

塔里木盆地南缘绿洲农田土壤粒径分布分形特征及影响因素研究*

桂东伟^{1,2,3} 雷加强^{1,3**} 曾凡江^{1,3} 穆桂金^{1,3} 杨发相^{1,3}
苏永亮^{1,2,3} 潘燕芳^{1,2,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049;
3. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站 策勒 848300)

摘要 本文以塔里木盆地南缘策勒绿洲为例,基于农田表层土壤样品的体积粒径分布数据,通过分形理论重点探讨绿洲农田这一主要土地利用类型下土壤粒径分布特征及变异状况,并根据粒径分布分形维数变化对其主要影响因素进行研究。结果表明:绿洲范围内农田土壤分形维数存在显著性差异,其值介于2.11~2.27之间,总体偏低;土壤粒径分布分形维数与小于50 μm粒径土壤颗粒体积含量及土壤有机质含量呈显著正相关;农田利用年限的差异性对土壤粒径分布产生重要影响,而农田分布位置的差异性则对土壤粒径分布未体现出规律性影响。因此,保证农田长期合理的耕作管理方式将有助于土壤粒径分布属性的稳定及提高。

关键词 塔里木盆地 策勒绿洲 农田 土壤粒径分布 分形特征 耕作方式

中图分类号: S152 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2010)04-0730-06

Fractal dimension of particle size distribution and its affecting factors in oasis farmland soils in southern marginal zones of Tarim Basin

GUI Dong-Wei^{1,2,3}, LEI Jia-Qiang^{1,3}, ZENG Fan-Jiang^{1,3}, MU Gui-Jin^{1,3}, YANG Fa-Xiang^{1,3},
SU Yong-Liang^{1,2,3}, PAN Yan-Fang^{1,2,3}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Cele National Station for Observation & Research of Desert-Grassland Ecosystem in Xinjiang, Cele 848300, China)

Abstract This paper presents a case study emphasizing the variations in particle size distribution (PSD) characteristics and its influencing factors in Cele Oasis farmland soils in the southern rim of Tarim Basin, Xinjiang, China. The results show significant difference in fractal dimensions (D) of farmland soils in the oasis. D is generally low and varies within 2.11~2.27 range. There exists a significant positive correlation between D and volume content of soil particles <50 μm on the one hand, and between D and soil organic matter content on the other. Whereas the duration of farmland cultivation importantly influences soil PSD, no consistent relation exists between locational distribution of farmland and soil PSD. These results suggest that long-term and appropriate tillage management of farmlands could have such beneficial effects as conserving and improving soil PSD.

Key words Tarim Basin, Cele Oasis, Farmland, Soil particle size distribution, Fractal characteristic, Tillage management

(Received June 22, 2009; accepted Nov. 26, 2009)

土壤粒径分布(Particle size distribution, 简称 PSD)作为重要的土壤物理属性,对土壤的水文特性、土壤肥力状况以及土壤侵蚀等有着显著影响^[1-3]。揭示土壤 PSD 变异特征是土壤环境研究中

的一项重要内容^[4-5]。作为一种具有自相似结构的多孔介质,可以利用分形几何学来研究土壤的性状特征,因此分形理论的运用成为表征 PSD 的主要进展之一^[6]。具体通过分形维来描述、刻画土壤颗粒粒

* 国家科技支撑计划项目(2009BAC54B01)资助

** 通讯作者: 雷加强(1960~),男,博士,研究员,主要研究方向为干旱区环境。E-mail: desert@ms.xjb.ac.cn

桂东伟(1977~),男,在读博士,主要从事荒漠环境研究。E-mail: guidongw@sina.com

收稿日期: 2009-06-22 接受日期: 2009-11-26

径及孔隙分布状况, 由此进一步研究土壤的其他理化性状^[7]。利用分形理论, 从不同土地利用类型角度探讨土壤 PSD 特征及其之间的差异性, 是当前研究的重要思路^[8], 如王德等^[8-9]通过分形理论对黄土高原不同土地利用类型土壤 PSD 特征进行研究, 胡云锋等^[10]对内蒙古不同土地利用类型下土壤 PSD 特征进行研究等, 均表明不同土地利用类型下土壤 PSD 差异性明显, 且指出土地利用类型及土地覆被变化是 PSD 差异性产生的主要原因。

