

不同巨桉人工林土壤分形特征及抗蚀性分析^①

谢贤健, 韩光中*

(内江师范学院地理与资源科学学院, 四川内江 641000)

摘要: 为探讨耕地退耕成人工巨桉林后对土壤团聚结构及土壤抗蚀性能产生的影响, 在野外调查与室内分析的基础上, 选择 4.5 年生巨桉纯林、巨桉+果树、巨桉+粮食作物土壤作为研究对象, 农耕地作为对照, 研究了不同巨桉人工林下水稳性团聚体分形维数的变化特征, 分析了分形维数与土壤养分状况、土壤结构稳定性以及土壤抗蚀性能的关系。结果表明, 4 种模式土壤分形维数介于 2.142 ~ 2.296; 在 0 ~ 15 cm 土层分形维数表现为耕地>林果>林粮>纯林, 纯林和农耕地之间差异显著, 其他 3 种模式之间差异不显著; 在 15 ~ 30 cm 土层分形维数表现为耕地>纯林>林粮>林果, 4 种模式之间差异不显著。分形维数与土壤有机质含量、大团聚体含量呈显著和极显著负相关; 与土壤平均重量直径、水稳性指数有负相关趋势; 与土壤体积质量、微团聚体含量呈极显著正相关。说明土壤分形维数越小, 土壤有机质、大团聚体含量越高, 土壤平均重量直径、水稳性指数越大, 土壤体积质量、微团聚体含量越低, 土壤结构越稳定, 抗蚀力越强。因此, 团聚体的分形维数值能反映土壤性质的变化, 通过对土壤分形维数特征的研究可以定量揭示不同巨桉模式下土壤抗侵蚀的能力。

关键词: 巨桉; 土壤团聚体; 抗蚀性; 分形维数

中图分类号: S152.4

土壤是具有自相似结构的多孔介质, 具有一定的分形特征。土壤团聚结构是反映土壤特征和评价土壤质量的重要指标之一, 作为土壤结构的基本反映, 团聚的粒径分布和稳定性对土壤肥力状况、结构稳定性及抗蚀性能有着重要的影响^[1-2]。近年来, 用粒径的质量分布描述土壤颗粒组成与团聚体大小组成的分形维数已成为定量描述土壤结构特征的重要参数^[3]。吴承桢和洪伟^[4]及王小丹等^[5]运用单重分形模型对福建不同林分经营模式和西藏高原 4 种土地利用方式下土壤颗粒结构分析得出土壤粒径的分形维数不仅能够反映土壤质地均一性、土壤通透性和土壤肥力, 而且可间接反映自然环境变化和人类活动对土壤理化性质的影响; 刘梦云等^[6]对不同土地利用方式的研究表明土壤分形维数可以反映土壤物理性质的优劣; 张超等^[7]认为根际土壤分形维数比非根际土壤分形维数能更好地反映土壤性质的变化规律; 胡宁等^[8]、吕圣桥等^[9]、郑淑霞等^[10]研究表明土壤团聚结构的分形维数可以作为土壤抗蚀性评价的指标。这些研究表明分形维数在反映土壤性状上具有较强的可行性。

巨桉(*Eucalyptus grandis*)作为我国各地退耕还林重要栽培树种, 随着种植面积不断增加, 出现了一系列的生态环境问题, 如: 徐柳斌等^[11]对滇西桉树人工林和云南松林土壤物理性质的研究发现桉树人工林的土壤体积质量增加, 总孔隙度、毛管孔隙度及非毛管孔隙度及持水能力均降低, 且破坏程度比一般经济林更大; 王旭琴等^[12]的研究也表明桉树种植使土壤表层孔隙状况, 尤其是非毛细管孔隙状况恶化, 土壤持水能力降低; 此外, 还出现种植地地力衰退、土壤抗蚀性下降、生物多样性降低、水土保持能力下降等多种问题^[13]。目前, 应用分形理论探讨巨桉人工林下土壤分形特征与土壤抗蚀力关系的研究尚未见报道, 而土壤抗蚀指标的研究, 是评价林地对土壤影响力的重要方面。因此, 本文以川中丘陵区为研究单元, 分析不同巨桉人工林模式下土壤团聚体分形及抗蚀性特征, 旨在进一步了解不同退耕模式土壤特性及生态功能, 探讨不同巨桉林地模式对土壤结构和土壤性质的影响, 以期巨桉人工林培育提供理论依据。

