

水稻土肥力特性的微形态诊断*

曹升庚 金光

(中国科学院南京土壤研究所)

水稻土是我国的一种主要耕作土壤,分布面积广,土壤类型多,肥力特性多种多样。广大农民群众在长期生产实践中积累了丰富的识土经验^[1]。多年来我国许多土壤工作者曾相继从土壤学各分支学科的角度对不同类型水稻土的肥力特性进行过一系列的研究^[1,2]。

本文之目的在于借助偏光显微镜观察土壤薄片,研究具有不同肥力特性水稻土的微形态特征,找出它们之间相互关系的规律,探讨用土壤微形态方法诊断水稻土肥力特性的可能性。

一、样品和方法

收集我国南方地区不同母质发育,并已知其肥力特性和肥力水平的不同类型水稻土的主要发生层或耕作层的原状土样共180个。其中包括江苏太湖地区各种主要类型的水稻土,江苏里下河地区的低产沼泽型水稻土和高肥脱沼泽水稻土,江西地区不同熟化程度的红壤性水稻土,广东徐闻地区的弱度熟化砖红壤性水稻土,云南曲靖地区改良前后的低产紫泥田水稻土和江西赣南地区不同熟化程度的紫泥田水稻土,江西山区改良前后的冷浸田水稻土,广东珠江三角洲的高肥水稻土和低产酸性硫酸盐水稻土,广西、广东地区的石灰板结化水稻土以及南方矿山地区的某些矿毒水稻土等³⁾。

土样采用以过氧化苯甲酰作催化剂的不饱和聚酯树脂-丙酮混合液(1:0.8)浸渍,在温度不超过80°C的条件下进行热固化^[3],然后磨成厚度约30 μ 的薄片,在偏光显微镜下观察和描述土壤微形态特征。薄片颜色的测定和描述是在一致的光照亮度和放大倍数下用门赛尔土壤比色卡³⁾进行比色。孔隙率用投影仪测量。颗粒大小用目镜显微尺测量。铁质浓聚物的浓聚密度用CMT型透射密度计测定。

二、结果和讨论

薄片观察结果表明,土壤微形态特征与水稻土肥力特性的关系以耕作层最为明显,

* 本文所指的土壤肥力特性是一种广义的概念,而不是仅指养分状况。

本文承席承藩先生、赵其国同志指正,显微照片由马晓东同志协助印放,谨此致谢。

1) 曹升庚,1959:江西省安义县农民群众的土壤命名和分类。土壤工讯,第4期,21—29页。

2) 供试土样中有关肥力特性的形态特征和理化性质资料,大部份均已有所报道,可参见相应的参考文献。

3) 日本农林省农林水产技术会议事務局监修:新版标准土色帖(1973)。

部份水稻土的犁底层或淀积层也有一定的诊断意义。通过对所获得的微形态资料的分析、统计和对比、归纳,我们认为下列七种微形态特征可用来作为诊断水稻土肥力特性的指标。

(一) 铁锰浓聚物

水稻土中常见的铁锰浓聚物有锈斑、根际铁质环状物、扩散状“鳝血”胶膜、粘粒-锈斑共聚物、铁质胶膜、铁质凝团和凝粒、铁锰胶膜、铁锰花斑、铁锰凝团等。其中以扩散状“鳝血”胶膜、锈斑、根际铁质环状物和铁锰胶膜等与水稻土肥力特性之间的关系较为密切。现分别阐述如下:

1. 扩散状“鳝血”胶膜 肥沃水稻土的一个重要形态特征是当土壤落干后耕作层常显示有发育良好的泡沫状孔隙,并且在这种孔隙表面淀积有大量醒目的红棕色或棕红色胶膜^[9],这是土壤溶液干燥时氧化淀积的一种有机-铁质络合物^[5,7]。有时在犁底层也形成有这种胶膜。江苏太湖地区农民群众形象地称之为“鳝血”。

为此,我们进一步在偏光显微镜下观察了江苏太湖地区的鳝血黄泥土、黄泥土和里下河地区的红砂土等高肥水稻土耕层和犁底层薄片“鳝血”的微形态特征。薄片观察表明,这种胶膜主要分布于孔洞壁(部份见于粗裂隙壁),并向土壤基体一侧扩散。在土壤裂隙宽度 <0.04 毫米处通常看不到“鳝血”,说明其形成需要有良好的通透条件。根据其微形态形貌,我们称之为扩散状“鳝血”胶膜,它由分布于孔隙壁的暗色部份——“鳝血”胶膜和向土壤基体扩散的部份——“鳝血”扩散斑组成(图版 I 照片 1)。

“鳝血”胶膜紧挨孔隙壁,厚 $0.01-0.05$ 毫米。在单偏光下呈极暗红棕(2.5YR 2/2, 2/3, 2/4)至黑棕色(5YR 2/2)。在斜反射光下泛暗棕红色,表明其成份以铁的氢氧化物或氧化物为主;有时可见棕红色背景上有一些由于有机物质集中存在而呈棕色的条纹和斑点。有时,“鳝血”胶膜表面晶出有小块形、带形或不规则形的纤维状集合体(图版 I 照片 2)。集合体宽度不一,在 $0.02-0.25$ 毫米之间,“纤维”长约 0.05 毫米。在单偏光下呈“亮红棕”(2.5YR 4/ >8)²⁾至“暗棕红”色(10R 3/ >6)²⁾,有微弱多色性。在斜反射光下泛棕红色。在加强光源亮度的正交偏光镜下具有与单偏光下颜色相似的干涉色,平行消光(与“纤维”平行)或波状消光(当“纤维”弯曲或不明显时)。根据上述光学性质判断,这种纤维状集合体可能是一种针铁矿。

“鳝血”扩散斑是扩散状“鳝血”胶膜在氧化淀积过程中由孔洞(或裂隙)壁向土壤基体一侧逐渐扩散浓聚的部份。它与“鳝血”胶膜的界线比较明显,而向土壤基体一侧因浓聚作用逐渐减弱而呈扩散状。扩散斑厚度约 $0.1-0.3$ 毫米。在单偏光下呈红棕(2.5YR 4/8)至亮红棕色(2.5YR 5/8)。在斜反射光下泛红色。根据在单偏光和斜反射光下的颜色特征来看,其有机成份要比“鳝血”胶膜中少,而以无定形氢氧化铁或氧化铁为主。

应当指出,在有机质含量相对较低,通透性略差,但其他土壤条件较好的高肥水稻土中可不一定形成这种胶膜。

2. 锈斑 由剖面形态观察可见,在水稻土的耕作层、犁底层和淀积层中均可或多

1) 顾新运、李淑秋, 1979: 水稻土中“鳝血”特性的研究。太湖地区水稻土肥力研究论文集(摘要), 中国科学院南京土壤研究所, 50—53 页。

2) 颜色较鲜艳, 彩度 (Chroma) 超出门赛尔土壤比色卡的范围。

或少见到黄棕至棕色的锈斑和锈纹。我们在仔细观察了江苏太湖地区 35 个不同肥力水平水稻土的耕作层、里下河地区 2 个高肥水稻土的耕作层和犁底层、江西进贤地区 3 种高、中、低肥红壤性水稻土的耕作层和犁底层薄片锈斑和锈纹(根际铁质环状物)后,发现如下一些微形态特征与土壤肥力之间有着密切的关系。

