

坡长对贵州喀斯特区黄壤坡耕地土壤侵蚀的影响

高儒学, 高华端, 宋江平, 李华林

(贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

摘要:为揭示坡长对喀斯特坡耕地土壤侵蚀的影响作用,根据贵州省毕节石桥小流域水土保持监测点监测资料,研究了坡长为 5, 10, 15, 20, 25 m 的径流小区在次降雨条件下土壤侵蚀随坡长的变化规律。结果表明:喀斯特坡耕地坡面年内径流深随坡长增加表现为先减小后增大再减小;次降雨量小于 30 mm 时,径流深随着坡长的增加先增大后减小;次降雨量大于 30 mm 时,径流深随坡长增加表现为先减小后增大再减小。年内平均土壤侵蚀模数随着坡长的变化呈现一次函数关系的生长,拟合度 $R^2=0.9217$;次降雨量小于 30 mm 时,土壤侵蚀模数随着坡长的变化呈现先急剧增加后减小的趋势,峰值出现在 10 m;次降雨量大于 30 mm 时,土壤侵蚀模数随着坡长的变化亦呈现一次函数的增长关系,拟合度 $R^2=0.9146$ 。在最大 30 min 雨强为 25 mm/h 和 41.4 mm/h 条件下,随着坡长的增加,径流深均表现为先减小后增大再减小,土壤侵蚀模数均表现为先增大后减小。

关键词:坡长;喀斯特坡耕地;土壤侵蚀;径流深;土壤侵蚀模数

中图分类号:S157; P931.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0053-05

Influence of Slope Length on Soil Erosion in Yellow Sloping Farmland of Karst

GAO Ruxue, GAO Huaduan, SONG Jiangping, LI Hualin

(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: This article studies the change rule of soil erosion and sediment yield with the slope length according to the monitoring data of soil and water conservation monitoring from runoff plots with the slope lengths of 5, 10, 15, 20 and 25 meters in Shiqiao small watershed in Bijie District in Guizhou Province. The results show that the annual runoff depths of slope surface in Karst sloping farmland decrease first, then increase and decrease later with the increase of slope length; when the rainfall is less than 30 mm, runoff depth increases first and then decreases with the increase of slope length; when the rainfall is greater than 30 mm, runoff depths decrease first, then increase and decrease later; the average soil erosion modulus within a year presents the linear function ($R^2=0.9217$); when the rainfall is less than 30 mm, soil erosion modulus shows a trend of first sharp increasing and then decreasing, the peak value appears on the slope with length of 10 m; when the rainfall is greater than 30 mm, soil erosion modulus within a year also presents a linear function ($R^2=0.9146$); under the condition of maximum thirty-minute rainfall intensities of 25 mm/h and 41.4 mm/h, the runoff depth decreases first, then increases and decreases later, and the soil erosion modulus increases first and then decreases with the increase of slope length.

Keywords: slope length; karst slope cropland; soil erosion; runoff depth; soil erosion modulus

坡长是改变地表水流形态,影响泥沙搬运的主要地形因子,不同坡长的坡面土壤侵蚀效应不同^[1-3]。北方地区关于坡长对土壤侵蚀的影响的研究相对较早且成熟,且取得了丰硕的成果^[4-10]。南方喀斯特区该领域研究起步较晚,研究甚少;郭新亚等^[11]利用径流小区观测法探讨了坡长对黔西北地区坡面产流产沙的影响得出坡面产流量随坡长的增加呈先减小后

增加再减小的变化趋势,坡面产沙量随坡长的增加而增加,且产沙量与坡长之间呈线性关系;何永彬等^[12]在贵州黔南峰丛洼地区林间白云岩坡地应用¹³⁷Cs 法研究土壤侵蚀表明表土样的¹³⁷Cs 浓度随着坡长的增加而增加;蒋荣^[13]通过对贵州喀斯特地区的野外径流小区实测资料分析指出,坡面产流量随坡长的增加先增大后减小,转折坡长在 15 m 左右,正常情况下,