基金项目: 四川省教育厅重点自筹项目(13ZA0006)资助。

* 通讯作者(hanguangzhong@163.com)

作者简介: 谢贤健(1978—), 男, 四川广汉人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水土保持理论及技术研究。E-mail: xxj007-14@tom.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于四川省内江市东兴区, 105°2.044'E、29°36.783'N, 地处川中丘陵区, 属中亚热带季风气候; 全年平均气温 15~28℃, 一月均温 6~8℃, 七月均温 26~28℃; 年降雨量 1 000 mm 以下, 多分布在夏季, 约占全年雨量的 60%, 高温期与多雨季基本一致, 春季约占 17%, 冬季仅占 4%, 春夏旱出现频率高; 年无霜期约 310 天, 年日照时数 1 100~1 300 h。土壤类型为紫色土(以泥岩和砂岩为主, 大部分为钙质胶结, 一般含有数量不等的碳酸钙), 土壤有机质含量 1.30~2.00 g/kg, 土壤体积质量 1.10~1.87 g/cm³。

1.2 样地选择和样品采集

于 2013 年 6 月上旬进行野外采样, 选择 4.5 年生巨桉纯林、巨桉+果树、巨桉+粮食作物土壤作为研究对象, 农耕地作为对照。3 种林地模式均为退耕地, 坡度 5°~8°, 其中巨桉纯林密度为 1 600 株/hm², 林下枯枝落叶层 2 cm, 林下植被主要为菊科、禾本科、三叶草、莎草科等植物; 林粮模式中巨桉密度为 1 450 株/hm², 林下套作玉米; 林果模式中巨桉密度为 1 350 株/hm², 林下套作柑橘。在每种样地内设置 10 m×10 m 采样单元, 在每个单元内按照 S 型, 避开河边、林边、特殊位置设定 3 个样点, 挖开一个 1 m×1 m 的长方形, 深度大于 30 cm, 分 0~15 cm、15~30 cm 二层分层采样, 约 2 kg, 共采集 24 个样品; 在采集和运输过程中尽量减少对土样的扰动, 以免破坏团聚体。实验室内风干土样, 然后沿土壤结构的自然剖面掰分成小团块, 剔除石块和动植物残体备用。样品室内分析测试于 2013 年 6 月下旬完成。

1.3 土壤理化指标测定方法

团聚体湿筛法: 取土样 200 g, 将其放置在团粒分析仪上, 孔径分别为 5、2、1、0.5 和 0.25 mm, 调整桶内水面的高度, 使筛子移动到最高位置时最上一层筛子中的团聚体刚好淹没在水面以下, 待团聚体在水面下浸泡 10 min 时开动仪器, 以 30 次/min 的速度筛分 5 min。湿筛后, 将每一层筛上的团聚体分别洗入铝盒, 并烘干称量, 计算其在土样中的质量百分含量。

土壤抗蚀性测定: 采用静水崩解法^[14], 选取直径为 >5 mm 的土壤团粒体 150 粒, 进行水浸试验, 每次 30 粒, 5 次重复, 取平均值, 每隔 1 min 记录崩塌的土粒数, 连续记录 10 min, 用于计算水稳性指数。

土壤有机质采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测

定, 体积质量采用环刀法测定。

1.4 数据分析

土壤是具有分形特征的系统^[15-18], 运用分形理论建立土壤团粒结构的分形模型, 粒径 $\bar{d}_i$ 小于某一特定测量尺度的累积土粒质量 M_i 与 $\bar{d}_i$ 之间的分形关系式为:

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

式中: $d_{\max}$ 为最大土粒的粒径(mm); M_i 为粒径小于 $\bar{d}_i$ 的累积土粒质量(g); M_T 为各粒级质量的总和(g); D 为分形维数。对上式两边取对数, 即得:

$$\lg \left[\frac{M(r < \bar{d}_i)}{M_T} \right] = (3-D) \lg \left(\frac{\bar{d}_i}{d_{\max}} \right) \quad (2)$$

