

黄土丘陵沟壑区欧李人工林对坡面土壤分形特征及可蚀性的影响

李金峰¹, 刘林¹, 薛丽萍¹, 孙雁君¹, 杜俊杰², 王鹏飞²

(1. 山西省水土保持科学研究所, 山西 太原 030045; 2. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801)

摘要: [目的] 研究中国特有经济作物欧李对坡面土壤性质的影响, 为其在黄土丘陵沟壑区推广种植提供参考依据。[方法] 布设 5 块立地条件不同的试验样地, 在汛期前后, 分别对各样地土壤相关指标进行测定, 利用 PSD 分形模型及 EPIC 土壤抗侵蚀模型, 定量分析欧李对坡面土壤颗粒分形维数及抗侵蚀能力的影响。[结果] (1) 在汛期, 欧李人工林对坡面土壤黏粒具有显著的拦截作用, 鱼鳞坑式欧李林可有效保护坡顶处土壤, 水平阶式欧李林在坡中、坡底位置可有效拦截径流中的土壤细颗粒并富集黏粒; (2) 坡面土壤分形维数与土壤砂粒含量呈显著负相关, 相关系数为 -0.611 ; 与土壤黏粒含量呈显著正相关, 相关系数为 0.770 ; (3) 欧李林的种植可降低研究区土壤可蚀性因子 K 值, 提高土壤抗侵蚀能力, 不同整地方式下欧李林对土壤可蚀性因子 K 值的影响效果总体表现为: 水平阶 > 鱼鳞坑 > 自然坡; (4) 土壤可蚀性因子 K 值与土壤的有机质和黏粒含量呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.957 , -0.928 ; 与土壤容重、砂粒含量和粉粒含量呈显著正相关, 相关系数分别为 0.704 , 0.667 , 0.512 。[结论] 种植欧李对黄土丘陵沟壑区控制坡耕地黏粒流失, 提高土壤有机质含量, 优化土壤结构, 增强土壤抗蚀能力具有积极的意义。

关键词: 欧李林; 颗粒组成; 分形维数; 土壤可蚀性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)02-0021-06

中图分类号: S157.4, S157.1

文献参数: 李金峰, 刘林, 薛丽萍, 等. 黄土丘陵沟壑区欧李人工林对坡面土壤分形特征及可蚀性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 21-26. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.003; Li Jinfeng, Liu Lin, Xue Liping, et al. Effects of *Cerasus Humilis* on Soil Fractal Characteristics and Erodibility on Sloping Cropland in Loess Hilly and Gully Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 21-26. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.003

Effects of *Cerasus Humilis* on Soil Fractal Characteristics and Erodibility on Sloping Cropland in Loess Hilly and Gully Region

LI Jinfeng¹, LIU Lin¹, XUE Liping¹, SUN Yanjun¹, DU Junjie², WANG Pengfei²

(1. Shanxi Institute of Soil and Water Conservation, Taiyuan, Shanxi 030045, China;

2. College of Horticulture, Shanxi Agriculture University, Taigu, Shanxi 030801, China)

Abstract: [Objective] *Cerasus humilis* were unique economic fruit trees in China, its effects on soil physico-chemical properties of slope field were studied to provide scientific basis for the extension and plantation in loess hilly area. [Methods] Relevant indexes of 5 fields with different standing conditions were measured before and after flood season. The effects of planting *Cerasus humilis* on soil fractal feature and soil erodibility on sloping cropland were analyzed by models of particle size distribution(PSD) and erosion-productivity impact calculator(EPIC). [Results] (1) During the flood season, planting had obviously buffer function against movement of soil clay particles on slop. Plantation in fish scale-like pit could effectively protect the slope surface soil; Plantation in level-terrace pit had significant effects on the interception and enrichment of soil fine particles in the middle and bottom of slope. (2) Soil fractal dimension was correlated negatively with soil sand particles with a coefficient of -0.611 ; while it had a significantly opposite correlation with clay particles,

