

川南坡地土壤颗粒分形特征、微生物和酶活性对退耕模式的响应

王景燕, 胡庭兴*, 龚伟, 官渊波

(四川农业大学林业生态工程省级重点实验室, 四川雅安 625014)

摘要:对川南坡地的农耕地以及退耕成慈竹林、杂交竹林、桉木+慈竹混交林和弃耕地5年后土壤颗粒分形维数、微生物和酶活性变化进行了研究,探讨了分形维数与土壤肥力之间的关系。结果表明,退耕后土壤有机质、粘粒($<0.001\text{ mm}$)含量、颗粒分形维数、颗粒组成中物理性粘粒($<0.01\text{ mm}$)与物理性砂粒($>0.01\text{ mm}$)含量的比值、细菌、真菌、放线菌和总微生物数量以及蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性增加,呈现出慈竹林>杂交竹林>桉木+慈竹混交林>弃耕地>农耕地的规律。土壤颗粒分形维数、物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值、有机质含量与微生物数量、酶活性之间相关性较好,颗粒分形维数及物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值也具有较好的相关性。说明农耕地退耕对提高土壤粘粒含量、肥力水平及改善颗粒组成比例具有较好的作用;土壤颗粒分形维数可以作为坡地退耕后土壤肥力变化的评价指标;土壤颗粒组成中物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值能反映土壤肥力特征,也可评价坡地退耕后土壤肥力的变化状况。

关键词:退耕模式;植被恢复;颗粒分形维数;土壤肥力

中图分类号:S714.7

文献标识码:A

Responses of Fractal Feature of Soil Particle, Microbe and Enzyme Activity to De-farming Patterns of Slope Farmland in Southern Sichuan Province of China

WANG Jing-yan, HU Ting-xing, GONG Wei, GONG Yuan-bo

(Sichuan Provincial Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China)

Abstract: Fractal features of soil particles, soil microbe number and enzyme activity were measured to understand the relationship between fractal dimension of soil particles and soil fertility under slope farmland (CK) and its four de-farming patterns, including *Neosinocalamus affinis* plantation (NAP), *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocalamopsis oldhami* plantation (BDP), *Alnus crenastogyne* + *Neosinocalamus affinis* plantation (ANP) and abandoned farmland (AFL), in southern Sichuan province of China. The results showed that after 5 years' de-farming, soil organic matter and clay ($<0.001\text{ mm}$) contents, fractal dimension of soil particle, ratio of soil physical clay ($<0.01\text{ mm}$) and physical sand ($>0.01\text{ mm}$), bacteria, fungi, actinomycete and total microbe number, and invertase, phosphatase and urase activities followed the order of NAP > BDP > ANP > AFL > CK. The fractal dimension of soil particle and ratio of soil physical clay and physical sand were well correlated with soil organic matter, microbe number and enzyme activity, and there were close relationships between fractal dimension of soil particle

收稿日期: 2010-02-26

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A-06、2004BA606A-06)、国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAC01A11), 四川省教育厅项目(08zb038, 09ZB053)和四川农业大学211工程创新团队项目“长江上游植被恢复与重建”共同资助

作者简介: 王景燕(1980—), 女, 四川眉山人, 在读博士, 讲师, 主要从事林业生态工程方面研究, E-mail: wangjingyan@sicau.edu.cn, 电话: 13881639467

* 通讯作者. E-mail: hutx001@yahoo.com.cn

and ratio of soil physical clay and physical sand. This indicates that the de-farming of slope farmland was beneficial for soil clay content increase, soil fertility and proportion of particle composition improvement; fractal dimension of soil particle could be used as a comprehensive quantitative index to evaluate soil fertility for slope farmland de-farming; the ratio of soil physical clay and physical sand in particle composition could reflect soil fertility characteristics and also could be used to evaluate soil fertility for slope farmland de-farming.