由(2)式可知式中各土壤颗粒的粒径及小于某一级粒径土壤质量可通过土壤的机械分析确定, 然后方便地求出土壤颗粒分布的分形维数。

团聚体稳定性一般采用平均重量直径(MWD)表示^[19]:

$$\text{MWD} = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{r_{i-1} + r_i}{2} \times m_i \quad (3)$$

式中: r_i 是第 i 个筛子孔径(mm), $r_0 = r_1$, $r_n = r_{n+1}$, m_i 为第 i 个筛子的破碎团聚体重量百分比。

水稳性指数采用如下公式计算^[7]:

$$K = \frac{\sum P_i K_i + P_j}{A} \quad (4)$$

式中: $i = 1, 2, 3, \dots, 10$; P_i 为第 i 分钟分散的土粒数量(粒); P_j 为 10 分钟内未分散的土粒数(粒); K_i 为第 i 分钟校正系数; A 为供试土粒总数(粒)。

所有测定结果用 Excel 进行整理和初步分析, 用 SPSS 进行方差分析, 多重比较采用 Duncan 法检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同模式对土壤团聚体稳定性的影响

2.1.1 不同模式对土壤团聚体分布的影响 不同粒径的团聚体在营养元素的保持、供应及转化能力等方面发挥着不同的作用^[20-21], 而不同的土地利用或植被覆盖方式对土壤团聚体在各粒径的分布含量有一定的影响^[22-23]。分别对不同模式下 0~15 cm 和 15~30 cm 土层的团聚体各粒径含量作方差分析, 上层 $F_{0.01} = 148.09$, $P = 0.00$, 下层 $F_{0.01} = 116.33$, $P = 0.00$, 说明不同模式对土壤粒径形成的影响差异极显著(表 1)。本研究中, 随粒径减小 4 种模式团聚体的

含量均呈现先增加后减少再增加的变化趋势,这与王晓娟等^[24]的研究基本一致。不同粒径中以 2 ~ 5 mm 团聚体含量最高,1 ~ 2 mm 团聚体含量次之,0.25 ~ 0.5 mm 团聚体含量最低,表明 2 ~ 5 mm 粒径水稳性团聚体在不同模式土壤结构中占主导地位。0 ~ 15 cm 土层 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量大小顺序为纯

林>林粮>林果>农耕地;15 ~ 30 cm 土层 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量大小顺序为林果>林粮>纯林>农耕地,这说明林地覆盖有利于形成较大粒径的土壤团聚体。究其原因,农耕地由于翻耕扰动的强度大于其他 3 种模式,不利于大团聚体的形成,因此大团聚体含量小于其他 3 种模式。

表 1 不同模式土壤粒径组成、分形维数、平均重量直径及水稳性指数
Table 1 Soil particle composition, fractal dimension, mean weight diameter and water stability index under different modes

土层 (cm)	林地 模式	土壤水稳性团聚体含量(g/kg)						分形维数 <i>D</i>	绝对系数 <i>R</i> ²	平均重量直径 MWD	水稳性指数 <i>K</i>
		>5mm	2 ~ 5mm	1 ~ 2mm	0.5 ~ 1mm	0.25 ~ 0.5mm	<0.25mm				
0 ~ 15	巨桉纯林	180.6	342.1	270.0	115.6	35.5	56.2	2.142	0.971	2.80	0.35
	林果	164.5	310.1	302.4	113.5	34.1	75.4	2.222	0.958	2.59	0.18
	林粮	147.8	296.8	294.3	144.5	43.3	73.4	2.208	0.969	2.44	0.14
	农耕地	167.8	349.8	237.7	120.1	34.8	90.0	2.292	0.963	2.73	0.23
15 ~ 30	巨桉纯林	197.6	347.7	235.5	110.1	37.8	71.4	2.233	0.972	2.93	0.25
	林果	170.2	320.0	304.9	95.6	47.4	62.0	2.175	0.974	2.65	0.24
	林粮	154.4	325.8	287.7	131.0	34.5	66.7	2.179	0.964	2.57	0.22
	农耕地	162.6	347.9	223.8	112.9	66.7	86.2	2.296	0.991	2.68	0.24

