

# 我国热带、亚热带干热地区 土壤发生特性的研究\*

张桃林 赵其国

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文对我国四川渡口、云南元谋和元江、广西田林以及海南岛西部等几个干热地区土壤的形成条件和发生学特征及发育程度进行了对比研究,同时对该类土壤发生上的共性及差异性进行了对比研究。结果表明,干热地区土壤与相应湿润地区土壤相比,具有淋溶特征不明显及土壤发育程度较轻等共同特征。不同干热地区因干热程度及水热配置上的不同,土壤在发育强度上也表现出明显差异,其顺序是:粤11号>滇5号>桂7号>滇1号>滇4号,分别处于铁铝化、弱铁铝化、准铁铝化、铁硅铝化及硅铝化阶段。

热带、亚热带稀树干草原土壤在世界,尤其在南美和非洲的干热地区分布甚广。此外,澳洲的北部及东部、印度、缅甸的东北部和泰国部分地区也有分布,它是世界土壤资源的一种特殊类型。不少土壤学家曾进行过大量研究<sup>[2,6,8,9]</sup>。我国过去也曾对类似土壤进行过研究<sup>[3,4]</sup>,但对这类干热地区的土壤,在发生特性及发育程度上的差异,尚缺乏系统的对比研究,只是将其归入燥红土土类之中。因此,针对这类土壤的发生特性进行研究,进一步揭示特殊干热生物气候及地质地貌条件与土壤在发生上的联系,阐明干热地区土壤发生上的特殊性 & 差异性,为这类土壤的分类及合理利用提供科学依据,将有一定的理论与实践意义。

## 一、材料和方法

本研究共包括7个剖面,其分布及所处自然地理环境见表1。

本文对土壤特性,包括土壤微形态特征、基本理化性状、全量及游离和活性组成、腐殖质组成及粘土矿物类型等进行了对比研究。其中,常规项目按《土壤理化分析》一书<sup>[1]</sup>。全量分析用NaHCO<sub>3</sub>碱溶法,在直流氩等离子焰发射上测定;土壤腐殖质组成用焦磷酸钠快速法;游离铁、铝用DCB法,活性铁、铝用Tamm溶液法;碱溶硅铝系连二亚硫酸钠处理后,再用0.5N NaOH提取的硅、铝;粘土矿物鉴定:(1)将粘粒进行去铁及Mg-甘油饱和处理,制成定向薄膜,以CuK $\alpha$ 辐射,在philips X射线衍射仪上测定。(2)将粘粒与KBr研磨,用压膜法制备样品,进行红外光谱分析;土壤微形态用不饱和聚酯树脂制备土壤薄片,偏光显微镜下鉴定。

\* 本文完成过程中先后得到王明珠、刘兆礼、周瑞荣、何园球、曹升夷、王振权、朱韵芬、陆长青及分析室和物理室、微形态组、X射线组等同志的帮助,在此一并致谢。

表 1 供试样本所在地的自然条件

Table 1 Natural conditions of the soil sampling areas

剖面号及地点 Profile and location	纬度 N	经度 E	海拔 (m) Altitude	植被类型 Vegetation	地貌特征 Geomorphologic feature	成土母质 Parent Material	年均温 (°C) Mean temperature	≥10°C年积 温 Accumulated temperature	年降雨量 (mm) Precipitation	雨季起止月 及降雨量 (mm) Rainy season	年蒸发量 (mm) Evaporation	年均相对湿度 (%) Relative humidity
云南元谋	滇 1 号	101°52'	1100	禾本科草类 及明油枝、橄榄 等	低山丘陵	花岗岩	22.0	7986.0	611.1	5—10 月 561.8	3911.2	53
	滇 2 号		1400									
四川渡口	滇 4 号	101°44'	1200	禾本科草类 为主	低山前沿丘 陵残坡	花岗岩	20.3	3591	761.6	6—8 月 526.5 9—11 月 184.6	2438.6	61
	滇 5 号 滇 6 号	102°09'	600 1050	禾本科草类 及稀疏的蓝靛椒 等 覆盖稍好的 禾本科草类及麻 栎、白栎等	低山丘陵	花岗岩	23.8	8687.0	901.2	5—10 月 649	2750.0	68
田林旧州	桂 7 号	105°45'	610	覆盖较好的 禾本科草类及马 尾松等	低山缓坡	砂页岩	21.3	7262.8	1028.2	5—9 月 927.1	1098.7	80
海南东方板桥	粤 11 号	108°43'	40	厚皮树、木 棉、酸豆、园汁刺 藤、海金沙、白茅 等稀树灌丛	花岗岩台地	花岗岩	24.7	9013.9	993.3		2596.8	80

## 二、结果与讨论

### (一) 土壤剖面形态特征及其发生学意义

从几个剖面大形态特征看,滇 1 号层次分异较差,剖面中有较多的母岩半风化物;滇 4 号剖面发育程度较低,全剖面质地轻;而滇 5 号剖面层次分异则较明显,尤其在质地变化上;桂 7 号剖面在 B 层结构面上可见少量新鲜红棕色胶膜;粤 11 号剖面含较多石英为主的砂粒。此外,几个剖面颜色偏红棕,尤其干热程度较强的滇 5 号和滇 1 号。这是因为干旱炎热条件下,土壤有机质含量低、pH 值高及富含  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  盐基离子,而有利于形成较多赤铁矿的结果<sup>[10]</sup>。