收稿日期: 2016-09-19

修回日期: 2016-10-21

资助项目: 山西省科技重大专项“经济型灌木(钙果)在山西生态脆弱区、工矿区生态恢复重建中的应用研究与示范”(20121101010)

第一作者: 李金峰(1976—), 男(汉族), 山西省万荣县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水土保持基础和应用研究。E-mail: sxsbs0351@163.com。

通讯作者: 杜俊杰(1961—), 男(汉族), 山西省闻喜县人, 硕士, 教授, 主要从事果树种质资源研究与创新。E-mail: xoa414@163.com。

the correlation coefficient was 0.770. (3) By planting *Cerasus humilis*, the value of soil erodibility K could be reduced, correspondingly the anti-erosion ability could be improved. The effects on soil erodibility K under different land preparation methods of *Cerasus humilis* plantation had a rank as follows: level-terrace>scale-like>natural slope. (4) Negative correlations between soil erodibility K and the contents of organic matter and soil clay particles, their correlation coefficients were -0.957 , -0.928 , respectively. And positive correlations between K and soil bulk density, soil sand particles and soil silt particles, the correlation coefficients were 0.704 , 0.667 and 0.512 . [Conclusion] Planting *Cerasus humilis* had positive significance to control soil clay particles loss, to increase organic matter content, to optimize soil structure, and to improve anti-erosion ability.

Keywords: *Cerasus humilis* plantation; granule composition; fractal dimension; soil erodibility

晋西黄土丘陵沟壑区地处中国西北生态脆弱区,生态环境恶劣,一直是中国水土流失最为严重的地区之一^[1]。土壤自身抗侵蚀能力的大小是影响水土流失的重要因素之一,国内外学者^[2-5]已经研究证明,土壤粒径分布具有分形特征,粒径分布指数 (particle size distribution, PSD) 是土壤理化性质的重要指标之一,对定量研究土壤水文性质、肥力状况及抗蚀性等具有重要的意义。植被恢复被认为是改善土壤结构、提高土壤质量,增强土壤抗蚀能力的有效方法,但受晋西黄土丘陵沟壑区特殊的立地条件和气候环境限制,适合于该地区推广种植的植物资源非常匮乏,且市场价值低,农民种植积极性不高,从而形成环境恶劣—人民贫困—植被稀缺的恶性循环模式^[6-7]。欧李 (*Cerasus humilis*) 是中国独有的新型经济果树,与美国蓝莓、俄罗斯大果沙棘领军世界第 3 代水果,经济价值极高且在中市场非常受欢迎。作为植物资源,欧李具有耐干旱、耐贫瘠、耐盐碱等特点。长期以来,许多学者^[8-10]对欧李的育种养殖、营养价值及果品加工等方面进行了深入细致的研究,而针对欧李作为水土保持植物对其土壤颗粒分形特征及土壤可蚀性 K 值影响作用的研究鲜见报道。本研究旨在通过 PSD 分形模型及 EPIC 土壤抗侵蚀模型定量分析欧李林对晋西黄土丘陵沟壑区坡耕地土壤分形特征及土壤可蚀性的影响,以期丰富欧李相关水土保持功能的研究,为其在黄土丘陵沟壑区推广种植提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区设在山西省吕梁市柳林县留誉镇的联盛生态农业文化园区内 ($110^{\circ}54'—110^{\circ}56'E$, $37^{\circ}13'—37^{\circ}15'N$), 属于典型的黄土高原丘陵沟壑地貌。该区属于暖温带大陆性气候, 年均气温 $10.5^{\circ}C$, 年均日照时间 $2\ 449.5\ h$, 年无霜期 $199\ d$, 年均降雨量 $369.4\ mm$, 多集中在 5—9 月的汛期, 约占全年降水的 70%。土壤类型以第四纪黄土为主, 质地疏松, 保水保肥力差, 易遭降雨侵蚀, 造成水土流失。植被多样性差, 以草本植物和灌木为主, 生态环境脆弱。

