

张海涛,王永会,张爱军. 模拟降雨下雨强对石灰岩坡地土壤径流及泥沙含量的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):287-289.

模拟降雨下雨强对石灰岩坡地土壤径流及泥沙含量的影响

张海涛¹, 王永会², 张爱军³

(1. 河北农业大学研究生学院, 河北保定 071001; 2. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北保定 071001;

3. 河北农业大学山区研究所/国家北方山区农业工程技术研究中心/河北省山区农业工程技术研究中心, 河北保定 071001)

摘要:通过室内模拟降雨试验研究了降雨强度(简称雨强)对石灰岩土壤坡面产流产沙过程和侵蚀过程,结果表明:雨强在 60 ~ 100 mm/h 之间、其他条件相同,坡面动态径流量随雨强的增大而增大,即 100 mm/h > 85 mm/h > 60 mm/h。雨强为 100 mm/h 时,坡面径流总量为 540.97 L;雨强为 60 mm/h 时,径流总量为 332.28 L,且 100 mm/h 时的径流总量约是 60 mm/h 时的 1.6 倍。同一雨强下,泥沙含量在产流初期迅速增大到峰值,随后持续下降,20 min 后趋于稳定。

关键词:模拟降雨试验;降雨强度;石灰岩;土壤侵蚀;坡度

中图分类号: S157.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)05-0287-03

不合理的人为活动和自然环境的恶化,导致植被生存环境退化而引起的严重水土流失问题已成为全球最严峻的环境问题之一。我国是世界上土壤侵蚀问题最严重的国家之一,据估算,因土壤侵蚀造成的经济损失每年在 100 亿元以上,虽然经过 50 多年的治理取得了举世瞩目的成绩,但是土壤侵蚀依然是经济和社会发展的主要限制因子^[1-2]。中国山区面积约占全国国土面积的 67%,土壤侵蚀已经成为制约山区经济社会发展的重要因素^[3]。石灰岩作为中国典型的山区土壤之一,其成土过程极其缓慢,土质松散,土壤水分易饱和,土层渗水及抗侵蚀能力较差。在河北省太行山区,石灰岩面积约有 8 977.24 km²,地形起伏大,沟底平坦、开阔、土层深厚,是农业生产用地的精华所在^[4-5]。

降雨是产生径流和土壤水蚀的先决条件,然而降雨从入渗到形成径流是一个非常复杂的物理过程,受很多因素的影响^[6-7]。降雨强度(雨强)是影响径流和侵蚀的重要因素,研究雨强与土壤侵蚀之间的关系,对水土保持规划和建立预报土壤侵蚀模型具有重要意义。关于降雨和坡度对土壤侵蚀的影响,国内外都已经进行了长期而深入的研究,国外的研究多集中在缓坡地(坡度 < 10°)方面^[8-18],由于每个研究人员所采用的试验条件和方法不同,研究的结果存在一定的差异;国内的研究则主要集中在黄土高原地区^[13-18],而有关雨强对石灰岩土壤侵蚀的影响研究还比较少。本研究分析了雨强对石灰岩区土壤产流、产沙过程的影响,以期对石灰岩区土壤侵蚀预报模型的建立和水土保持防护措施提供必要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验用土壤为石灰岩土,采自河北省满城县白堡乡 0 ~ 20 cm 表层土壤。土壤有机质含量约 12.87 g/kg, pH 值为 7.34,石砾含量 28.89%。钢槽土样添埋深 80 cm,使表面平整均匀。根据山区土壤特性,填土时不进行过筛操作。

1.2 试验方法

试验采用室内人工模拟降雨的方法,在国家北方山区工

收稿日期:2013-11-25

基金项目:河北省科技支撑计划(编号:11227102D)。

作者简介:张海涛(1980—),男,河北遵化人,硕士,助理研究员,主要从事山区农业生态研究。Tel: (0312) 7521021; E-mail: zht@hebau.edu.cn。

通信作者:张爱军(1970—),女,河北承德人,硕士,研究员,主要从事植物营养生态与山区农业信息化方面的研究。Tel: (0312) 7526341; E-mail: xm70526@163.com。

参考文献:

- [1] 欧阳志云,王如松. 区域生态规划理论与方法[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 傅伯杰,刘国华,孟庆华. 中国西部生态区划及其区域发展对策[J]. 干旱区地理,2000,23(4):289-297.
- [3] 李正国,王仰麟,张小飞,等. 景观生态区划的理论研究[J]. 地理科学进展,2006,25(5):10-20.
- [4] 孙发明,郭 砾,薛达元. 贵州省雷山县农业规划与资源保护[J]. 中央民族大学学报:自然科学版,2012,21(3):13-21.
- [5] 薛达元,彭 羽,郭 砾,等. 民族地区生态规划:贵州省黎平县

案例研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2009.