根据微形态鉴定:(1)从土壤骨骼颗粒( $\geq 0.01\text{mm}$ )组成看,滇 1 号和滇 2 号富含由角闪石、长石、透闪石等组成的岩屑和角闪石、黑云母颗粒,可风化物分别为 15% 和 30%,较一般红壤高;滇 4 号含骨骼颗粒高达 60% 以上,且主要为粗骨骼颗粒,可风化物超过 30%,说明风化成土作用甚弱;滇 5 号骨骼颗粒主要由石英组成,可风化物含量小于 3%,表明具有较强的风化成土作用。此外,该剖面骨骼部分约有 2% 呈“亮红色”(10R5/10)的铁质风化物(图版 I, 照片 I-5),这在一般红壤中较少出现,它与干热地区大量赤铁矿的存在有关;粤 11 号骨骼颗粒以石英为主,可风化物含量由表层的 10% 降到底层的 6%。(2)从土壤基质( $< 0.01\text{mm}$ )特征看,各剖面在表层为含腐殖质基质,而心土、底土层为胶凝基质和普通基质,并未出现高度胶凝基质<sup>1)</sup>。值得指出的是,滇 1 号表层为胶凝基质,不含腐殖质基质,且有较多新鲜植物残体(图版 I, 照片 I-1),它是干热地区剖面遭受侵蚀作用, B 层出露的一个标志。滇 4 号剖面骨骼颗粒在剖面中呈“桥接状”、“包膜-桥接状”及“匀布状”的分布型式(图版 I, 照片 I-2, 4),并有“基质、土体填隙状胶结型式”(图版 I, 照片 I-3),而其它剖面均呈“斑晶骨骼嵌埋状分布型式”(图版 I, 照片 I-6)。表明滇 4 号剖面的风化成土作用比较尚不及一般红壤<sup>2)</sup>。(3)从土壤孔隙看,滇 5 号剖面有较多粗长蠕虫状孔隙(图版 I, 照片 I-6),这与土壤强烈的干湿交替作用及高粘粒含量密切相关。滇 4 号剖面孔隙所占比例大,且主要为孔洞,乃是风化成土作用弱的反映。(4)从粘粒形成物特征看,滇 5 号有一些扩散变形风化-淀积粘粒胶膜,并向集结粘粒形态演变(图版 II, 照片 I-7, 8),这是该剖面强烈干湿交替及搅动作用的特征;而位于海拔较滇 5 号高的滇 6 号剖面,具有风化粘粒假晶残体,其成土作用及干湿交替作用均不及滇 5 号;桂 7 号具有大量新鲜淀积粘粒胶膜(图版 II, 照片 I-10),初步推断,该剖面的粘粒淋溶淀积过程在当前弱度干热环境下仍较明显;粤 11 号有较多呈“老化”形态的淡黄色(2.5Y8/5)高岭质淀积粘粒胶膜及其残体(图版 II, 照片 I-11),这可能是该剖面曾在过去历史时期发生过粘粒淋溶淀积作用,而现今此作用已较弱的反映。综上所述,粤 11 号无论从可风化物含量及骨骼颗粒组成看,都具有明显风化特点,其发育强度超过其它

1) 高度胶凝基质一般为高度发育的砖红壤和赤红壤所具有。

2) 一般红壤多呈“斑晶骨骼嵌埋状分布型式”(参照我国红壤的微形态特征,曹升庚, 1982, 中科院南京土壤研究所)

表 2 研究剖面的一般理化性质  
Table 2 Physical and chemical properties of soil studied

剖面号 及地点 Profile location	发生层及 深度 (cm) Genetic horizon	颜色 Soil color	pH (1:2.5)	有机质 (%) O.M.	代换量 (meq/ 100g) CEC	代换性盐基 (meq/100g) Exchangeable base				盐基饱 和度 (%) Saturation	代换性酸 (meq/100g) Exchangeable acidity			有效代 换量 (B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> g/100g)	粘粒 ( $<1\mu$ ) (%) Clay
						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>		总量	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>		
滇2号 元谋	A 0-9	油红棕 (2.5YR4/4)	6.5	2.30	14.7	8.88	3.50	1.49	0.42	97.5	0.08	tr.	tr.	14.29	33.40
	B <sub>1</sub> 9-28	油红棕 (2.5YR4/3)	6.2	0.93	12.7	8.15	2.31	0.37	0.43	88.6	0.10	tr.	tr.	11.29	23.20
	B <sub>c</sub> 55-80	油红棕 (2.5YR4/4)	6.4	0.75	14.7	9.97	2.73	0.32	0.55	92.6	tr.	tr.	tr.	13.57	22.22
滇2号 元谋	A 0-10	油红棕 (5YR5/4)	6.4	2.20	12.8	5.95	5.88	0.53	0.28	98.0	tr.	tr.	tr.	12.64	16.8
	B 10-42	暗红棕 (2.5YR3/5)	6.3	1.35	17.8	9.05	6.14	0.32	0.45	89.9	0.17	0.05	0.12	16.08	29.4
	C 79-100	油红棕 (2.5YR4/3)	7.6	1.18	21.2	14.37	7.38	0.38	0.65	100	tr.	tr.	tr.	22.78	15.1
滇4号 渡口	A 0-10	油黄棕 (10YR5/3)	6.6	1.20	8.2	4.92	2.54	0.46	0.22	99.3	0.08	0.02	0.06	8.20	9.7
	B <sub>1</sub> 21-32	油棕 (7.5YR5/4)	6.7	0.40	11.2	7.51	2.98	0.24	0.32	98.7	tr.	tr.	tr.	11.05	9.5
	C 50-75	油橙 (7.5YR7/4)	7.0	0.27	10.2	6.77	2.94	0.22	0.29	100	0.02	tr.	0.02	10.24	8.9
滇5号 元江	A 0-15	油红棕 (5YR4/4)	6.5	2.33	8.2	4.57	2.12	1.21	0.20	98.8	tr.	tr.	tr.	8.10	18.2
	B 30-60	暗红棕 (2.5YR4/5)	5.9	1.14	12.6	6.46	4.71	0.54	0.29	95.2	0.08	0.13	tr.	12.00	55.6
	B <sub>c</sub> 85-100	暗红棕 (2.5YR3/4)	6.4	0.65	15.9	8.45	5.58	0.98	0.51	97.6	0.03	0.05	tr.	15.52	42.7
滇6号 元江	A 0-7	暗棕 (10YR3/3)	5.9	2.70	12.6	5.80	4.75	0.90	0.24	93.2	0.01	tr.	0.01	11.70	16.4
	B <sub>1</sub> 21-47	暗红棕 (5YR3/6)	5.7	0.90	16.0	6.51	7.13	0.70	0.29	91.4	0.70	0.23	0.47	15.10	41.9
	B <sub>1</sub> 68-100	暗红棕 (5YR3/6)	6.0	0.76	15.3	7.17	6.26	0.81	0.36	95.6	0.13	0.06	0.07	14.67	34.7
桂7号 田林	A 0-13	灰棕 (7.5YR6.5/2)	5.8	3.00	6.9	4.20	1.38	0.51	0.16	90.0	0.08	tr.	tr.	6.25	11.2
	B 25-50	橙 (7.5YR7/6)	5.2	0.33	5.9	1.45	0.73	0.19	0.04	40.7	2.83	1.25	1.58	3.99	21.4
	B <sub>c</sub> 70-130	橙 (7.5YR7/6)	5.2	0.35	8.4	1.30	1.10	0.22	0.08	32.0	4.13	1.14	2.99	5.69	30.5
粤11号 海南 板桥	A 0-13	棕灰 (10YR6/1)	6.4	2.42	7.8	4.63	1.89	0.98	0.20	98.7	0.02	tr.	tr.	7.70	9.2
	B <sub>1</sub> 31-55	油橙 (5YR7/4)	5.7	0.55	4.4	1.47	1.35	0.89	0.17	88.2	0.16	0.13	tr.	3.88	23.2
	B <sub>c</sub> 97-130	油橙 (5YR7/4)	5.8	0.49	5.9	1.75	2.69	0.76	0.17	91.0	0.10	0.08	tr.	5.37	31.2

