

贵州喀斯特区典型小流域坡面土壤侵蚀与 主要影响因子的响应

李瑞^{1,2}, 张弛³, 顾再柯⁴, 吴清林^{1,2}, 文雅琴^{1,2}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001; 3. 盘州市老厂国有林场, 贵州 盘州 553537; 4. 贵州省水土保持监测站, 贵阳 550002)

摘要:为探讨贵州喀斯特区不同土地利用方式、地形及降雨等因子对坡面土壤侵蚀的响应,采取野外径流小区定位观测法,以贵州省龙里县羊鸡冲小流域及毕节市石桥小流域为研究对象,开展了典型喀斯特坡面土壤侵蚀观测试验。结果表明:龙里羊鸡冲小流域坡面 3 种不同土地利用方式中,撂荒地因植被的快速恢复,土壤侵蚀程度最轻,2014 年全年土壤侵蚀量仅为 4.7 t/km²,林地次之,91.3 t/km²,而坡耕地侵蚀程度最为严重,达 629.5 t/km²,进一步的差异显著性检验表明,3 种坡面土地利用方式土壤侵蚀在 0.05 水平上差异显著($p < 0.05$);石桥小流域地形因子对土壤侵蚀响应关系表现为随坡长的增加土壤侵蚀呈增加趋势,但未达显著水平($p > 0.05$);降雨量同土壤侵蚀关系密切,在 0.01 水平上呈显著正相关($p < 0.01$),且以二次多项式拟合曲线效果最好($R^2 > 0.5$)。

关键词:喀斯特; 坡面土壤侵蚀; 响应; 影响因子

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0001-05

Response of Soil Erosion to Main Influencing Factors on Hillslope of Typical Watersheds in Guizhou Karst Area

LI Rui^{1,2}, ZHANG Chi³, GU Zaike⁴, WU Qinlin^{1,2}, WEN Yaqin^{1,2}

(1. Karst Research Institute, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. National Engineering Research Center for Karst Rocky Desertification Control, Guiyang 550001, China; 3. National Forest Farm of Laochang, Panzhou, Guizhou 553537, China; 4. Guizhou Provincial Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Guiyang 550002, China)

Abstract: To reveal the response of soil erosion on hillslope to land use patterns, terrain and rainfall in Guizhou karst area, Yangjichong small watershed in Longli, Shiqiao small watershed in Bijie were took as the research areas to carry out the experiment of soil erosion. The results showed that among the three land use patterns in Yangjichong small watershed, soil erosion modulus of abandoned land was the lowest, and merely 4.7 t/km² in 2014, and it was 91.3 t/km² on the forestland due to the rapid vegetation restoration, it was the highest on the farmland, and reached to 629.5 t/km². Differentia tests showed that the soil erosion rates on forestland, abandoned land and farmland were significantly different at 0.05 level ($p < 0.05$). The effect of terrain factor on soil erosion showed that the soil erosion amount increased with the increase of slope length, but the effect of slope length on soil erosion was not significant ($p > 0.05$). The analysis on correlation between rainfall and soil erosion indicated that soil erosion was positively correlated with rainfall at 0.01 level ($p < 0.01$), and the quadratic polynomial fitting curve can perfectly describe the relation between soil erosion and rainfall ($R^2 > 0.5$).

Keywords: karst; soil erosion on hillslope; response; influencing factors

石漠化(Rocky Desertification)是中国南方亚热带喀斯特地区严峻的生态问题,导致了喀斯特风化残

积层土的迅速贫瘠化^[1]。而人口快速增长导致的过度开垦及不合理的耕作方式是石漠化加速、加剧的主

要人为因素^[2]。区域特殊的土壤侵蚀环境,导致土壤流失呈“二元”特征(坡面侵蚀、地下漏失),致使这一区域土壤侵蚀的基础研究开展相对黄土高原等地区要少,尤其野外定位观测试验。而我们知道,野外定位观测对研究各土壤侵蚀因子具有重要的意义^[3],同时是水土流失防治措施的研究基础。