1.2 试验小区的选取与布设

2014 年在试验区内修建了 5 个径流观测小区, 规格为长 (20 m) \times 宽 (10 m), 阳坡面, 土壤均为黄褐土, 小区坡度均为 15° 。同年, 在 2, 3, 4 号小区分别定植林龄为 3 a 的欧李林, 但整地方式不同; 1 号小区为撂荒地小区, 无植被; 5 号小区为荒草地小区, 植被为黄刺玫、马蒿草等杂草。定植的植被株行距均为 $1.0\ m \times 0.5\ m$, 各小区特征详见表 1。水平阶整地采用沿等高线自上而下的里切外垫, 修成 $1.0\ m$ 宽的小台阶, 台面外高里低, 呈倒坡形; 鱼鳞坑整地, 沿等高线自上而下挖牙形鱼鳞坑, 呈品字配置, 鱼鳞坑长径 $0.6\ m$, 短径 $0.4\ m$, 深 $0.4\ m$; 自然坡面不进行整地, 按品字形翻挖直径 $0.4\ m$, 深 $0.4\ m$ 的坑。

表 1 试验小区基本特征

小区编号	坡向	坡度/ ($^{\circ}$)	小区规格/ m	植被类型	平均 株高/m	植被覆 盖度/%	株行距/m	整地方式
1	阳坡	15	20 \times 10	无	—	—	—	—
2	阳坡	15	20 \times 10	3 年生欧李 III 号	0.63	90	1.0 \times 0.5	水平阶
3	阳坡	15	20 \times 10	3 年生欧李 III 号	0.63	90	1.0 \times 0.5	鱼鳞坑
4	阳坡	15	20 \times 10	3 年生欧李 III 号	0.63	90	1.0 \times 0.5	自然坡
5	阳坡	15	20 \times 10	3 年生黄刺玫、马先蒿等杂草	0.85	90	1.0 \times 0.5	自然坡

1.3 土样的采集及分析方法

分别于2015年4月采集本底土样和2015年10月采集汛期后(5—9月)的土样。两次土样均在相同的采样点采用同种方法采集:以1号小区为例,以坡长10 m处为界,分为上坡区和下坡区,共4个采样点,坐标分别为:下坡区1号(5 m, 2.5 m), 2号(5 m, 5 m);上坡区3号(5 m, 10 m), 4号(5 m, 15 m)。4个采样点分别采集0—20 cm表层土壤,并在周围0—30 cm范围内平行设置2个重复,将平行土样混合,

每个采样点取约0.5 kg混合土样带回实验室进行室内测定。沿等高线在相同位置布置其他4个小区的采样点,用同种方法采集混合土样,每次采集20个混合土样,2次合计40个土样。试验区土壤基本物理性质详见表2。

将取回的混合土样,去除根系、砾石等杂物,经风干、过筛后测定相关指标。机械组成采用吸管法,土壤容重采用环刀法,pH值采用电位法,有机质含量采用硫酸重铬酸钾法进行测定。

表2 试验区土壤基本物理性质

土层/cm	pH值	采样类别	含水率/ %	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	机械组成质量分数/%		
					砂粒	粉粒	黏粒
0—20	8.42	本底土样	8.12	1.38	33.19	52.36	14.45
	8.55	定植欧李后	10.21	1.05	26.37	54.62	21.01

1.4 模型选取

利用黄冠华^[12]推导的模型计算土壤颗粒分形维数 D ,选用EPIC模型^[11]计算土壤可蚀性因子 K 值。

(1) 黄冠华模型。模型方程为:

$$\lg\left\{\frac{M(r<\bar{R}_i)}{M_T}\right\} = (3-D)\lg\left\{\frac{\bar{R}_i}{R_{\max}}\right\} \quad (1)$$