锈斑在薄片上,若其切面恰好通过孔隙或裂隙壁,显示出完整的形貌,则易于与扩散状“鱗血”胶膜识别。它在孔隙或裂隙壁处浓聚量最大,颜色最深,但无暗色条带;向土壤基体一侧逐渐扩散,颜色逐渐变淡(图版 I 照片 3)。在单偏光下一般呈棕色;在斜反射光下泛红色。但当两者的切面正好处于扩散部份时(通常所见也多半是其扩散部份),则往往容易混淆。其微细的差异在于“鱗血”扩散斑颜色偏“红”,色调(Hue)一般落在 2.5 YR 上,而锈斑色偏棕,色调落在 5YR—10YR 的范围。由它们在反射光下的颜色,和化学分析结果¹⁾可知,锈斑中有机成份的含量要比扩散状“鱗血”胶膜中少。而在不同锈斑中也可由

表 1 江苏太湖地区不同肥力水平水稻土耕作层中锈斑和根际铁质环状物的铁质浓聚密度

Table 1 Iron concentration density of rusty spots and ferric rings around plant roots in the cultivated horizons of paddy soils with different levels of fertility in the Tai Lake region, Jiangsu

| 土壤 Soil | 剖面号 Profile No. | 薄片号 Thin section No. | 肥力水平 Level of soil fertility | 锈斑和根际铁质 环状物种类 Type of rusty spots and ferric rings | 浓聚密度 (透射密度 D)* Concentration density (Transmission density D)* |
|------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 乌黄泥土 | S-1 | 433 _a -1 | 高肥 High | 浓暗锈斑 Dense and dark rusty spots | 0.33 |
| 乌黄泥土 | S-1 | 433 _a -2 | | | 0.35 |
| 乌白土 黄泥土 | S-5 吴普 1 号 | 442 712-1 | | | 0.44 0.39 |
| 黄泥土 | 吴普 1 号 | 712-2 | 高肥 High | 浓暗铁质环状物 Dense and dark ferric rings | 0.37 |
| 黄泥土 | 吴普 1 号 | 713-3 | High | ferric rings | 0.36 |
| 僵黄泥土 | S-2 | 434 | 低肥 Low | 稀淡锈斑 Thin and pale rusty spots | 0.20 |
| 僵黄泥土 | S-4 | 439 | | | 0.17 |
| 小粉土 | 图-4 | 805 | | | 0.12 |
| 板浆白土 | 图-14 | 809 | | | 0.19 |
| 僵黄泥土 | S-4 | 439 | 低肥 Low | 稀淡铁质环状物 Thin and pale ferric rings | 0.18 |
| 白土 | 锡 78-3 | 640 | | | 0.13 |
| 小粉土 | 图-4 | 805 | | | 0.17 |

* 1) $D = \log O = -\log T = \log \frac{I_0}{I_t}$ (式中, O ——铁质浓聚物的阻光率, T ——铁质浓聚物的透过率, I_0 ——投射到薄片的光源, I_t ——透过薄片的光源)。

- 由土壤薄片测得的 D_1 减去无试样部份(即载玻片+盖玻片+浸渍剂胶层+粘片剂胶层+盖片剂胶层)的 D_2 (0.04—0.08) 获得的纯试样透射密度 D 。
- 用透射密度 D 比较不同土壤中铁质浓聚物的浓聚密度时, 应考虑到影响透射密度的其他一些次要因素, 例如铁质浓聚物所在部位的背景土体的致密程度(微孔隙状况)和颜色深浅以及铁质浓聚物内透明和不透明矿物的大小和数量。

1) 顾新运等, 1979: 水稻土中“鱗血”特性的研究。太湖地区水稻土肥力研究论文集(摘要)。

于其量上的差异而使锈斑在透射光下的色调变异于 5YR 至 10YR 之间。这在一定程度上反映水稻土肥力水平的差异,在较肥沃的水稻土耕作层中多半具有色调为 5YR 的红棕色锈斑,而在肥力水平较低的水稻土耕作层中往往只有色调为 7.5YR—10YR 的棕色锈斑。

此外,耕作层中锈斑的铁质浓聚密度和锈斑数量也是鉴定水稻土肥力的指标。

我们把单位锈斑面积内铁质浓聚的密集程度称为锈斑的铁质浓聚密度,并在微形态计量上用透射密度(D)表示(表 1)。浓聚密度大者,土壤基体中较小的骨骼颗粒和基质基本上为锈斑所掩蔽,颜色看起来较暗,透射密度在 0.32—0.44(太湖地区),可称为浓暗锈斑²⁾(图版 I 照片 3),一般见于肥力水平较高的黄泥土(太湖地区)、乌泥田(江西地区)的耕作层中。浓聚密度小者,土壤基体背景明显可见,颜色看起来较淡,透射密度在 0.12—0.20(太湖地区),可称为稀淡锈斑³⁾(图版 II 照片 8),太湖地区肥力水平较低的小粉土、板浆白土的耕作层中常显示这种锈斑。

锈斑的数量是指锈斑占薄片面积的百分率。由镜下观察可见,在肥力水平较高的水稻土耕层中锈斑的数量也较多,例如江苏太湖地区肥力水平较高的黄泥土、乌黄泥土耕作层中锈斑的面积百分率多半 $>10\%$ ²⁾;而在肥力水平较低的白土、小粉土等耕作层中锈斑就较少($<5\%$),甚至没有³⁾;肥力水平一般的水稻土,如某些青紫泥、黄泥土中,锈斑数量在 5—10%⁴⁾。

3. 根际铁质环状物 即大形态上的根锈、锈纹。在薄片中的特征是其中央为根孔,根孔内常残留有稻根(但在剖面中、下部也常有一些无残根的原根孔),紧挨根孔壁有一薄层(约 0.01 毫米厚)暗棕色铁染根表皮组织,根孔周围为不同厚度的铁质环状物,可因氧化还原条件之不同,有外缘呈扩散状或不扩散的,或具同心圆微结构的几种变型。

根际铁质环状物中与土壤肥力有关的微形态特征有下列 4 种情况。

(1) 颜色。与锈斑一样,也可分为棕色铁质环状物 and 红棕色铁质环状物。当后者与扩散状“鳃血”胶膜共存时则色调更偏红,为 2.5 YR。

(2) 厚度。根据薄片观察结果⁵⁾,初步把环状物的厚度归纳为 3 种:厚层(>0.1 毫米)、中层(0.05 毫米左右)和薄层(<0.02 毫米)。在肥沃水稻土耕层中,其厚度一般 >0.05 毫米,属中—厚层(图版 I 照片 4);而低肥水稻土则多为薄层(图版 II 照片 5)。但老根周围的铁质环状物通常较薄,与土壤肥力状况并无一定联系。

