

我国主要变性土的微形态研究*

隋尧冰

曹升赓

(辽宁省土壤肥料总站 110031) (中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文研究了变性土三大土类黑粘土、浊粘土、艳粘土的微形态特征。通过大形态、微形态、超微形态观察和膨胀收缩试验揭示了变性土的孔隙、结构、粘粒的就地重新排列以及土壤垒结与土壤粘粒含量、粘粒种类以及土壤膨胀势之间的关系,其中福建浊粘土的微形态特征发育最明显。

关键词 微形态,超微形态,膨胀收缩试验

变性土(Vertisols)是一种具有高胀缩性,高吸附力和大的活性表面的土壤。高胀缩性使土壤干燥时产生裂缝,变湿时裂缝闭合;高吸附力和大的活性表面使土壤具有较高的阳离子交换量。在美国土壤系统分类中是十大土纲之一^[1],也是联合国世界土壤图中的一个独立的一级制图单元^[2]。1985年,我国将其作为独立的土纲划出^[3]。变性土的物理、化学和矿物学特性国内外都有大量的研究,而关于由这些性质引起的土壤微形态特征的研究则较少,而且大部分局限在描述阶段,本文试图通过薄片观察、扫描电镜鉴定并结合干湿交替-膨胀收缩模拟试验来揭示、分析与变性土基本性质有关的微形态特征。

一、供试土壤与试验方法

(一) 供试土壤

本研究的变性土样品共6个剖面,包括了我国土壤系统分类中的全部三个土类^[4]。其中黑粘土(相当于国际变性土委员会建议的典型的弱发育潮湿变性土^[5])两个剖面,采自河南新蔡;浊粘土(相当于国际变性土委员会建议的典型的弱发育湿润变性土^[5])两个剖面,采自福建漳浦;艳粘土(相当于国际变性土委员会建议的艳色的弱发育湿润变性土^[5])两个剖面,分别采自广西田东和百色。对照土壤两个剖面,分别为河南封丘的淤土和福建漳浦的赤红壤。各剖面的基本性质见表1;粘粒部分的X射线衍射分析见图1、图2和图3。所研究的变性土在干燥时地表至表下层均明显开裂(图版I照片1)。

(二) 试验方法

1. 基本性质分析: 机械组成用吸管法, pH 为水提取, CaCO_3 用气量法, 有机质用重铬酸钾法, CEC 用醋酸铵法。

* 本文是第一作者硕士论文的一部分。南京土壤研究所金光、顾新运、杨德涌、王伏雄、张连弟、黄敏等同志, 河南省农科院土肥所何静安同志, 广西农科院土肥所林世如同志, 广西土肥站罗丰吉同志, 福建漳州土肥站郭辉煌同志在工作中给予许多帮助, 谨一并表示感谢。

1) ICOMERT, 1989: 5th circular letter.

表 1 供试土壤基本性质
Table 1 Basic properties of soils studied

剖面号及土壤名称 Profile number and soil type	采样地点 Location	母质 Parent material	地形 Relief	采样深度 Depth (cm)	粘粒含量 Clay content ($<0.002\text{mm}$) (%)	pH (H_2O)	有机质 O.M. (%)	CEC cmol (+) per kg soil	CaCO_3 (%)	裂缝情况 Crack
VH2 黑粘土 Black clay soil	河南新蔡	湖积物	平原	0—24	32.8	7.5	1.3	24.8	—	宽 1—3cm 深 50—120cm
				24—62	38.3	7.5	1.0	26.0	—	
				62—75	34.5	8.0	0.4	17.8	0.2	
				75—82	35.0	8.2	0.4	17.0	0.6	
				82—102	33.2	8.3	0.4	13.0	11.2	
				102—130	31.4	8.4	0.3	13.5	5.4	
VF1 油粘土 Pell clay soil	福建漳浦	玄武岩风化物	低丘下部	0—15	55.3	6.6	4.9	40.3	—	宽 1—2cm 深 50cm
				15—28	57.0	6.7	3.0	40.2	—	
				28—60	59.5	6.9	2.6	42.2	—	
				60—83	56.6	7.4	1.5	40.5	—	
				83—100	59.2	7.9	0.8	42.3	0.2	
VG4 粘粘土 Chrom clay soil	广西百色	第三纪湖积物	阶地	0—18	63.0	8.1	3.8	28.3	5.2	宽 $>1\text{cm}$ 深 60—70cm
				18—50	68.8	8.3	0.6	15.5	30.9	
				50—90	63.3	8.3	0.6	12.0	34.4	
				90—110	57.6	8.4	0.4	10.2	36.5	
VG5 粘粘土 Chrom clay soil	广西田东	第三纪湖积物	阶地	0—14	63.8	8.2	4.7	24.9	19.1	同上
				14—38	65.2	8.4	0.6	21.2	21.9	
				38—78	67.6	8.3	0.5	30.8	3.4	
				78—97	64.8	8.3	0.4	30.4	1.2	
VF3 赤红壤 Latosolic red soil	福建漳浦	玄武岩风化物	低丘顶部	0—30	54.2	6.1	2.0	12.0	—	无
				30—86	68.8	5.8	1.4	9.8	—	
				86—110	64.4	5.2	0.8	9.6	—	
VH3 淤土 Clayey warp soil	河南封丘	黄河淤积物	背河洼地	0—10	29.5	8.1	0.8	15.6	11.3	宽 0.3—0.6cm 深 10—20cm
				10—30	25.7	8.6	0.9	11.3	10.6	
				30—45	43.3	8.6	0.8	11.4	16.0	
				45—80	27.9	8.7	0.6	10.5	10.8	

