

黄土高原油松人工林地土壤颗粒的分形特征

张社奇^a,刘云鹏^a,刘建军^b,王国栋^a

(西北农林科技大学 a.理学院,b.林学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 为了全面了解人工林地的生态环境状况,采用分形理论,研究了黄土高原油松人工林地不同深度土壤颗粒的分形特征。结果表明,在油松人工林凋落物和根系等的作用下,人工林能够提高林地土壤的团聚能力,降低土壤的分形维数;不同深度油松人工林地的土壤颗粒分形维数在土壤剖面趋于均一,而且小于同种质地的其他土壤;土壤颗粒分形维数可以反映森林土壤粒径分布的变化,因而可作为评价森林土壤生态特征的指标。

[关键词] 黄土高原;油松人工林;土壤颗粒;粒径分布;分形维数

[中图分类号] S152.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)11-0151-05

Fractal characteristics of soil particle of *Pinus tabulaeformis* Carr. plantation forestland in Loess Plateau

ZHANG She-qi^a,LIU Yun-peng^a,LIU Jian-jun^b,WANG Guo-dong^a

(a. College of Sciences;b. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract : In order to learn entirely about ecological environment of plantation forest ,fractal theory has been used to study soil structure of *Pinus tabulaeformis* Carr. plantation in Loess Plateau by using soil particle-size distribution at different depth. Results show that under effects of roots and humus ,the soil aggregating ability has been enhanced ,the fractal dimension of soil particle at different soil depth is nearly less than the same soil texture of the other place ,which indicates that the fractal dimension of soil particle can reflect the distribution degree of soil particle in forestland ,therefore it is taken as assessing index for forest ecological property.

Key words : Loess Plateau ; *Pinus tabulaeformis* Carr. plantation ; soil particles ; particle-size distribution ; fractal dimension

油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)是黄土高原主要的水土保持树种之一。由于其耐干旱贫瘠、适应性强等特点,在我国干旱和半干旱地区生态环境建设中具有重要的地位。近年来,我国对油松人工林地的研究主要集中在水分平衡和养分循环方面^[1-6],而有关油松林地土壤颗粒分形结构的研究鲜见报道。本研究以渭北黄土高原油松人工林为研究对象,在分形理论基础上,探讨了油松不同树龄和土

壤不同深度条件下的颗粒组成与分形特征,以期揭示人工林地土壤颗粒的复杂结构、分形特征以及植被与土壤间的耦合规律提供理论依据。

1 研究区自然概况

研究样地选在人工林培育多年的陕西耀县柳林林场。该区位于东经 108°45'~108°55',北纬 35°00'~35°20'。最高海拔 1 734 m,最低海拔 850

〔收稿日期〕 2006-10-20

〔基金项目〕 国家“十五”科技攻关重大专项(2001BA516A15-05);陕西省自然科学基金项目(20020201093)

〔作者简介〕 张社奇(1964-),男,陕西扶风人,教授,博士,主要从事土壤生态与环境生物物理研究。

〔通讯作者〕 王国栋(1957-),男,陕西礼泉人,教授,博士,博士生导师,主要从事土壤物理学研究。

m。岩石主要有灰岩、砂页岩及砂砾岩;土壤以碳酸盐褐土、普通褐土、褐土型粗骨土为主。土层厚度一般在 1 m 左右。该区属暖温带半湿润半干旱大陆性气候,年平均气温 12.5℃,≥10℃的活动积温 2 929℃,无霜期 228 d,年降雨量 571 mm,且多集中在 7~9 月。区内主要植被有栎类(*Quercus* spp.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*, 引进)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杨(*Populus davidiana* Dode.)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana* Decne)、胡颓子(*Elaeagnus pungens* Thunb.)、胡枝子(*Lespedeza bicoior* Turcz.)、绣线菊(*Spiraea wilsonii*)、蒿类(*Artemisia* spp.)、白草(*Pennisetum centrasiatic-*

um Tzvel.)等。

2 材料与方法

2.1 样地的选择

在陕西耀县柳林林场分别选定立地条件相近的 42,32,24,22,17,12 年生油松纯林样地 6 块和 1 块撂荒地(CK)进行试验,供试土壤为碳酸盐褐土。6 块林地分别为:Ⅰ.42 年生油松纯林地;Ⅱ.32 年生油松纯林地;Ⅲ.24 年生油松纯林地;Ⅳ.22 年生油松纯林地;Ⅴ.17 年生油松纯林地;Ⅵ.12 年生油松纯林地。各试验地概况见表 1。