- [6] 宣恩县志编纂委员会. 宣恩县志[M]. 武汉:武汉工业大学出版社,1995.
- [7] 方元平,刘胜祥,汪正祥,等. 七姊妹山自然保护区野生保护植物优先保护定量研究[J]. 西北植物学报,2007,27(2):348-355.
- [8] 满金山,彭宗林,方元平,等. 七姊妹山国家级自然保护区野生植物资源及其开发利用[J]. 安徽农业科学,2008,36(12):5119-5120,5123.
- [9] 刘家武,吴法清,何定富,等. 湖北七姊妹山自然保护区兽类资源初步研究[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2002,36(4):503-507.

程中心降雨大厅进行,设备型号为 QYJY-503,由西安测控技术有限公司生产。降雨试验之前,表层土壤铲平、压实,采用 30 mm/h 的雨强对坡面进行前期的预降雨,在坡面的上、中、下 3 个部位分别用环刀取土,测定土壤的容重、初期含水量,保证每次试验前土壤容重控制在 $(1.5 \pm 0.1) \text{ g/cm}^3$,含水量控制在 12%~15%。降雨开始计时,每个处理从产流开始每 6 min 收集 1 次径流,连续采集次径流段的径流泥沙样至降雨结束,降雨历时为 60 min。降雨结束测量径流总体积,并将径流中的水样与泥沙用滤纸分离,测量泥沙风干后的重量,每次试验结束后,深翻 20 cm 土壤并部分回填新土。取其平均值进行计算和分析。

1.3 试验设计

根据太行山石灰岩区地形的特点,综合历年同期的降雨水平,试验设计坡度为 5°,雨强设 3 个水平,分别为 60、85、100 mm/h,每个处理 3 个重复。

1.4 测定项目

试验中准确记录场降雨产流时间、降雨历时,每隔 30 s 采集 1 次径流样本,收集每场降雨径流量、泥沙量。结束降雨试验后,测量各时段的径流体积,采用烘干法测定泥沙质量,之后计算径流总量和累计含沙量。

1.5 数据处理

数据采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行数据处理和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同雨强对产流时间的影响

降雨是产生地表径流和土壤侵蚀的首要条件,雨强、降雨量对产生的径流量、侵蚀量有非常密切的关系。由于受土地利用类型、坡度、初期含水量、土壤抗侵蚀能力等条件的影响,产流所需要的时间会有很大的不同。由表 1 可知,雨强为 60、85、100 mm/h 时,初始产流时间分别为 195、118、95 s。坡度一定时,起始产流时间随雨强的增加明显减少,呈现负相关性,在 5°坡面上,产流时间表现为 60 mm/h > 85 mm/h > 100 mm/h,60 mm/h 雨强的产流时间比 85、100 mm/h 时分别高出 65.3%、105.3%。其主要原因是雨强越大,表土变得密实的速率及下渗能力减弱的速率均越大,加速了土壤的饱和速率,从而使产流的时间趋于减少^[19~22]。

表 1 石灰岩土壤 5°坡面不同雨强下产流时间

雨强 (mm/h)	产流时间 (s)
60	195a
85	118b
100	95b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同雨强下动态径流量及累计径流量变化过程

随着降雨量和雨强的增大,雨滴作用于地面产生土粒分散、溅起,产流时间、产流量等因素均会发生改变。从图 1 中可以看出,不同雨强下,石灰岩土壤坡面动态径流量变化趋势大体上是一致的,即开始产流后一段时间内,动态径流迅速增加并趋于稳定。雨强为 60、85、100 mm/h 的产流时间分别约为 3、2、2 min,随后分别在 4~10、2~8、2~5 min 内径流量迅

速增加,土壤入渗达到稳定后,径流量趋于稳定直至降雨结束,雨强越大则径流达到稳定及开始产流的时间就越短。由于山区土壤土质的特殊性以及试验前进行的压实操作,地表细沟侵蚀的发生和发展并不明显,从而地表的动态径流量在降雨的中后期非常稳定。100 mm/h 雨强条件下,坡面动态径流量在 9.5 L/min 左右稳定;85 mm/h 雨强条件下,坡面动态径流量在 8.0 L/min 左右稳定;60 mm/h 雨强条件下,坡面动态径流量几乎没有变化,在 6.1 L/min 左右稳定。总体上看,在其他因素相同的条件下,坡面动态径流量随雨强的增大而增大,即 100 mm/h > 85 mm/h > 60 mm/h,这与传统的降雨产流过程表现出的特征相似。

