

贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀关系研究

李 瑞¹, 李 勇¹, 刘云芳²

(1. 贵州省水土保持技术咨询研究中心, 贵阳 550002; 2. 贵州省水土保持监测站, 贵阳 550002)

摘 要:为研究贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀的关系,选取位于黔南州龙里县的羊鸡冲小流域径流小区进行降雨产沙观测。采用回归分析方法对雨量、雨强和泥沙关系进行相关分析。5 种不同种植模式的径流小区线性、多项式关系分析表明,降雨量和产沙量相关性较高,相关系数均超过了 0.5。线性、多项式显著性检查表明,5 种不同种植模式在 0.05 的显著性水平上,降雨量—泥沙量均呈显著正相关;而雨强和产沙量关系并不明显,决定系数均在 0.1 左右。此外,该文还探讨了坡面产沙的其它影响因素,如林冠截留、土壤入渗等。

关键词:喀斯特地区; 降雨; 产沙; 土壤侵蚀; 相关关系

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0007-05

Study of Rainfall and Soil Erosion on Slope in Karst Region of Guizhou Province

LI Rui¹, LI Yong¹, LIU Yun-fang²

(1. Soil and Water Conservation Technical Consulting and Research Center of Guizhou Province, Guiyang 550002, China; 2. Guizhou Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to study the relationship between rainfall and soil erosion on slope in small watershed in Karst region of Guizhou, runoff plots which are located in the Longli County, Qiannan Prefecture, Guizhou Province were selected for experimental observation. The regression analysis method was used to analyze the correlation between rainfall (rainfall intensity) and sediment yield. Linear, polynomial relationship analysis indicated that the correlation between rainfall and runoff on slope was high, correlation coefficients were more than 0.5. At the 0.05 significance level, linear, polynomial significant examination showed rainfall was significantly correlated with sediment yield of 5 different planting patterns; and relation between rainfall intensity and sediment yield on slope was not obvious, the determination coefficient(R^2) was about 0.1. In addition, this paper also discussed the other factors influencing erosion on the slope such as the canopy interception, infiltration and so on.

Key words: Karst region; rainfall; sediment yield; soil erosion; correlation

贵州是我国水土流失最为严重的省份之一,也是我国唯一没有平原支撑的省份。这里喀斯特地貌发育,坡耕地比重大,土壤侵蚀严重,大量基岩裸露,土地生产力严重下降,形成了类荒漠化现象,即石漠化。坡面水蚀是贵州省喀斯特地区主要的土壤侵蚀类型。因此,对贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀的关系研究具有重要的意义。

影响土壤侵蚀的因素很多,其中气候因素中的降雨是侵蚀产沙的主要动力因素之一,是引起土壤流失的最主要因子。用径流小区研究天然降雨与水土流失的关系是目前最常用的研究方法。为了探讨降雨

与土壤流失的关系,石生新、冯绍元等人利用人工模拟降雨研究了降雨与土壤流失的关系^[1]。降雨量的季节分布常会影响水土流失,在降雨量较大的雨季水土流失最严重,而旱季的水土流失量较小。水土流失不仅与降雨量有关,还与降雨强度密切相关^[2-3]。为了能定量地预测预报土壤流失量,研究者提出了降雨侵蚀力(Rainfall Erosivity)的概念。当雨滴击溅力和地表径流冲刷力超过土壤颗粒的内聚力时,便会发生降雨侵蚀。基于这种观点,J. Schmidt 等^[4]通过一种理论方法对降雨侵蚀过程进行了描述,建立了降雨侵蚀的数学仿真模型。

收稿日期:2011-10-22

修回日期:2011-11-08

资助项目:贵州喀斯特地区典型小流域降雨与径流泥沙关系研究(黔科合 J 字[2008]2076);贵州喀斯特地区土壤侵蚀机理及水土流失预测(KT200703)

作者简介:李瑞(1979—),男,贵州六盘水人,博士,主要研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail:rlf1979@126.com

