

毛乌素沙地不同土地利用类型土壤分形特征

高君亮¹, 李玉宝², 虞毅³, 迟悦春⁴, 高永¹

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 温州大学 生命与环境学院, 浙江 温州 325027; 3. 国际竹藤网络中心, 北京 100102; 4. 鄂尔多斯市 林业局, 内蒙古 东胜 017000)

摘 要: 研究不同土地利用类型土壤分形特征, 以期对沙地土壤风蚀的防治和生态建设提供理论指导。该文研究了毛乌素沙地 7 个典型样地的土壤分形维数, 以及分形维数与土壤机械组成、土地利用类型、采样深度的关系。结果表明: (1) 决定沙地土壤分形维数的主要是粉沙、极细沙和细沙的百分含量; 粉沙与极细沙的百分含量和土壤分形维数呈极显著正相关关系, 而细沙百分含量和土壤分形维数呈极显著负相关关系。 (2) 7 种不同利用类型土地的土壤分形维数最大值为 2.51, 最小值为 1.59; 表层(0–10 cm) 土壤的平均分形维数介于 1.85~2.34 之间, 且从大到小依次为: 草地> 固定沙丘> 半固定沙丘> 耕地 1> 耕地 2> 耕地 3> 流动沙丘。 (3) 土壤分形维数在 7 类土地上随着采样深度有不同程度的波动, 但整体上均呈线性下降趋势。

关键词: 毛乌素沙地; 风蚀; 土地利用类型; 分形维数

中图分类号: S152.3; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0220-04

Soil Fractal Characters under Different Land Use Patterns of Mu Us Sandy Land

GAO Jun-liang¹, LI Yu-bao², YU Yi³, CHI Yue-chun⁴, GAO Yong¹

(1. College of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. College of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang 325027, China; 3. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 4. Forestry Bureau of Erdos, Dongsheng, Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: The research was to provide theoretical guidance for the prevention of soil erosion and ecological construction by studying fractal characters of soil under different land use patterns of sandy land. Firstly soil fractal dimensions were discussed in seven typical sample plots on Mu Us sandy land. The relationship between fractal dimension and soil mechanical composition, as well as the relationship between land use patterns and sampling depths were analyzed in this paper. The results showed percentage composition of silt sands, superfine sands and fine sands dominates soil fractal dimension, percentage compositions of silt sands and superfine sands have very significant positive correlation with soil fractal dimension, but percentage composition of fine sands has very significant negative correlation with soil fractal dimension. Among the seven different land use patterns, the maximal soil fractal dimension is 2.51, the minimum is 1.59. The average soil fractal dimensions of top soil (0–10 cm) fall in between 1.85 and 2.34. These land use patterns range in accordance with the order of grass land> fixed dune> semi-fixed dune> farmland1> farmland2> farmland3> flowing sand. In the seven different sample plots, with different sampling depths, soil fractal dimensions have some degree of varying, but they demonstrate a linear descending trend on the whole.

Key words: Mu Us sandy land; wind erosion; land use pattern; fractal dimension

土壤风蚀是我国北方干旱、半干旱及部分半湿润地区土地退化的主要过程之一, 其分布范围占国土面积的 1/2 以上, 严重影响这些地区资源开发和社会经济的持续稳定发展^[1]。土壤机械组成是影响土壤风蚀

的主要因素之一, 因此, 进行土壤机械组成的定量描述对土壤风蚀的进一步研究具有指导意义。近几十年来, 随着分形学的发展, 分形理论的应用已成为定量描述土壤机械组成的新方法^[2,12]。与传统的方法相比,

收稿日期: 2010-05-07

资助项目: 国家自然科学基金(4096103, 30771765); 中德国际科技合作项目(2008DFA32270)