相比较而言, 在干旱区绿洲范围内同一种土地利用类型下的土壤 PSD 特征及其差异性研究还相对缺乏。绿洲作为干旱气候背景下的中、小尺度非地带性景观, 多分布在山前地带, 地形多平坦简单^[11], 气候及地形等因素决定了绿洲土地利用类型的相对单一性, 而农田是绿洲最重要的土地利用类型。因此以绿洲范围内农田为研究对象, 重点探讨这一土地利用类型下土壤 PSD 特征及变化状况, 有助于深入了解绿洲农田土壤粒度属性及其他相关属性变化状况。土壤有机质(Soil organic matter, SOM)作为土壤质量的最佳指标之一, 被用来作为验证分析。

位于塔里木盆地南缘的绿洲, 气候极端干旱且风沙活动强烈, 对绿洲有着重要影响^[12]。本文以塔里木盆地南缘策勒绿洲为典型研究区, 农田为研究对象, 通过分形理论对农田表层土壤 PSD 进行分析, 重点探讨了绿洲范围内农田土壤 PSD 体积分形维数特征及产生 PSD 差异性的主要影响因素。

1 研究区概况

策勒绿洲(广义)位于塔克拉玛干沙漠南缘中段、昆仑山北麓(35°17'55"~39°30'00" N, 80°03'24"~82°10'34" E), 海拔 1 300~5 500 m。研究区属典型的大陆性干旱气候, 年均降水量 35.1 mm, 年均蒸发量 2 595.3 mm, 干燥度 20.8^[13]。昼夜温差较大, 年均温日较差在 15 以上, 常年多风并以西北风为主风向。发源于昆仑山的策勒河是当地的主要河流, 多年平均径流量为 $1.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。绿洲的东、西部被自然植被所包围, 植被以疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)自然植被为主, 盖度约 38.9%, 南部与流动沙丘和戈壁相连, 属于独特的荒漠-绿洲型生态系统, 土壤以风沙土为主^[12]。

绿洲主体——农田主要分布于 36°55'33"~37°6'6" N, 80°41'50"~80°54'48" E, 海拔 1 300~1 500 m。农田土壤主要为风沙土及灌淤土, 母质可视为均匀。农田作物以棉花、玉米为主, 灌溉水源夏季以策勒河洪水为主, 春秋季节则主要依赖于绿洲地下水, 灌溉方式为漫灌。

2 研究方法

2.1 土壤采样

于 2008 年 9 月作物收割期间对绿洲范围内的农田土壤进行取样, 各采样点之间距离基本不超过 2 km。为保证样品的代表性, 对每个采样点进行 3 次重复取样, 各重复取样点之间距离不超过 30 m, 利用铁铲对 0~20 cm 剖面土壤样品进行收集, 样品置于密封塑料袋中保存, 共 35 个点 105 个样品。

采样点覆盖策勒河灌溉的所有农田面积, 各取样点样品代表分布于绿洲不同空间位置的土壤状况, 取样同时对农户进行调查, 了解各样点农田利用状况差别。样品带回实验室摊开阴干, 过 2 mm 筛并进行去根处理。