降雨主要由雨量、雨强、降雨历时等特征值来反映,这些因子无疑都会影响水土流失,但作用并不相同。研究表明,不同雨量区之间水土流失强度有差异^[5-6],因而总雨量是研究的前提条件。从降雨与土壤侵蚀的关系研究中看,关于侵蚀性降雨标准、降雨的侵蚀力、侵蚀能量及侵蚀动态过程以及降雨因子和土壤侵蚀量间的关系都有较多研究^[7-9]。坡面径流产沙方面也有大量报道^[10-13]。但喀斯特地区降雨与坡面径流产沙关系方面的研究鲜见报道,本文以位于贵州喀斯特地区的龙里羊鸡冲小流域为例,研究贵州喀斯特地区降雨与坡面径流产沙关系,探讨不同植被措施下降雨与坡面土壤侵蚀的拟合关系,为贵州省喀斯特地区坡面水土流失治理提供参考。

1 研究区概况

贵州省龙里水土保持科技示范园是水利部首批水土保持科技示范园,位于贵州省龙里县东城郊的羊鸡冲小流域,属长江流域乌江水系。龙里水土保持科技示范园以羊鸡冲小流域为自然单元。主要示范内容包括:水土保持林 333 hm²,封禁治理及生态修复面积 253 hm²,经果林 107 hm²,母本园 27 hm²,苗圃 13 hm²,盆景观赏园 2 hm²,水土保持培训设施,降雨

及径流观测设施,土壤侵蚀观测试验场,组织培养室,温室以及节水灌溉设施等。羊鸡冲小流域中心位置为东经 107°00′,北纬 26°28′,属亚热带季风气候,多年平均气温 14.7℃,多年平均降雨量 1 158.5 mm,极端最高气温 35℃,极端最低气温 -3℃,积温 4 274 ~ 4 574.6℃。系岩溶中低山丘陵地貌,总面积 1 189 hm²,是水力侵蚀为主的面状侵蚀区,属轻度水土流失区。

2 材料与方法

2.1 坡面径流小区选择

龙里水土保持科技示范园共 18 个径流小区,本研究根据小区不同种植模式选取其中的 5 个典型径流小区进行试验观测。其中种植乔木的选择 6 号径流小区,种植模式为杨树(*Populus*) + 柏树(*Platycladns*);种植灌木(经济林)的选择 18 号径流小区,种植模式为树莓(*Myrica rubra* Lour. Zucc.);农耕地选择 8 号径流小区,目前种植植物为秋葵(*Abelmoschus esculentus*);种植草地的选择 10 号径流小区,目前该径流小区已形成天然草地,盖度约 90%左右;撂荒模式选择 12 号径流小区,撂荒时间 5 a,目前以杂草为主,盖度约 85%左右,详见表 1。

表 1 径流小区基本情况

序号	种植模式	坡向	坡度/(°)	土壤类型	投影坡长/m	宽/m	水平面积/m ²
6	杨树 + 柏树	南	20	黄壤	20	5	100
8	农耕	西	20	黄壤	15	5	75
10	草地	南	20	黄壤	20	5	100
12	撂荒地	南	20	黄壤	20	5	100
18	树莓	北	20	黄壤	20	9	180

2.2 观测方法

(1) 雨量观测。径流场设置了一台自记雨量计和一台雨量筒,相互校验。因径流小区相对集中,无须增加雨量筒数量。在降雨日 18:00 更换记录纸,并相应记录雨量筒雨量。

羊鸡冲小流域径流小区相对集中,径流小区间降雨量变化不大。本次研究剔除部分因试验误差、人为误差等数据后,选取龙里羊鸡冲小流域 2008—2010 年 3 a 全部降雨观测数据,计 46 场降雨资料进行分析。

(2) 泥沙观测。在降水结束、径流终止后立即观测,首先将集流槽中泥、水扫入集流池中,然后搅拌均匀,在池中采取柱状水样 2~3 个(总量在 1 000 ~ 3 000 cm³),混合后从中取出 500~1 000 cm³ 水样,作为本次冲刷标准样。含沙量的求取,是将水沙样静置 24 h,过滤后在 105℃ 下烘干至恒重,再进行计算。

本次研究,剔除试验误差数据后,选取相应降雨

条件下的全部泥沙观测资料,即 46 场降雨条件下的全部泥沙观测数据。

(3) 观测数据处理。因本研究所涉及的径流小区面积不一,规格分别为 75,100,180 m²。小区面积不一致,所产生的径流、泥沙等均不具备可比性,因此本研究以 100 m² 为基本模数 1 M,则 75 m² 为 0.75 M,180 m² 为 1.8 M,则各小区的径流、泥沙观测数据除以相应的模数后便具有了可比性。