剖面,滇 5 号风化成土作用较滇 1 号及滇 2 号稍强,而滇 4 号的风化成土作用最弱。

## (二) 干热地区土壤一般理化性质

根据土壤理化性状分析(表 2),所有剖面均具有石质性特征。除滇 4 号外,其它剖面均出现粘粒聚集层,尤以滇 5 号和桂 7 号及粤 11 号更为明显,这与微形态鉴定一致。其特点是:(1)滇 1 号剖面粘粒最高含量出现在表层,这是原有 A 层遭侵蚀后使 B 层出露的结果。(2)各剖面粘化层成因不一。粤 11 号粘化层与古成土条件有关;桂 7 号的粘化层则是现代成土环境的产物;滇 1 号由于受气候极端干旱的影响,使得粘化层的形成,具有矿物就地变质粘化的特点;而滇 5 号降雨量与干湿交替均较滇 1 号明显,剖面中出现较长的蠕虫状孔隙和一些网状连接的孔洞,干季末期出现一些深大裂隙。在暴雨条件下,发生微结构的破坏和粘粒的分散<sup>[7]</sup>,并随之沿孔隙发生粘粒淋淀,使其粘化层的形成具有“就地粘化”和“粘粒淋溶淀积”两种成因类型的特点。

从表 2 可以看出,干热地区土壤共同具有 pH 值高、盐基饱和度大、盐基组成以  $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$  占绝对优势,CEC 与 ECEC<sup>1)</sup> 值相近、可变负电荷少等特征。不过,干热程度较轻的桂 7 号,其心土层及底土层盐基饱和度分别为 40% 及 32%,土壤阳离子交换量(CEC)与有效阳离子交换量(ECEC)的差值,也明显大于其它剖面,这与该剖面的酸性淋溶及具有一定量的可变负电荷密切相关。

## (三) 干热地区土壤全量及游离和活性组成特征

根据土体全量及游离和活性组成分析(表 3),干热地区土壤铁化系数较高,而铁、铝水合系数和活性铁、铝及铁的活化度甚低,这在海拔较低的剖面中尤为突出。同时,干旱程度较重的滇 1 号,活性、游离及碱溶组分在剖面中变异很小,而且该剖面碱金属及碱土金属元素含量较高,这是土壤发育程度低于一般红壤的标志。滇 4 号剖面中  $\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量,在表层较高,碱溶硅、铝在剖面中含量很低,而  $\text{Na}_2\text{O}$  含量高达 3—4%,这是该剖面风化成土作用很弱的矿物元素标征。滇 5 号剖面元素层次分明,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  在 B 层含量相对较高,活性和碱溶硅、铝及铁的游离度亦以 B 层为高,这与水份及粘粒的淋移有一定关系。该剖面脱硅富铁铝化过程较为明显。粤 11 号剖面中底层  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 尤其是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量明显高于上层,而  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  及  $\text{Na}_2\text{O}$  则明显低于上层,表明底层碱金属及碱土金属元素淋失作用较强,脱硅富铝化程度较高。结合微形态鉴定及粘粒的  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  率和粘土矿物组合分析,初步推断该层可能与古风化壳残留有关。

## (四) 粘粒全化学组成和交换性能及粘土矿物特征

从粘粒全量组成分析(表 4)表明,滇 1 号粘粒全量组成在上、下层变异不大,与其相应土体全量组成相比,Al 元素明显向粘粒富集,而 K、Na、Ca 元素在粘粒中含量较低,表明在粘粒形成过程中,碱及碱土金属已遭一定淋失。但根据粘粒含有较高的 MgO、粘粒活性较大,粘粒代换量较高(28—30 meq/100g)以及粘粒矿物以高岭和水云母为主,但高岭结晶甚差,并伴有少量蒙脱石等 2:1 型矿物(见表 5 及图 1)这些特征,这类土壤尚处于轻度脱硅富铝化的铁硅铝化(Fersiallitic)阶段<sup>[12]</sup>;滇 4 号粘粒中  $\text{SiO}_2$  达 46% 左右,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  仅约 27%, MgO 和  $\text{K}_2\text{O}$  含量较高,粘粒活性大,粘粒代换量高达 30—34 meq/

1) ECEC 为交换性盐基总量与 1N KCl 交换的  $\text{Al}^{3+}$  之和。

表3 土体全量及游离和活性组成特性(全量以烘干土计算)  
Table 3 Total content and free and active components in soils

