒結構,疏松多孔隙,多植物根,有少許石英砾。
- 12—27 厘米 棕色砾质重粘壤土,核粒狀結構,較上层为紧,有孔隙,植物根較少。
- 27—55 厘米 紅棕色砾质重粘壤土,块狀結構,紧实,仍显孔隙,很少植物根。有紅、黃、白色网状斑紋。
- 55 厘米以下 黃棕色半风化母岩。

本島东部的某些土壤,由于母岩及其他因子的影响,土壤发育程度不深,土层浅薄,也屬热带紅壤,如剖面 9 号(李庆逵、张效年采集)及剖面 10 号(林心雄采集)。某些由近代噴出岩发育的土壤,因其成土時間較短,从其性質来看也应属于热带紅壤,由龔子同、何金海等采自定安龙塘林木下,由近代噴出岩发育的此种土壤的剖面(剖面 11 号)形态如下:

- 0—12 厘米 灰褐色砾质重粘壤土,团粒結構,疏松,多孔隙,有蚯蚓穴,多植物根。
- 12—26 厘米 灰褐色砾质重粘壤土,核粒結構,尚松,有孔隙,植物根仍多。
- 26—50 厘米 灰褐色砾质輕粘壤土,块狀結構,紧实,少孔隙,有植物細根。
- 50 厘米以下为褐色母岩及半风化体。

热带紅壤由于发育尚浅,剖面深度多在 50 厘米左右,其下即为母岩风化体。

黃壤多分布在海拔 700 米以上的山地,气温較低,雨量和湿度較大。这类土壤的特点是酸性強, pH 都在 4.5 以下,有的土壤甚至低到 3.8, 活性酸量一般在每百克土 2—10 毫当量之間,高者可达 10 毫当量以上。据統計本島海拔 1,000 米以上的山峯有 80 余座^[2], 多在中部地区,所以本島中部分布有大面积的黃壤。研究标本系张俊民、龔子同采自五指山,由凝灰岩发育的黃壤(剖面 13 号),其剖面形态如下:

- 0—15 厘米 棕褐色中粘壤土,疏松,根羣盘結,有弹性。
- 15—35 厘米 棕色重粘壤土,尚疏松,有少数細根,偶有母岩碎块。
- 35—70 厘米 灰棕色輕粘土,較紧,尚有少数細根,多母岩碎块。
- 70—100 厘米 淡灰棕色带紫,重粘壤土,紧,含母岩碎块 50% 以上。

热带干草原土多分布于本島西部及西南部沿海地区,該地区气候干燥而炎热。这类土壤多发育于砂质老沉积物上,生长富蜡质多針刺的旱生植物,土壤 pH 在 6.0 以上,不含活性酸,土壤有机质含量极低。研究标本由何金海、张效年采自北黎(剖面 15 号),其剖面形态如下:

- 0—15 厘米 紅棕色砂土,单粒結構,松散,多孔隙,有植物根。
- 15—40 厘米 紅棕色輕壤土,碎块狀結構,較上层略紧,但易碎,多孔隙,有动物穴,有表土順洞穴下移現象,有較粗之石英顆粒。
- 40—105 厘米 紅色輕壤土,块狀結構,較紧实,但易用手捏碎,孔隙仍明显,植物根极少,石英粒較粗大。

热带幼年土分布在本島北部的一些火山噴出口附近,由近期噴出岩在目前气候条件下发育而成,因成土時間很短,土壤发育也浅,土层浅薄,土色暗棕,土壤反应为中性,土壤

表 1 海南島熱帶土壤的化学性質*

剖面 號碼	標 本 號	土 類	採 集 地 點	母 質	植 被	深 度 (厘米)	有 機 質 (%)	pH		活 性 鋁 (毫克/100克)	交 換 性 氫 (毫克/100克)	粘 粒 (<1 微米) 含量(%)	粘 粒 (<1 微米) 代 換 量 (毫克/100克)
								(H ₂ O)	(KCl)				
1	27758	磚紅壤	澄迈福山	玄武岩	杂木林	0—30	3.94	5.0	4.7	0.20	0.12	63.1	7.4
	27759	30—50				1.02	5.0	0.37	0.06	78.0	6.4		
	27760	50—80				0.68	5.2	0.24	0.06	78.9	6.2		
	27761	80→				0.64	5.0	0.22	0.06	77.5	6.2		
2	海 88	三門坡	玄武岩	杂木林	0—20	5.16	4.8	—	0.28	0.16	33.0	6.0	
	海 90				—	4.8	—	—	—	52.0	6.0		
3	24568	磚紅壤性 土	臨高和庆	花崗岩	杂木林	0—25	1.64	5.0	4.2	1.13	0.26	13.9	12.4
	24569					25—50	0.62	5.3	4.3	1.59	0.20	23.3	11.4
	24570					50—85	0.48	4.6	4.1	2.14	0.02	21.8	8.8
	24571					85→	—	4.7	4.0	1.72	0.02	22.7	—
	海148					0—15	4.02	4.3	—	3.20	16.3	12.4	
4	海150	保亭	花崗岩	季雨林	32—42	1.68	4.0	—	9.25	42.7	12.9	12.4	
	海152				80—90	—	3.5	—	11.85	35.3	12.4		
	海100				0—10	1.73	4.5	—	0.61	19.0	9.7		
	海102				50—60	1.53	3.6	—	1.88	34.5	9.5		
5	海 29	那大	花崗岩	林木	0—10	3.64	4.3	—	3.76	0.12	11.0	15.9	
	海 31				35—45	1.92	4.3	—	4.74	0.11	17.3	15.7	
	海 33				80—90	—	4.4	—	5.92	0.08	25.2	13.9	
	海 29				芒葉崗松	—	—	—	—	—	—	—	
6	海 29	东平	砂岩	芒葉崗松	0—10	3.64	4.3	—	3.76	0.12	11.0	15.9	
	海 31				35—45	1.92	4.3	—	4.74	0.11	17.3	15.7	
	海 33				80—90	—	4.4	—	5.92	0.08	25.2	13.9	
	海 29				芒葉崗松	—	—	—	—	—	—	—	
7	27713	熱帶紅壤	東方谷蓋	片岩	杂木林	0—15	4.21	5.8	4.9	0.15	0.13	18.5	20.2
	27714					15—40	1.09	5.4	4.5	0.75	0.10	22.2	19.4
	27715					40—60	1.01	5.3	4.4	0.63	0.09	24.9	19.8
	27716					60—85	0.80	5.3	4.4	0.62	0.09	27.0	17.2
8	27808	東方水头	花崗岩	杂木林	0—12	2.67	5.8	5.2	0.03	0.05	—	25.8	
	27809				12—27	0.93	5.5	4.8	0.25	0.26	—	21.0	