Key word: de-farming pattern; vegetation restoration; fractal dimension of soil particles; soil fertility

退耕还林还草是修复土壤、控制水土流失、改善生态环境的根本性措施^[1]。自1999年退耕还林工程开始实施以来,退耕还林还草在改善区域生态环境和减少水土流失方面取得了显著成绩。但是,由于大面积坡耕地向林地和草地的转化,使退耕区的农村经济发展受到较大的影响^[2]。退耕还林后林间大面积的土地荒芜,经济效益下降,使农民追求的经济效益与国家需要的生态效益在退耕还林项目实施后产生了巨大差异,造成大部分农民希望获得政府对农业生产项目的支持而不是开展植树种草,而退耕还林项目结束后一旦停止补贴,农民收入将锐减,农地会被重新开垦,“一退双还”获得的环境成果面临再次毁灭的危险,“反弹”损失巨大^[3]。如何兼顾与协调生态效益、经济效益和社会效益三者的关系,选择适宜的退耕模式成为迫切需要解决的问题。

土壤肥力是土壤的基本属性,是土壤物理、化学和生物性质的综合反映。评价土壤肥力的指标有很多,这些指标分别从各个不同侧面反映了土壤的肥力水平。目前常见的评价土壤肥力的指标有土壤颗粒组成、有机质含量、酶活性和微生物数量等^[4]。土粒组合比例关系或质地类型的定量化描述具有重要的现实意义^[5]。近年来,运用分形模型计算土壤颗粒、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,已成为定量描述土壤结构特征的新方法,同时也是表征土壤肥力变化的指标^[6-12]。在土壤质量的演变过程中,土壤微生物具有相对较高的转化能力,因而土壤微生物可以作为灵敏的指示指标,能较早地预测土壤质量的变化过程^[13]。土壤酶是土壤的组成成分之一,数量虽少,但作用很大,并且作为表征土壤肥力的一个重要指标,与土壤的环境条件也有着密切联系^[14]。

川南地区地处长江上游,降水丰富,由于对坡地不合理开垦和耕作,使得这一区域坡地土壤退化且水土流失严重。目前,有关川南坡地退耕后土壤颗粒分形维数变化方面的研究尚未见报道,这难以满足该区植被恢复建设的需要。鉴于此,本文以长江

上游川南坡地不同退耕模式为对象,研究土壤颗粒分形维数、微生物和酶活性对坡地退耕模式的响应,并探讨分形维数与土壤肥力的关系,以期退耕还林还草工程中退耕模式的选择及研究区植被恢复提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

试验区位于四川省沐川县沐溪镇退耕还林示范区,距沐川县城约3 km(28°58'E, 103°55'N),海拔390~570 m,坡度25°~30°。沐川县有林业用地8.7万hm²,其中竹林2.8万hm²,是国家级“山区综合开发试点县”和省级“农业产业化试点县”,也是四川省天然林保护工程和生态林业建设工程试点县。该区地处华西雨屏区,属亚热带湿润季风气候,地带性植被属亚热带常绿阔叶林。根据沐川县气象站(海拔396.9 m)历年气象观测资料统计,全年日平均气温17.3℃,最热月均温26.2℃,最冷月均温7.2℃,全年降水量1332.1 mm,年降水天数207天,降水多集中于5—8月,年蒸发量971.7 mm。供试土壤为紫色土,由于该区水土流失严重,土层瘠薄,厚度一般为30~35 cm,退耕前采用小麦(*Triticum aestivum* Linn.)—玉米(*Zea mays* L.)一年两熟种植方式,土壤耕作和作物收获均采用传统的人工方式进行。试验开始前土壤表层(0~15 cm)的理化性质(平均值)为:有机质7.8 g·kg⁻¹、全N 0.62 g·kg⁻¹、全P 0.68 g·kg⁻¹、全K 8.6 g·kg⁻¹、有效P 254.2 mg·kg⁻¹、速效K 81.7 mg·kg⁻¹和pH值7.98,各指标分别采用重铬酸钾氧化-外加热法、半微量-凯氏定氮法、氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法、氢氧化钠碱熔-火焰光度法、Olsen法、乙酸铵浸提-火焰光度法和电位法测定^[15]。退耕试验开始于2003年秋,退耕模式为慈竹(*Neosinocalamus affinis* (Rendle) Keng f.)林、杂交竹(*Bambusa pervariabilis* McClure × *Dendrocalamopsis daii* Keng f.)林和桉木(*Alnus cremastogyne* Burk.)+慈竹林。

