

文章编号: 1008-2786-(2016)3-290-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000130

## 蒋家沟 5 种植被土壤分形特征与养分关系

陈爱民<sup>1</sup> 邓浩俊<sup>1</sup> 严思维<sup>1</sup> 林勇明<sup>1,2\*</sup> 张广帅<sup>1</sup> 杜 锐<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省高校森林生态系统过程与经营重点实验室, 福建 福州 350002)

**摘 要:** 运用分形模型, 对云南东川蒋家沟不同植被类型土壤颗粒的分形特征及其与土壤养分的相关性进行分析。结果表明: 1. 5 种植被类型土壤的分形维数不同, 介于 2.47~2.59, 大小顺序依次为: 花生 > 石榴 > 新银合欢 > 草地 > 坡柳, 花生和石榴所代表的坡耕地的分形维数显著大于新银合欢、草地和坡柳所代表的植被恢复用地。2. 分形维数与粘粒(<0.002 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)的含量呈极显著的正相关关系, 坡耕地的粘粒、粉粒含量高于植被恢复用地。分形维数与土壤的有机质、全氮、水解氮含量呈显著负相关关系, 与有效磷含量呈显著的正相关关系。植被恢复用地的有机质、全氮、水解氮含量均高于坡耕地, 新银合欢的有机质、全氮、水解氮含量低于坡柳和草地, 花生、新银合欢和石榴的有效磷含量高于坡柳和草地。3. 分形维数能够反映土壤的颗粒粒径分布及养分状况, 可作为评价蒋家沟土壤结构稳定性与土壤肥力的一个重要指标。因此, 蒋家沟应减少耕作, 加强植被恢复, 植被类型以改善土壤结构、提高土壤肥力效果较佳的草本和灌木为主。

**关键词:** 土壤颗粒; 分形维数; 植被恢复

中图分类号: P642.23

文献标志码: A

分形维数作为分形理论及其应用的重要参数, 能够在深层次上描述和分析自然界普遍存在的不规则现象<sup>[1]</sup>。土壤是由不同颗粒组合而成, 且具有不规则形状和自相似性结构的多孔介质, 是具有一定分形特征的系统<sup>[2-4]</sup>。杨培岭在 katz 法的基础上, 将原有的用粒径数量分布描述土壤分形特征改进为用质量分布描述土壤分形特征, 使得分形维数的计算更加精确、简单。近年来, 运用分形模型计算土壤颗粒、团聚体的分形维数来表征土壤质地和结构的组成及其均匀程度, 已成为定量描述土壤结构和土壤肥力特征的新方法<sup>[5-6]</sup>。分形维数不仅能够反映土壤颗粒分布对土壤结构稳定性的影响, 也能客观地反映土壤肥力状况。通过了解土壤粒径分布、粒级含量和养分含量状况, 对提高土壤结构的稳定性、抗

蚀性和土壤肥力有着重要的作用<sup>[7-9]</sup>。

目前, 关于土壤颗粒分形的研究主要集中于灌溉农耕地和经济林区, 侧重于分析不同经营模式、不同土壤类型的土壤分形特征<sup>[10-12]</sup>。而对脆弱生态环境下土壤分形维数的研究较少, 相关研究也只针对沙漠区、江河源区和黄土高原区的草本、灌木或林地等单种植被类型<sup>[9-10, 13]</sup>。蒋家沟生态环境脆弱, 近年来, 对该地区植被恢复和水土保持的研究多集中于土壤侵蚀、土壤肥力质量评价、养分流失、土地退化等方面<sup>[14-16]</sup>, 有关分形维数的研究也只限于小尺度的单种植被类型和大尺度范围内的多种土地利用类型<sup>[1, 17-18]</sup>。缺乏对泥石流频发区不同植被类型的土壤结构与肥力特征的综合认识, 不利于指导当地植被恢复、土地利用方式优化等工作。因此, 本文

收稿日期(Received date): 2014-12-20; 改回日期(Accepted): 2015-05-30。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41201564); 福建农林大学林学院青年科研基金项目(6112C039Q)。[National Natural Science Foundation of China (41201564); the Youth Science and Technology Foundation of Faculty of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University (6112C039Q).]