2. 粘土矿物组成鉴定: (1) X 射线衍射分析。将 <0.002 毫米的粘粒用柠檬酸钠-碳酸氢钠-连二亚硫酸钠去除游离氧化铁后, 用 $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ MgCl}_2$ 淋洗三次, 再用 10% 甘油水溶液淋洗两次制成定向薄膜。

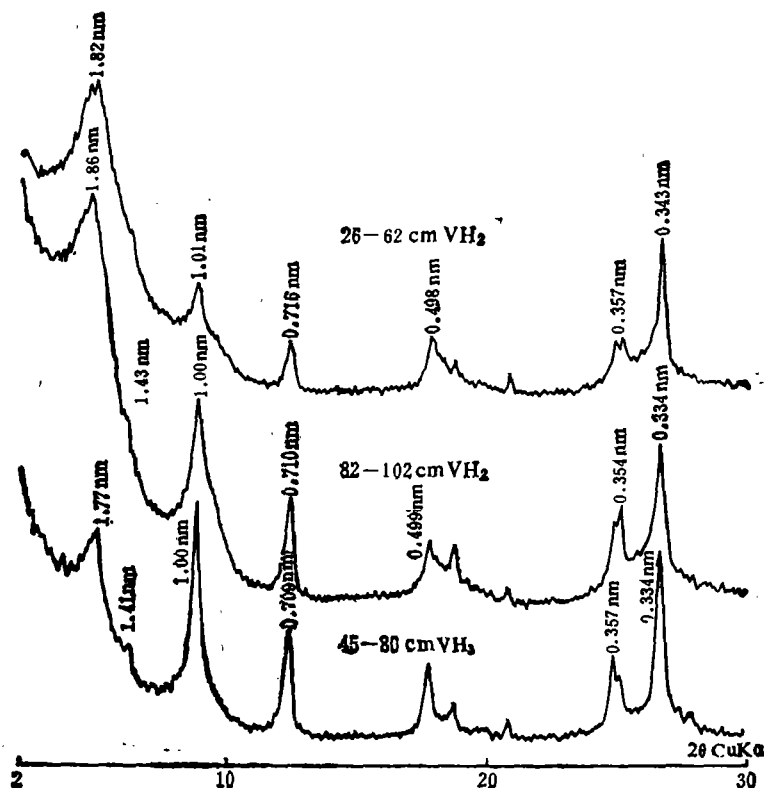


图 1 河南变性土 (VH_2 , 黑粘土) 与淤土 (VH_3) 粘粒的 X 射线衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction patterns in clay fraction of the Vertisol (VH_2 , black clay soil) and the clayey warp soil (VH_3) in Henan Province ($2\theta \text{ CuK}\alpha$)

在日本理学 D/max-IIIcX 射线衍射仪上进行分析。CuK α 辐射, 电压 35kV, 管流 15mA。(2) 透射电子显微镜观察。将小于 0.002 毫米的粘粒作成悬浮液, 用超声波分散, 点样、气干, 在国产 DXA-8 型透射电镜上观察拍片, 其加速电压为 60kV。

3. 微形态观察: 用不饱和聚酯树脂-丙酮混合液浸渍固化原状土样, 然后进行切片、磨片, 制备成厚度为 0.03mm 的薄片^[1]。在偏光显微镜下观察土壤的微形态特征。

4. 超微形态观察: 将原状土壤脱水处理后, 在真空条件下用日本电子公司 JEM-35C 型扫描电镜进行观察拍片。

5. 干湿交替模拟试验: 将河南新蔡黑粘土 VH_2 (24—62 厘米) 和福建漳浦淤粘土 VF_1 (28—60 厘米) 两个土壤样品过 2 毫米筛后装入底部垫有透水石的 200 厘米³ 的环刀中, 设计容重为 1.45 g cm^{-3} , 试验共进行 100 天, 每个周期干湿各 10 天。试验结束后, 取出样品制成薄片观察其微形态特征。

