

黄土丘陵区红豆草和苜蓿植物篱对土壤颗粒组成的影响

姚志杰¹, 张社朝², 陈云明³

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省防护林建设工作站, 西安 710082; 3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以苜蓿、红豆草两种植物篱为研究对象,对黄土丘陵沟壑区坡耕地布设植物篱后不同坡位土壤颗粒含量的变化、土壤分形维数进行研究,分析了植物篱对土壤颗粒组成的影响。结果表明:(1) 同坡面相比,中坡及下坡土壤极细沙粒与粗粉粒含量增加,细粉粒与黏粒含量减少,出现相对于上坡的土壤机械组成粗化现象,且下坡粗化程度大于中坡;(2) 相对于对照坡面,植物篱坡面各坡位粗化现象均得到缓解,红豆草对土壤颗粒的影响在上坡表现明显,苜蓿的影响在下坡表现明显;(3) 坡面土壤分形维数呈现上部>中部>下部,苜蓿>红豆草>对照样地;(4) 土壤颗粒与土壤分形维数的相关性分析显示,土壤分形维数与极细沙粒、粗粉粒呈极显著($P<0.01$)负相关,与黏粒呈显著($P<0.05$)正相关。

关键词:黄土丘陵区; 坡耕地; 植物篱; 土壤分形维数

中图分类号:S714

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0020-05

Effect of Sainfoin and Alfalfa Hedgerow on Soil Particles in Loess Hilly Region

YAO Zhi-jie¹, ZHANG She-chao², CHEN Yun-ming³

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Shaanxi Work Station of Shelter Forests Construction, Xi'an 710082,

China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To figure out the effect of hedgerow on soil particles in loess hilly region, the particle contents and fractal dimension of soil were measured, and the their correlation were analyzed at different slope positions in alfalfa and sainfoin hedgerows. The results showed that: (1) very fine sand and coarse silt contents increased from the top slope to the bottom slope, but contents of fine silt and clay decreased from the top slope to the bottom slope. Therefore, the coarsening of soil increased from the top slope to the bottom slope; (2) compared with control slope, hedgerows had significant effect on reducing the coarsening of soil at different slope positions, the effect of sainfoin hedgerow is more effective on soil particle in the top slope, while alfalfa hedgerow is more effective on the bottom slope; (3) the soil fractal dimension at different slope positions showed as following order: the top>the middle>the bottom, and for the order different hedgerow plots was alfalfa>sainfoin>control; (4) the fractal dimension of soil has negative correlation with the contents of very fine sand and coarse silt ($P<0.01$), and has positive correlation with content of clay ($P<0.05$).

Key words: loess hilly areas; sloping land; hedgerow; fractal dimension of soil

土壤是由大小、形状不同的固体颗粒以一定连结方式组成的具有自相似性^[1]的多孔介质,外观上为不规则的几何体^[2],分形维数是一个描述具有自相似性的粗糙或零碎的几何形状或物体对空间填充程度的统计量,为精确描述土壤特性及结构提供了可靠的理论支持^[3]。近年来,运用分形理论描述土壤物理结构

特征作为一种新方法被广泛应用^[4-6]。Perfect 和 Kay^[7]把分形理论在土壤学研究中的应用分为 3 类:(1) 描述土壤的物理特征;(2) 建立土壤的物理过程模型;(3) 定量分析土壤的空间变异性。土壤分形维数在表征土壤颗粒组成、大小的同时,还可以反映土壤质地的均一性^[8];土壤团粒结构的分形维数研究表

收稿日期:2013-01-20

修回日期:2014-02-20

资助项目:“十二五”农村领域国家科技计划“农田水土保持关键技术与示范”(2011BAD31B05-02)

作者简介:姚志杰(1988—),男,河南淮阳县人,硕士研究生,主要研究方向为农田水土保持。E-mail:yaozj2011@163.com

通信作者:陈云明(1967—),男,陕西省澄城县人,研究员,博士,主要研究方向为植被生态。E-mail:ymchen@ms.iswc.ac.cn

明,分形维数可以反映土壤的肥力状况^[9];分形维数与反映土壤沙质荒漠化的土壤有机质含量以及植物重要值显著相关^[10];土壤分形维数还可以用于模拟与预测土壤的水分特征^[11]。