作者简介: 高君亮(1985–), 男, 甘肃静宁人, 硕士研究生, 主要从事荒漠化防治的研究。E-mail: gaojunliang1985@163.com

通信作者: 高永(1962–), 男, 内蒙古达茂旗人, 博士, 教授, 研究方向: 荒漠化防治。E-mail: gaoyong315@yahoo.com.cn

分形模型更为简便, 并能说明分形维数的物理意义。

20 世纪 50 年代以来, 针对毛乌素沙地风蚀严重和生态退化的特点, 许多学者从不同的角度进行了不同深度的研究, 取得了大量的研究成果^[13-19]。然而, 运用分形理论对毛乌素沙地不同土地利用类型土壤粒径的研究未见报道。因此, 本文计算了毛乌素沙地腹地不同土地利用类型的表层土壤颗粒的分形维数, 并分析了土壤分形维数与土壤机械组成, 土地利用类型以及采样深度之间的关系, 以期为该区土壤风蚀的防治和生态建设提供依据。

1 研究区概况

研究区位于毛乌素沙地腹地的“毛乌素沙地开发整治研究中心”东 1 km 处, 行政区划隶属内蒙古鄂尔多斯市乌审旗图克镇, 地理位置为 38°57′ - 39°01′ N; 109°02′ - 109°17′ E, 海拔 1 300 m。该地区属温带大陆性半干旱气候, 年均气温 6. 5℃, 年均积温 890℃, 年均降水量 360 mm, 多集中在 7- 9 月, 年均蒸发量 2 300 mm。风大沙多, 年均风速 3. 3 m/s, 年

大风扬沙日数 40~ 50 d, 且多集中在冬春季节。研究区内地形以流动、固定、半固定沙丘及丘间滩地为主。植被主要有旱柳 (*Salix matsudana* Koidz.), 乌柳 (*Salix cheilophila* Schneid.), 沙柳 (*Salix psammophila* C. Wang et Ch. Y. Yang.), 油蒿 (*Artemisia ordosica* Krasch.), 籽蒿 (*Artemisia sphaerocephala* Krasch.), 杨柴 (*Hedysarum Laeve* Maxim.), 小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* Lam.), 中间锦鸡儿 (*Caragana intermedia* Kuang et. H. C. Fu.), 芨芨草 (*Achnatherum splenden* (Trin.) Nevski.), 芦苇 (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), 牛心朴子 (*Cynanchum komarovii* Al. Iljinski.) 等。

2 研究方法

2.1 样地选取与土壤取样

2009 年 10 月下旬, 在研究区选择 7 个有代表性的样地(表 1), 在每个样地上按照“品”字形选择 3 个采样点, 用自制分层取土器分 10 层采样, 每层深度 1 cm, 并记录样地概况。

表 1 样地基本概况

编号	样地名称	样地概况
A	耕地 1	耕种 10 a, 当年种植糜子, 收割后留茬 10 cm 左右
B	耕地 2	耕种 15 a, 当年玉米, 已翻耕
C	耕地 3	耕种 20 a 以上, 当年种植玉米, 秸秆割倒后随意散落于地表
D	流动沙丘	裸沙丘, 没有植物生长
E	半固定沙丘	生长油蒿, 籽蒿, 盖度 10% ~ 15%
F	固定沙丘	生长油蒿, 籽蒿, 小叶锦鸡儿, 沙柳等, 盖度 35% ~ 50%
G	草地	滩地, 生长芨芨草, 芦苇等, 伴有少量牛心朴子, 盖度 45% ~ 60%

2.2 样品分析

在实验室将从野外采集的土壤样品阴干, 过 2 mm 土壤筛剔除植物根系等杂物, 然后按照四分法对每个土样称取(100 ± 0. 005) g, 置入土壤筛(土壤筛按照中国沙物质的粒径划分标准^[20]来选取, 即: 砾石(> 2 mm)、极粗沙(2~ 1 mm)、粗沙(1~ 0. 5 mm)、中沙(0. 5~ 0. 25 mm)、细沙(0. 25~ 0. 1 mm)、极细沙(0. 1~ 0. 05 mm)、粉沙(< 0. 05 mm)) 中用 ZBSX-92A 型震击式标准振筛机震荡 5 min, 最后对每一粒级的土壤颗粒称重并计算其百分含量。

2.3 土壤颗粒分形维数的计算

土壤颗粒分形维数按照杨培岭等^[2]提出的用粒径的重量分布表征的土壤分形模型来计算。即

$$\left(\frac{\overline{d_i}}{d_{\max}}\right)^{3-D} = \frac{W(\delta < \overline{d_i})}{W_0}$$