收稿日期:2016-07-07

修回日期:2017-05-16

资助项目:贵州省专业学位研究生工作站项目“贵州省喀斯特生态与环境研究”(黔教研合 JYSZ 字[2014]003);贵州省水土保持监测站小流域监测项目

第一作者:高儒学(1991—),男,贵州织金人,在读硕士,研究方向为区域水土保持。E-mail:2235274067@qq.com

通信作者:高华端(1965—),男,贵州织金人,教授,博士,硕士生导师,主要从事区域水土保持与环境研究。E-mail:gdghd110@163.com

呈现坡面产沙量随坡长的增加而增大的规律性;何永彬等^[14]对喀斯特白云岩坡地土壤空间异质性进行测量分析指出土石结构、土壤厚度和土壤颗粒结构等方面表现出随着坡长和坡位而变化的较高空间异质性特征。付兴涛^[15]探讨了南方红壤区坡耕地、经济林地及裸坡地 3 种主要土地利用方式的土壤侵蚀强度及随坡长的变化特征;其还采用野外人工模拟降雨的方法,研究了南方红壤丘陵区作物覆盖坡耕地上不同雨强下坡长对其土壤侵蚀的影响,并探讨了侵蚀增强的临界雨强和设置水土保持措施的合理坡长^[16]。穆恩深^[17]研究了喀斯特区石桥小流域不同条件的坡面产流特征得出不同坡长小区之间单位面积土壤侵蚀模数相差不大,坡长与径流深之间存在很大的关系。李锐等^[18]通过对贵州省喀斯特地区 4 种可控土壤侵蚀因子进行了探讨,指出坡面土壤侵蚀随着坡度和坡长的增加而加剧,随盖度的增加而减轻。然而,王恒松等^[19]通过对贵州高原山地、盆地及峡谷 3 种典型地貌单元水土流失机理的研究指出喀斯特坡面的坡长对水土流失的影响不大,规律性不强。

西南喀斯特地区关于坡长对土壤侵蚀的影响的研究较少且处于定性描述阶段,北方地区的研究规律并不一定适应喀斯特地区,因此,在西南喀斯特地区定量开展此类研究是很有必要的。本文通过对坡长因子的定量研究,建立适合喀斯特地区的侵蚀模型,为喀斯特地区开展水土保持规划,水土保持监测和水土保持理论评价等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

石桥小流域水土保持监测点位于毕节鸭池镇石

桥村,东经 105°18′45″—105°27′30″,北纬 27°12′10″—27°17′30″。距毕节市区 13 km,距贵毕路约 2 km。该监测点所在的石桥村小流域面积 35.93 km²,水土流失面积 9.86 km²,喀斯特石漠化面积占总面积的 63.47%,该小流域属长江流域乌江水系,处于国家水土流失中心防治区——乌江赤水河上中游治理区,同时也属于贵州省人民政府发布的水土流失重点治理区。气候类型属于亚热带湿润季风气候区,年平均气温达到 14.03℃,≥10℃的积温达到 4 166℃,平均日照时数 1 377.7 h,无霜期为 258 d,多年年均降雨量在 863 mm 左右,年降雨量主要分布在每年 7—9 月,占总降雨量的 52.4%。植被类型为亚热带常绿阔叶林,原生植被大多被破坏,现在多为次生林,植被大部分分布在山坡上部,乔木树种主要以松和杉为主,野生植被大多是刺梨、杜鹃、藤、刺和灌丛。石桥小流域土壤类型主要为黄壤,小流域也有岩泥土、大土泥土和石灰土等。小流域属中山地貌类型区,地势起伏大,最高海拔达到 1 742.3 m,最低海拔为 1 425 m,最高海拔和最低海拔相差 317.3 m。

1.2 试验设备

石桥小流域监测点有简易气象观测场 1 个,坡面径流小区 28 个,观测房 60 m² 及观测便道 230 m。主要监测设备有:自记雨量计、人工雨量计、电脑、皮尺。由贵州省水土保持监测站设计、建设并直接管理,毕节市监测分站协助管理,2008 年试运行,2009 年正式开展监测工作。