9	27810	东平	千枚页岩	林木	27—55	0.55	4.8	4.5	0.54	0.31	—	20.7
	海 58				0—15	4.95	4.1	—	0.97	—	—	
	海 59				20—30	2.00	4.4	—	0.40	—	21.6	
	海 60				50—55	—	4.4	—	0.18	—	—	
	海 53				0—17	4.71	5.4	—	0.22	12.0	19.1	
	32190				0—12	2.65	6.1	5.3	—	25.6	11.7	
11	32191	定安龙塘	玄武岩	林木	12—26	2.37	6.1	5.1	—	—	27.0	13.2
	32192				26—50	1.90	5.7	5.0	—	—	36.3	12.2
	27868				0—15	2.86	4.5	4.2	0.40	26.9	12.8	
12	27869	黄壤	花岗岩	草类	15—28	1.56	4.4	4.1	1.44	0.33	27.5	11.4
	27870				28—46	1.05	4.4	4.2	0.33	31.0	16.2	
	27871				46—100	0.84	4.6	4.4	0.46	37.1	13.2	
	26985				0—15	15.8	3.9	3.5	1.34	18.0	—	
	26986				15—35	6.90	3.8	3.2	1.34	23.8	20.4	
	26987				35—70	2.93	4.6	4.2	0.19	23.6	14.2	
13	26988	70—100	1.08	4.6	4.2	0.24	19.1	—				
	27047	0—30	6.01	4.0	3.7	—	—	—				
	27048	30—65	—	—	—	—	—	14.6				
	27049	65—100	—	4.3	4.0	—	—	—				
14	27731	热带干草原土	老沉积物	旱生植物	0—15	0.34	6.1	5.7	0.02	痕迹	—	—
	27732				15—40	0.21	6.2	5.7	0.02	痕迹	—	16.6
	27733				40—105	0.18	6.2	5.7	0.02	痕迹	—	—
15	27823	热带幼年土	旧儋县城	近期喷出岩	0—15	2.59	6.2	5.4	—	—	42.3	43.6
	27824				15—35	1.16	7.4	6.3	—	—	20.9	—
	27825				35—60	0.65	7.2	6.3	—	—	13.5	46.1

* 由本所分析室及杨德涌等同志测定。

的交换量相当高,所以称之为热带幼年土。研究标本由何金海、张效年采自旧僑县城东北(剖面 16 号),其剖面形态如下:

0—15 厘米 暗棕色重粘土,土壤较湿,有龟裂现象,粘性极大,紧实,多植物残根。

15—35 厘米 暗棕色粘土,土壤湿,有裂隙,大块状结构,结构表面胶膜极明显,粘性极大,坚实,植物残根少。

35—60 厘米 暗棕色壤粘土,土壤湿,大块状结构,胶膜明显,粘性仍大,坚实,植物根极少。

上述热带幼年土的所在位置地势低平,雨后排水不良,典型剖面是三、五十厘米以下即为母岩半风化体和母岩,研究标本在 60 厘米以下尚未见母岩,可能是因为地势较低,受较高地方冲来的风化物所复盖。

二、試驗方法

粘粒的分离:研磨分散后,用沉降吸取法分离小于 1 微米的粘粒,用 10% 的 H_2O_2 去除有机质,用 $CaCl_2$ 处理使成钙质,用水和酒精洗去多余的 $CaCl_2$ 后,在红外灯下低温(低于 $65^\circ C$)烘干,磨细,通过 60 孔筛。

差热分析:将磨细的粘粒置于相对湿度 50% 的保湿器中保持四、五天,用自动控制照象记录差热分析仪进行鉴定。加温速度为每分钟 $10^\circ C$,以 Al_2O_3 为中性体。标本用量约 0.3 克。

X 射线衍射分析:将标本置于玛瑙研钵中磨细,置于相对湿度约 50% 的保湿器中三、四天,将标本紧压于玻璃片凹槽中,用飞利浦厂出产的自动记录 X 射线衍射仪进行工作。摄录条件为: $CuK\alpha$ 辐射,电压 34KV,电流 10mA,扫描速度每分钟 1° 。

化学全量分析:用 Na_2CO_3 熔融; SiO_2 , R_2O_3 用重量法; Fe_2O_3 为 $KMnO_4$ 容量法; CaO 为 $(NH_4)_2C_2O_4$ 沉淀, $KMnO_4$ 容量法; MgO 为 Oxine 重量法。 MnO , TiO_2 皆为比色法。 K_2O , Na_2O 为火焰光度计法。

阳离子代换量: $N NH_4AC$ 淋洗,硼酸吸收法。

表面积:乙二醇重量法^[6]。

三、鉴定结果

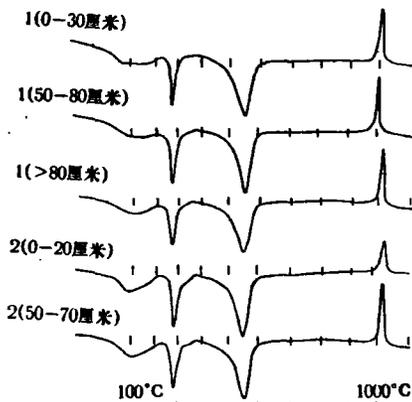


图 1 砖红壤的差热曲线

砖红壤:从图 1 差热曲线看出,砖红壤(剖面 1, 2 号)的粘土矿物以高岭石和三水铝石为主;从表 2 化学分析结果推算,还含有约 20% 的氧化铁和水氧化铁,以及约 2% 的钛铁矿。粘粒的交换量低,每百克仅 6—7 毫当量(表 1),粘粒的表面积也低,每克仅 47 平方米(表 3),粘粒的 SiO_2/Al_2O_3 分子比只 1.50 左右,碱金属和碱土金属的含量也极低(表 2),由此推论,砖红壤不含 2:1 型粘土矿物^[4,5]。从剖面的上下层来看,这类土壤的粘土矿物组成极为一致,这一点也为化学全量分析结果和其他鉴定材料所证实。

表 2 海南島热带土壤粘粒(<1微米)的化学組成*

剖面 号碼	土类	深度 (厘米)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	H ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃
1	砖紅壤	0—30	30.02	34.04	17.24	1.25	1.55	15.36	痕迹	0.56	0.07	0.02	1.50	1.13
		30—50	30.22	33.50	18.02	1.14	1.61	15.04	痕迹	0.46	0.04	0.04	1.53	1.14
		50—80	30.06	34.33	17.89	0.94	1.68	15.13	痕迹	0.43	0.05	0.08	1.49	1.12
		80→	30.49	34.34	18.29	0.53	1.65	14.59	痕迹	0.49	0.07	0.05	1.51	1.13
3	砖紅壤 性土	0—25	41.46	37.08	4.19		0.34	17.65					1.90	1.88
		25—50	41.57	38.51	3.64	0.90	0.11	13.95					1.83	1.73
		50—85	42.46	40.19	3.88	0.80	0.09	13.58					1.79	1.69
		85→	43.41	39.62	3.56	0.79	0.02	13.85					1.86	1.76
7	热带 紅壤	0—15	39.93	31.08	10.53	1.76	0.11	12.89					2.18	1.78
		15—40	40.56	30.57	9.53	2.25	0.21	12.31					2.25	1.87
		40—60	40.75	30.92	10.69	1.75	0.07	11.86					2.24	1.83
		60—85	40.58	31.03	11.30	1.63	0.21	11.61					2.22	1.80
8	热带 紅壤	0—12	40.55	32.14	10.56		0.60	13.78					2.14	1.81
		12—27	40.54	31.38	9.63		0.64	15.32					2.19	1.83
		27—55	41.74	33.51	8.22	0.92	0.57	13.57					2.11	1.83
12	黄壤	0—15	38.81	33.35	9.98	1.21	0.53	15.03	0.26	1.87	0.55	0.16	1.98	1.66
		15—28	38.12	31.66	12.57	0.48	0.58	13.89	0.23	0.89	0.50	0.11	2.04	1.63
		28—46	37.36	33.98	8.36	2.15	0.45	16.06	痕迹	0.89	0.42	0.07	1.87	1.61
		46—100	36.47	34.83	8.09	2.15	0.40	16.65	痕迹	0.78	0.40	0.06	1.78	1.55
13	黄壤	0—15	44.38	33.71	2.33		痕迹	17.52					2.24	2.05
		15—35	44.45	36.34	2.19		痕迹	16.48					2.08	1.93
		35—70	39.62	40.51	2.69	0.21	痕迹	15.92					1.66	1.59
		70—100	40.20	39.22	1.04	1.04	痕迹	17.01					1.70	1.68

