

# 鼎湖山自然保护区土壤的矿物组成\*

李淑仪 唐进宣 李美玲

(广东省土壤研究所)

**提 要** 鼎湖山自然保护区土壤的矿物组成,由山脚到山顶,2:1型粘粒矿物和结晶态氧化铁矿物渐增,高岭石渐减,粗粒矿物以石英为主,其次是云母或叶腊石,并伴有钾长石、高岭石或蛭石。0.1毫米以上粒级全部由原生矿物组成。

**关键词** 鼎湖山 自然保护区 矿物组成 矿物转化

鼎湖山自然保护区位于广东省肇庆市东北19公里处,处于亚热带季风气候的南缘。保护区面积约11平方公里。

鼎湖山附近与同纬度的其他地区比较,具有独特的自然条件,形成了特有的土壤类型。对鼎湖山的土壤已有过研究报道<sup>[1-3]</sup>,本文旨在说明鼎湖山自然保护区土壤的矿物组成和演变过程及其与成土条件的关系,为山地科学研究,为热带亚热带森林生态系统的结构、功能和生物生产力的研究和土壤发生分类提供参考。

## 一、土壤剖面特征

鼎湖山最高峰海拔1000.3米,除鸡笼山顶部分石英斑岩和零星散布的燕山期花岗岩露头之外,主要母岩为泥盆纪砂岩夹页岩。随着生态环境和成土条件的变化,从山脚到山顶依次出现了红壤、山地黄壤、山地灌丛草甸土。本文按土壤类型采集了5个具有代表性的典型剖面的土样,其剖面情况和基本性质(表1)。

## 二、试验方法和结果

### (一)试 验 方 法

1. 粘粒提取 按沉降法提取小于2微米的粘粒。
2. 化学分析 阳离子交换量用醋酸铵法测定,游离铁和无定形铁用邻菲罗啉比色法测定。
3. 原生矿物鉴定 在立体显微镜和偏光显微镜下鉴定。
4. X射线衍射 用日本理学D/MAX-ⅢA型X射线衍射仪。

\* X射线衍射和电镜照相分别由华南理工大学测试中心和华南农业大学中心电镜室提供仪器;何金海等同志提供部分土壤样本,殷细宽教授指导重矿物鉴定以及许冀泉、何金海、邹国础、朱世清等研究员对本文提出宝贵意见,特此一并致谢。

本文改回日期:1990-11-14.

5. 差热分析 用日本岛津 DT-30B 型热分析仪。

6. 电子显微镜鉴定 用荷兰 Philips EM-400 型透射电镜下观察和照相。

表 1 土壤剖面情况和基本性质

Table 1 Basic properties of soil profiles

剖面号	土壤名称地点 海拔	母质	植 被	发生 层次	深 度 (厘米)	颜 色	结 构	pH (H <sub>2</sub> O)	颗粒组成(%)			质地命名 (苏联制)
									砂粒	粉(砂)粒	粘粒	
鼎 1	红 壤 塘峨岭南坡 80 米	石英砂 岩夹页 岩(中 下泥盆 统, 上 亚柱头 群)	马尾松, 岗松, 鹧鸪草 群落	A	0—8	浅棕灰	粒状	4.84	58.79	22.83	15.55	轻石质轻壤土
				AB	8—25	浅红棕	粒状	4.70	52.97	24.52	20.60	轻石质中壤土
				B	25—58	浅棕红	碎块	5.06	35.96	23.67	35.02	轻石质重壤土
				BC	58—100	棕 红	碎块	5.28	32.23	15.65	28.86	重石质中壤土
鼎 2	红 壤 鼎湖旅行社后山 120 米	石英砂 岩(中 下泥盆 统, 上 亚柱头 群)	马尾松, 荷木, 芒箕	A	0—13	棕 灰	粒状	4.80				
				AB	13—25	灰 棕	碎块	4.72				
				B	25—55	棕 红	碎块	5.40				
				BC	55—130	棕 红	碎块	5.20				
				C	>130	灰 红						
鼎 3	山地黄壤 庆云寺葡提岗 310 米	自然季风 常绿阔 叶林		A	2—20	棕 灰	团粒	4.84	34.69	29.73	34.69	重壤土
				B	20—43	浅灰黄	粒状	4.70	28.00	30.50	41.50	轻粘土
				BC	43—100	红 黄	碎屑	4.62	24.89	29.28	40.87	轻石质轻粘土
鼎 4	山地黄壤 鸡笼山东北坡 700 米	石英砂 岩夹页 岩(中 下泥盆 统, 下 亚柱头 群)	鼎湖吊钟, 鹧鸪草, 芒箕、茅草	A	0—18	深 灰	团粒	4.02	56.00	27.40	15.60	中壤土
				AB	18—39	棕黄带灰	碎块	4.01	55.00	22.40	22.60	中壤土
				B	39—64	棕 黄	碎块	4.38	54.90	23.20	21.50	轻石质中壤土
				BC	64—100	浅红黄	碎块	4.95	57.50	26.30	15.50	中壤土
鼎 5	山地灌丛草甸土 鸡笼山顶 1000 米	石英斑 岩	灌木草丛 为主, 苔 藓植物多	A <sub>0</sub>	0—5	棕 黑	团粒	4.50	61.62	28.93	7.68	重石质砂壤土
				A	5—30	棕 黑	碎粒	4.50	63.60	29.10	7.30	重石质砂壤土
				C	>30	棕 黄	碎屑	3.90				