2.2 土壤粒径体积分形维数计算

自 Tyler 和 Wheatcraft 提出土壤 PSD 的质量分形维数(D_m)计算公式以来^[14], 其在土壤科学研究上得到了广泛应用。许多研究表明, D_m 能够用于反映土壤结构、土壤属性和肥力、土壤退化程度等^[15-16]。实际上, Tyler 和 Wheatcraft 首先提出的是 PSD 的体积分形维数(D_v), 但由于当时分析技术很难准确地获取颗粒体积的 PSD 信息, 他们通过假设同一土壤的颗粒具有相同的密度(这显然与土壤的实际情况不符^[17]), 通过吸管法或比重计法获取颗粒质量的 PSD 信息, 进而计算出对应的 D_m ^[15]。由于激光衍射(Laser diffraction, LD)技术能够获取土壤颗粒的更多级别的体积 PSD 信息, 且分析速度快, 独立于颗粒质量, 因此一些研究通过比较后认为 LD 技术在土壤学上具有很好的应用前景并被广泛用于 PSD 研究中^[3-4, 8-9, 18]。

本研究中, PSD 分形采用 Tyler 和 Wheatcraft 的方法^[15], 计算公式如下:

$$\frac{V(r < R_i)}{V_T} = \left(\frac{R_i}{R_{\max}} \right)^{3-D} \quad (1)$$

式中, r 为粒径, R_i 表征粒径划分中第 i 级粒径, $V(r < R_i)$ 为粒径小于 R_i 的土壤颗粒体积, V_T 为土壤所有颗粒体积, R_{\max} 为土壤颗粒中最大粒径, D 为分形维数。上式两边取对数, 通过对数曲线的拟合斜率可求得 D 值。

2.3 土壤粒径分布及有机质测定

取土样 0.5 g, 加 30%过氧化氢, 在 72 下去除有机质, 加盐酸去除碳酸盐; 加超纯水稀释, 静置, 除上清液以除酸, 反复静置除酸直至 pH 为 6.5~7.0; 之后加入六偏磷酸钠(NaHMP), 超声 30 s 后用激光粒度仪 Mastersizer 2000 测量土壤粒径的体积百分比。

激光粒度仪能对 0.03~20 000 μm 粒径分布范围进行测量, 可提供连续的体积百分比粒径数据。但对所有样品分析中发现其粒径分布范围均在 0.35~1 000 μm 之间, 因此在该区间内用仪器自带软件对土壤粒径按对数间隔划分为 64 级参与分维值计算^[11]。

有机质测定采用重铬酸钾氧化-外加加热法^[19]。

2.4 数据处理

测定所有样品粒径体积分布数据后导入 Excel 进行 PSD 分形维数 D 值计算, 采用 SPSS 软件对所有数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 土壤粒径体积分布分形特征

利用公式(1)计算土壤粒径的体积分维值 D , 其各采样点均值在 2.11~2.27 之间变化, 且单方差分析 (ANOVA) 结果表明, 绿洲范围内农田土壤 D 值存在显著性差异 ($\text{sig}=0$) (表 1)。相比于其他区域^[20], 其 D 值明显处于低位水平。土壤样品中 D 值最低、最高的双对数曲线见图 1。

利用双对数曲线散点图, 通过拟合直线的斜率可求得分维值 D 。由于采用的是单一分形, 其值不

能涵盖全部土壤的 PSD 范围^[21], 从图 1 也可以看出在整个 PSD 的标度区间, 散点图两端分别向下弯曲。但由于这种变化在所有土壤样品中趋于相同, 即变化的主要范围依然体现在散点图中接近直线的部分, 同时直线拟合系数 R^2 均在 0.87~0.95 之间, 表明能很好地反映土壤 PSD 特征。

将 D 值与不同粒径级内的颗粒体积含量进行相关分析, 发现粒径在 50 μm 内的颗粒体积百分比同 D 值呈显著正相关; 粒径在 5 μm 、10 μm 、20 μm 内的颗粒体积百分比同 D 值的相关系数分别为 0.824、0.812、0.791; 而粒径大于 50 μm 的颗粒体积百分比同 D 值呈显著负相关, 相关系数为 -0.75。所有相关分析均通过 $P < 0.01$ 的双尾检验, 表明土壤 PSD 分维值能很好地反映土壤细颗粒 (粗颗粒) 含量的变化^[22], 即细颗粒物质越多, 分维越大, 细颗粒物质越少, 分维越小。图 2 分别为粒径小于 10 μm 与大于 50 μm 的颗粒体积百分比同 D 值的关系。