二、观察结果与讨论

由薄片观察发现, 黑粘土、淤粘土、艳粘土三土类之间既有变性土的共同特征, 又有类

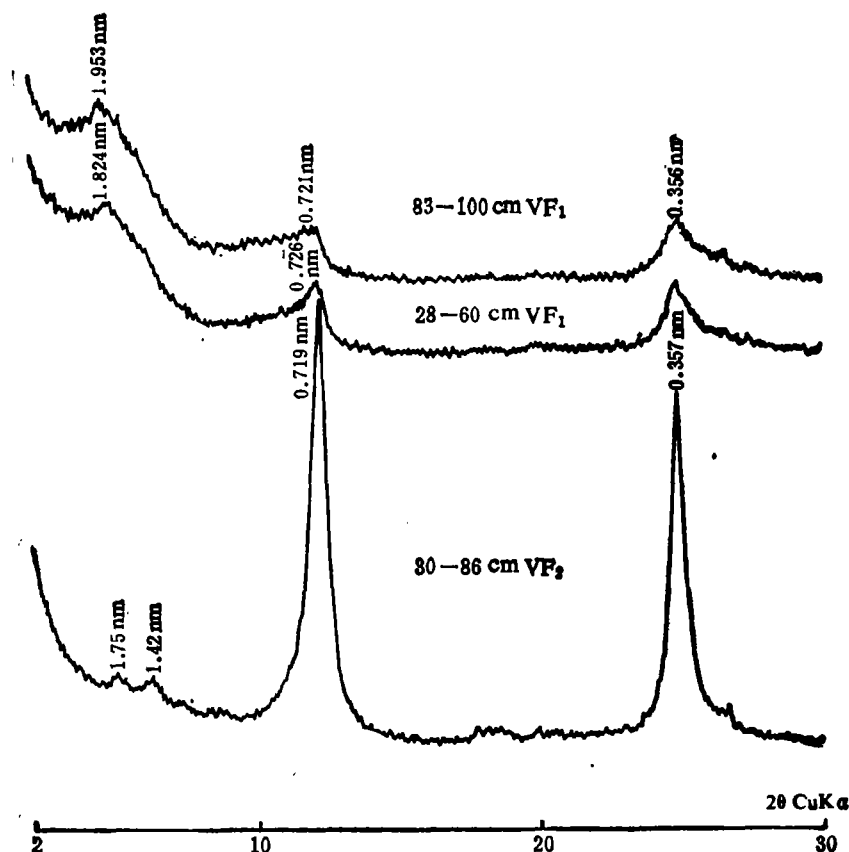


图2 福建变性土 (VF1, 油粘土) 与赤红壤 (VF3) 粘粒的X射线衍射图谱

Fig. 2 X-ray diffraction patterns in clay fraction of the Vertisol (VF1, pell clay soil) and the latosolic red soil (VF3) in Fujian Province (2θ CuK α)

别之间的差异,现就研究结果讨论如下。

(一) 孔隙

由薄片观察可见,所有变性土的表层和具变性特征土层的结构体内都具有大量的裂隙、裂纹¹⁾,宽度从0.005—5毫米不等,呈交叉、平行分布型式(图版I照片2,图版II照片6,7)。由表1和图1、2、3可见,变性土中粘粒含量大于30%,且粘土矿物种类以蒙脱石或其它2:1型矿物为主,导致土壤具有明显的胀缩特性。土壤的经常胀缩,使土壤中产生了大量的裂隙、裂纹。因此,裂隙、裂纹是变性土的典型特征之一。同时,三种变性土比较,又以福建玄武岩发育的油粘土中最为明显。干湿交替土样制成薄片后观察结果与用田间原状土制成的薄片观察结果相一致,即福建油粘土的裂隙、裂纹强于河南黑粘土(图版I照片4、5)。这种现象与土壤的胀缩能力有关,胀缩能力越强,土壤裂隙、裂纹发育越明显。在干湿交替模拟试验过程中,我们发现,当土样吸水饱和达最大膨胀值时,福建油粘土垂直方向膨胀了4厘米,而河南黑粘土仅膨胀2.1厘米。由机械组成分析(表1)和矿物组成鉴定(图1和2)可知,福建油粘土的粘粒含量达55%以上,明显高于河南黑粘土