表 1 试验地概况一览表

Table 1 Information of test plots

林分类型 Types of stands	林龄/年 Age	海拔/m Elevation	密度/(株·hm ⁻²) Density stocking	郁闭度 Canopy closure	平均树高/m Average height	平均直径/cm Average diameter
I	42	1 100	2 380	0.6	9.0	5.7
II	32	1 050	3 600	0.7	7.5	4.3
III	24	1 120	6 400	0.9	6.0	3.0
IV	22	1 150	5 000	0.5	4.5	2.6
V	17	1 160	3 700	0.4	4.0	2.5
VI	12	1 130	2 222	0.2	3.5	2.2
CK	-	1 140	-	-	-	-

林分类型 Types of stands	林龄/年 Age	坡向坡度/(°) Slope aspect slope degree	灌木高度/m Bush height	草层高度/cm Grass height	林下生物量/(t·hm ⁻²) Field productivity
I	42	东南 SE 15~20	1.6	20	4.987
II	32	东南 SE 20~25	1.4	20	3.652
III	24	东南 SE 15~20	1.5	20	3.764
IV	22	东南 SE 15~20	1.5	25	4.165
V	17	东南 SE 20~25	1.4	30	4.218
VI	12	东南 SE 20~25	1.5	40	5.324
CK	-	东南 SE 15~20	1.3	40	-

2.2 土壤采样与测定

分别在各样地选定 20 m×20 m 标准地,每木检尺,找出平均木,并在平均木下挖掘采样的土壤剖面,按由下向上的顺序逐层分 6 个层次采集土样,分装,将土样带回实验室风干、分检、研磨,供分析用。

依据中华人民共和国林业行业标准 LY/T 1225-1999、LY/T 1226-1999,采用吸管法测定土壤剖面机械组成^[7]。

2.3 分形模型

Turcotte^[8]提出了多孔介质材料的粒径分布公式

$$N(\delta > d_i) \propto d_i^{-D} \quad (1)$$

式中: d_i 为土壤第 i 个粒级的颗粒直径, N 为粒径大于 d_i 的颗粒的累计数量; D 为粒径分布的分形维数。

杨培岭等^[9]用土壤粒径的质量分布来描述土壤的分形特征模型,使土壤的分形特征的研究和测定

更实用化。即

$$\frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_t} = \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}}\right)^{3-D} \quad (2)$$

对式(2)求负对数,可得

$$-\lg \frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_t} = (3-D) \left(-\lg \frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}}\right) \quad (3)$$

式中: $\bar{d}_i$ 为两筛分粒级 d_i 和 d_{i+1} 间的粒径平均值, $\bar{d}_{\max}$ 为最大粒级土粒的平均直径, $W(\delta < \bar{d}_i)$ 表示粒径小于 d_i 的颗粒的累计质量, W_t 表示土壤各粒级质量总和。将 $W(\delta < \bar{d}_i)$ 记为 W_i ,进行 $-\lg(W_i/W_t) \sim -\lg(\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})$ 的线性回归曲线,记以 $y-x$ 回归曲线,即可得到粒径分布的分形维数 D 。