从近年的研究报道来看,喀斯特区坡面土壤侵蚀相关研究主要集中在各土壤侵蚀因子的探讨及不同水土保持措施的应用等方面。袁应飞等采用室内模拟降雨试验,开展坡耕地土壤侵蚀特征研究,结果认为针对喀斯特区坡耕地,降雨强度对其水土流失影响程度最大,其次为坡度和孔(裂)隙度^[4]。任乐等针对贵州坡耕地坡面特征,开展了野外冲刷试验,结果表明坡面土壤分离速率与坡度及冲刷流量均呈显著正相关,并可用水动力学参数水流剪切力来估算贵州坡耕地土壤分离速率,同时针对有覆盖和无覆盖两种地表类型进行了冲刷试验,认为在同一冲刷流量下,苔藓覆盖可显著减小坡面侵蚀速率^[5];在坡耕地水土流失防治措施效应研究方面,熊康宁等人针对典型喀斯特石漠化治理区的研究认为,高原山地坡耕地在实施坡改梯后减沙率达 92.98%,经果林和水保林在种植初期可能因翻耕短期内流失严重,但随着植被生长,侵蚀量逐年稳定下降^[6]。朱青等对贵州喀斯特黄壤区种植覆盖保土保水效应进行了研究,认为玉米间作紫花苜蓿可保持坡耕地全年覆盖,在整个雨季保持较高的覆盖度,有较好的保水保土及保肥效果^[7]。

综上,近年来关于贵州喀斯特区土壤侵蚀机理及防治措施的研究逐步增加,但仍有较多亟待解决的问题,如针对地形因子(LS)、盖度因子(C)及土壤可蚀性因子(K)的基础研究仍显不足,水土保持耕作措施试验示范报道亦较少。本文采用径流小区观测法,开展定位观测,探讨坡面土壤侵蚀与不同土地利用方式、地形及降雨等影响因子的响应,探明各影响因子对土壤侵蚀影响的显著性,以期对贵州喀斯特区坡面土壤侵蚀积累基础研究资料,同时为区域水土流失防治提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 观测站点概述

本研究以龙里羊鸡冲小流域水土保持监测站点及毕节石桥小流域监测站点为试验观测点,收集 2013 年、2014 年水土流失监测数据开展本研究。上述 2 个站点均属贵州省水土保持监测网络,分布位置见图 1。

龙里县羊鸡冲水土保持监测站点位于贵州省龙里县东城郊的羊鸡冲小流域,东经 $107^{\circ}00'53''$,北纬 $26^{\circ}26'58''$ 。该小流域控制面积 11.89 km^2 ,始建于 2004 年、2009 年开始观测,设有 18 个坡面种植措施径流小区,主要种植措施包括水保林、经果林、撂荒地及农耕地等;毕节石桥水土保持监测站点位于毕节鸭池镇石桥小流域,东经 $105^{\circ}18'45''$ — $105^{\circ}27'30''$,北纬 $27^{\circ}12'10''$ — $27^{\circ}17'30''$ 。该小流域控制面积 35.93 km^2 ,水土流失面积 9.86 km^2 ,站点始建于 2005 年,2009 年开始观测,建有坡面小区 18 个,包括坡度小区(5° , 10° , 15° , 20° 及 25°)和坡长小区(5 , 10 , 15 , 20 及 25 m)各 5 个,2013 年底,该站点因故被拆除,监测数据截至 2013 年。

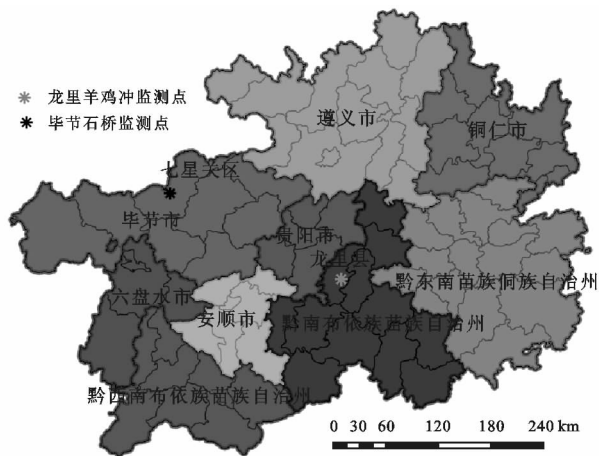


图 1 水土保持观测站点位置

1.2 数据获取及处理

本文研究资料来源于上述 2 个水土保持监测站点 2013 年、2014 年逐次监测数据,包括次降雨土壤侵蚀量及相应的降雨量,其中坡面种植措施土壤侵蚀观测资料来源于龙里羊鸡冲站点(2014 年逐次数据),地形及降雨因子观测资料来源于毕节石桥站点(2013 年逐次数据)。径流小区水土流失及相关气象指标观测方法已有很多报道,本文不再累述,具体可参考相关文献^[8]。