剖面号 Profile No.	发生层及深度 (cm) Genetic horizon	SiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	K <sub>2</sub> O %	Na <sub>2</sub> O %	活性 (Tamm) 法			0.5N (NaOH) 法		铁游 离度 % ( $\frac{Fe_d}{Fe_t}$ )	铁活化度 ( $\frac{Fe_o}{Fe_d}$ )	铁化系数* Fertilization coefficient	水合系数** Hydration coefficient
								Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fe <sub>o</sub> ) %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Al <sub>o</sub> ) %	SiO <sub>2</sub> (Si <sub>Na</sub> ) %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Al <sub>Na</sub> ) %					
滇1号	A 0-9	64.66	5.60	17.40	0.56	1.78	1.04	0.16	0.24	4.51	3.92	57.1	0.05	3.72	1.23	
	B <sub>1</sub> 9-28	65.79	5.20	17.86	0.50	2.15	0.89	0.14	0.19	4.12	3.78	55.6	0.05	3.21	1.42	
	B <sub>c</sub> 55-80	65.22	5.62	17.31	0.58	2.08	1.51	0.15	0.09	3.22	3.02	52.1	0.06	3.96	1.13	
滇2号	B 10-42	52.86	8.03	24.11	0.75	1.89	2.36	0.27	0.20	4.50	3.80	50.6	0.07	4.97	1.60	
滇4号	A 0-10	70.25	3.44	15.00	0.46	3.32	2.61	0.09	tr.	1.34	0.84	52.6	0.05	3.17	0.93	
	B <sub>1</sub> 21-32	67.00	4.05	17.08	0.53	3.01	3.71	0.06	tr.	1.24	0.82	47.6	0.03	3.59	0.63	
	B <sub>c</sub> 50-73	67.13	3.60	17.07	0.52	2.56	4.63	0.07	0.09	1.16	0.96	46.4	0.04	3.99	1.80	
滇5号	A 0-15	73.14	3.31	12.50	0.32	3.39	0.90	0.07	0.14	2.50	1.90	57.4	0.04	2.58	1.15	
	B 30-60	54.58	8.46	23.45	0.63	2.35	0.54	0.20	0.39	5.64	5.36	59.0	0.04	2.88	1.04	
	B <sub>c</sub> 85-100	57.96	7.05	20.96	0.87	2.49	0.68	0.18	0.29	5.23	3.85	45.5	0.06	2.26	1.10	
滇6号	B <sub>1</sub> 21-47	57.16	9.37	19.73	2.30	2.76	0.98	0.25	0.29	3.68	3.22	33.8	0.07	3.43	1.29	
桂7号	B 25-50	81.71	3.56	8.72	0.23	0.75	0.07	0.14	0.17	0.96	0.68	84.8	0.05	2.96	1.45	
滇11号	A 0-13	76.35	0.74	11.97	0.11	4.55	0.54	0.03	0.13	1.74	1.36	64.9	0.06	2.72	1.74	
	B <sub>1</sub> 31-55	74.48	1.11	15.07	0.12	4.00	0.5	0.06	0.12	2.81	2.86	57.7	0.10	2.01	0.77	
	B <sub>c</sub> 97-130	68.60	1.59	19.69	0.17	3.13	0.13	0.08	0.17	4.60	4.44	49.1	0.10	2.69	0.80	

\* 铁化学数 =  $Fe_d / (Al_2O_3 \times 1.57) \times 10^2$ ; \*\* 水合系数 =  $(Fe_o + Al_2O_3) / clay \times 10^2$  (参考文献[11])。

表 4 几个剖面粘粒 (<2 $\mu$ ) 全量元素组成及交换性能  
Table 4 Clay and total contents of elements in soils

剖面号 Profile No.	发生层及深度 (cm) Genetic horizon	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	粘粒代换量 meq/100g CEC of clay	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$
滇 1 号	A 0-9	44.02	9.99	31.18	0.03	0.87	1.59	0.17	27.71	2.40
	B <sub>1</sub> 9-28	44.20	9.75	31.69	0.05	0.84	1.48	0.19	27.63	2.35
	B <sub>c</sub> 55-80	45.80	10.40	29.24	0.05	0.99	1.62	0.18	32.34	2.66
滇 2 号	A 0-10	41.72	12.20	30.51	0.08	0.94	1.63	0.23	24.69	2.32
	B <sub>1</sub> 10-42	41.28	12.57	31.17	0.06	0.84	1.25	0.20	28.09	2.25
	C 79-100	42.72	12.07	29.00	0.14	1.29	1.72	0.27	33.45	2.50
滇 4 号	A 0-10	46.10	12.50	26.73	0.05	1.23	2.85	0.28	29.33	2.93
	B <sub>1</sub> 21-32	45.80	11.90	26.90	0.05	1.25	2.96	0.29	30.70	2.89
	C 50-73	45.53	12.10	27.47	0.09	1.30	3.29	0.29	35.79	2.81
滇 5 号	A 0-15	43.40	11.18	30.92	0.07	0.81	1.63	0.17	21.64	2.38
	B 30-60	42.44	11.09	31.83	0.14	0.66	1.07	0.13	22.00	2.26
	B <sub>c</sub> 85-100	43.90	10.45	30.54	0.05	0.95	1.21	0.13	27.47	2.44
滇 6 号	A 0-7	42.46	13.46	27.06	0.06	2.75	2.43	0.18	25.38	2.66
	B <sub>1</sub> 21-47	42.31	13.88	28.05	0.02	2.18	2.04	0.12	26.50	2.56
	B <sub>3</sub> 68-100	42.36	13.35	28.47	0.05	2.37	2.08	0.13	28.15	2.53
桂 7 号	A 0-13	55.46	8.76	23.77	0.04	0.61	2.29	0.33	19.36	3.96
	B 25-50	50.82	10.57	26.01	0.06	0.61	2.02	0.39	20.77	3.32
	B <sub>c</sub> 70-100	48.18	11.22	26.87	0.03	0.59	2.14	0.46	19.55	3.04
粤 11 号	A 0-13	48.16	2.94	33.76	0.07	0.28	2.77	0.23	12.56	2.42
	B <sub>1</sub> 31-55	47.52	2.92	33.89	0.04	0.26	2.42	0.17	13.00	2.38
	B <sub>3</sub> 97-130	46.08	3.16	35.35	0.25	0.29	1.58	0.09	13.38	2.21

100g, 粘土矿物以水云母为主, 高岭含量较少, 全剖面有较多蒙脱石及混层矿物, 并含有少量石英, 具有明显的硅铝化 (Siallitic) 特征; 滇 5 号剖面显示一定程度的层次分异, B 层粘粒代换量约 22meq/100g, 粘土矿物以高岭石和水云母为主。高岭石含量及结晶程度虽高于滇 1 号, 但却低于粤 11 号, 根据剖面中碱及碱土金属元素已发生明显淋洗, 土体铁的游离度达 58% 和全剖面含大量粘粒等特点, 该剖面风化成土作用较强, 土壤发育处于弱度铁铝化 (Weakly Ferrallitic) 阶段; 滇 6 号剖面  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量仅约 28%, 明显低于滇 5 号。B 层铁的游离度也小于滇 5 号, 而  $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量 (均在 2% 以上) 及粘粒代