3 结果与分析

3.1 油松人工林地土壤的机械组成

油松人工林地不同树龄和不同深度土壤的机械

组成见表 2。根据美国土壤分类标准^[7],该土壤在 不同树龄和不同深度下均属于粘壤土。

表 2 油松人工林地不同粒级的土壤颗粒含量

Table 2 Mass content of different particle-size soil in <i>Pinus tabulaeformis</i> forest		g/ kg					
林分类型	土壤深度/ cm	粒径分布/ mm Particle-size distribution					
Types of stands	Soil depth	< 0.002	0.002~0.02	0.02~0.05	0.05~0.25	0.25~1	1~2
I	10	272.7	278.7	104.7	183.4	124.6	35.9
	20	251.7	277.7	225.5	132.7	94.7	17.7
	30	254.3	300.2	241.2	106.1	92.2	6.3
	50	196.8	209.8	187.6	232.6	150.1	23.1
	70	246.0	308.1	241.1	98.4	92.3	14.3
	90	254.3	299.5	164.9	193.1	81.2	7.2
II	10	269.6	279.1	98.7	195.8	131.3	25.5
	20	254.2	263.6	225.4	153.5	95.6	7.7
	30	271.9	275.4	245.5	114.8	84.8	7.6
	50	201.4	203.1	191.2	242.2	138.5	23.6
	70	249.2	299.5	216.7	138.2	88.9	7.5
	90	247.9	306.4	153.5	192.9	90.6	8.7
III	10	263.5	281.4	88.5	221.2	107.2	38.2
	20	259.8	256.9	218.5	149.5	101.9	13.4
	30	272.5	272.2	242.3	116.3	91.3	5.5
	50	203.6	199.3	194.9	247.8	134.6	19.8
	70	243.7	301.5	229.3	128.5	86.2	10.8
	90	234.3	317.5	151.9	206.2	82.9	7.4
IV	10	254.3	281.8	87.6	221.9	113.3	41.1
	20	258.5	253.9	206.8	157.5	110.9	12.4
	30	275.6	265.7	203.6	152.9	91.8	10.4
	50	214.7	190.7	158.1	287.6	137.8	11.1
	70	243.1	293.8	187.8	176.9	78.9	19.5
	90	238.5	305.7	153.4	186.3	110.5	5.6
V	10	259.6	245.1	113.8	225.1	110.5	45.9
	20	258.9	258.8	176.5	178.2	109.4	18.2
	30	273.6	258.7	191.2	183.1	76.9	16.5
	50	216.5	181.9	136.3	311.8	141.1	12.4
	70	243.1	292.1	142.3	216.7	80.2	25.6
	90	237.6	293.8	151.5	212.7	94.1	10.4
VI	10	245.9	221.7	133.9	221.5	129.4	47.4
	20	258.6	255.5	99.3	246.6	113.4	26.9
	30	273.8	240.1	108.1	284.5	86.4	7.1
	50	220.5	173.8	103.3	335.2	130.9	36.3
	70	243.4	270.6	134.6	216.8	104.4	30.2
	90	235.8	252.6	159.6	238.7	96.7	16.6
CK	10	273.6	278.5	114.0	176.3	135.2	32.4
	20	265.4	281.4	111.2	173.8	124.6	43.6
	30	260.3	266.1	126.5	184.8	113.4	48.9
	50	265.5	269.7	123.9	183.4	116.3	41.2
	70	284.2	294.3	125.7	176.2	104.1	15.5
	90	257.1	302.4	121.5	199.3	98.5	21.2

3.2 油松人工林地土壤颗粒的分形维数

以 - lg($\bar{d}_i/\bar{d}_{max}$) 为横坐标、- lg(W_i/W_t) 为纵坐标绘制油松纯林不同深度土壤的线性回归曲线,结果见图 1。从图 1 的拟合曲线斜率可得,10,20,30,50,70,90 cm 土层深度的土壤颗粒分形维数分别为 2.779 4,2.770 4,2.777 5,2.727 6,2.765 0,2.760 9,分形维数比较接近。