(3) 浓聚密度。划分标准与锈斑同。应当指出,在低肥水稻土中除了薄而稀淡外,还可见到虽属浓暗却很薄的或虽较厚但稀淡的铁质环状物。

(4) 数量。在低肥水稻土耕作层中常有一定数量的根孔周围并不形成铁质环状物,而高肥水稻土耕作层中则不仅根孔多,相应地铁质环状物的数量也多。

4. 铁锰胶膜 剖面形态研究表明,位于梯田上部、开垦利用时间较短、灌溉水源不足、耕作施肥水平较低的弱度熟化红壤性水稻土,在犁底层以下的土层中常淀积有较多的棕黑色斑块而形成锰淀积层,它在剖面中出现的位置越高,土壤肥力水平也越低^[6]。由薄

1) 应排除由于土壤薄片磨得过厚或过薄,以及在磨片过程中土壤细粒脱落的影响。

2) 根据 4 个薄片的测定。

3) 根据 11 个薄片的测定。

4) 根据 2 个薄片的测定。

5) 对江苏、江西和广东的 6 种不同肥力水平水稻土耕作层薄片的测定。

片观察可见其孔隙壁淀积有多量极暗棕(7.5YR 2/3)至黑棕色(7.5YR 2/2)以锰为主要成份的铁锰胶膜(有人称锰质胶膜)。胶膜表面平整,向土壤基体一侧呈树枝状扩散(图版 II 照片 6),在较高倍镜下可见,这些“枝状扩散体”系由许多 0.02—0.05 毫米连接而成。当我们在实验室中观察自型土发育的水稻土薄片时,若发现在紧接犁底层以下土层中出现有多量铁锰胶膜(或称锰质胶膜)。一般可判断该土属于“望天田”水分类型的低肥水稻土。

(二) 孔隙

孔隙状况在很大程度上反映了水稻土的肥力特性。水稻土耕作层的孔隙主要是由水稻根系活动而形成的孔道(即根孔)和孔洞。根孔是水稻细根伸穿活动的产物,横切面呈圆形或近圆形,纵切面为管道状;根孔内常残留有稻根,周围常浓聚有铁质环状物。孔洞是较大的不规则孔隙。有的系水稻根系集中生长所致,内部常有残根和(或)动物粪粒,孔洞周围有时浓聚有锈斑。有的孔洞,例如在高度肥沃水稻土耕层中,则是由于在淹水种稻期间土壤有机质分解过程中释放出大量气体暂时被蓄留于土层内,待土壤落干后即形成一种发育良好的泡沫状孔隙,并且伴随有孔隙壁红棕色或棕红色胶膜。Moormann 等(1978)认为这种孔隙的形成是由于粘质水稻土耕层表面有一薄层粘质细土和土表生长有藻类,阻止了土壤还原过程中所释放的气体逸出^[13]。他们忽视了这种孔隙是高肥水稻土所特有的一种形态特征,实际上并不限于,也不主要见于粘质水稻土。耕层表面的粘质细土层固然是阻止气体逸出的重要原因之一,但许多其他不同质地的水稻土,在水耕条件下都可由于泥浆水在徐徐沉降过程中产生的颗粒分选作用而在耕层表面形成厚 1 厘米左右、粘粒含量较高的浮泥层(落干后成为致密的板结层)^[6]。这种为高肥水稻土所特有的泡沫状孔隙,在薄片中表现为许多较大的不规则形孔洞(图版 II 照片 7)。

一般来说,在弱度熟化的低肥水稻土耕层中往往颗粒排列紧密,只有极少至少量根孔和细裂隙(图版 II 照片 8)。而在高肥水稻土中则存在有多量根孔和孔洞。但土壤孔隙随肥力水平提高而增多的趋势,在不同地区不同母质发育的水稻土中,每一熟化系列均有其自己的孔隙发育状况和对比关系(表 2)。由表 2 可见,根孔虽有随土壤肥力水平提高而增多的趋势,但总的来说数量较少,变异幅度不大;而孔洞的增加则十分显著,直接影响土壤总孔隙率的增高。因此,可按耕层总孔隙率或孔洞孔隙率的变化诊断水稻土的肥力状况。由表 2 可获得一粗略的印象,即在高肥水稻土耕层中土壤总孔隙率一般为 8—12%,有时可达 15% 以上,孔洞孔隙率与之接近;中肥水稻土耕层的总孔隙率和孔洞孔隙率约为 4—7%;低肥水稻土中总孔隙率约为 1—1.5%,或略高些,而孔洞孔隙率则更低,约为 0.5—1%。

(三) 絮凝和非絮凝基质

由水稻土落干后采集的原状土所制成的薄片观察可见,水稻土耕作层除根系集中处外,均呈无结构状态,表明在水耕条件下土壤物质中腐殖质、粘粒等的凝聚作用一般不表现在形成团聚体上,而在于是否使土壤基质¹⁾呈絮凝状态。我们把呈絮凝状态的基质称为絮凝基质(图版 III 照片 9),它在低倍镜下有毛糙或蓬松感,在中倍镜下可见土壤基质形成边缘呈扩散状的不规则形“絮凝体”(图版 III 照片 10),内部常包裹有较小的骨骼颗粒(在

1) 土壤基质是指由 <0.01 毫米的颗粒和氧化铁、腐殖质等无定形物质组成的土壤物质。

表 2 不同肥力水平水稻土耕作层中的孔隙状况*
Table 2 Soil porosity in the cultivated horizon of paddy soils with different levels of fertility*

| 土 壤 Soil | 剖面号 Profile No. | 薄片号 Thin section No. | 肥力水平 Level of soil fertility | 地 点 Locality | 总孔隙率 Total porosity (%) | 根孔隙率 Root channel-porosity (%) | 孔隙孔隙率 Vugh-porosity (%) | 备 注 |
|----------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 江西红壤丘陵地区 Paddy soils derived from red earths | 云-1 | 828 | 低 Low | 江西进贤 Jinxian, Jiangxi | 1.55 | 0.62 | 0.93 | 多为(0.17—0.23)×0.5mm的极小孔隙和(0.23—0.33)×(0.8—1)mm的小孔隙。主要是0.6×(0.7—1.7)mm的中孔隙。主要是1×(2—2.5)mm的大孔隙和(2—3)×(4—6)mm的极大孔隙。 |
| | 云-3 | 833 | 中 Medium | | 3.96 | 0.31 | 3.65 | |
| | 云-7 | 839 | 高 High | | 11.25 | 0.58 | 10.67 | |
| 江苏太湖平原地区 Paddy soils derived from lacustrine deposits | 78-3 | 904 | 低 Low | 江苏吴县 Wuxian, Jiangsu | 1.32 | 0.3 | 1.02 | |
| | 78-2 | 903 | 高 High | 同上 | 8.64 | 0.35 | 8.29 | |
| | 太昆-1 | 910 | 低 Low | 江苏昆山 Kunshan, Jiangsu | 0.96 | 0.27 | 0.69 | |
| | 太昆-2 | 909 | 中 Medium | 同上 | 5.35 | 0.66 | 4.69 | |
| 广东珠江三角洲地区 Paddy soils derived from delta deposits | 广珠-2 | E-3 | 中 Medium | 广东南海 Nanhai, Guangdong | 4.15 | 0.04 | 4.11 | |
| | 广珠-1 | 942 | 高 High | | 9.68 | 0.42 | 9.26 | |
| | 0-2甲 | E-4 | 中 Medium | | 6.36 | 0.65 | 5.71 | |
| | 0-1甲 | E-5 | 高 High | | 16.38 | 1.98 | 14.4 | |