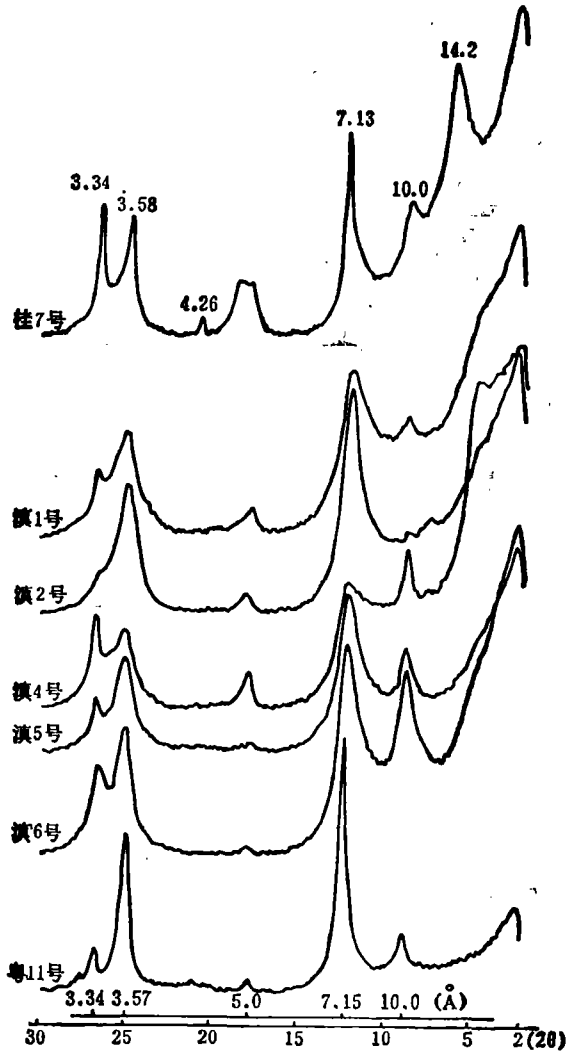


图 1 几个剖面 B 层粘粒 ( $<2\mu$ ) X 射线衍射谱

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of clay in B horizon of the soils

换量 (约 26meq/100g) 显著高于滇 5 号, 粘粒矿物除高岭石和水云母外, 还出现了少量蛭石和蒙脱石 (图 2), 表明土壤发育程度明显不及滇 5 号; 桂 7 号全量元素含量的层次分异较明显, 这与该区降雨较高, 而蒸腾蒸发量不大, 现代淋溶作用较强等有关。但因其热



表 5 几个剖面  $<2\mu$  粒级粘粒矿物组成  
Table 5 Composition of clay minerals of soils

剖面号 Profile No.	发生层及深度 (cm) Genetic horizon and depth	X 射线衍射及红外光谱鉴定* X-ray diffraction patterns and infra-red spectrum analysis	
		主要矿物	次要矿物
滇 1 号	B <sub>2</sub> 28—55	高岭石、水云母	赤铁矿、蒙脱、针铁矿
滇 2 号	B 10—42	高岭、水云母	赤铁矿和针铁矿、蒙脱及混层矿物
滇 4 号	B <sub>1</sub> 21—32	水云母、高岭(较少)	蒙脱及混层矿物、针铁矿、赤铁矿
滇 5 号	B 30—60	高岭、水云母	赤铁矿、针铁矿
滇 6 号	B <sub>1</sub> 21—47	高岭和水云母	磁石和蒙脱、针铁矿和赤铁矿
桂 7 号	B 25—50	高岭和磁石及水云母	石英、绿泥石、针铁矿、赤铁矿
粤 11 号	B <sub>1</sub> 31—55	高岭(很多)、水云母	针铁矿、次生石英
	B <sub>c</sub> 97—130	高岭(很多)、水云母	针铁矿、次生石英

\* 按大致多寡次序排列,用“和”、“及”表示含量相当。

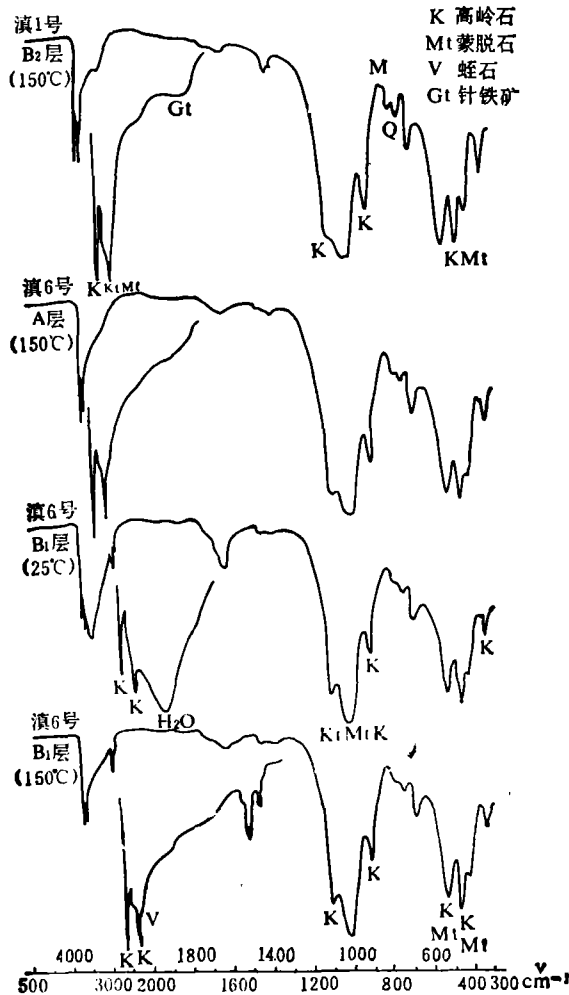


图 2 几个剖面粘粒 ( $<2\mu$ ) 的红外光谱图

Fig. 2 Infra-red spectrum analysis of several profiles ( $<2\mu$ )