数据整理、基础统计及制图等采用 Excel 2010 软件完成,相关性分析及差异显著性分析等采用 SPSS 19.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 坡面土壤侵蚀与不同土地利用方式的响应

图 2 为龙里羊鸡冲小流域 3 种土地利用方式 2014 年逐次土壤侵蚀观测结果,从图可看出,坡耕地在正常耕作活动的影响下(翻耕、中耕除草等),其次降雨土壤侵蚀量明显高于林地和撂荒地(已恢复为天然草地)。全年单位面积土壤侵蚀总量分别为:

坡耕地 629.5 t/km², 林地 91.3 t/km², 撂荒地 4.7 t/km², 由此不难看出, 坡耕地土壤侵蚀远大于林地和撂荒地。为进一步探明 3 种土地利用方式对土壤侵蚀的响应, 我们对全年逐次观测数据进行差异显著性检验, 结果表明, 在 0.05 的水平上, 坡耕地土壤侵蚀显著高于林地和撂荒地; 在 0.01 水平上, 坡耕地和撂荒地差异显著, 而和林地差异不显著, 见表 1。基于上述结果不难看出, 坡耕地撂荒可大幅度降低土壤侵蚀风险, 但耕地是农民赖以生存的根本, 不会轻易将土地荒芜。对此, 研究者及相关职能部门应针对喀斯特区地形破碎、耕地分散等特点, 通过试验示范等途径引导农民改变传统耕作方式, 在保证产量的基础上采取水土保持耕作措施。

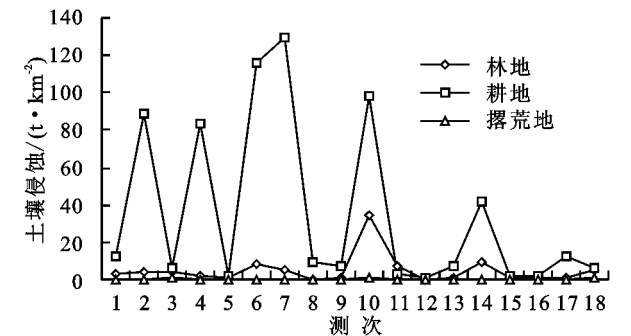


图 2 羊鸡冲小流域 2014 年 3 种土地利用方式土壤侵蚀

表 1 3 种不同土地利用方式土壤侵蚀差异显著性检验

土地利用类型	侵蚀量均值/(t·km ⁻²)
耕地	34.97 ^{aA}
林地	5.07 ^{bAB}
撂荒地	0.5 ^{cBC}

注: 小写字母表示 0.05 显著性水平的比较结果, 大写字母表示 0.01 水平。

2.2 坡面土壤侵蚀与地形因子的响应

为探明坡长因子对坡面土壤侵蚀的影响, 我们对石桥站点坡长径流小区(坡度 15°、宽 2.5 m, 全年保持清耕裸露状态)2013 全年观测记录的 28 次观测结果进行分析, 发现随坡长的增加, 坡面土壤侵蚀呈递增趋势, 5, 10, 15, 20 及 25 m 坡长小区全年土壤侵蚀总量分别为 5 463, 6 260, 9 330, 12 424 及 14 934 t/km², 见图 3。同时我们也注意到, 在保持地表裸露的状态下, 各坡长小区年土壤侵蚀均远大于贵州省喀斯特区平均土壤侵蚀模数 279.47 t/(km²·a)(据《贵州省水土保持公告(2011—2015)》)。为进一步探明坡长对土壤侵蚀的影响, 对 5 个坡长小区全年逐次观测值进行 Kruskal-Wallis H(K) 检验, 结果为 $p=0.985>0.05$, 表明坡长对土壤侵蚀的影响并不显著。此外, 针对全年降雨量大于 40 mm 的 5 次土壤侵蚀观测值进行了 t 检查, 结果显示任何两个坡长小区之

