

雨强和地表糙度对坡面微地形及侵蚀的影响

李清溪,丁文峰,朱秀迪,庞延杰

(长江科学院 水土保持研究所,武汉 430010)

摘要:地表糙度是影响坡面侵蚀产沙的重要因素之一,以往研究多关注糙度对坡面产流产沙特征的影响,而较少关注不同糙度条件下坡面微地形变化和侵蚀产沙的关系。通过人工模拟降雨试验,结合 Photoscan 技术研究了不同雨强和地表糙度对坡面微地形及产流产沙的影响。结果表明:在试验条件下,降雨后光滑坡面和粗糙坡面4个微地形因子(地表糙度、地形起伏度、地表切割度、洼地蓄积量)数值均减小,且有随雨强增大,其减幅增大的趋势;相同雨强和降雨历时条件下,粗糙坡面微地形因子变化幅度大于光滑坡面,微地形因子变化量与侵蚀产沙量呈明显正相关;与光滑地表相比,粗糙地表只在降雨初期能有效减少产流,随着降雨时间延长,2种坡面的产流率趋于一致;在试验选取的4个雨强条件下,粗糙坡面和光滑坡面产流率均呈现先增大后趋于稳定的趋势。粗糙坡面产沙率和产流率变化规律一致,但光滑坡面产沙率表现出在产流初期迅速增大,而后呈降低并趋于稳定的趋势。研究结果可为揭示坡面土壤侵蚀机理和建立坡面侵蚀产沙模型提供参考。

关键词:雨强;地表糙度;微地形;产流;产沙

中图分类号:S157.1 **文献标志码:**A

文章编号:1001-5485(2019)01-0041-07

Effects of Rainfall Intensity and Land Surface Roughness on Microtopography and Runoff and Sediment Yield of Slope

LI Qing-xi, DING Wen-feng, ZHU Xiu-di, PANG Yan-jie

(Department of Soil and Water Conservation Research, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Surface roughness is an important factor affecting sediment yield. Previous studies are focused on the effect of roughness on runoff and sediment characteristics rather than the relationship between microtopography changes and soil erosion and sediment yield process under different roughness conditions. In this study, the effects of rainfall intensity and land surface roughness on microtopography and runoff and sediment yield are studied by artificial rainfall experiments and Photoscan technique. Results reveal that in the experiment condition, four microtopographic factors, inclusive of surface roughness, relief amplitude, surface incision, and depression storage) decrease on both smooth and rough slopes after rainfall, and the decreasing trend aggravates with the further increasing of rainfall intensity. Under the same rainfall intensity and rainfall duration, microtopographic factors of rough slope change more dramatically than those of smooth slope. There is a significant positive correlation between the variation of topographic factors and the runoff and sediment yield parameters (runoff rate, sediment rate, accumulative runoff volume, and accumulative sediment yield), but the correlation is only based on the condition of the same initial slope treatment; under different slope treatments, the variation of microtopographic factors on the slope does not correspond with the amount of soil erosion. Compared with the smooth surface, the rough surface could effectively reduce runoff yield in the early stage of rainfall, and the yield on both slopes tends to be consistent with the elongation of rainfall duration. Under four rain intensities in the experiment, the runoff rates of rough slope and

收稿日期:2017-06-27; 修回日期:2017-08-03

基金项目:国家自然科学基金项目(41271303,40901135);“十一五”科技支撑计划课题(2008BAD98B02)

作者简介:李清溪(1992-),男,湖北京山人,硕士研究生,主要从事水土保持研究。E-mail:leeqingxi@126.com

通信作者:丁文峰(1975-),男,教授级高级工程师,博士,研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail:wenfengding@163.com

smooth slope both increase at first and then tend to be stable; the sediment yield and runoff rate of rough slope display the same trend; but on smooth slope, sediment yield increases rapidly at the early stage of runoff yield, and then decreases and finally tends to be stable. The research results provide reference for studying soil erosion mechanism and establishing hillslope erosion and sediment yield model.

