

# 土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征\*

赵文智<sup>1,2</sup> 刘志民<sup>1</sup> 程国栋<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所; 2 冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000)

## FRactal Dimension of Soil Particle for Sand Desertification

Zhao Wen zhi<sup>1,2</sup> Liu Zhi min<sup>1</sup> Cheng Guo-dong<sup>1,2</sup>

(1 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences;

2 State Key Lab of Frozen Soil Engineering, Lanzhou 730000)

关键词 土地沙质荒漠化, 分形维数, 粒径, 重量分布

中图分类号 S159

土壤特性往往是沙质荒漠化的一个指征<sup>[1]</sup>, 也是不同形式的土地沙质荒漠化导致的生态系统功能改变的一个非常重要的测度<sup>[2]</sup>。粒度组成是土壤结构和生产力的重要方面。

形状和大小各异的土壤颗粒组成的土壤结构表现上是一个不规则的几何形体。分形理论是描述不规则几何形体的有效方法<sup>[3]</sup>。

Turcotte<sup>[4]</sup>提出的多孔介质材料的粒径分布公式中由于确定大于某一粒径颗粒数较难而在土壤分形研究中无法广泛使用。为此, 杨培岭等<sup>[5]</sup>提出了用粒径的重量分布代替数量分布来描述土壤分形的模型。吴承祯等<sup>[6]</sup>用此模型对不同经营模式土壤团粒结构的分形特征的研究表明分形维数可以很好地反映土壤肥力特征。在以往的沙质荒漠化研究中采用不同粒径颗粒含量的变化表征沙质荒漠化的程度, 这种表示方法较繁琐。若能由单个参数替代土壤粒度组成来表征土地沙质荒漠化将会使评价沙质荒漠化土壤特性变得更简单。

本文在借鉴以前分形模型在土壤研究中应用的基础上, 通过探讨土地沙质荒漠化的分形特征及其与土壤粒度组成的关系, 分析沙质荒漠化发展和逆转过程中的土壤分形特征, 探讨了利用分形维数代替土壤粒度组成表征土地沙质荒漠化的可能性。

## 1 分形维数求解模型

分形的特点是由分形维数(又称分维数或分维)来描述。传统数学对于自然界中连绵

\* 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新课题(批准号 210049)

收稿日期: 2000-11-15; 收到修改稿日期: 2001-03-06

起伏的群山、奇形怪状的海岸线等大量自然构形的描述无能为力,而分形理论的产生则为研究这些复杂的对象找到了全新的方法和思路,分形维数也成为描述这些复杂事物特征的良好参数<sup>[4]</sup>。

具有自相似结构的多孔介质土壤由大于某一粒径  $d_i$  ( $d_i > d_{i+1}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ) 的土粒构成的体积  $V(\delta > d_i)$  可由公式表示<sup>[4,5]</sup>:

$$V(\delta > d_i) = A[1 - (d_i/k)^{3-D}], \quad (1)$$

式中  $\delta$  为尺码,  $A, k$  是描述形状、尺度的常数,  $D$  为分形维数。

通常粒径分析资料是由一定粒径间隔的粒径重量分布表示的。以  $\bar{d}_i$  表示两筛分粒径  $d_i$  与  $d_{i+1}$  间的粒径平均值,忽略各粒径间土粒比重  $\rho$  的差异,即  $\rho_i = \rho$  ( $i = 1, 2, \dots$ ), 则

$$W(\delta > \bar{d}_i) = V(\delta > \bar{d}_i) \rho = \rho A[1 - (\bar{d}_i/k)^{3-D}], \quad (2)$$

式中  $W(\delta > \bar{d}_i)$  为大于  $d_i$  的累积土粒重量。以  $W_0$  为土壤各粒径颗粒重量之和。由定义有  $\lim_{\bar{d}_i \rightarrow 0} \bar{d}_i = 0$ , 则由(2)式得

$$W_0 = \lim_{\bar{d}_i \rightarrow 0} W(\delta > \bar{d}_i) = \rho A, \quad (3)$$

$$\text{由(2), (3)式导出 } W(\delta > \bar{d}_i)/W_0 = 1 - (\bar{d}_i/k)^{3-D}, \quad (4)$$