* 孔隙率用孔隙占薄片面积的百分率表示。

* Porosity was estimated by the percentages of the areas in thin sections.

这种情况下基质与被包裹的骨骼颗粒之间的边界也呈扩散状)。“絮凝体”之间有隐约可见的空隙或较大的骨骼颗粒。按其絮凝程度可分为轻度絮凝基质(“絮凝体”不很明显)和中等絮凝基质(“絮凝体”较明显)。强度絮凝的基质在水稻土中很少见。肥沃水稻土一般均为中等絮凝基质(表 3), 例如太湖地区的鳊血土(图版 III 照片 10)、珠江三角洲的泥肉田(图版 III 照片 9)、江西地区的乌泥田等。非絮凝基质见于低肥水稻土耕层, 在低倍镜下观察时, 致密而有“平整”或“平滑”感, 在中倍镜下不能见到“絮凝体”。

(四) 骨骼颗粒

为了研究那些因土壤质地状况引起土壤肥力特性不良的水稻土的微形态特征, 作者分别观察了一些粗粒质、中粒质和细粒质低产水稻土耕层土壤的薄片, 发现它们与土壤物质中 >0.01 毫米的骨骼颗粒过多或过少有着密切的关系(表 3)。

例如分布于广东花岗岩地区的石仔田、沉砂田等砂质水稻土是一种易漏水漏肥、易沉降板结、耕作插秧困难、水稻生长发育不良的低肥水稻土, 其耕作层的土壤物质主要由不同粒径的砂粒级骨骼颗粒组成, 排列杂乱; 只有较少量 <0.01 毫米的土壤基质填集于骨骼颗粒之间, 呈骨骼颗粒间基质填集胶结微结构(图版 III 照片 12)。而分布于丘陵山区梯田上部的面浆田、小粉土等粉砂质结板水稻土的耕作层中, 由于串流串灌的影响, 粘粒大部流失, 其颗粒组成以 $0.01-0.05$ 毫米的粗粉砂质骨骼颗粒占优势, 一般为 50% 左右; 即使在较少量的 <0.01 毫米的基质部份中(约占 30—40%), 也以 $0.002-0.005$ 毫米的细粉砂和 $0.005-0.01$ 毫米的中粉砂为主, 可占 70—80%; 粘粒含量很低; 土壤颗粒排列紧密, 孔隙极少, 呈粗粉砂质致密微结构(图版 IV 照片 13); 反映了土壤易淀浆板结的微形态特征。

那些质地粘重、耕性不良的水稻土耕作层的土壤物质中往往缺乏 >0.01 毫米的骨骼颗粒, 而以 <0.01 毫米的颗粒占优势, 排列紧密, 孔隙极少, 只有少量根孔和细裂隙(图版 II 照片 8)。当然, 有的土壤虽然属细粒质, 但在精耕细作条件下, 发育有多量根孔和孔洞, 而且有较多浓聚密度大的锈斑, 基质中有多量腐殖质微粒, 也应诊断为高肥型水稻土。

肥沃水稻土耕层中, 骨骼颗粒的大小一般不会过大, 在 $0.02-0.15$ 毫米之间, 而且数量一般不超过 40%, 在土体中的分布也较均匀。 <0.01 毫米的颗粒通常约占 60% 左右(表 3)。

(五) 条纹状光性定向集结粘粒

具有起浆性或烘性的水稻土(例如低洼地区的沅水田、重粘质紫泥田等)在耕耙后耕层土壤浮而不实, 容易“飘秧”^[11,12]。在镜下观察这些土壤的薄片, 可见土壤颗粒较细而排列十分紧密, 在正交偏光镜下显示有大量呈条纹状光性定向、大致平行分布的纤维束状集结粘粒(图版 IV 照片 14)。这可能与土壤悬浊液中粘粒的缓慢沉降作用和土壤落干后因土壤比较粘闭而干燥比较缓慢有关。而在颗粒组成较粗的面浆田、沉砂田中则并不形成这种集结粘粒, 可能与土壤粘粒含量较少, 耕耙后土壤悬浊液中颗粒沉降较快和土壤落干后干燥作用较迅速有关。在许多不具有起浆性或烘性的粘质水稻土(包括江西赣南地区的一些粘质紫泥田水稻土)耕层中也没有发现这种集结粘粒的大量存在。因此, 耕层土壤中大量条纹状光性定向集结粘粒的存在可用来诊断与土壤耕性有关的颗粒沉降特性和土

表 3 几种水稻土耕作层中骨骼颗粒和基质颗粒状况

Table 3 Skeleton and matrix grains in the cultivated horizon of some paddy soils

| 土 壤 Soil | 剖面号 Profile No. | 薄片号 Thin section No. | 地 点 Locality | 骨骼颗粒 (>0.01mm) Skeleton grains | | | 基质颗粒 (<0.01mm) Matrix grains | | |
|----------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------|
| | | | | 组 成 Fraction (mm) | 数 量 Amount (%) | 分 布 状 况 Distribution | 组 成 Fraction (mm) | 数 量 Amount (%) | 絮 凝 状 况 Flocculation |
| 肥沃水稻土 Highly fertile paddy soils | S-1 | 433 | 江苏无锡 Wuxi, Jiangsu | 0.02—0.03 | 40 | 均匀 Uniform | 未 测 Without measurement | 60 | 絮 凝 Flocculated |
| | Y-1 | 878 | 江苏兴化 Xinghua, Jiangsu | 0.01—0.03 | 30 | 同上 | 同上 | 70 | 同上 |
| | 云-7 | 837 | 江西进贤 Jinxian, Jiangxi | 0.01—0.03 0.06—0.15 >0.1 | 40 5 个别 | 均匀 Uniform 不均匀 Nonuniform 同上 | 同上 | 55 | 同上 |
| | 寻-9 | 869 | 江西寻鄚 Xunwu, Jiangxi | 0.02—0.05, 0.05—0.08 >0.1 | 35 2 | 均匀 Uniform 不均匀 Nonuniform | 同上 | 60 | 同上 |
| | 广定1号 | 629 | 广东南海 Nanhai, Guangdong | 0.02—0.05, 0.1—0.15 | 40 | 均匀 Uniform | 同上 | 60 | 同上 |
| | 广珠1号 | 942 | 同上 | 0.02—0.04, 0.05—0.15 | 40 | 同上 | 同上 | 60 | 同上 |