作者简介(Biography): 陈爱民(1991-), 男, 安徽六安人, 硕士研究生, 主要研究方向恢复生态学。[Chen Aimin, male, born in 1991, Luan of Anhui province, MS. C candidate, mainly engaged in restoration ecology.] E-mail: 993407091@qq.com

\* 通信作者(Corresponding author): 林勇明(1982-), 男, 福建福安人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 恢复生态学。[Lin Yongming, male, born in 1982, Fuan of Fujian province, Ph. D, mainly interested in restoration ecology.] E-mail: monkey1422@163.com

拟通过对蒋家沟不同植被类型的分形维数进行研究,分析不同植被类型的粒径分布、粒级含量与土壤养分状况,探讨分形维数与粒径分布、粒级含量、养分含量的关系,为描述泥石流频发区不同植被类型的土壤结构状况和肥力测定提供新方法,从而为干热河谷泥石流频发区植被恢复和水土保持工作提供一定的理论依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于云南省昆明市东川区境内的蒋家沟流域,地理坐标为 $103^{\circ}06' \sim 103^{\circ}13'E$ , $26^{\circ}13' \sim 26^{\circ}17'N$ 。蒋家沟属于金沙江一级支流小江流域,地貌类型为侵蚀中山,海拔为 $1\,042 \sim 3\,269\text{ m}$ ;干湿季节明显,5—10月为湿季,降水量占全年降水量的88%,其他月份为干季;海拔低于 $1\,600\text{ m}$ 区域为典型的干热河谷地带<sup>[19]</sup>。该区域多年平均气温 $>20^{\circ}\text{C}$ ,最高气温达到 $40.9^{\circ}\text{C}$ ,最低温度为 $-6.2^{\circ}\text{C}$ ;多年平均降水量为 $693\text{ mm}$ ,平均蒸发量为 $3\,638\text{ mm}$ ,蒸发量是降水量的5倍<sup>[20]</sup>。该流域老构造错综复杂,新构造活动强烈,加上人为不合理利用,使得泥石流灾害频繁发生,年均发生15次左右<sup>[1,17]</sup>。流域中下游主要植被类型有坡耕地、林地、草地、灌丛地、裸地等。坡耕地主要种植花生(*Arachis hypogaea*)、玉米(*Zea mays*)、石榴(*Punica granatum*)等,林地主要以新银合欢(*Leucaena leucocephala*)为主,并有少量的桉树(*Eucalyptus robusta*)<sup>[21]</sup>;灌丛地主要为坡柳(*Dodonaea viscosa*)、苦刺(*Sophora davidii*);草地有扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、拟金茅(*Eulaliopsis binata*)、黄背草(*Themeda japonica*)、小叶荩草(*Arthraxon lancifolius*)、多花杭子梢(*Campylotropis polyantha*)等。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地设置与土壤取样

根据蒋家沟流域地貌条件、植被类型、土地利用状况,选择中国科学院东川泥石流观测站西侧具有多种植被类型的堆积坡面作为研究单元。研究区坡面坡度约为 $30^{\circ}$ ,坡向为北东方向,土壤为初育土。在该坡面选取新银合欢、坡柳、草地、石榴和花生5种植被类型进行样地调查和土壤取样(表1),由于坡柳和草地样地成片分布且较为接近,所以二者的海拔相差较小。5种植被类型除草地以外,其他均

为人工种植。经调查,坡面内新银合欢年龄组成多样且分布较分散,其中6a生新银合欢林分布较为集中,面积较大,具有代表性,其平均胸径约为 $3.24\text{ cm}$ 、平均密度为 $5\,300\text{ 株}/\text{hm}^2$ ,样地总面积为 $30\text{ m} \times 20\text{ m}$ ,本研究在样地内划分3个 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的样方进行调查取样。选取的坡柳地为5a生、平均高度约为 $1.2\text{ m}$ ,样地面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ ,并从中划分3个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的样方,采集土样。选取的草地的主要植被为扭黄茅、拟金茅和铁扫帚(*Clematis hexapetala*),草地的样地面积为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ,从中划分3个 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的样方,采集土样。该坡常年种植石榴和花生,其中石榴的种植面积约为 $600\text{ m}^2$ ,为5a生,平均高度约为 $3.2\text{ m}$ ,平均冠幅约为 $1.65\text{ m} \times 1.55\text{ m}$ ;花生地的种植面积约为 $300\text{ m}^2$ ,耕作类型为轮作。石榴的样地设置为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ ,从中划分3个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的样方,采集土样;花生的样地设置为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ,从中划分3个 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的样方,采集土样。在每种植被类型的样方内,按“梅花”型选取5个点,每个点取表层土( $0 \sim 20\text{ cm}$ ),然后均匀混合。将土样放在室内风干,过 $2\text{ mm}$ 筛,除去细根,以备实验所需。