1.3 试验设计

试验选择在坡耕地标准径流小区开展,各小区顶部及两边设置挡水墙,小区下部设置集流槽收集坡面径流,并接输水槽将径流引入径流桶,在小区旁放置雨量计以测降雨量。

表 1 研究小区概况

投影 坡长/m	坡度/ (°)	宽度/ m	坡位	土壤 类型	基岩 种类	措施 类型	植物 种类	植被 覆盖度/%	坡向/ (°)
5	15	2.50	下坡	黄壤	石灰岩	经果林	黄花梨	10	北偏西 25
10	15	2.50	下坡	黄壤	石灰岩	经果林	黄花梨	10	北偏西 25
15	15	2.50	下坡	黄壤	石灰岩	经果林	黄花梨	10	北偏西 25
20	15	2.50	下坡	黄壤	石灰岩	经果林	黄花梨	10	北偏西 25
25	15	2.50	下坡	黄壤	石灰岩	经果林	黄花梨	10	北偏西 25

1.4 数据来源及试验方法

研究数据来源于石桥小流域水土保持监测点 2009 年及 2010 年降雨产流和产沙实测资料。每次降雨后在 2 h 内完成取样,首先观测集流池、分流池内的水深,用以计算坡面径流深;收集集流槽土样并称重;将集流池、分流池中的泥沙和水充分搅拌混合后取样带回实验室进行沉淀、过滤、烘干等步骤后称重、计算各坡面产沙模

数,降雨均采用自记雨量计记录的数据;数据处理和图表的制作主要利用 Excel 和 SPSS 软件。

2 结果与分析

2.1 坡长对坡面径流深的影响

(1) 坡长与坡面年内径流深的关系。图 1 是在年侵蚀性降雨 281.55 mm 下,由统计的不同坡长小

区内两年平均径流深的数据分析得到的。由图 1 可知,坡面径流深随着坡长呈现起伏的变化。坡长从 5 m 增加到 10 m,径流深减小了 14%;坡长从 10 m 增加到 15 m,径流深增加了 26%;坡长从 15 m 增加到 20 m,径流深减小了 10%;坡长从 20 m 增加到 25 m,径流深减小了 7%。因此,坡长从 5 m 增加到 10 m 时,随着坡长的增加径流深减小;坡长从 10 m 增加到 15 m,径流深随着坡长的增加而增加;坡长从 15 m 增加到 25 m 时,径流深随着坡长的增加而减小。

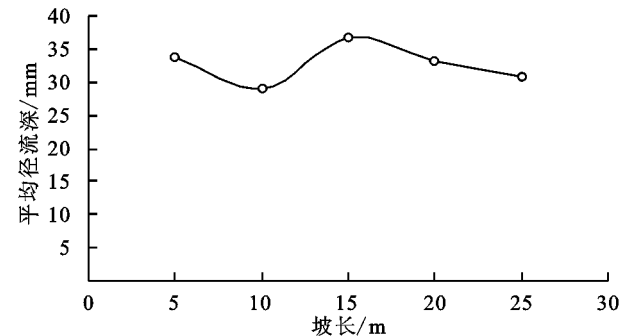


图 1 坡长与坡面年内径流深

(2) 次降雨量小雨 30 mm 时,径流深随坡长的变化。图 2 是通过统计次最大降雨量小于 30 mm 时,不同坡长下的径流深而得到的。由图 2 可知,坡长从 5 m 增加到 15 m,径流深随着坡长的增加而增加;坡长从 15 m 到 25 m,径流深随着坡长的增加而减小。年内径流深与次最大降雨量小于 30 mm 下的不同坡长径流深相比较:从坡长 5 m 增加到 10 m,年内径流减小了 14%,但次最大降雨量小于 30 mm 时的径流深却增加了 5%。图 1 和图 2 表明:坡长从 10 m 增加到 15 m 时,径流深增加的幅度相差不多,分别是 26%和 23%,说明了坡长对径流深的影响不随雨量的变化而变化。

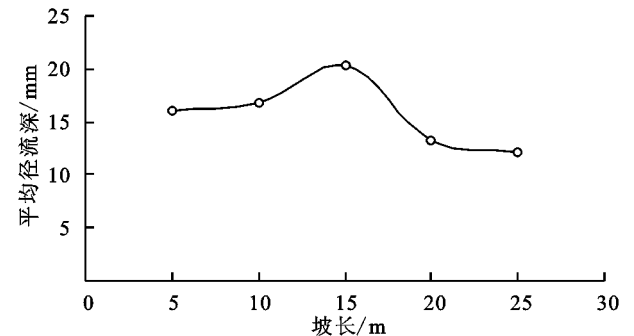


图 2 径流深随坡长的变化 ($I < 30$ mm)