式中: \bar{R}_i ——两筛分粒级 R_i 和 R_{i+1} 间的粒径平均值; R_{\max} ——最大粒级土粒的平均直径; $M(r<R_i)$ ——粒径小于 R_i 的累积质量; M_T ——土壤各粒级质量总和。将 $M(r<R_i)$ 定义为 M_i ,进行 $\lg(M_i/M_T) - \lg(/R_{\max})$ 的线性回归曲线,记为 $y-x$ 回归曲线,可得粒径分布的分形维数 D 。

(2) EPIC模型。模型方程为:

$$K = [0.2 + 0.3e^{-0.0256S_{AN}(1-S_{IL}/100)}] \times [S_{IL}/C_{LA} + S_{IL}]^{0.3} \times [1.0 - 0.25C/(C + e^{2.72295C})] \times [1.0 - 0.7S_N/(S_N + e^{-5.51+22.95S_N})] \quad (2)$$

式中: S_{AN} ——砂粒(粒径2~0.05 mm)含量(%); S_{IL} ——粉粒(粒径0.05~0.002 mm)含量(%); C_{LA} ——黏粒(粒径<0.002 mm)含量(%); C ——有机碳含量(%); $S_N = 1 - S_{AN}/100$ 。

2 结果与分析

2.1 欧李林对土壤分形特征影响

2.1.1 土壤分形维数变化特征 土壤颗粒粒径的大小对土壤的水、肥、气、热等功能具有重要的影响^[13]。依据美国土壤粒级制土粒大小分类标准划分,共分为3类,分别为砂粒(2~0.05 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)。对2个时期各小区采样点土壤颗粒分形维数分析,统计其变化特征(图1)。可以看出,1—5号小区与本底值相比,采样点1的土

壤颗粒分形维数变化量分别为0.005 1, 0.097 6, 0.073 3, 0.055 2, 0.039 9;采样点4的变化量分别为-0.169 1, -0.031 8, -0.027 5, -0.041 1, -0.080 6。结果表明,汛期前后欧李林小区坡面土壤分形维数整体明显增加,而撂荒地小区和荒草地小区坡面分形维数整体明显降低。从图1可知,欧李人工林在不同整地方式下土壤颗粒分形维数增加程度存在差异性。总体效果表现为:2号水平阶小区>3号鱼鳞坑小区>4号自然坡小区。

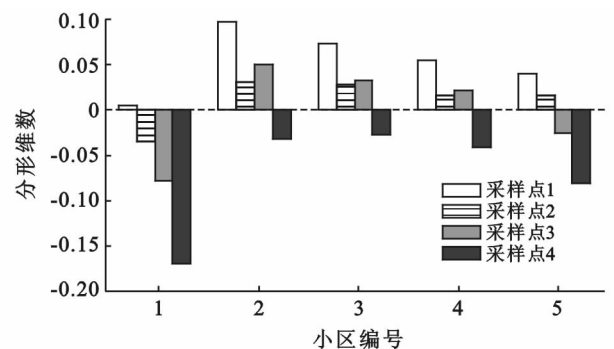


图1 小区各采样点土壤分形维数变化情况

2.1.2 土壤颗粒分形维数与土壤质地的关系 在2个采样期分别对各小区4个采样点的坡面土壤质地及土壤颗粒分形维数进行分析,将砂粒、粉粒及黏粒的含量与同期土壤分形维数进行线性方程拟合,分析土壤颗粒分形维数与土壤质地的关系(图2)。结果表明,土壤分形维数与坡面土壤砂粒含量呈显著负相关关系($R^2 = -0.611$),与黏粒含量呈显著正相关关系($R^2 = 0.770$),与粉粒含量相关关系不显著($R^2 = 0.111$)。与黄冠华等^[12]和马云等^[14]研究结果对比,黏粒含量对当地土壤分形维数的影响程度更加显著。