设  $\bar{d}_{\max}$  为最大粒径土粒的平均直径,  $W(\delta > \bar{d}_{\max}) = 0$ , 代入(4)式有  $k = \bar{d}_{\max}$ 。由此得出土壤颗粒的重量分布与平均粒径的分形关系式:

$$W(\delta > \bar{d}_i)/W_0 = 1 - (\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})^{3-D} \quad (5)$$

$$\text{或} \quad (\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})^{3-D} = W_i(\delta < \bar{d}_i)/W_0 \quad (6)$$

## 2 数据来源及数据处理

土壤机械组成分析用振筛法和吸管法,质地分类用中国土壤颗粒分类标准。研究对象为表层 0~30 cm 土壤,土样来自毛乌素沙地、科尔沁沙地、西藏中部沙地、黄淮海风沙化土地、南昌亚热带风沙化土地、河北坝上沙质荒漠化土地。共计 81 个剖面,其中河北坝上和部分西藏、科尔沁沙地的资料是作者的资料,其余资料来源于文献[7~10]。

分别以  $\log(W_i/W_0)$ ,  $\log(\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})$  为因变量和自变量,根据模型(1)利用 Original 5.0 计算土壤的分形维数,并分析分形维数与各粒级颗粒含量的相关性。

## 3 结果和讨论

### 3.1 沙质荒漠化土壤分形维数与土壤粒度组成关系

沙质荒漠化土壤分形维数与土壤中各粒径的重量分布均显著相关,其中与 1~0.25 mm 和 0.25~0.05 mm 间的土粒含量存在明显的负相关,相关系数分别为 -0.49 ( $p < 0.001$ ) 和 -0.62 ( $p < 0.001$ ),而与 0.01~0.05 mm, 0.01~0.005 mm, 0.005~0.001 mm 和 <0.001 mm 的颗粒含量存在明显的正相关,其中与 <0.001 mm 颗粒含量相关性最好,相关系数为 0.77 ( $p < 0.001$ ) (表 1)。细颗粒含量高的土壤分形维数大,反之,相反(图 1)。0.05 mm 粒径是决定沙质荒漠化土地土壤分形维数的临界粒径,因为大于这一粒径的颗