Key words: rainfall intensity; roughness; microtopography factors; runoff yield; sediment yield

1 研究背景

雨强和地表糙度是影响土壤侵蚀过程的重要因素^[1-3]。雨强不仅直接影响降雨侵蚀力,还影响坡面的产流方式和径流水动力学特征^[4];地表糙度对地表径流产流方式、特征、入渗过程及侵蚀产沙过程也有重要影响^[5-6]。由于试验土壤类型、研究方法、测量手段等的不同,目前关于地表糙度对坡面侵蚀过程的影响研究结果还存在分歧。有学者认为地表糙度可增大坡面流填注量及径流阻力,使径流流速变缓,径流剪切力降低,侵蚀作用减弱^[7-14],而部分学者认为地表糙度对坡面侵蚀的影响存在不确定性^[15],降雨初期粗糙坡面侵蚀量小于光滑坡面侵蚀量,但随着侵蚀过程的进一步发展,粗糙度对侵蚀量的影响几乎没有差别^[16]。地表糙度作为坡面微地形因子之一,会伴随着侵蚀过程的发生而变化,其变化又反过来影响坡面径流的流向和流态^[8, 15],进而影响侵蚀产沙过程^[17]。已有的粗糙度与侵蚀关系的研究注重分析粗糙度对坡面侵蚀特征的影响^[18-23],而未考虑雨强和粗糙度共同作用下坡面侵蚀产沙与地表微地形变化的关系。

本文通过不同雨强和地表糙度条件下的人工模拟降雨试验,结合近景摄影测量技术,获得高精度坡面微地形因子及其变化量,探讨不同雨强和地表糙度下坡面侵蚀产沙与微地形变化的关系,为揭示地表糙度对土壤侵蚀的影响机理和建立坡面土壤侵蚀模型提供依据。

2 试验材料与方法

2.1 供试土壤

试验土壤取自武汉沌口防洪模型基地坡耕地 0~20 cm 表层土壤。试验土样属于中国土壤系统分

类(2001)中的红壤,属于美国土壤分类系统(U. S. Soil Taxonomy USDA 1999)中的老成土(Ultisols)。自然风干后,过 10 mm 筛除去砾石和植物根系等杂质,以保证土壤颗粒的均质性。试验土壤的基本理化性质见表 1。

2.2 试验过程

试验时间为 2016 年 7 月—2016 年 10 月,试验方法为人工模拟降雨法。试验用可变坡土槽尺寸为 2 m×1 m×0.5 m(长×宽×深),坡度设置为 10°。在装填土壤之前,先在土槽底部装填 20 cm 厚的碎石,以保持良好的透水性。在碎石上铺一层纱布后再装填土壤,土层厚度 20 cm,采用分层装填法,每层装填完之后用实心方木锤击压实。土槽装土完成后,在土槽长边和宽边各布置 2 个十字丝控制点,并测出沿土槽 4 边两两相邻控制点的距离,以便计算各个控制点的坐标值。

试验开始前,为了保证每次试验前期土壤含水量基本一致,先在坡面上降一场小雨,雨强为 30 mm/h,降雨量控制在 10 mm,试验前,在坡面上随机选取 4 个点,取表层土样,采用烘干法测土壤含水量。每次试验结束后,更换土槽内的土,以保证每次试验前土壤基本情况一致。试验设计 0.5, 1.0, 1.5, 2 mm/min 4 个雨强。试验前对雨强进行率定,率定时以五点法布设雨量筒,取其平均值。

正式降雨试验开始之前,2 个土槽的坡面分别作“光滑”和“粗糙”的处理,其中光滑坡面保持填土完成后坡面压实刮平的原状,粗糙坡面用小锄头对坡面锄挖形成,糙度主要由土块和锄挖痕迹构成。每次试验,详细观测径流产流过程并收集径流量与泥沙样,记录初始产流时间,产流初期,每 2 min 取一个径流泥沙样,10 min 后每 5 min 取一个径流泥沙样,直至产流达到稳定状态,产流量达到稳定状态是通过观察相同时间段内收集的径流量的体积来判断。径流收集用 50 mL 的烧杯,并记录接样的时间,换算成产流率,

表 1 试验土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of experimental soil

不同粒径土壤的累积质量百分数/%					土壤质地	pH 值	有机质含量/ (g·kg ⁻¹)
黏粒 (<0.002 mm)	细粉粒 ([0.002,0.020) mm)	粗粉粒 ([0.02,0.050) mm)	细砂粒 ([0.05,0.25) mm)	粗砂粒 (≥0.25 mm)			
9.792 7	37.858 5	28.948 3	23.398 9	0.000 5	壤质砂土	4.51	2.46

烘干法测泥沙干质量,换算成产沙率。

试验开始前和结束后,利用带有定焦镜头的佳能 5D Mark IV 单反相机分别对降雨前和降雨后的坡面进行拍照,拍照时相机与坡面成 45°角,在前、左、右 3 个方向上各拍 3 张。