1.2 研究样地

在调查试验地的基础上,根据典型性和代表性的原则,选取坡向、坡度、坡位和海拔高度基本一致的慈竹林、杂交竹林、桫木+慈竹林、弃耕植被自然恢复地(简称弃耕地)和农耕地(对照)为研究样地。慈竹林和杂交竹林模式林分密度均为 $900 \text{ 丛} \cdot \text{hm}^{-2}$;桫木+慈竹林模式中桫木是2003年秋季种植,后因考虑到模式以后的经济效益在2004年秋季均匀补植慈竹,林分密度为桫木 $1\ 670 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和慈竹 $600 \text{ 丛} \cdot \text{hm}^{-2}$;弃耕植被自然恢复地自弃耕后从未复垦。慈竹林、杂交竹林和桫木+慈竹林林分郁闭度分别为0.9、0.7和0.8,弃耕地植被几乎全为草本植物,慈竹林、杂交竹林、桫木+慈竹林和弃耕地草本层覆盖度分别约为5%、30%、5%和90%。

1.3 样品采集与测定方法

1.3.1 样品采集及处理 2008年10月中旬在每种退耕模式类型林下选取3个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的标准地,采用蛇形5点取样法采集0~15 cm土壤混合样。将每个土样分为两部分:一部分在室温下风干,将风干土过1 mm筛,供土壤颗粒组成、有机质和酶活性(蔗糖酶、磷酸酶、脲酶)测定;另一部分新鲜土样存放于4℃冰箱,用于测定土壤微生物数量。

1.3.2 测定方法 土壤颗粒组成采用吸管法,有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法^[15],微生物数量采用稀释平板法^[16],蔗糖酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法,磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,脲酶采用苯酚-次氯酸钠比色法^[17]。土壤颗粒分形维数采用杨培岭法计算,分形维数模型参见文献^[6,18]。

1.4 数据分析

采用SPSS 10.0软件对实验数据进行统计和分析,不同模式土壤各变量之间的差异性检验采用单因子方差分析(ANOVA)和最小显著极差法(SSR)。

2 结果与分析

2.1 不同退耕模式土壤颗粒分形维数

运用回归分析法,计算得到各模式类型土壤颗粒分形维数在2.507~2.598之间(表1)。对颗粒组成中的1~0.25 mm (X_1)、0.25~0.05 mm (X_2)、0.05~0.01 mm (X_3)、0.01~0.001 mm (X_4)、<0.001 mm (X_5)、物理性粘粒(<0.01 mm)与物理性砂粒(>0.01 mm)含量比(X_6 , <0.01/>0.01)进行回归分析发现存在显著的线型关系,其关系式分别为: $D = 2.620\ 0 - 0.008\ 5X_1$ ($r = -0.918, p < 0.01$)、 $D = 2.799\ 2 - 0.009\ 2X_2$ ($r = -0.682, p < 0.01$)、 $D = 2.446\ 9 + 0.002\ 3X_3$ ($r = 0.199, p > 0.05$)、 $D = 2.434\ 2 + 0.008\ 1X_4$ ($r = 0.925, p < 0.01$)、 $D = 2.377\ 9 + 0.035\ 3X_5$ ($r = 0.979, p < 0.01$)、 $D = 2.444\ 3 + 0.438\ 7X_6$ ($r = 0.950, p < 0.01$)。从以上的结果可以看出,颗粒分形维数与0.05~0.01 mm 粒径含量相关性不显著,与1~0.25 mm 和0.25~0.05 mm 粒径含量呈显著的线型负相关,与0.01~0.001 mm 和<0.001 mm 及物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值(<0.01/>0.01)呈显著线型正相关,其中与<0.001 mm 颗粒含量相关性最好。说明坡地退耕后<0.001 mm 颗粒含量是影响颗粒分形维数的重要粒径含量因素。

表1 不同退耕模式土壤颗粒组成

$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

模式类型	颗粒粒径/mm						分形维数	相关系数
	1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.001	<0.001	<0.01/>0.01		
慈竹林	36.4 ± 4.3d	248.6 ± 22.5c	455.0 ± 38.1a	196.9 ± 14.0a	63.1 ± 6.7a	0.352 ± 0.034a	2.598 ± 0.016a	0.951 ± 0.001**
杂交竹林	58.8 ± 6.5c	256.7 ± 12.0bc	468.3 ± 24.3a	163.4 ± 19.3b	52.8 ± 3.2b	0.276 ± 0.029b	2.570 ± 0.006b	0.956 ± 0.002**
桫木+慈竹林	74.9 ± 11.9c	260.9 ± 9.2abc	470.8 ± 19.5a	145.6 ± 16.0bc	47.8 ± 3.4bc	0.240 ± 0.030bc	2.553 ± 0.013b	0.958 ± 0.003**
弃耕地	100.0 ± 13.2b	288.5 ± 29.7ab	450.3 ± 40.4a	118.1 ± 19.9cd	43.1 ± 2.7cd	0.193 ± 0.029cd	2.523 ± 0.009c	0.967 ± 0.004**
农耕地	140.7 ± 16.1a	298.2 ± 21.3a	433.6 ± 37.1a	90.3 ± 10.7d	37.2 ± 4.4d	0.146 ± 0.018d	2.507 ± 0.019c	0.968 ± 0.004**

