

徐祥明,王海兰,覃灵华. 基于 Image-Pro Plus 的土壤颗粒微形态定量化研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):236-238.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.01.061

# 基于 Image-Pro Plus 的土壤颗粒微形态定量化研究

徐祥明,王海兰,覃灵华

(赣南师范大学地理与规划学院,江西赣州 341000)

**摘要:**为使定性化的土壤微形态定量化,从而能够作为诊断指标应用到水稻土壤诊断分类中,以环刀法取水稻土壤原状土壤样品,制成标准薄片,应用偏光显微镜和 Image-Pro Plus 图像分析软件对水稻土壤颗粒微形态特征参数进行定量测量和统计分析。结果表明,贵州省贵阳市的 2 个土壤剖面在 C/F<sub>15 μm</sub>、等圆直径、面积、周长、圆度、颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数上存在显著性差异( $P < 0.05$ ),四川省广汉市的 2 个土壤剖面在 C/F<sub>15 μm</sub>、等圆直径、面积、周长上存在显著性差异( $P < 0.05$ )。各土壤微形态指标之间是互相关联的,等圆直径、周长、面积等指标偏重于描述颗粒的大小、粗细,而圆度、颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数等指标则侧重于描述颗粒的形态特征和表面的粗糙复杂程度。微形态定量指标的使用可以综合评价土壤颗粒的大小、形态及表面特征。应用 Image-Pro Plus 图像分析软件能够较好地在水稻土壤颗粒微形态进行定量化研究,为土壤微形态应用于水稻土的诊断分类提供了理论依据。

**关键词:**Image-Pro Plus; 水稻土; 土壤颗粒; 微形态; 定量化; 形态特征; 分形维数

**中图分类号:**S152.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)01-0236-03

目前,我国的水稻产量占世界的 40%,稻田面积占世界的 23%<sup>[1]</sup>。水稻土壤资源是我国最重要的土壤资源之一<sup>[2]</sup>。土壤微形态学主要是应用光学显微镜和扫描电子显微镜研究土壤的原状微观形态,及土壤各类颗粒的组配和空间分布、形态、结构,并分析微观形态的发生和形成机理的一门学科<sup>[3]</sup>。经过近 70 年的发展,土壤微形态学取得了较大的进步,并为土壤学科和相关学科研究的发展作出了独特的贡献<sup>[4-5]</sup>。当鉴别土壤类型发生困难时,土壤微形态学技术能找出新的区分特征。每个土类、亚类及其他土壤分类单元,特别是它们的各个发生层次都有其特定的微结构,从土壤微形态的薄片中可以看出这些现象<sup>[6]</sup>。土壤微形态不仅可以阐明土壤的内在发生学本质,而且能作为鉴别土壤类型的指标。我国土壤系统分类是以诊断层和/或诊断特性为依据的,诊断层是用于鉴定土壤类别,在性质上有一系列定量规定的特定土层。目前,在已经确立的水稻土壤定量诊断指标中,多数是依据土壤理化性质参数确定的。国内对水稻土壤微形态的研究程度较低,已经积累的第一手微形态数据十分有限,且多为描述性的微形态特征<sup>[7]</sup>,因此还未能提炼出能供土壤系统分类所采用的微形态诊断指标。

Image-Pro Plus(简称 IPP)图像处理分析软件是美国 Media Cybernetics 公司开发的代表国际最新水平的全 32 位图像处理与分析系统软件。有学者研究了 NIKON NISBR、

Image J、MicroMorph 等软件对数码图像中土壤孔隙、土壤结构等的定量化,取得了较好的成果<sup>[8-10]</sup>。目前,有学者应用 IPP 对土壤扫描电镜图像进行处理分析,得到了较好的结果<sup>[11]</sup>,但未见应用 IPP 研究偏光显微镜下土壤薄片的颗粒微形态特征参数。土壤微形态方法在土壤形成演化和发生分类中起到了重要的作用<sup>[12]</sup>,本研究用 IPP 软件对土壤微形态图像中土壤颗粒进行定量化研究,以期为目前还属定性的土壤微形态研究提供半定量或定量化的研究方向,为土壤微形态应用于水稻土壤诊断分类提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