植物篱技术是指沿坡地等高线密植木本植物、灌木、多年生草本植物或灌草结合的植物篱带并间以农作物,实现保护土地资源、提高土地生产力的一种农林复合的土地利用技术。植物篱技术自 20 世纪 90 年代初被引入我国以后,在水土保持方面发挥了重要作用^[12],我国学者在植物篱推广的过程中对植物篱进行了大量研究,研究表明:植物篱通过根部阻挡径流,减小流速,降低径流的挟沙能力,细沟不易形成,进而减少土壤侵蚀^[13-14];植物篱可以显著提高土壤中 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量和机械稳定性^[15];汪三树^[16]对桑树的研究表明桑树地埂植物篱对坡耕地土壤的影响范围主要集中在篱带 30 cm 以内,其外则受农田耕作的影响更大;马云等^[17]的研究表明皇竹草植物篱对黏粒拦截作用显著,黏粒在篱前产生富集作用,且土壤分形维数与粉粒、黏粒的含量呈正相关关系,刘霞等^[18]在沂蒙山区的研究表明土壤分形维数可以较好的反映植物群落对土壤颗粒组成的影响,认为土壤分形维数是一项评价土壤物理结构的综合性指标。

目前国内植物篱研究进展南北差异较大,北方研究较少,且国内对植物篱防止水土流失方面的研究多集中对土壤流失总量的研究,对土壤中不同颗粒成分的深入研究较少。在本文以黄土丘陵沟壑区植物篱作用下的土壤为研究对象,研究植物篱作用下坡面不同部位的土壤颗粒分形维数的变异,有利于了解植物篱作用下土壤颗粒状况的变化及其空间分布格局,为植物篱在黄土丘陵区的应用和推广提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

安塞地处黄土高原中部,东经 $108^{\circ}51'44''$ — $109^{\circ}26'18''$,北纬 $36^{\circ}30'45''$ — $37^{\circ}19'31''$,海拔 997~1 731 m,属典型黄土丘陵沟壑区。土壤类型上处于黄绵土与沙黄土交错区,主要土类黄土性土,包括黄绵土、绵沙土、灰绵土 3 个亚类,占总土地面积的 88.36%,是主要耕作土壤。气候上处于暖温带半湿润向半干旱过渡区,年均温 8.8°C ,无霜期 157 d;年平均降雨量 505.3 mm,受季风的影响,四季降水分配很不均匀,夏季最多,平均 282.4 mm,占年降水量的 56%;年总辐射量 $492.20\text{ kJ}/\text{cm}^2$,以 6 月份总辐射最高,占年总辐射量的 13%。境内水土流失严重,水土流失面积

占总土地面积的 97% 左右,土壤侵蚀模数一般在 $4\ 000\sim15\ 000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,多年平均输沙量 2 388 万 t,年平均输沙量达 $8\ 373\text{ t}/\text{km}^2$,属强度水土流失区。

研究区位于中国科学院安塞水土保持综合试验站敦山试验地,试验地建立径流小区 3 个,分别为苜蓿植物篱径流小区、红豆草植物篱径流小区和空白对照小区,小区宽 5 m,长 20 m,坡度 $22^{\circ}\sim24^{\circ}$,每条植物篱带布设植物 4 行,行距 30 cm,带宽 1 m 左右,盖度 70%~90%,带间距 4 m,其间不种植作物,定期清理杂草。

试验地在试验前为沙棘林径流小区,2011 年秋进行整地、深耕,彻底清理沙棘地上地下部分,并于 2012 年 4 月开始布设植物篱,进行一年预处理以减少沙棘林对土壤的影响,至 2013 年 11 月已经历两个完整的生长周期。

1.2 样品采集与分析

2013 年 11 月上旬,在径流小区坡面的上、中、下坡位分别选取代表性植物篱带 5 条,在带内及篱带上部 30,60 cm 处采集 0—20 cm 的表层土壤,带内取样两次,其余取样一次,每条篱带共取样品四个,每个样品取样时重复三次,混合成一个土样,样品带回室内去除杂物后风干,过 2 mm 筛备用。每种植物篱小区的样品均取自同一小区。

测定前用双氧水浸泡 24 h,去除有机质,然后用超纯水浸泡 24 h,确保土粒分散。粒度测量用中科院水土保持研究所重点室 MS-200 激光粒度分析仪(英国马尔文公司产)分析测得。该仪器的测量范围是 $0.02\sim2\ 000\ \mu\text{m}$,重复测量误差小于 2%,试验中测得粒径分 11 个级别: $0\sim0.001$, $0.001\sim0.002$, $0.002\sim0.005$, $0.005\sim0.01$, $0.01\sim0.02$, $0.02\sim0.05$, $0.05\sim0.1$, $0.1\sim0.2$, $0.2\sim0.25$, $0.25\sim0.5$, $0.5\sim2\text{ mm}$ 。