## (二) 鉴 定 结 果

### 1. 粘粒(<0.002 毫米)的矿物组成

鼎 1 从 XRD(图 1)和 DTA(图 2)及电镜观察(照片 1—4)<sup>1)</sup>可以知道,剖面上下矿物组成较为一致,以水云母为主(10 Å, 4.98 Å, 3.34 Å),在电镜照片 1 上呈虎斑纹不规则状;高岭石为次(7.18 Å, 3.58 Å),在照片 1 上呈假六方片状,500℃附近浅而宽的吸热谷说明高岭石较少,960℃附近曲线平缓,表明水云母较多。伴有蛭石(图 1, Mg·G·14 Å, K·25℃和 K·300℃均为 10 Å;图 2, 80 和 140℃吸热谷)和针铁矿(图 3, 4.15 Å, 2.69 Å, 图 2, 350℃吸热谷),少量埃洛石(电镜下管状),B 层以下有少量三水铝石(图 3, 4.83 Å;图 2, 285℃吸热谷)。水云母脱钾程度不深, K<sub>2</sub>O 含量高达 4% 以上,上部受坡积影响,故以 A 层最多(表 2)。这种情况在华南土壤中是不多见的。MgO 含量较高(1.21—1.49%)和 24 Å, 12 Å 衍射峰的存在(见图 1),表明其中含有水化黑云母。