(3) 次降雨量大于 30 mm 时,径流深随坡长的变化。图 3 是通过统计次最大降雨量大于 30 mm 时,不同坡长下的径流深而得到的。由图 3 可知,次降雨量大于 30 mm 时,坡长从 5 m 增加到 10 m 时,径流深减小了 19%,这与年侵蚀性降雨下的土壤侵

蚀模数随坡长的变化规律一致。坡长从 10 m 增加到 15 m 时,径流深增加了 27%;坡长从 15 m 增加到 20 m 时,径流深几乎没变化,这说明在次降雨较大时,径流深随坡长变化的临界坡长加大,因为在较大降雨时,地表径流深加大,从 5 m 到 15 m 的坡长还不能改变地表径流运动状态。从 20 m 增加到 25 m,径流深减小了 7%,这与次最大降雨量小于 30 mm 的径流深随坡长变化规律一致。从总体上看,图 3 曲线的变化规律与年内曲线的变化规律一致,均表现出随着坡长的增加,径流深先减小;与次最大降雨量小于 30 mm 的径流深比较,坡长从 15 m 增加到 20 m 时径流深几乎没变化。

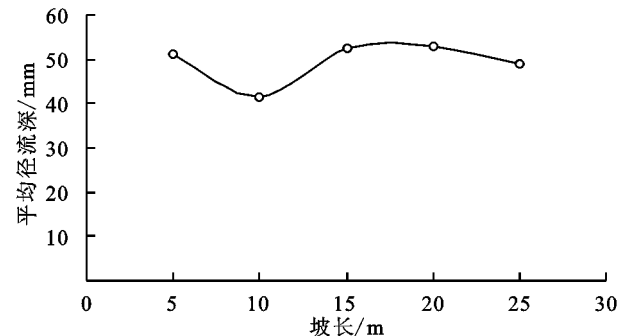


图 3 径流深随坡长的变化 ($I > 30$ mm)

2.2 坡长对坡面土壤侵蚀模数的影响

(1) 坡长与年内土壤侵蚀模数的关系。由统计的不同坡长小区内两年平均土壤侵蚀模数的数据分析计算而得到相应的土壤侵蚀模数,再通过坡长与相应的土壤侵蚀模数从而得出图 4。由图 4 可知,平均土壤侵蚀模数随着坡长的变化呈现一次函数关系的的增长,拟合度 $R^2 = 0.9217$ 。随着坡长的增加,平均土壤侵蚀模数也相应的增加;坡长从 5 m 增加到 25 m 的过程中,坡长每增加 5 m,相应的土壤侵蚀模数分别增加了 97%,12%,119%,13%。即土壤侵蚀模数随着坡长的变化以 15 m 为分界点,在 5~10 m 及 15~20 m 这两段坡长内增加最快。

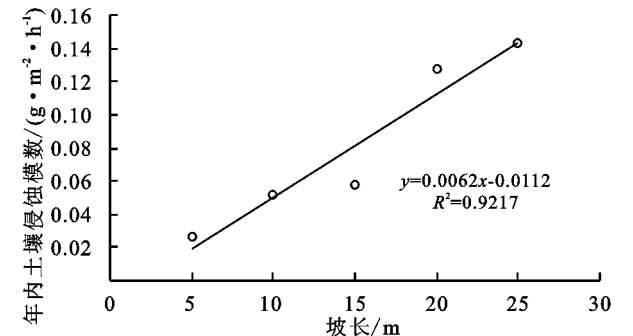


图 4 年内土壤侵蚀模数随坡长的变化

(2) 次最大降雨量小于 30 mm 时,坡长与土壤侵蚀模数的关系。图 5 是通过统计次最大降雨量小

于 30 mm 时,不同坡长下的土壤侵蚀模数而得到的。由图 5 可知,坡长从 5 m 增加到 10 m,土壤侵蚀模数增加了 156%,增加最大;坡长 10 m 增加到 15 m,土壤侵蚀模数减小了 32%;坡长 15 m 增加到 20 m,土壤侵蚀模数减小了 16%;虽然坡长 20 m 增加到 25 m,土壤侵蚀模数减小了 32%,但整体上坡长从 5 m 增加了 25 m,土壤侵蚀模数呈现了先剧烈上升再连续下降的趋势。这说明在喀斯特地区,次降雨量小于 30 mm 时,坡耕地坡长应该尽量调整在 10 m 以上,这样有助于减小水土流失,保护水土资源。