1.3 土壤分形维数计算方法

杨培岭等^[2]通过假设不同直径土粒具有相同密度的方式推倒了土壤颗粒质量分形维数,但是有学者质疑不同土粒具有相同密度这一假设^[19]。本文参考杨培岭的推导过程,进行土壤颗粒粒径分形维数的推倒,过程如下:

设大于某一粒径 d_i ($d_i > d_{i+1}$, $i=1,2,3,\dots$) 的土粒的体积为 $V(\delta > d_i)$,则:

$$V(\delta > d_i) = A[1 - (d_i/k)^{3-D}] \quad (1)$$

式中: δ ——颗粒直径; A,k ——描述形状、尺度的常数; D ——土壤的分形维数。

以 d_i 表示两粒径 d_i 与 d_{i+1} 之间粒径的平均值,则:

$$V(\delta > d_i) = A[1 - (d_i/k)^{3-D}] \quad (2)$$

以 V_0 表示土壤颗粒的总体积,由定义可知 $\lim_{i \rightarrow \infty} \bar{d}_i = 0$,结合公式(2)可得:

$$V_0 = \lim_{i \rightarrow \infty} V(\delta > \bar{d}_i) = A[1 - (0/k)^{3-D}] = A \quad (3)$$

由(2),(3)可知:

$$\frac{V(\delta > \bar{d}_i)}{V_0} = 1 - (\frac{\bar{d}_i}{k})^{3-D} \quad (4)$$

以 \bar{d}_{\max} 表示 \bar{d}_i 中的最大值,则 $V(\delta > \bar{d}_{\max}) = 0$, 代入(4) 可得 $k = \bar{d}_{\max}$,即:

$$\frac{V(\delta > \bar{d}_i)}{V_0} = 1 - (\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}})^{3-D} \quad (5)$$

或

$$\frac{V(\delta < \bar{d}_i)}{V_0} = (\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}})^{3-D} \quad (6)$$

以无量纲数 $\lg[V_i(\delta < \bar{d}_i)/V_0]$, $\lg[\bar{d}_i/\bar{d}_{\max}]$ 为纵、横坐标,则线性回归方程的斜率为 $3-D$, D 即为土壤的分维数。

2 结果与分析

2.1 土壤粒径结构变化

由表 1 可知,所测试的土样样品中极细沙粒(0.05~0.1 mm)的含量为 26.22%~28.67%,粗粉粒(0.02~0.05 mm)为 38.89%~42.07%,细粉粒(0.002~0.02 mm)为 15.54%~18.85%,黏粒(<0.002 mm)为 5.20%~6.74%,较大土壤颗粒的规

律性较差,部分样品不含中砂、粗砂与极粗砂,分析时把极粗砂、粗砂、中砂与细砂归为一类,统称沙粒(0.1~2 mm),其变化范围为 8.40%~11.15%。苜蓿、红豆草植物篱小区的土壤粒径结构表现出相同趋势,坡面从上至下,极细砂粒、粗粉粒表现出增加趋势,极细沙粒含量增加幅度分别为 4.8%和 4.5%,粗粉粒含量增加幅度分别为 3.1%和 3.9%;细粉粒与黏粒表现出含量减少的趋势,细粉粒减少幅度分别为 8.3%和 6.2%,黏粒减少幅度分别为 10.6%和 4.4%。红豆草径流小区土壤主要颗粒成分包括极细沙粒、粗粉粒、细粉粒和黏粒等在上坡与中坡及上坡与下坡之间的含量差异均达显著水平;苜蓿径流小区中极细沙粒、粗粉粒在上坡与下坡及中坡与下坡之间的含量差异达到显著水平,细粉粒仅在上坡与下坡之间达到显著。可见植物篱的存在对坡面颗粒的空间分布有显著影响,且不同植物篱对土壤颗粒的影响不同:红豆草对土壤颗粒分布的影响在上坡表现的更显著,且影响颗粒范围比苜蓿植物篱广,对较细小的颗粒也能产生显著影响;苜蓿对土壤颗粒的影响在下坡表现的更显著,而且其影响主要集中在极细沙粒与粗粉粒等较大颗粒。空白对照小区中土壤颗粒在不同坡位的含量差异除细粉粒在中坡与下坡之间达到显著水平外,其余各粒径的百分含量在各坡面的差异均不显著。