量( $\geq 10^\circ\text{C}$  的积温)明显不及元江河谷和海南西南部,使其发育程度处于铁硅铝化与铁铝化的过渡阶段——准铁铝化阶段,这也反映在粘粒矿物以高岭和蛭石及云母为主,同时出现一定量的石英和绿泥石的特点上;粤 11 号粘粒代换量仅 13meq/100g, MgO 含量低至 0.25—0.30%, 粘土矿物以结晶良好的高岭石占绝对优势(含量超过 60%), 底层高达 77%, 剖面中  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  率从表层到底层由 2.42 降至 2.21, 同样  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量也以底层最低,说明整个剖面具有强度发育特点,现处于铁铝化(Ferrallitic)阶段,尤以底层淋溶及脱硅富铝化程度更深。

### (五) 不同干热地区生物气候条件的差异性及其对土壤发育程度的影响

根据地质研究结果<sup>[3]</sup>, 元江及金沙江深切河谷是在上新世或更新世初( $Q_1$ ), 由于断裂升降运动, 河流沿断层线下切, 所逐渐形成的构造断层河谷及干热景观。从年干燥度  $K_{\text{干}}$ <sup>[4]</sup> 看, 元谋 2.74、元江 2.28、渡口 2.03 这三个深切河谷属于干旱型; 在热量方面, 元谋河谷已近亚热带至热带水平(其河谷上部的热量为中亚热带), 元江河谷已达热带水平(其河谷上部为亚热带水平); 红水河河谷, 由于地形抬升与河流下切较弱, 干热特征不如上述地区明显, 并且有半湿润气候特点; 海南西部滨海低地则因耸立于中部的五指山等阻挡了来自东南部的湿润季风, 形成了西部背风面的特殊干热环境, 其热量高达 9013.9, 为我国热带地区热量最高地带。在上述生物条件的影响下, 各类土壤的发育程度亦表现出明显差异, 其发育程度顺序是渡口(滇 4 号) < 元谋(滇 1 号) < 田林(桂 7 号) < 元江(滇 5 号) < 海南西部(粤 11 号)。所有这些顺序在土体及粘粒的全量元素组成、交换性能及理化特性和微形态特征、粘土矿物类型组合等方面均有一致的反映, 说明我国热带、亚热带干热地区水热配置的差异, 对土壤发育具有深刻的影响, 同时也反映了干热地区土壤发生发育上的纬向差异。此外, 从滇 5 号和滇 6 号比较可清楚看出, 干热河谷土壤的发育程度, 随河谷向上海拔的升高而出现逐渐减弱的趋势。由此可见, 干热地区土壤在纬向及垂直分布上的特征, 与该区水热条件, 特别是热量( $\geq 10^\circ\text{C}$  积温)有密切相关。但是, 极端干旱的元谋虽在热量上稍高于半湿润型的广西田林, 却由于水分状况相差悬殊, 其土壤的发育强度不及田林, 而元江河谷及海南西部地区, 由于热量大大超过田林, 尽管水分条件较田林为低, 而其土壤发育程度仍明显较田林为深, 可见在同一干热条件下, 水分条件配置与土壤发育的关系也十分密切。只有水分状况达到一定程度时, 热量才是决定土壤发育的一个重要因素。产生这种现象的原因, 可能是因为干热地区土壤在经历了极度干旱后, 在高温条件下一旦降雨, 其风化作用的强度及速率发展迅速。Birch (1958) 和 Enwezor (1967) 曾指出了干热地区这种水热配置对土壤有机质的特殊“起泡”效应, 指出干季越长越热, 紧接着的湿季土壤矿化的百分率也越大。此外, 本研究结果也表明, 我国干热地区土壤有机质含量一般较低, 腐殖质组成中以富里酸为主。粤 11 号和滇 5 号胡敏酸与富里酸之比 ( $\text{HA}/\text{FA}$ ) 分别为 0.42 和 0.61, 这与 Chichagova (1964) 和 Zonn (1968)<sup>[11]</sup> 研究热带稀树干草原土壤腐殖质特殊时提出的  $\text{C}_{\text{HA}}/\text{G}_{\text{FA}} = 0.52-0.27$  较相近。

1) 年干燥度  $K_{\text{干}}$  按  $K = \frac{0.21 \sum_{T \geq 10^\circ\text{C}}}{R}$ , 其中  $R$  为年降雨量。(根据《海南岛农业区划报告集》, 海南行政区公署农业区划委员会等编, 1981)

### (六) 干热地区土壤的分类命名

如前所述,我国不同干热地区的土壤,由于受干热条件影响的程度不同,各区土壤在发生特性及发育强度上均表现出一定的差异,这些差异也应在干热地区土壤的分类命名上有所体现。根据中国科学院南京土壤研究所最新制定的“中国土壤系统分类(二稿)”(1987),参照文中对硅铝层、铁硅铝层及铁铝层等诊断层的规定以及对土壤温度 and 水分状况及土壤盐基饱和度等诊断特性的划分,大致可将海南西部粤 11 号归入铁铝土土纲下的燥红土土类,而将元江滇 5 号归入褐红土土类,广西田林桂 7 号可归入铁硅铝土土纲下的棕红壤土类,而元谋滇 1 号归入红褐土土类,至于四川渡口滇 4 号则应归入硅铝土土纲下的褐土土类。

## 三、结 论

干热地区的土壤,由于受特殊干热生物气候及水热配置的影响,具有淋溶作用弱, pH 值高、盐基饱和度大、CEC 与 ECEC 值接近、可变负电荷少、铁化系数大、水合系数小、活性铁 ( $Fe_o$ ) 和铝 ( $Al_o$ ) 含量低、铁的活化度及土壤发育程度较轻等共同特征。

不同干热地区的土壤,由于受地区间水热条件差异的影响,发育程度也具明显差异。在分类命名上,粤 11 号属燥红土;滇 5 号属褐红土;桂 7 号属棕红壤;滇 1 号属红褐土;滇 4 号属褐土。

干热地区土壤粘化层的成因各区不尽一致,粤 11 号的粘化层可能主要是在过去历史时期形成;桂 7 号的粘化层则是当前弱度干热条件下,粘粒仍发生明显淋溶淀积的结果;滇 1 号因气候极端干旱,淋溶作用微弱,故其粘化层的形成主要是矿物就地变质粘化的结果;至于滇 5 号粘化层的形成则包括“就地粘化”和“粘粒淋溶淀积”两种成因类型。