(1)

式中: $\overline{d_i}$ ——两筛分粒级 d_i 与 d_{i+1} 间粒径的平均值; d_{\max} ——最大粒级土粒的平均直径; D ——土壤颗粒分形维数; $W(\delta < \overline{d_i})$ ——小于 $\overline{d_i}$ 的累积土粒质量;

W_0 ——土壤各粒级质量的总和; δ ——码尺。

对土壤各粒级的含量进行整理, 分别以 $\lg[\frac{W(\delta < \overline{d_i})}{W_0}]$, $\lg(\frac{\overline{d_i}}{d_{\max}})$ 为纵、横坐标作图并进行线性拟合, 得到拟合的直线斜率, 该拟合直线的斜率是上式中的 3- D , 从而可以求出分形维数 D 值。

3 结果与分析

3.1 土壤分形维数与土壤机械组成的关系

由土壤分形维数的计算过程可知, 分形维数与土壤颗粒粒级的百分含量有关。由图 1 可知, 土壤分形维数与各粒级颗粒组分间关系差异较大, 土壤分形维数与粉沙和极细沙的百分含量呈极显著正相关关系, 与细沙的百分含量呈极显著负相关关系, 与中沙、粗沙和极粗沙的百分含量关系不显著。说明粉沙和极细沙含量越高, 土壤分维数越大, 反之则小。分形维数能很好地反映土壤颗粒物质的损失状况, 从而可用来反映各类土地风蚀的程度。

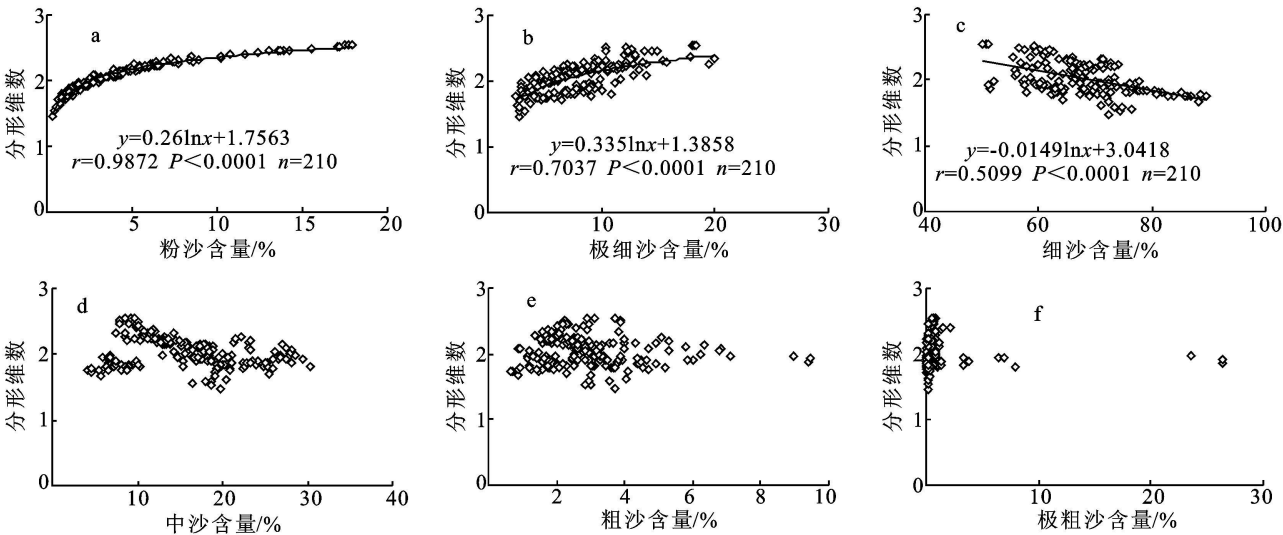


图 1 分形维数与各粒级土壤颗粒百分含量相关关系

运用 SAS 9.0 软件对极粗沙(X_1)、粗沙(X_2)、细沙(X_4)、中沙(X_3)、极细沙(X_5)和粉沙(X_6)的百分含量与土壤分形维数进行了多元逐步回归分析,关系式如式(2)。

$$D=1.73861+0.0145X_6+0.0501X_5-0.0028X_4$$
$$P<0.0001^{**}, R^2=0.8462, P_{X_6}<0.0001^{**}, P_{X_5}<0.0001^{**}, P_{X_4}=0.0139^{*}$$