表 1 各径流小区不同坡位表层土壤粒径结构 %

土壤颗粒	坡位	红豆草植物篱	苜蓿植物篱	对照
沙粒(0.1~2 mm)	上坡	8.58±0.59Aa	11.06±0.86Ba	9.08±1.34ABa
	中坡	8.96±0.31Aa	11.15±0.91Ba	7.90±0.03Aa
	下坡	8.40±0.25Aa	9.71±0.54Aa	8.52±0.06Aa
极细砂(0.05~0.1 mm)	上坡	26.32±0.22Aa	26.22±0.33Aa	28.08±0.50Ba
	中坡	27.05±0.14ABb	26.62±0.21Aa	27.56±0.96Ba
	下坡	27.57±0.99Ab	27.41±0.21Ab	28.67±0.04Ba
粗粉粒(0.02~0.05 mm)	上坡	39.52±0.29Aa	38.89±0.48Aa	41.78±0.66Ba
	中坡	40.15±0.14Aab	39.11±0.45Ba	41.97±0.40Ca
	下坡	40.72±0.17Ab	40.42±0.26Ab	42.07±0.27Ba
细粉粒(0.002~0.02 mm)	上坡	18.85±0.32Aa	17.80±0.43Ba	15.77±0.02Cab
	中坡	17.71±0.17Ab	17.21±0.39Aab	17.14±1.16Aa
	下坡	17.27±0.11Ab	16.69±0.13ABb	15.54±0.13Bb
黏粒(<0.002 mm)	上坡	6.74±0.18Aa	6.03±0.12Ba	5.28±0.20Ca
	中坡	6.13±0.11Ab	5.90±0.20ABa	5.43±0.17Ba
	下坡	6.03±0.06Ab	5.76±0.08Aa	5.20±0.12Ba

同列不同大写字母表示不同径流小区间差异显著,同行不同小写字母表示不同坡位间差异显著($P<0.05$)。

2.2 土壤粒径分布的分形特征

根据土壤粒度仪分析得出的土壤粒径体积数据,结合上述分维数计算过程,可得到各土壤样品的土壤分形维数(图 1)。

结果显示,从上坡至下坡,红豆草径流小区的分形维数为 2.529 3,2.512 4 和 2.508 8;苜蓿径流小区为 2.511 4,2.507 1 和 2.501 7;对照径流小区为 2.487 1,2.492 1 和 2.481 5。同一径流小区,分形维

数表现出上坡>中坡>下坡,红豆草径流小区分形维数变化量为 0.020 5,苜蓿径流小区为 0.009 7,对照径流小区为 0.005 6;不同小区之间,相同坡位的土壤分形维数的大小均是红豆草>苜蓿>对照。土壤的分形维数越大,土壤质地越细,土壤的结构越复杂,就越容易形成良好土壤结构,由试验数据可知,植物篱处理可增大土壤分形维数,降低不同坡位之间土壤分形维数的差异,即植物篱能改善土壤状况,促进土壤形成良好土壤结构,且红豆草植物篱效果高于苜蓿植物篱。

对土壤各粒径与土壤分形维数进行相关性分析,结果显示极细沙粒和粗粉粒与土壤分形维数呈极显著

负相关,相关系数分别为 $-0.632(P<0.01)$, $-0.728(P<0.01)$,即极细沙粒与粗粉粒含量越高,土壤分形维数越低;黏粒与土壤分形维数呈显著正相关,相关系数为 $0.333(P<0.05)$,即黏粒含量越高,土壤分形维数越高;细粉粒与土壤分形维数的相关性不显著。该研究区位于黄土丘陵沟壑区,水力侵蚀对该区的土壤侵蚀有重要影响,侵蚀发生时往往是土壤表层细颗粒物质首先流失,黏粒与细粉粒会早于粗粉粒与极细沙粒产生流失,从这方面说土壤中极细沙粒与粗粉粒的含量反映土壤的粗化程度,由此可以得出结论:土壤分形维数可以描述该地区土壤的粗化程度。