鼎 2 从 XRD 和 DTA 看来,鼎 2 与鼎 1 相比,矿物组成很接近,但是三水铝石

1) 本文的照片见刊末图版 I。

2) 将粘粒制成钾质水薄片,分别作常温和 300℃ 加热两小时处理,再进行 X 射线分析得出。

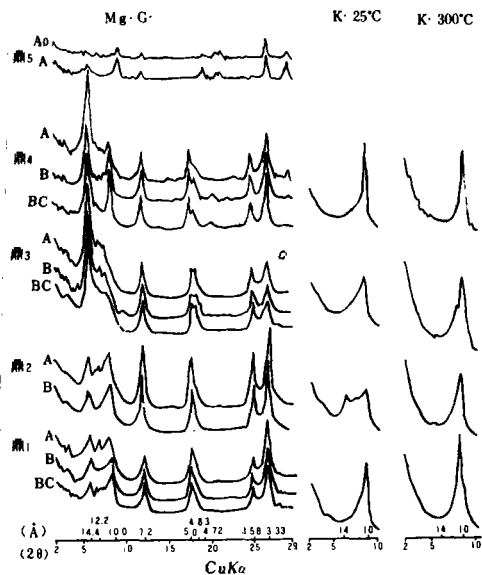


图 1 土壤粘粒的 X 射线衍射图

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of the soil clay fraction

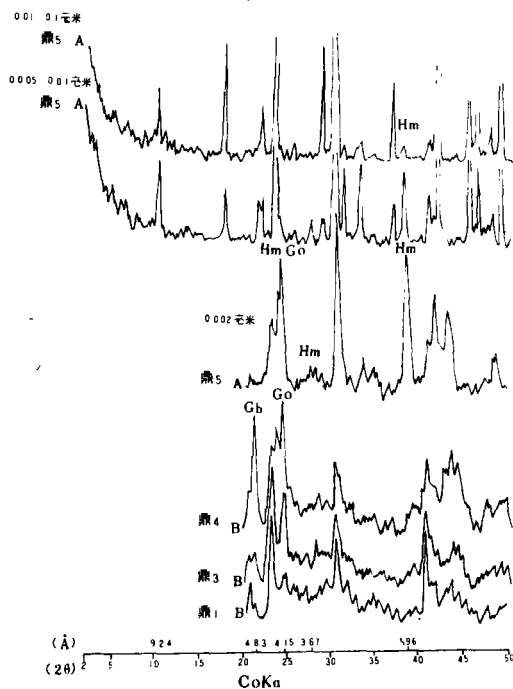


图 3 未除铁粘粒的粉末 X 射线衍射图

Fig. 3 Powder X-ray diffraction patterns of the soil clay fraction which unremove iron

Gb 三水铝石, Hm 赤铁矿, Go 针铁矿

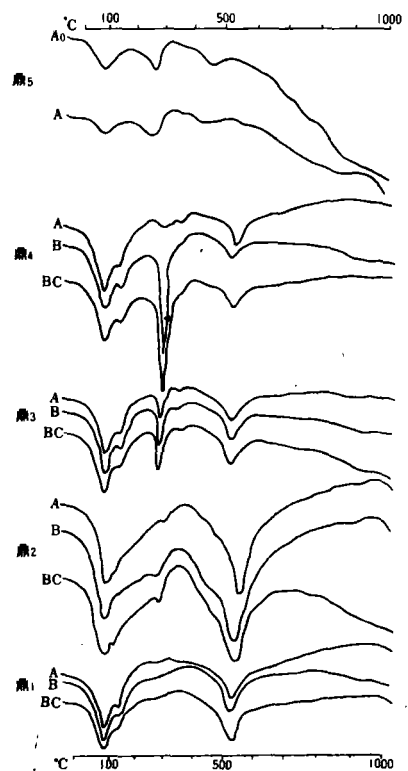


图 2 土壤粘粒的差热曲线

Fig. 2 Differential thermal curves of the soil clay fraction

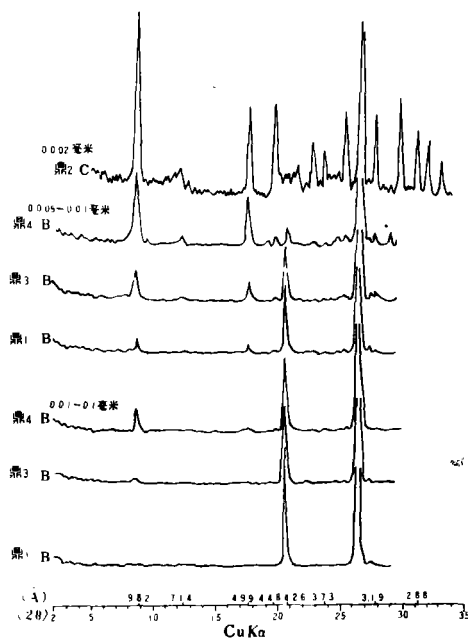


图 4 粉末 X 射线衍射图

Fig. 4 Powder X-ray diffraction patterns of the soils

比鼎1略有增加,14Å过渡矿物<sup>23</sup>增加,C层中除了石英、云母之外,还有大量钾长石和其它长石(图3,4,4.11,3.88,3.73,3.49,3.20,2.99Å等)。

鼎3 XRD和DTA表明,鼎3与鼎2相比,有相似之处,但是,全剖面都有不少蛭石和三水铝石,所以高岭石相对较少。钾、镁含量和硅铝率都较低,针铁矿也有所增加。转以蛭石和水云母为主,三水铝石和高岭石为次,少量针铁矿、水黑云母、14Å过渡矿物等。