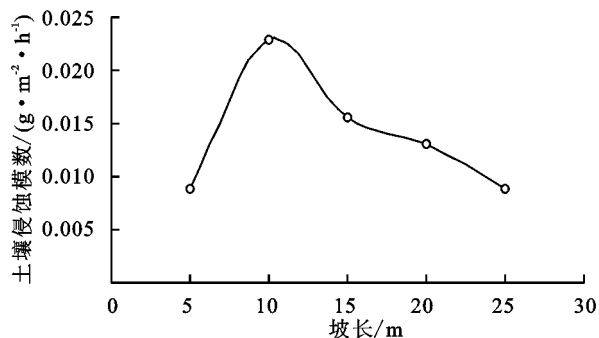


图 5 坡长与土壤侵蚀模数的关系 ($I < 30$ mm)

由图 4 和图 5 可知,次最大降雨量小于 30 mm 时的土壤侵蚀模数随坡长的变化规律与年内土壤侵蚀模数随坡长的变化规律并不完全一致,两者相同之处在于坡长从 5 m 增加到 10 m,土壤侵蚀模数一直增大。

(3) 次最大降雨量大于 30 mm 时,坡长与土壤侵蚀模数的关系。图 6 是通过统计次最大降雨量大于 30 mm 时,不同坡长下的土壤侵蚀模数而得到的。可知,坡长与土壤侵蚀模数亦呈现一次函数的增长关系,拟合度 $R^2 = 0.9146$ 。坡长从 5 m 增加到 25 m,土壤侵蚀模数随着坡长增加整体呈现上升的趋势,该趋势呈先增加慢后增加快,临界坡长在 15 m 左右。

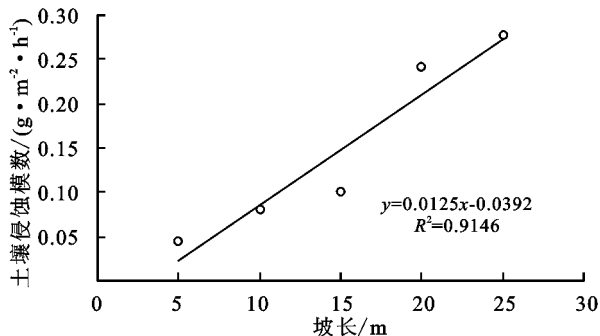


图 6 坡长与土壤侵蚀模数关系图 ($I > 30$ mm)

2.3 不同雨强下对应坡长的土壤侵蚀特征

(1) 不同雨强下坡长与径流深的关系。图 7 是将 25 mm/h 和 41.4 mm/h 两种雨强下的径流小区测得的坡面径流深绘制而成的。由图 7 可知,两种雨强下坡长与坡面径流深之间的关系曲线走向一致。在坡长小于 10 m 时,径流深均随着坡长的增加而减

小,其中,25 mm/h 雨强的坡面径流深减小了 12%, 41.4 mm/h 雨强的坡面径流深减小了 32%;当坡长从 10 m 增加到 15 m 时,25 mm/h 和 41.4 mm/h 两种雨强的径流深均随着坡长的增加而增加;25 mm/h 的雨强径流深增加了 14%,41.4 mm/h 的雨强径流深增加了 36%;当坡长从 15 m 增加到 25 m 时,两种雨强的径流深均随着坡长的增加而减小。从图 7 中还可以看到,雨强越大,径流深随坡长的变化规律越明显。