注:表中数据均为平均值±标准差,同一列中数据后相同字母表示差异不显著($p < 0.05$),** $p < 0.01$ 。下同。

各模式间土壤颗粒分形维数、<0.001 mm 颗粒含量和物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值(<0.01/>0.01)差异显著(表1)。由表1可知,退耕模式慈竹林、杂交竹林、桫木+慈竹林、弃耕地与农耕地对照相比,分形维数分别增加3.6%、2.5%、1.8%和0.6%,除弃耕地外,其它退耕模式均显著高于农耕地,杂交竹林与桫木+慈竹林间无差异显

著性,但两者均显著低于慈竹林,各林地均显著高于弃耕地;<0.001 mm 颗粒含量分别增加69.6%、41.9%、28.5%和15.9%,除弃耕地外,其它退耕模式均显著高于农耕地,弃耕地与桫木+慈竹林间无差异显著性,弃耕地显著低于慈竹林和杂交竹林;物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值(<0.01/>0.01)分别增加141.1%、89.0%、64.4%和32.2%。

说明随着植被恢复,土壤粘粒含量增加,土壤颗粒分形维数也随之增加,其中以慈竹林模式土壤颗粒分形维数最高。

2.2 不同退耕模式土壤微生物数量

土壤生物活性是土壤肥力中最活跃的影响因子。土壤微生物是土壤生物活性和土壤质量的一个重要指标,它既是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动力,也是土壤中的活性有效养分库^[19]。各模式间土壤细菌、真菌、放线菌和微生物总数差异显著(表2)。由表2可知,退耕模式慈竹林、杂交竹林、桉木+慈竹林、弃耕地与农耕地对照相比,细菌数量分别增加74.1%、56.1%、31.1%和17.8%,退耕模式均显著高于农耕地,各林地间差异且均显著高于弃耕地;真菌数量分别增加77.2%、59.7%、26.9%和12.3%,除弃耕地外其它退耕模式均显著高于农耕地,慈竹林与杂交竹林间无差异显著性,但两者均

显著高于桉木+慈竹林和弃耕地;放线菌数量分别增加59.4%、43.3%、28.4%和15.2%,退耕模式均显著高于农耕地,杂交竹林与桉木+慈竹林间无差异显著性,但两者均显著低于慈竹林,且各林地均显著高于弃耕地;总微生物数量分别增加73.1%、55.1%、30.9%和17.7%,退耕模式均显著高于农耕地,杂交竹林与桉木+慈竹林间无差异显著性,但两者均显著低于慈竹林,且各林地均显著高于弃耕地。细菌、真菌和放线菌数量分别为总微生物数量的93.102%~93.639%、0.055%~0.059%和6.302%~6.840%。说明坡地退耕后有利于土壤细菌、真菌和放线菌数量的增加,其中以慈竹林模式土壤微生物数量最高,细菌在微生物组成中占绝对数量优势,而真菌在微生物组成中的比例最小,但退耕模式对微生物数量组成的影响不明显。

表2 不同退耕模式土壤微生物数量和酶活性

模式类型	有机质/ (g·kg ⁻¹)	细菌/ (10 ⁶ ·g ⁻¹)	真菌/ (10 ³ ·g ⁻¹)	放线菌/ (10 ⁵ ·g ⁻¹)	总微生物/ (10 ⁶ ·g ⁻¹)	蔗糖酶/ (mg·g ⁻¹ · d ⁻¹)	磷酸酶/ (mg·100g ⁻¹ · 2h ⁻¹)	脲酶/ (mg·g ⁻¹ · d ⁻¹)
慈竹林	15.6±0.5a	12.92±0.36a	8.10±0.53a	8.69±0.37a	13.80±0.35a	20.9±1.0a	12.8±0.8a	0.764±0.061a
杂交竹林	13.4±0.8b	11.58±0.67b	7.30±0.40a	7.81±0.40b	12.36±0.66b	17.7±1.1b	10.6±0.4b	0.657±0.015b
桉木+慈竹林	12.5±0.4b	9.73±0.87c	5.80±0.36b	7.00±0.46c	10.43±0.86c	16.2±1.2bc	9.6±0.7bc	0.597±0.018b
弃耕地	10.9±0.6c	8.74±0.40c	5.13±0.45bc	6.28±0.41d	9.38±0.43d	15.0±0.9c	9.1±0.7c	0.514±0.034c
农耕地	7.6±0.3d	7.42±0.41d	4.57±0.55c	5.45±0.31e	7.97±0.44e	7.4±0.4d	5.2±0.7d	0.431±0.016d