研究区位于亚热带地区,分属贵州省岩溶山区(106°40'16"E, 26°26'47"N)和成都市平原丘陵区(104°11'46"E, 30°59'40"N),年平均气温≥14℃,为水稻生长提供了必要的热量条件,土壤多为热性土壤,年平均降水量 700~1 800 mm,这种雨热同季的气候特点有利于水稻的生长发育,因此,在此区域水田分布较广。长期的水耕栽培形成了各种典型的水稻土壤。剖面 GH01、GH02 位于贵州省贵阳市花溪区喀斯特峰丛洼地,剖面 GS01、GS02 位于四川省广汉市三星堆遗址,4 个剖面的环境特征及理化性质如表 1 所示。

### 1.2 试验方法

本试验土壤样品为各水稻土壤剖面的诊断表层土壤,参考《土壤理化分析与剖面描述》中的试验方法<sup>[13]</sup>。以环刀法取土壤微形态原状土样,制成标准薄片,偏光显微镜下进行观察研究并摄像。微形态特征参数的定量测量应用 IPP 软件进行分析,图片依次进行灰度转换、阈值设置等图像处理,然后对选择区域进行分类测量。为了保证数据的可靠性和代表性,每张薄片至少选择 8 个区域进行测量。

收稿日期:2016-08-01

基金项目:国家自然科学基金(编号:41301226);江西省自然科学基金(编号:20132BAB213020);江西省教育厅科技项目(编号:GJJ160948);赣南师范大学教学改革课题(编号:GSJG-2015-29)。

作者简介:徐祥明(1982—),男,广西贺州人,博士,讲师,主要从事土壤地理与生态环境等研究。E-mail:xmngx2007@163.com。

表1 土壤剖面特征及基本理化性质

剖面	环境及剖面特征	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	pH 值	有机质含 量(%)	各粒径土壤颗粒含量(g/kg)		
					[0.020, 2.000)mm	[0.002, 0.020)mm	<0.002 mm
GH01	喀斯特峰丛洼地底部,冲沟田,黏土,浊黄棕 10YR 5/3,粒块状	1.17	7.35	6.95	213.91	308.06	478.03
GH02	喀斯特峰丛洼地,坡塆田,黏土,浊黄橙 10YR 6/4,块状	1.48	7.58	2.70	345.95	259.15	394.90
GS01	广汉三星堆 II 级阶地,古稻田,沙质黏壤土,灰黄棕 10YR 5/2,团块状	1.01	5.71	3.09	600.37	240.33	159.30
GS02	广汉三星堆 I 级阶地,古稻田,沙质壤土,灰黄 2.5Y 6/2,块状	1.50	5.74	2.08	826.33	35.44	138.23

### 1.3 计算方法

颗粒轮廓线分形维数的计算使用尺码法<sup>[14]</sup>,即用某个选定尺码以分规方式沿着颗粒轮廓曲线测量,保持尺码分规两端的落点始终在轮廓曲线上,如此测量全部曲线后,所得曲线长度就是选定尺码与分规度量步数之积。选择  $n$  个尺码  $r_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) 测量表面轮廓曲线,每个尺码测得的曲线长度为  $L_i$ ,因此得到 1 组数据  $[r_1, L_1], [r_2, L_2], \dots, [r_n, L_n]$ 。在双对数坐标中以最小二乘法原理对尺码和曲线长度 2 个参数进行直线回归,根据回归直线的斜率就可以得到轮廓曲线的分形维数估计值,轮廓曲线分形维数表达为  $D_c = 1 - k$ ,其中  $k$  是回归直线的斜率。对于各向同性表面,  $D_s = D_c + 1$ ,其中  $D_s$  为颗粒表面分形维数。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻土壤颗粒微形态定量化特征

土壤微形态中的粗颗粒与细物质的比值  $C/F_{15\mu m}$  ( $C/F_{15\mu m}$  = 直径大于  $15\mu m$  的粗颗粒数量/直径小于  $15\mu m$  的颗粒数量)可以反映土壤骨骼颗粒中粗粒质、细粒物质的