通过图 1—2 可以看出,在汛期坡面上的土壤细颗粒会随径流向下迁移,并在坡底处累积。与 1 号小区和 5 号小区对比,2,3,4 号小区的上坡处土壤分形维数下降程度低,下坡处增幅明显。且 2,3,4 号欧李人工林小区坡面同一位置土壤分形维数有较大差异,其中在坡顶处(采样点 4),3 号小区的保土效果最佳,表明在坡顶处采用鱼鳞坑的整地方式对控制降雨引起的细沟侵蚀和减少坡面土壤细粒流失具有重要的保护作用;在坡中处(采样点 3)及下坡处(采样点 1,2)水平阶可更好的拦截径流中的土壤中黏粒,细粒富集效果明显。

2.2 欧李林对土壤可蚀性的影响

2.2.1 土壤可蚀性 K 值变化特征

分别对汛期前后各观测小区采样点土壤可蚀性因子 K 值进行计

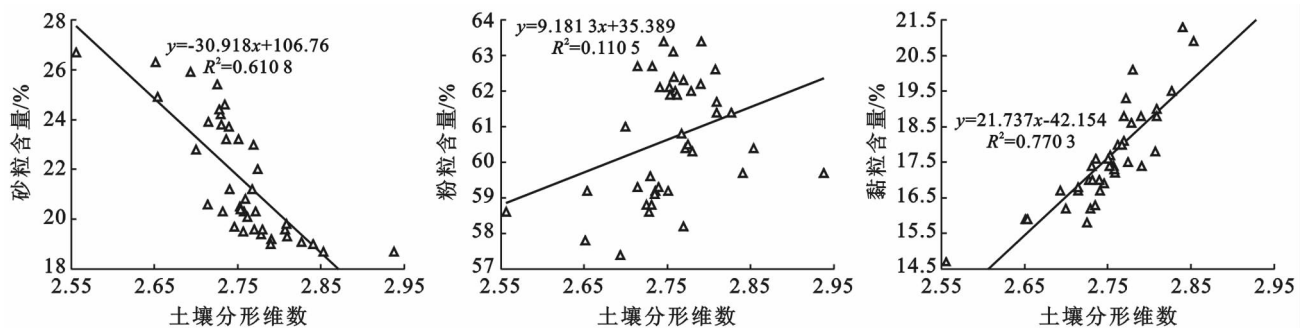


图 2 观测小区土壤颗粒分形维数与颗粒组成的关系

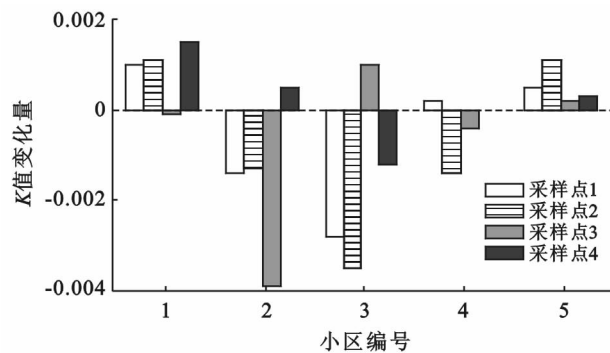


图 3 观测小区各采样点土壤可蚀性因子 K 值变化情况

2.2.2 土壤可蚀性因子 K 值影响因素分析

目前

算,分析 K 值的变化特征(图 3)。由图 3 可知,1—5 号小区土壤可蚀性因子 K 值变化量依次为:0.003 5, -0.006 1, -0.006 5, -0.001 6 和 0.002 1,说明经过汛期降雨的冲刷,撂荒地小区和荒草地小区的土壤可蚀性因子 K 值增大,而定植欧李的观测小区 K 值下降。定植欧李小区对土壤可蚀性因子 K 值的影响效果总体表现为:2 号水平阶小区 > 3 号鱼鳞坑小区 > 4 号自然坡小区。其中坡顶位置采样点 4(3 号小区 > 4 号小区 > 2 号小区),坡中位置采样点 3(2 号小区 > 4 号小区 > 3 号小区),坡底位置采样点 1,2(3 号小区 > 2 号小区 > 4 号小区)。由此可以看出,不同整地方式下欧李人工林对坡面各位置土壤可蚀性因子 K 值的影响存在差异。