鼎4 与鼎3接近,剖面内矿物组成的层次分异明显,剖面下部三水铝石和水云母更多,高岭石进一步减少,硅铝率也最低,针铁矿也进一步增多,14Å过渡矿物少于鼎3。在电镜照片3上,蛭石呈蝴蝶斑纹的薄片状,三水铝石呈不透明黑色粒状。

鼎5 粒度较粗,粘粒含量少,XRD和DTA的峰都很低,估计矿物的结晶度很差。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量高达35%以上(见表2),2.69Å,4.15Å强的衍射峰和257—280℃,380℃吸热谷的存在,电镜照片4上,出现许多不透明极细的针状物(针铁矿)和极细的黑色圆粒状集合体(赤铁矿),均充分表明其中含大量的赤铁矿和针铁矿。9.24Å和450—470℃吸热谷初步鉴定为叶腊石,还有一些结晶不良的高岭石和蛭石。

## 2. 粗粒矿物组分

XRD表明,0.002—0.005毫米粒级(图5),红壤和黄壤都以石英为主,其次是云母,并有少量高岭石,钾长石和斜长石。随着粒度增大,0.005—0.010毫米粒级和0.010—0.100毫米粒级(图4)中,云母和高岭石逐渐减少,石英增多,尤以红壤(B层)最显著。山地灌丛草甸土剖面内(图3,5)粗粒矿物成分稍有不同,除大量石英之外,主要是叶腊石和少量蛭石。

0.1—1.0毫米粒级经轻、重矿物分析和立体显微镜及偏光显微镜鉴定表明(表3),本粒级全部由原生矿物组成。鼎1、鼎3、鼎4的轻矿物含量均为99.0%以上。鼎5(A层)的轻矿物为95.5%,重矿物占4.5%,其它三剖面都未超过1.0%。轻矿物中绝大部分是石英,只有极少量的钾长石。重矿物量少,种类杂,以不透明矿物占多数,其次是云母(部分风化)、透闪石、绿帘石,难风化的锆石、金红石、电气石等。其中山顶的鼎5剖面还存在石榴子石和磷灰石。

鼎1的锆石大而碎;鼎3则晶体完整、棱角分明;鼎4的较圆浑;鼎5的较细。从锆石的形态特征体现了几个剖面的母质在来源和形成条件方面不同,证明山的上部母岩年代

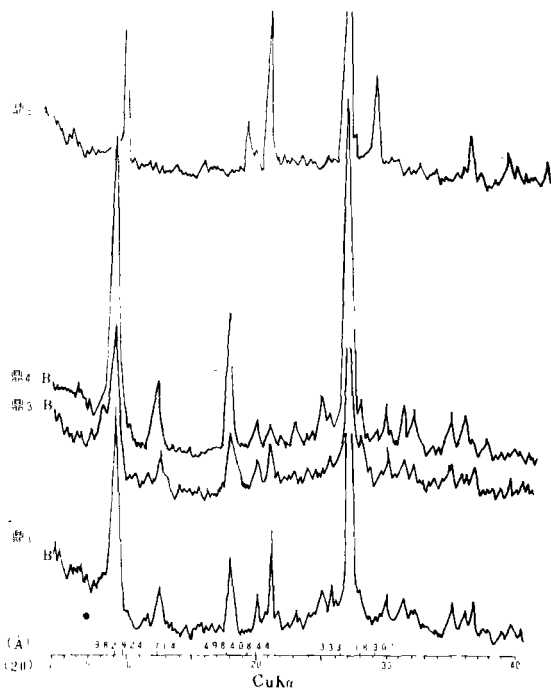


图5 0.002—0.005毫米的粉末X射线衍射图

Fig. 5 Powder X-ray diffraction patterns of the 0.002—0.005mm particle of the soils

表 2 土壤粘粒(<0.002 毫米)的化学组成<sup>1)</sup>

Table 2 Chemical composition of the clay fraction(<0.002mm)