3 结果与分析

3.1 不同种植模式降雨量与坡面土壤侵蚀关系分析

为研究降雨与坡面产沙关系,本研究选取线性、多项式和对数 3 种关系进行拟合,通过比较,探讨降雨与坡面产沙的最佳拟合模型。

5 种植模式降雨—产沙关系拟合曲线见图 1,从 3 种拟合曲线大致可以看出,5 种植模式下,降

雨量与坡面土壤侵蚀的关系并非简单的线性关系。为进一步了解降雨—产沙的关系,我们对3种曲线的拟合方程进行计算,并对相关系数(R)进行统计,结果见表2。

从图1、表2可以看出,3种拟合模型中二次多项式方程拟合效果最好,相关系数均超过了0.5,分别达0.855,0.877,0.743,0.638,0.744;线性方程拟合效果次于二次多项式方程,相关系数均超过了0.5,

分别为0.672,0.725,0.679,0.589,0.631,表明几种种植模式降雨—产沙均存在较高的线性关系;对数拟合方程在3种拟合模型中拟合效果最差。

3种拟合模型中二次多项式拟合效果最好,从图1也可以明显看出这一点。此外,由图1可知,降雨量较小时(如小于30 mm),产沙量变化并不大,而当降雨量增大时(如大于30 mm)产沙量显著增加,这在二次多项式拟合曲线图上可清晰地看出。