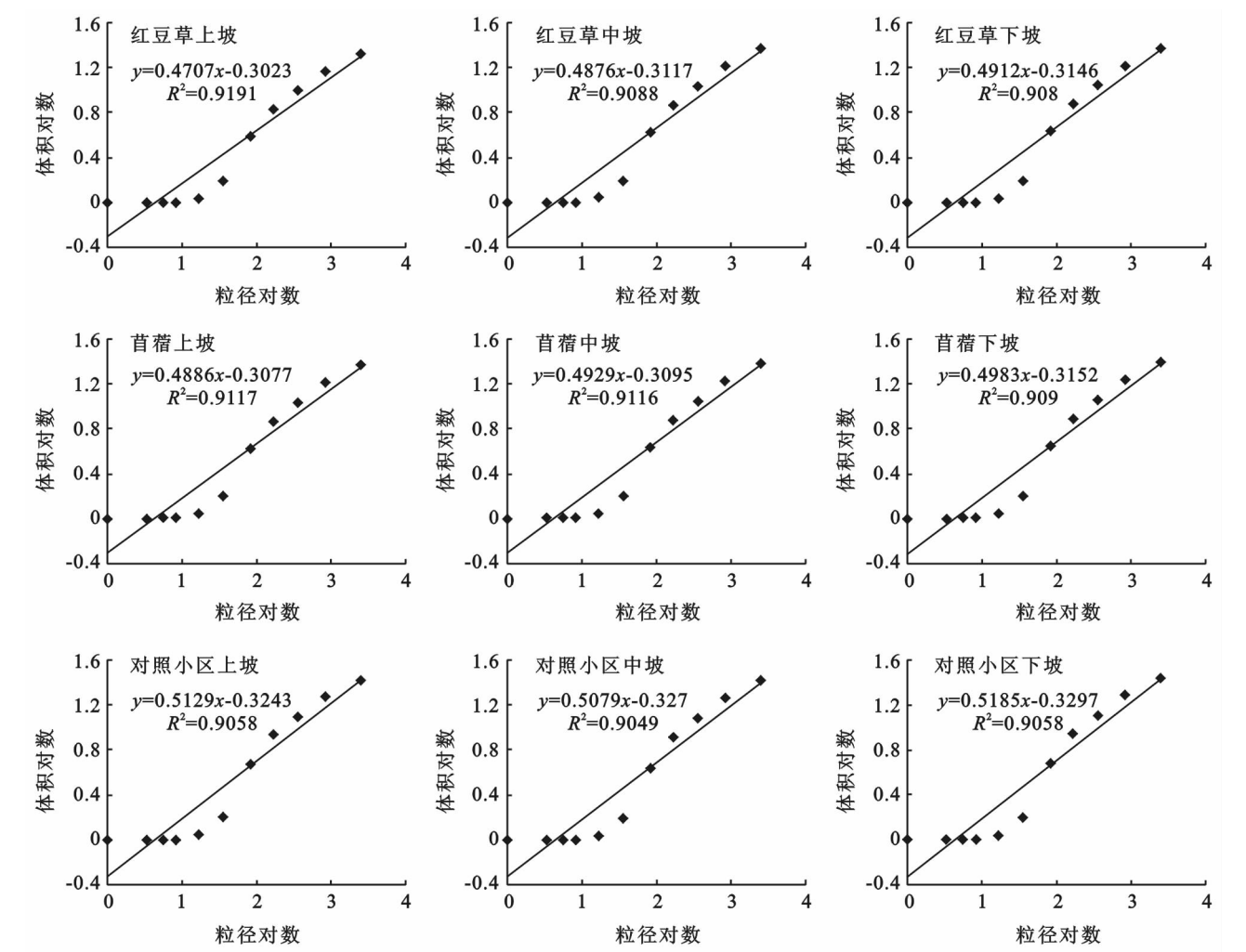


图 1 各坡面不同坡位土壤的粒径组成关系

3 结论与讨论

在径流小区内通过两年的植物篱栽培,分析小区内不同位置土壤的分形维数,结果表明,从上坡至下坡,土壤不同粒径颗粒含量出现规律性变化,其中极细砂粒、粗粉粒的百分含量在下坡得到提升,细粉粒与黏粒在下坡百分含量有所降低,说明经过降雨的冲刷,土壤的机械组成出现粗化现象,且下坡粗化程度

高于上坡,这一点与符素华的研究结果相似^[20],而与王晓燕的研究结果不同^[21]。颗粒含量差异的显著性分析显示不同植物篱对颗粒的影响稍有不同,这一点可能与植物篱物种特性包括枝条密度、根系数量、根系分布等以及栽植密度有关,需要进一步研究分析。

