

重庆四面山 4 种人工林地土壤粒径分形特征

葛东媛<sup>1</sup>, 张洪江<sup>1</sup>, 郑国强<sup>1,2</sup>, 刘涛<sup>1,3</sup>, 王伟<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 青海省水土保持局, 西宁 810001; 3. 交通运输部科学研究院, 北京 100029)

摘 要:运用分形模型,对重庆四面山 4 种人工林地土壤结构进行分析,结果表明:4 种人工林地的土壤粒径分形维数在土层 0—40 cm 深度平均在 2.625~2.693,随土层深度的变化土壤粒径分形维数差异不显著,而随林地类型的不同差异显著;从总体上看,4 种人工林地土壤粒径分形维数变化由高到低依次为木荷石栎混交林(2.693)>杉木马尾松木荷混交林(2.688)>杉木马尾松混交林(2.659)>杉木纯林(2.625),木荷石栎混交林的土壤结构最好,杉木纯林的最差;在四面山地区阔叶混交林不仅对土壤良好结构的形成具有促进作用,而且其土壤的抗蚀能力和渗透性也能存在着明显的优势,对于该地区水土保持林的营造具有重要的指导意义。土壤粒径分形维数与土壤中黏粒含量存在显著的线性相关关系,表现为黏粒含量越高的土壤,其分形维数也越高,当土壤中直径<0.001 mm 黏粒含量的质量百分数在 11.38%左右时,其土壤结构状况良好。

关键词:四面山; 人工林地; 土壤粒径分形维数

中图分类号:S714.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)02-0148-04

Fractal Characteristics of Particle-size in Four Plantation  
in Simian Mountain of Chongqing

GE Dong-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Hong-jiang<sup>1</sup>, ZHENG Guo-qiang<sup>1,2</sup>, LIU Tao<sup>1,3</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Soil and Water Conservation Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China; 3. Chinese Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:**Fractal model has been applied to study soil structure by using mass-based soil particle-size distribution (PSD) data in four plantations in Simian Mountain of Chongqing. Results showed that the average range of fractal dimension of soil PSD is between 2.625~2.693 at the depth of 0—40 cm, which is not significantly different by the varition of soil depth, but significant varition in different plantations. Above all, the soil PSD from high to low in four plantations are as *Lithocarpus glaber* × *Schima superba* mixed forest (2.693) > *Cunninghamia lanceolata* × *Pinus massoniana* × *Schima superba* (2.688) > *Cunninghamia lanceolata* × *Pinus massoniana* (2.659) > *Cunninghamia lanceolata* (2.625). The soil structure of *Schima superba* × *Lithocarpus glabra* mixed forest is the best, *Cunninghamia lanceolata* is the worst; the mixed broadleaf forest is better than mixed broadleaf-conifer forest or coniferous forest, which not only makes better soil structure but also has stronger anti-erodibility and permeability in Simian Mountain. There is a clear linear correlation between the fractal dimension and the clay contents, when the clay content is higher, the fractal dimension is higher too, when the content of clay less than 0.001 mm is 11.38%, the soil structure will be better.

**Key words:**Simian Mountain; plantation; fractal characteristic of particle-size

土壤是一种由不同颗粒组成、具有不规则形状和自相似结构的多孔介质,具有一定的分形特征<sup>[1]</sup>。由于土壤组成结构的复杂性及内部诸因素局部的微观差异,土壤物理性质的有关测量值出现不规则性和随

机性。把分形理论及其方法应用到土壤学领域,不仅为土壤值的合理表达提出了一种新的概念,而且无疑会推动土壤形态、过程复杂等问题的解决,并在一定程度上使其定量化<sup>[2-4]</sup>。运用各种分形模型计算土壤

收稿日期:2010-05-06 修回日期:2010-07-26  
资助项目:国家自然科学基金项目(40771042);国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD03A1304);国家林业局“948”项目(2006-04-26);国家林业局林业推广项目(2007-100)  
作者简介:葛东媛(1972—),女,黑龙江伊春市人,博士研究生,主要研究方向:水土保持与森林水文。E-mail:dongyuan@bjfu.edu.cn  
通信作者:张洪江(1955—),男,河北省易县人,教授,博士生导师,主要研究方向:土壤侵蚀与流域管理。E-mail:zhanghj@bjfu.edu.cn