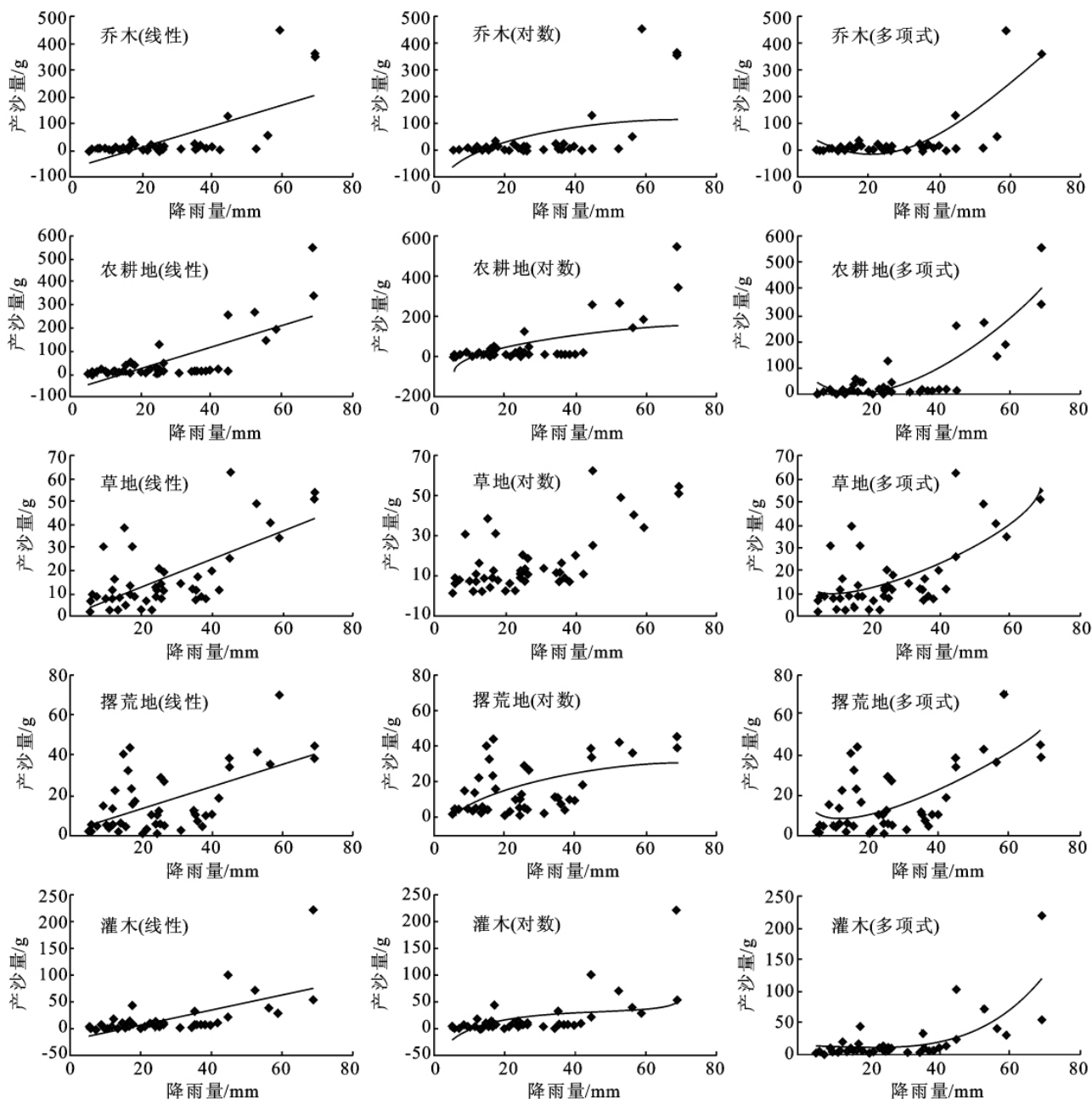


图1 几种不同种植模式径流小区降雨—产沙关系曲线

5种植植模式中农耕模式、乔木种植模式降雨与坡面产沙相关性最高,二次多项式相关系数分别为0.877和0.855,拟合方程分别为 $y = 0.1684x^2 - 6.7812x + 71.61$ 和 $y = 0.1625x^2 - 7.1552x + 70.193$;线性拟合方程相关性系数分别为0.725和

0.679,线性方程分别为 $y = 4.7063x - 70.319$ 和 $y = 3.9287x - 66.751$;对数拟合方程为 $y = 89.02\ln x - 219.66$ 和 $y = 71.499\ln x - 182.74$,相关系数分别为0.55和0.49。

撂荒地是5种植植模式中降雨—产沙关系最不

明显的, 相关系数分别为: 线性 0.589 1、多项式 0.637 7、对数 0.499 7, 拟合方程分别为 $y=0.5685x+1.519$, $y=0.0124x^2-0.2768x+11.962$ 和 $y=11.994\ln x-20.348$ 。这表明, 降雨和撂荒地坡面产沙之间存在正相关关系, 但是否显著从相关系数无法确认, 须进一步作显著性检验方能确定其显著性。撂荒地撂荒时间约为 5 a, 但并不是撂荒以后就再无人为干扰, 而是不定期地进行除草, 这就导致降雨—产

沙之间的规律性受到干扰, 除草后产沙量就会偏大。因此, 其拟合方程的相关系数较其它几种种植模式要低。

其它 2 种种植模式, 即草地和灌木(经济林)坡面产沙和降雨之间均存在正相关关系。多项式拟合模型的相关系数为 0.742 8 和 0.743 8, 相关性较高; 线性方程拟合模型相关系数分别为 0.679 和 0.630 6, 具有较高的线性相关关系。

表 2 不同种植模式下坡面降雨—产沙拟合方程及 F 检验结果

种植模式 (小区编号)	关系	拟合方程	相关系数	F 检 验值	对应 F 值显 著性概率 Sig.	显著性 水平 α	检验结果
乔木种植 模式(6 号)	线性	$y=3.9287x-66.751$	0.6722	36.26	0	0.05	0.000<0.05 显著
	对数	$y=71.499\ln x-182.74$	0.4918				
	多项式	$y=0.1625x^2-7.1552x+70.193$	0.8552	58.52	0	0.05	0.000<0.05 显著
农耕地模式 (8 号)	线性	$y=4.7063x-70.319$	0.7246	48.65	0	0.05	0.000<0.05 显著
	对数	$y=89.02\ln x-219.66$	0.5511				
	多项式	$y=0.1684x^2-6.7812x+71.61$	0.8765	71.3	0	0.05	0.000<0.05 显著
草地模式 (10 号)	线性	$y=0.6189x+0.294$	0.679	37.65	0	0.05	0.000<0.05 显著
	对数	$y=12.474\ln x-21.71$	0.5503				
	多项式	$y=0.0144x^2-0.3648x+12.448$	0.7428	26.46	0	0.05	0.000<0.05 显著
撂荒地模式 (12 号)	线性	$y=0.5685x+1.519$	0.5891	34.74	0	0.05	0.000<0.05 显著
	对数	$y=11.994\ln x-20.348$	0.4997				
	多项式	$y=0.0124x^2-0.2768x+11.962$	0.6377	23.31	0	0.05	0.000<0.05 显著
灌木(经济林) 模式(18 号)	线性	$y=1.3927x-18.617$	0.6306	31	0	0.05	0.000<0.05 显著
	对数	$y=26.816\ln x-64.266$	0.4882				
	多项式	$y=0.0458x^2-1.7328x+19.999$	0.7438	22.84	0	0.05	0.000<0.05 显著