1) 宽度 $\geq 0.01\text{mm}$ 者为裂隙, $< 0.01\text{mm}$ 者为裂纹。

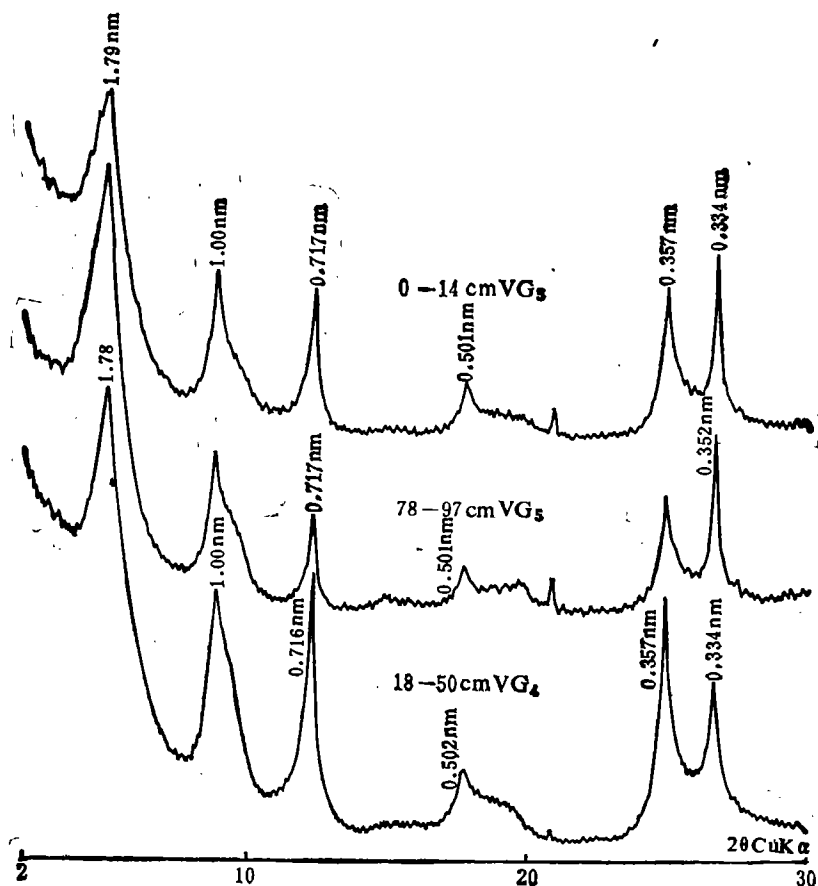


图3 广西变性土 (VG5, 艳粘土, 田东; VG4, 艳粘土, 百色) 粘粒的X射线衍射图谱

Fig. 3 X-ray diffraction patterns in clay fraction of the Vertisols (VG5, chrom clay soil, Tiandong; VG4, chrom clay soil, Baise) in Guangxi Zhuang Autonomous Region (2θ CuK α)

(34%左右), 油粘土的粘土矿物组成以蒙脱-高岭为主, 黑粘土以水云母-蒙脱为主, 表明福建油粘土的胀缩能力强于河南黑粘土。土壤的超显微鉴定表明, 福建油粘土的卷曲片状叠聚体较紧实(图版 II 照片 9), 而河南黑粘土的卷曲片状叠聚体较疏松(图版 II 照片 10)。据高国瑞(1984)报导, 紧实卷曲片状叠聚体的胀缩能力强于疏松叠聚体^[4]。上述这些都证明, 福建油粘土的膨胀能力强于河南黑粘土。同样, 根据土壤基本性质分析, 虽然福建油粘土的粘粒含量小于广西艳粘土, 但田间观察和薄片研究显示后者的裂隙发育却不如前者。这是由于福建油粘土中的蒙脱石膨胀能力明显强于广西艳粘土的水云母, 超显微研究揭示, 艳粘土中为典型的水云母卷曲片状叠聚体(图版 II 照片 11), 其膨胀能力小于福建油粘土的卷曲片状叠聚, 密集水膜接触结构的膨胀能力。

(二) 微结构体

薄片观察表明, 三种变性土表层均具有一定的团粒状结构体, 但一般发育较弱, 多呈连生状或雏形团聚体¹⁾, Nettleton 和 Sleeman (1985) 认为这与表土的自聚作用(Self-

1) 已发育成形、但基部相连的一些团聚体称为连生团聚体。隐约显示发育、但未脱离“母体土块”者称为雏形团聚体。

mul Ching) 有关, 表土开开闭闭使表层土壤物质散碎、团聚^[12]。从这点来看, 所研究的这些变性土, 其自辟作用并不强烈, 其中以福建浊粘土的团粒结构发育较好。干湿交替模拟试验证明了这一结果(图版 II 照片 8)。

田间采样时观察发现, 所有 6 个变性土的黑土层(或暗色层)都具有明显的棱块状结构体, 结构体的大小不等(图版 I 照片 2), 薄片观察显示, 福建浊粘土结构体中的微结构体发育最为明显, 可见被宽 0.1 毫米左右的裂隙分割的半棱块状二级复合结构体和准三级复合结构体, 而这些复合结构体内部的初级结构体又由 0.01—0.02 毫米大小的断续裂纹分割成略延长形的碎块。有的初级结构体和准二级结构体已从复合结构体中脱离出来。

(三) 粘粒形成物及其垒结

野外观察可见这些变性土的棱块状或棱柱状结构体表面均具有光亮的滑擦面, 而薄片观察发现, 不仅在滑擦面上具有明显的光性定向粘粒, 而且在基质内和粗骨颗粒表面以及裂隙和裂纹附近都有大量亮线状和纤维状光性定向粘粒(图版 II 照片 7)。由于土壤的频繁胀缩产生了应力, 导致土壤中粘粒发生就地重新排列而形成了大量的光性定向粘粒。土壤膨胀能力越强, 这些光性定向粘粒的发育越明显。因此可以说这种光性定向粘粒是变性土的典型特征之一。Jim (1986), Beckman 和 Smith (1979) 在试验观察中也发现变性土中存在大量光性定向粘粒^[10, 11]。但是, 在广西艳粘土中却见不到这种光性定向粘粒, 或仅仅在局部微地段见有较微弱发育的光性定向粘粒, 这可能与较高量的碳酸盐存在有关。从表 1 可看出, 这些土壤中的碳酸钙含量明显高于福建浊粘土和河南黑粘土。按所研究的各变性土中光性定向粘粒的类型和分布型式, 可以区分出下列细粒物质垒结, 即基质内有(粘粒)离析物的细粒物质垒结、孔隙壁有(粘粒)离析物的细粒物质垒结、粗骨颗粒表面有(粘粒)离析物的细粒物质垒结。此外, 在福建浊粘土和河南黑粘土中还见有少量淀积粘粒胶膜。据 Eswaran 等(1979)研究, 在现代成土条件下, 由于强烈的扰动作用, 变性土中不可能或几乎不可能形成淀积粘粒胶膜^[9]。笔者认为, 河南黑粘土(VH2) 75—82 厘米土层中少量淀积粘粒胶膜可能是现代成土过程中由于微弱的粘粒淋移作用所形成, 与国外变性土相比可能因土壤扰动作用较不强烈而得以保存。但另一黑粘土(VH1) 的 108—125 厘米土层中的淀积粘粒胶膜则可能是更早期的残遗形成物, 因为在微弱的淋移条件下, 粘粒不可能淀积在这样深的层次中。福建浊粘土(VF2) 的 10—45 厘米土层中的粘粒胶膜, 其形成机理可能与河南(VH1) 黑粘土相似。至于广西艳粘土, 因具有较高量的游离 CaCO_3 , 阻碍了粘粒的分散和淋移, 从而不能形成淀积粘粒胶膜。