2.3 数据处理

利用加拿大 EOS 公司生产的 Photo Modeler Scanner 6.5 近景摄影测量系统对图片进行对齐、拼接处理,并在同一坐标下(以土槽出口端右角点为坐标原点,沿着土槽长边为 Y 轴,沿土槽宽边为 X 轴)生成密集点云数据,最后把拼接成果导出为坡面微地形数字高程模型(digital elevation model, DEM)文件。利用 ArcGIS 10.0 提取地表糙度(Roughness, R)和另外 3 个常规的地形因子地形起伏度(Relief Amplitude, RA)、地表切割度(Surface Incision, SI)、洼地蓄积量(Depression Storage, DS)来表征坡面微地形^[24-25]。

(1) R 是地表栅格单元曲面面积与投影面积之比,提取时先用 ArcGIS 10.0 中的表面分析中坡度(slope)工具,获得坡度数据层,命名为 slope,然后在 Spatial Analyst 下使用 Raster Calculator 计算粗糙度,即

$$R = 1/\cos([\text{slope}] \cdot \pi/180)。(1)$$

(2) RA 是指在一个特定区域内,地表单元最高点与最低点高程的差值,其计算式为

$$RA = H_{\max} - H_{\min}。(2)$$

式中: H_{\max} 为分析区域内最大高程值(mm); H_{\min} 为分析区域内最小高程值(mm)。本文中通过 ArcGIS 栅格邻域计算工具 Neighborhood Statistics 设置邻域大小 11×11 的矩形作

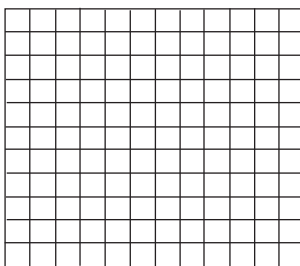


图1 11×11 窗口示意图
Fig1 Diagrammatic drawing of 11×11 window

如图 1 所示。

(3) SI 是指在一个特定区域内,地表单元高程平均值与最小值之差,其计算式为

$$SI = H_{\text{mean}} - H_{\min}。(3)$$

式中: H_{mean} 是分析窗口内高程平均值(mm); H_{\min} 是分析窗口内高程最小值(mm)。

(4) DS 是指坡面洼地被填满所需雨水的体积,采用 Jenson 和 Domingue 算法^[26],先用 J & D 算法对原始 DEM 进行洼地填充,生成无洼地的 DEM;然后通过 ArcGIS 的 Raster Calculator 工具,用填充过的 DEM 减去原始 DEM,求出均值;最后用坡面面积乘以该均值,即得到洼地蓄积量(L)。

对以上提取的数据的平均值进行数理统计分析,使用 SPSS 对试验数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 坡面产流及侵蚀产沙特征

3.1.1 坡面产流特征

根据试验数据,统计了坡面在不同雨强、不同粗糙度条件下的产流产沙特征(见表 2)。

从表 2 中数据可见:在相同的地表处理方式下,产流时间随雨强增大而减小;相同雨强条件下,产流时间随地表糙度增大而增大;在雨强呈倍数增大时,产流时间并不呈等同比数减小,这可能是不同雨强下的产流方式不同引起的^[27]。地表糙度越大,地表的填洼量越大,致使粗糙坡面的产流滞后于光滑坡面,0.5, 1, 1.5, 2 mm/min 雨强下,粗糙坡面产流时间滞后光滑坡面的产流时间分别为 12, 8, 2.41, 1.3 min;雨强越大,地表糙度对坡面产流时间的延缓作用越弱,这主要与大雨强条件下,雨滴对坡面土壤的打击能力强,加剧了坡面土壤团聚体的破碎与剥蚀,部分被雨滴溅散的土粒堵塞了坡面土壤孔隙,促进了土壤表层结皮发育,从而减弱了地表糙度对初始产流时间的延缓作用。

由图 2 可知,不同雨强和地表糙度条件下坡面

表 2 产流产沙参数

Table 2 Parameters of runoff and sediment yield

坡面处理方式	雨强/ (mm · min ⁻¹)	初始地表糙度	初始产流 时间/min	累积产流量/ (L · m ⁻²)	累积产沙量/ (g · m ⁻²)	产流率/ (L · m ⁻² · min ⁻¹)	产沙率/ (g · m ⁻² · min ⁻¹)
光滑	0.5	1.061	30.00	1.761	2.865	0.078	0.139
	1.0	1.088	17.00	15.137	49.116	0.346	0.891
	1.5	1.057	2.92	34.453	95.057	0.703	1.282
	2.0	1.093	0.70	52.923	131.698	0.918	2.658
粗糙	0.5	1.370	42.00	1.011	1.655	0.059	0.088
	1.0	1.341	25.00	9.601	11.894	0.294	0.403
	1.5	1.410	5.33	29.318	36.841	0.674	0.679
	2.0	1.405	2.00	47.360	75.736	0.872	1.204

