

基于 GIS 的安徽省表层土壤颗粒分形特征研究^{*}

朱 华^{1,2}, 程先富^{1,2}, 王世航^{1,2,3}, 谢 勇^{1,2}, 赵明松^{1,2}

(1. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003; 2. 安徽师范大学 安徽自然灾害过程与防控研究
省级重点实验室, 安徽 芜湖 241003; 3. 中国科学院 南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要:以第二次全国土壤普查数据为基础,运用分形模型,计算了安徽省表层(0 - 20 cm)土壤颗粒的分形维数;结合安徽省 1 : 50 万土壤数据库,利用 GIS 空间分析技术,探讨了表层土壤颗粒分形维数的空间分布特征及其与环境因子的关系,得出以下几点主要结论:(1) 表层土壤颗粒分形维数变化较大,从 2.290 3 ~ 2.933 2,变幅达 0.642 9;从空间分布上看,沿江江南和淮河以北地区分形维数较大,而江淮丘陵地区和大别山区分形维数相对较小。分形维数 2.766 4 ~ 2.844 7 之间的土壤,分布面积最大,达到 65 349 km²,占安徽省总面积的 48.28 %;(2) 不同土壤类型下的土壤颗粒分形维数差别较大。分形维数最大的土壤类型为石灰岩土,达到 2.859 7;最小的为粗骨土,只有 2.598 1。(3) 不同土地利用方式下的土壤颗粒分形维数差别明显。分形维数从大到小的顺序为:草地 > 耕地 > 园地 > 林地。(4) 不同海拔下的土壤颗粒分形维数显著不同。随着海拔高度的增加,分形维数有逐渐减小的趋势。

关键词:土壤颗粒;分形维数;空间分布;环境因子;GIS;安徽省

中图分类号:S152.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)04-0146-04

Study on the Fractal Characteristic of Topsoil Particle in Anhui Province Based on GIS

ZHU Hua^{1,2}, CHENG Xian-fu^{1,2}, WANG Shi-hang^{1,2,3}, XIE Yong^{1,2}, ZHAO Ming-song^{1,2}

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China; 2. Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention Research of Anhui Province, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China; 3. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on the data of the 2nd State Soil Survey and the fractal model, the soil particle fractal dimensions of topsoil (0 - 20 cm) in Anhui province were calculated in this paper. Taking advantage of spatial analysis technology of GIS, the spatial distribution characteristic of soil particle fractal dimensions and their relationship with environmental factors were discussed according to the 1 : 500 000 soil database of Anhui province. The soil particle fractal dimensions of topsoil vary from 2.290 3 to 2.933 2. The characteristic of their spatial distribution, generally speaking, is high in the district along as well as in the South of the Yangtze River, so is the district in the North of the Huaihe River, is low in the district of Jiang Huai and Dabie Mountain. The area of the soil whose fractal dimensions vary from 2.766 4 to 2.844 7 is the largest, which amounts to 65 349 km² and accounts for 48.28 % of the whole area of Anhui province. The soil particle fractal dimensions of soil group differ widely each other. The fractal dimension of Limestone soils is 2.859 7 that is the highest while the fractal dimension of Skeletal soils is 2.598 1 that is the lowest. The soil particle fractal dimensions of different land use types are obviously different each other. The descending order of the fractal dimension is grassland, cultivated land, garden field and forest land. The soil particle fractal dimensions of different altitude differ greatly each other. With the altitude rising, the fractal dimension tends to descend gradually.

Key words: soil particle; fractal dimension; spatial distribution; environmental factors; GIS; Anhui province

^{*} 收稿日期:2009-02-19

基金项目:安徽省软科学项目(06035020);安徽省教育厅自然科学基金(2006kj185B);安徽师范大学优秀创新团队建设计划

作者简介:朱华(1983-)女,安徽省霍邱县人,硕士研究生,从事资源遥感与土地利用方向的研究。E-mail: zhulia66@mail.ahnu.edu.cn

“分形”是美籍法国数学家 Mandelbrot 在研究海岸线长度问题时提出的一个物理概念^[1],并于 1975 年正式建立了分形理论^[2]。分形理论是一种横跨自然科学、社会科学和思维科学的新理论,它主要研究和揭示复杂的自然现象和社会现象中所隐藏的规律性、层次性和标度不变性,为人们通过部分认识整体、从有限中认识无限提供了一种新的工具^[3]。