* 由张效年、张国珠、刘崇禧等分析

表 3 海南島热带土壤粘粒(<1微米)的表面积*

标 本 号	乙二醇固定量 (毫克/克)	表 面 积 (平方米/克)
1 (> 80cm)	14.6	47.1
4 (0—15cm)	18.5	59.6
5 (0—10cm)	20.5	66.1
6 (35—45cm)	24.3	78.4
7 (60—85cm)	18.9	60.9
9 (20—30cm)	26.0	83.8
11 (12—26cm)	33.9	109
12 (28—46cm)	21.7	70.0
15 (15—40cm)	30.3	98.6
蒙脱石		600—800
伊利石		70—130
埃洛石		40—80
高岭石		15—30

* 四种粘土矿物的表面积系根据有关文献綜合而成^[6,9]。

砖红壤性土:从差热曲线(图2)看出,这类土壤(剖面3,4,5,6号)的主要粘土矿物是高岭类(包括埃洛石),有的土壤含有少量三水铝石。从图3 X射线衍射图看出,砖红壤性土壤中除含有大量的高岭类矿物以外,还有少量的伊利石,图中10Å左右的衍射峰即指示伊利石的存在。这类土壤的粘粒的代换量多在每百克10—15毫当量之间,表面积每克在60—80平方米之间,这些数值也与上述推断的粘土矿物组成相当。砖红壤性土的上下层的粘土矿物组成,从某些标本的X射线衍射图看来,似乎稍有变化,如剖面6号的表层(0—10厘米)和底层(80—90厘米),但在差热曲线上和代换量方面都未表现出来,因此可以认为砖红壤性土的上下层的粘土矿物组成的变化是不明显的。

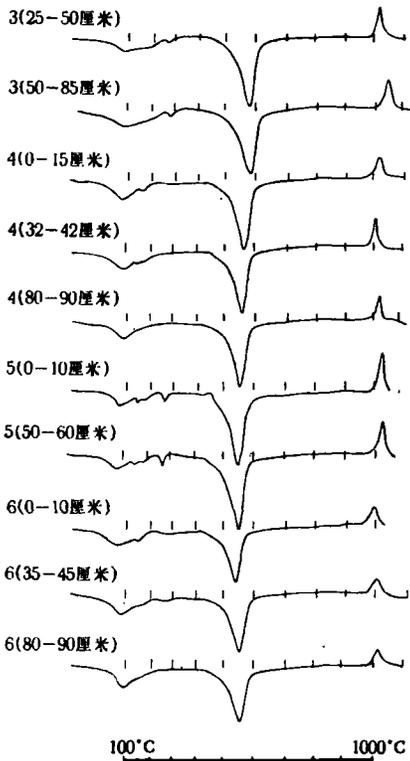


图2 砖红壤性土的差热曲线

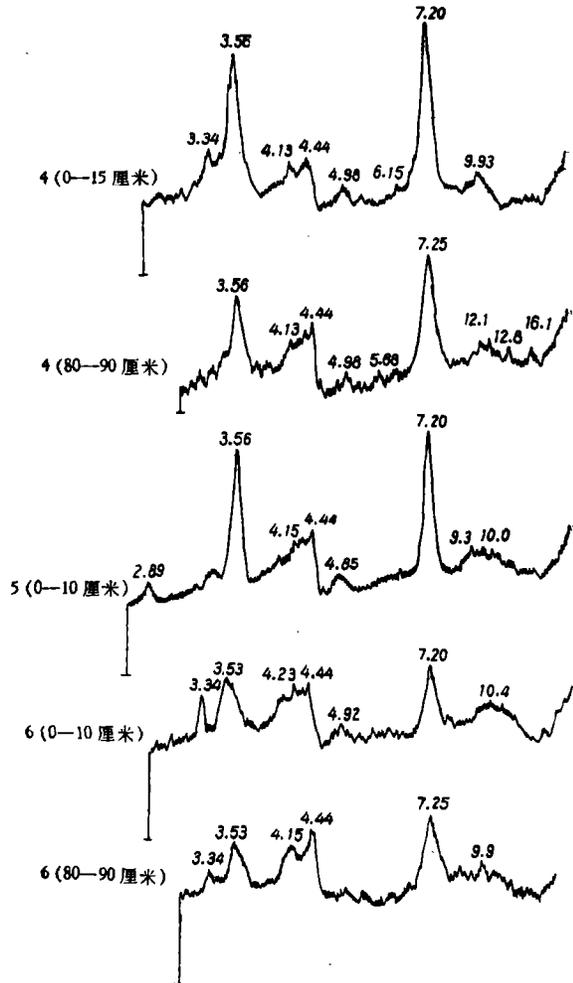


图3 砖红壤性土X射线衍射图

热带红壤:从差热曲线(图4)、X射线衍射图(图5)、化学全量分析(表2)以及粘粒的代换量(表1)和表面积(表3)等综合鉴定的结果判断,本岛西部较干旱地区内由酸性母岩发育的热带红壤(剖面7,8号),其粘土矿物组成是以高岭石占优势,但伊利石含量较砖红壤性土为多,有的土壤中并有少量钾长石。本岛东部地区内某些发育尚浅的土壤,由于母岩及其他因子的影响,其粘土矿物组成,除高岭石和伊利石外,尚有云母和混层矿物存在。如采自东平的剖面9(20—30厘米)号标本,系由含多量云母等富钾矿物的千枚页岩所发育,因成土作用较浅,粘土矿物组成为伊利石、云母和混层矿物,并有一定量的高岭石,

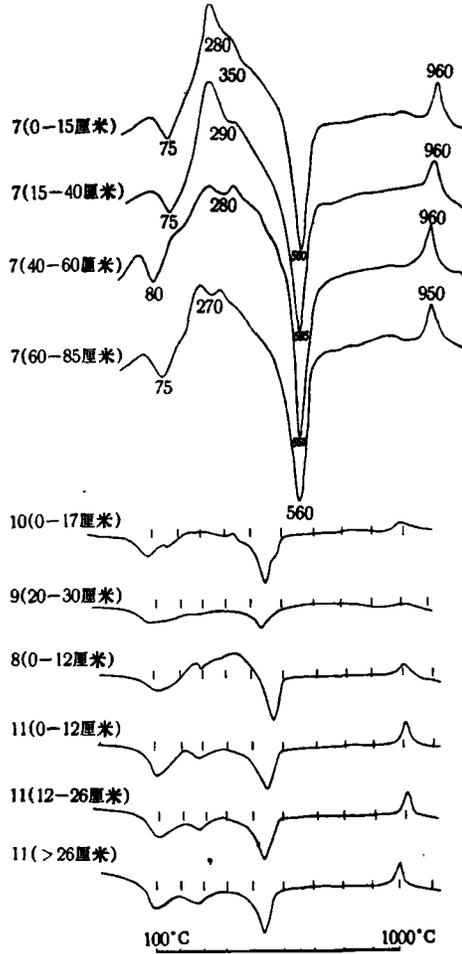


图 4 热带红壤的差热曲线(剖面 7 号是用另一热电偶所作)