3.2 土壤粒径分布分维值与土壤有机质含量的关系

将土壤样品有机质 (SOM) 含量同相应 D 值做典型相关分析 (图 3), SOM 与 D 值之间存在显著正相关, 这与王德等^[8-9] 研究结果相同, 反映出土壤 PSD 与

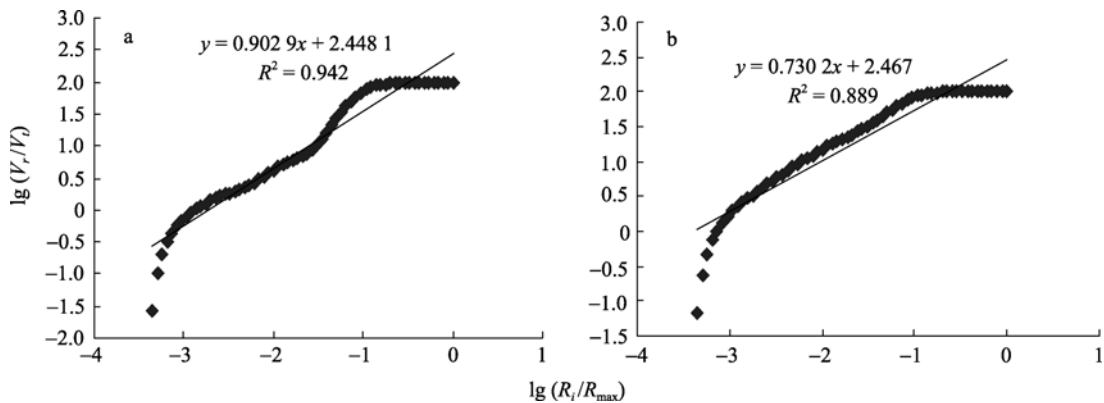


图 1 计算最低(a)、最高(b) D 值的土壤粒径体积分布双对数点位图

Fig. 1 Log-log plots of soil particle size distribution for calculation of the lowest (a) and highest (b) D value