## 参 考 文 献

- [1] 张效年、李庆远,1958: 华南土壤的粘土矿物组成。土壤学报,第 6 卷 3 期,173—192 页。
- [2] 么枕生编著,1959: 气候学原理。科学出版社。
- [3] 黄培华,1959: 云南新构造运动的特点与大地构造的关系。南京大学学报,第 7 期,51—64 页。
- [4] 屠梦照,1963: 云南西南部某些土壤的发生学特征。土壤学报,第 11 卷 4 期,370—380 页。
- [5] 中国科学院南京土壤研究所,1978: 土壤理化分析。上海科学技术出版社。
- [6] Moss R. P., 1968: The Soil Resources of Tropical Africa. Printed in Great Britain at the University Printing house. Cambridge.
- [7] Mhor E. C. J. et al., 1972: Tropical Soils: A Comprehensive Study of Their Genesis, Mouton-Ichtlax Baruvan. Hoeve.
- [8] Jones M. J. and Wild A., 1975: Soils of the West African Savanna. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- [9] Swindale L. D., 1982: Distribution and use of Arable Soils in the Semi-Arid Tropics. Managing Soil Resources. Plenary Session Papers I. Transactions of the 12th International congress of Soil Science.
- [10] Kampf N. and Schwertmann U., 1983: Goethite and Hematite in a Climosequence in Southern Brazil and Their Application in Classification of Kaolinitic Soils. Geoderma, 29: 27—39.
- [11] Glazovskaya M. A., 1983: Soils of the World. Vol 1 Soil families and Soil Types New Delhi India.
- [12] Duchaufour P., 1982: Pedology-Pedogenesis and Classification Translated by T. R. Paton. English Edition George Allen and Unwin.

## THE GENETIC PROPERTIES OF SOILS IN ARID TROPICAL AND SUBTROPICAL REGIONS OF CHINA

Zhang Taolin and Zhao Qiguo

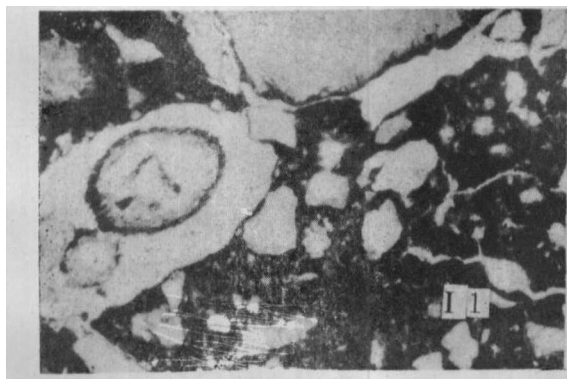
(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

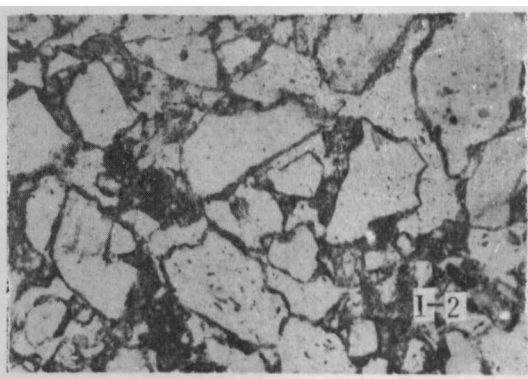
This paper deals with the comparative study of the genetic properties of soils in arid tropical and subtropical regions of China. The results showed that, (1) as compared with the corresponding soils in humid regions all the soils in arid areas are the same in properties, with a weaker eluviation, higher pH and base saturation, a little difference between CEC and ECEC, a very low amount of variable negative charge, a high ferritization coefficient, low hydration coefficient, and low contents of active Fe and Al which indicates that the soil developing intensity is low. (2) Owing to the different hydrothermal condition the soils in various arid regions are different in their developing intensity. The developing intensity of the soils in various regions studied is in a descending sequence of the soil in west Hainan (in ferrallitic stage) > the soil in Yuanjiang Yunnan (weak ferrallitic) the soil in Tianlin, Guangxi (paraferrallitic) > the soil in Yuanmou Yunnan (ferrallitic) > the soil in Dukou, Yunnan (scallitic).

### 更 正

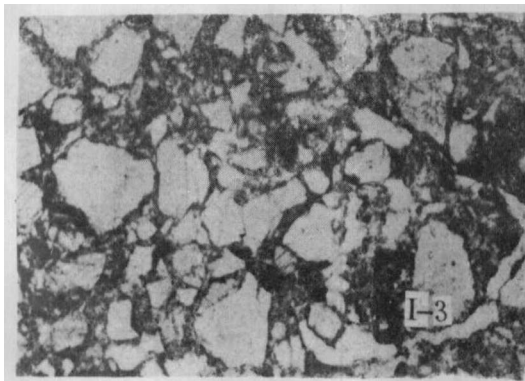
第 26 卷 (1989 年) 第 4 期 396—397 页表 4 和表 5 中的竖线应划在 R 与 (%) 之间, 横线上的 5% 应平行向前移到 (%) 和全 N 量的中间。同时 396 页表 4 中的 \* 号应打在地 上部含 P 量的右上侧。



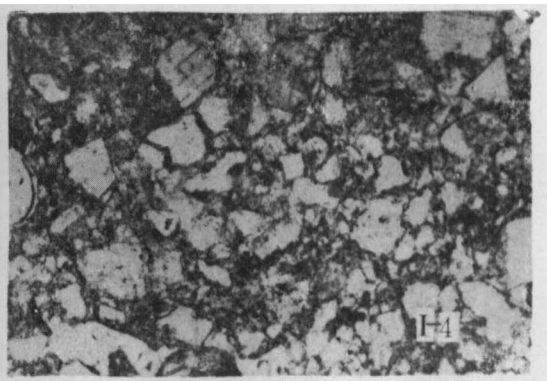
滇1号,0-9 cm,胶凝基质(黑色部分),风化淀积粘粒胶膜(右方),新鲜残根(左方)(单偏光×68)(I-1)