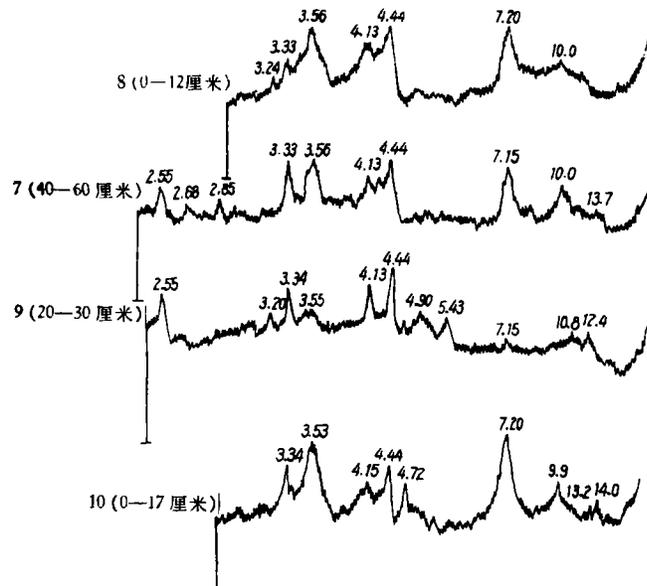


图 5 酸性母岩发育的热带红壤的 X 射线衍射图

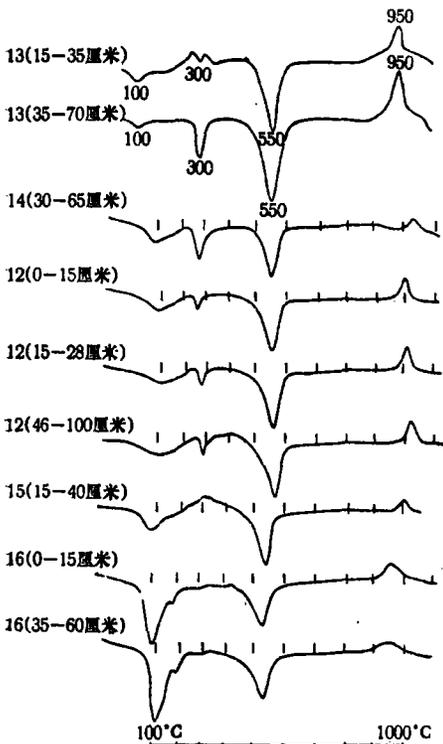


图6 黄壤(剖面12, 13, 14号)、热带干草原土(剖面15号)和热带幼年土(剖面16号)的差热曲线(剖面13号是用另一仪器所作)

钾长石和石英。在剖面10(0—17厘米)号标本中除高岭石外,伊利石含量也较多,并有少量混层矿物;此外,还可能有绿泥石存在(14.1 Å, 4.72 Å, 580°C 吸热谷)。由火山喷出岩发育的热带红壤,由于母岩中含钾矿物较少,其粘土矿物以高岭类为主,不见有伊利石存在。除火山喷出岩发育的土壤含有少量三水铝石以外,由酸性岩发育的热带红壤的粘粒中都看不到有三水铝石的明显存在。热带红壤的上下层的粘土矿物组成变化不明显。

黄壤:从有关的鉴定材料判断(图6, 7;表1, 2, 3),这类土壤的粘土矿物组成,以高岭类为主,但含有一定量的2:1型矿物和三水铝石。采自五指山的黄壤(剖面13号),其上层土壤(15—35厘米)中的三水铝石含量较下层(35—70厘米)少,这一点可由它们的差热曲线、代换量和化学全量分析看出。采自阿陀岭上的黄壤(剖面12号)则剖面上下层的粘土矿物组成甚为一致。

热带干草原土:从有关的鉴定材料来看,这类土壤的粘土矿物组成以高岭石和伊利石为主,同时有石英和少量钾长石存在。这些矿物的存在可能是由于当地气候干燥所致。

热带幼年土:一般说来,火山喷出岩较酸性母岩易于风化,但本岛某些近期火山喷出

表4 火山喷出岩发育的热带红壤 11(12—26厘米)号标本的X射线衍射数据

d(Å)	I
15.8	3d
7.3	9
4.87	5
4.47	9
4.14	6
3.58	7b
3.35	3
2.94	1
2.86	2d
2.57	4
2.52	4
2.42	4b
2.20	2b
1.695	4b
1.483	4

d = 扩散, b = 宽。

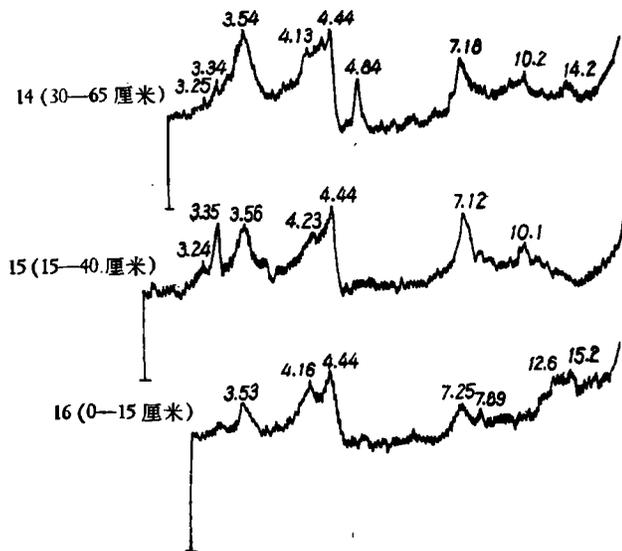


图7 黄壤(剖面14号)、热带干草原土(剖面15号)和热带幼年土(剖面16号)的X射线衍射图

岩发育的土壤, 因为成土時間尚短, 土壤发育还处在初期阶段, 所以其粘土矿物組成与本島的其他土类有显著的不同, 由差热曲线(图 6)和粘粒的代換量(表 1)、表面积(参看表 5)等鉴定材料推断, 这类土壤(剖面 16 号)是以蒙脱石和高岭类为主要粘土矿物成分, 不見有三水鋁石存在。从鉴定材料还可看出, 其表层(0—15 厘米)較底层(35—60 厘米)含高岭类矿物稍多。根据日本研究者的报告^[7,8], 日本由火山灰发育的土壤, 其粘土矿物以水鋁英石(allophane)为主, 这种非晶物质的代換量和表面积也很大。为了查明海南島热带幼年土中是否也存在水鋁英石, 我們曾按 Kinter 等用三乙醇胺处理标本的原理^[9], 和 Bower 的乙二醇重量法^[6]测定了本类土壤的粘粒对乙二醇的固定量, 其結果列于表 5。

表 5 热带幼年土粘粒, 蒙脱石和高岭石对乙二醇的固定量(%)

标 本	未 处 理	三乙醇胺饱和
16(0—15 厘米)*(<1 微米)	14.2	3.6
蒙脱石(<1 微米)	22.8	5.3
高岭石(<1 微米)	8.4	7.0