土壤中的细小颗粒能促进土壤形成良好土壤结构,提高土壤肥力供应能力,其中土壤黏粒的含量与土壤碳氮含量之间呈现显著正相关^[22]。不同坡面间

进行比较发现,植物篱处理的小区极细砂粒、粗粉粒的百分含量小于对照坡的最低百分含量,而细粉粒与黏粒的百分含量高于对照坡面的最高百分含量,即植物篱小区土壤粗化程度低于对照小区,说明植物篱可以减小径流对土壤的侵蚀作用,改变坡面土壤的机械组成,提高细粉粒与黏粒的含量。可见植物篱在保持坡面土壤肥力方面具有重要意义。

土壤是一种多孔介质,土壤分形维数作为反映土壤结构与质地性状一种重要参数,实际上反映了土壤颗粒的大小组成和对空间的填充能力。土壤分形维数越大,小颗粒含量就越高,土壤质地越细,微小孔隙的数量就越多,土壤结构也就越复杂;土壤分形维数越小,则越难形成复杂土壤结构。本试验运用分型模型对土壤的分形维数进行了计算,结果表明,植物篱小区的土壤分形维数高于对照小区的土壤分形维数,植物篱小区区内土壤分形维数差异小于对照小区,可见植物篱对促进土壤形成复杂结构、防止坡面因径流侵蚀而快速粗化方面有积极作用。

大量深入的研究植物篱与土壤之间的关系,对进一步运用土壤分形维数描述土壤结构以及在促进植物篱的推广方面等都具有重要意义。

参考文献:

- [1] Turcotte D L. Fractals and fragmentation [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978—2012), 1986, 91(B2):1921-1926.
- [2] 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.
- [3] 程先富,赵明松,史学正,等.兴国县红壤颗粒分形及其与环境因子的关系[J]. *农业工程学报*,2008,23(12):76-79.
- [4] 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.
- [5] 王德,傅伯杰,陈利顶,等.不同土地利用类型下土壤粒径分形分析[J]. *生态学报*,2007,27(7):3081-3089.
- [6] 王展,张玉龙,虞娜,等.冻融作用对土壤微团聚体特征及分形维数的影响[J]. *土壤学报*,2013,50(1):83-88.
- [7] Perfect E, Kay B D. Applications of fractals in soil and tillage research;a review[J]. *Soil and Tillage Research*, 1995,36(1):1-20.
- [8] 郑伟,朱进忠,潘存德.喀纳斯草地群落和土壤理化特征对放牧干扰的响应[J]. *草业科学*,2008,25(8):103-109.
- [9] 赵文智,刘志民,程国栋.土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征[J]. *土壤学报*,2002,39(6):877-881.
- [10] 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.
- [11] Turcotte D L. Fractals and fragmentation[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*(1978 - 2012), 1986,91(B2):1921-1926.
- [12] Angima S D, Stott D E, O'Neill M K, et al. Use of calliandra-Napier grass contour hedges to control erosion in central Kenya[J]. *Agriculture, ecosystems & environment*,2002,91(1):15-23.
- [13] 蔡强国,黎四龙.植物篱笆减少侵蚀的原因分析[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*,1998,4(2):54-60.
- [14] 马云,何丙辉,何建林,等.基于水动力学的紫色土区植物篱控制面源污染的临界带间距确定[J]. *农业工程学报*,2011,27(4):60-64.
- [15] 蒲玉琳,林超文,谢值体,等.植物篱—农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征[J]. *应用生态学报*,2013,24(1):122-128.
- [16] 汪三树,黄先智,史东梅,等.基于 LeBissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究[J]. *生态学报*,2013,33(18):5589-5598.
- [17] 马云,何丙辉,何建林,等.三峡库区皇竹草植物篱对坡面土壤分形特征及可蚀性的影响[J]. *水土保持学报*,2012,25(4):79-82.
- [18] 刘霞,姚孝友,张光灿,等.沂蒙山林区不同植物群落下土壤颗粒分形与孔隙结构特征[J]. *林业科学*,2011,47(8):31-37.
- [19] Martín M Á, Montero E. Laser diffraction and multi-fractal analysis for the characterization of dry soil volume-size distributions[J]. *Soil and Tillage Research*, 2002,64(1):113-123.
- [20] 符素华,段淑怀,刘宝元.密云石匣小流域土地利用对土壤粗化的影响[J]. *地理研究*,2009,20(6):697-702.
- [21] 王晓燕,尹洁.坡面小区土壤流失过程中粒径组成变化及其影响因素[J]. *水土保持学报*,2010,24(4):113-118.
- [22] 田佳倩,周志勇,包彬,等.农牧交错区草地利用方式导致的土壤颗粒组分变化及其对土壤碳氮含量的影响[J]. *植物生态学报*,2008,32(3):601-610.