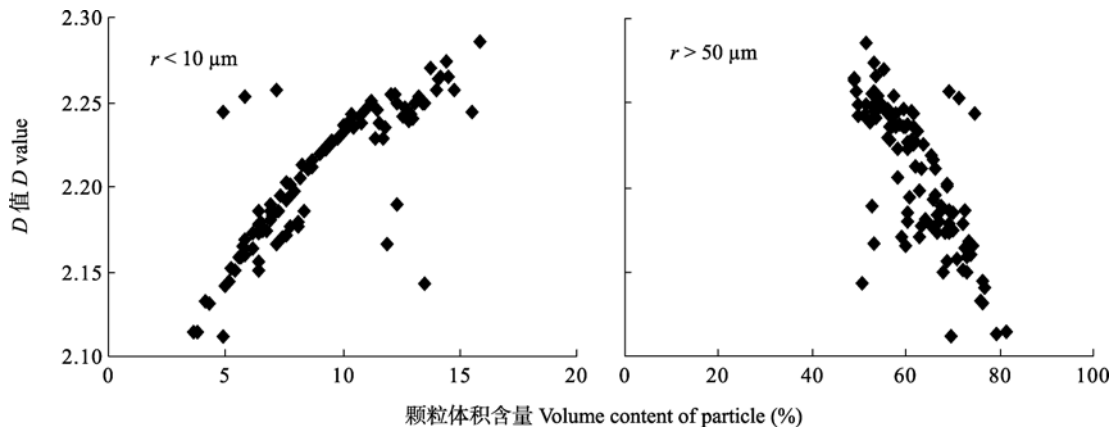


图 2 土壤粒径分布分维值(D 值)与土壤粒径体积含量的关系

Fig. 2 The correlation between D value and soil particle volume content

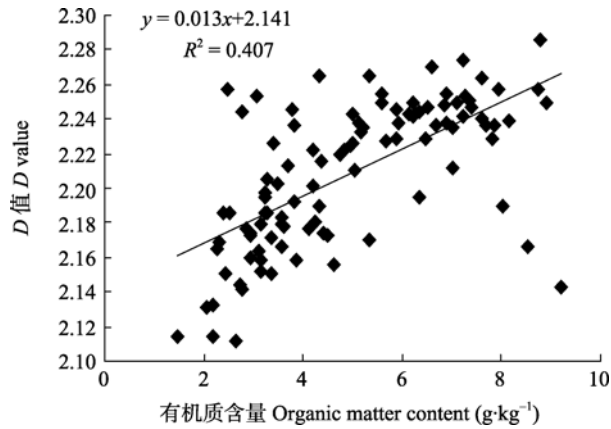


图3 土壤粒径分布分维值(D值)与土壤有机质含量的关系
Fig. 3 The correlation between D value and soil organic matter content

SOM 具有相关性的特点, 二者相关系数为 0.65 并通过双尾检验。这种正相关关系可以解释为土壤的细颗粒物有利于有机质在土壤中存留^[23-24]。土壤有机质是土壤质量评价的重要指标之一^[25-26], 土壤分维值与 SOM 含量良好的相关性表明, 分维值在客观揭示农田土壤粒度变化的同时, 也有助于反映农田土壤质量变化状况。

3.3 绿洲范围内农田土壤 PSD 体积分维值变化及影响因素

通过对农田利用状况的调查, 当地农户在农田的长期耕作管理上无显著差别, 主要差别体现在农田利用年限及分布位置的不同。根据各采样点 D 值数据变化状况(表 1), 发现位于绿洲内部及近绿洲内部的农田土壤 D 值明显处于高位水平, 位于绿洲外围的农田则相对处于低位水平。而相对于绿洲内部农田, 由于绿洲发展进程, 绿洲外围农田的利用年限相对较低(低于 30 年)。利用最小显著差法(LSD)对各农田土壤 D 值进行多重比较分析, 结果表明绿洲外围耕作年限相近的农田土壤 D 值总体上无显著性差异; 同样绿洲内部或近内部农田的耕作年限均超过 100 年, 其 D 值之间也无显著性差异(表 1)。为进一步探讨 D 值变化及对应农田状况, 利用 K-mean 快速聚类方法对 D 值进行两类划分。聚类结果显示 D 值大于 2.21 的被归为第 1 类(共 20 点), 小于 2.21 的被归为第 2 类(共 15 点)(表 1)。

根据 D 值分类结果, 各采样点在绿洲分布范围如图 4。图中矩形点表示 D 值小于 2.21, 圆点表示 D 值大于 2.21, 每个样点编号为 D 值在 35 个点中顺序号(降序)。由图中可以看出, D 值小于 2.21 的点全部分布于绿洲外围, 而其余点(D>2.21)则涵盖了绿洲大部分范围。

不同空间位置的农田有着不同的植被盖度, 同时处于常年主风向的不同影响区域, 因此会对风蚀

表1 采样点土壤粒径分布分维值(D值)及聚类分析
Tab. 1 D value and the result of K-means cluster of sampling sites