壤落干后的干燥速度。

另外,在高肥水稻土耕作层的絮凝基质内一般均可见有一定数量弱度发育的条纹状光性定向集结粘粒(图版 III 照片 11)。这可能与粘粒在基质絮凝过程中产生的应力作用有关。

(六) 碳酸盐浓聚物

酸性、盐基不饱和的红壤种植水稻后,在施用石灰和有机肥料的影响下,盐基含量逐渐增加,可形成高度复盐基的水稻土^[7];但从薄片观察,这种正常的水稻土熟化过程并不导致形成任何形态的碳酸盐浓聚物。而在长期过量施用石灰或受石灰岩物质严重影响的情况下,便发育成碳酸钙含量较高的低产石灰板结化水稻土,如石灰板结田、硬底田、锅巴田等^[4,10]。由薄片观察可见,在弱度¹⁾和中度²⁾石灰板结化水稻土中,碳酸钙的浓聚作用十分明显,耕层的土壤基质成份中有大量分布均匀的碳酸盐晶霜(可达 50—70% 以上)和较多 0.03—0.2 毫米的碳酸盐凝团(图版 IV 照片 15 A)。土壤骨骼颗粒被致密的含碳酸盐基质胶结包埋,呈斑晶骨骼嵌埋状微结构;有时并可见有较小的长形矿物(如云母类矿物)和长形植物残体呈水平方向排列,均说明了土壤的沉板特性。当石灰板结化作用进一步发展³⁾,可见在紧挨耕作层的犁底层表面浓聚有一层厚 0.03—0.25 毫米的碳酸盐盖层(图版 IV 照片 15 B),其下是含有大量碳酸盐晶霜的土体,晶霜成份往下渐少,直至消失。犁底层的大部份孔隙内填充有方解石晶体;部份孔隙壁淀积有方解石膜以及由于石灰化作用和铁的氧化还原、淋溶淀积作用频繁交替而成的方解石-铁质简单复合胶膜或复合胶膜。以上这些微形态特征不但反映了水稻土的不同石灰板结化程度,而且有助于判断其影响水稻生长发育、灌溉水的渗漏以及土壤耕作管理的原因。

(七) 土壤残遗体

在地带性土壤起源的弱度熟化和部份中度熟化的低肥和部份中肥水稻土的耕作层和犁底层中,往往可见有这种地带性土壤的“生土”块,在微形态上称为土壤残遗体。其来源既可是其前身土壤所残遗,也可是受高处土壤侵蚀影响,由迳流水携入。对广东湛江地区砖红壤性水稻土和江西进贤地区不同熟化程度的红壤性水稻土的薄片观察表明,在开垦利用年龄较短、分布地形部位较高的弱度熟化低肥水稻土中,这种“生土”块数量较多,大小不一(0.05—0.3 毫米),颜色鲜艳,半稜角形至半磨圆形,边界明显或不明显(图版 IV 照片 16)。在中度熟化的一般水稻土中,数量较少,外形浑圆和边界模糊者居多。而在高度熟化的肥沃水稻土则看不到这种“生土”块。

因此,地带性土壤起源的水稻土中土壤残遗体的存在与否对于诊断其肥力水平和确认其发育和熟化程度具有重要意义。

三、 结 语

以上提出的用于诊断水稻土肥力特性的铁锰浓聚物(扩散状“鱗血”胶膜、锈斑、根际

1) 以 873 号薄片(石灰板结田,粤土 1 号,0—14 厘米,广东南海)为例。

2) 以 874 号薄片(硬底田,英德 2 号,0—10 厘米,广东英德)为例。

3) 以 875 号薄片(锅巴田,强度石灰板结化水稻土,33721 号,18—24 厘米,广西罗城)为例。

铁质环状物和铁锰胶膜)、孔隙、絮凝和非絮凝基质、骨骼颗粒、条纹状光性定向集结粘粒、碳酸盐浓聚物(碳酸盐晶霜、碳酸盐凝团、方解石膜、碳酸盐盖层等)和土壤残遗体等七类诊断水稻土肥力特性的微形态单位及其特征和指标,或这或那、或多或少地见于我国所有的水稻土类型中。应当指出,对于某些水稻土,由于受薄片大小(特别是在较小薄片的情况下)和薄片切面能保留的微形态单位的种类和数量的限制,以及由于作为一个不均质体系的土壤本身各局部微地段的微环境条件的差异,还有可能受采样代表性的影响,在某一具体肥力水平的土壤薄片中出现这种或那种而不是全部(例如作为高肥指标的)微形态单位和特征,甚至出现个别与该土壤肥力特性相矛盾的指标,也是有可能的。在后者的情况下,就需要根据薄片中占优势的主要微形态单位和特征来诊断土壤的肥力特性。同时,应注意采样和薄片切面的代表性,并尽可能制备大于 5×10 厘米的大薄片供较全面地观察土壤微形态特征用。

作者从薄片研究并获知,有些水稻土,例如矿山地区的某些矿毒田剖面中虽有特殊化学物质的存在,但在表现上并未影响土壤的物理状态,也未形成特定的土壤形成物;有些水稻土,例如冷浸田,由于制片技术上的原因,不能反映土壤的“烂泥”特征(至于土温和养分状况更非土壤微形态的研究对象);有些水稻土,例如许多紫泥田,由于土壤颜色掩盖了铁锰浓聚物的发育程度等等,使我们在用微形态方法诊断这些土壤的主要肥力特性时存在一定的困难。至于咸酸田中的硫酸盐浓聚物,虽在形态、数量和分布上能说明这类水稻土的发育程度,但与土壤肥力特性的联系似较间接。

总之,本文基于总结农民群众的识土经验和对大量薄片的观察所提出的七种微形态特征及其指标,有可能帮助我们即使在预先对供试土样的基本性质并未完全掌握的情况下,诊断水稻土的肥力特性。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院农业丰产研究丛书编辑委员会, 1961: 水稻丰产的土壤环境。科学出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。科学出版社。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所土壤微形态实验室, 1977: 制备粘质致密土壤薄片的方法。土壤, 第4期, 213—215页。
- [4] 石华、侯传庆, 1961: 广西锅巴田的形成及其改良。土壤通报, 第3期, 5—10页。
- [5] 徐琪、陈志诚, 1961: 鳝血土形成的条件及其在土壤改良上的意义。土壤通报, 第4期, 43—49页。
- [6] 曹升骥, 1963: 南方山区的特殊水稻土——矿毒田。土壤通报, 第3期, 23—27页。
- [7] 曹升骥, 1964: 江西地区红壤性水稻土形成的特点。土壤学报, 第12卷, 第2期, 155—163页。
- [8] 曹升骥、姚玉成, 1964: 水稻土发生层的划分、命名及其特征。土壤专刊(即土壤专报), 第36号, 179—205页。
- [9] 龚子同, 1960: 太湖地区农民识别土壤肥瘦的经验。土壤通报, 第1期, 45—49页。
- [10] 龚子同、陈志诚, 1963: 华南石灰化水稻土的特性及其形成过程。土壤学报, 第11卷, 第1期, 92—98页。
- [11] 雷文进, 1959: 江苏里下河土壤的发生和改良。土壤学报, 第7卷, 第3—4期, 228—236页。
- [12] 赵其国、邹国础, 1959: 云南省的胶泥田及其改良。土壤学报, 第7卷, 第1—2期, 59—67页。
- [13] Moormann, F. R. and van Breemen, N., 1978: Rice: Soil, Water, Land. Intern. Rice Res. Institute, Philippines, p. 84.