注:产流率为产流稳定之后的平均产流率,产沙率为产沙稳定之后的平均产沙率

的产流率随时间的变化特点为:随着降雨时间的延长,产流率逐渐增大并最终趋于稳定;相同雨强、不同地表糙度条件下,光滑坡面的产流率在产流初期明显大于粗糙坡面的产流率,但后期这种差异逐渐缩小,这主要与产流初期,粗糙坡面洼地蓄水和较低的径流速度有效增加了雨水的入渗,导致光滑坡面的产流率大于粗糙坡面的产流率;产流后期,光滑坡面和粗糙坡面地表糙度差异进一步缩小且土壤含水量趋于饱和,导致光滑坡面和粗糙坡面产流率大小趋于一致。

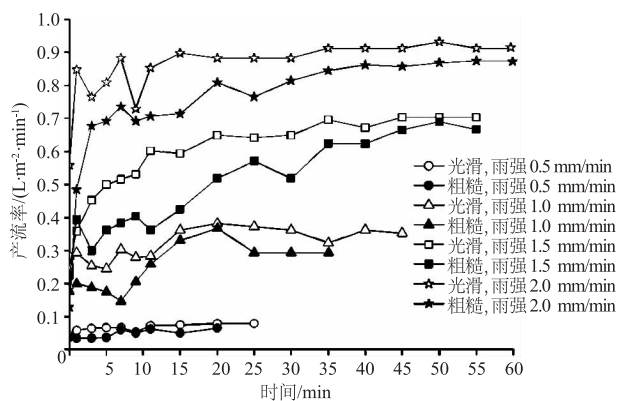


图2 产流率

Fig.2 Rate of runoff yield

3.1.2 坡面产沙特征

从图2和图3可以看出,粗糙坡面产沙率与产流率变化趋势基本一致,但光滑坡面产沙率与产流率变化趋势有着显著差异。在1.0,1.5,2.0 mm/min雨强下,光滑坡面产沙率在产流开始后3 min内迅速增加并达到整个产沙过程的峰值,峰值分别为4.59,6.34,9.74 g/(m²·min),之后产沙率迅速降低并最终趋于稳定;粗糙坡面的产沙率在产流开始后3 min内也达到高峰,峰值分别为0.30,0.94,1.34 g/(m²·min),之后产沙率基本趋于稳定。

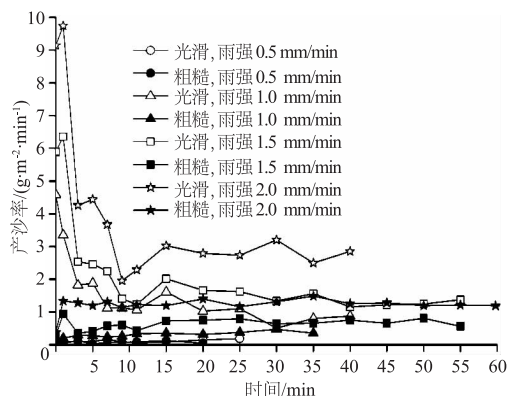


图3 产沙率

Fig.3 Rate of sediment yield

相同雨强条件下,光滑坡面的产沙峰值远大于粗糙坡面的产沙峰值。其原因主要是在产沙初期,

光滑坡面侵蚀机制为“剥蚀限制”型,坡面侵蚀产沙量的大小主要受径流搬运能力的制约,而粗糙坡面由于地表粗糙凹凸不平,雨滴击溅破坏的坡面土壤颗粒在向下输移过程中易于沉积在坡面上,只有颗粒较小的泥沙才能被径流输移,因此粗糙坡面侵蚀机制为“搬运限制”型。随着试验的继续,光滑坡面由于土壤结皮的发育,土壤抗蚀能力增强,尽管径流剪切力增大,但仍不足以剥蚀破坏更多土壤颗粒,因此,产沙率逐渐减小并趋于稳定。而粗糙坡面由于泥沙在输移过程中的沉降和填充,凹凸不平的地表逐渐趋于平整,加之结皮的发育,坡面产沙也趋于稳定。但由于形成结皮的特点不同,粗糙坡面的结皮为沉积结皮,相比与光滑坡面的结构性结皮而言,更致密,抗蚀能力更强,因此抵抗径流剪切的能力也更强,侵蚀产沙率也更低。