* 去除有机质和游离氧化铁的标本。

根据 Kinter 等^[9]的研究, 蒙脱石和水鋁英石不加任何处理时, 它們对甘油的固定量都很高, 表明二者的总表面积都很大, 但如預先用三乙醇胺饱和, 将其內表面掩盖, 則处理后的蒙脱石对甘油的固定量大为减少, 只有未处理者的 1/4 到 1/6, 但处理后的水鋁英石对甘油的固定量与未处理的完全相同, 表明蒙脱石的表面, 大部分为內表面, 而水鋁英石則完全为外表面, 不存在內表面。从我們用乙二醇测定的結果看出, 热带幼年土的粘粒在未經处理前固定乙二醇 14.2%, 用三乙醇胺处理后, 則只固定 3.6%。結合表 5 中蒙脱石和高岭石对乙二醇的固定量来看, 似可証明这类土壤的粘土矿物組成中是以蒙脱石和高岭类矿物为主, 不存在水鋁英石。Герасимов 曾将海南島的这类土壤和砖紅壤統称为“水鋁英石土”^[10], 看来似不甚恰当。

表 6 海南島不同土壤的粘土矿物組成

剖面号碼	土 类	主要粘土矿物	次要粘土矿物	上下土层的异同
1, 2	玄武岩发育的砖紅壤	高岭石, 三水鋁石, 赤鉄矿		极为一致
3, 4, 5	花崗岩发育的砖紅壤性土	高岭类(包括埃洛石)	伊利石, 三水鋁石	差异不明显
6	砂岩发育的砖紅壤性土	高岭类(包括埃洛石)	伊利石, 石英	差异不明显
7	片岩发育的热带紅壤	高岭石, 伊利石	混层矿物, 石英水化氧化鉄	差异不明显
8	花崗岩发育的热带紅壤	高岭石, 伊利石	鉀长石, 水化氧化鉄, 石英	差异不明显
9	千枚岩发育的热带紅壤	伊利石, 云母, 混层矿物	高岭石, 石英, 鉀长石	
10	砂岩发育的热带紅壤	高岭石, 伊利石	混层矿物, 石英, 綠泥石(?)	
11	玄武岩发育的热带紅壤	高岭类(包括埃洛石)	水化氧化鉄, 三水鋁石	差异不明显
12, 14	花崗岩发育的黃壤	高岭类(包括埃洛石)	伊利石, 三水鋁石, 水化氧化鉄	甚为一致
13	凝灰岩发育的黃壤	高岭类(包括埃洛石)	三水鋁石	上层含三水鋁石較少
15	老沉积物发育的热带干草原土	高岭石, 伊利石	石英, 鉀长石	甚为一致
16	近期噴出岩发育的热带幼年土	蒙脱石, 高岭类(包括埃洛石)		上层含高岭类矿物稍多

总结以上的鉴定结果,将海南岛各类土壤的粘土矿物组成列于表6。并根据各类土壤的粘土矿物组成,将海南岛的土壤分为七个区,如图8所示。

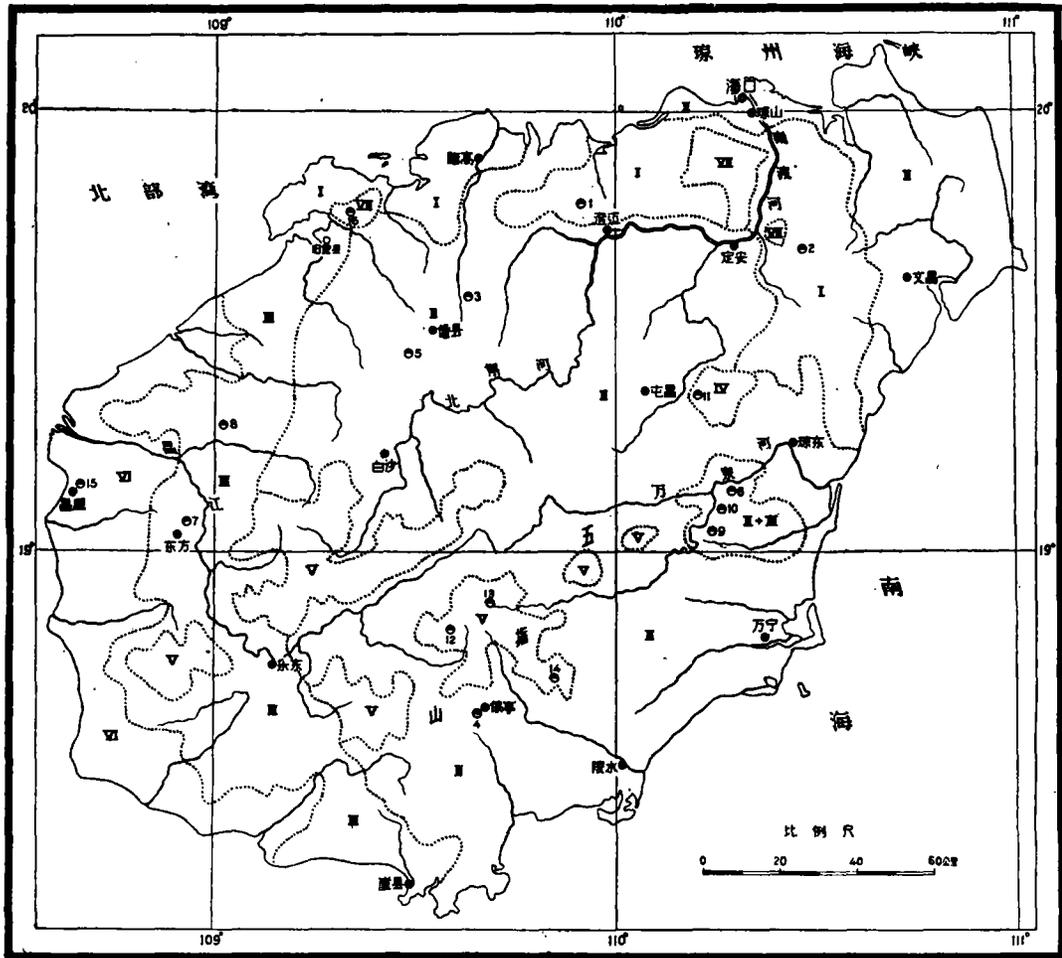


图8 海南岛热带土壤粘土矿物分布图*

- I. 以高岭石-三水铝石-赤铁矿为主的砖红壤区
 - II. 以高岭类为主的砖红壤性土区
 - III. 以高岭石-伊利石为主的由酸性母岩所发育的热带红壤区
 - IV. 以高岭类为主的由玄武岩所发育的热带红壤区
 - V. 以高岭类为主的黄壤区
 - VI. 以高岭石-伊利石为主的热带干草原土区
 - VII. 以蒙脱石-高岭类为主的热带幼年土区
- 剖面采集所在地点

* 土壤界线主要根据何金海、石华等海南岛土壤图^[1]

四、讨论

(一) 成土条件与粘土矿物组成的关系

海南岛内不同土壤的粘土矿物组成的差异,是受多种成土因素的综合影响所产生的,现分别讨论各种成土条件与粘土矿物组成的关系。

1. 母岩 根据地质学家的研究,海南岛北部的火山喷发时期,可能在第三纪末和第四纪,而花岗岩的侵入时期则远远早于火山喷出岩,约在白垩纪^[11]。海南岛的某些玄武岩与花岗岩的交界处,可以看到玄武岩复盖于花岗岩之上,这也证明花岗岩老于玄武岩。由