2.1.2 不同模式对土壤团聚体平均重量直径的影响 不同粒级团聚体对土壤养分的保持、供应等具有不同的作用。因此,团聚体大小分布状况与土壤质量关系更为密切。平均重量直径(MWD)是反映土壤团聚体大小分布状况的常用指标,其值越大表示土壤团聚体的团聚度越高、稳定性越强^[25]。

对比分析 4 种模式下土壤结构稳定性,0 ~ 15 cm 土层土壤团聚体的平均重量直径以纯林最大(2.80),其次是农耕地(2.73)和林果(2.59),林粮最小(2.44)(表 1,图 1)。纯林和农耕地平均重量直径差异不显著,与林果、林粮之间差异显著;农耕地和林果之间差异不显著,与林粮之间差异显著;林果、林粮之间差异显著(图 1)。由此可见,农耕地退耕成林地的方式对水稳性团聚体平均重量直径值具有一定的影响,这与何淑勤等^[26]的研究相一致。0 ~ 15 cm 土层团聚体稳定性纯林>农耕地>林果>林粮,这一结果一定程度上说明减少人为扰动的影响有利于土壤形成稳定的结构。尽管如此,农耕地的团聚体平均重量直径值仍大于林果与林粮。这可能主要是因为 2 ~ 5 mm 团聚体含量在不同模式土壤结构中占主导地位,而该粒径范围内,团聚体含量农耕地>林果>林粮;另一方面虽然农耕地、林果、林粮在耕作过程中均对土壤有扰动并破坏土壤结构导致稳定性降低,但林果、林粮模式中巨桉本身对地力消耗大,不利于土壤团聚体的稳定。

15 ~ 30 cm 土层土壤团聚体的平均重量直径变

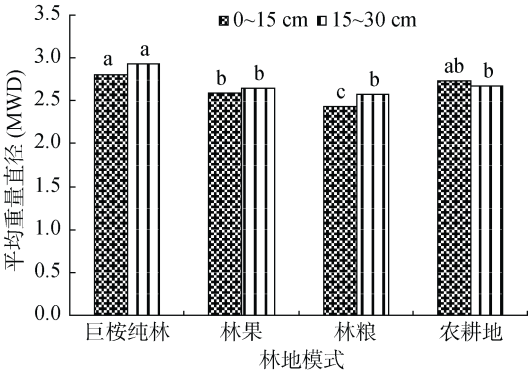


图 1 不同巨桉人工林对土壤团聚体平均重量直径(MWD)的影响

Fig. 1 Impacts of different *Eucalyptus grandis* plantations on soil aggregate mean weight diameter

化顺序与 0 ~ 15 cm 相同,以纯林最大(2.93),其次是农耕地(2.68)和林果(2.65),林粮最小(2.57);纯林与其他 3 种模式平均重量直径差异显著,其他模式之间差异不显著。从垂直方向来看,纯林、林果、林粮 3 种模式随着土层厚度的增加,平均重量直径值变大,这表明在林地模式下随着土层深度增加人为扰动影响减小,土体结构趋于稳定。而农耕地平均重量直径值减小可能的原因在于耕地增施有机肥主要在表层土壤,因此,农耕地下层土壤结构稳定性小于表层。

2.1.3 不同模式对土壤团聚体水稳性指数的影响 水稳性指数(*K*)是反映土壤团聚体在静水中分散程度的综合评价指标,用以比较土壤可蚀性的大小,水稳性指数越高,土壤团聚体越稳定,可蚀性越小^[8,14]。

从图 2 的比较中可以看出,4 种模式下土壤整体的水稳性指数都较低($K \leq 0.35$),4 种模式土壤水稳性指数总体表现为纯林>农耕地>林果>林粮。0~15 cm 土层 4 种模式之间土壤水稳性指数差异显著,15~30 cm 土层土壤水稳性指数各模式之间差异不显著。在垂直方向上,除纯林水稳性指数减小,其他模式均增加,说明人类活动的强烈程度直接影响着巨桉人工林土壤的抗蚀性。水稳性指数是反映土壤团聚体在静水中的分散程度,水稳性指数越高,土壤团聚体越稳定,可蚀性越小;巨桉纯林受人为影响较林果、林粮小,土壤结构更易于形成较大团聚体,土壤团聚体越稳定,土壤的抗蚀能力强于林果和林粮。