土壤是由大小、形状不同的固体组分和孔隙以一定的形式连接所形成的具有不规则形状的自相似结构的多孔介质,具有一定的分形特性^[4-6]。分形理论应用于土壤研究,使定量描述土壤结构特征的复杂性成为可能,为精确刻画土壤特性、揭示土壤结构提供可靠的理论支持^[7-8]。研究表明:土壤颗粒分维数不仅能够表征土壤粒径大小,还能反映质地的均一程度以及土壤的通透性^[9-10];分形维数与土壤水稳性团聚体含量有着明显对应关系;可以表征土壤的肥力状况^[11-13];分形维数与表征沙质荒漠化的土壤有机质含量以及指示植物的重要值显著相关^[14-16];分形维数还可以用来模拟和预测土壤水分特征^[17-19]。

分形理论在土壤颗粒分形研究中的应用,大多都是对某一较小区域内的一种或几种土壤类型进行研究,同时讨论土壤颗粒分形维数与土壤物理化学性质或土壤养分的关系^[20-22],但对省域范围内所有土壤类型的土壤颗粒分形特征的研究,尤其是利用 GIS 技术,分析土壤颗粒分形维数空间分布特征、探讨土壤颗粒分形维数与环境因子关系的研究还不多见^[23]。根据土壤颗粒分形维数的计算模型,计算了安徽省表层(0~20 cm)土壤颗粒的分形维数,结合安徽省 1:50 万土壤数据库,利用 GIS 空间分析技术,探讨了安徽省表层土壤颗粒分形维数的空间分布特征及其与环境因子的关系。

1 研究区概况

安徽省(114°54'E~119°37'E,29°41'N~34°38'N)位于华东腹地,是我国东部襟江近海的内陆省份,总面积约 13.96 万 km²。地势西南高、东北低,大致可划分为淮北平原、江淮丘陵、皖西大别山区、沿江平原及皖南山区等 5 个自然地形区。淮北为暖温带半湿润季风气候,淮河以南为亚热带湿润季风气候,地处暖温带与亚热带过渡地区,气候温暖湿润,四季分明,年平均气温 14~17℃,冬季平均气温为 -1~4℃,夏季平均气温为 27~29℃,年平均降水量 700~1 800 mm,全年无霜期 200~250 d,年平均日照 1 800~2 500 h。土壤受地形、植被、水文条件、成土母质等因素影响,类型复杂多样,包括红壤、黄壤、黄棕壤等 13

个土类,黄红壤、棕红壤、红壤性土等 33 个亚类,空间分布上有明显南北向过渡特征,既有水平地带性分布差异又有垂直地带性上的分布。

2 数据来源与研究方法

2.1 资料来源

以第二次全国土壤普查数据为基础,建立安徽省土壤数据库,其中土壤空间数据库的建立以安徽省 1:50 万土壤图为基础;土壤属性数据库的建立以《安徽土壤》、《安徽土种》^[24-25]为基础,包括 218 个采样点的数据。所采用的土壤分类系统属于中国土壤发生学分类系统(GSCC),该分类系统不仅与美国土壤系统分类(ST)、联合国世界土壤图图例单元(FAO/Unesco)、世界土壤资源参比基础(WRB)等有差别,而且与我国最新的土壤系统分类(CST)也不尽相同,但作为土壤分类的一种,可作为一种参考^[26]。

2.2 土壤数据库的建立

利用 Arcview3.3 软件,数字化土壤图、土地利用图等图件,在 Arc/Info 中进行编辑改错、建立拓扑关系,以获取土壤空间数据库;同时建立相应的土壤属性数据库,该数据库中的主要字段包括:每个采样点对应的土属名称、土属编号、土种名称、土种编号、层次、厚度和机械组成等。空间数据库与属性数据库之间以采样点的 ID 号为公共字段进行链接,完成安徽省 1:50 万土壤数据库的建立。

在库与库的链接过程中,主要有以下两种情况:(1)有的土属只有一个采样点,则研究区内所有该土属的图斑均使用这个采样点数据。(2)有的土属包含多个采样点,按行政区划就近原则,使矢量图每一图斑均有一个采样点数据与之对应。