表1 不同植被类型标准地概况  
Tab.1 The standard plot in different land use types

植被类型	N	E	海拔/m	坡度/ $^{\circ}$	坡向
新银合欢	$103^{\circ}8'3.3''$	$26^{\circ}14'33.8''$	1489.23	26.3	NE
坡柳	$103^{\circ}8'4.5''$	$26^{\circ}14'33.7''$	1467.90	32.3	NE
草地	$103^{\circ}8'3.9''$	$26^{\circ}14'34.2''$	1468.15	35.0	NE
石榴	$103^{\circ}8'6.7''$	$26^{\circ}14'34.9''$	1428.80	26.7	NE
花生	$103^{\circ}8'6.5''$	$26^{\circ}14'36.2''$	1418.60	24.2	NE

#### 1.2.2 土样测定与分析

对土壤颗粒粒径质量分析,采用英国马尔文MS2000激光粒度仪进行分析测定;采用重铬酸钾氧化-外加热法测定有机质含量;对全氮含量的测定,采用半微量凯氏法;采用碱解-扩散法测定水解氮含量;对全磷含量的测定,采用NaOH碱熔-钼锑抗比色法;采用盐酸-浸提法测定有效磷的含量。每个土壤混合样品重复实验3次,然后取平均值。

#### 1.2.3 土壤颗粒分形维数计算

本研究采用的是Tyler<sup>[22]</sup>、杨培岭等改进和推广的分形模型—用土壤粒径分布来表征土壤的分形特征。分形模型为:
$$\frac{M(r < \bar{d}_i)}{M_0} = \left( \frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}} \right)^{3-D}$$
,分别对

两边求对数得  $\lg \left[ \frac{M(r < \bar{d}_i)}{M_0} \right] = (3 - D) \lg \left[ \frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}} \right]$ , 即

$$D = 3 - \lg \left[ \frac{M(r < \bar{d}_i)}{M_0} \right] / \lg \left[ \frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}} \right]$$

式中:  $\bar{d}_i$  为两筛分粒径  $d_i$  与  $d_{i+1}$  间粒径的平均值 ( $d_i > d_{i+1}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ );  $\bar{d}_{\max}$  为最大粒径土粒的平均直径;  $M(r < \bar{d}_i)$  表示土壤粒径小于  $d_i$  的累积质量;  $M_0$  为土壤粒径的总质量。以  $\lg \left[ \frac{M(r < \bar{d}_i)}{M_0} \right]$  为纵坐标,  $\lg \left[ \frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}} \right]$  为横坐标, 求出斜率  $K$ , 得出  $D = 3 - K$ ,  $D$  为土壤颗粒的分形维数。

#### 1.2.4 数据分析处理

运用 SPSS19.0 多元统计分析软件和 Excel 2010 对实验数据进行分析, 表中数据均为平均值  $\pm$  标准差, 采用单因子方差分析 (ANOVA) 和 LSD 多重比较对不同植被类型各变量的显著性和各变量间差异的显著性进行检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植被类型土壤颗粒的分形维数

运用分形模型和回归分析法, 对 5 种植被类型的土壤颗粒进行分析, 计算出其分形维数, 介于 2.47 ~ 2.59 (表 2)。其大小依次为: 花生 > 石榴 > 新银合欢林 > 草地 > 坡柳, 其中花生与新银合欢林、草、坡柳的分形维数的差异极显著 ( $p < 0.01$ ), 而石榴、新银合欢林的分形维数均与草地、坡柳呈极显著差异 ( $p < 0.01$ ), 花生的分形维数最大, 坡柳最小。花生和石榴属于坡耕地, 新银合欢林、坡柳、草地属于植被恢复用地。因此, 坡耕地的分形维数大于植