2.3 不同退耕模式土壤酶活性

土壤酶主要来源于土壤中动物、植物根系和微生物的细胞分泌物以及残体的分解物^[20],是土壤中的生物催化剂,在森林生态系统中的物质循环和能量流动过程中扮演着重要角色^[21]。蔗糖酶能明显地反映土壤的肥力水平和生物活性强度,磷酸酶的酶促作用能加速有机磷循环速度和提高磷素有效性,脲酶能促进尿素水解生成氨、二氧化碳和水。因此,有学者建议蔗糖酶、磷酸酶和脲酶等酶活性测定结果可用作评价土壤肥力水平的指标^[22-23]。各模式间土壤蔗糖酶、磷酸酶和脲酶活性差异显著(表2)。由表2可知,退耕模式慈竹林、杂交竹林、桉木+慈竹林、弃耕地与农耕地对照相比,蔗糖酶活性分别增加182.4%、139.2%、118.9%和102.7%,各退耕模式均显著高于农耕地,慈竹林显著高于其它退耕地,而桉木+慈竹林、杂交竹林和弃耕地间无差异显著性;磷酸酶活性分别增加146.2%、103.8%、84.6%和75.0%,各退耕模式均显著高于农耕地,慈竹林显著高于其它退耕地,而桉木+慈竹林、杂交

竹林和弃耕地间无差异显著性;脲酶活性分别增加77.3%、52.4%、38.5%和19.3%,退耕模式均显著高于农耕地,各林地间差异显著且均显著高于弃耕地。结果说明,坡地退耕后有利于土壤酶活性的提高,其中以慈竹林模式土壤酶活性为最高。

2.4 颗粒组成比例及分形维数与微生物和酶活性的关系

坡耕地及其退耕后形成的慈竹林、杂交竹林、桉木+慈竹林和弃耕地土壤颗粒组成中物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值及分形维数与土壤有机质含量和细菌、真菌、放线菌和总微生物数量,以及蔗糖酶、磷酸酶和脲酶活性之间存在极显著正相关关系,且物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值与分形维数之间呈极显著正相关,同时有机质含量与微生物数量和酶活性之间也存在极显著正相关关系(表3)。这说明,土壤颗粒分形维数与物理性粘粒与物理性砂粒含量比值、有机质含量、微生物数量和酶活性之间关系密切,因此通过对土壤颗粒分形维数的研究可以预测坡地退耕后土壤肥力的变化状况。

表3 颗粒组成比例及分形维数与微生物数量和酶活性的关系

项目	有机质	细菌	真菌	放线菌	总微生物	蔗糖酶	磷酸酶	脲酶
有机质	1.000	0.920 **	0.883 **	0.933 **	0.924 **	0.936 **	0.944 **	0.955 **
分形维数	0.894 **	0.900 **	0.921 **	0.882 **	0.903 **	0.866 **	0.897 **	0.906 **
物理性粘粒/物理性砂粒	0.930 **	0.914 **	0.904 **	0.914 **	0.918 **	0.856 **	0.922 **	0.900 **