国内外评价影响土壤可蚀性因子的指标众多^[15-17],本研究根据晋西黄土丘陵沟壑区坡耕地土壤的实际特点并结合已有研究成果筛选出 5 类指标,对 0—20 cm 土壤可蚀性因子 K 值影响因素进行综合分析。5 类影响指标分别为:砂粒含量、粉粒含量、黏粒含量、有机质含量及容重。研究采用主成分分析法,结果详见表 3。

由表 3 可知,主成分 1,2 的特征值均大于 1,累积方差贡献率为 93.397%,可以反映土壤的抗蚀能力,因此选择主成分 1,2 代表 5 类指标分析对土壤可蚀性因子 K 值的影响程度。

表 3 K 值影响指标的主成分矩阵

主成分	原始相关矩阵特征值			旋转后因子的载荷平方和		
	特征值	贡献值/%	累计贡献率/%	特征值	贡献值/%	累计贡献率/%
1	4.384	61.177	61.177	4.058	58.719	58.719
2	2.242	32.219	93.397	2.648	34.677	93.397
3	0.531	6.603				
4	5.93×10^{-16}	1.41×10^{-15}				
5	-6.31×10^{-17}	-1.23×10^{-15}				

对主成分 1,2 各项影响指标载荷情况进行分析可知(表 4)。主成分 1 中,有机质含量的载荷最大,其

次是容重;主成分 2 中,黏粒含量的载荷最大,其次是砂粒含量和粉粒含量。土壤可蚀性因子 K 值与土壤

的有机质含量和黏粒含量呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.957 , -0.928 ;与土壤容重、砂粒含量和粉粒含量呈显著正相关,相关系数分别为 0.704 , 0.667 , 0.512 。

表 4 K 值影响指标因子分析主成分载荷

影响指标	主成分	
	1	2
砂粒含量	-0.032	0.667
粉粒含量	0.013	0.512
黏粒含量	0.024	-0.928
有机质含量	-0.957	-0.310
容重	0.704	0.169

3 讨论

(1) 在汛期,欧李人工林对晋西黄土丘陵沟壑区坡面土壤颗粒流失具有一定的防治作用,表现为在其他相同条件下,与撂荒地试验区和荒草地试验区相比,欧李林试验区上坡处土壤分形维数下降程度低,下坡处土壤分形维数增幅明显,可见,欧李人工林对土壤颗粒流失有显著的拦截作用,能够改善当地粉砂质土壤的质地,增加黏粒含量,起到蓄水保土的作用。

(2) 从分析数据看,不同整地方式下欧李林对坡面土壤分形维数影响效果不同,且适用区域也存在差别。在采样点 1,2,3 处,欧李林土壤分形维数增幅程度:水平阶>鱼鳞坑>自然坡;在采样点 4 处,土壤分形维数下降程度:鱼鳞坑<水平阶<自然坡。因此,在黄土丘陵沟壑区坡耕地上种植欧李,应根据实际地形将各类整地方式进行有机结合,并考虑植物产量,建立坡底—坡中—坡顶的系统种植模式,以实现降低降雨侵蚀、提高植被存活率、增加农民收入的目的。

(3) 在晋西黄土丘陵沟壑区,坡面土壤颗粒分形维数与砂粒含量呈显著负相关,与黏粒含量呈显著正相关,与粉粒含量相关关系不显著。与黄冠华等^[12]和马云等^[14]研究结果对比,黏粒的含量对当地土壤分形维数的影响程度更加显著。因此,当地坡耕地水土流失治理的重点应集中在对坡面土壤黏粒流失的控制方面。

(4) 土壤可蚀性因子 K 值可直接反映土壤被侵蚀的难易程度, K 值越小代表土壤抗侵蚀能力越强,坡面的土壤越难流失^[14]。经过汛期降雨的冲刷,撂荒地小区和荒草地小区的 K 值增大,而定植欧李林的观测小区 K 值减小,表明欧李林的种植可以提高坡面土壤的抗蚀能力。欧李特殊的“根茎一体化”结构能够形成密集的茎节和根系网,对小粒级的土壤颗粒具有显著的机械拦截作用,减少径流冲刷;厚密的