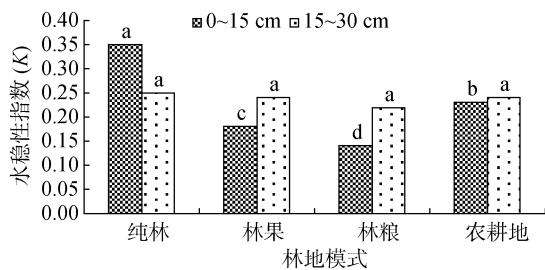


图 2 不同巨桉人工林对土壤团聚体水稳性指数的影响
Fig. 2 Impacts of different *Eucalyptus grandis* plantations on soil aggregate water stability index

2.2 不同模式土壤颗粒分形特征分析

2.2.1 不同巨桉人工林对土壤团聚体分形维数的影响 土壤被认为是具有分形特征的多孔介质,因为它的结构形状具有统计意义上的自相似性质。土壤结构是土壤重要的物理性质,其状况的优劣影响土壤的通透性、抗蚀性以及保水供肥能力。已有研究表明,黏粒含量越高、质地越细,分形维数越高^[3-8];团粒结构越好、水稳性团聚体及水稳性大团聚体含量越高,结构越稳定,分形维数越小。

从图 3 的比较中可以看出,4 种模式下土壤团聚体分形维数介于 2.142~2.296。在 0~15 cm 土层分形维数表现为农耕地>林果>林粮>纯林,纯林与农耕地之间差异显著,林果、林粮、农耕地之间差异不显著;纯林和农耕地之间有显著差异,说明耕地在耕作

过程中人为扰动较大,破坏了土壤的大团聚体结构,土壤质地变细,因而分形维数显著大于纯林;另一方面,纯林在种植后人为扰动减少加之枯枝落叶的分解增加了土壤有机质的含量,有利于大团聚体的形成,因此分形维数显著小于农耕地。在 15~30 cm 土层分形维数表现为耕地>纯林>林粮>林果,4 种模式之间差异不显著。在垂直方向上,纯林、农耕地分形维数增大;林果、林粮减小。结合本研究区耕作特点来说,土壤的扰动主要发生在 0~15 cm 的表土层,随着土层厚度的增加人为扰动减小,土壤结构趋于稳定,因此下层土壤分形维数差异不大;纯林、农耕地分形维数在垂直方向上增大,可能的原因在于纯林枯枝落叶的分解和农耕地在耕作过程大量增施有机肥,从而有机质增加,利于表层土壤大团聚体形成,导致分形维数表层小于下层。

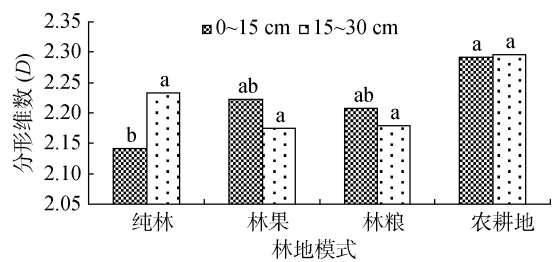


图 3 不同巨桉人工林对土壤团聚体分形维数的影响
Fig. 3 Impacts of different *Eucalyptus grandis* plantations on soil aggregate fractal dimension

2.2.2 土壤团聚体分形维数与抗蚀性分析 土壤团聚体分形维数与土壤颗粒含量组成有关,土壤颗粒是构成土壤结构的基础物质,一定程度上会影响表征土壤结构状况的指标,如土壤体积质量、土壤孔隙度等,而土壤质地(在局部范围内影响土壤有机质的含量)。为更加深入认识土壤抗蚀性与土壤颗粒分形维数之间的关系,以及探讨用土壤粒径分布分形维数表征土壤抗蚀性的潜力,本文将不同林地模式的有机质含量(x_1)、土壤体积质量(x_2)、>0.25 mm 的大团聚体含量(x_3)、<0.25 mm 微团聚体含量(x_4)、平均重量直径(x_5)、土壤水稳性指数(x_6)与团聚体分形维数(x_7)作相关分析,结果见表 2。