MICROMORPHOLOGICAL DIAGNOSIS OF THE FERTILITY CHARACTERISTICS OF PADDY SOILS

Cao Sheng-geng and Jin Guang

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

Summary

About 180 thin sections of various types of paddy soil were examined using a polarizing microscope, and the relationship between the micromorphological features and the fertility characteristics of soil was studied. Based on the data obtained, seven micromorphological features are suggested as the diagnostic criteria for paddy soils.

1. Ferro-manganic concentrations, of which the following are most closely related to the fertility of paddy soils.

a. Diffuse organo-ferrans. They are only found on the walls of voids and in the adjacent soil matrix in the cultivated horizon of highly fertile paddy soils (Fig. 1 and 2).

b. Rusty spots. Two kinds of rusty spots can be recognized. one is the reddish brown rusty spots, with hue 5YR, which are found in the highly fertile paddy soils (Fig. 3). Another is the brown rusty spots, with hue 7.5YR—10YR, which are usually present in the lowly fertile paddy soils (Fig. 8). In addition, the iron concentration density and the amounts of rusty spots in cultivated horizon are also positively correlated with soil fertility.

c. Ferric rings around plant roots. In addition to the coloration, iron concentration density and amounts, the thickness of ferric rings may also be served as an indication for soil fertility (Fig. 4 and 5).

d. Mangans. In case of considerable mangans found in the horizon beneath the plow pan in a paddy soil derived from the automorphous soil such as red earth, the soil can be regarded as a lowly fertile type which has a "pluvial" moisture regime.

2. Voids. Soil porosity, especially the total porosity and vugh-porosity, in the cultivated horizon is increased with increasing soil fertility (Tab. 2).

3. Flocculated and unflocculated matrix. There exist a flocculated matrix in the fertile paddy soils (Fig. 9 and 10) and an unflocculated matrix in the lowly fertile paddy soils.

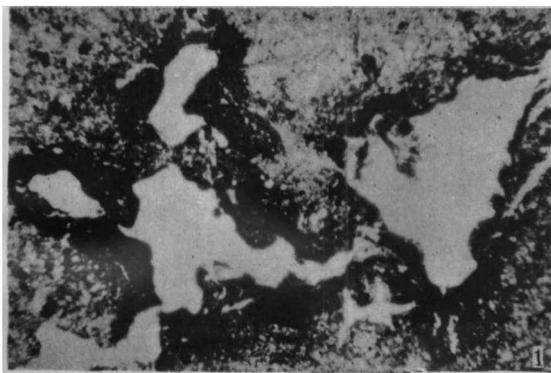
4. Skeleton grains. Fig. 12 and 13 show the soils which have poor fertility characteristics, due to the excess of sandy and silty skeleton grains. Occurrence of skeleton grains in these lowly fertile soils has been compared with that in highly fertile paddy soils (Tab. 3).

5. Striated orientation of clays. In some heavy clayey paddy soils, the fine particles remain suspended as paste over a rather long time after tillage under flooded condition. Consequently, the transplanted rice seedlings cannot stand well in such a pasty like surface soil. Under crossed polarised light, large amount of striated orientation of clays in the clayey matrix can be observed (Fig. 14).

6. Carbonate concentrations. In the cultivated horizon and plow pan of the calci-compact paddy soils induced by long-term over liming or by influence of limestone materials, the presence of various concentrations (Fig. 15A, B) may be used as micromorphological indications of the degree of calcification and compaction of paddy soil and their fertility characteristics.

7. Pedorelicts ("raw soil" blocks). In the cultivated horizon of incipiently developed paddy soils derived on red earths, the "raw soil" blocks originated from red earths can be still preserved (Fig. 16).

The micromorphological features of paddy soils as diagnostic criteria of soil fertility characteristics vary with soil types. However, it is possible to use one or some of the suggested micromorphological features to diagnose the fertility characteristics of paddy soils under microscope.



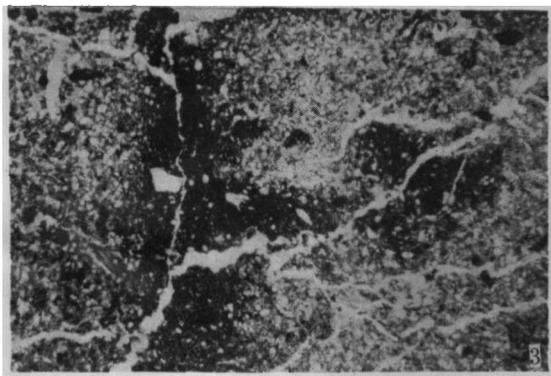
照片1 扩散状“鱗血”胶膜。白色部份为孔洞,紧挨孔洞壁的黑色胶膜为“鱗血”胶膜。向土壤基体一侧扩散的部份为“鱗血”扩散斑 (S-42——剖面号,下同,464b——薄片号,下同,鱗血黄泥土,0—15厘米,江苏吴县)
(单偏光,×22)

Fig. 1 Diffuse organo-ferrans in a highly fertile paddy soil in depth of 0—15 cm. The white areas are vughs. The black borders close to the vughs are dark organo-ferrans. The areas which diffuse into S-matrix are diffuse spots of organo-ferric substances
(Plane transmitted light, ×22)



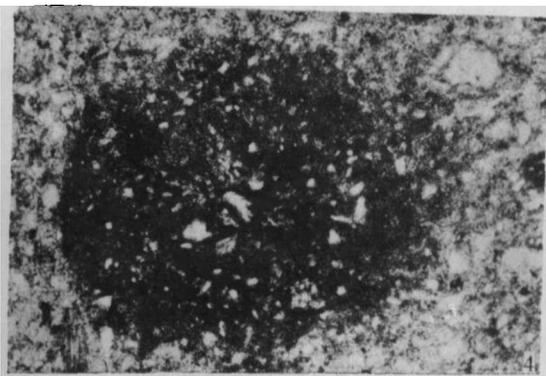
照片2 同上薄片中“鱗血”胶膜表面晶出的纤维状集合体——针铁矿。照片中黑色部份是“鱗血”胶膜,照片下部是“鱗血”扩散斑
(单偏光,×400)