2.3 土壤颗粒分形维数的计算方法

Arya 和 Paris^[27]首先研究了土壤颗粒的分形现象及其分形维数的计算。Tyler 和 Wheatcraft^[28]等的研究表明土壤颗粒大小的分布所遵循关系。Turcotte^[29]提出了多孔介质材料的粒径分布与分维关系。Kravchenko 和 Zhang^[30]采用积分法推导出土壤颗粒粒级质量、粒径与土粒表面分维的关系。杨培岭等^[31]将 Katz 的计算方法进行改进,通过粒径分布与对应的重量分布的关系,推导了用粒径的重量分布表征的土壤分形的模型如式(1)。

$$\frac{W(<\bar{d}_i)}{W_0} = \left(\frac{\bar{d}_i}{d_{\max}}\right)^{3-D} \quad (1)$$

将式(1)两边取对数,在 Excel 中进行回归分析,得到拟合的直线斜率,该直线斜率即等于式(1)

中的 3 - D ,从而可以求出分形维数 D 值,且土壤颗粒分形维数值应在 0~3 之间。

3 结果与分析

3.1 土壤颗粒分形维数的统计特征

分形维数根据上述分形维数的模型计算求得。

表 1 0 - 20 cm 土壤颗粒分形维数的统计特征

深度/cm	样点数/个	最大值	最小值	平均值	变幅	方差	标准差
0 - 20	218	2.9332	2.2903	2.7562	0.6429	0.0124	0.1113

从图 1 可以看出,表层土壤颗粒分形维数的空间分布,从总体上来说,沿江江南和淮河以北地区土壤颗粒分形维数较大,而江淮丘陵地区和大别山区土壤颗粒分形维数相对较小。这主要是因为沿江多为冲积平原,皖南山地植被覆盖度较高,有利于土壤有机质的积累,淮河以北多为平原,长期农业生产的精耕细作,使得土壤颗粒较细,分形维数较大;而江淮丘陵地区和大别山区水土流失比较严重,植被覆盖度较低,土壤颗粒较粗,故分形维数较小。

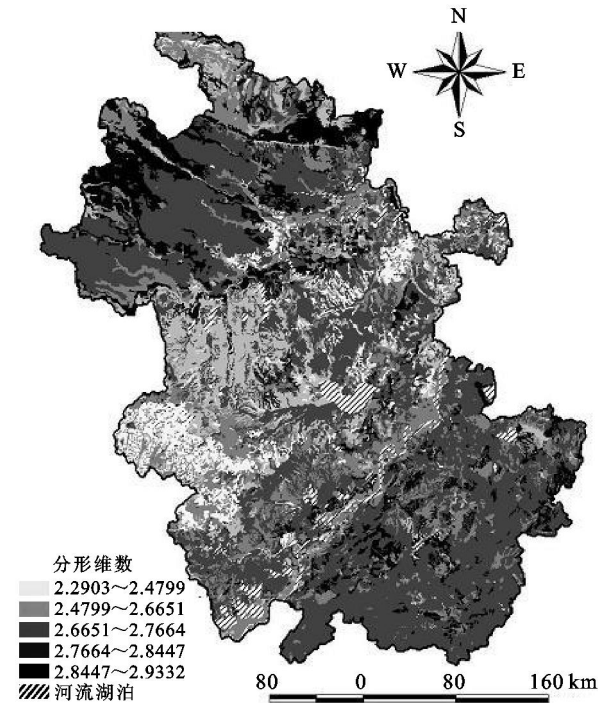


图 1 安徽省表层土壤颗粒分形维数的空间分布

图 2 反映了不同级别土壤颗粒分形维数的分布面积。分形维数介于 2.766 4~2.844 7 之间的土壤,分布面积最大,达到 65 349 km²,占安徽省总面积的 48.28 %。分形维数介于 2.290 3~2.479 9 之间的土壤,分布面积最小,只有 8 018 km²,占安徽省总面积的 5.92 %。