被恢复用地, 在植被恢复用地中, 新银合欢林的分形维数大于坡柳和草地。

### 2.2 分形维数与土壤粒径分布的关系

如表 2 所示, 0.002 ~ 0.05 mm 的土壤颗粒粒径含量所占比重最大, 介于 36.05% ~ 44.26%, 平均为 40.50%; 0.5 ~ 1.0 mm 的土壤颗粒粒径含量所占比重最小, 介于 0.38% ~ 0.71%, 平均仅为 0.53%。因此, 各种植被类型的土壤颗粒组成以 0.002 ~ 0.05 mm 的粉粒占优势。不同植被类型的土壤的不同颗粒粒径含量所占的比重有所不同。坡柳、草地和新银合欢林的粘粒 ( $< 0.002$  mm) 和粉粒 (0.002 ~ 0.05 mm) 含量低于花生和石榴; 坡柳、草地和新银合欢林的 0.05 ~ 0.1 mm 和 0.1 ~ 0.25 mm 粒径含量高于花生和石榴。

对分形维数与土壤粒径分布进行回归分析, 发现分形维数与  $< 0.002$  mm、0.002 ~ 0.05 mm 粒径的土壤颗粒含量呈极显著正相关关系, 其相关系数分别为 0.994、0.841; 分形维数与 0.05 ~ 0.1 mm、0.1 ~ 0.25 mm 粒径的土壤颗粒含量呈极显著负相关关系, 其相关系数分别为 -0.953、-0.899; 分形维数与 0.25 ~ 0.5 mm、0.5 ~ 1.0 mm 粒径的土壤颗粒含量无显著相关性。由此得出, 土壤颗粒中  $< 0.002$  mm、0.002 ~ 0.05 mm 的粒径含量越高, 分形维数越大; 0.05 ~ 0.1 mm、0.1 ~ 0.25 mm 粒径含量越高, 分形维数越小 (表 3)。

### 2.3 分形维数与土壤养分的关系

如表 4 所示, 5 种植被类型土壤的有机质、全氮、水解氮、全磷、有效磷含量不同, 差异较大。其中草地的有机质和水解氮含量最高, 花生最低; 坡柳的全氮含量最高, 花生最低; 石榴的全磷和有效磷含量

表 2 不同植被类型的土壤粒径分布及其分形维数

Tab. 2 The distribution of soil particle size and fractal dimension under different land use types

植被类型	土壤颗粒粒径组成 / %						分形维数	相关系数 $R$
	粘粒	粉粒	沙粒					
	<0.002 mm	0.002 ~0.05 mm	0.05 ~0.1 mm	0.1 ~0.25 mm	0.25 ~0.5 mm	0.5 ~1.0 mm		
新银合欢	6.69 ± 1.82b	40.68 ± 6.15ab	12.51 ± 2.08a	20.22 ± 2.79a	19.29 ± 4.74a	0.61 ± 0.17ab	2.55 ± 0.05b	0.972 ± 0.01 **
坡柳	4.18 ± 0.15a	37.44 ± 1.25a	16.11 ± 0.91b	26.88 ± 2.39b	15.00 ± 3.89a	0.38 ± 0.16a	2.47 ± 0.00a	0.970 ± 0.00 **
草地	4.45 ± 0.25a	36.05 ± 2.24a	16.17 ± 0.12b	26.04 ± 1.38b	16.83 ± 1.87a	0.47 ± 0.10ab	2.48 ± 0.01a	0.973 ± 0.00 **
石榴	7.46 ± 0.65bc	44.09 ± 1.66b	11.79 ± 1.00a	16.70 ± 1.28a	19.26 ± 0.70a	0.71 ± 0.08b	2.57 ± 0.02bc	0.968 ± 0.00 **
花生	8.66 ± 0.94c	44.26 ± 3.68b	11.44 ± 0.56a	18.92 ± 0.93a	16.23 ± 4.33a	0.49 ± 0.19ab	2.59 ± 0.02c	0.968 ± 0.01 **

同列小写字母表示不同植被类型的差异显著 ( $p < 0.05$ )。

Lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

表 3 分形维数与土壤粒径分布的线性关系  
Tab.3 Linear relation between fractal dimension and the  
distribution of soil particle size

粒径分布/mm	拟合回归方程	R
<0.002	$D=0.0277d+2.3558$	0.994**
0.002~0.05	$D=0.0101d+2.1194$	0.841**
0.05~0.1	$D=-0.022d+2.8301$	-0.953**
0.1~0.25	$D=-0.0111d+2.7715$	-0.899**
0.25~0.5	$D=0.002d+2.4957$	0.124
0.5~1.0	$D=0.1082d+2.4727$	0.336

\*\*代表  $p<0.01$  表示相关性为极显著 \*\* indicates significance at 0.01 level.