表 2 抗蚀性指标与土壤团聚体分维值相关性分析

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
x_1	1						
x_2	-0.697	1					
x_3	0.723	-0.739*	1				
x_4	-0.727	0.739*	-1.000	1			
x_5	-0.022	0.331	0.348	-0.349	1		
x_6	0.594	-0.346	0.853*	-0.855*	0.738	1	
x_7	-0.840*	0.903**	-0.926**	0.926**	-0.008	-0.670	1

注:**表示相关性达到 $P < 0.01$ 显著水平,*表示相关性达到 $P < 0.05$ 显著水平。

由表2可知,分形维数与土壤有机质含量、大团聚体含量、土壤平均重量直径、水稳性指数呈负相关, r 值分别为 -0.840^* , -0.926^{**} , -0.008 , -0.670 ;与土壤体积质量、微团聚体含量呈正相关, r 值分别为 0.903^{**} , 0.926^{**} 。

以上分析表明,土壤团聚体分形维数增大,土壤有机质含量、大团聚体含量、土壤平均重量直径、水稳性指数将呈减小趋势,而土壤的体积质量和微团聚体含量呈增大趋势。土壤的体积质量和微团聚体含量的上升表征土壤物理性质的退化及土壤稳定性的恶化,因而土壤抗侵蚀的能力降低;土壤有机质含量、大团聚体含量、土壤平均重量直径、水稳性指数减少表征土壤肥力水平和抗蚀能力的下降。可见,土壤团聚体的分形维数值在某种程度上可以表征土壤的抗蚀能力和肥力变化。换言之,土壤分形维数越大,土壤肥力水平越低,土壤抗蚀力越弱。本研究中, $0\sim 15\text{ cm}$ 土层分形维数表现为耕地>林果>林粮>纯林; $15\sim 30\text{ cm}$ 土层分形维数表现为耕地>纯林>林粮>林果;说明耕地在退耕成林地后,可减小土壤的分形维数值,有利于土壤抗蚀力的提高。

3 结论与讨论

本研究中,不同模式对土壤粒径形成的影响差异极显著;随粒径减小4种模式团聚体的含量均呈现先增加后减少再增加的变化趋势;不同模式均以 $2\sim 5\text{ mm}$ 粒径水稳性团聚体在土壤结构中占主导地位; $0\sim 15\text{ cm}$ 土层和 $15\sim 30\text{ cm}$ 土层 $>0.25\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量林地>农耕地,表明林地覆盖有利于形成较大粒径的土壤团聚体,农耕地人为扰动因素大,不利于大团聚体的形成。在 $0\sim 15\text{ cm}$ 土层,同一粒径不同模式的团聚体含量差异较大;随着粒径的减小,不同模式相同粒径之间团聚体含量的差异性逐渐减小,表明不同模式对团聚体的影响主要集中表现在对较大团聚体形成的影响上。

对比分析4种模式下土壤结构稳定性,纯林>农耕地>林果>林粮。 $0\sim 15\text{ cm}$ 土层土壤团聚体的平均重量直径值表现为纯林和农耕地平均重量直径差异不显著,与林果、林粮之间差异显著;农耕地和林果之间差异不显著,与林粮之间差异显著;林果、林粮之间差异显著; $15\sim 30\text{ cm}$ 土层表现为纯林与其他3种模式平均重量直径差异显著,其他模式之间差异不显著;从垂直方向来看,除农耕地外,其他模式随着土层厚度的增加,平均重量直径值变大。研究结果说明,不同程度的人为扰动因素对不同模式的土壤结构

稳定性具有重要影响作用,农耕地、林果、林粮都存在翻耕和施肥的外界影响因素,因此其结构的稳定性不如纯林好。

水稳性指数为土壤团聚体在静水中分散程度的综合评价指标,水稳性指数越高,土壤团聚体越稳定,可蚀性越小。本研究4种模式土壤水稳性指数总体表现为纯林>农耕地>林果>林粮。 $0\sim 15\text{ cm}$ 土层4种模式之间土壤水稳性指数差异显著; $15\sim 30\text{ cm}$ 土层土壤水稳性指数各模式之间差异不显著;在垂直方向上,除纯林水稳性指数减小,其他模式水稳性指数值均增加,说明人类活动的强烈程度直接影响着巨桉人工林土壤的抗蚀性。