剖面号	土壤名称 海拔	层次	深度 (厘米)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	游离 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fed, %)	无定形 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (FeO, %)	结晶态 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fed-FeO)	阳离子交换量 (毫克当量/100 克)
鼎 1	红 壤 80 米	A	0—8	43.27	8.10	32.4	4.99	1.49	2.27	7.33	0.95	6.38	14.09
		B	25—58	41.35	10.58	30.81	4.04	1.25	2.28	7.60	0.29	7.31	20.17
		BC	58—100	40.03	10.93	32.36	4.47	1.21	2.24	7.33	0.28	7.05	20.01
鼎 3	山地黄壤 310 米	A	2—20	33.76	14.85	28.24	3.81	0.43	2.03	9.83	0.45	9.38	19.63
		B	20—43	34.02	15.17	28.07	3.71	0.53	2.06	10.64	0.34	10.30	24.20
		BC	43—100	34.51	15.23	27.67	3.70	0.66	2.12	8.90	0.32	8.58	25.53
鼎 4	山地黄壤 700 米	A	0—18	28.76	23.49	31.14	2.52	0.04	1.57	14.12	0.50	13.62	24.76
		B	39—64	26.28	24.72	30.84	2.41	0.84	1.45	13.85	0.33	13.52	20.61
		BC	64—100	24.10	25.23	32.08	1.89	0.78	1.27	17.16	0.50	16.66	14.67
鼎 5	山地灌丛草甸土 1000 米	A <sub>0</sub>	0—5	44.50	35.78	15.37	0.73	0.45	4.91		0.36		39.64
		A	5—30	38.08	41.65	16.29	0.83	0.47	3.97	26.75	1.95	24.8	13.12

1) 鼎 1、鼎 4、鼎 5 的全量分析数据由南京土壤研究所地理室分析。

表 3 土壤中 0.1—1.0 毫米部分的原生矿物组成

Table 3 Primary mineral composition of the 0.1—1.0mm fraction

剖面号	土壤名称 海拔	发生层次	深度 (厘米)	轻矿物含量(%)	重矿物含量(%)	重矿物中透明矿物含量(%)	重矿物中不透矿物含量(%)	重矿物(比重>2.9)颗粒% <sup>1)</sup>														
								绿帘石	斜石	金红石	石榴子石	透闪石	磷灰石	角闪石	绿泥石	电气石	云母	赤铁矿	磁铁矿	钛铁矿	褐铁矿	岩屑
鼎 1	红壤 80 米	B	25—58	99.86	0.14	33.7	66.3	0.7	0.7	5.6		3.5		痕量	2.1		6.3	8.5	17.6	24.6	1.4	28.2
鼎 3	山地黄壤 310 米	B	20—43	99.04	0.96	28.8	71.2	0.3	1.0	2.1		3.5			2.4	5.5	9.4	14.6	19.4	5.5	1.4	34.7
鼎 4	山地黄壤 700 米	B	39—64	99.55	0.45	35.6	64.4	4.8	3.6	0.8	2.0	4.8				1.0	10.0	19.0	10.5	1.2	2.3	40.0
鼎 5	山地灌丛草甸土 1000 米	A	5—30	95.50	4.50	58.1	41.9	2.9	1.8		4.8	9.2	1.8				14.2	36.0	7.7	5.9	1.2	15.0

1) 重矿物中各种矿物含量以重矿物部分的颗粒百分数表示。

较老,下部的则较新。

### 3. 氧化铁矿物

从山脚到山顶,粘粒游离氧化铁含量由 7.3—7.6% 猛增到 26.8% (见表 2),无定形氧化铁不到 2%,以结晶态氧化铁为主,从 XRD (图 3) 看来,除山地灌丛草甸土外,都以针铁矿 (4.17 Å 为第一强峰) 为主。山地灌丛草甸土剖面浅薄,结晶态氧化铁和无定形氧化铁都较高,主要存在于粘粒中,并随粒级增大而减少,其中以赤铁矿 (2.69 Å 为第一强峰) 为主,针铁矿主要存在于粘粒中。该剖面的重矿物含量是所分析的 4 个剖面当中最高的,其中赤铁矿就占 36.0%。由此可见,鼎 5 剖面无论粘粒还是粗粒中的赤铁矿含量都很高。本来土壤粘粒中的氧化铁是土壤高度风化的标志,但在本文所研究的几个剖面当中,相对发育程度最弱的鼎 5 反而含赤铁矿最多,这可能是由于采自石英斑岩接触地带,母质中含有大量氧化铁矿物的缘故。

