

地面坡度对红壤坡面土壤侵蚀过程的影响研究^{*}

张会茹^{1,2}, 郑粉莉^{1,2}, 耿晓东^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京)

摘 要:通过室内模拟降雨试验,研究了地面坡度对红壤坡面产流过程和侵蚀过程的影响,结果表明:坡面总径流量随坡度的增大呈减小趋势,其中 25°坡面比 5°坡面的径流量减小 22.3%;随坡度的增加,坡面产流达到稳定的历时减少。径流含沙量和坡面侵蚀产沙量随坡度的变化在 5°~20°呈增大趋势,而当坡度由 20°增加到 25°时,径流含沙量和侵蚀产沙量随坡度的增加呈减少的趋势,即在红壤坡面,坡度对侵蚀产沙量影响存在着临界坡度,其值变化于 20°~25°之间。

关键词:红壤坡面;坡度;产流过程;侵蚀过程;模拟降雨

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)04-0052-03

Effect of Slope Gradients on Soil Erosion Process in Red Earth Hillslopes

ZHANG Hui-ru^{1,2}, ZHENG Fen-li^{1,2}, GENG Xiao-dong^{2,3}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The simulated rainfall experiment was used to quantify the effects of slope gradients on runoff and soil erosion processes on red earth hillslopes. The results showed that runoff rates decreased with an increase in slope gradients. Compared to 5° slope, runoff rate on 25° slope decreased by 22.3%. The timing of reaching stable runoff reduced with an increase of slope gradients. Sediment contents in runoff and soil loss increased when slope gradients increased from 5° to 25°, but when slope gradients changed from 20° to 25°, sediment contents in runoff and soil loss decreased. The critical slope degree on effects of slope gradient on soil erosion process and the value is between 20° and 25°.

Key words: red earth hillslopes; slope gradient; runoff process; soil erosion process; simulated rainfall experiment

红壤是我国重要的土壤资源,面积 2.18 亿 hm^2 ,占全国土地面积的 22.7%,耕地占全国的 30%,在全国约 1/3 的耕地上提供了全国 1/2 的产值,负担了近一半的人口^[1],是我国多种农林产品的主产区^[2-3]。多年来,由于自然与人为干扰,红壤地区已成为我国水土流失范围最广、程度较高的地区,严重程度仅次于黄土高原^[4],是我国治理土壤侵蚀

和水土流失的重点区域之一。因此,开展红壤地区土壤侵蚀研究具有重要意义。坡度是影响坡面土壤侵蚀的重要因数之一,在相同的降雨条件下,坡度不同,产生的土壤流失程度也有较大的差别,探讨坡度与坡面土壤侵蚀之间的关系,对土壤侵蚀预报和水土保持规划都具有重要的意义^[5]。关于坡度与径流量、土壤侵蚀的关系国内外已作了大量研究^[5-10],研

* 收稿日期:2008-05-15

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目“不同类型区土壤侵蚀过程及其机理”(2007CB407201);西北农林科技大学创新团队计划项目“土壤侵蚀及其治理环境效应评价”(01140202)

作者简介:张会茹(1976-),女,陕西白水人,工程师,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀过程与机理研究。E-mail:zhanghui2009@163.com

通信作者:郑粉莉(1960-),女,博士,研究员,博士生导师,主要从事土壤侵蚀过程、预报模型、侵蚀环境效应评价研究。E-mail:flzh@ms.iswc.ac.cn

究主要集中在黄土区;而坡度对红壤坡面侵蚀的影响研究相对还比较薄弱,坡度对红壤产流产沙过程影响的研究更不多见。利用室内人工模拟降雨,研究坡度对红壤坡耕地侵蚀产沙过程的影响,以期为红壤区的土壤侵蚀防治提供理论依据。

1 试验设计与研究方法

1.1 试验设计

试验采用中科院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点试验室模拟降雨大厅的下喷式人工降雨设备进行,降雨高度为 16 m,可以使所有的雨滴达到终点速度。试验土槽为移动式可升降钢槽,其规格为 5 m ×1 m ×0.5 m。坡度调节范围为 0~30°,调节步长为 5°。根据红壤区坡耕地地形特点,试验共设计 5 个坡度,分别是 5°、10°、15°、20°、25°。试验设计的降雨强度为 50 mm/h,降雨时间为 60 min,每个处理重复 2 次,取平均值进行计算和分析。

1.2 试验过程

试验用土采自湖北省咸宁市贺胜桥镇的典型红壤,其黏粒含量 17.0%,粉粒含量 76.6%,砂粒含量 6.4%,有机质含量 1.7%。填土时将野外采集的土壤样品中大土块按自然节理分成小块,不过筛、不研磨,尽量保持土壤的自然结构状态。填土前先在土槽底部装填 10 cm 厚的天然细沙,并铺上透水纱布,以保证土壤样品良好的透水性,然后装填 30 cm 厚的供试土壤。试验土槽采用分层装土,每 5 cm 为一层,通过称重将土壤容重控制在 1.1~1.15 g/cm³。填土时采用边填充边压实的方法,以减小边坡对入渗、产流、产沙过程及坡面侵蚀微形态发育等诸多方面的影响,并使下垫面土壤条件的变异性最小。