本研究4种模式土壤分形维数介于 $2.142\sim 2.296$ 。在 $0\sim 15\text{ cm}$ 土层分形维数表现为耕地>林果>林粮>纯林,纯林和农耕地之间差异显著,其他3种模式之间差异不显著;在 $15\sim 30\text{ cm}$ 土层分形维数表现为耕地>纯林>林粮>林果,4种模式之间差异不显著;研究结果说明耕地退耕成巨桉人工林后有利于土壤分形维数值的减小。

土壤具有分形特性系统,其分形维数可以在一定程度上反映土壤质地、有机质含量、水稳定性、均一程度及肥力特征及其抗侵蚀的能力,并揭示其变化规律性。研究表明土壤团粒分形维数与其抗蚀性关系密切,即团粒结构的分形维数越小,土壤抗侵蚀的能力越强^[13-14]。本研究中,分形维数与土壤有机质含量、大团聚体含量呈显著和极显著负相关;与土壤平均重量直径、水稳性指数有负相关趋势;与土壤体积质量、微团聚体含量呈极显著正相关。土壤的体积质量和微团聚体含量的减小或增大表征土壤物理性质的改善或退化,土壤有机质含量、大团聚体含量、土壤平均重量直径、水稳性指数减小或增大表征土壤肥力水平和抗蚀能力的上升或下降;上述土壤理化指标的变化表征了土壤抗侵蚀能力的上升或下降;因此,团聚体的分维值能反映土壤性质的变化,通过对土壤分形维数特征的研究可以定量揭示不同巨桉模式下土壤抗侵蚀的能力。

参考文献:

- [1] 朱冰冰,李占斌,李鹏,薛蕊.黄丘区植被恢复过程中土壤团粒分形特征及抗蚀性演变[J].西安理工大学学报,2009,25(4):377-382
- [2] Dan R. Particle-size and analytical considerations in the mineral magnetic interpretation of soil loss from cultivated landscapes[J]. Catena, 2004, 57(2): 189-207
- [3] 周萍,刘国彬,侯喜禄.黄土丘陵区不同土地利用方式土壤团粒结构分形特征[J].中国水土保持科学,2008,6(2):75-82