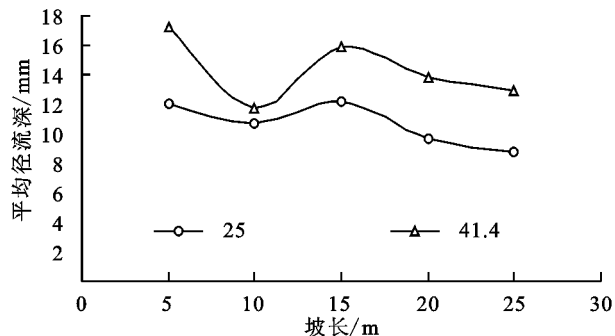


图 7 25 mm/h 和 41.4 mm/h 两种雨强下坡长与径流深关系

(2) 不同雨强下坡长与土壤侵蚀模数的关系。图 8 是由 25 mm/h 和 41.4 mm/h 两种雨强下的径流小区测得的坡面土壤侵蚀模数绘制而成的。在两种雨强下,土壤侵蚀模数均随着坡长的增长表现出先增大后减小的趋势。在相同的坡长下,最大 30 min 雨强越大,土壤侵蚀模数越大;在同一雨强下,土壤侵蚀模数随着坡长的增加先增大后减小。雨强为 25 mm/h 时,土壤侵蚀模数随坡长变化的转折点为 15 m;而雨强增加到 41.4 mm/h,转折点提前至 10 m;另外,雨强越大,土壤侵蚀模数随坡长变化的曲线斜率就越大。

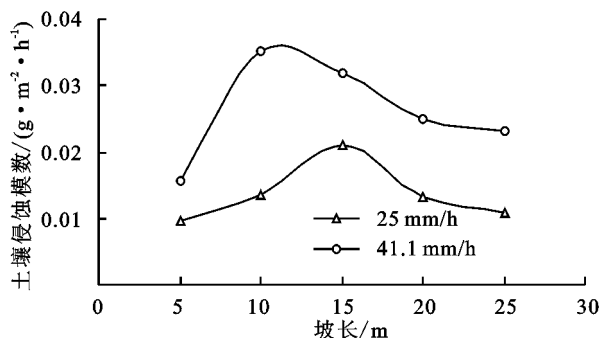


图 8 25 mm/h 和 41.4 mm/h 两种雨强下坡长与土壤侵蚀模数关系

3 结论

(1) 喀斯特坡耕地坡面年内径流深随坡长的变化规律为:坡长从 5 m 增加到 10 m 时逐渐减小;坡长从 10 m 增加到 15 m 时逐渐增加,在 15 m 时达到最大;坡长从 15 m 增加到 25 m 时逐渐减小。

(2) 次降雨量小雨 30 mm 时,坡长从 5 m 增加到 15 m,径流深随着坡长的增加而增加;坡长从 15

m 到 25 m,径流深随着坡长的增加而减小。

(3) 次降雨量大于 30 mm 时,坡面年内径流深随坡长的变化规律为:坡长从 5 m 增加到 10 m 时逐渐减小;坡长从 10 m 增加到 15 m 时逐渐增加;坡长从 15 m 增加到 25 m 时逐渐减小。

(4) 年内平均土壤侵蚀模数随着坡长的变化呈现一次函数关系的生长,拟合度 $R^2 = 0.9217$ 。次最大降雨量小于 30 mm 时,年内平均土壤侵蚀模数随着坡长的变化呈现先急剧增加后减小的趋势,峰值出现在 10 m。次最大降雨量大于 30 mm 时,年内平均土壤侵蚀模数随着坡长的变化亦呈现一次函数的增长关系,拟合度 $R^2 = 0.9146$ 。

(5) 在最大 30 min 雨强为 25 mm/h 和 41.4 mm/h 条件下,坡长与坡面径流深之间的关系均呈现先减小后增大再减小的趋势;坡长与土壤侵蚀模数之间的关系呈现先增大后减小的趋势;相同的坡长下,最大 30 min 雨强越大,土壤侵蚀模数越大;同一雨强下,土壤侵蚀模数随着坡长的增加先增大后减小。