颗粒、团聚体和孔隙度的分形维数来表征土壤质地和结构组成及其均匀程度,成为定量描述土壤结构特征的新方法<sup>[5-10]</sup>。

Arya 等<sup>[5]</sup>及 Turcotte<sup>[6]</sup>研究了土壤颗粒的分形现象及其分形维数的计算方法,但这些方法难以直接利用常规试验数据进行计算。Tyler 等<sup>[7]</sup>、杨培岭等<sup>[8]</sup>将粒径计算方法进行改进,通过粒径分布与对应的质量分布相联系,用土壤颗粒的重量分布直接计算粒径分布的分维数,来表征土粒直径的大小和质地组成均匀程度。该方法只需通过土壤颗粒的机械组成分析,便可方便地确定相应的分形维数。

重庆四面山位于三峡工程库区尾端,是地球同纬度地区仅存的原始常绿阔叶林带<sup>[11]</sup>。然而,旅游资源的开发和当地农民不合理的采伐和放牧,导致该区域的森林植被严重破坏。近几年,随着水土保持型植被建设,营造了大量人工林<sup>[8]</sup>。本文运用分形理论及相关模型对四面山地区已营造的不同人工林地的土壤粒径分形特征进行分析研究,定量化描述不同造林模式和林种配置下的土壤结构状况,以期为该地区土壤综合评价提供一个量化的指标,为水土保持型植被建设提供一定的理论依据。

1 研究区概况

试验区选择在重庆市四面山张家山林区,位于 106°17′—106°31′E,28°31′—28°46′N,属于中亚热带湿润的季风气候,四季分明,温暖湿润,雨量充沛,无霜期为 285 d。多年平均气温 13.7℃,8 月气温最高,达 31.5℃,1 月气温最低,平均为-5.5℃。多年平

均降雨量 1 522.3 mm,日最大降雨量 160.5 mm,雨季集中在 5—9 月,占年平均降雨量的 62.17%。降雨量变化较大,海拔每上升 100 m,降雨量递增 43.3 mm。年平均日照时数为 1 082.7 h,生长季 5—9 月的日照时数约为全年日照时数的 64%。全年≥10℃活动积温 5 144.7℃。相对湿度年平均为 80%~90%,最高湿度可达 100%。区内林地土壤主要由白垩纪夹关组砖红色长石、石英砂岩夹砖红色、紫红色粉砂岩等风化残积物、冲积物发育而成,主要土壤类型为黄棕壤和黄壤等,土层厚度一般在 10—70 cm,多呈微酸性至酸性。

研究区内的植被具有典型的亚热带常绿阔叶林特征,主要乔木树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、木荷(*Schima superba*)、福建柏(*Fokienia hodginsii*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、枫香(*Liquidambar formsana*)等;灌木有紫花杜鹃(*Rhododendron backii*)、白毛新木姜子(*Neolitsea aurata*)、杜茎山(*Maesaja ponica*)、野蔷薇(*Rosamlti flora thunb*)等,竹类大约有 20 余种,以楠竹(*Phyllostachys pubescens*)为主<sup>[11]</sup>。

2 材料与方法

2.1 土壤样品的采集与处理

选择研究区已有 4 种人工林地的土壤作为研究对象,即杉木纯林(S<sub>1</sub>)、杉木马尾松混交林(S<sub>2</sub>)、木荷石栎混交林(S<sub>3</sub>)和杉木马尾松木荷混交林(S<sub>4</sub>),样地基本情况见表 1。