玄武岩发育的砖紅壤(剖面 1, 2 号), 其粘土矿物以高岭石、三水鋁石和赤鉄矿为主, 并有約 2% 的鈦鉄矿, 几乎不含石英。由花崗岩发育的砖紅壤性土(剖面 3, 4, 5 号), 其粘土矿物虽以高岭类为主, 但却还有少量伊利石, 而三水鋁石和氧化鉄的含量較砖紅壤少得多, 几乎没有鈦鉄矿存在。这两类土壤的粘土矿物組成上的差异, 应该主要是由于母岩的矿物成分不同所致。玄武岩中含有多量的鈣鈉斜长石、輝石、橄欖石和少量的鉀长石, 前三种矿物易于风化, 含有亚鉄的輝石和橄欖石經风化后可将亚鉄释放出来而被氧化成鉄的氧化物, 使土壤中含有大量的游离氧化鉄。花崗岩中虽有一定量的易风化的斜长石和黑云母等, 但还有大量难于风化的石英, 以及相当数量較难风化的鉀长石和白云母等, 因此花崗岩发育的砖紅壤性土的粘粒中, 仍有少量伊利石等含鉀矿物和石英, 而氧化鉄和鈦鉄矿的含量則远較砖紅壤为少。由此可见, 成土过程及土壤粘土矿物的組成固然受到气候等因子的影响, 但母质不同所引起的差异也很显著。

2. 气候 本島虽处于热带气候环境, 但各地区的气候条件仍有明显的差异^[12], 这种气候条件的差异, 明显地影响着土壤粘土矿物的形成。如采自东方的热带紅壤(剖面 8 号)和采自保亭的砖紅壤性土(剖面 4 号)同为森林植被下由花崗岩发育的土壤, 但由于二者所处的气候条件的不同, 它們的粘土矿物組成也不尽相同。东方处在本島的西部, 保亭位于本島南部, 两地区的温度条件相差不大, 但东方的年降雨量只有 1,300 毫米左右, 而保亭的年降雨量却为 1,800—2,000 毫米, 因此, 采自东方的热带紅壤(剖面 8 号), 其粘土矿物以高岭石和伊利石为主, 并含有少量未經风化的鉀长石, 而采自保亭的砖紅壤性土(剖面 4 号)以高岭类矿物为主, 只有少量伊利石, 不見鉀长石存在。又如, 由花崗岩发育的黄壤(剖面 12 号, 拔海 700 米; 剖面 14 号, 拔海 940 米)与保亭丘陵地区由花崗岩发育的砖紅壤性土(剖面 4 号)比較, 黄壤分布于山地, 拔海較高, 温度約低于保亭 5—8°C (以每升高 100 米降低 1°C 計算), 但雨量較高, 湿度也較大, 致使黄壤和砖紅壤性土的粘土矿物組成都以高岭类为主。本島的气候特点是各地区的温度差异較小, 各地的年平均温度只相差 3—6°C, 但各地区的降雨量和蒸发量却悬殊很大。如西部沿海地区, 年降雨量仅 800—1,000 毫米, 蒸发量却高至 2,000 毫米以上, 东部地区年降雨量多接近 2,000 毫米或更高, 蒸发量較降雨量显著为低。因此西部沿海的土壤多属热带干草原土, 其粘土矿物以高岭石和伊利石为主, 并有少量鉀长石, 不見有三水鋁石存在; 而东部則发育成砖紅壤性土, 其粘土矿物以高岭类为主, 并有少量三水鋁石存在。看来, 海南島各地区降雨量的不同对土壤粘土矿物的影响, 較温度上的差异的影响要明显得多。

3. 时间 在相同的自然环境条件下, 由同一母岩发育的不同阶段的土壤, 由于风化作用和成土作用的时间的长短, 土壤經受外界环境因素的作用的強弱也不相同, 因而其粘土矿物組成也有显著的差异。剖面 16 号、11 号和 1 号土壤标本, 是在相同的自然条件下由火山噴出岩(玄武岩为主)发育的土壤, 但由于其成土时间不同, 依次属于热带幼年土、热带紅壤和砖紅壤。

热带幼年土发育于近期火山噴出岩。剖面 16 号标本的粘粒含游离 Fe_2O_3 只有 7% 左右, 含 K_2O 很少, 其粘土矿物組成以蒙脱石和高岭类矿物为主; 同类岩石所发育的热带紅壤(剖面 11 号), 其粘土矿物以高岭类为主; 砖紅壤中粘土矿物組成則为高岭石、三水鋁石和赤鉄矿。蒙脱类矿物只存在于热带幼年土, 成土时间較长的热带紅壤及砖紅壤都无蒙

脫类矿物,可說明成土時間与粘土矿物組成的关系。

4. 植被 剖面 10 号 (0—17 厘米) 标本和剖面 6 号 (0—10 厘米) 标本都是采自东平,由砂岩发育的土壤的表层,前者为良好的森林植被,后者为茂盛的約一人高的芒箕、崗松植被。由鉴定結果看出,森林植被下热带紅壤的粘土矿物以高岭石和伊利石为主,并有少量混层矿物存在;而芒箕、崗松植被下的砖紅壤性土則以高岭类矿物为主,只含有少量伊利石,不見有混层矿物存在。可見,植被类型不同也反映粘土矿物組成上的差別。崗松、芒箕是热带酸性土壤的指示植物,其灰分元素特别是基性元素的含量較森林雕落殘体为少,而其根系分泌物和殘体腐解产物的酸性較森林植被要大一些,因此崗松、芒箕植被下的土壤的酸度較森林植被下的土壤显著为高,上述的剖面 6 号 (0—10 厘米) 标本 pH 为 4.3,土壤含活性酸每百克土近 4 毫当量,而森林植被下的剖面 10 号 (0—17 厘米) 标本的 pH 为 5.4,每百克土壤含活性酸不足 1 毫当量。由于土壤酸度不同,植被类型就不一样,植被不同更影响土壤矿物的化学风化,而使其粘土矿物組成有所不同。剖面 13 号采自五指山的闊叶、針叶混交原始林下,系凝灰岩所发育的黃壤,其底层土壤含有有机質較少,粘土矿物以高岭类和三水鋁石为主,而表层土壤含有有机質較多,三水鋁石的含量反而減少,这种上下土层的粘土矿物的差异是否与茂密的森林植被有关,尚待进一步研究。

(二) 土壤粘土矿物的轉化規律

关于土壤中矿物的轉化,在过去的文献中已有很多报导。Jackson 等^[13]总结了前人对各类土壤的粘土矿物的研究結果,并通过自己的研究工作,提出了粘粒部分的矿物的化学风化的十三个阶段。熊毅^[14]和 Jackson 等^[15]从結晶化学的观点,根据矿物的化学风化原理,将层状硅酸盐的风化規律归納为四个反应:脫鉀作用,氫氧化作用,脫鋁作用和脫硅作用,而各个作用都有其逆反应;熊毅并对各个反应所需的环境条件做了闡明。我們曾根据上述的原理,及对我国某些类型的紅壤及其母岩风化物的細粒部分(< 5 微米)的矿物組成的研究,推断在我国紅壤地区土壤中的含鉀矿物存在着云母→伊利石→“中間矿物”→蛭石→濛脫石→高岭石的轉化序列^[16]。从本島某些不同土类的粘土矿物組成,也可看出上述的轉化序列是存在的。由酸性母岩发育的热带紅壤(剖面 7, 8, 10 号),其粘土矿物以高岭石和伊利石为主,并有少量混层矿物存在,有的土壤仍保留少量鉀长石。由酸性母岩发育的砖紅壤性土(剖面 3, 4, 5, 6 号),則以高岭类为主,只有少量伊利石,不見有混层矿物存在。由此可以看出,在我国的热带气候条件下,土壤在发育和演变过程中,随着风化作用和成土作用的加深,土壤中层状硅酸盐发生着云母→伊利石→混层矿物→濛脫石→高岭石的轉化序列。由于热带气候的特点是温度高、雨量大,有利于脫鉀作用和脫硅作用的进行,在排水良好的砖紅壤性土壤中,強烈的淋溶作用却不利于氫氧化作用的进行,所以因氫氧化作用而生成濛脫石的过程,为期甚短,或不存在,因此,在上述鉴定的标本中,都未发现濛脫石。