3.3 分形维数与环境因子的关系

3.3.1 土壤类型与分形维数的关系 不同土壤类型的土壤颗粒分形维数差别较大。图 3 表明,土壤

由表 1 可知,安徽省 218 个采样点表层土壤颗粒的分形维数为 2.290 3~2.933 2,平均值为 2.756 2。

3.2 土壤颗粒分形维数的空间分布特征

将计算所得的土壤颗粒分形维数与安徽省 1 50 万土壤数据库相结合,得到安徽省表层(0 - 20 cm)土壤颗粒的分形维数的空间分布特征,见图 1。

颗粒分形维数最大的土壤类型是石灰岩土,为 2.859 7。分形维数最小的土壤类型为粗骨土,只有 2.598 1。这主要是因为石灰岩土发育于石灰岩母质上,细土物质黏粒含量高,土壤颗粒较细,故分形维数较大;而粗骨土土体中残留粗骨碎屑物多,细粒物质少,土壤颗粒较粗,故分形维数较小。

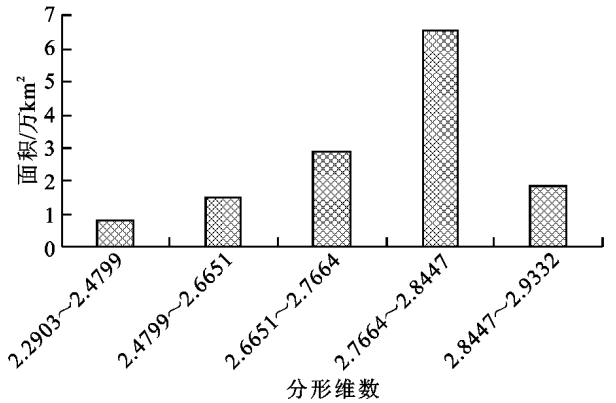


图 2 0 - 20 cm 不同级别土壤颗粒分形维数面积

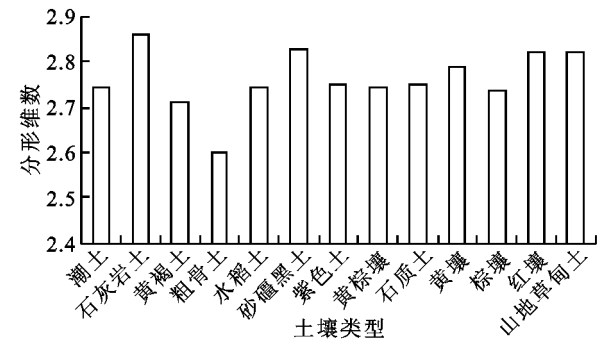


图 3 不同土壤类型的土壤颗粒分形维数

3.3.2 土地利用方式与分形维数的关系 人类对土壤的影响是广泛而深刻的,人类活动不仅改变自然环境条件,还可以改变土壤的内在组成,加速土壤形成过程,同时亦可改变其发展方向。土地利用方式正是人类活动的重要表现形式,土地利用方式对土壤颗粒分形维数影响明显。

图 4 表明,不同土地利用方式下的土壤颗粒分形维数差别明显。草地的土壤颗粒分形维数最大,达到 2.756 4;林地的土壤颗粒分形维数最小,只有 2.746 8。分形维数从大到小的顺序为:草地 > 耕地

> 园地 > 林地。

3.3.3 海拔与分形维数的关系 海拔能够引起地表物质与能量的再分配,它和土壤之间并未进行物质和能量的交换,而只是影响土壤与环境之间进行物质和能量交换的一个条件。本文利用安徽省数字高程模型 (DEM) 获取安徽省海拔,研究它与分形维数之间的关系。