(四) 铁锰形成物和碳酸盐形成物

在三个变性土土类中都发现有铁质、锰质和铁锰形成物, 根据薄片观察, 主要是铁质凝团(铁子)、铁质浸染物斑块(锈斑)、锰质凝粒-铁质浸染物共聚斑(铁锰斑)、锰质枝状体-铁质浸染物共聚斑(铁锰斑)和铁锰斑点。众所周知, 这些变性土所在地区干湿季明显, 分布位置多较低平, 特别是属潮湿变性土的黑粘土更是如此。加上变性土质地粘重, 湿季内, 由于降雨量集中, 土壤将保持许多水分, 在这样的水分条件下, Eh 值可能降至很低, 这为形成铁锰形成物提供了有利条件。至于碳酸盐形成物, 河南黑粘土和广西艳粘土中的碳酸盐基质和碳酸盐浓聚斑显然是母质的残遗特征。但河南黑粘土黑土层中小的直立石灰结核(大形态)和薄片中所见的碳酸盐凝团、凝块、凝核等则可能是土壤发生的产物; 而

黑土层以下的较大石灰结核(大形态)和碳酸盐凝团(微形态)则在很大程度上应属地质过程的产物,根据刘良悟等(1985)的研究,这些碳酸盐形成物可能已经形成至少几千年(其年龄较黑土层的老)^[2]。

(五) 变性土中有机质的浸染状况

供试变性土的黑土层或暗色土层颜色很暗,但它们的有机质含量并不高(表1),显然其土壤颜色与有机质含量并不相关。在观察河南黑粘土薄片时发现,腐殖质在土壤中分散较好,呈腐殖质絮凝基质,并有许多不规则的腐殖质絮凝浸染条带,色较深(图版 II 照片6)。这可能是黑粘土颜色暗的一个原因。浊粘土和艳粘土中未发现这一现象。

(六) 河南黑粘土与河南淤土、福建浊粘土与福建赤红壤的比较

由表1可知,淤土粘粒含量(接近30%)与黑粘土(35%左右)相差不大,但由于其粘土矿物以水化云母为主,大大影响了它的胀缩性。因此,大形态上无滑擦面产生,它的裂隙发育也不如黑粘土明显。在薄片中也未发现纤维状光性定向粘粒。这种土壤粘粒含量虽然较高,在一定的干湿交替作用下也必定会引起土壤的膨胀收缩现象,但由于较高量碳酸盐的存在,阻碍了粘粒的就地重新排列。福建的赤红壤与浊粘土同是发育在玄武岩上,且呈土链分布,赤红壤在低丘的顶部,浊粘土在底部,二者的粘粒含量也接近(表1),但由于赤红壤的粘粒矿物组成以高岭石为主,膨胀性大大弱于以蒙脱-高岭为主的浊粘土,因此,它的基质类型、结构、孔隙、光性定向粘粒发育状况均与浊粘土迥然不同,即赤红壤具有致密、平整而比较光滑的胶凝基质^[9](而浊粘土则为密实、平整但不光滑的粘结基质^[9,10]),无多级结构体,孔隙以孔洞和蠕虫状孔隙为主,纤维状光性定向粘粒发育微弱。

三、小 结

1. 薄片中性土的孔隙是以裂隙、裂纹为主,从0.005—5毫米不等。具有强胀缩性能的福建浊粘土中裂隙、裂纹最多,发育最好。裂隙、裂纹是变性土的典型特征之一。

2. 变性土的表层有一定的团聚体发育。表层以下具变性特征的土层中一般均有不同大小的多级结构体被0.001—0.1毫米不等的裂隙、裂纹隔离为准二级和准三级结构体,膨胀性越强,结构发育越好。

3. 变性土中有大量的纤维状、亮线状光性定向粘粒,这是由土壤的频繁胀缩而引起的粘粒就地重新排列现象,浊粘土的胀缩能力最强,因而定向粘粒最明显。碳酸盐的存在则对光性定向粘粒的发育有阻碍作用。