Fig. 2 The same thin section as Fig. 1. Crystallized fibrous aggregates—goethites on the surface of dark organo-ferrans
(Plane transmitted light, ×400)



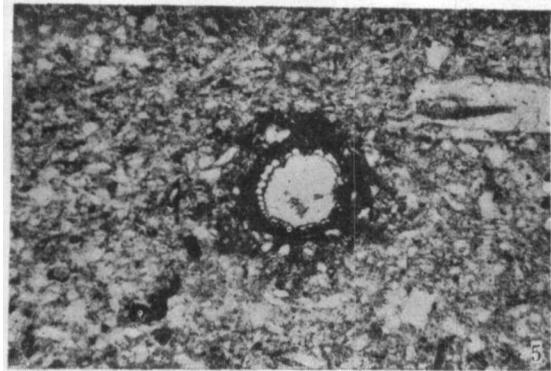
照片3 锈斑,白色条纹为裂隙 (S-1, 433, 鱗血黄泥土, 0—18厘米,江苏无锡)
(单偏光,×25)

Fig. 3 Rusty spots in the cultivated horizon of a highly fertile paddy soil
(Plane transmitted light, ×25)



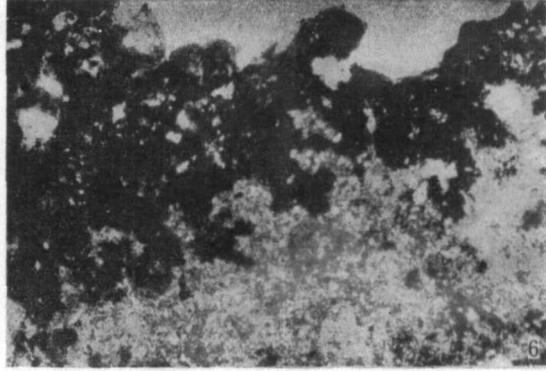
照片4 根际厚层铁质环状物。中央为根孔和残根 (吴78-4, 646 鱗血黄泥土, 0—15厘米,江苏吴县)
(单偏光,×64)

Fig. 4 Thick ferric ring around plant root in the cultivated horizon of a highly fertile paddy soil
(Plane transmitted light, ×64)



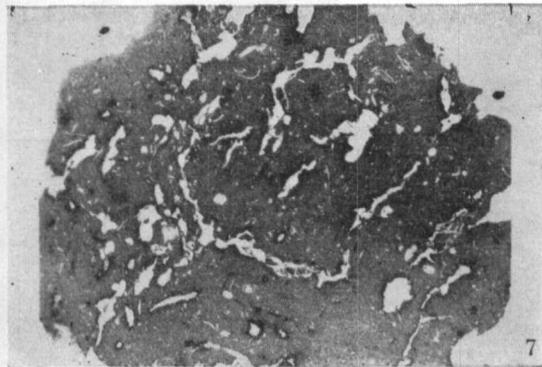
照片5 根际薄层铁质环状物(锡78-3, 640, 白土, 0—16厘米, 江苏无锡)
(单偏光, ×64)

Fig. 5 Thin ferric ring around plant root in the cultivated horizon of a lowly fertile paddy soil
(Plane transmitted light, ×64)



照片6 孔隙壁铁锰胶膜。白色部份除稜角形者为石英颗粒外均为孔隙。注意胶膜的锰质部份向土壤基体呈树枝状扩散(云-1, 830, 黄泥田, 15—26厘米(锰淀积层)江西进贤)
(单偏光, ×64)

Fig. 6 Mangans in a lowly fertile paddy soil having a "pluvial" moisture regime, in depth of 15—26 cm. Note the outer parts occur as dendritic growths into S-matrix
(Plane transmitted light, ×64)



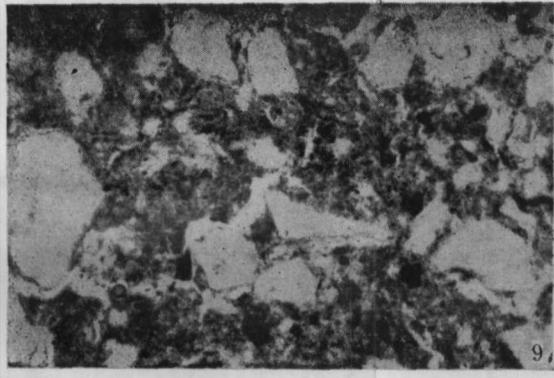
照片7 高肥水稻土耕作层中的大量孔隙(0-3甲, E-8a, 油泥田, 0—16厘米, 广东中山)
(透射光, ×1.5)

Fig. 7 Vughs in the cultivated horizon of a highly fertile paddy soil
(Transmitted light, ×1.5)



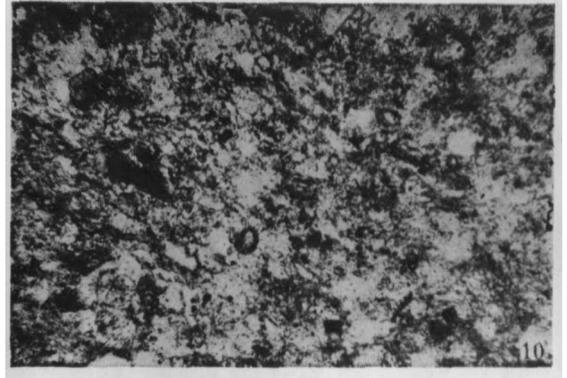
照片8 低肥水稻土耕作层中的孔隙和铁质浓聚物状况。左上白色部份为一根孔, 根孔内残留有稻根, 稻根边缘的最黑色部份为铁质浸染的表皮组织。根孔周围较深色的薄层为根际铁质环状物。照片左上一片略淡的深色部份为稀淡锈斑(锡78-3, 640, 白土, 0—16厘米, 江苏无锡)
(单偏光, ×26)

Fig. 8 Thin section of cultivated horizon of a lowly fertile paddy soil, showing few voids as compared with Fig. 7 and thin and pale rusty spots as compared with dense and dark rusty spots in Fig. 3
(Plane transmitted light, ×26)



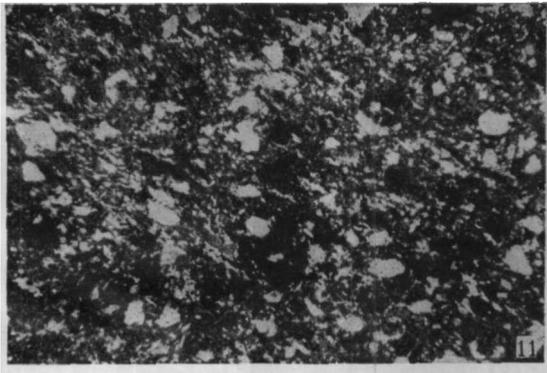
照片9 絮凝基质(暗色部份)。白色菱形颗粒为石英, 较小的不规则形部份为小孔洞和裂隙, 黑色颗粒为腐殖化植物残体碎屑 (广定1号, 629, 泥肉田, 0—25厘米, 广东南海)
(单偏光, $\times 70$)