表 1 4 种人工林地基本情况

林地 种类	立地因子			林分		枯落物储量/(t·hm <sup>-2</sup> )		
	海拔/m	坡向	坡度/(°)	郁闭度	灌草盖度/%	未分解层	半分解层	分解层
S <sub>1</sub>	1171.0	WN	27.0	0.52	80	2.17	6.65	30.90
S <sub>2</sub>	1160.9	EN	36.0	0.27	90	3.94	0.86	197.99
S <sub>3</sub>	1166.0	EN	36.0	0.10	95	5.29	3.89	237.76
S <sub>4</sub>	1170.0	WN	28.8	0.50	90	0.90	10.81	52.76

分别在 4 块样地内选取典型地块开挖土壤剖面,均按 0—20,20—40 cm 分层采集土样,将采集的原状土样风干后,采用简易比重计法<sup>[12]</sup>进行土壤颗粒机械组成测定,大致分为分散、筛分和沉降的步骤,得到 9 个粒级范围土壤颗粒质量百分数(表 2)。

2.2 分形模型

采用杨培岭<sup>[13]</sup>等提出的反映土壤粒径分布分形维数的计算方法,建立土壤粒径、土壤颗粒重量分布与土壤分形维数的关系式。

$$D=3-\frac{\lg(W_i/W_o)}{\lg(\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})}$$

(1)

式中: $D$ ——土壤颗粒分形维数; $W_i$ ——粒径小于 $\bar{d}_i$ 的颗粒累积重量; $W_o$ ——土壤各粒径颗粒重量之和; $\bar{d}_i$ ——两筛分粒径 $d_i$ 与 $d_{i+1}$ 间的粒径平均值; $\bar{d}_{\max}$ ——最大粒径土粒的平均直径。

3 结果与分析

分别以 $\lg(W_i/W_o)$ 、 $\lg(\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})$ 为纵横坐标,根据表 2 中的数据得到 4 种人工林地土样 $\lg(W_i/W_o)$ 与 $\lg(\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})$ 的线性回归分析结果(图 1),可以看出土壤作为一种多孔介质,其结构性质具有统计意义上的自相似性,表现出明显的分形特征。

表 2 4 种土样颗粒累积质量分数

林分	土壤 层次/cm	砂粒					粉粒		黏粒	
		2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	0.1~0.05	0.05~0.02	0.02~0.002	0.002~0.001	<0.001
		%								
S <sub>1</sub>	0—20	9.622	20.335	16.733	14.238	10.732	10.563	8.045	6.321	3.411
	20—40	9.066	20.914	12.596	11.759	10.812	10.840	10.560	8.280	5.173
S <sub>2</sub>	0—20	11.197	18.163	15.691	13.062	11.024	10.482	7.611	6.387	6.384
	20—40	8.881	14.909	16.608	19.456	6.848	10.488	10.163	7.326	5.322
S <sub>3</sub>	0—20	12.455	22.120	11.996	16.876	13.926	5.573	4.119	6.406	6.528
	20—40	12.432	27.156	9.425	9.241	8.174	8.548	8.221	7.395	9.407
S <sub>4</sub>	0—20	8.936	17.966	12.485	18.355	8.149	11.745	5.225	7.338	9.801
	20—40	18.884	18.563	5.393	16.499	6.767	9.229	13.444	5.239	5.981