从上述拟合曲线及相关系数来看, 几种不同的坡面种植模式下, 降雨量—产沙量之间呈现出较高的相关性。为了确定其显著性, 选取线性拟合方程和二次多项式方程进行 F 检验, 检验结果见表 2。

从表 2 可以看出, 5 中不同种植类型的径流小区降雨—坡面产沙的线性、多项式拟合方程 F 检查结果均为显著, 表明降雨量和产沙量之间在 0.05 的水平上呈显著正相关。

3.2 降雨强度与坡面土壤侵蚀关系分析

上述研究结果表明, 降雨量与坡面产沙关系呈显著正相关, 其中三种拟合方程中以二次多项式拟合效果最好, 相关系数均大于 0.5。但是, 除降雨量之外, 降雨过程、降雨历时、降雨强度等均对坡面产沙有一定影响。

为进一步研究降雨与坡面土壤侵蚀的关系, 以 1 h 降雨量(I_{60})和坡面产沙量进行相关分析, 5 种种植模式下的雨强—泥沙量的二次多项式拟合拟合方程及相关系数见表 3 所示。

从表 3 可以看出, 5 种植植模式下雨强—产沙量拟合方程的相关系数也均未超过 0.5, 相关系数最大的树莓、草地种植模式也仅为 0.37。这表明, 雨强和

坡面产沙并无明显的相关关系。雨强是单位时间的降雨量, 雨强可能很大, 但是降雨量可能很小, 这是受降雨历时的影响。如 2008 年 8 月 3 日, 龙里小流域降雨量观测值仅为 12 mm, 降雨历时也仅为 50 min, 其 1 h 降雨强度高达 14.9 mm, 但其 5 个径流小区的产沙量均较小, 分别为 7.14, 11.57, 7.93, 5.71, 4.48 g。这就合理的解释了降雨强度和坡面产沙之间并无明显的相关关系。

表 3 雨强—产沙二次多项式拟合方程及相关系数

小区 编号	种植 模式	拟合方程	相关 系数
6	杨树+柏树	$y=-2.4011x^2+34.672x-31.464$	0.31
8	农 耕	$y=-3.0829x^2+44.344x-33.484$	0.36
10	草 地	$y=-0.4408x^2+6.312x+4.2092$	0.37
12	撂荒地	$y=-0.4527x^2+5.8899x+5.5388$	0.33
18	树 莓	$y=-1.0574x^2+15.366x-12.348$	0.37

4 结论与讨论

(1) 研究表明, 5 种不同种植模式的径流小区降雨量与坡面土壤侵蚀的线性、二次多项式关系在 0.05 的显著性水平上均呈显著正相关。相关关系最明显的是乔木种植小区和耕地种植小区, 二次多项式拟合

方程的 R 值分别达 0.855 2 和 0.876 5, F 检验值分别为 58.52 和 71.30, 呈显著正相关。

观察图 1 中乔木林种植小区二次多项式曲线, 可以发现, 降雨量小于 40 mm 时, 产沙量非常小, 多不足 10 g。究其原因, 一方面乔木的截留作用较草地等明显, 这就延长了径流产生时间, 也即产沙较草地等其它种植模式滞后, 减少了土壤侵蚀。此现象说明, 林地种植模式在降雨初期和雨量较小时, 水土保持功能较为明显。但随着降雨量的增大, 林地种植小区产沙量迅速增大(见图 1 乔木拟合曲线), 增幅大于草地、撂荒地等。这主要是因为乔木种植小区树龄小(2006 年种植), 未形成灌木层、草本层和枯枝落叶层; 降雨前期和雨量较小时, 灌木种植小区和乔木种植小区情况类似, 也因林冠截留作用, 泥沙量较小, 随着降雨量的增大, 灌木林的产沙量增大幅度也较大, 大于草地和撂荒地, 但不及乔木林; 草地和撂荒地在降雨前期截留效果不明显, 产沙量大。综合来看, 灌木林(经济林)水土流失防治效果较好。