数量比例。试验结果表明,本研究中的水稻土颗粒的  $C/F_{15\mu m}$  均大于 1,说明土壤颗粒都以粗粒质为主。等圆直径(等圆直径是与颗粒面积相等的圆的直径)、面积、周长等都是土壤颗粒重要的形态指标,它们可以反映颗粒的大小和轮廓的长短。颗粒的圆度(圆度 =  $4 \times \pi \times \text{面积} / \text{周长}^2$ )可以反映颗粒与圆的近似度,值越大说明越接近圆形,同时也可以反映出颗粒的紧凑程度;偏心率(偏心率是与颗粒等效的椭圆的长轴和短轴的比例,定义为长轴/短轴,偏心率总是  $\geq 1$ )也可用来表示颗粒与圆的近似度,偏心率越接近于 1,说明颗粒越逼近圆形(越紧凑)。颗粒定向性指与颗粒等效的椭圆(有着相同面积、相同一阶矩和二阶矩的椭圆)的长轴与竖轴间的夹角,  $0^\circ \leq \text{夹角} \leq 180^\circ$ ,可以反映土壤的应力过程,是土壤颗粒微观结构的一个重要指标。颗粒轮廓线分形维数可表征微形态图像上的颗粒轮廓的分形特征,反映轮廓线的曲折复杂程度;颗粒表面分形维数则是表征颗粒表面形状的分形特征,反映颗粒表面的曲折复杂情况。4 个剖面诊断表层的颗粒微形态特征分别如图 1 至图 4 所示。

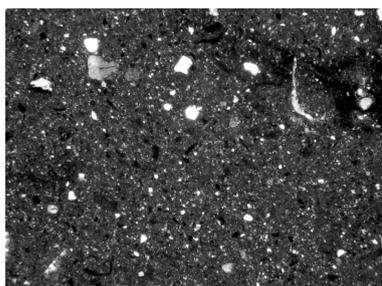


图1 剖面 GH01 诊断表层土壤颗粒微形态特征

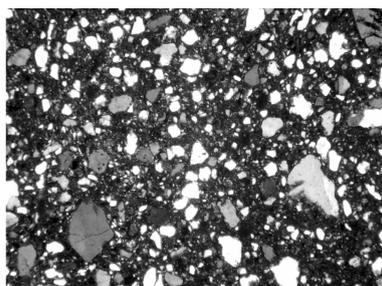


图2 剖面 GH02 诊断表层土壤颗粒微形态特征

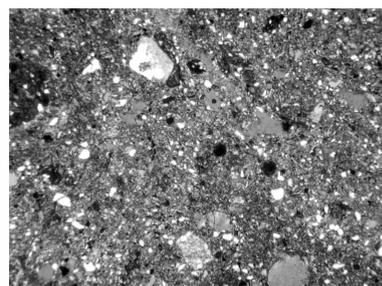


图3 剖面 GS01 诊断表层土壤颗粒微形态特征

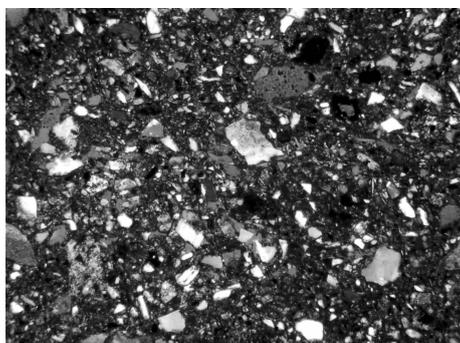


图4 剖面 GS02 诊断表层土壤颗粒微形态特征

对土壤颗粒各微形态指标间做了相关性分析,以诊断表层 GH02 为例,颗粒平均直径(所有颗粒直径的算术平均值)与颗粒面积呈极显著正相关,  $y = 91.188x - 2169.100$ ,  $r = 0.955$ ;颗粒平均直径与颗粒周长呈极显著正相关,  $y = 4.299x -$