注：土壤粒径的单位为 mm。

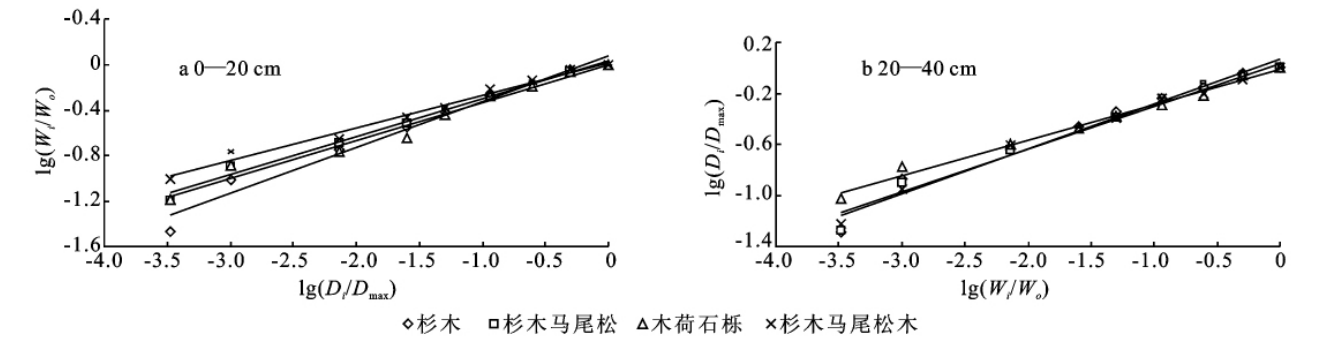


图 1 4 种人工林地土样  $\lg(W_i/W_0)$  和  $\lg(D_i/D_{\max})$  的关系

应用土壤粒径分形维数计算方法,得到 4 种人工林地土壤粒径分形维数平均值在 2.625~2.693 之间,如表 3 所示。

表 3 4 种人工林地土壤粒径分形维数

土层 深度/cm	杉木	杉木 马尾松	木荷 石栎	杉木马尾 松木荷
0—20	2.597	2.664	2.665	2.712
20—40	2.653	2.654	2.722	2.664
0—40	2.625	2.659	2.693	2.688

表 4 方差分析结果

项目	平方和	自由度	均方值	均方 比值 F	显著性 概率
组间	0.0088	3	0.0029	5.423	0.025
组内	0.0043	8	0.0005		
合计	0.0131	11			

经方差分析,4 种人工林地土壤粒径分形维数受土层深度的变化差异不显著,随着土层深度的增加其变化趋势不明显,表明在土壤层一定深度范围内(0—40 cm)对土壤粒径分形维数的影响不大,在此忽略二者之间的交互作用。而林地类型对于土壤粒径分形维数的影响较大,从表 4 中可以看出, $F_{0.05}(3,8)=4.07<5.423$ ,且  $\text{Sig}<0.05$ ,表明土壤粒径分形维数随造林配置模式和林种配置的不同表现出显著地差异性。

土壤质地越粗,越不易形成良好的结构,分形维数也较小,土壤质地越细,因包含的小土粒越多,形成的微小孔隙也越多,结构也更复杂,分形维数就越

高<sup>[14]</sup>。理论上<sup>[7]</sup>,没有任何固相填充的孔隙空间的分形维数为 2,没有任何孔隙岩石的分形维数等于 3。刘云鹏等<sup>[14]</sup>研究得到,结构良好的土壤粒径分布分形维数应在 2.750 左右,土壤粒径分布分形维数可以作为土壤结构评价的一个指标。从总体上看,4 种人工林地中土壤粒径分形维数变化由高到低依次为木荷石栎(2.693)>杉木马尾松木荷(2.688)>杉木马尾松(2.659)>杉木纯林(2.625),木荷石栎土壤粒径分形维数更接近于 2.750,表明其土壤结构状况最好,既能保证良好的通气透水性,也具有一定的保水保肥性能,其次为杉木马尾松木荷混交林,而杉木林地表现出的土壤粒径分形维数最低,表明纯林的土壤结构状况最差,表现出的保水保肥能力也较差。

从多重比较的最小显著差数比较(LSD)的结果可以看出(表 4),杉木纯林与木荷石栎混交林和杉木马尾松木荷混交林之间土壤粒径分形维数表现出的差异性更显著( $\text{Sig}<0.05$ ),表明纯林与阔叶混交林和针阔混交林对于土壤结构的改良作用存在着明显的不同。在四面山地区主要表现出阔叶混交林较针阔混交林、针叶混交林和纯林的土壤改良效果较好,其良好的土壤结构优势较明显,此与四面山地区阔叶林地土壤具有较强土壤抗蚀能力<sup>[15]</sup>和渗透性能的结果相一致<sup>[16]</sup>。