3.2 坡面微地形变化特征

图4为雨强2 mm/min条件下粗糙坡面降雨前后的坡面微地形因子数值在空间上的分布情况。

坡面微地形因子的变化能间接反映坡面侵蚀程度,在2种不同坡面处理方式和4个雨强条件下,计算了地形因子的变化值(见表3)。

从表3可见,在0.5,1,1.5,2 mm/min雨强下,降雨结束后,和降雨前坡面比较,光滑坡面的地表糙度减幅依次为0.3%,0.6%,1.3%,1.5%;地形起伏度减幅依次为0.9%,5.8%,8.3%,11.1%;地表切割度减幅依次为1.2%,5.5%,17.4%,19.5%;洼地蓄积量减幅分别为6.6%,15.5%,32.0%,35.3%,粗糙坡面地表糙度减幅依次为5.5%,8.5%,11.5%,16.9%;地形起伏度减幅依次为16.4%,18.7%,19.6%,30.4%;地表切割度减幅依次为14.9%,16.1%,17.1%,27.3%;洼地蓄积量减幅依次为19.6%,21.6%,36.2%,50.0%。

从上述4个微地形因子的变化情况看,试验后均表现出一定程度上的减小。这是因为在降雨过程中,团聚体受雨滴击打、径流浸润作用发生崩解分散后,随雨滴和径流发生迁移,部分在平缓或低洼处沉积,导致不同坡度下地表微地形高差均有不同程度的缩小^[28]。随着雨强的增大,坡面微地形因子的减小幅度也增大,表明坡面处理方式相同的情况下,大雨强对地表的平滑作用更加明显,粗糙处理方式下坡面的地形因子变化幅度整体上要大于光滑处理下坡面地形因子的变化幅度,说明坡面微地形的变化与雨强大小和初始地表糙度有关。雨强越大,雨滴对坡面的击打作用越强,径流能量越大,对坡面细沟的下切作用越强且搬运泥沙的能力越强;初始地表