在酸性母岩中常常存在着多量的鉀长石,它們在风化和成土过程中的变化方式与层状硅酸盐是不同的。Jenny^[17]在論述土壤粘土矿物的起源时会提到正长石受水的作用,在晶体表面发生着水化和水解两种反应,前者使裸露于晶体表面的与 Si 和 Al 結合着的 O 离子变成 OH 离子;后一反应使存在于 Si 和 Al 四面体的洞穴中的 K 离子被水的 H 离子所置換。水化作用和水解作用的結果使裸露的氧四面体部分的变成氫氧四面体和氫氧八面

体,由于四面体間的K离子被換去,晶体表面的硅四面体和鋁八面体与长石脫离,这些剝脫下来的胶态物质在老化过程中定向排列,形成一定的粘土矿物。我們在不久前的一篇报告中曾推断,在我国紅壤地区,鉀长石风化后可以生成高岭石,但没有直接的証明材料^[10]。本文曾用斑状花崗岩中的新鮮鉀长石及其风化体进行比較研究。长石标本采自海南島东方县广霸(标本是陈家坊采集)。由于当地的气候干热,土壤下部的花崗岩半风化层厚达2米以上。新鮮长石标本是从新鮮的斑状花崗岩中取得,为无色良好的結晶体;长石风化体系从68—82厘米深处的花崗岩半风化物中挑选出来,仍保持着新鮮长石原来的結晶形状,但已有显著的风化現象,并被少量氧化鉄染污成浅紅棕色,用手指即可将风化体捏碎。将这两个标本用X射綫分析及差热分析进行了鉴定,并分析了它們的 K_2O 和 Na_2O 的含量(表7)。从所得結果来看,长石风化体中仍含有大量的 K_2O ,与新鮮长石比較,含 K_2O 量只减少1.4%。从X射綫衍射图(图9)看

表7 新鮮鉀长石及其风化体中 K_2O 和 Na_2O 的含量

标 本	K_2O (%)	Na_2O (%)
新鮮鉀长石	15.2	1.26
鉀长石风化体	13.8	0.34

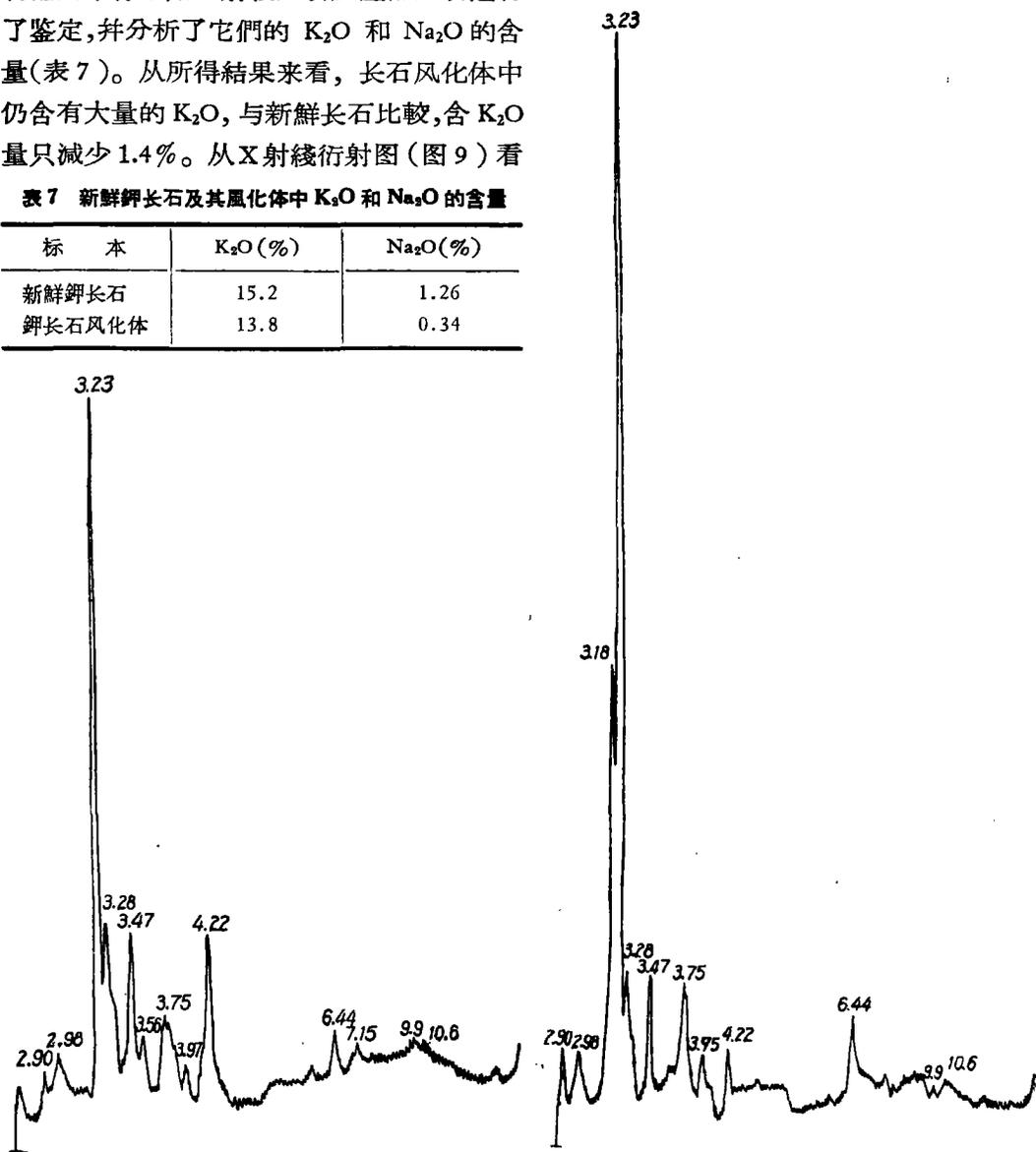


图9a 鉀长石风化体的X射綫衍射图

图9b 新鮮鉀长石的X射綫衍射图

出,长石风化体与新鲜长石的图谱基本相同,但长石风化体的 3.23 \AA 衍射峰较新鲜长石的衍射峰稍低,同时出现了 7.15 \AA 和 3.56 \AA 的小衍射峰,表明小部分钾长石已被破坏,而出现了少量高岭石。长石风化体的差热曲线(图 10)上出现了 530°C 的小吸热谷,也表明其中有少量高岭石存在。由以上鉴定结果说明,热带地区的钾长石在风化过程中可以直接