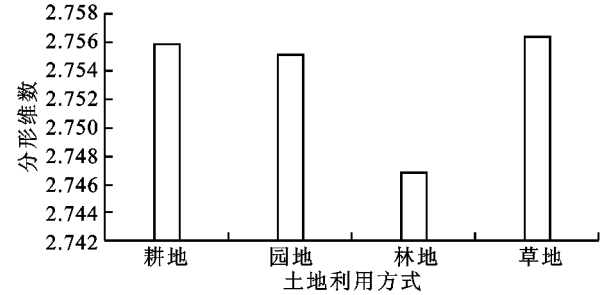


图 4 不同土地利用方式下的土壤颗粒分形维数

图 5 显示出不同海拔下的土壤颗粒分形维数显著不同。随着海拔高度的增加,土壤颗粒分形维数有逐渐减小的趋势,海拔 800 m 以上的分形维数只有 2.701 2。

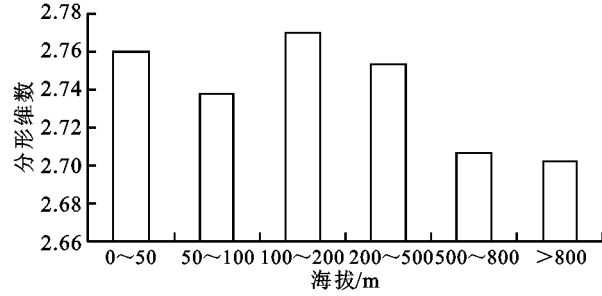


图 5 不同海拔下的土壤颗粒分形维数

4 结 论

- (1) 表层 (0 - 20 cm) 土壤颗粒分形维数变化较大,从 2.290 3 ~ 2.933 2,变幅达 0.642 9。从空间分布上看,沿江江南和淮河以北地区土壤颗粒分形维数较大,而江淮丘陵地区和大别山区土壤颗粒分形维数相对较小。分形维数 2.766 4 ~ 2.844 7 之间的土壤分布面积最大,达到 65 349 km²,占安徽省总面积的 48.28 %;
- (2) 不同土壤类型下的土壤颗粒分形维数差别较大,分形维数最大的土壤类型为石灰岩土,达到 2.859 7;最小的为粗骨土,只有 2.598 1;不同土地利用方式下的土壤颗粒分形维数差别明显,分形维数从大到小的顺序为:草地 > 耕地 > 园地 > 林地;不同海拔下的土壤颗粒分形维数显著不同,随着海拔高度的增加,分形维数有逐渐减小的趋势。
- (3) 应用 GIS 技术对土壤颗粒分形维数进行研

- 究,可以很好地表征其空间分布特征与面积分布规律,与传统研究方法相比,实现了研究结果由点到面的拓展。
- (4) 主要探讨土壤类型、土地利用方式,海拔等环境因子与分形维数的关系,深入大量地研究其它环境因子如成土母质、植被类型、气候等与土壤颗粒分形维数之间的关系,对进一步揭示土壤颗粒分形维数的内涵和利用土壤颗粒分形维数来描述土壤性质和土壤结构等具有积极的应用意义。
- 参考文献:
- [1] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension [J]. Science, 1967, 156(3775): 636-638.
- [2] 曼德尔布罗特. 分形对象:形、机遇和维数[M]. 文志英,苏虹译. 北京:世界图书出版公司,1999.
- [3] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [4] 李保国. 分形理论在土壤科学中的应用及其展望[J]. 土壤学进展, 1994, 22(1): 1-10.
- [5] 鲁植雄,潘君拯. 分维与土壤特性时空变异性研究进展[J]. 农业工程学报, 1994, 4(10): 14-19.
- [6] 黄冠华,詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及其应用[J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 491-479.
- [7] Rieu M, Sposito G. Fractal Fragmentation, Soil Porosity and Soil Water Properties: Theory [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55: 1231-1238.
- [8] Rieu M, Sposito G. Fractal Fragmentation, Soil Porosity and Soil Water Properties: Application [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55: 1239-1244.
- [9] 丁文峰,丁登山. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征[J]. 地理研究, 2002, 21(6): 700-706.
- [10] 吴承祯,洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 162-166.
- [11] 赵文智,刘志民,程国栋. 土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征[J]. 土壤学报, 2002, 39(6): 877-881.
- [12] 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.
- [13] 淮态,庞奖励,文青,等. 不同灌溉方式下耕作土壤的分形特征研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(5): 995-998.
- [14] 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维特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 336-339.
- [15] 贾晓红,李新荣,李元寿. 干旱沙区植被恢复过程中土壤颗粒分形特征[J]. 地理研究, 2007, 26(3): 518-525.
- [16] 苏里坦,宋郁东,陶辉. 不同风沙土壤颗粒的分形特征[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 244-248.

析表明:枯落层厚度、重量对土壤种子库密度有显著影响,但对其影响机理问题还有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] 赵凌平,程积民,万惠娥.土壤种子库研究进展[J].中国水土保持科学,2008,6(5):112-118.