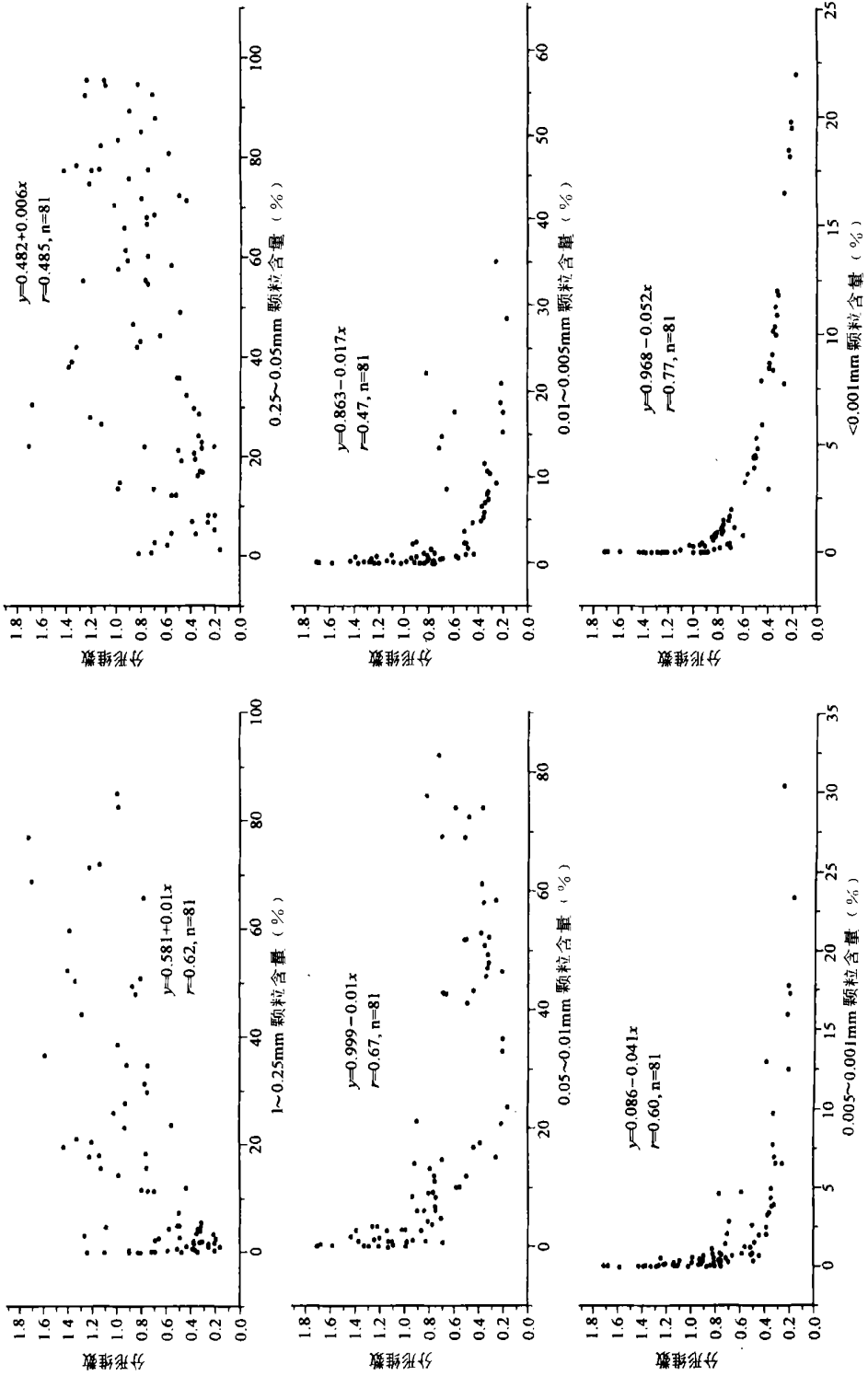


图 1 土壤颗粒含量与分形维数关系

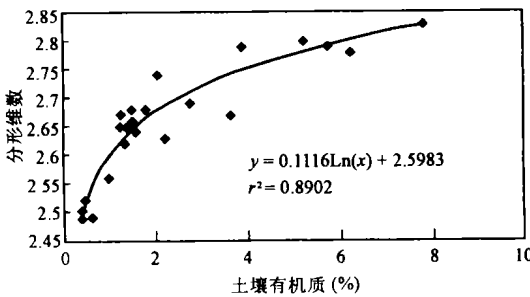
粒含量越高,土壤分形维数越低;而小于这一粒径的颗粒含量越高,分形维数越大。在以风蚀为主的沙质荒漠化过程发生时往往伴随土壤表层细颗粒物质的损失,损失的是易蚀或者是可蚀部分。对于一个大的区域来说,损失的主要是悬移质的粉尘( $< 0.05\text{ mm}$ ),因为只有这部分的悬移质才能随气流飘扬出区域外<sup>[8]</sup>。说明分形维数可以很好地反映土壤颗粒物质的损失状况,从而反映土地沙质荒漠化的程度。分形维数不仅能够表征土壤粒径的大小组成,而且能反映质地均一程度的特性<sup>[5]</sup>。此外,分形维数与土壤有机质含量也显著相关(图2),  $R^2 = 0.89(p > 0.001)$ 。因此,分形维数也是土壤有机质状况的反映。沙质荒漠化过程主要是土壤细颗粒物质和有机质的损失过程<sup>[8]</sup>,所以土壤颗粒分形维数可以作为土地沙质荒漠化程度的指征。

表1 土壤颗粒分形维数与不同粒径土壤颗粒含量相关系数

	粒径 (mm)					
	1~ 0.25	0.25~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	< 0.001
相关系数	- 0.62	- 0.49	0.67	0.47	0.60	0.77
<i>p</i>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

### 3.2 沙质荒漠化过程土壤分形维数的变化

沙质荒漠化过程必然伴随土壤肥力和植被的退化。以沙质荒漠化强烈发展的河北坝上地区为例,土壤分形维数变化于2.49~2.83,大致相当于砂土和沙质壤土的范围。



土壤分形维数与有机质呈显著正相关(图2),若用有机质的退化来表示荒漠化发生的程度,则随着沙质荒漠化的发生,土壤有机质降低,土壤颗粒分形维数也降低。分形维数与沙质荒漠化的指示植物褐沙蒿的重要值(指示植物在群落中的相对盖度、相对密度和相对生物量之和)也呈显著负相关(图