因此,决定土壤分形维数大小的主要是粉沙、极细沙和细沙的百分含量,其余 3 个粒级颗粒的百分含

量对土壤分形维数影响程度相对较小。

3.2 土壤分形维数与土地利用类型的关系

从表 2 中可知:7 个样地的土壤分形维数以草地第 1 层 2.51 为最大值,以耕地 2 第 10 层 1.59 为最小值。表层(0-10 cm)的平均土壤分形维数介于 1.85~2.34 之间,土壤平均分形维数从大到小依次为:草地>固定沙丘>半固定沙丘>耕地 1>耕地 2>耕地 3>流动沙丘。由此可知,随着沙漠化程度的加剧,分形维数逐渐减小,从草地到流动沙丘,分形维数由 2.34 下降到了 1.85。

表 2 不同土地利用类型下的土壤分形维数

采样深度/cm	耕地 1	耕地 2	耕地 3	流动沙丘	半固定沙丘	固定沙丘	草地
1	2.18	2.26	1.93	1.97	2.36	2.41	2.51
2	2.05	2.22	1.98	1.96	2.23	2.32	2.44
3	2.01	2.09	1.94	1.95	2.18	2.29	2.48
4	1.96	2.04	1.99	1.89	2.13	2.28	2.54
5	1.97	2.06	1.95	1.85	2.12	2.22	2.45
6	1.95	1.94	1.96	1.81	2.14	2.29	2.23
7	1.96	1.87	1.91	1.76	2.15	2.23	2.23
8	1.89	1.80	1.86	1.80	2.09	2.20	2.32
9	1.92	1.68	1.87	1.74	2.08	2.21	2.23
10	1.90	1.59	1.87	1.77	2.04	2.19	1.97
平均值	1.98	1.96	1.93	1.85	2.15	2.27	2.34

分析结果认为:位于滩地的草地在植被的保护作用下增大了其地表粗糙度,当风沙流过境时,风速减弱,风沙流挟带物质沉降下来而增加了地表细粒物质含量;固定与半固定沙丘同样在地表植被的保护作用下表层细粒物质含量相对增加,但是,由于固定与半固定沙丘上的植被大多为灌丛,灌丛与灌丛之间比较大的空隙而使风速减弱相对较小,沙物质沉降量也相对减少,因此固定与半固定沙丘的土壤分形维数比草地的小;耕地在人类所从事农耕活动的影响下细粒物

质不断地损失,随着耕种年限的增加细粒物质损失量也增加;对于地表裸露的流动沙丘来说,没有植被的抵挡作用,遇到起沙风后表层细粒物质马上被起沙风挟带运移至其他地方,细粒含量减少致使粗粒含量相对增加。