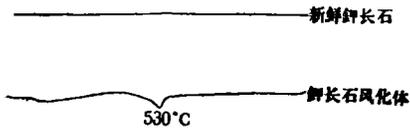


图 10 新鲜钾长石和钾长石风化体的差热曲线

转变成高岭石。

海南岛内由基性喷出岩发育的热带幼年土(剖面 16 号),其粘土矿物中含有蒙脱石和高岭类矿物,不存在水铝英石;但同类岩石所发育的热带红壤(剖面 11 号),则以高岭类矿物为主,并出现少量三水铝石;同类岩石所发育的砖红壤,其粘土矿物组成以高岭石、三水铝石和氧化铁为主。由此看出,在海南岛的热带气候条件下,由基性喷出岩发育的土壤中,粘土矿物的转化规律是:蒙脱石→高岭类(包括埃洛石)→三水铝石。

五、摘 要

应用差热分析、X 射线分析、化学全量分析、阳离子代换量和乙二醇固定量等方法,对海南岛六种主要土类的十六个代表剖面共约四十多个标本的粘粒(< 1 微米)进行了系列的研究。

初步研究结果表明,玄武岩发育的砖红壤的粘土矿物组成以高岭石、三水铝石、赤铁矿为主;酸性岩发育的砖红壤性土以高岭类(包括埃洛石)为主;酸性岩发育的热带红壤以高岭石和伊利石为主;玄武岩发育的热带红壤以高岭类(包括埃洛石)为主;花岗岩和凝灰岩发育的黄壤以高岭类(包括埃洛石)为主;老沉积物发育的热带干草原土以高岭石和伊利石为主;近期火山喷出岩发育的热带幼年土以蒙脱石和高岭类(包括埃洛石)为主。主要粘土矿物相同的某些土壤,在次要粘土矿物成分上仍有明显的不同。

根据这些土壤的自然成土条件,分别讨论了母岩、气候、时间和植被等对土壤粘土矿物组成的影响。

在海南岛热带气候条件下,酸性岩中层状铝硅酸盐矿物的转化规律是:云母→伊利石→混层矿物→蒙脱石→高岭石。由于热带气候条件下的淋溶作用强烈,脱钾作用和脱硅作用较为盛行,而不利于形成蒙脱石的氢氧化作用的进行,在酸性岩发育的土壤中极少发现有蒙脱石的存在。

斑状花岗岩中的新鲜钾长石和钾长石风化体比较研究说明,钾长石在热带气候条件下,风化后可直接形成高岭石。

由基性喷出岩发育的幼年土壤,其粘土矿物组成以蒙脱石和高岭类矿物为主,不存在水铝英石。随着成土作用的加深,粘土矿物有蒙脱石→高岭类矿物(包括埃洛石)→三水铝石的转化序列。

参 考 文 献

- [1] 何金海等: 1958. 海南岛土壤调查报告。土壤专报, 第 31 号。
- [2] 唐永璽: 1958. 海南岛的景观。新知识出版社。
- [3] 张俊民、龔子同: 1956. 五指山之土壤。土壤学报, 第 5 卷, 143—158。

- [4] 张效年、李庆远：1958。华南土壤的粘土矿物組成。土壤学报，第6卷，178—192。
- [5] 李庆远、张效年：1956。中国紅壤的化学性质。土壤学报，第5卷，78—96。
- [6] Bower, C. A. & Gschwend, F. B.: 1952. Ethylene glycol retention by soil as a measure of surface area and interlayer swelling. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, V. 16, 342—345.
- [7] 江川友治等：1955。本邦畑土壤の粘土矿物に関する研究。农业技术研究所报告, B(土壤、肥料)第5号, 39—108。
- [8] 菅野一郎：1961。日本の主要土壤型の生成、分类学研究, I 序論および第一篇 腐殖質アロフン土。九州农业試験場汇报, 第7卷, 第1号。
- [9] Kinter, E. B. & Diamond, S.: 1959. Pretreatment of soils and clays for measurement of external surface area by glycerol retention. *Clay and clay Minerals, Proc. Seventh Nat. Conf. Clays and Clay Minerals*, 125—134.
- [10] Герасимов, И. П.: 1959. Тропические почвы острова Хайнань. *Вестник Моск. Унив.* № 1, 183—186.
- [11] 李承三：1929。广东海南島北部地质矿产。两广地质調查所年報, 二卷上册。
- [12] 徐淑英等：1954。海南島的气候。气象学报, 第25卷, 第3期, 195—212。
- [13] Jackson, M. L. et al.: 1948. Weathering sequence of clay-size minerals in soil and sediments. I. Fundamental generalizations. *J. Phys. Colloid Chem.*, 52, 1237—1260.
- [14] 熊 毅：1952。由更新統沉积物的胶体矿物分析試驗第四紀气候。地质学报, 第32卷, 第1—2合期, 26—41。
- [15] Jackson, M. L. et al.: 1952. Weathering sequence of clay-size minerals in soil and sediments. II. Chemical weathering of layer silicates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 16, 3—6.
- [16] 李庆远、王美珠、张效年：1961。我国紅壤区某些主要土类鈣的含量、状态, 以及含鈣矿物的轉化規律。土壤学报, 第9卷, 22—36。
- [17] Jenny, H.: 1950. Chapter on origin of soils in applied sedimentation. New York, John Wiley and Sons Inc. (see Hauser, E. A., 1952, Problems of clay and laterite genesis. *Amer. Inst. Min. Met. Eng.*, 100—101)

CLAY MINERALS OF TROPICAL SOILS OF HAINAN ISLAND

S. N. CHANG

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

(SUMMARY)

Mineralogical composition of the clay fraction (less than 1μ) separated from forty selected soil samples, representing six important soil types in Hainan island, was investigated by differential thermal analysis, X-ray diffraction, cation exchange capacity determination, chemical analysis and the measurement of ethylene glycol retention. The results showed that, for laterites derived from basalt, the predominant clay minerals are kaolinite, gibbsite and hematite; for other soil types, the predominant clay minerals are as follows: for lateritic soils derived from acid rocks—kaolinite group (including halloysite); for tropical red earths derived from acid rocks—kaolinite and illite; for tropical red earths derived from basalt—kaolinite group (including halloysite); for yellow earths derived from granite and tuff—kaolinite group (including halloysite); for “savannah” derived from sediments—kaolinite and illite; for young tropical soils derived from recent effusive volcanic rocks (mainly basalt)—montmorillonite and kaolinite group (including halloysite). Although the predominant clay minerals are similar for different soil types, there are still divergencies in minerals of secondary importance.

It was found that parent rocks, climate, time and vegetation exert some influence on the composition of clay minerals of the soils.

The sequence of transformation of the layer silicate minerals in acid rocks in tropical region may be as follows: mica→illite→mixed layer minerals→montmorillonite→kaolinite. Owing to the intensive leaching, followed by accelerated depotassication and desilication under tropical conditions, the process of hydroxylation will be very short or even absence.

Contrary to certain inference in the soils derived from effusive volcanic rocks (mainly basalt), allophane are absent. The sequence of transformation of clay minerals in the tropical conditions seems to be montmorillonite→kaolinite group (including halloysite)→gibbsite.

Results revealed that kaolinite can be derived directly from potash-feldspare in porphyritic granite under tropical conditions.