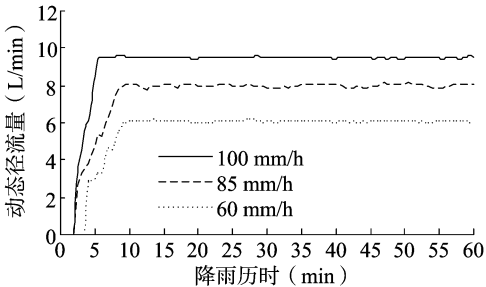


图1 石灰岩土壤 5°坡面不同雨强下动态径流量随降雨历时的变化

其他因素相同的条件下,石灰岩土壤坡面累计径流量随着降雨强度的增加而增大。总体上看,不同雨强下,石灰岩坡面累计径流量随着降雨时间的延长而平稳地增大。雨强越大,单位时间内产流越多,各个降雨强度下累计径流量的斜率大小为 100 mm/h > 85 mm/h > 60 mm/h。降雨强度为 60、85、100 mm/h 时,石灰岩土壤坡面产生径流总量分别为 332.28、445.68、540.97 L,径流总量随着降雨强度增大而增长,且 100 mm/h 时的径流总量约是 60 mm/h 时径流总量的 1.6 倍。

2.3 不同雨强下泥沙含量及累计泥沙量的变化过程

从图 2 中可以看出,在不同的降雨强度条件下,径流中泥沙含量在产流的初期迅速达到最高峰后持续下降,降雨历时约 20 min 后,径流中泥沙含量几乎趋于稳定;所有的模拟降雨试验中径流的泥沙含量在达到最大值前都是急剧上升的,最后在 15~17 g/L 左右趋于稳定。雨强为 60 mm/h 时,最高径流泥沙含量为 25.2 g/L;雨强为 85 mm/h 时,最高径流泥沙含量为 21.5 g/L;雨强为 100 mm/h 时,最高径流泥沙含量为 23.3 g/L。产流后并不是各个阶段径流含沙量都随着雨强的增大而增大,径流含沙量达到最高峰并趋于稳定以前,径流含沙量大小为 60 mm/h > 100 mm/h > 85 mm/h;趋于稳定后,径流含沙量大小为 100 mm/h > 85 mm/h > 60 mm/h。

石灰岩土壤坡面径流中累计产沙量随着雨强的增加而增大,同时累计产沙量也随着降雨时间的延长而增大。不同雨强条件下,产流后径流总含沙量均随雨强的增大而增大,雨强为 60、85、100 mm/h 时,累计产沙量的斜率大小为 100 mm/h > 85 mm/h > 60 mm/h,石灰岩土壤产沙总量分别为 5 273.98、7 201.51、9 293.57 g,并没有临界雨强的出现。

2.4 径流系数、径流深度与雨强的关系

径流系数是指一次降雨过程中径流总量与总降雨量的比值,用来说明降雨过程中降水量有多少降水变成了径流。径

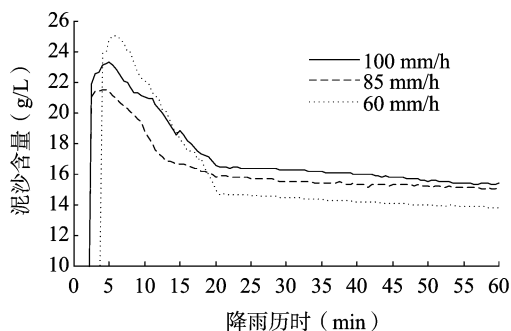


图2 石灰岩土壤 5° 坡面不同雨强下泥沙含量随降雨历时的变化

流深度是指降雨过程中径流总量平铺在整个流域面积上所得到的水层深度。从图 3、图 4 可以看出,在相同条件下雨强不同时,径流系数的变化不大。相同条件下,径流深度随着雨强的增大而增大,并呈现一定的线性关系,相应的回归方程和相关系数为: $D = 0.4437k + 41.62$, $r^2 = 0.973$, 式中 k 为坡度($^\circ$), D 为径流深度(mm)。