对撂荒地土壤(CK)采用同样方法,得到 10,20,30,50,70,90 cm 土层深度土壤的线性回归曲线分别为

$y = 0.220\ 1x - 0.114\ 6$ $R^2 = 0.901\ 5;$

$y = 0.210\ 7x - 0.134\ 7$ $R^2 = 0.905\ 4;$

$y = 0.211\ 3x - 0.123\ 5$ $R^2 = 0.934\ 6;$

$y = 0.216\ 7x - 0.113\ 4$ $R^2 = 0.919\ 8;$

$$y = 0.1833x - 0.1548 \quad R^2 = 0.9236;$$

$$y = 0.2215x - 0.1643 \quad R^2 = 0.9196.$$

由曲线斜率可得,10,20,30,50,70,90 cm 土层深度土壤颗粒的分形维数分别为 2.779 9,2.789 3,

2.788 7,2.783 3,2.816 7,2.778 5。

油松纯林与撂荒地对比结果显示,除 10 cm 分形维数较接近外,油松纯林其他各层土壤颗粒的分形维数均小于撂荒地对应层。

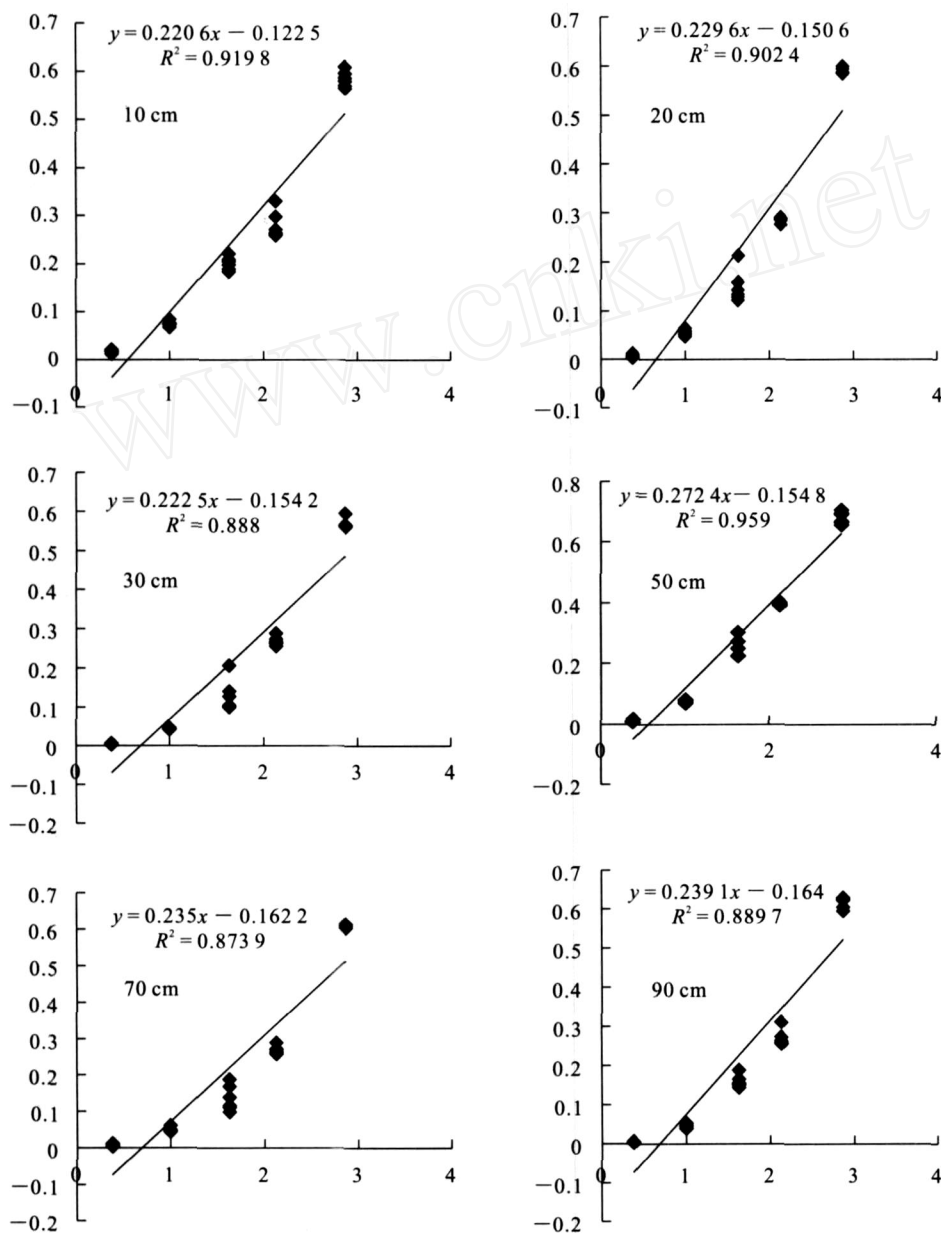


图 1 油松纯林 6 种不同深度土壤的 $-\lg(W_i/W_t) \sim -\lg(\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})$ ($y-x$) 关系图

Fig.1 Relationship between $-\lg(W_i/W_t)$ and $-\lg(\bar{d}_i/\bar{d}_{\max})$ for 6 kinds of different depth soil of *Pinus tabulaeformis* carr.