- [4] 吴承桢, 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
- [5] 王小丹, 刘刚才, 刘淑珍, 男达瓦. 西藏高原干旱半干旱区土壤分形特征及其应用[J]. 山地学报, 2003, 21(s1): 58-63
- [6] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分型特征[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 47-51
- [7] 张超, 刘国彬, 薛蕙, 余娜. 黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林土壤抗蚀性演变特征[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(2): 1-7
- [8] 胡宁, 傅瓦利, 马志敏. 岩溶石漠化山地不同退耕模式土壤抗蚀性及其与结构体分形关系研究[J]. 中国岩溶, 2008, 27(2): 115-121
- [9] 吕圣桥, 高鹏, 耿广坡, 张杰, 夏江宝. 黄河三角洲滩地土壤颗粒分形特征及其与土壤有机质的关系[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 134-138
- [10] 郑淑霞, 马玉林, 王占林. 西宁周边山地主要人工林群落土壤团粒分形特征与土壤养分及抗蚀性分析[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(4): 87-90
- [11] 徐柳斌, 陆梅, 向仕敏. 滇西山地区桉树林土壤物理性质研究[J]. 山东林业科技, 2007, 173(6): 41-43
- [12] 王旭琴, 戴伟, 夏良放. 亚热带不同人工林土壤理化性质的研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 56-59
- [13] 石薇, 龚伟, 胡庭兴. 自然林及坡耕地转变为巨桉林后土壤抗蚀性变化[J]. 四川林业科技, 2011, 32(3): 18-22
- [14] 赵洋毅, 周运超, 段旭. 黔中石灰岩喀斯特表层土壤结构性与土壤抗蚀抗冲性[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 18-21
- [15] Turcotte DL. Fractal fragmentation[J]. Geography Res., 1986, 91(12): 1 921-1 926
- [16] Rieu M, Sposito G. Soil fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties[J]. Application Soil Sci., 1991, 55: 1 231-1 238
- [17] 张治伟, 傅瓦利, 朱章雄, 张洪, 文志林, 李芹. 石灰岩区土壤分形特征及其与土壤性质的关系[J]. 土壤, 2009, 41(1): 90-96
- [18] 慈恩, 杨林章, 程月琴, 马力. 不同耕作年限水稻土土壤颗粒的体积分形特征研究[J]. 土壤, 2009, 41(3): 396-401
- [19] 刘恩科, 赵秉强, 梅旭荣, 李秀英, 李娟. 不同施肥处理对土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 1 035-1 041
- [20] 陈恩凤, 周礼恺. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 49-53
- [21] Dexter AR. Advances in characterization of soil structure[J]. Soil & Tillage Research, 1988, 11: 199-238
- [22] 毛艳玲, 杨玉盛, 邢世和, 陈光水, 崔纪超. 土地利用方式对土壤水稳性团聚体有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 132-137
- [23] 罗友进, 赵光, 高明, 魏朝富, 赵丽荣. 不同植被覆盖对土壤有机碳矿化及团聚体碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 117-122
- [24] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 韩清芳, 丁瑞霞, 杨保平, 崔荣美. 旱地施有机肥对土壤有机质和水稳性团聚体的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 159-165
- [25] 杨莹莹, 魏兆猛, 黄丽, 陈家宙, 蔡崇法. 不同修复措施下红壤水稳性团聚体中有机质分布特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 154-158
- [26] 何淑勤, 郑子成, 宫渊波. 不同退耕模式下土壤水稳性团聚体及其有机碳分布特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 229-233

Study on Soil Fractal Features and Anti-erodibility of Soil Water-stable Aggregates Under Different *Eucalyptus grandis* Plantations Styles

XIE Xian-jian, HAN Guang-zhong*

(School of Geography & Resource Science, Neijiang Normal University, Neijiang, Sichuan 641000, China)

Abstract: In order to explore the impacts of eco-environment changes on the soil structure and anti-erodibility in the conversion of farmlands to *Eucalyptus grandis* plantations, soil samples of 4.5-year *Eucalyptus grandis* plantations such as pure *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis*+grain crops, *Eucalyptus grandis*+fruits were chosen as researching materials and farmlands as comparison, the fractal characteristics of soil water-stable aggregates and the relationship among soil nutrient, soil stability and anti-erodibility were carried out based on the field investigation and lab analysis. The results showed that the different patterns had different fractal characteristics, the fractal dimension was between 2.142 to 2.296. In the soil depth of 0-15 cm, the order of fractal dimension was farmland > *Eucalyptus grandis*+fruits > *Eucalyptus grandis*+grain crops > pure *Eucalyptus grandis*. There was a significant difference between the farmland and pure *Eucalyptus grandis*, instead of the other 3 types. In the soil depth of 15-30 cm, the order of fractal dimension was farmland > pure *Eucalyptus grandis* > *Eucalyptus grandis*+grain crops > *Eucalyptus grandis*+fruits, and there was no significant difference among 4 types. The fractal dimension had a significant negative linear correlation with organic matter, big soil water-stable aggregate, and a negative linear correlation with mean weight diameter of water stable aggregate and water stable index. On the contrary, it had a significant positive linear correlation with soil bulk density and micro-aggregate. Furthermore, the smaller the fractal dimension was, the higher the content of organic matter and the big soil water-stable aggregate, the bigger the mean weight diameter of water stable aggregate and the water stable index, the lower the soil bulk density and the micro-aggregate, and the stronger the anti-erodibility of soil water-stable aggregate. In the other word, the fractal dimension can be used as an important parameter for characterizing the soil structures and properties, also can be used as an indicator of soil anti-erodibility of the different *Eucalyptus grandis* plantations.

Key words: *Eucalyptus grandis*, Soil water-stable aggregate, Soil anti-erodibility, Fractal dimension