3 讨论

土壤质地越粗,越难形成很好的结构,质地越细,形成的微小孔隙越多,结构也更复杂,分形维数也越高^[24]。植被恢复有利于土壤粘粒含量的增加,如林开旺^[25]对水土流失地植被恢复治理研究表明,随着治理强度的增大,表层土壤物理性砂粒含量有一定程度的减少,土壤粘粒含量有较大的提高;李尚妙等^[26]对轻至中度侵蚀地植被恢复治理研究表明,营造台湾相思(*Acacia confuse* Merr.)林6年后土壤<0.001 mm粘粒含量是对照未治理地的2.82倍;常庆瑞等^[27]及安韶山等^[28]的研究表明,植被的恢复能够稳定成土环境,使土壤腐殖化和粘化作用增强,粘粒不断形成聚积。相反,植被的破坏会导致土壤粘粒含量的降低,如钟继洪等^[29]的研究表明,顺坡开垦耕作10年后,表土砂粒含量增加 $168.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而粉粒和粘粒含量则相应减少 $168.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。本研究结果也表明,随着退耕后植被的恢复,土壤粘粒含量有一定的提高,从对照农耕地的 $37.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到退耕地的 $43.1 \sim 63.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。据报道,有机物质在粘粒含量低的土壤中分解比较快,并随土壤粘粒含量的增加分解趋于缓慢,且在相同的气候和管理条件下,粘粒含量高的土壤能保护有机质免于生物降解^[30]。因此,退耕后随着植被恢复,土壤结构得到改善,使土壤中的砂粒含量相对减少,而粘粒含量相对增加,从而使得土壤颗粒分形维数增加,且粘粒含量越高、质地越细、颗粒分形维数越高;同时,土壤粘粒含量增加又促进对有机质的保护,是土壤有机质含量增加的原因之一。

植被与土壤是相互作用、共同演变的一个整体,伴随着植被恢复,土壤形成环境也得到了改善,极大地加速了土壤演变过程。贾晓红等^[10]的研究发现,在植被恢复过程中,土壤粉粒和粘粒含量的增加及沙粒含量降低共同导致土壤质地细粒化的同时,也影响了土壤养分状况和其他性质,且植被恢复过程中土壤养分状况与土壤颗粒分形维数有极显著的线性正相关关系。不同学者对土壤颗粒分形维数与有机质关系的研究结果有一定差异,如程先富等^[8]发现,土壤

颗粒分形维数与有机质含量呈显著负相关;张世熔等^[7]和苏永中等^[9]却发现,土壤颗粒分形维数与土壤有机质含量呈显著正相关;而周先容等^[31]发现,土壤颗粒分形维数与有机质含量相关性不显著。出现这种现象可能与各学者研究过程中所分析的土壤样品的土壤类型、质地类型及母岩不同有关。本研究结果发现,颗粒分形维数与土壤有机质含量和细菌、真菌、放线菌和总微生物数量,以及蔗糖酶、磷酸酶和脲酶活性之间存在极显著正相关关系。这与龚伟等^[12]对微团聚体分形维数的研究结果相同,即分形维数的高低可以表征土壤养分状况、微生物数量多寡和酶活性强度。这表明土壤颗粒分形维数可作为一个评价坡地退耕后土壤演变程度的综合定量指标。

粒径>0.01 mm颗粒的吸水性、保肥性、粘结性、粘着性和可塑性较差,而粒径<0.01 mm颗粒的吸水性、保肥性、粘结性、粘着性和可塑性均相对较强,但通气性、透水性相对较弱。因此,以0.01 mm为界线确定不同大小土壤颗粒具有明确的物理意义。金发会等^[32]以0.01 mm为界限,将不同粒级土壤颗粒分为<0.01 mm的物理性粘粒和>0.01 mm的物理性砂粒,并发现<0.01 mm物理性粘粒与>0.01 mm物理性砂粒含量的比值与土壤有机碳、全N、微生物量碳和微生物量N含量及土壤N素矿化势之间存在显著或极显著正相关关系。本研究中也发现,土壤颗粒组成中物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值与土壤有机质含量、细菌、真菌、放线菌、总微生物数量以及蔗糖酶、磷酸酶和脲酶活性之间存在极显著正相关关系,也与土壤颗粒分形维数之间存在极显著正相关。说明土壤颗粒组成中物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值与土壤颗粒分形维数一样,能客观地反映土壤肥力特征,并在作为土壤肥力诊断指标等方面具有很好的应用潜力。

4 结论

退耕5年后,与农耕地对照相比,退耕还林地(慈竹林、杂交竹林和桉木+慈竹林)或弃耕植被自然恢复地(弃耕地)均可增加土壤粘粒和有机质含量、物理性粘粒与物理性砂粒含量的比值、颗粒分形