4. 变性土的细粒物质垒结主要为基质内有(粘粒)离析物的细粒物质垒结、孔隙壁有(粘粒)离析物的细粒物质垒结和粗骨颗粒表面有(粘粒)离析物的细粒物质垒结。

5. 变性土中有大量铁质凝团、铁质浸染斑、铁锰共聚斑等。黑粘土与艳粒土中有大量碳酸盐凝块、凝块和浓聚斑,它们既有土壤的形成产物,也有母质的残遗特征。

6. 河南黑粘土表层的腐殖质分散较好,形成腐殖质絮凝基质,且有大量的不规则腐殖质浓聚斑和浸染条带,这可能是其有机质含量不高,但土壤颜色很暗的一个原因。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所土壤分类课题组, 1985: 中国土壤系统分类初拟。土壤, 第6期, 290—318页。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组和中国土壤系统分类研究协作组, 1991: 中国土壤系统分类(首次方案)。科学出版社。
- [3] 刘良梧, 茅昂江, 1985: 淮北平原砂姜黑土年龄的研究。黄淮海平原砂姜黑土综合治理学术讨论会资料, 中国科学院南京土壤研究所, 55—65页。
- [4] 高国瑞, 1984: 膨胀土的微结构和膨胀势。岩土工程学报, 第六卷, 第二期, 40—48页。
- [5] 曹升庚, 1986: 我国红壤的微形态特征。土壤专报, 第40号, 1—28页。
- [6] 曹升庚, 1989: 我国铁铝土发生层的划分及其微形态诊断指标。土壤专报, 第43号, 15—29页。
- [7] 曹升庚、金光, 1989: 土壤和非固结物质薄片的制作系统方法。土壤专报, 第43号, 83—90页。
- [8] Beckman, G. G. and Smith, K. J., 1973: Micromorphological changes in surface soil following wetting, drying and trampling. in: Soil Microscopy (G. K. Rutherford ed.), The Limestone Press, Ontario. 328—845.
- [9] Eswaran, H. et al, 1979: A study of some highly weathered soils of Puerto Rico, Micromorphological properties. Pedologie, 29: 139—162.
- [10] FAO/UNESCO, 1974: Soil Map of the World (1:5 000 000), vol. 1, Legend. UNESCO-Paris.
- [11] Jim, C. W., 1986: Experimental study of soil microfabrics induced by anisotropic stresses of confined swelling and shrinking. Geoderma, 37: 91—112.
- [12] Nettleton, W. D. and Sleeman, J. R., 1985: Micromorphology of Vertisols. in: Micromorphology and Soil Classification (L. A. Douglas and M. L. Thompson eds.), SSSA Special Publication, No. 15, 165—169.
- [13] Soil Survey Staff. 1975: Soil Taxonomy. U. S. Dep. Agriculture Handbook No. 436, Washington, D. C.

MICROMORPHOLOGICAL STUDY ON SOME VERTISOLS IN CHINA

Sui Yaobing

(General Station of Soil and Fertilizers, Liaoning Province, 110031)

Cao Shengeng

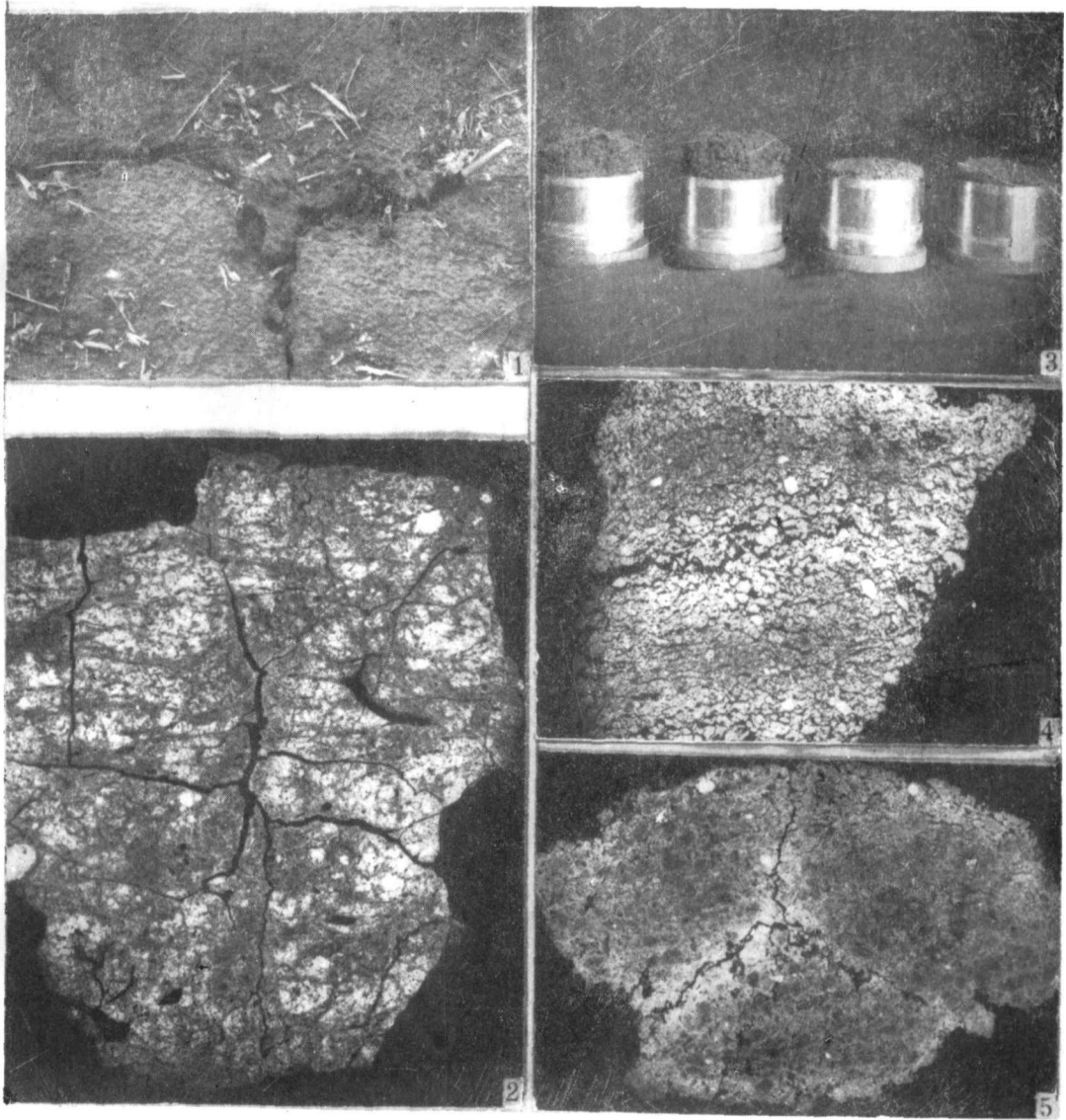
(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