[2] Bakker J P. Nature Management by Grazing and Cutting [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989.

[3] 张玲,李广贺,张旭,等.土壤种子库研究综述[J].生态学杂志,2004,23(2):114-120.

[4] 杨跃军,孙向阳,王保平,等.森林土壤种子库与天然更新[J].应用生态学报,2001,12(2):304-308.

[5] 于顺利,蒋高明.土壤种子库的研究进展及若干研究热点[J].植物生态学报,2003,27(4):552-560.

[6] 孙书存,陈灵芝.东灵山地区辽东栎种子库统计[J].植物生态学报,2000,24(2):215-221.

[7] Chippindale W E, Milton W E. On the viable seeds present in the soil beneath pastures[J].J. Ecol.,1934,22:508-531.

[8] 王辉,任继周.子午岭主要森林类型土壤种子库研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(3):130-135.

[9] 陈智平,王辉,袁宏波.子午岭辽东栎林土壤种子库及种

子命运研究[J].甘肃农业大学学报,2005,40(1):7-12.

[10] 邹厚远,刘国彬,王晗生.子午岭林区北部近50年植被的变化发展[J].西北植物学报,2002,22(1):1-8.

[11] 李师翁,刘立品.子午岭森林与灌丛植被的主要类型及特征的研究[J].西北植物学报,2004,24(2):275-280.

[12] 孙建华,王彦荣,曾严军.封育和放牧条件下退化荒漠草地土壤种子库特征[J].西北植物学报,2005,25(10):2035-2042.

[13] 马克平.生物群落多样性的测度方法 I:a 多样性的测度方法(上)[J].生物多样性,1994,2(3):162-168.

[14] 赵凌平,程积民,万惠娥,等.黄土高原草地封育与放牧条件下土壤种子库特征[J].草业科学,2008,25(10):78-82.

[15] Simpson R L. Ecology of soil seed bank[M]. San Diego:Academic Press,1989:313-317.

[16] 王辉,任继周.子午岭主要森林类型土壤种子库研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(3):130-136

[17] 赵萌莉,许智信.内蒙古乌兰察布西部温性荒漠草地土壤种子库初探[J].中国草地,2000,22(2):46-48.

[18] 唐勇,曹敏,张建候,等.西双版纳热带森林土壤种子库与地上植被的关系[J].应用生态学报,1999,10(3):279-282.

(上接第 149 页)

[17] 刘建立,徐绍辉.根据颗粒大小分布估计土壤水分特征曲线:分形模型的应用[J].土壤学报,2003,40(1):46-52.

[18] 黄冠华,詹卫华.土壤水分特性曲线的分形模拟[J].水科学进展,2002,13(1):55-60.

[19] 徐永福,董平.非饱和土的水分特征曲线的分形模型[J].岩土力学,2002,23(4):400-405.

[20] 程先富,史学正,王洪杰.红壤丘陵区耕层土壤颗粒的分形特征[J].地理科学,2003,23(5):617-621.

[21] 邓良基,林正雨,高雪松,等.成都平原土壤颗粒分形特征及应用[J].土壤通报,2008,39(1):38-42.

[22] 庄淑莹.耕层土壤颗粒表面的分形特征研究[J].土壤通报,2007,38(3):439-442.

[23] 程先富,赵明松,史学正,等.兴国县红壤颗粒分形及其与环境因子的关系[J].农业工程学报,2007,23(12):76-79.

[24] 安徽省土壤普查办公室.安徽土种[M].北京:科学出版社,1994.

[25] 安徽省土壤普查办公室,安徽土壤[M].北京:科学

出版社,1994.

[26] 朱晓华,杨秀春,蔡运龙.中国土壤空间分布的分形与分维[J].土壤学报,2005,42(6):881-888.

[27] Aray L M, Paris J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data [J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1981,45:1023-1030.

[28] Tyler S W, Wheatcraft S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation [J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1989,53:987-996.

[29] Turcotte D L. Fractal and fragmentation [J]. Journal of Geophysical Research,1986,91(12):1921-1926.

[30] Kravchenko A, Zhang R. Estimating the soil water retention from particle-size distribution:a fractal approach[J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1998,63(3):171-179.

[31] 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.