

# 不同利用年限的红壤水稻土 孔隙结构差异的图像分析

李德成<sup>1, 2</sup> 李忠佩<sup>1</sup> Velde B<sup>2</sup> 张桃林<sup>1</sup> Delerue J F<sup>2</sup>

(1.中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2.Laboratoire of Géologie, URA 1316 CNRS, ENS, 75231 Paris)

**摘 要** 本文利用目前常用的土壤孔隙结构研究方法, 获取了不同利用年限的红壤水稻土在风干状态下的孔隙结构图像, 对孔隙结构特征的图像分析结果表明, 随着利用年限的延续, 孔隙结构逐渐改善, 表现在孔隙面积逐渐增加, 孔隙的孔径分布和孔隙在土体中的分布逐渐均匀, 孔隙中大孔隙比重逐渐增大等方面。

**关键词** 孔隙结构图像; 利用年限; 红壤水稻土

作为土壤的一个重要物理属性, 孔隙结构影响着水、肥、气、热在土壤中的迁移与作物根系在土壤中的伸展<sup>[1]</sup>。由于土壤切片制备方法上的限制, 水稻土孔隙结构的图像很难通过微形态切片得到反映<sup>[2,3]</sup>, 至今也未见到利用图像揭示水稻土孔隙结构的报道。近年来土样处理技术的发展在一定程度上使之有了可能<sup>[4, 5]</sup>。我们采集了江西鹰潭地区不同利用年限的原状水稻土样, 通过目前常用的一种土壤孔隙结构研究方法<sup>[6-9]</sup>, 希望能够得到有关水稻土的孔隙结构的图像, 所得结果初步揭示了不同利用年限的水稻土在孔隙结构上的变化。

## 1 研究方法

供试土样采自江西省鹰潭市刘家站, 地处东经 116°5' 30", 北纬 28°5' 30", 该区属亚热带季风气候区, 年均气温 17.8℃, 年降雨量 1785mm, 年蒸发量 1318mm, 无霜期 261 天。所采土样分别取自种植水稻 3 年、10 年、15 年和 30 年的水田, 母质均为第四纪红色粘土, 粘粒含量均高于 30%, pH 介于 5.2~6.0 之间。

在湿润状态下用内径 10.5cm、壁厚 0.25cm 的塑料圆筒采集原状土样, 采样深度为 20cm, 筒底用两张直径 15cm 的滤纸封闭以防土粒脱落。土样经风干后, 沿圆筒边缘缓慢注入浸渍剂 (100 份的 198<sup>#</sup>树脂: 2 份的固化剂: 1.5 份的催化剂, 均为中国常州天马集团公司建材 253 厂生产)。在浸渍剂中加入少量 EpoDye 有机染料 (丹麦 Struers 公司生产) 以强化孔隙。待浸渍剂高出土表 0.5cm 并基本稳定后停止加入 (圆筒比土柱一般高 2~5cm), 静止待浸渍剂固化。用电锯由 2cm 深度处始, 按 3cm 间距切割圆筒, 得到的土体切片表面研磨后, 用不加有机染料的浸渍剂均匀涂抹进行抛光, 以强化孔隙与土粒之间的颜色反差。在紫外灯照射下, 利用日制 Nikon 高级相机采用微距镜头进行拍照 (镜头底部距土体切面 20cm), 以 600dpi 的扫描分辨率将照片扫描输入微机, 利用 Photoshop 软件处理, 经颜色替换和图像分割等处理得到二元黑白数字图像 (图像分辨率控制在 60μm/像素), 利用 MicroMorph 1.3 软件进行土壤孔隙结构分析。上述有关过程详见文献[8]和[9]。

## 2 结果分析

### 2.1 理化性质分析结果

对所采土样的某些理化性质分析结果表明(表1),随利用年限的延续,土体颜色逐渐变暗,全碳、全氮逐渐升高,全钾、全铁、游离铁与游离铝逐渐降低,土体收缩性增加。上述变化趋势是合理的<sup>[10~14]</sup>。

表1 不同利用时间的水稻土样的理化性质差异(0~20cm)

利用时间(年)	3	10	15	30
颜色	7.5 YR 7/6	10 YR 8/4	2.5 YR 7/2	2.5 YR 7/2
全碳	4.8	6.51	12.99	18.33
全氮	5.2	6.9	11.1	15.6
全钾	15.9	14.5	10.4	9.2
全铁	56.7	51.6	42.7	43.9
游离铁	38.3	32.7	29.6	27.6
游离铝	1.4	1.1	0.9	0.8
收缩率	5.71	7.86	12.61	13.57

\* 全氮、全钾、全铁、游离铁、游离铝: g/kg 土;

收缩率 = (原状土直径 - 风干土直径) × 100% / 原状土直径, 取 2cm、5cm、8cm 和 11cm 4 个深度处的平均值。

### 2.2 孔隙结构的图像差异

2.2.1 目视特征 图1以2cm深度处为代表反映利用年限分别为10年、15年和30年的土样的二元图像,利用年限为3年的土样由于孔隙极少在文中不再展示。所有图像均为边长为7cm的正方形,图像分辨率为60μm/象元。