枯枝落叶层可有效保护土壤水分,促进微生物活动,加速有机质的分解和转化,从而提高土壤抗侵蚀能力,减少坡面水土流失的发生。

(5) 对土壤可蚀性因子 K 值进行主成分分析,发现 K 值与土壤的有机质含量、黏粒含量呈极显著负相关,与土壤容重、砂粒含量和粉粒含量呈显著正相关。因此,在黄土丘陵沟壑区坡耕地上种植欧李林这种高经济价值的水土保持植物对控制坡面黏粒流失、提高土壤有机质含量、优化土壤结构、降低土壤容重,增加土壤蓄水量、减少径流侵蚀等方面具有积极的意义,更是当地农民增加经济收入、改善生态环境的有效途径。

(6) 本研究定植的欧李林龄为 3 a,研究周期相对较短。随着年份、气候和环境因素的变化,土壤分形维数特征和可蚀性因子 K 值也会产生相应的年际变化。另外,欧李林对坡面土壤性质的影响受诸多因素共同制约,有待于延长试验周期,做进一步深入研究。

4 结论

(1) 在汛期,黄土丘陵沟壑区坡面土壤颗粒流失以黏粒为主,随径流由坡顶向坡底处迁移,土壤颗粒分形维数变化特征表明欧李林对坡面流失的土壤细颗粒有显著的拦截作用。

(2) 不同整地方式下的欧李林土壤颗粒分形维数变化特征存在差异,鱼鳞坑可有效保护坡顶处土壤,减少黏粒流失,水平阶在坡中、坡底处对流失的土壤细颗粒具有显著的拦截作用,富集黏粒。

(3) 坡面土壤分形维数与土壤砂粒含量呈显著负相关关系,相关系数为 -0.611 ;与土壤黏粒含量呈显著正相关关系,相关系数为 0.770 ;与土壤粉粒含量相关性不显著。

(4) 欧李林的种植可降低试验区土壤可蚀性因子 K 值,提高土壤抗侵蚀能力,在汛期减少水土流失的发生。不同整地方式下欧李林对 K 值的影响效果总体表现为:水平阶>鱼鳞坑>自然坡。

(5) 坡面土壤可蚀性因子 K 值与土壤的有机质含量、黏粒含量呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.957 , -0.928 ;与土壤容重、砂粒含量和粉粒含量呈显著正相关,相关系数分别为 0.704 , 0.667 , 0.512 。

(6) 欧李是中国特有的经济型果树,研究结果表明,欧李林可以有效控制黄土丘陵沟壑区坡耕地黏粒流失,提高土壤有机质含量,优化土壤结构,增强土壤抗蚀能力,对当地增加农民收入和改善生态环境具有积极的意义。

[参 考 文 献]