图2 沙质荒漠化土壤分形维数和有机质关系

3),说明沙质荒漠化土地土壤颗粒分形维数越低,指示植物在群落中的重要值越大。指示植物褐沙蒿在群落中重要值越大,沙质荒漠化越严重<sup>[12]</sup>。因此,土壤分形维数随沙质荒漠化的升级而降低。

### 3.3 沙质荒漠化逆转过程土壤分形维数的变化

土壤分形维数从小到大依次为流动沙丘、半固定沙丘和固定沙丘(表2)。说明随着沙丘的固定,植被不仅能有效地阻止沙地细颗粒物质的进一步损失,而且还可能促进细颗粒物质的沉积,增加了细颗粒物质的含量,继而增加了土壤的分形维数。即在沙质

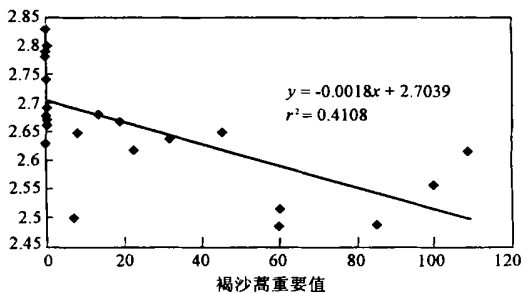


图3 沙质荒漠化指示植物在群落中的重要值与土壤分形维数的关系

荒漠化逆转过程中土壤分形维数是增加的。流动沙地和半固定沙地的土壤分形维数分别是 1.41 和 1.87, 远小于砂土的分形维数 2.48 左右<sup>[5]</sup>。说明沙质荒漠化的产物流动沙地和半固定沙地土壤结构较砂土差。

表 2 沙质荒漠化逆转过程中土壤分形维数

分形维数	流动沙地	半固定沙地	固定沙地
平均值	1.41	1.87	2.24
标准偏差	0.24	0.22	0.18
样本数	10	12	11

## 4 结 论

(1) 在沙质荒漠化过程中土壤的分形维数与各粒径颗粒的含量均显著相关。0.05 mm 粒径是决定分形维数的临界粒径, 大于 0.05 mm 的颗粒含量越高, 土壤颗粒分形维数越低, 小于 0.05 mm 的颗粒含量越高, 土壤颗粒分形维数越高。0.05 mm 也正是沙质荒漠化风蚀掉的悬移质的最大粒径值。分形维数与表征沙质荒漠化的土壤有机质含量、指示植物在群落中的重要值都显著相关。它可以代替土壤不同粒径颗粒组成表征土地沙质荒漠化的程度。

(2) 随着沙质荒漠化程度的增加, 土壤分形维数降低。反之, 相反。沙质荒漠化的直接产物流动沙地和半固定沙地土壤的分形维数远小于砂土, 说明其结构和肥力远比砂土差。

## 参 考 文 献

1. 王涛, 赵哈林, 肖洪浪. 中国沙漠化研究进展. 中国沙漠, 1999, 19 (4): 299~ 311
2. Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L *et al.*, Biological feedbacks in global desertification. Science, 1990, 247: 1043~ 1048
3. Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman, 1982, 45~ 256
4. Turcotte D L. Fractal fragmentation. J. Geography. Res., 1986, 91 (12): 1921~ 1926
5. 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. 科学通报, 1993, 38 (20): 1896~ 1899
6. 吴承祯, 洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究. 土壤学报, 1999, 36 (2): 162~ 166
7. 董光荣, 董玉祥, 李森等. 西藏“一江两河”中部流域土地沙漠化防治规划研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 16~ 30
8. 朱震达, 陈广庭等. 中国土地沙质荒漠化. 北京: 科学出版社, 1994. 157~ 179
9. 李福兴. 黄淮海平原沙地土壤的基本特性及其改造利用初步研究. 中国沙漠, 1989, 9(1): 47~ 60
10. 张继贤. 我国亚热带湿润地区风沙土壤水分状况和化学性质. 中国沙漠, 1989, 9 (1): 75~ 84
11. 朱震达. 最近十年中国北方农牧交错地区土地沙质荒漠化发展趋势的一例. 中国沙漠, 1994, 14 (4): 1~ 7
12. 赵文智, 赵存玉. 河北坝上沙漠化土地褐沙蒿、冷蒿土壤生境特征研究. 中国沙漠, 1994, 14 (4): 23~ 28