样点号 Sampling number	D值 D Value	聚类结果 Result of cluster	农田利用年限 Utilization years of farmland
1	2.262 7±0.015 84a	1	100
2	2.256 5±0.007 50a	1	100
3	2.255 8±0.026 32a	1	100
4	2.251 3±0.006 38ab	1	100
5	2.247 6±0.003 29ab	1	31
6	2.247 4±0.010 93ab	1	100
7	2.245 2±0.008 85abc	1	100
8	2.242 6±0.013 90abc	1	100
9	2.241 2±0.005 20abc	1	100
10	2.239 7±0.010 05abc	1	100
11	2.239 6±0.002 10abc	1	100
12	2.237 6±0.025 91abc	1	15
13	2.236 7±0.013 20abc	1	100
14	2.236 1±0.016 16abc	1	100
15	2.235 5±0.002 22abc	1	100
16	2.234 9±0.008 60abc	1	100
17	2.232 3±0.003 65abcd	1	100
18	2.228 6±0.017 40abcd	1	100
19	2.220 4±0.020 92bcde	1	30
20	2.211 3±0.010 97cdef	1	32
21	2.197 6±0.033 76defg	2	8
22	2.188 6±0.020 47efgh	2	8
23	2.180 5±0.004 78fghi	2	8
24	2.179 8±0.010 03fghij	2	12
25	2.178 5±0.007 16fghij	2	4
26	2.175 5±0.008 08ghij	2	10
27	2.173 1±0.019 44ghij	2	10
28	2.171 9±0.018 92ghij	2	12
29	2.171 3±0.011 15ghij	2	20
30	2.166 3±0.022 80ghijk	2	5
31	2.162 1±0.007 64hijk	2	8
32	2.149 7±0.012 06ijkl	2	20
33	2.145 2±0.030 96jkl	2	3
34	2.136 9±0.025 74kl	2	10
35	2.134 7±0.022 12kl	2	6

取样点D值后小写字母相同表示无显著性差异(P<0.01) Same letters following D values among sampling sites indicate no significant difference on D value.

作用产生不同的响应^[9,11]。农田利用年限在 100 年以上的所有点均在 1~18 点位之间, 该部分农田是绿洲的主体并占据大部分范围, 但方差分析结果表明该范围农田并无显著性差异, 其中 15、16、17、18 等点已接近绿洲边缘。第 20 点位农田也接近绿洲边缘, 且位于常年主风向的上风向, 但其已有 30 年耕作历

史, 方差分析结果显示其与其他较高 D 值点位也无显著差别。表明长期的人为耕作因素, 使农田土壤粒径分布属性趋于均质, 对这些农田各粒级体积含量数据分析, 也反映出该特点。

而分布于绿洲外围的农田有的位于常年主风向的上风向, 有的位于下风向, 且植被盖度差异性较大(图 4), 但由于各点位 D 值之间无显著性差异, 而该部分农田利用年限相对较低且相近。因此, 空间位置的差异性对土壤 PSD 产生的影响因人为因素影响而很难体现出来。将 D 值同利用年限做典型相关分析, 二者存在显著正相关, 相关系数达 0.85 ($P < 0.01$), 进一步表明农田利用年限对土壤粒径分布有着重要影响, 耕作年限越久则土壤熟化程度越高, 土壤 PSD 趋于相同^[12], 而风蚀作用带来的影响则较难体现出来。

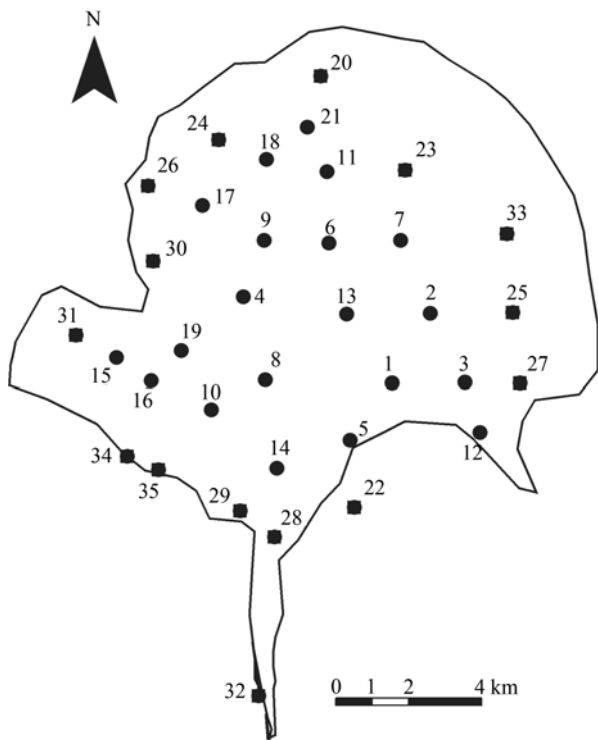


图4 采样点土壤粒径分布分维值(D 值)排序及聚类结果
Fig. 4 The order of D value of sampling sites and the result of cluster