均为最高,全磷含量最低的是花生,有效磷含量最低的是坡柳;草地、坡柳和新银合欢林所代表的植被恢复用地的有机质、全氮、水解氮含量高于花生和石榴所代表的坡耕地。在植被恢复用地中,坡柳和草地的有机质、全氮、水解氮含量要高于新银合欢林。而石榴的全磷和有效磷含量高于其他 4 种类型,这可能与当地群众施肥有关。同为坡耕地的花生与石榴相比,虽有施肥,但有效磷含量未见显著升高,这可能是花生地耕作频繁、磷分损失较快所致。上述结果表明植被恢复用地的土壤养分状况优于坡耕地;在植被恢复用地中,坡柳和草地的土壤养分状况优于新银合欢林。

运用回归分析法分析分形维数与土壤养分含量的关系,结果表明(表 5):分形维数与土壤有机质、全氮、水解氮含量呈极显著负相关关系,相关系数分别为 -0.920、-0.919、-0.810。分形维数与土壤的有效磷含量呈显著的正相关关系,相关系数为 0.516,分形维数与全磷含量相关性不显著。因此,分形维数可以反映土壤中有机质、全氮、水解氮、有效磷等养分状况。

3 结论与讨论

1. 蒋家沟不同植被类型的土壤颗粒的粒径分布有所不同,是导致分形特征产生差异的主要原因。5 种植被类型的分形维数在 2.47~2.59,变化幅度较小,但差异性显著,这与王富<sup>[23]</sup>等研究结果基本一致。分形维数的大小顺序依次为:花生>石榴>新银合欢林>草地>坡柳。花生和石榴代表的坡耕地分形维数大于新银合欢林、草地和坡柳代表的植被恢复用地,而植被恢复用地中,新银合欢林的分形维数高于草地和坡柳。

2. 土壤结构即土壤不同颗粒的组合,其稳定性受颗粒大小分布的影响。黄冠华等<sup>[24]</sup>研究表明土壤粘粒(<0.002 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)含量越高,土壤质地越粘重,通透性越差,分形维数也表现为较高,结构稳定性较差。本研究发现,不同植被类型的土壤颗粒粒径含量不同,特别是花生和石榴的土壤粘粒(<0.002 mm)和粉粒(0.002~0.05 mm)含量明显高于植被恢复用地;同时,在植被恢复用地中,新银合欢林的粘粒(<0.002 mm)和粉粒(0.002~0.05 mm)含量高于坡柳和草地,根据分形维数与土壤颗粒粒径分布的线性关系,<0.002 mm、0.002~0.05 mm 土壤颗粒含量与分形维数呈极显著正相关关系,说明坡耕地相对于植被恢复用地,土壤粘粒、粉粒含量较高,通透性较差,土壤结构稳定性也较差。王富等、黄冠华等、吴承祯等<sup>[21-25]</sup>通过研究一致认为单一粒径的集中程度对分形维数具有重要影响,土壤团粒结构粒径分布的分形维数越小,则土壤具有良好的结构与稳定性。花生和石榴的土壤颗粒主要集中于粉粒(0.002~0.05 mm)且其含量所占比重相对于草地、坡柳和新银合欢林更高,从而导致其分形维数较大。笔者由此推断,坡

表 4 不同植被类型土壤养分含量  
Tab.4 Contents of soil nutrient under different land use types

植被类型	有机质 g/kg	全氮 g/kg	水解氮 mg/kg	全磷 g/kg	有效磷 mg/kg
新银合欢	70.51±12.43b	2.82±0.76a	103.80±52.97ab	0.81±0.06b	66.68±34.71ab
坡柳	91.05±6.76c	4.51±0.22b	157.24±48.36b	0.82±0.04b	44.75±15.13a
草地	95.84±11.38c	4.06±0.59b	162.09±29.09b	0.83±0.04b	55.08±4.40a
石榴	62.83±2.58ab	2.52±0.22a	94.41±6.92ab	0.96±0.04c	101.96±18.18b
花生	49.27±4.31a	2.24±0.19a	86.32±7.29a	0.69±0.09a	64.77±26.93ab

表5 分形维数与土壤养分含量的线性关系

Tab.5 Linear relation between fractal dimension and contents of soil nutrient

土壤养分含量	拟合回归方程	R
有机质	$D = -0.0026X_1 + 2.7234$	-0.920**
全 N	$D = -0.0502X_2 + 2.6922$	-0.919**
水解 N	$D = -0.001X_3 + 2.6507$	-0.810**
全 P	$D = -0.0548X_4 + 2.5752$	-0.100
有效 P	$D = 0.0011X_5 + 2.4599$	0.516*

\*\* 代表  $p < 0.01$  表示相关性极显著; \* 代表  $p < 0.05$  表示相关性显著

\*\* indicates significance at 0.01 level; \* indicates significance at 0.05 level.