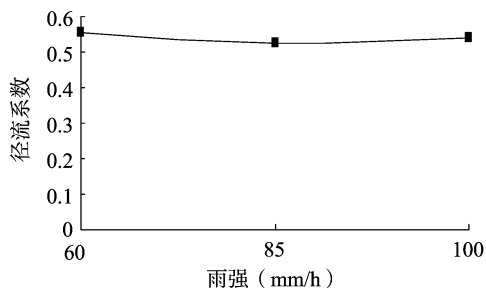


图3 雨强和径流系数的关系

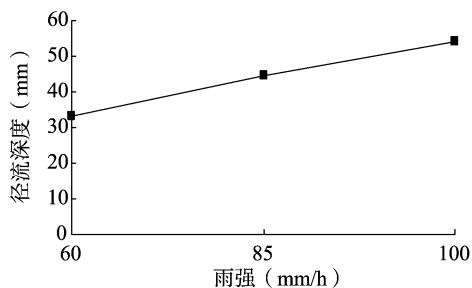


图4 雨强和径流深度的关系

3 结论与讨论

通过室内模拟降雨试验研究了不同雨强条件下石灰岩土壤侵蚀的过程,发现总体上石灰岩坡面产流时间随着雨强的增大而减小,但是由于试验前进行了预降雨,土壤初期含水量较高,使雨强对产流时间的影响不显著。石灰岩土壤在雨强 60~100 mm/h 的范围内,动态径流量、累计径流量、稳定的泥沙含量都随着雨强的增大而增大,其中动态径流量迅速增加并趋于稳定,达到稳定所需时间相差比较大,累计径流总量增大的幅度比较平缓;泥沙含量在产流后迅速达到峰值,在一定时间内持续下降并趋于稳定,趋于稳定前泥沙含量大小为 60 mm/h > 100 mm/h > 85 mm/h。石灰岩区土壤的径流深度

和雨强呈现良好的线性关系,径流深度随着雨强的增大而增大,但有关临界雨强的问题须进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨勤科,李锐,刘咏梅. 区域土壤侵蚀普查方法的初步讨论[J]. 中国水土保持科学,2008,6(3):1-6.
- [2] 刘震. 中国的水土保持[C]//中美水土保持研讨会论文集,2003.
- [3] 鄂竟平. 中国水土流失与生态安全综合科学考察总结报告[J]. 中国水土保持,2008(12):3-7.
- [4] 姚昌恬. 中国山情[M]. 北京:开明出版社,2003.
- [5] 高璟,陈建卓,高青. 河北太行山小流域类型分区特征及生态景观配置研究[J]. 水土保持研究,2004,11(2):198-199.
- [6] 孙飞达,蒋志荣,王立. 甘肃科学学报[J]. 不同降雨强度下农地的产流产沙研究,2005,17(1):53-56.
- [7] Tu Q Y, Cu D X, Yin C Q, et al. Chaohu lake eutrophication study [D]. Hefei: University Press of Science and Technology of China, 1990:226.
- [8] Assouline S, Ben - Hur M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing [J]. CATENA,2006,66(3):211-220.
- [9] Valmis S, Dimoyiannis D, Danalatos N G. Assessing interrill erosion rate from soil aggregate instability index, rainfall intensity and slope angle on cultivated soils in central Greece [J]. Soil & Tillage Research,2005,80(1/2):139-147.
- [10] Fox D M, Bryan R B. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient[J]. Catena,2000,38(3):211-222.
- [11] D'Souza V P C, Morgan R P C. A laboratory study of the effect of slope steepness and curvature on soil erosion[J]. Journal of Agricultural Engineering Research,1976,21(1):21-31.
- [12] Lal R. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria: III. Effects of rainfall characteristics[J]. Geoderma,1976,16(5):389-401.
- [13] 陈永宗. 黄土高原土壤侵蚀规律研究工作回顾[J]. 地理研究,1987,6(1):76-85.
- [14] 江忠善,刘志. 降雨因素和坡度对溅蚀影响的研究[J]. 水土保持学报,1989,3(2):29-35.
- [15] 郑粉莉,康绍忠. 黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理[J]. 地理学报,1998,53(5):40-46.
- [16] 朱显谟. 黄土区土壤侵蚀的分类[J]. 土壤学报,1956,4(2):99-115.
- [17] 陈永宗,景可,蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京:科学技术出版社,1988.
- [18] 郑粉莉,江忠善,高学田. 水蚀过程与预报模型[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [19] 王占礼,靳雪艳,马春艳,等. 黄土坡面降雨产流产沙过程及其响应关系研究[J]. 水土保持学报,2008,22(2):24-28.
- [20] 吴普特,周佩华. 黄土坡面薄层水流侵蚀试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996,10(1):40-45.
- [21] 吴发启,赵晓光,朱首军. 黄土高原南部侵蚀能量的产沙特征及其作用[J]. 水土保持学报,2000,14(S1):83-86.
- [22] 王万忠,焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙[M]. 北京:科学出版社,1996.