尽管总体上农田分布位置的差异性对土壤 PSD 没有体现出规律性的影响, 但在绿洲上部与戈壁相邻区域的农田, 其位置差异性则对 D 值有一定的影响。如处于常年主风向上风向的第 34、35 点位农田 D 值显著低于同等耕作年限的其他点位农田, 同样处于该区域的第 29、32 点位农田耕作年限已达 20 年但 D 值同样处于低位水平; 相比之下, 在下风向方位, 第 28、22 点位耕作年限分别为 12 年和 8 年, 但却显著高于戈壁上风向点位农田, 第 12 点位耕作

年限为 15 年, 第 5 点位为 31 年, 其 D 值更是处于更高水平。

4 结论

极端干旱背景下的绿洲区域, 农田作为重要的土地利用类型, 探讨其土壤 PSD 特征及变异状况有助于深入了解绿洲土壤属性变化状况, 同时也助于干旱区农田的利用及管理。

通过分形理论对策勒绿洲范围内农田土壤 PSD 分形维进行研究, 结果表明其土壤体积分形维数能很好地反映出土壤 PSD 特征, 分维值与土壤细粒成分含量呈显著正相关。在分维值变化方面, 绿洲农田总体上明显处于低位水平, 反映出土壤质地较差的特点; 同时分维值之间存在显著差异性, 表明绿洲农田土壤 PSD 之间具有差异性; 聚类分析表明分维值 2.21 为反映土壤 PSD 状况的分界值, 高于该值土壤 PSD 相对较好, 反之土壤 PSD 则相对较差。

根据分维值具体变化状况、聚类结果并结合农田利用调查资料, 表明农田利用年限这一人为因素对土壤 PSD 有着重要影响, 长期的耕作管理使其趋于均质; 相比之下农田空间位置差异性总体上对土壤 PSD 没有体现出规律性的影响。因此保证农田长期合理的耕作管理方式将有助于土壤 PSD 属性的稳定及提高, 同时也有利于土壤其他属性如 SOM 的保持及提高。

参考文献

- [1] Gimenez D, Perfect E, Rawls W J, et al. Fractal models for predicting soil hydraulic properties: A review[J]. *Engineering Geology*, 1997, 48: 161-183
- [2] Huang G H, Zhang R D. Evaluation of soil water retention curve with the pore-solid fractal model[J]. *Geoderma*, 2005, 127: 52-61
- [3] Montero E. Rényi dimensions analysis of soil particle-size distributions[J]. *Ecological Modelling*, 2005, 182: 305-315
- [4] Kravchenko A N, Boast C W, Bullock D G. Multifractal analysis of soil spatial variability[J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91: 1033-1041
- [5] 章予舒, 谢高地, 肖玉. 弃耕农田土壤分形特征研究——以内蒙古自治区伊金霍洛旗为例[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 42-44
- [6] Perfect E, Kay B D. Applications of fractals in soil and tillage research: A review[J]. *Soil & Tillage Research*, 1995, 36(1/2): 1-20
- [7] Anderson A N, McBratney A B, Crawford J W. Applications of fractals to soil studies[J]. *Advances in Agronomy*, 1998, 63: 1-76
- [8] 王德, 傅伯杰, 陈力顶, 等. 不同土地利用类型下土壤粒径