经皮尔逊相关分析得到,土壤粒径分形维数与土壤中的黏粒含量在显著水平 0.01 上呈极显著的正相

关关系,相关系数达 0.925,且与直径 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量的相关关系最为显著,其相关系数达到0.969,相关关系式为:

$$D=0.0172x+0.2554 \tag{2}$$

式中: $D$ ——土壤颗粒分形维数; $x$ ——土壤中的黏粒含量。

表 5 多重比较(最小显著差数 LSD 比较)结果

林地类型	平均差(I-J)	标准误	显著性概率	95% 置信区间	
				上限	下限
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	-0.034	0.019	0.115	-0.077 0.010
	S <sub>3</sub>	-0.068	0.019	0.007	-0.112 -0.024
	S <sub>4</sub>	-0.063	0.019	0.011	-0.106 -0.019
S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	-0.035	0.019	0.106	-0.078 0.009
	S <sub>4</sub>	-0.029	0.019	0.167	-0.073 0.015
S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	0.006	0.019	0.772	-0.038 0.050

\* 平均差在 0.05 水平差异显著。

即随着黏粒含量的升高其土壤粒径分形维数也呈现增大的趋势,但黏粒含量太高会导致土壤通气能力的下降,根据上述结构良好的土壤粒径分形维数的最佳值为 2.750 左右,运用式(2)计算得到,当土壤中的黏粒含量质量分数在 11.38%上下时,其土壤结构状况良好。

4 结 论

土壤作为一种多孔介质,表现出明显的分形特征。其粒径分布分形维数反映土粒对空间的填充能力。重庆四面山地区 4 种人工林地土壤粒径分形维数变化由高到低依次为木荷石栎混交林(2.693)>杉木马尾松木荷混交林(2.688)>杉木马尾松混交林(2.659)>杉木纯林(2.625),在该地区木荷石栎混交林土壤结构状况较杉木马尾松木荷混交林和杉木马尾松混交林好,杉木纯林的土壤结构状况最差。土壤粒径分形维数与土壤中直径 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量的相关关系在显著水平 0.01 上达到 0.969,当土壤中直径 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量的质量百分数在 11.38%左右时,其土壤结构状况良好。

在四面山地区阔叶混交林不仅对土壤良好结构的形成具有促进作用,而且其土壤的抗蚀能力<sup>[15]</sup>和

渗透性能<sup>[16]</sup>也存在着明显的优势,对于水土保持林的营造具有重要的指导意义。

参考文献:

[1] Mandelbort B B. Fractal: from chance and dimension [M]. San Francisco:Freeman,1977:1-234.

[2] 林鸿益,李映雪.分形论:奇异性探索[M].北京:北京理工大学出版社,1992:43-48.

[3] 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.

[4] 鲁植雄,张维强,潘君拯.分形理论及其在农业土壤中的应用[J].土壤学进展,1994,22(5):40-45.

[5] Arya L M,Paris J F. A physic empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data[J]. Soil Science Society of America Journal,1981,45:1023-1031.

[6] Turcotte D L. Fractals and fragmentation[J]. Journal of Geophysical Research,1986,91(2):1921-1926.

[7] Tyler S W,Wheat-craft S W. Fractal scaling of soil particle size distributions;analysis and limitations[J]. Soil Science Society of America Journal,1992,56:362-369.

[8] 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.

[9] 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):163-167.

[10] 刘金福,洪伟,吴承祯.中亚热带几种珍贵树种林分土壤团粒结构的分维特征[J].生态学报,2002,22(2):197-205.

[11] 刘国花,谢吉容.重庆四面山风景区森林植被调查研究[J].渝西学院学报:自然科学版,2005,4(1):90-92.

[12] 林大仪.土壤学实验指导[M].北京:中国林业出版社,2004:23-31.

[13] 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.

[14] 刘云鹏,王国栋,张社奇,等.陕西 4 种土壤粒径分布的分形特征研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(2):92-94.

[15] 任改,张洪江,程金花,等.重庆四面山几种人工林地土壤抗蚀性分析[J].水土保持学报,2009,23(3):20-24.

[16] 王伟,张洪江,李猛,等.重庆市四面山林地土壤水分入渗特性研究与评价[J].水土保持学报,2008,22(4):95-99.