从表 2 和 XRD (图 3) 看来,B 层粘粒游离氧化铁含量和结晶态氧化铁基本上与 B 层粘粒中针铁矿含量成正比。如鼎 5 (A 层) 的 Fed% 和 Fed-FeO 值最大,其针铁矿峰也最强,鼎 4 的情况也相似。

## 三、问题讨论

### (一) 鼎湖山砂岩夹页岩发育的土壤矿物演变途径

#### 1. 云母→水云母→水云母/蛭石→蛭石

土壤粗粒矿物组分和 C 层粘粒中云母的大量存在,土壤粘粒中有水云母、蛭石、水云母/蛭石 (水黑云母) 混层矿物的存在,从图 1 (鼎 4) 的图谱看,由底层到表层,水云母减少,蛭石增加。可见,云母是在成土过程中逐步脱钾风化为蛭石的,水云母/蛭石混层矿物的存在,表示这一过程还在继续进行。

#### 2. 钾长石→水云母 $\xrightleftharpoons[+K]{-K}$ 高岭石

粘粒和粗粒矿物分析都表明土壤中含钾长石。钾长石当其周围的土壤溶液含钾时,易于形成水云母<sup>[4]</sup>,在水云母形成高岭石这一风化过程中,土壤溶液有钾补充时,会使反应向左进行<sup>[5]</sup>。在电子显微镜下,观察到水云母高岭石化的过渡矿物大量富集 (照片 2),表明这一反应在左右摆动。在鼎湖山独特的成土条件中有可能存在这一转变过程。

#### 3. 长石→埃洛石→高岭石→三水铝石

土壤各粒级及 C 层均有长石,各粒级均有埃洛石和高岭石共存。从图 1、图 5 鼎 2 的图谱看,A 层高岭石的衍射峰尖锐高耸,至 C 层变得低矮,长石峰则大量出现。可见长石是通过转化为埃洛石<sup>[6]</sup>,再进一步转化为高岭石的。众所周知,高岭石进一步风化可产生三水铝石,但三水铝石并不一定全是高岭石的分解产物。

#### 4. 长石→三水铝石

由图 1、图 2、图 3 已知,鼎湖山砂岩夹页岩发育的土壤均含三水铝石,而且随着海拔的提高而增加。就山地黄壤 (鼎 4) 看,主要矿物除了蛭石外,还有大量水云母,可见其风化程度并不算深。因而认为这些三水铝石并不全是高岭石转化而来。这里的自然条件和土

壤性质(见表1),均利于长石直接形成三水铝石<sup>[7-9,11]</sup>。而表层三水铝石不如下部多的原因已有文献总结<sup>[7,8]</sup>。

## (二)鼎湖山土壤的矿物组成特性及其形成条件的关系

分析结果表明,鼎湖山基带土壤(鼎1、鼎2剖面)的粘土矿物组成是以2:1型的水云母为主,而1:1型的高岭石不多,粘粒阳离子交换量(20.17毫克当量/100克)和硅铝率(2.28)较高,这均有异于相应的地带性土壤(粘土矿物组成一般以1:1型的高岭石为主)。此种现象产生的原因有3个。

### 1. 母质的影响

鼎湖山的母岩除山顶外,主要是富钾的海相沉积砂页岩,土壤中氧化钾含量高(3.68—4.80%)<sup>[1]</sup>,本文的粗粒和粘粒矿物分析结果也证明了该区土壤富含富钾矿物(云母、钾长石等),为水云母的形成提供了首要条件。

### 2. 地质条件的影响

鼎湖山的基岩为泥盆系的厚层砂页岩,燕山运动末期和喜山运动早期形成了山体的雏形,新构造运动又使它成为褶皱断裂山地<sup>[10]</sup>,本文的重矿物分析发现山的上部与下部的锆石形态特征不同,上部母岩年代比下部年代老。从而进一步证实了新构造运动的强烈性。褶皱断裂之后不断产生了风化剥蚀过程,导致成土年龄短,土壤的风化发育程度低,因而2:1型矿物含量高,阳离子交换量相应亦高。