- 分形分析——以黄土丘陵沟壑区为例[J]. 生态学报, 2007, 27(7): 3081-3089
- [9] Wang D, Fu B J, Zhao W W, et al. Multifractal characteristics of soil particle size distribution under different land-use types on the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2008, 72: 29-36
- [10] 胡云锋, 刘纪远, 庄大方, 等. 不同土地利用 / 土地覆盖下土壤粒径分布的分形特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 336-339
- [11] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 等. 绿洲化进程中不同利用强度农田对土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1780-1788
- [12] 桂东伟, 雷加强, 穆桂金, 等. 干旱区农田不同利用强度下土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 894-900
- [13] Gui D W, Lei J Q, Mu G J, et al. Effects of different management intensities on soil quality of farmland during oasis development in southern Tarim Basin, Xinjiang, China[J]. Int J Sust Dev Word, 2009, 16: 295-391
- [14] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle-size distributions: Analysis and limitations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56: 362-369
- [15] Gong A D, He Y R. Study on fractal features of soil structure of degraded soil in dry and hot valley region of Jinsha River[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(3): 112-115
- [16] 张世熔, 邓良基, 周倩, 等. 耕层土壤颗粒表面的分形维数及其与主要土壤特性的关系[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 221-226
- [17] Clifton J, McDonald P, Plater A, et al. An investigation into the efficiency of particle size separation using stokes law[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1999, 24: 725-730
- [18] 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
- [19] Nelson D W, Sommers L E. A rapid and accurate method for estimating organic carbon in soil[J]. Proceedings of the Indiana Academy of Science, 1975, 84: 456-462
- [20] 李德成, 张桃林. 中国土壤颗粒组成的分形特征研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(4): 263-265
- [21] Kozak E, Pachepsky Y A, Sokolowski S, et al. A modified number-based method for estimating fragmentation fractal dimensions of soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60: 1291-1297
- [22] 林武星, 叶功富, 谭芳林, 等. 沙岸木麻黄防护林不同更新模式土壤结构分形特征及其效应[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1352-1357
- [23] Lobe I, Amenlung W, Du Preez C C. Losses of carbon and nitrogen with prolonged arable cropping from sandy soils of the South African Highveld[J]. European Journal of Soil Science, 2001, 52: 93-101
- [24] Fullen M A, Booth C A, Brandsma R T. Long-term effects of grass ley set-aside on erosion rates and soil organic matter on sandy soils in east Shropshire, UK[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 89(1): 122-128
- [25] Dumanski J, Pieri C. Land quality indicators: Research plan[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2000, 81: 93-102
- [26] 许淑青, 张仁陟, 董博, 等. 耕作方式对耕层土壤结构性能及有机碳含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 42-44

《主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究》

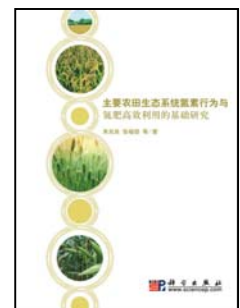
朱兆良 等著 科学出版社出版

978-7-03-027519-6 ¥98.00 2010年5月出版

本书以我国粮食主产区太湖地区水稻小麦轮作区、华北平原小麦玉米轮作区的水稻、小麦和玉米为研究对象,重点阐述了农田氮素来源、转化及迁移规律,作物高效吸收利用氮素基因型差异及生理遗传机制,农田及区域水平上的作物高效施氮技术等。书中的数据是基于同一区域进行的土壤学、植物营养学、农学和分子生物学的协同研究结果,具有综合性、系统性和应用性。

本书不仅有助于相关研究领域的读者全面认识农田氮素高效利用的原理,也可为农业技术推广相关人员提供提高氮肥利用率的具体解决途径。

本书可供农学、土壤科学、植物营养学、生态与环境科学相关的研究人员使用,也可供氮肥生产及农业技术推广人员,农业及环境部门的决策、管理人员阅读和参考。



购书联系: 科学出版社科学销售中心 周文宇 电话: 010-64031535 E-mail: zhouwenyu@mail.sciencep.com

网上订购: www.dangdang.com www.amazon.cn

联系科学出版社: 010-64012501 www.lifescience.com.cn E-mail: lifescience@mail.sciencep.com