耕地耕作可能会导致土壤粘粒和粉粒含量增加,使得分形维数增加,从而降低土壤结构的稳定性。在植被恢复用地中,坡柳和草地对于降低土壤粘粒和粉粒含量,提高土壤结构稳定性的效果优于新银合欢。因此,蒋家沟应以植被恢复为主,减少耕作和人为干扰,以更好地改良土壤结构,在植被恢复的植物选择上也应以草本和灌木为主。

3. 不同植被类型的土壤养分含量存在差别。研究发现不同植被类型土壤的有机质、全氮、水解氮、有效磷含量不同。草地、坡柳和新银合欢林的有机质含量大于花生和石榴,主要是由于草地、坡柳和新银合欢林受到的人为干扰较少,有利于大量的凋落物和细根转化为有机质。而花生和石榴受外界干扰较大,特别是花生地耕作频繁,造成土壤的有机质含量降低。坡柳和草地的有机质含量大于新银合欢林,这可能是因为草本和灌木的植被覆盖度高于新银合欢林下植被盖度,腐殖质含量相对较高,使得其有机质的形成和富集速度优于新银合欢林地。植被恢复用地的土壤全氮和水解氮含量高于坡耕地,导致这一结果产生的原因主要与人为干扰有关,坡耕地耕作使得全氮和水解氮容易流失。而植被恢复用地中的草地和坡柳的全氮和水解氮含量高于新银合欢林,可能是因为新银合欢为乔木,对全氮和水解氮需求较大。花生、新银合欢林和石榴的有效磷含量高于草地和坡柳,主要与人工施肥有关。人工施肥使得石榴地和花生地的有效磷成分增加,但仅石榴显著高于坡柳和草地,这可能是由于花生地轮作导致其有效磷成分降低。

土壤养分含量与分形维数具有相关性,土壤肥力主要是通过养分状况表现出来。吴承祯等<sup>[25]</sup>认

为分形维数是表征土壤肥力的重要指标。随后,许多学者对土壤肥力指标与分形维数关系的研究得出,分形维数越大,土壤肥力越低<sup>[12-26]</sup>。本研究表明,蒋家沟不同植被类型土壤的分形维数与有机质、全氮、水解氮含量呈显著的负相关关系,与有效磷含量呈正相关,能够反映该地区土壤的养分状况,可作为评价土壤肥力的一个重要指标。

根据5种植被类型的分形维数,并结合其有机质、全氮、水解氮、有效磷含量之间的差异性,得出植被恢复用地的土壤肥力优于坡耕地,而植被恢复用地中坡柳和草地肥力优于新银合欢。因此,蒋家沟应大力推行退耕工作,做好土壤保肥措施,以坡柳为代表的灌木林和草地可以作为改善土壤结构和提高土壤肥力的优选植被类型,从而减少水土流失,改善干热河谷的生态环境。

## 参考文献(References)

- [1] 郭灵辉,王道杰,张云红,等. 泥石流源区新银合欢林地土壤微团聚体分形特征[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 243-247 [Guo Linghui, Wang Daojie, Zhang Yunhong, et al. Fractal features of soil micro-aggregates under Leucaena leucocephala forest in debris flow source area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(5): 243-247]
- [2] Neuman S P. Universal scaling of hydraulic conductivities and dispersivities in geologic media [J]. Water Resour. Res., 1990, 26: 1749-1758
- [3] Rieu M, Sposito G. Fractal fragmentation, soil porosity and soil water properties: Application [J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55(4): 1231-1238
- [4] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征土壤的分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896-1899 [Yang Peiling, Luo Yuanpei, Shi yuanchun. Fractal feature of soil on expression by weight distribution of particle size [J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38(20): 1896-1899]
- [5] 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形维数[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 197-205 [Liu Jinfu, Hong Wei, Wu Chengzhen. Fractal feature of soil clusters under some precious hardwood stands in the central subtropical region, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(2): 197-205]
- [6] 龚伟, 胡庭兴, 王景燕, 等. 川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤微团聚体分形特征研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 571-575 [Gong Wei, Hu Tingxing, Wang Jingyan, et al. Study on fractal features of soil aggregate structure under natural evergreen broad leaved forest and artificial regenerations in southern Sichun Provice [J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(3): 571-575]
- [7] Tyler S W, Wheatcraft S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation [J]. Soil Sci. Soc. Am J., 1989, 53(4): 987-996