在此,对贵州省水土保持监测站表示诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 刘和平. 坡长对土壤可蚀性 K 值测定的影响[D]. 北京: 北京师范大学, 2008.
- [2] 黎四龙, 蔡强国, 王忠科. 坡长对径流及侵蚀的影响[J]. 干旱区资源与环境, 1998(1): 29-35.
- [3] 汪晓勇, 郑粉莉. 黄土坡面坡长对侵蚀搬运过程的影响研究[J]. 水土保持通报, 2008, 2(3): 1-4.
- [4] 陈晓安, 蔡强国, 张利超, 等. 黄土丘陵沟壑区不同雨强下坡长对坡面土壤侵蚀的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 721-725.
- [5] 魏天兴, 朱金兆. 黄土残塬区坡度和坡长对土壤侵蚀的

影响分析[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(1): 60-62.

- [6] 郭伟玲. 坡度和坡长尺度效应与尺度变换研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2012.
- [7] 王建勋, 郑粉莉, 江忠善, 等. 基于 WEPP 的黄土丘陵区不同坡长条件下坡面土壤侵蚀预测[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 151-156.
- [8] 陈俊杰, 孙莉英, 刘俊体, 等. 不同坡长与雨强条件下坡度对细沟侵蚀的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(2): 1-5.
- [9] 陈正发, 郭宏忠, 史东梅, 等. 地形因子对紫色土坡耕地土壤侵蚀作用的试验研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 83-87.
- [10] 付兴涛, 张丽萍, 叶碎高. 经济林地坡长对侵蚀产沙动态过程影响的模拟[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 73-77.
- [11] 郭新亚, 张兴奇, 顾礼彬, 等. 坡长对黔西北地区坡面产流产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 40-44.
- [12] 何永彬, 李豪. 白云岩喀斯特侵蚀坡地的 ^{137}Cs 法研究[J]. 云南地理环境研究, 2015, 27(2): 1-6.
- [13] 蒋荣. 地形因子对贵州喀斯特地区坡面土壤侵蚀的影响[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [14] 何永彬, 张信宝, 李豪. 喀斯特白云岩坡地土壤异质性特征与土壤保育模式研究[J]. 地球与环境, 2013(1): 77-81.
- [15] 付兴涛. 坡面径流侵蚀产沙及动力学过程的坡长效应研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [16] 付兴涛, 张丽萍. 红壤丘陵区坡长对作物覆盖坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 91-98.
- [17] 穆恩深. 喀斯特区石桥小流域不同条件的坡面径流的产流特征分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 939-941.
- [18] 李瑞, 岳坤前. 贵州喀斯特地区坡面土壤侵蚀机理研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(7): 151-153.
- [19] 王恒松, 熊康宁, 张芳美, 等. 地形因子对喀斯特坡面水土流失影响的机理研究[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4): 1-7.

(上接第 52 页)

- [18] Wang G, Fang Q, Teng Y, et al. Determination of the factors governing soil erodibility using hyperspectral visible and near-infrared reflectance spectroscopy[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 53: 48-63.
- [19] 蒋金豹, 何汝艳. 基于连续小波变换的地下储存 CO_2 泄漏高光谱遥感监测[J]. 煤炭学报, 2015, 40(9): 2152-2158.
- [20] Ullah S, Skidmore A K, Naeem M, et al. An accurate retrieval of leaf water content from mid to thermal infrared spectra using continuous wavelet analysis[J]. Science of the Total Environment, 2012, 437: 145-152.
- [21] Cheng T, Rivard B, Sánchez-Azofeifa A G, et al. Predicting leaf gravimetric water content from foliar reflectance

across a range of plant species using continuous wavelet analysis[J]. Journal of Plant Physiology, 2012, 169(12): 1134-1142.

- [22] 刘焕军, 赵春江, 王纪华, 等. 黑土典型区土壤有机质遥感反演[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 211-215.
- [23] 吴嵩. 典型黑土区土壤有机质含量反演研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [24] 武彦清, 张柏, 宋开山, 等. 松嫩平原土壤有机质含量高光谱反演研究[J]. 中国科学院大学学报, 2011, 28(2): 187-194.
- [25] Stenberg B, Rossel R A V, Mouazen A M, et al. Chapter five-visible and near infrared spectroscopy in soil science[J]. Advances in Agronomy, 2010, 107: 163-215.