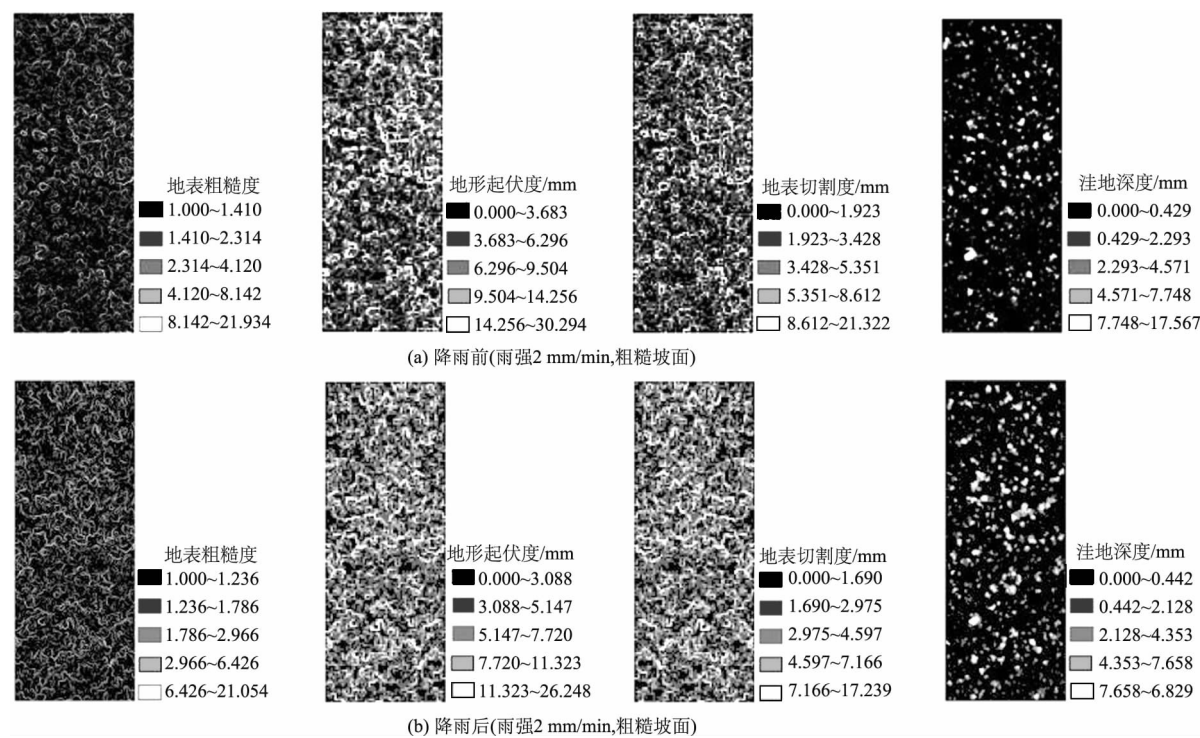


图 4 坡面微地形因子数值量在空间上的分布

Fig. 4 Spatial distribution of microtopographic factors in slope

表 3 降雨前后地形因子变化
Table 3 Changes of topography factors
before and after rainfall

雨强/ (mm · min ⁻¹)	坡面 处理 方式	测量 顺序	地表粗 糙度 R	地形起 伏度 RA/mm	地表切 割度 SI/mm	洼地蓄 积量 DS/mL
0.5	光滑	降雨前	1.061	2.371	1.201	14.60
		降雨后	1.058	2.349	1.186	13.64
	粗糙	降雨前	1.370	5.412	2.624	255.36
		降雨后	1.295	4.527	2.232	205.38
1.0	光滑	降雨前	1.088	2.754	1.392	39.78
		降雨后	1.081	2.593	1.315	33.60
	粗糙	降雨前	1.341	5.532	2.785	301.92
		降雨后	1.246	4.495	2.263	236.64
1.5	光滑	降雨前	1.057	2.282	1.157	35.40
		降雨后	1.043	2.093	0.956	24.08
	粗糙	降雨前	1.410	6.114	3.058	230.64
		降雨后	1.227	4.495	2.337	147.12
2.0	光滑	降雨前	1.093	2.535	1.29	40.64
		降雨后	1.077	2.253	1.039	26.28
	粗糙	降雨前	1.405	5.675	2.87	310.14
		降雨后	1.168	3.951	2.086	155.12

糙度越大,地表凸起和凹陷越多,凸起的土粒很容易被径流侵蚀并搬运至凹陷处沉积,相同雨强下,糙度越大的坡面微地形的变化越明显,对侵蚀的响应更强。降雨后期粗糙坡面的光滑坡面的坡面微地形的差距缩小,这也从坡面微地形变化的角度解释了光滑坡面和粗糙坡面产流率在产流初期相差较大,产流后期逐渐趋于一致的原因。

3.2.3 坡面微地形与产流产沙的关系

为说明坡面微地形因子与产流产沙间的联系,

分别对坡面光滑和粗糙坡面降雨前后 4 个微地形因子的变化量及产流率、产沙率、累积径流量、累积产沙量作相关性分析,结果如表 4 所示。

从表 4 可以看出,光滑坡面和粗糙坡面的 4 个地形因子变化量均呈显著正相关性,相关系数都在在 0.926 以上 ($P < 0.05$),说明坡面在受降雨侵蚀坡面微地形变化过程当中,坡面微地形因子之间具有较高的响应度。累积产沙量、累积产流量等产流产沙参数与地表糙度等微地形因子的变化量之间相关性显著,相关系数均在 0.934 以上 ($P < 0.05$),说明微地形因子的变化量与水土流失量之间有良好的线性关系,可以通过坡面微地形因子的变化量来预测坡面的水土流失量。

由表 3 和表 4 可知,处理方式相同的坡面,随雨强的增大,地形因子的变化量也随之增大,产流产沙参数与地形因子变化量之间呈现显著的正相关,但是,这种正相关只在坡面处理方式相同时才成立。相同雨强和降雨历时下,粗糙坡面的微地形因子变化量要大于光滑坡面,但粗糙坡面水土流失量均要小于光滑坡面。以地表糙度变化量和累积产沙量为例说明,在 0.5, 1.0, 1.5, 2 mm/min 雨强下,降雨后,光滑坡面地表糙度变化量分别为 0.003, 0.007, 0.014, 0.016, 累积产沙量分别为 2.865, 49.116, 95.057, 131.698 g/m²;粗糙坡面的地表糙度变化量

表 4 地形因子变化量、产流产沙参数间的相关系数

Table 4 Coefficient of correlation between topographic factors variation and parameters of runoff and sediment