The micromorphology of six Vertisols (two black clay soils from Xincui of Henan Province, two pell clay soils from Zhangpu of Fujian Province and two chrom clay soils from Guangxi Zhuang Autonomous Region) and two other related soils from Fengqiou of Henan Province and Zhangpu of Fujian Province were studied.

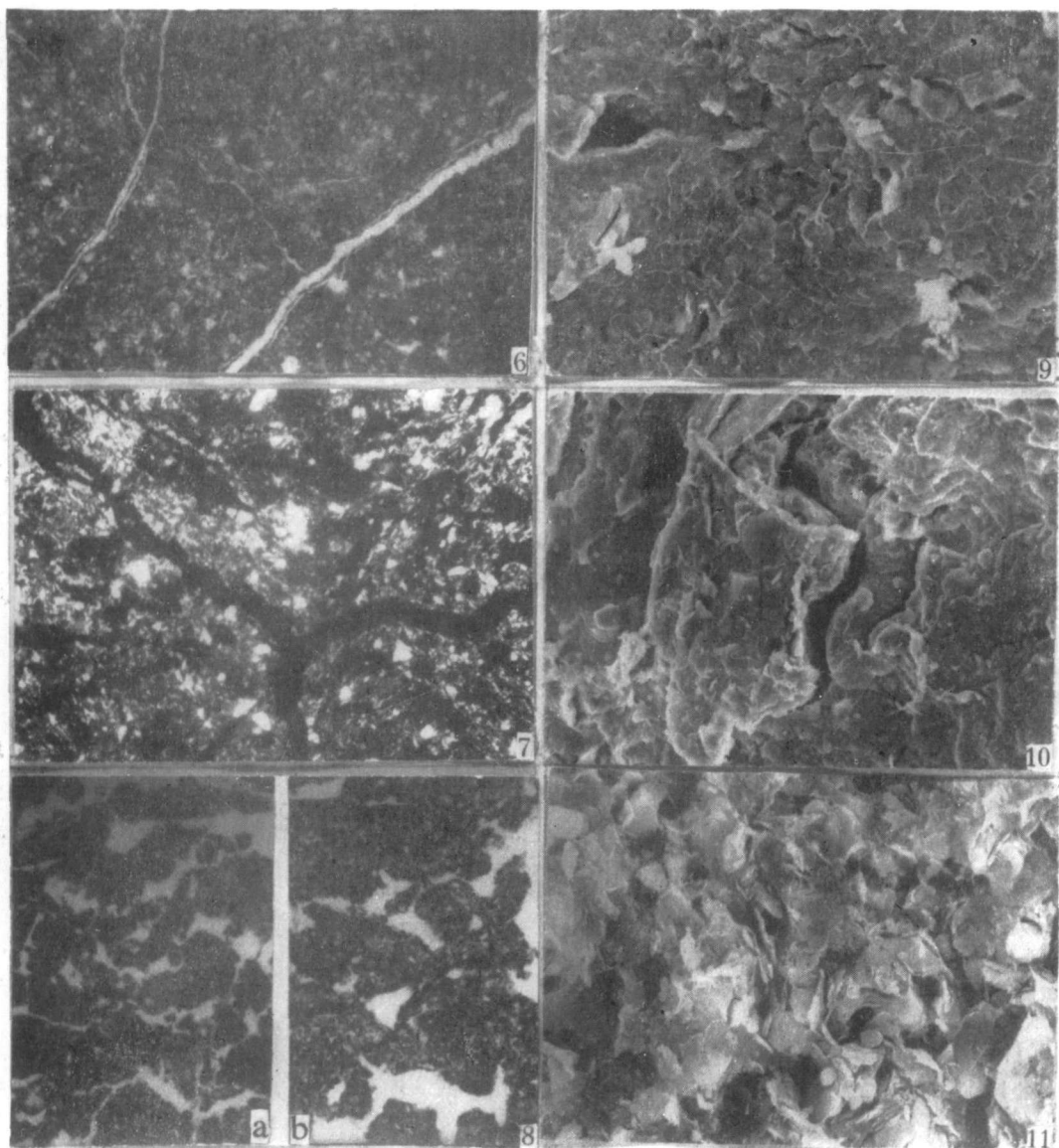
The voids, peds, optically oriented clays and plasimic fabrics in the Vertisols are markedly related with clay contents, clay mineralogy and shrink-swell potential, according to the macro-, micro- and submicromorphological studies and the wetting-drying and shrink-swell experiment. All the six Vertisols have granular and fine angular blocky structures in surface layers, and have medium and coarse angular blocky structures in the "vertic horizons", of which the secondary and tertiary peds are well developed, especially in the pell clay soils. The voids in thin sections of all the six Vertisols are mainly the fissures and hairline cracks ranging from 0.005 to 5 mm in width, especially in the "vertic horizons". The fibrous form of optically oriented clays are formed in all horizons of pell clay soils and in the surface and sub-surface "black" layers of black clay soils. However, they are not found in the chrom clay soils and in the lower horizons of black clay soils, as the high content of carbonates could confine the rearrangement of clays in place. The higher the content of clays, and the more the expansive clays and the greater the shrink-swell potential are in the Vertisols, the more and better developed the fissures, structures and oriented clays have been formed.