Fig. 9 Floculated matrix (the dark areas) in the cultivated horizon of a highly fertile paddy soil
(Plane transmitted light, $\times 70$)



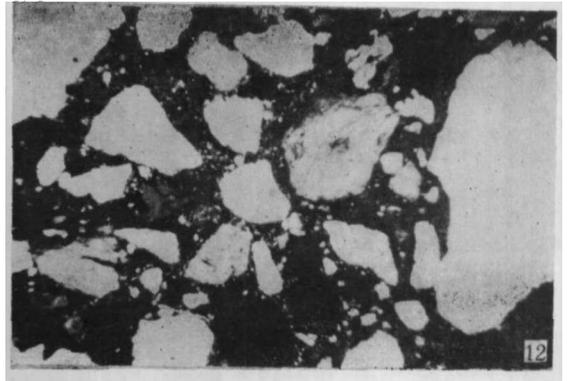
照片10 絮凝基质中的絮凝体(暗色部份)(001号, 901, 镧血白土, 0—20厘米, 12苏武进)
(单偏光, $\times 100$)

Fig. 10 Flocs in the flocculated matrix.
(Plane transmitted light, $\times 100$)



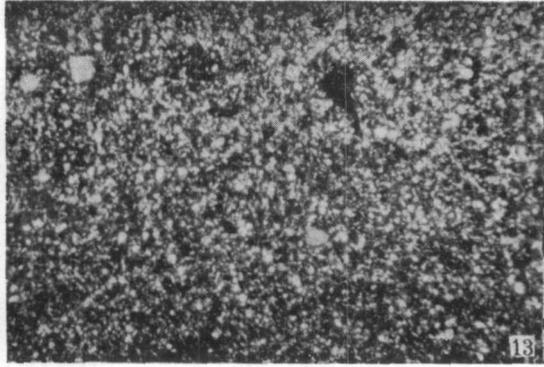
照片11 视野同照片10, 系絮凝基质中弱度发育的条纹状光性定向集结粘粒(呈白色斜条平行分布者)
(正交偏光, $\times 100$)

Fig. 11 Same view as Fig. 10, showing the weak development of striated orientation of clays in the flocculated matrix
(Crossed polarised light, $\times 100$)

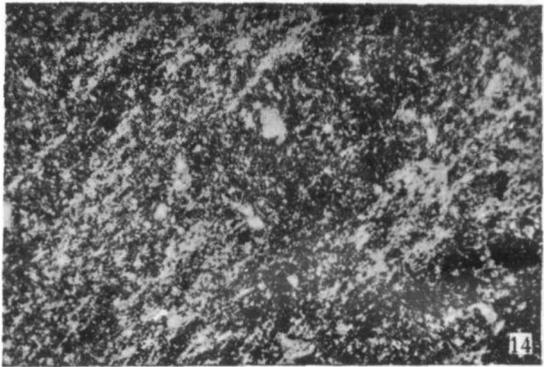


照片12 砂质骨骼颗粒过多的水稻土耕作层薄片(澄-2, 624, 沉砂田, 0—8厘米, 广东澄海)
(正交偏光, $\times 20$)

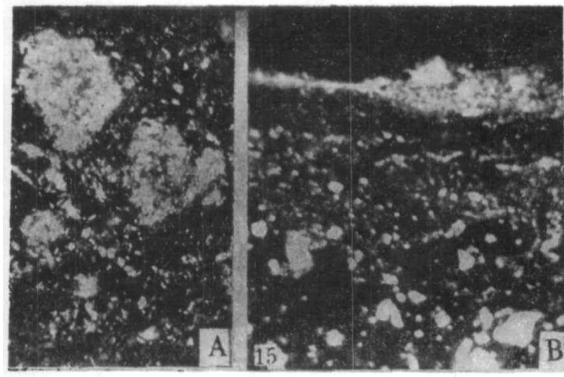
Fig. 12 Excess of sandy skeleton grains in the cultivated horizon of a lowly fertile paddy soil
(Crossed polarised light, $\times 20$)



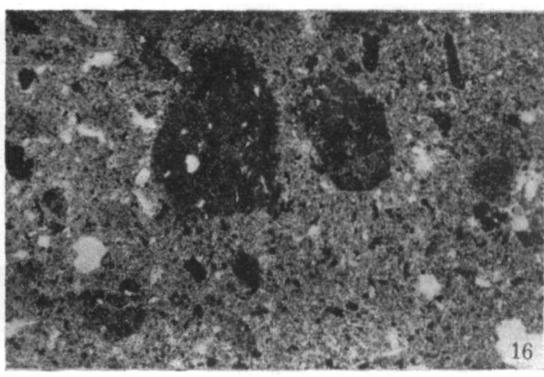
照片 13 粉砂质骨骼颗粒过多的水稻土耕作层薄片 (皖耕 8 号, 622, 淀板土 0-12 厘米, 安徽宣郎广农场)
(正交偏光 $\times 25$)
Fig. 13 Excess of silty skeleton grains in the cultivated horizon of a lowly fertile paddy soil
(Crossed polarised light, $\times 25$)



照片 14 条纹状光性定向集粘粒 (曲靖-1, 625, 胶泥田, 0-10 厘米, 云南曲靖)
(正交偏光, $\times 70$)
Fig. 14 Large amount of striated orientation of clays in the cultivated horizon of a clayey purplish paddy soil.
(Crossed polarised light, $\times 70$)



照片 15A 碳酸盐凝团和碳酸盐晶霜 (英德 2 号, 874, 硬底田, 0-10 厘米, 广东英德)
(正交偏光 $\times 100$)
15B 在强度石灰板结化水稻土犁底层表面浓聚的碳酸盐盖层 (照片上部) 照片中部灰色部份是土壤基质中较密集的碳酸盐晶霜, 往下则逐渐减少 (33721 号, 875, 锅巴田, 18-24 厘米, 广西罗城。)
(正交偏光 $\times 20$)
Fig. 15A Carbonate nodules and interflorescences in the cultivated horizon of a calci-compacted paddy soil
(Crossed polarised light, $\times 100$)
15B Carbonate cappings on the surface of plow pan in a severely calci-compacted paddy soil (on the top)
(Crossed polarised light, $\times 20$)



照片 16 土壤残遗体——“生土”块 (粤 27, 619, 赤土田, 0-20 厘米, 广东湛江)
(单偏光 $\times 64$)
Fig. 16 Pedorelicts——“raw soil” blocks in the cultivated horizon of an incipiently developed paddy soil derived from red earth
(Plane transmitted light, $\times 64$)