间土壤侵蚀差异均未达显著水平。上述结果表明, 随坡长增加, 侵蚀量呈递增趋势, 但坡长对土壤侵蚀的影响并未达显著水平。

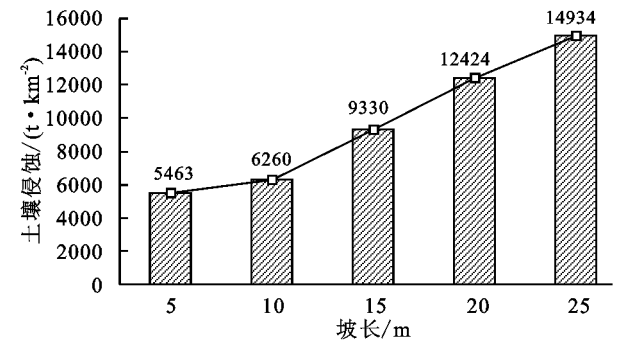


图 3 石桥站点 2014 年不同坡长土壤侵蚀

关于坡度对坡耕地土壤侵蚀的影响, 由于石桥站点 20°及 25°小区内部存在裸露岩石(图 4), 可能导致上述 2 个坡度小区较 5°, 10°及 15°坡面小区的坡面径流流速、流态等水力学参数发生了较大改变, 从而影响了土壤侵蚀, 同时还存在因岩石出露而导致地下水土漏失的可能, 因此 5 个坡度小区所测结果可比性不强, 本文在此对坡度因子不作讨论。

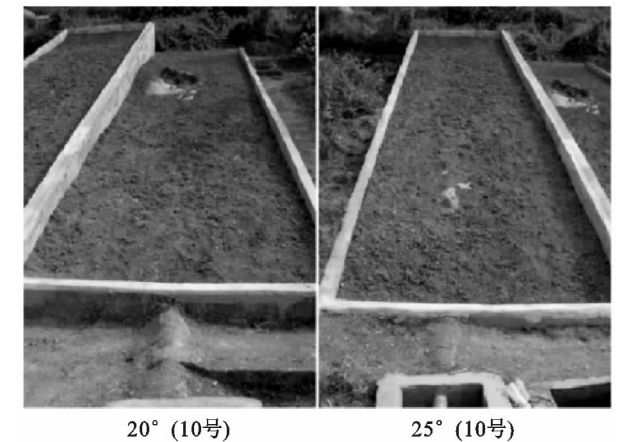


图 4 石桥站点 20°及 25°径流小区现状

2.3 坡面土壤侵蚀与降雨量的响应

采用石桥站点 2013 年 5 个坡长小区 28 次土壤侵蚀观测结果, 及同步降雨观测资料, 分析降雨量对坡面土壤侵蚀的影响。采用逐次观测结果, 进行了指数、线性及多项式拟合, 其中线性及二次多项式曲线见图 5。从图 5 可看出, 5 个坡长径流小区全年 28 次土壤侵蚀量和相应降雨量之间存在紧密的关系, 其中以二次多项式拟合效果最好, 决定系数均大于 0.5。进一步的 Pearson 秩相关分析表明, 5 个小区坡面土壤侵蚀和降雨量在 0.01 水平上呈显著正相关, 相关系数分别为 0.627, 0.603, 0.610, 0.631 及 0.609(表 2)。上述结果表明, 降雨量同坡面土壤侵蚀之间存在紧密的相关关系, 随着降雨量的增加, 坡面侵蚀量呈抛物线形式递增。