参数	地形因子变化量				产流产沙参数		
	Δ 地表糙度	Δ 地形起伏度	Δ 地表切割度	Δ 洼地蓄积量	产流率	产沙率	累积产流量
Δ 地形起伏度	0.927 *						
Δ 地表切割度	0.998 **	0.926 *					
Δ 洼地蓄积量	0.992 **	0.967 *	0.990 **				
产流率	0.985 **	0.966 *	0.990 **	0.995 **			
产沙率	0.979 *	0.982 **	0.974 *	0.996 **	0.987 **		
累积产流量	0.978 *	0.950 *	0.988 **	0.985 **	0.997 **	0.972 *	
累积产沙量	0.988 **	0.970 *	0.990 **	0.998 **	0.999 **	0.992 **	0.993 **
Δ 地形起伏度	(0.984 **)						
Δ 地表切割度	(0.975 *)	(0.999 **)					
Δ 洼地蓄积量	(0.972 *)	(0.998 **)	(1.000 **)				
产流率	(0.992 **)	(0.952 *)	(0.938 *)	(0.934 *)			
产沙率	(0.999 **)	(0.990 **)	(0.984 **)	(0.982 **)	(0.985 **)		
累积产流量	(0.993 **)	(0.964 *)	(0.955 *)	(0.950 *)	(0.993 **)	(0.990 **)	
累积产沙量	(0.994 **)	(0.990 **)	(0.987 *)	(0.984 **)	(0.975 *)	(0.997 **)	(0.990 **)

注: Δ ,变化量;*.在置信度(双测)为0.05时,相关性是显著的;** .在置信度(双测)为0.01时,相关性是显著的;“()”内数值表示地表粗糙时地形因子变化量、产流产沙参数间的相关系数

分别为0.075, 0.114, 0.162, 0.237, 累积产沙量分别为1.655, 11.894, 36.841, 75.736 g/m²,可以看出,粗糙坡面的地表糙度变化量大于光滑坡面,但是粗糙坡面的累积产沙量要小于光滑坡面,说明在建立坡面侵蚀产沙模型时,不能仅仅根据微地表微地形因子的变化量来预测坡面的水土流失量,还要考虑初始地表糙度的影响。

4 结 论

(1)与光滑地表相比,粗糙地表只在在降雨初期能有效减少产流,随着降雨时间延长,2种坡面的产流率趋于一致。

(2)在试验选取的4个雨强下,粗糙坡面和光滑坡面的产流率均呈现先增大后趋于稳定的趋势,粗糙坡面产沙率和产流率变化规律一致;但光滑坡面产沙率表现出在产流初期迅速增大,而后呈降低并趋于稳定的趋势。

(3)在试验条件下,降雨后,光滑和粗糙坡面的4个微地形因子值均减小,坡面均趋向于平缓光滑。相同坡面处理方式和降雨历时下,4个微地形因子随降雨侵蚀力的增大,参数值减幅增大。相同雨强和降雨历时下,粗糙坡面的地形因子变化幅度明显大于光滑坡面地形因子的变化幅度,即粗糙坡面的微地形变化对侵蚀的响应比光滑坡面强。

(4)降雨前后微地形因子变化量与产流产沙参数(产流率、产沙率、累积产流量、累积产沙量)之间呈显著的正相关,但这种正相关性仅仅只能建立在

初始坡面处理方式相同的条件下;在不同的坡面处理方式下,坡面微地形因子的变化量大小和与水土流失量大小并不对应。

参考文献:

- [1] 郑子成,吴发启,何淑勤,等. 地表糙度对径流和产沙影响的室内试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, (10): 19-24.
- [2] 施明新,吴发启,田国成. 地表糙率对坡面流流速影响的试验研究[J]. 水力发电学报, 2015, (6): 117-124.
- [3] 王志伟,陈志成,艾 钊,等. 不同雨强与坡度对沂蒙山区典型土壤坡面侵蚀产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2012, (6): 17-20.
- [4] 梁志权,卓慕宁,郭太龙,等. 不同雨强及坡度下坡面流的水动力特性[J]. 生态环境学报, 2015, 24(4): 638-642.
- [5] 梁心蓝,赵龙山,吴 佳,等. 地表糙度与径流水力学参数响应规律模拟[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 123-131.
- [6] 吕悦来,李广毅. 地表粗糙度与土壤风蚀[J]. 土壤学进展, 1992, (6): 38-42.
- [7] JETTEN V, ROO A D, FAVIS-MORTLOCK D. Evaluation of Field-scale and Catchment-scale Soil Erosion Models[J]. Catena, 1999, 37(3/4): 521-541.
- [8] DARBOUX F, DAVY P, GASCUEL-ODOUX C, et al. Evolution of Soil Surface Roughness and Flowpath Connectivity in Overland Flow Experiments [J]. Catena, 46(2/3): 125-139.
- [9] HUANG C, GASCUEL-ODOUX C, CROS-CAYOT S. Hillslope Topographic and Hydrologic Effects on Overland Flow and Erosion [J]. Catena, 2002, 46(2/3): 177-188.
- [10] GILLEY J E, FINKNER S C. Hydraulic Roughness Coefficients as Affected by Random Roughness [J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(3): 897-903.