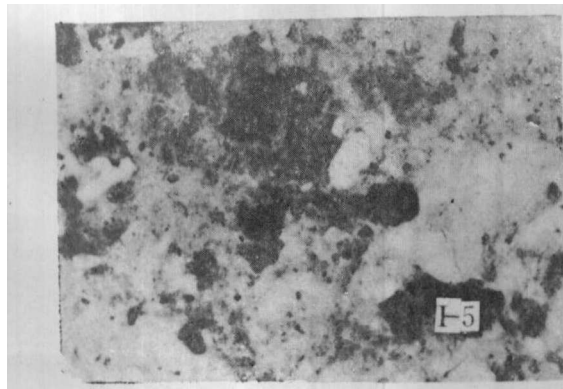
滇4号,0-10cm,包膜-桥接状垒结(单偏光×83)(I-2)



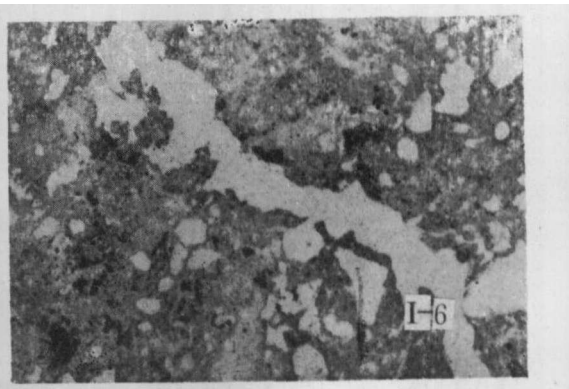
滇4号,21-32 cm,填隙胶结状垒结(单偏光×83)(I-3)



滇4号,0-10cm,骨骼颗粒匀布状分布型式(单偏光×83)(I-4)



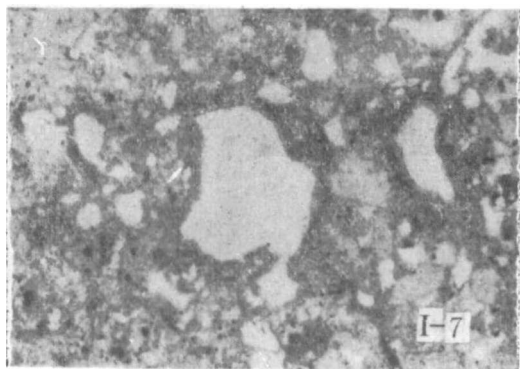
滇5号,85-100cm,亮红色铁质化矿物碎屑(黑色颗粒部分)(单偏光×168)(I-5)



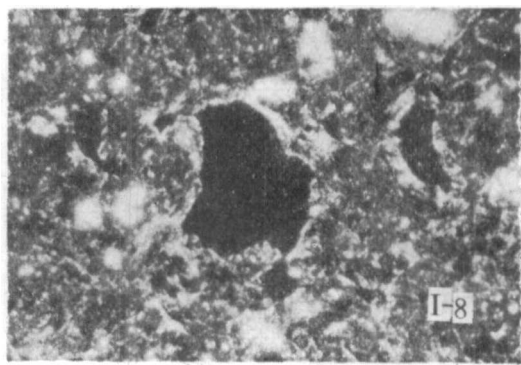
滇5号,30-60cm,粗长蠕虫状孔隙,骨骼颗粒呈斑晶嵌埋状分布,多属铁质化矿物碎屑(I-6)

照片1 土壤的显微形态照片

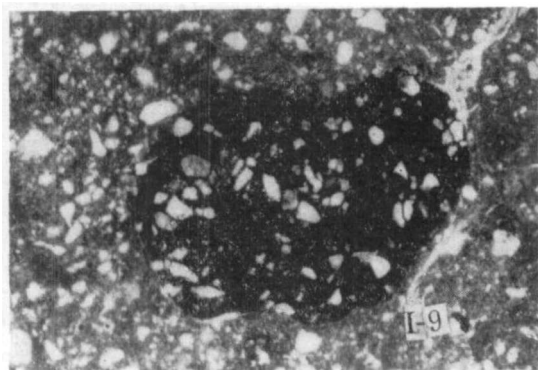
Photo 1 Micromorphological photos of the soils



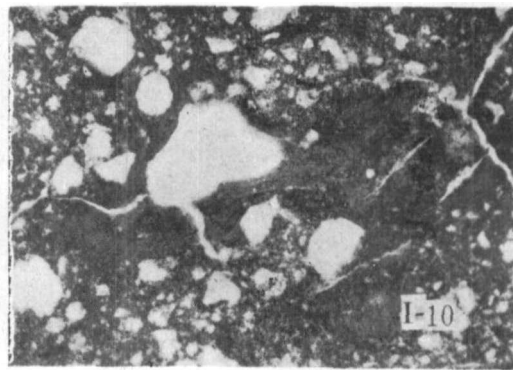
滇5号,30-60cm,扩散状变形风化-淀积粘粒胶膜  
(单偏光 $\times 50$ )(I-7)



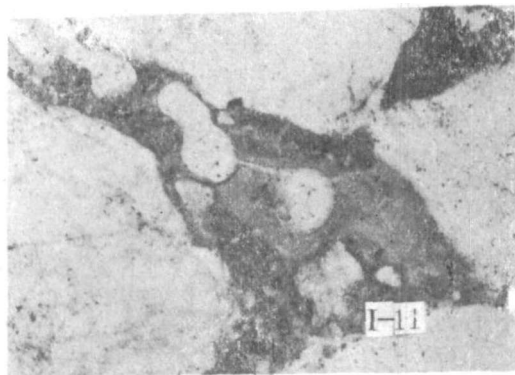
滇5号,30-60cm,扩散状变形风化淀  
积粘粒胶膜,粘粒胶膜的光性定向型式已由原来的  
流状定向演变为纤维状定向(正交偏光 $\times 50$ )(I-8)



桂7号,70-100cm,一较小的铁质化砂岩屑  
(单偏光 $\times 33$ )(I-9)



桂7号,70-100cm,淀积粘粒胶膜(横贯于  
照片中部的致密黑色部分)(单偏光 $\times 83$ )(I-10)



粤11号,97-130cm,淀积粘粒胶膜(单偏光 $\times 33$ )(I-11)

照片 I 土壤的显微形态照片

Photo 1 Micromorphological photos of the soils