- [1] 姚晶晶,张洪江,张友焱,等.晋西黄土丘陵区不同植物群落的土壤分形特征[J].中国水土保持科学,2014,12(5):23-29.
- [2] 谢贤健,韩光中.不同巨桉人工林土壤分形特征及抗蚀性分析[J].土壤,2014(4):725-731.
- [3] 赵洋毅,舒树森.滇中水源区典型林地土壤结构分形特征及其对土壤抗蚀、抗冲性的影响[J].水土保持学报,2014,28(5):6-11.
- [4] Adhikary P P, Tiwari S P, Mandal D, et al. Geospatial comparison of four models to predict soil erodibility in a semi-arid region of Central India [J]. Environmental Earth Sciences, 2014,72(12):5049-5062.
- [5] Xu Guoce, Li Zhanbin, Li Peng. Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China[J]. Catena, 2013,101(2):17-23.
- [6] 土小宁,刘广全,梁月,等.黄土高原水土流失区高效水土保持植物分区配置[J].国际沙棘研究与开发,2014,12(2):29-34.
- [7] 胡建忠.我国生态文明建设的辩证思考:以高效水土保持植物资源配置与开发为例[J].中国水土保持,2015(5):23-27.
- [8] 陈臣,李艳,牟德华.优化 GC 检测欧李酒香气成分的萃取条件[J].食品工业科技,2014,35(6):81-86.
- [9] 冯媛媛.欧李营养成分分析及低糖欧李果脯的开发[D].河北石家庄:河北农业大学,2015.
- [10] 李欧,李卫东,胡璇,等.欧李果实多酚含量的差异比较[J].中国试验方剂学杂志,2012,18(22):53-56.
- [11] Zhu Bingbing, Li Zhanbin, Li Peng, et al. Soil erodibility, microbial biomass, and physical-chemical property changes during long-term natural vegetation restoration: A case study in the Loess Plateau, China[J]. Ecological Research, 2010,25(3):531-541.
- [12] 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.
- [13] 赵明月,赵文武,刘源鑫.不同尺度下土壤粒径分布特征及其影响因子:以黄土丘陵沟壑区为例[J].生态学报,2015,35(14):4625-4632.
- [14] 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,2011,25(4):79-82.
- [15] 王敬贵,亢庆,邝高明,等.尖山河小流域土壤可蚀性 K 值空间变异研究[J].生态环境学报,2014(4):555-560.
- [16] 殷庆元,王章文,谭琼,等.金沙江干热河谷坡改梯及生物地埂对土壤可蚀性的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):41-47.
- [17] 曹祥会,龙怀玉,雷秋良,等.河北省表层土壤可侵蚀性 K 值评估与分析[J].土壤,2015(6):1192-1198.

(上接第 20 页)

(4) 由于两种防沙网都具有各自的优点,可作为不同的防沙措施用于防沙。其中均一型可用来制作高立式阻沙沙障,而功能性防沙网可用来制作低矮的半隐蔽式格状沙障,二者均可用于替代传统的防沙材料,具有极大的应用价值和推广前景。

[参 考 文 献]

- [1] 宋海民.营双高速公路沙漠段路基生态防护技术研究[M].陕西西安:长安大学出版社,2015:87-91.
- [2] 左合君,董智,魏江生,等.沙漠地区高速公路工程防沙体系效益分析[J].水土保持研究,2006,12(6):222-225.
- [3] 陶岩,江源,顾卫,等.内蒙古中部高速公路边坡植被恢复研究[J].中国水土保持科学,2006,4(12):61-66.
- [4] 徐洪雨,王英宇,宋桂龙.高速公路边坡滑坡原因分析及防治对策:以京承三期高速公路(北京沙峪沟—市界段)为例[J].中国水土保持科学,2012,10(5):84-89.
- [5] 王训明,陈广庭,韩致文,等.塔里木沙漠公路沿线机械防沙体系效益分析[J].中国沙漠,1999,19(2):120-127.
- [6] 赵晓彬,党兵,符亚儒,等.半干旱区沙地高速公路防风固沙林营造技术及其效益研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1247-1255.
- [7] 王智远,徐占云,崔琳,等.高速公路沙害防治技术研究:以丹东—拉萨高速公路新地—麻黄沟段为例[J].干旱区资源与环境,2005,19(5):204-208.
- [8] 陆海平,赵国平,胡春元,等.沙漠地区公路植物防沙体系维护技术及效益分析:以 G304 国道公路植物防沙体系维护技术为例[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2006,27(4):20-26.
- [9] 李志刚,陈云鹤,钱国超.高速公路边坡野外模拟冲刷试验研究[J].公路交通科技,2004,21(1):30-32.
- [10] 李建国,屈建军,李芳,等.不同类型防沙堤流场的风洞试验模拟研究[J].中国沙漠,2012,32(2):291-299.
- [11] 尤全刚,薛娴,王涛,等.戈壁地区风沙活动对公路影响的初步研究[J].中国沙漠,2011,31(1):9-15.