- [11] GLASBEY C A, HORGAN G W, DARBYSHIRE J F. Image Analysis and Three-dimensional Modelling of Pores in Soil Aggregates[J]. *European Journal of Soil Science*, 1991, 42(3): 479–486.
- [12] PLANCHON O, ESTEVES M, SILVERA N, *et al.* Micro-relief Induced by Tillage: Measurement and Modeling of Surface Storage Capacity[J]. *Catena*, 2002, 46(2): 141–157.
- [13] MITCHELL J K, JONES JR B A. Micro-relief Surface Depression Storage: Changes During Rainfall Events and Their Application to Rainfall-Runoff Models 1[J]. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 1978, 14(4): 777–802.
- [14] LINDEN D R, DOREN D M V. Parameters for Characterizing Tillage-induced Soil Surface Roughness1[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50(6): 1560–1565.
- [15] DARBOUX F C H. Does Soil Surface Roughness Increase or Decrease Water and Particle Transfers? [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(3): 748–756.
- [16] HELMING K, RÖMKENS M J M, PRASAD S N. Surface Roughness Related Processes of Runoff and Soil Loss: A Flume Study[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(1): 243–250.
- [17] 张青峰,王 健,赵龙山,等. 基于 M-DEM 黄土人工锄耕坡面微地形特征研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2012,(9): 149–153.
- [18] 吴发启,贾锐鱼. 地表糙度的量测方法及对坡面径流和侵蚀的影响[J]. *西北林学院学报*, 1998,(2): 15–19.
- [19] 赵龙山,张青峰,王 健,等. 黄土坡面不同微坡位上糙度对降雨侵蚀的响应[J]. *土壤学报*, 2013,(4): 637–642.
- [20] COGO N P, MOLDENHAUER W C, FOSTER G R. Effect of Crop Residue, Tillage-Induced Roughness, and Runoff Velocity on Size Distribution of Eroded Soil Aggregates[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, 47(5): 1005–1008.
- [21] BERTUZZI P, RAUWS G, COURAULT D. Testing Roughness Indices to Estimate Soil Roughness Changes Due to Simulated Rainfall[J]. *Soil & Tillage Research*, 1990, 17(1): 87–99.
- [22] KAMPHORST E C, JETTEN V, GUERIF J, *et al.* Predicting Depressional Storage from Soil Surface Roughness[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(5): 1749–1758.
- [23] ENGMAN E T. Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff[J]. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, 1986, 112(1): 39–53.
- [24] 汤国安. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [25] 张 磊. 基于核心地形因子分析的黄土地貌形态空间格局研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- [26] JENSON K, DOMINGUE O. Extracting Topographic Structure From Digital Elevation Data for Geographic System Analysis[J]. *Sensing*, 1988, 54(11): 1593–1600.
- [27] 陈俊杰,孙莉英,刘俊体,等. 坡度对坡面细沟侵蚀的影响——基于三维激光扫描技术[J]. *中国水土保持科学*, 2013,(3): 1–5.
- [28] 秦 凤. 紫色土区地表微地形变化特征及其对土壤侵蚀的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.

(编辑:王 慰)

长江科学院职工周银军荣获“全国青年岗位能手”称号

根据共青团中央、人力资源和社会保障部联合印发的《关于命名表彰 2016—2017 年度全国青年岗位能手标兵和全国青年岗位能手的决定》(中青联发[2018]6 号文),长江科学院河流研究所周银军同志被授予“全国青年岗位能手”称号。这是长江科学院青年职工首次获得该荣誉。

全国青年岗位能手(标兵)评选活动由共青团中央、人力资源和社会保障部联合开展,旨在引导广大青年弘扬艰苦创业和敬业爱岗精神,立足本职岗位,成为技术熟练、作风过硬的青年岗位能手,同时造就一批品德优良、技能精湛、贡献突出的优秀青年人才,并通过表彰先进、树立典型,激励广大青年不忘初心、牢记使命,在实现中华民族伟大复兴的历史进程中接力奋斗。

周银军同志自 2010 年博士毕业到长江科学院工作以来,在长江河道治理、三峡水库减淤调度等治江工作中取得了较为丰硕的成果,为流域水沙资源调控基础研究和河流治理与保护工作提供了重要的科技支撑。先后主持完成包括国家自然科学基金项目、国家重点研发计划项目、国家重大科学仪器设备开发专项课题、水利部行业公益专项研究等多项重大科研项目。共计发表学术论文 70 余篇,其中 SCI、EI 检索 19 篇(第一作者 13 篇),获发明专利 6 项、实用新型专利 5 项。

(摘自:长江水利科技网)