4 结论与讨论

本研究结果表明,油松人工林地的土壤颗粒分形维数趋于均一,与黄冠华等^[10]和刘云鹏等^[11]对粘壤土的分析结果 2.84 和 2.82 相比,油松纯林林地土壤颗粒分形维数较一般的粘壤土小,这可能与碳

酸盐褐土的性质有关。从土壤分形理论可知,土壤粘粒含量越高,则分形维数越高。以上结果说明,在油松人工林作用下,土壤团聚能力得到增强,进而降低了土壤颗粒的分形维数。因此,土壤颗粒分形维数可以反映森林土壤粒径分布的变化,因而可作为评价森林土壤生态特征的指标。

本试验中发现撂荒地钙积层土壤分形维数大于其他各层,这还有待于进一步深入研究。

[参考文献]

- [1] 魏天兴,朱金兆.黄土区人工林地水分供耗特点与林分生产力研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):45-51.
- [2] 韩冰,吴钦孝,赵鸿雁,等.黄土丘陵区油松人工林对土壤水分因子影响的相关分析[J].防护林科技,1998(3):2-5.
- [3] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁.黄土丘陵区人工油松林和山杨林林冠截留作用的研究[J].水土保持通报,1991,11(1):4-7.
- [4] 李勇,徐晓琴.黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效模式[J].林业科学,1993,29(3):193-198.
- [5] 李勇.油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应[J].水土保持学报,1990,4(1):1-5.
- [6] 高甲荣,肖斌.桥山林区油松人工林营养元素分配与积累的研究[J].应用生态学报,2001,12(5):667-671.
- [7] 张万儒.森林土壤分析方法[M].北京:中国标准出版社,1999.
- [8] Turcotte D L. Fractal fragmentation model of soil aggregation[J].J Geography Res,1993,91(12):1921-1926.
- [9] 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.
- [10] 黄冠华,詹卫华.土壤颗粒的分形特征及其应用[J].土壤学报,2000,39(4):490-497.
- [11] 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.
- [12] 李德成,李忠佩,Velde B,等.不同利用年限的红壤水稻土孔隙结构差异的图像分析[J].土壤,2002(3):134-137.
- [13] Herrmann K H, Pohlmeier A, Gembris D, et al. Three-dimensional imaging of pore water diffusion and motion in porous media by nuclear magnetic resonance imaging[J]. Journal of Hydrology, 2002, 267: 244-257.
- [14] Malone R W, Logsdon S, Shipitalo M J, et al. Tillage effect on macroporosity and herbicide transport in percolate[J]. Geoderma, 2003, 116: 191-215.
- [15] Chen C C, Roseberg R J, Selker J S. Using microsprinkler irrigation to reduce leaching in a shrink/ swell clay soil[J]. Agricultural Water Management, 2002, 54: 159-171.
- [16] 区自清,贾良清,金海燕,等.大孔隙和优先水流及其对污染物在土壤中迁移行为的影响[J].土壤学报,1999,36(3):341-347.
- [17] 劳家桢.土壤农化分析手册[M].北京:农业出版社,1988.
- [18] 刘方春,聂俊华,刘春生,等.不同施肥措施对土壤硝态氮垂直分布的特征影响[J].土壤通报,2005,36(1):50-53.
- [19] 张卫国,牛少莉,宋爱君. HA 有机-无机复混肥中氮磷钾释放效果的测定[J].河北科技师范学院学报,2005,19(2):5-8.
- [20] Hodgkinson R A, Chambers B J, Withers P J A, et al. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil[J]. Agricultural Water Management, 2002, 57: 155-173.
- [21] 宋玉芳,任丽萍,许华夏.不同施肥条件下旱田养分淋溶规律试验研究[J].生态学杂志,2001,20(6):20-24.
- [22] 熊国华,林咸永,章永松,等.施用有机肥对蔬菜保护地土壤环境质量影响的研究进展[J].科技通报,2005,21(1):84-90.

(上接第 150 页)