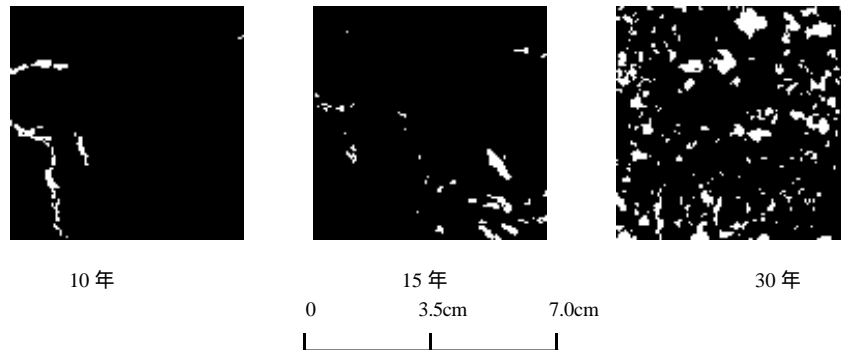


图1 不同利用年限红壤水稻土在2cm深度处的二元图像(黑色:土粒,白色:孔隙)

利用年限为3年的土样:2cm和5cm深度处孔隙极少,8cm和11cm深度处没有孔隙。利用年限为10年的土样:在2cm和5cm深度处出现细的裂隙,在8cm和11cm深度处存在少量圆形和椭圆形的规则孔隙,孔隙平面分布不均匀,孔隙面积比利用年限为3年的土样明显增加。利用年限为15年的土样:圆形和椭圆形的规则孔隙有所增加,孔隙平面分布趋于均匀,孔隙面积与利用年限为10年的土样目视相差不大。利用年限为30年的土样:圆形和椭圆形的规则孔隙明显增多,孔隙平面分布均匀,孔隙面积比利用年限为10年和15年的土样目视明显增加。

2.2.2 孔隙面积 表 2 清晰表明随着利用年限的延续,孔隙面积逐渐增加,以 4 个深度处的孔隙加权平均值来看,孔隙面积由利用年限为 3 年土样低于 0.01%,逐渐增大到利用年限为 10 年、15 年和 30 年的土样的 1.08、1.67 和 7.64%。另一个大致的趋势是孔隙面积随着深度的增加而降低,如 4 个土样在 2 cm 深度处的孔隙面积平均值为 4.22%,但在 5、8 和 11 cm 深度处的孔隙面积则降为 2.39~2.59%。

表 2 不同利用年限红壤水稻土的孔隙面积(%) 图像分析结果

深度 (cm)	3 年	10 年	15 年	30 年
2	0.01	1.98	2.50	12.40
5	0.01	1.57	1.26	6.92
8	0	1.15	1.07	7.35
11	0	0.89	2.13	7.32
加权平均值	<0.01	1.08	1.67	7.64

2.2.3 孔隙孔径分布 图 2 是不同利用年限红壤水稻土孔隙孔径分布的图像分析结果。由图 2 可以发现如下趋势:

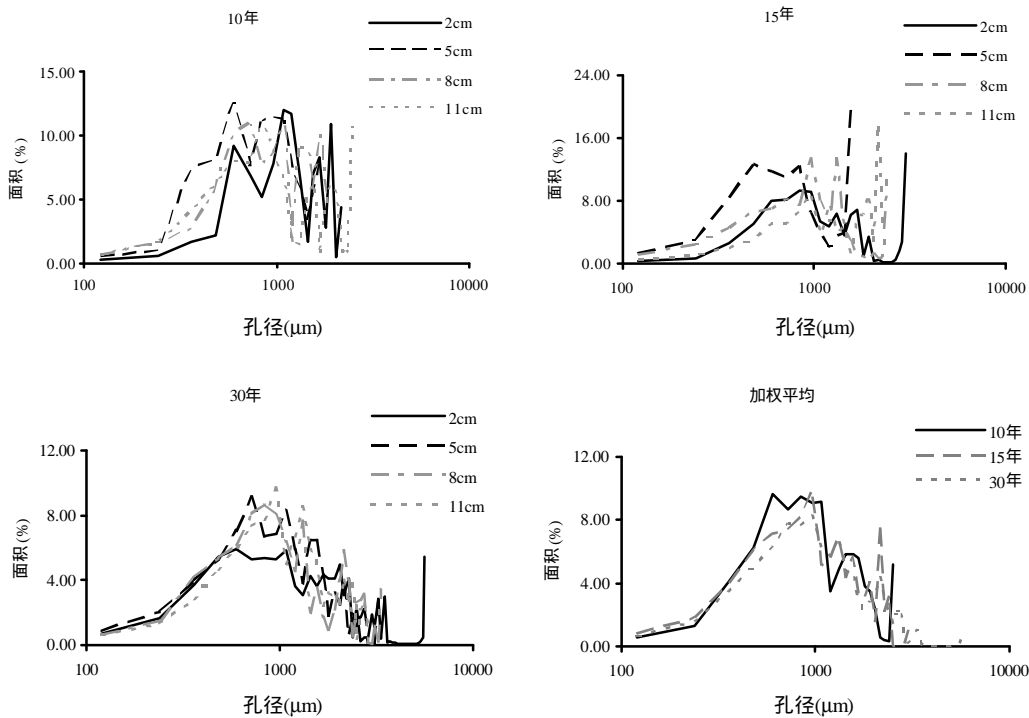


图 2 不同利用年限红壤水稻土孔隙孔径分布的图像分析结果

- (1) 随着利用年限的延续,孔隙孔径分布曲线逐渐趋近对数正态分布<sup>[6, 7]</sup>。
- (2) 随着利用年限的延续,同一土样在不同深度处的孔隙孔径分布曲线之间的差异逐渐减小,表明土体的均质性在改善。
- (3) 随着利用年限的延续,孔隙直径逐渐增大,各利用年限的土样加权平均孔径和最大孔径 3 年土样分别为 0.21 mm 和 0.56 mm; 10 年土样分别为 1.15 mm 和 2.50 mm; 15 年土样分别为 1.24 mm 和 3.00 mm; 30 年土样分别为 1.38 mm 和 5.60 mm。
- (4) 随着利用年限的延续,大孔隙所占总孔隙的百分比逐渐提高,如孔径>2mm 的孔

隙所占总孔隙的百分比,利用年限为3年的土样为0,利用年限为10年的土样为8.74%,利用年限为15年的土样为16.31%,利用年限为30年的土样为22.78%。

### 2.3 讨论

上述分析结果在一定程度上表明了红壤性水稻土的孔隙结构随着利用年限的延续而改善,反映在孔隙面积增加,孔隙孔径分布和孔隙在土体中的分布均匀,孔隙中大孔隙比重增大等方面。就其原因而言,红壤开垦为水田后,随着利用时间的延续,土壤中有机胶结物质逐步积累,土壤团聚度得到改善,这有利于形成具有多孔的水稳性团聚体,提高土壤的孔隙度及其孔隙孔径分布,从而改善土壤孔隙结构<sup>[1]</sup>。

### 3 结论

水稻土由于干湿交替作用,土体一般具有一定的收缩性,这也是难于利用微形态方法揭示水稻土孔隙结构的局限所在。本研究在较为湿润状态下采集红壤水稻土原状土样,取样较易,虽然在风干过程中土体有所收缩,所获得孔隙结构图像与湿润状态下的实际状况有一定的差异,但其孔隙结构仍然表现出随着利用年限的延续而逐渐改善的趋势。当然,如何获得水稻土样在湿润状态下的孔隙结构及图像仍有待进一步的研究。

### 参 考 文 献

- 1 李庆逵,熊毅主编.中国土壤(第二版).北京:科学出版社,1990,339~349.
- 2 曹升庚,金光.水稻土肥力特性的微形态诊断.土壤学报,1980,19(4):383~393.
- 3 曹升庚.我国红壤的微形态特征.土壤专报,1986,40:1~28.
- 4 Moran C J, McBratney A B, Koppi A J. A rapid method for analysis of soil macropore structure. I. Specimen preparation and digital binary image production. Soil Sci. Soc. Am. J., 1989, 53 (3): 921~928.
- 5 Vogel H J, Kretschmar A. Topological characterization of pore space in soil - sample preparation and digital image-processing. Geoderma, 1996, 73 (1-2): 23~38.
- 6 Velde B, Moreau E and Terribile F. Pore networks in an Italian vertisol: Quantitative characterization by two dimensional image analysis. Geoderma, 1996, 72 (3-4): 271~285.
- 7 Velde B. Surface cracking and aggregate formation observed in a Rendzina soil, La Touche (Vienne) France. Geoderma, 2001, 99 (3-4): 261~276.
- 8 李德成, Velde B, Delerue J F等.利用土壤切片和数字图像方法研究土壤孔隙的垂直空间变异性.土壤与环境,2000,9(2):135~138.
- 9 李德成, Velde B, Delerue J F等.用于研究土壤孔隙三维结构的连续数字图像的制备.土壤与环境,2001,10(2):108~110.
- 10 彭福全,吴介华.水稻土的腐殖质组成.土壤学报,1965,13(2):208~215.
- 11 姚贤良,于德芬.土壤结构对江西中部丘陵地区红壤养分的影响.土壤学报,1979,16(1):75~80.
- 12 李庆逵主编.中国水稻土.北京:科学出版社,1992,3~30.
- 13 Sen D, Chen E F, Xu X C et al. Effect of organic manure application on physical properties and humus characteristics of paddy soil. Pedosphere, 1994, 4 (2): 127~135.
- 14 Lu Gang, Sakagami K I, Tanaka H et al. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. Soil Science and Plant Nutrition, 1998, 44 (2): 147~155.