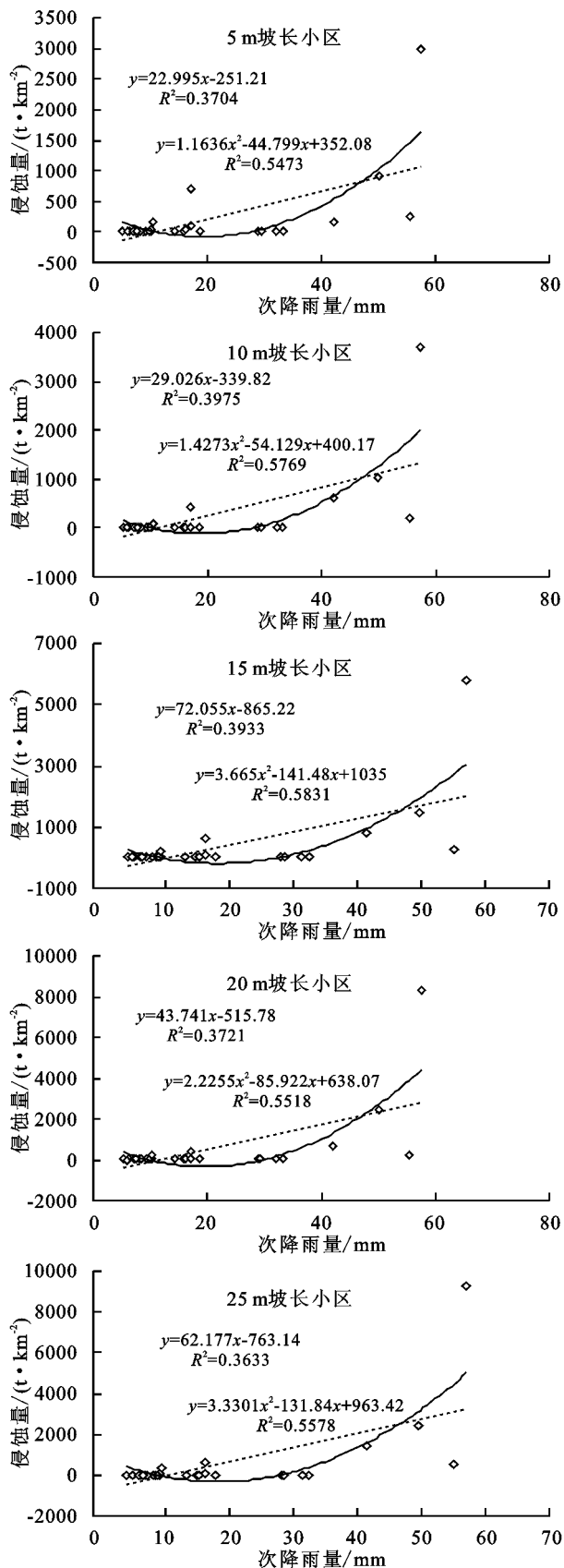


图 5 土壤侵蚀与次降雨量关系拟合曲线

3 讨论与结论

3.1 讨论

坡耕地是我国南方水土流失的主要策源地^[9],本

研究也证实了这一观点。长期不合理的耕作方式,加之区域土层瘠薄,降雨强度大且集中,故而在耕作侵蚀、水力侵蚀及重力侵蚀等多重侵蚀力作用下,土壤逐年流失,最终导致土地石漠化,见图 6。从目前贵州省坡耕地水土流失治理现状来看,仍主要以国家坡耕地水土流失综合治理专项为主,但国家治理专项投资有限,加之区域坡改梯难度大,目前治理范围较为有限,因此,未来喀斯特区坡耕地水土保持研究应重视水土保持耕作措施等非工程措施的试验与示范。从目前文献报道情况来看,秸秆还田等水土保持耕作措施调控水土流失的有效性已被广泛证实^[10-12],但喀斯特区相关试验、示范及实践较黄土高原等地区报道要少。因此,在未来的相关研究工作中,研究者应针对喀斯特区坡面地形破碎、坡改梯难度大等特点,为农民和土地管理者提供科技支撑,为他们提供以证据为基础的水土保持耕作措施试验示范,引导他们改变传统耕作方式,使之实施更可持续的土地管理实践^[13]。

2013 年石桥小流域观测结果显示,坡面土壤侵蚀随坡度的增加,先增加,然后大幅度减少(图 7),这与通用土壤流失方程(USLE)及其他研究成果给出的结论有一定出入^[14],原因前文已述,主要是 20°,25°小区较 5°,10°及 15°小区出现了较大面积的露裸岩石,导致小区下垫面状况不一致,从而可能导致 20°,25°小区侵蚀结果发生大幅改变。事实上我们知道,在研究坡度因子时,改变的只能是坡度,其他侵蚀影响因子诸如地表覆盖度、土壤及岩石出露率等需要严格控制,使产生的误差在可接受范围。但是,相对黄土高原、东北黑土等区域,喀斯特区地形破碎、岩溶发育,野外试验要控制上述岩石出露率等因子十分困难,尤其是中、强度石漠化地区,这也是迄今为止喀斯特区土壤侵蚀野外定位观测试验相对较少的原因之一。在相关科研及生产实践中我们发现,由于区域土壤侵蚀基础研究的不足,使得通用土壤流失方程在贵州省水土流失预测、评价及规划中的应用受到了一定的限制。地形因子(LS)的计算往往借鉴其他特定区域坡度坡长计算公式,如 Liu 基于黄土高原地区的坡度、坡长公式等^[14-15]。我们知道,喀斯特区地质环境复杂,岩溶发育,坡面地形破碎,基于其他区域的地形因子计算公式往往不适用于喀斯特区。目前,喀斯特区地形因子的研究已有部分报道,如杨子生针对滇东地区坡耕地土壤侵蚀研究得出的 LS 计算公式等^[16],但仍局限于特定范围和特定的坡面条件下应用。因此,未来喀斯特区应重点针对不同石漠化等级,加大地形因子的野外定位观测力度,逐步建立适用于喀斯特区不同石漠化等级、不同坡面状况下的地形因子公式。