- [8] 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 [Su Yongzhong, Zhao Halin. Fractal feature of soil particle size distribution in the desertification process of the farmland in Horqin Sandy Land [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 71-74]
- [9] 贾晓红,李新荣,李元寿. 干旱沙区植被恢复过程中土壤颗粒分形特征[J]. 地理研究, 2007, 26(3): 518-525 [Jia Xiaohong, Li Xinrong, Li Yuanshou. Fractal dimension of soil particle size distribution during the process of vegetation restoration in arid sand dune area [J]. Geographical Research, 2007, 26(3): 518-525]
- [10] 封磊,洪伟,吴承祯,等. 杉木—观光木混交林不同经营模式土壤团粒结构的分形特征[J]. 山地学报, 2004, 22(3): 315-320 [Feng Lei, Hong Wei, Wu Chengzhen, et al. Fractal feature of soil aggregation in different management patterns of Chinese fir plantation mixed with Tsongiodendron odorum. Journal [J]. Journal of mountain science, 2004, 22(3): 315-320]
- [11] 淮态,庞奖励,文青,等. 不同灌溉方式下耕作土壤的分形特征研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(5): 995-998 [Huai Tai, Pang Jiangli, Wen Qing, et al. Fractal features of cultivated soils from different irrigation system [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39(5): 995-998]
- [12] 王景燕,胡庭兴,龚伟,等. 川南坡地不同退耕模式对土壤团粒结构分形特征的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1410-1416 [Wang Jingyan, Hu Tingxin, Gong Wei, et al. Fractal features of soil aggregate structure in slope farmland with different de-farming patterns in south Sichuan Province of China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(6): 1410-1416]
- [13] 魏茂宏,林慧龙. 江河源区高寒草甸退化序列土壤粒径分布及其分形维数[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 679-686 [Wei Maohong, Lin Huilong. Soil particle size distribution and its fractal dimension among degradation sequences of the alpine meadow in the source region of the Yangtze and Yellow River, Qinghai-Tibetan Plateau, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(3): 679-686]
- [14] 廖超林,何毓蓉,徐佩. 泥石流源地土壤团聚体抗蚀特征研究—以蒋家沟为例[J]. 地球与环境, 2005, 33(4): 65-69 [Liao Chaolin, He Yurong, Xu Pei. A study on antierodibility of soil aggregates in debris flow provenance: a case study in Jiang Jiagou [J]. Earth and Environment, 2005, 33(4): 65-69]
- [15] 张广帅,邓浩俊,林勇明,等. 泥石流滩地不同植被类型土壤肥力质量综合评价[J]. 福建林学院学报, 2014, 34(3): 214-219 [Zhang Guangshuai, Deng Haojun, Lin Yongming, et al. Comprehensive estimation of soil fertility in different land use types of debris flow waste-shoal land [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2014, 34(3): 214-219]
- [16] 张有富,肖蔚,陈明,等. 云南小江泥石流频发区干热退化山地环境劣变与植被恢复途径[J]. 山地学报, 2001, 19(增刊): 88-91 [Zhang Youfu, Xiao Wei, Chen Ming, et al. Environment degradation and vegetation rehabilitation approaches to debris flow-frequent occurrence area on xerothermic degraded mountain in Xiaojiang river [J]. Mountain Research, 2001, 19(Suppl.): 88-91]
- [17] 谢贤健,韦方强. 泥石流频发区不同盖度草地土壤颗粒的分形特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 202-206 [Xie Xianjian, Wei Fangqiang. Characteristics of soil particle fractal dimension under different coverage grassland of the area with high-frequency debris flow [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(4): 202-206]
- [18] 谢贤健,韦方强. 泥石流频发区土地利用分形特征及稳定性研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 167-171 [Xie Xianjian, Wei Fangqiang. Study on fractal dimension and stability of land use types in the area with high-frequency debris flow [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 18(6): 167-171]
- [19] 张有富. 云南蒋家沟泥石流区干热退化山地引种拟金毛的技术与效果[J]. 山地学报, 2000, 18(6): 563-567 [Zhang Youfu. Technique and results of common eulaliopsis' application on xerothermic degraded mountain in Jiangjiagou debris flow gully [J]. Mountain Research, 2000, 18(6): 563-567]
- [20] 崔鹏,王道杰,韦方强. 干热河谷生态修复模式及其效应—以中国科学院东川泥石流观测站为例[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(3): 60-64 [Cui Peng, Wang Daojie, Wei Fangqiang. Model and effect of ecological restoration of dry-hot valley: A case study of the CAS Dongchuan Debris Flow Observation Station [J]. Science of Water and Soil Conservation, 2005, 3(3): 60-64]
- [21] 林勇明,崔鹏,葛永刚,等. 泥石流频发区人工恢复新银合欢林种内竞争—以云南东川蒋家沟流域为例[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(3): 13-17 [Lin Yongming, Cui Peng, Ge Yonggang, et al. Intraspecific competition of Leucaena leucocephala plantation in the area of high frequency debris flow: Taking the Jiangjiagou Gully as an example [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(3): 13-17]
- [22] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle size distributions: analysis and limitations [J]. Soil Science, 1992, 56: 362-369
- [23] 王富,贾志军,董智,等. 不同生态修复措施下水库水源涵养区土壤粒径分布的分形特征[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 113-117 [Wang Fu, Jia Zhijun, Dong Zhi, et al. Fractal features of soil particle size distribution on water source conservation areas under different measures of ecological restoration [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(5): 113-117]
- [24] 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 [Huang Guanhua, Zhan Weihua, Fractal property of soil particle size distribution and its application [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(4): 490-497]
- [25] 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 [Wu Chengzhen, Hong Wei. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns [J]. Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(2): 162-167]
- [26] 刘金福,洪伟. 不同起源格氏栲林地的土壤分形特征[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 565-570 [Liu Jinfu, Hong Wei. Study on fractal feature of soil fertility under different original Castanopsis Kanakamii Stands [J]. Mountain Research, 2001, 19(6): 565-570]