每次正式降雨试验之前,采用 30 mm/h 的雨强进行前期降雨至坡面产流为止,其目的是一是减少试验土槽的空间变异性;二是通过降雨固结试验土槽表面分散的土粒;三是试验条件接近野外实际情况;四是形成相对均匀的下垫面条件,保证在相同的降雨和相似的土壤表面条件下研究坡度对侵蚀过程的影响。前期降雨后用塑料布覆盖并静置 24 h,使水分自由下渗以接近自然状态下土壤水分分布状况,同时保证各场次正式降雨前的土壤水分状况基本一致。每场试验之前均进行降雨强度的率定,以确保降雨均匀度和降雨强度达到试验要求,尽量减少雨强的误差,使数据达到合理、精确。

从开始降雨记时,并记录开始产流时间。产流后开始采集次径流段的径流泥沙样,每隔 2 min 采

集一次,每次采样时间为 30 s。降雨试验结束后,量测每一个径流泥沙样的体积,并用烘干法测出泥沙重量,然后计算出含沙量和侵蚀产沙量。

2 结果与分析

2.1 坡度对产流时间的影响

由于土地利用、地形等条件的影响,产流发生的时间会有很大的不同,而正确把握降雨过程中的产流开始时刻,对坡面产流及侵蚀量的计算都十分重要。从表 1 中可以看出,起始产流时间随坡度的增加变化不大,其主要原因是试验前进行了预降雨,使土壤水分接近饱和和含水量,从而导致起始产流时间随坡度的增加变化不大。

表 1 不同坡度下开始产流时间

| 坡度/(°) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 产流时间/s | 131 | 124 | 118 | 118 | 119 |

2.2 不同坡度条件下产流率动态变化过程

由图 1 看出,产流率随坡度的增加呈减小趋势,5 个坡度中,除 20°时的产流率随时间的变化波动较大外,其余 4 个坡度下的产流率皆是在降雨初期迅速增加,而后变化比较平稳。这主要是因为进行了前期预降雨后,土壤水分含量较高,降雨开始后土壤层很快达到饱和,降雨迅速形成径流;随着降雨的继续进行,土壤入渗达到稳渗后,大部分降雨都形成坡面径流,所以径流量变化最终趋于稳定。20°时径流量变化波动较大,是因为侵蚀产沙量在 20°时达到最大;同时,在试验过程中也观察到 20°时坡面有细沟侵蚀发生,由于细沟的发生发展不是一个递增的过程,而是受径流、侵蚀能力和土壤抗侵蚀力的影响呈现或增或减的波动变化过程,从而使坡面产流率变化过程呈现波动变化。

不同坡度条件下坡面产流率变化趋势基本相同;但随地面坡度的增加,坡面径流达到稳定产流所需的时间越短,表明在试验条件下,坡度对产流过程有一定的影响。

2.3 不同坡度条件下径流含沙量动态变化过程

由图 2 可以看出,当地面坡度变化于 5°~20°时,径流过程中各个阶段含沙量均随坡度增加而增大;当坡度变化在 20°~25°时,径流含沙量又随坡度的增加而减少。说明在红壤坡面,坡度对侵蚀产沙的影响存在着临界坡度。在同一坡度下,径流含沙量在降雨初期呈现急剧而短暂的上升,达到最大值后又迅速下降,然后随着降雨的继续进行以几乎相同的速率持续下降直至稳定,这种变化趋势在大坡度(20°和 25°)时更加明显。而对于所有坡度下的含

沙量在达到最大值前都是急剧上升的,随后以指数下降,形成一个向左倾斜的曲线。这主要是因为降雨初期雨滴击溅在坡面上产生大量分散的土粒,这些土粒在坡面刚刚形成的薄层水流的搬运下,形成了坡面产沙的高峰,随着降雨的继续,在雨滴的打击作用下,土壤表面形成较致密的临界结皮层,使土壤抗侵蚀力相应增强,而薄层水流的存在,使雨滴击溅