表 2 土壤侵蚀与次降雨量的 Pearson 秩相关分析

径流小区	25 mm 坡长小区	20 mm 坡长小区	15 mm 坡长小区	10 mm 坡长小区	5 mm 坡长小区
Pearson 相关性	0.627**	0.603**	0.610**	0.631**	0.609**
显著性(双侧)	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

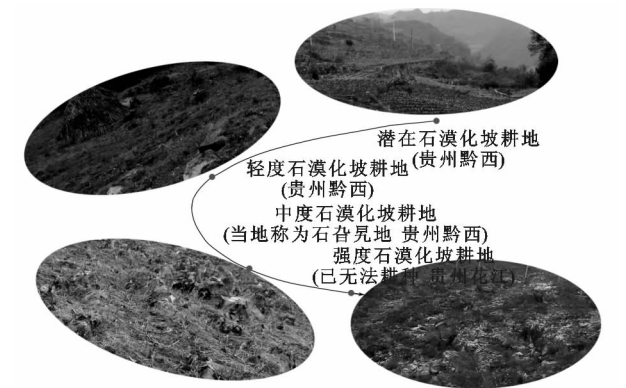


图 6 喀斯特区典型石漠化坡耕地演替示意图

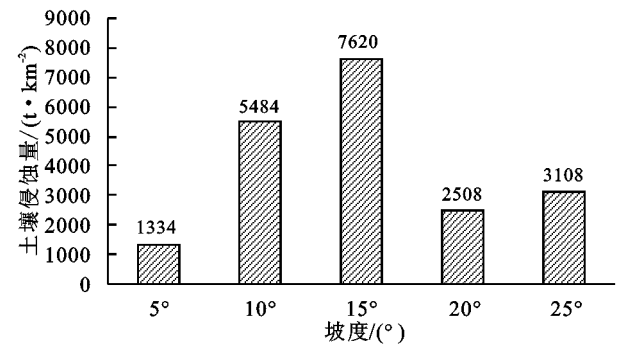


图 7 石桥小流域 2013 年坡度小区土壤侵蚀观测结果

3.2 结论

贵州喀斯特区典型小流域坡面不同土地利用方式对土壤侵蚀的影响较为显著, 几种土地利用方式中, 坡耕地土壤侵蚀风险最高, 林地次之, 撂荒地最低; 随着坡长增加, 坡面土壤侵蚀量呈递增趋势, 但坡长对土壤侵蚀的影响并未达显著水平; 降雨量同坡面土壤侵蚀之间关系十分密切, 在 0.01 水平上, 坡面土壤侵蚀与降雨量之间存在显著的正相关关系。

参考文献:

[1] Yuan D X. Rock desertification in the subtropical karst of south China[J]. Z. Geomorph. N. F., 1997, 108: 81-90.

[2] 李森, 魏兴琥, 黄金国, 等. 中国南方喀斯特区土地石漠化的成因与过程[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 918-926.

[3] Prosdocimi M, Cerdà A, Tarolli P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review[J]. Catena, 2016, 141: 1-21.

[4] 袁应飞, 戴全厚, 李昌兰, 等. 喀斯特典型坡耕地模拟降雨条件下的土壤侵蚀响应[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 24-28.

[5] 任乐, 张科利, 郭继成. 基于冲刷试验的贵州耕地土壤抗冲性研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 56-59.

[6] 熊康宁, 李晋, 龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J]. 地理学报, 2012, 67(7): 878-888.

[7] 朱青, 陈正刚, 李剑, 等. 贵州坡耕地 3 种植模式的水土保持效果对比研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 22-25.

[8] 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.

[9] 刘志刚. 坡改梯对我国经济可持续发展的影响和对策[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(4): 46-49.

[10] Prosdocimi M, Jordán A, Tarolli P, et al. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards[J]. Science of the Total Environment, 2016, 547: 323-330.

[11] Kairis O, Karavitis C, Kounalaki A, et al. The effect of land management practices on soil erosion and land desertification in an olive grove[J]. Soil Use and Management, 2013, 29(4): 597-606.

[12] Zhang S, Li P, Yang X, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 112(1): 92-97.

[13] Prosdocimi M, Tarolli P, Cerdà A. Mulching practices for reducing soil water erosion: A review[J]. Earth-Science Reviews, 2016, 161: 191-203.

[14] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the Asae, 1994, 37(6): 1835-1840.

[15] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(5): 1759-1763.

[16] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的地形因子[J]. 山地学报, 1999, 17(S1): 16-18.