$17.394$ ,  $r = 0.963$ ;颗粒周长与颗粒面积呈极显著正相关,  $y = 20.267x - 1638$ ,  $r = 0.947$ ;颗粒圆度与颗粒轮廓线分形维数呈显著负相关,  $y = -0.166x + 1.214$ ,  $r = 0.631$ 。可见,各微形态指标之间是互相关联的,其中,平均直径、等圆直径、周长、面积等指标侧重于描述颗粒的大小、粗细,而圆度、颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数等指标则侧重于描述颗粒的形态特征和表面的粗糙复杂程度。微形态定量指标的使用可以综合评价土壤颗粒的大小、形态及表面特征。

### 2.2 水稻土壤颗粒微形态差异

2.2.1 贵州省贵阳市喀斯特地貌水稻土壤颗粒微形态的差异 由表 2 可知,2 个剖面在  $C/F_{15\mu m}$ 、等圆直径、面积、周长、圆度、颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数等形态特征上均存在显著性差异( $P < 0.05$ ),在颗粒定向性、偏心率上无显著性差异。剖面 GH02 诊断表层土壤颗粒的  $C/F_{15\mu m}$ 、等圆直径、面积、周长、圆度均显著大于剖面 GH01 诊断表层土壤颗

粒的值,而其颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数均显著小于剖面 GH01 诊断表层土壤颗粒的值( $P < 0.05$ )。

2.2.2 四川省广汉市三星堆水稻土壤颗粒微形态的差异  
由表3可知,2个剖面在  $C/F_{15\mu m}$ 、等圆直径、面积、周长等形

态特征上存在显著差异( $P < 0.05$ ),而在圆度、颗粒定向性、偏心率、颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数上无显著差异。剖面 GS02 诊断表层土壤颗粒的  $C/F_{15\mu m}$ 、等圆直径、面积、周长均显著大于剖面 GS01 诊断表层相应的值( $P < 0.05$ )。

表2 贵州省贵阳市喀斯特地貌2个水稻土剖面的土壤颗粒微形态的差异

剖面	$C/F_{15\mu m}$	等圆直径 ( $\mu m$ )	面积 ( $\mu m^2$ )	周长 ( $\mu m$ )	圆度	颗粒定向性	偏心率	颗粒轮廓线 分形维数	颗粒表面 分形维数
GH01	$1.05 \pm 0.05a$	$21.16 \pm 7.40a$	$393.96 \pm 300.81a$	$108.67 \pm 49.16a$	$0.42 \pm 0.15a$	$94.95 \pm 51.50a$	$1.84 \pm 0.57a$	$1.19 \pm 0.05a$	$2.19 \pm 0.05a$
GH02	$2.56 \pm 0.12b$	$40.93 \pm 24.25b$	$1772.26 \pm 2169.00b$	$168.15 \pm 102.57b$	$0.61 \pm 0.17b$	$91.21 \pm 55.91a$	$1.86 \pm 0.97a$	$1.11 \pm 0.05b$	$2.11 \pm 0.05b$

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

表3 四川省广汉市三星堆2个水稻土剖面的土壤颗粒微形态的差异

剖面	$C/F_{15\mu m}$	等圆直径 ( $\mu m$ )	面积 ( $\mu m^2$ )	周长 ( $\mu m$ )	圆度	颗粒定向性	偏心率	颗粒轮廓线 分形维数	颗粒表面 分形维数
GS01	$1.83 \pm 0.07a$	$22.03 \pm 7.58a$	$425.01 \pm 315.92a$	$106.62 \pm 48.22a$	$0.47 \pm 0.18a$	$84.82 \pm 41.24a$	$2.04 \pm 0.94a$	$1.16 \pm 0.06a$	$2.16 \pm 0.06a$
GS02	$2.11 \pm 0.13b$	$31.25 \pm 20.48b$	$1092.62 \pm 1762.17b$	$148.84 \pm 118.96b$	$0.52 \pm 0.19a$	$82.77 \pm 49.87a$	$2.03 \pm 1.15a$	$1.15 \pm 0.06a$	$2.15 \pm 0.06a$