### 3. 生态环境的影响

鼎湖山的森林历来受到保护,人为干扰少,树木的枯枝落叶长期得以归还到土壤中,植物残体的分解,使土壤中钾的含量得到补充。由于母质和土壤溶液均含高量的钾,更利于形成水云母。而影响水云母继续风化成1:1型矿物的关键是土壤溶液中钾的浓度,此时只要有少量钾的加入便会延缓风化作用进行<sup>[6]</sup>。因而水云母在富含钾的土壤溶液中可以较稳定地存在,使土壤持久地处于以水云母为主的较幼年的风化阶段。但可以预料,若森林受到破坏或树林的枯枝落叶不能归还土壤,例如进行掠夺性生产时,以水云母为主的鼎湖山土壤则会迅速转变为以高岭石为主的土壤。所以从鼎湖山的生态环境和土壤矿物组成的关系,可使人们得到生态平衡有利于保持土壤地力的启迪。

此外,鼎湖山以东北、西南的山脉走向,使日照时数较少,又加山谷风的调节,使其气温比邻近地区,夏季低1.5—3.5℃,冬季低2—4℃。由于森林覆盖率高,年均相对湿度达80%以上,年降雨量比邻近地区多16%左右。从而使本区具有独特的小气候环境,亦可能是造成该区土壤的矿物组成有异于相应的地带性土壤的因素之一,但其作用机理,仍有待于进一步研究探讨。

## 参 考 文 献

- [1] 何金海等,1982,鼎湖山自然保护区之土壤,热带亚热带森林生态系统的研究,科学普及出版社广州分社,第1集,第25—28页。
- [2] 何宜庚,1983,鼎湖山自然保护区的土壤,华南师范大学学报(自然科学版), (1), 第87—96页。
- [3] 赵其国等,1983,我国富铝化土壤发生特征的初步研究,土壤学报,20(4),第333—345页。

- [4] 布雷迪, N. C., 土壤的本质与性状, 科学出版社, 第 44—64 页。
- [5] 詹尼, H., 1988, 土壤资源起源与性状, 科学出版社, 第 123—146 页。
- [6] 殷细宽等, 1987, 广东花岗岩发育几种红壤的矿物组成, 华南农业大学学报, 8(1), 第 29—40 页。
- [7] 曾维琪等, 1986, 衡山土壤的粘粒矿物, 土壤学报, 23(3), 第 243—250 页。
- [8] 徐拔和, 1986, 土壤化学选论, 科学出版社, 第 33—35 页。
- [9] 许冀泉, 1983, 华南热带和亚热带土壤中的矿物, 中国红壤, 科学出版社, 第 41—73 页。
- [10] 吴厚水等, 1982, 鼎湖山自然地理特征及其动态分析, 热带亚热带森林生态系统研究, 科学普及出版社广州分社, 第 1 集, 第 1—10 页。
- [11] Macias, V. F., 1981, Formation of gibbsite in soils and saprolites of temperate-humid zones. *Clay Minerals*, 16, 43—52.

## THE MINERAL COMPOSITIONS OF THE SOIL IN THE DINGHU MOUNTAIN NATURAL RESERVATION

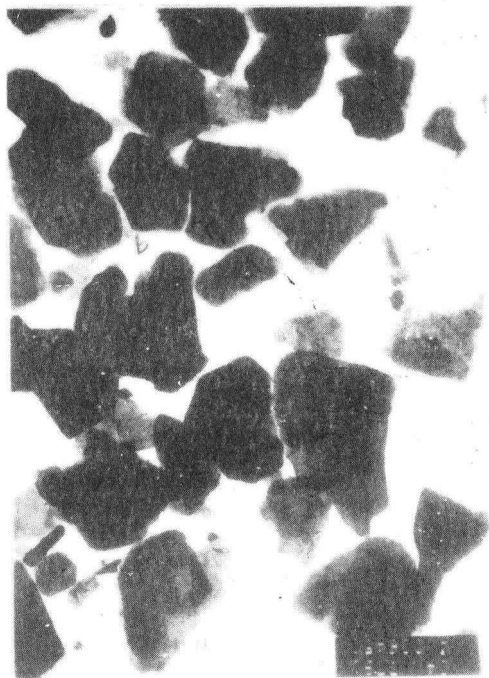
Li Shuyi Tang Jinxuan Li Meiling  
(*Institute of Soil Science, Guangdong Province*)