维数、微生物数量和酶活性;与弃耕地相比,退耕还林地对改善土壤颗粒组成比例及提高颗粒分形维数和土壤肥力的效果更好,并以慈竹林最好,杂交竹林次之。土壤颗粒分形维数与土壤有机质、微生物数量及酶活性间具有较好的相关性,可以作为坡地退耕后土壤肥力变化的评价指标。退耕还林地通过地上部巨大的生物量和地表丰富的枯落物对土壤有较好的庇护作用,以及地下部大量的根系和有机物质输入量对土壤理化性质有较好的改良作用,从而改善土壤结构和肥力。因此,坡耕地退耕,尤其是退耕还林,并选择适宜的植被恢复模式,对提高川南坡地土壤肥力,减少水土流失和促进区域生态环境可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 赵岩,杨越,孙保平,等.黄土丘陵区不同退耕模式对土壤物理性状影响研究——以甘肃省西市为例[J].中国农学通报,2009,25(16):99-105
- [2] 刘志超,杜英,徐丽萍,等.黄土丘陵沟壑区退耕还林(草)工程的经济效应——以安塞县为例[J].生态学报,2008,28(4):1476-1482
- [3] 杜雄,窦铁岭,冯丽肖,等.华北农牧交错带退耕区榆树幼林-南瓜间作的农田生态效应[J].中国农业科学,2008,41(9):2710-2719
- [4] 沈慧,姜凤岐,杜晓军,等.水土保持林土壤肥力及其评价指标[J].水土保持学报,2000,14(2):60-65
- [5] 廖尔华,张世熔,邓良基,等.丘陵区土壤颗粒的分形维数及其应用[J].四川农业大学学报,2002,20(3):242-245,281
- [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[J].土壤学报,1999,36(2):162-167
- [7] 张世熔,邓良基,周倩,等.耕层土壤颗粒表面的分形维数及其与主要土壤特性的关系[J].土壤学报,2002,39(2):221-226
- [8] 程先富,史学正,王洪杰.红壤丘陵区耕层土壤颗粒的分形特征[J].地理科学,2003,12(5):617-621
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 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团粒结构的分形特征[J].植物生态学报,2007,31(1):56-65
- [12] 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
- [13] 周丽霞,丁明懋.土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J].生物多样性,2007,15(2):162-171
- [14] Acosta-Martinez V, Zobeck T M, Gill T E, *et al.* Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 2003,36(3):216-227
- [15] 中国标准出版社.中国林业标准汇编(营造林卷)[M].北京:中国标准出版社,1998
- [16] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986
- [17] 许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社,1986
- [18] 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
- [19] Jimenez M D, Horra A M, Pruzzo L, *et al.* Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002,35(4):302-306
- [20] 杨万勤,王开运.土壤酶研究动态与展望[J].应用与环境生物学报,2002,8(5):564-570
- [21] Gianfrda L, Sannino F, Violante A. Pesticide effects on the activity of free, immobilized and invertase[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995,27:1201-1208
- [22] 汪景宽,汤方栋,张继宏,等.不同肥力棕壤及其微团聚体中酶活性比较[J].沈阳农业大学学报,2000,31(2):185-189
- [23] 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碳库与肥力的变化[J].生态学报,2008,28(6):2536-2545
- [24] 范燕敏,朱进忠,武红旗.北疆退化荒漠草地土壤颗粒的分形特征[J].草原与草坪,2008(4):10-13,19
- [25] 林开旺.宁化禾口紫色土不同治理措施土壤结构特性[J].福建水土保持,2002,14(2):57-60
- [26] 李尚妙.营造台湾相思水土保持林对土壤结构和养分的影响[J].福建林业科技,1999,26(2):34-36
- [27] 常庆瑞,安韶山,刘京,等.黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1995,5(4):6-9,44
- [28] 安韶山,常庆瑞,李壁成,等.不同林龄植被培肥改良土壤效益研究[J].水土保持通报,2001,21(3):75-77
- [29] 钟继洪,郭庆荣,谭军,等.坡地赤红壤物理退化及其机理研究 I.土壤结构退化研究[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(2):154-160
- [30] 龚伟,颜晓元,蔡祖聪,等.长期施肥对小麦-玉米作物系统土壤颗粒有机碳和氮的影响[J].应用生态学报,2008,19(11):2375-2381
- [31] 周先容,陈劲松.川西亚高山针叶林土壤颗粒的分形特征[J].生态学报,2006,25(8):891-894
- [32] 金发会,李世清,卢红玲,等.石灰性土壤微生物量碳、氮与土壤颗粒组成和氮矿化势的关系[J].应用生态学报,2007,18(12):2739-2746