## Fractal Features of Soil and their Relatin with Soil Fertility under Five Vegetation in Jiangjiagou Gully

CHEN Aimin<sup>1</sup>, DENG Haojun<sup>1</sup>, YAN Siwei<sup>1</sup>, LIN Yongming<sup>1, 2</sup>, ZHANG Guangshuai<sup>1</sup>, DU Kun<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fujian Fuzhou 350002, China

2. Key Laboratory for Forest Ecosystem Process and Management of Fujian Province, Fuzhou 350002, China)

**Abstract** This paper studied the fractal characteristics of the soil particle and the correlation analysis between fractal features and soil fertility under different vegetation types in the Jiangjiagou Gully of Dongchuan, Yunnan, China by using fractal model. Results showed that: 1. The fractal dimension of different vegetation types was different, and the fractal dimension of five kinds of vegetation types ranged from 2.47 to 2.57. The fractal dimension of the soil particle of *Arachis hypogaea* land (AHD) was the highest, followed by *Punica granatum* land (PGL), *leucaena leucocephala* land (LLL), grassland (GL), *dodonaea viscosa* land (DVL). The fractal dimension of slope cropland represented by the AHD and PGL was significantly bigger than that of vegetation restoration land represented by the LLL, GL and DVL. 2. There were highly significantly positive correlations between fractal dimension and contents of clay (<0.002 mm) and particle (0.002 ~ 0.05 mm). The content of clay and silt of slope cropland was higher than vegetation restoration land. And there were significantly negative correlations between fractal dimensions and contents of soil organic matter, total-N, and alkali-hydrolysable-N, however the correlation between fractal dimension and contents of available-P is significantly positive. The contents of organic matter, total-N and alkali-hydrolysable-N in vegetation restoration land were higher than farmland with the trend of LLL > DVL and GL, but the contents of available-P for AHD, LLL and PGL were higher than DVL and GL. 3. The distribution of the soil particle size and nutrient status can be reflected by the fractal dimension, and the fractal dimension can be an important indicator used to evaluate the stability of soil structure and soil fertility in the area with Jiangjiagou Gully. So we should focus on reducing the number of tillage and enforcing vegetation restoration. The effects that we optimized the soil structure and improved the soil fertility by DVL and GL were the best. So we should focus on herbaceous and shrub for vegetation restoration.

**Key words:** soil particle; fractal dimension; vegetation restoration