3.3 土壤分形维数随采样深度的变化

图 2 表明土壤分形维数在 7 个样地上都随着采样深度发生波动变化,各个样地的土壤分形维数变幅值分别为:草地 0.57、固定沙丘 0.22、半固定沙丘

0. 32、流动沙丘 0. 23、耕地 0. 27、耕地 0. 67、耕地 0. 13。

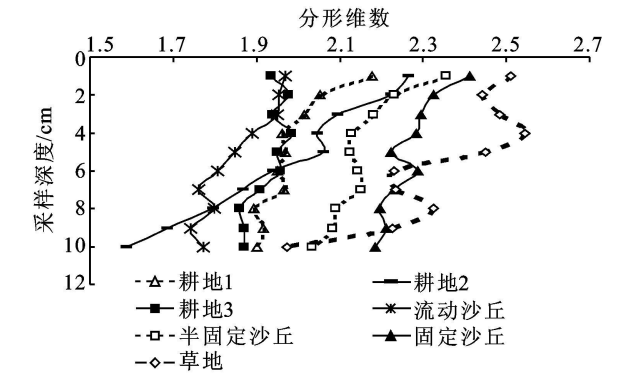


图 2 土壤分形维数随采样深度的变化

另外,从图 2 中还可以看出,7 个样地的土壤分形维数随采样深度均呈线性下降趋势。说明分形维数能够反映土壤的结构性状,表征土壤结构的变化特征。分析认为:耕地受到人为翻耕的影响,表层细粒物质丧失,3 块耕地之间分形维数的差异主要是因为受耕种年限,所种植作物及大风来临之际翻耕与未翻耕等因素的影响;沙丘实施封育后,植被恢复程度逐年加大,表层细粒物质渐渐增多;草地上生长的植被大多为草本植物,植物根系分布较浅,在植物根系的作用下,下部土壤团聚体含量增加,使得分形维数相应减小。

4 结论

(1)决定沙地土壤分形维数的主要是粉沙、极细沙和细沙的百分含量,其余粒级土壤颗粒的影响程度相对较小;粉沙与极细沙的百分含量和土壤分形维数呈极显著正相关关系,而细沙的百分含量和土壤分形维数呈极显著负相关关系。

(2)7 个样地的土壤分形维数最大值为 2. 51,最小值为 1. 59;表层(0- 10 cm)的平均土壤分形维数介于 1. 85~ 2. 34 之间,土壤平均分形维数从大到小依次为:草地> 固定沙丘> 半固定沙丘> 耕地 1> 耕地 2> 耕地 3> 流动沙丘。

(3)土壤分形维数在 7 个样地上随着采样深度发生不同程度的波动变化,变幅值分别为:草地 0. 57、固定沙丘 0. 22、半固定沙丘 0. 32、流动沙丘 0. 23、耕地 0. 27、耕地 0. 67、耕地 0. 13,但整体上均呈线性下降趋势。

参考文献:

[1] 陈渭南,董光荣,董治宝. 中国北方土壤风蚀问题研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5) : 6- 12.

[2] 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.

[3] 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- 167.

[4] 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) : 490- 497.

[5] 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.

[6] 苏永中, 赵哈林. 科尔沁沙地农田沙漠化演变中土壤颗粒分形特征[J]. 生态学报, 2004, 24(1) : 71- 74.

[7] 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.

[8] 文海燕, 傅华, 赵哈林. 退化沙质草地开垦和围封过程中的土壤颗粒分形特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1) : 55- 59.

[9] 李进峰, 宫渊波, 陈林, 等. 广元市不同土地利用类型土壤的分形特征[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5) : 167- 170, 182.

[10] 王德, 傅伯杰, 陈利顶, 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.

[11] 宋孝玉, 李亚娟, 李怀有, 等. 不同地貌类型及土地利用方式下土壤粒径的分形特征[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9) : 155- 160, 167.

[12] 朱华, 程先富, 王世航, 等. 基于 GIS 的安徽省表层土壤颗粒分形特征研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4) : 146- 149, 155.

[13] 吴波, 慈龙骏. 五十年代以来毛乌素沙地荒漠化扩展及其原因[J]. 第四纪研究, 1998(2) : 165- 172.

[14] 任仓钰. 毛乌素沙地沙漠化原因探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 13(2) : 30- 31.

[15] 曹红霞, 张云翔, 岳乐平, 等. 毛乌素沙地全新世地层粒度组成特征及古气候意义[J]. 沉积学报, 2003, 21(3) : 482- 486.

[16] 哈斯, 庄燕美, 王蕾, 等. 毛乌素沙地南缘横向沙丘粒度分布及其对风向变化的响应[J]. 地理科学进展, 2006, 25(6) : 42- 51.

[17] 隆浩, 王乃昂, 李育, 等. 毛乌素沙地北缘泊江海子剖面粒度特征及环境意义[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2) : 187- 193.

[18] 李智佩, 岳乐平, 薛祥煦, 等. 毛乌素沙地沉积物粒度特征与土地沙漠化[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(3) : 578- 586.

[19] 李占宏, 海春兴, 丛艳静. 毛乌素沙地表土粒度特征及其空间变异[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(2) : 74- 79.

[20] 马世威, 马玉明, 姚洪林, 等. 沙漠学[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1998.