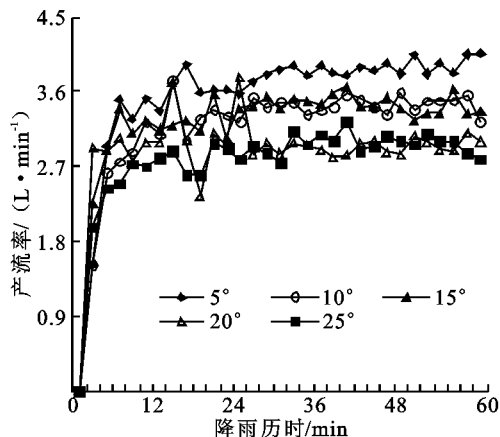


图 1 不同坡度下产流率随时间变化

2.4 不同坡度条件下总径流量和总侵蚀量变化特征

径流量随坡度的变化是一个复杂的过程,在降雨强度一定的条件下,地表径流量的大小主要由坡面土壤入渗特性和承雨量来决定。由图 3 可以看出,总径流量随坡度的增加呈下降趋势,25 时的径流量比 5 时小 22.3%。由于南方红壤湿润地区属于蓄满产流,红壤黏粒含量较高,入渗率较小,因而径流量的大小主要受承雨量决定。由于正式试验时进行了前期预降雨,土壤含水量接近饱和,所以径流量的大小主要也是受承雨量决定;而随着坡度的增加,在同样的坡长及降雨倾角下受雨面积减小,降雨在单位面积单位时间产生的净雨量和径流深减小,承雨量减小,因而引起径流量随坡度的增加而减小。

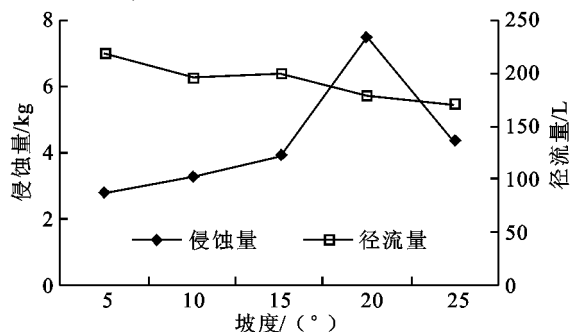


图 3 总径流量和总侵蚀量随坡度变化

由图 3 可以看出,总侵蚀量在 5°~15° 范围内随坡度的增加而增大,但增加趋势较平缓;在 15°~20° 范围内侵蚀量随坡度的增大而急剧增加,20 时其值达到最大,是 5 时的 2.7 倍;在 20 到 25 之间,侵蚀量随坡度的增加而呈下降趋势,说明在 20 附近存

的土粒减少,坡面产沙量逐渐下降并趋于稳定。另一方面,含沙量在降雨初期急剧上升说明侵蚀过程是以泥沙搬运为主导的阶段,而后迅速减小说明侵蚀过程由泥沙搬运能力为主的阶段向以分散能力为主的阶段转变。这个转变过程在所有坡度条件下都是降雨刚开始很快就发生了;但小坡度(5°~15°)时这个转变所需要的历时显然小于大坡度。

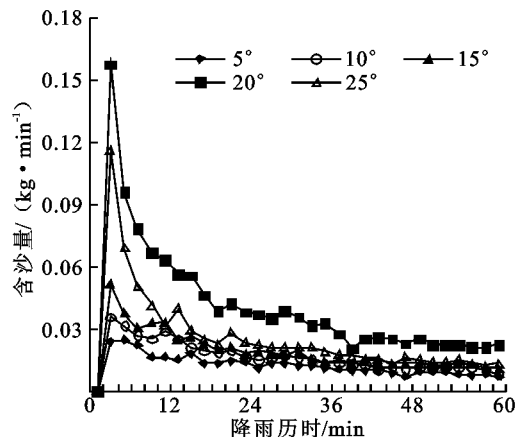


图 2 不同坡度下含沙量随时间变化

在临界坡度。出现临界坡度的原因主要是因为一方面坡面土壤的不稳定性与坡度的大小成正比,坡度愈大,坡面土体受到斜坡重力切向分力愈大,则坡面上土体不稳定性愈大,就更易被径流冲走;另一方面随着坡度的增大,单位面积上承受的雨量变小,单位面积径流量及冲刷量也相应变小,在这两方面的综合作用下出现坡度临界值。

3 结论

通过室内模拟降雨试验研究了不同坡度条件下红壤坡面土壤侵蚀过程,所得结论如下:

(1) 由于试验前进行了前期降雨,土壤水分接近饱和状态,使坡度对红壤坡面起始产流时间的影响不明显。

(2) 红壤坡面地表总径流量随坡度的增加而减小,25°时坡面总径流量比 5°时的坡面径流量小 22.3%;坡度对红壤产流率变化过程有一定的影响,坡度越大达到稳定产流所需的时间越短。

(3) 红壤坡面土壤侵蚀量和含沙量随坡度的增加都呈现先增加后减小的变化趋势。在 5°~15° 之间,坡面侵蚀产沙量随坡度的增加相对较缓;在 15°~20° 之间增加较快;当坡度为 20° 时,坡面侵蚀产沙量最大;其值是 5 时的 2.7 倍;当坡度由 20° 变化到 25° 时,坡面土壤侵蚀量和含沙量随坡度的增加而减少,即坡度对红壤坡面侵蚀产沙的影响存在临界坡度,其值变化于 20°~25° 之间。

(下转第 59 页)

bles[J]. J. Appl. Ecol. , 1977 ,14: 567-588.