一般而言, 坡面水土流失最佳防治模式应当是乔灌草混交模式, 即林下种植灌木和播种草籽, 形成林、灌、草 3 层。但从大面积水土流失防治来讲, 要进行林灌草 3 层种植并不容易, 投资大, 见效慢。从本研究来看, 灌木林(经济林)种植模式可起到较好的水土流失防治效果, 同时还能产生经济效益, 是值得推广的一种水土流失防治模式。此外, 封育也不失为一种简单易行的防治模式。贵州省降雨丰富, 封育条件下可使植被自然恢复, 形成天然草地, 亦能起到较好的水土流失防治效果。

(2) 研究表明, 5 种不同种植模式的径流小区坡面产沙与降雨强度的相关关系均不明显, 二次多项式拟合方程相关系数分别为 0.36, 0.37, 0.33, 0.31, 0.37, 表明雨强—产沙量相关关系不明显, 这主要是坡面土壤侵蚀的其它因素引起的。

从图 1 可知, 在降雨量较小时, 坡面产沙差异并不明显, 当降雨量较大时, 坡面产沙迅速增加。我们知道, 径流产沙有一个过程, 降雨初期, 要经过覆被截留、土壤入渗等过程, 这些过程中并不产生径流(超渗产流除外), 也即不发生土壤侵蚀。当截留、入渗等过程完成后, 径流产生, 才开始产沙。这就是降雨量较小时, 泥沙量差别并不明显的原因。径流产生后, 随着降雨的持续, 坡面径流产沙将持续产生。因此, 降

雨过程、林冠截留、坡面下垫面状况、土壤前期含水量等均是坡面土壤侵蚀的重要影响因素。

坡面产沙过程是降雨与土壤界面之间的响应过程。由于植被对降水再分配过程的影响, 以及降雨和地表土层入渗性能的时空变异, 使得林地产流产沙过程研究较裸地困难得多^[14]。本研究也同样存在这个问题, 由于其它因素的存在, 使得降雨与坡面土壤侵蚀的关系复杂化, 线性关系不及二次多项式明显, 但总体来讲, 降雨量和坡面土壤侵蚀间关系密切, 尤其降雨量较大时(如大于 30 mm), 坡面产沙量迅速增大的趋势较明显。

参考文献:

- [1] 冯绍元, 丁跃元, 姚彬. 用人工降雨和数值模拟方法研究降雨入渗规律[J]. 水利学报, 1998(11): 17-20, 25.
- [2] 许建金, 黄炎和. 论降雨与土壤侵蚀[J]. 福建水土保持, 1991(4): 48-52.
- [3] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [4] Sahmi J, 牛志明. 降雨侵蚀数学仿真模型[J]. 水土保持科技情报, 1997(3): 38-40.
- [5] 余新晓, 张晓明, 武思宏. 黄土区林草植被与降水对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 19-26.
- [6] 田光进, 张增祥, 赵晓丽, 等. 中国耕地土壤侵蚀空间分布特征及生态背景[J]. 生态学报, 2002, 22(1): 10-16.
- [7] 叶芝菡, 刘宝元, 张文波, 等. 北京市降雨侵蚀力及其空间分布[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 16-20.
- [8] 卢金发, 黄秀华. 黄河中游地区流域产沙中的地貌临界现象[J]. 山地学报, 2004, 22(2): 147-153.
- [9] 杨子生. 滇东北山区坡耕地降雨侵蚀力研究[J]. 地理科学, 1999(3): 265-270.
- [10] 王礼先, 张志强. 干旱地区森林对流域径流的影响[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 439-444.
- [11] 刘卉芳, 朱清科, 魏天兴. 晋西黄土区森林植被对流域径流的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 5-9.
- [12] 张建军, 毕华兴, 张宝颖. 坡面水土保持林地地表径流挟沙能力研究[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(5): 25-28.
- [13] 金雁海, 柴建华, 朱智红, 等. 内蒙古黄土丘陵区坡面径流及其影响因素研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 292-298.
- [14] 潘成忠, 上官周平. 黄土区次降雨条件下林地径流和侵蚀产沙形成机制: 以人工油松林和次生山杨林为例[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1597-160.