### 3 讨论与结论

分形维数是复杂形体不规则性的量度。本研究中得到颗粒轮廓分形维数和颗粒表面分形维数2个分形维数,其中颗粒轮廓分形维数可以用图像软件求得,其原理是尺码法,而颗粒表面分形维数可以通过简单的换算求得。已有的土壤颗粒分形维数多采用土壤颗粒质量(数量)分形维数和体积分形维数2种来表示<sup>[15-17]</sup>,在计算土壤质量和体积分形维数的推导过程中须要作一些假设,而本研究应用 Image-Pro Plus 软件可以直接求得2种分形维数,不须作任何假设,结果更直观、准确。

本研究对2种水稻土壤颗粒形态的  $C/F_{15\mu m}$ 、等圆直径、面积、周长、圆度、颗粒定向性、偏心率、颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数等进行了计算和统计分析,这些微形态定量指标的使用可以综合评价土壤颗粒的大小、形态及表面特征。目前,单个微形态指标的指示意义研究较多,但对其进行综合评价的研究较少<sup>[9]</sup>。本研究中,等圆直径、周长、面积等指标偏重于描述颗粒的大小、粗细,而圆度、颗粒轮廓线分形维数、颗粒表面分形维数等指标则侧重于描述颗粒的形态特征和表面的粗糙复杂程度。

土壤微形态在水稻土壤的发生分类中起着重要的作用,但由于缺乏定量化的描述,一直难以将之应用于的定量化的系统分类中,将 IPP 软件结合土壤微形态应用于水稻土壤系统分类将是土壤分类的一个新方向。本研究探讨了用 IPP 软件对土壤微形态图像中土壤颗粒进行定量化的可能性,可以为目前还属定性的土壤微形态研究提供半定量或定量化的研究方向。结果表明,IPP 软件能较好地对比土壤微形态中土壤颗粒的形态进行定量化研究。

#### 参考文献:

- [1] 李庆远. 中国水稻土[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [2] 龚子同,张甘霖,陈志诚,等. 土壤发生与系统分类[M]. 北京:科学出版社,2007:37-39.
- [3] Bullock P, Fedoroff N, Jongerius A, et al. Handbook for soil

thin section description [M]. Wolverhampton: Waine Research Publications, 1985:115-230.

- [4] Stoops G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections [M]. Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc., 2003.
- [5] Stoops G, Marcelino V, Mees F. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths [M]. Amsterdam: Elsevier, 2010:623-663.
- [6] 何毓蓉,黄成敏,周红艺. 成都平原水耕人为土诊断层的微形态特征与土壤基层分类[J]. 山地学报,2002,20(2):157-163.
- [7] Xu X M, He Y R, Huang C M, et al. Micromorphological features of diagnostic horizons in several soils in southwest China: implication for soil taxonomic classification [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 7(1):73-82.
- [8] 庞奖励,黄春长,张战平. 周原全新世复合古土壤和成壤环境的微形态学研究[J]. 土壤学报,2003,40(1):22-28.
- [9] 毕利东,张斌,潘继花. 运用 Image J 软件分析土壤结构特征[J]. 土壤,2009,41(4):654-658.
- [10] 李德成,李忠佩,Velde B,等. 不同利用年限的红壤水稻土孔隙结构差异的图像分析[J]. 土壤,2002,34(3):134-137.
- [11] 张季如,祝杰,黄丽,等. 土壤微结构定量分析的 IPP 图像技术研究[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(4):80-83.
- [12] 徐祥明,何毓蓉. 国外土壤微形态学研究的进展[J]. 山地学报,2011,29(6):721-728.
- [13] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [14] 郭飞,徐绍辉,刘建立. 土壤图像孔隙轮廓线分形特征及其应用[J]. 农业工程学报,2005,21(7):6-10.
- [15] Prosperini N, Perugini D. Particle size distribution of some soils from the Umbria Region (Italy): fractal analysis and numerical modelling [J]. Geoderma, 2008(145):185-195.
- [16] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.
- [17] 杨金玲,李德成,张甘霖,等. 土壤颗粒粒径分布质量分形维数和体积分形维数的对比[J]. 土壤学报,2008,45(3):413-419.