[22] Gash J H C. An analytical model of rainfall interception by forests [J]. Quart. J. Roy. Met. Soc. , 1979 ,105 :43-55.

[23] Massman WJ. The derivation and validation of a new model for the interception of rainfall by forests[J]. Agric. Meteorol. , 1983 ,28: 261-286.

[24] Mulder J P M. Simulating interception loss using standard meteorological data[M]// Huchison B A , Hicks B B. The Forest-Atmosphere Interaction ,Reidel :Dordrecht , 1985 : 177-196.

[25] Liu J A. theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy[J]. Ecol. Model , 1988 , 42 : 111-123.

[26] Liu S G. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies[J]. Ecological Modelling , 1997 ,99 : 151-159.

[27] Gash J H C , Lloyd C R , Lachaud G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model[J]. Journal of Hydrology , 1995 ,170 :79-86.

[28] Valente F , David J S , Gash J H C. Modeling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models [J]. Journal of Hydrology 1997 ,190 :141-162.

[29] Carlyle-Moses D E , Price A G. An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand[J]. Journal of Hydrology ,1999 ,214 :103-110.

[30] Dykes A P. Rainfall interception from a lowland tropical rainforest in Brunei [J]. Journal of Hydrology , 1997 ,200 :260-279.

[31] Jackson N A. Measured and modeled rainfall interception loss from an agroforestry system in Kenya [J]. Agricultural and Forest Meteorology 2000 ,100 :323-336.

[32] 胡良军,邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报, 2001 ,16(1) :40-43.

[33] 秦伟,朱清科,张学霞,等. 植被覆盖度及其测算方法研究进展[J]. 西北农林科技大学学报 :自然科学版 , 2006 ,34(9) :163-170.

[34] 章文波,刘宝元,吴敬东. 小区植被覆盖度动态快速测量方法研究[J]. 水土保持通报, 2001 ,21(6) :60-63.

[35] 程红芳,章文波,陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展[J]. 国土资源遥感, 2008(1) :13-18.

[36] Jonckheere I, Fleck S, Nackaerts K, et al. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories , sensors and hemispherical photography [J]. Agricultural and Forest Meteorology ,2004 ,121 : 19-35.

[37] 张清春,刘宝元,翟刚. 植被与水土流失研究综述 [J]. 水土保持研究 ,2002 ,9(4) :96-101.

[38] 张仁华,孙晓敏,朱治林. 叶面积指数的快速测定方法:植被定量遥感的地面标定技术[J]. 国土资源遥感 ,1998(1) :54-60.

[39] 金仲辉,张宏名,王家圣. 关于光谱反射率和小麦叶面指数之间关系的研究[J]. 北京农业大学学报,1992 , 18(2) :189-196.

[40] 顾祝军,曾志远,史学正,等. 基于 ETM+ 图像的植被覆盖度遥感估算模型[J]. 生态环境, 2008 ,17(2) : 771-776.

[41] 赵春玲,李志刚,吕海军,等. 中德合作宁夏贺兰山封山育林育草项目区植被覆盖度监测[J]. 宁夏农林科技 ,2000(S) :6-14.

(上接第 54 页)

参考文献:

[1] 赵其国. 红壤物质循环及其调控[M]. 科学出版社 , 2002 :1-7.

[2] 《中国农业土壤概论》编委会. 中国农业土壤概论[M]. 北京:农业出版社,1982.

[3] 赵其国. 我国红壤的退化问题[J]. 土壤, 1995 ,27(6) : 281-286.

[4] 史德明,周伏健,徐朋. 我国南方土壤侵蚀动态与水土保持发展趋势[J]. 福建水土保持 ,1993(3) :9-13.

[5] 刘青泉,陈力,李家春. 坡度对坡面土壤侵蚀的影响分析[J]. 应用数学和力学 ,2001 ,22(5) :449-457.

[6] 靳长兴. 坡度在坡面侵蚀中的作用 J 地理研究,1996 , 15(3) :57-63.

[7] Musgrave G W. Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion: A First Approximation[J]. Soil and Water Conser. ,1947 ,2 :133-138.

[8] Zingg A W. Degree and Length of Land Slope as It Affects Soil Loss in Runoff[J]. Agri. Engi. ,1940 ,21 :59-64.

[9] 靳长兴. 论坡面侵蚀的临界坡度[J]. 地理学报,1995 , 50(3) :234-239.

[10] 郑粉莉. 发生细沟侵蚀的临界坡长与坡度[J]. 中国水土保持 ,1989(8) :23-24.