### Abstract

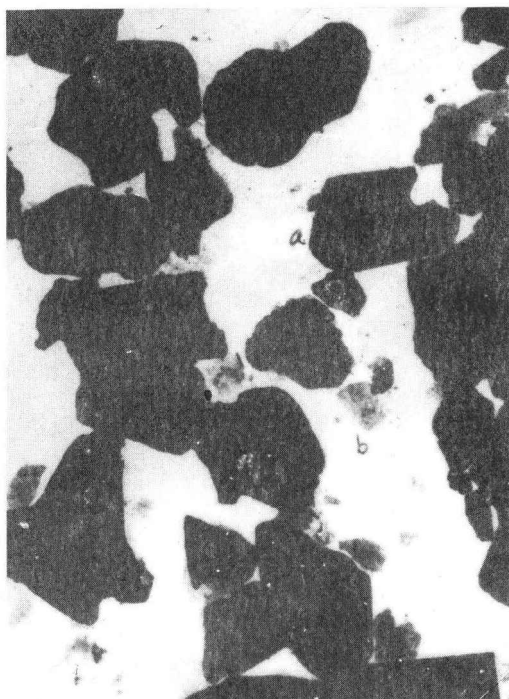
Dinghu Mountain, with an altitude of 1000.3m, has a unique mini-climate condition and is covered with forest. The soil forming rock mainly was sandstone which was mixed shale, but there were some quartz-porphry and granite has been found on the top of the mountain and in some area. The soils from the mountain foot to the summit are in order of red earth, mountain yellow earth and mountain shrubby meadow soil with the changes of the ecological environment and forming condition of soil. Corresponding to the vertical sequence of soil, the quantity of 2+1 type minerals increased in the clay mineral composition, that of kaolinite decreased and that of crystalline iron oxide increased gradually. The iron oxide mineral of mountain yellow earth and red earth was goethite mainly, that of mountain shrubby meadow soil was hematite mainly. Besides mica or pyrophyllite, the coarse minerals was quartz mainly, and that has a little feldspar, or kaolinite or vermiculite. In the part of 0.1—1.0mm minerals were all composed of primary minerals. The changes of minerals of soil which developed from the sandstone mixed shale in this mountain were: Mica→Hydromica→Hydromica; Vermiculite→Vermiculite; Feldspar→Halloysite→Kaolinite→Gibbsite; Feldspar→Gibbsite. Isorthoclase→Hydromica⇌Kaolinite. The factors of the particular mineral composition of the Dinghu Mountain soil were its parent material, geological condition, ecological environment, etc.

**Key words** Dinghu Mountain, mineral composition, changes of minerals, natural reservation

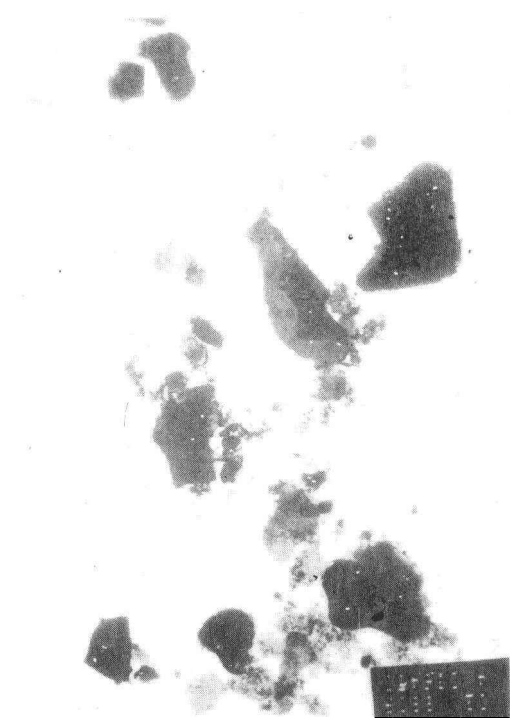




照片 1 鼎 1, B 层, 6450 倍  
a. 水云母; b. 高岭石; c. 埃洛石



照片 2 鼎 3, B 层, 6450 倍  
a. 水云母/高岭石过渡矿物; b. 蛭石



照片 3 鼎 4, B 层, 6450 倍  
a. 蛭石; b. 三水铝石



照片 4 鼎 5, A 层, 18000 倍  
a. 针铁矿; b. 赤铁矿集合体