Key words Micromorphology, Submicromorphology, Shrink-swell experiment



大形态和中形态照片：① 黑粘土(河南新蔡)的地表开裂状况。右方裂缝中插有直径为 1cm 的钢笔，1987 年 10 月久旱透雨后摄。② 黑粘土“黑土层”的三级结构体及其裂隙、裂纹，白色部份为结构面的铁锰斑(VH1，河南新蔡，67—76cm)。薄片印相放大， $\times 2.7$ 。③ “变性层”干湿交替-膨胀收缩模拟试验。左方 2 个为浊粘土(VF1，福建漳浦，28—60 cm)，右方 2 个为黑粘土(VH2，河南新蔡，24—62cm)。④ ⑤ 福建浊粘土(VF1)和河南黑粘土(VH2)胀缩试验土样形成的二级结构体及其裂隙、裂纹全貌。薄片印相放大， $\times 2.6$ 和 $\times 1.8$

Photomacrographs and photomesographs: ① Surface cracks of a black clay soil in Henan, on the right a pen being inserted into. ② A tertiary ped of black clay soil(VH1, 67—76cm). Thin section photogram, $\times 2.7$. ③ Wetting-drying and shrink-swell experiment of “vertic horizons”. Left two, pell clay soil (VF1, Fujian), right two, black clay soil (VH2, Henan). ④ ⑤ Secondary peds and their fissures formed after the experiment. Thin section photographs of VF1 and VH2, $\times 2.6$ and $\times 1.8$



显微和扫描电镜照片：⑥ 黑粘土耕作“黑土层”中裂隙、裂纹及其分布型式，黑色部分为腐殖质浓聚斑 (VH1, 0—25cm)。单偏光, $\times 20$ 。⑦ 黑粘土变性“黑土层”裂隙附近和基质内的大量纤维状光性定向粘粒 (VH1, 25—67cm)。正交偏光, $\times 50$ 。⑧ 干湿交替模拟试验过程中形成的团聚体, a. 福建浊粘土, b. 河南黑粘土。单偏光, $\times 20$ 。⑨ 浊粘土中紧实翘边卷曲片状叠聚体 (VF1, 28—60cm)。扫描电镜, $\times 400$ 。⑩ 黑粘土疏松卷曲片状叠聚体 (VH2, 24—62cm)。扫描电镜, $\times 750$ 。⑪ 艳粘土中典型的水云母卷曲片状叠聚体 (VG4, 50—90cm, 广西百色)。扫描电镜, $\times 2200$

Photomicrographs and SEM micrographs: ⑥ Fissures and their distribution pattern in cultivated “black layer” (VH1, 0—25cm). P.P.L. $\times 20$. ⑦ Abundant oriented clays near fissures and within matrix in vertic “black horizon” (VH1, 25—67cm). C.P.L. $\times 50$. ⑧ Aggregates formed after the experiment, a. pell clay soil, b. black clay soil. P.P.L. $\times 20$. ⑨ Dense aggregates of curled lamellae with folded edges in pell clay soil (VF1, 28—60cm). SEM, $\times 400$. ⑩ Loose aggregates of curled lamellae in black clay soil (VH2, 24—62cm). SEM, $\times 750$. ⑪ Aggregates of curled lamellae of hydromicas in chrom clay soil (VG4, 50—90cm). SEM, $\times 2200$