

三峡库区小流域产流产沙试验研究

肖海¹, 夏振尧², 杨悦舒¹, 梁永哲³, 柳琪¹

(1. 三峡大学 土木与建筑学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心, 湖北 宜昌 443002; 3. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 通过建立三峡库区小流域缩微模型, 分别进行了3场人工模拟降雨试验(降雨强度分别为60, 90, 120 mm/h), 对小流域产流产沙过程进行了研究。结果表明, 3场降雨试验的产流量及产沙量均随降雨强度的增加而增加, 但产流量的增加幅度远大于产沙量。产流量在3场降雨过程中均随径流时间呈现先增大后趋于稳定的趋势, 但产沙量变化规律较为复杂。在各场次降雨下, 累积产流量和累积产沙量均随降雨历时的增加呈线性函数规律变化。3场降雨产流的含沙量均呈波动形式变化。

关键词: 紫色土; 小流域; 产流产沙; 三峡库区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0260-04

中图分类号: S157.1

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.064

An Experimental Study on Runoff and Sediment Yield of Watershed in Three Gorges Reservoir Region

XIAO Hai¹, XIA Zhen-yao², YANG Yue-shu¹, LIANG Yong-zhe³, LIU Qi¹

(1. College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; 2. Collaborative Innovation Center for Geo-hazards and Eco-environment in Three Gorges Area, Yichang, Hubei 443002, China; 3. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: A watershed model was established based on a field survey of a small watershed located in the Three Gorges Reservoir region, three simulated rainfall events which intensities were 60, 90 and 120 mm/h on the watershed to study the process of runoff and sediment yield. The results showed that the runoff and sediment yield increased with the increase of rainfall intensity, but the runoff yield increased much faster than sediment yield. In each of the three rainfalls, the runoff showed the tendency of increasing initially before tending to be stable, but the sediment yield changed quite complicated. In each rainfall, both the cumulative runoff and sediment yield varied in a linear function law with the increase of rainfall duration. A fluctuation change of sediment concentration was showed in three simulated rainfalls experiments.

Keywords: purple soil; small watershed; runoff and sediment yield; the Three Gorges Reservoir region

由于长期不合理的土地利用方式, 加之较频繁的侵蚀性降雨, 导致三峡库区水土流失严重, 不仅致使库区土壤日趋贫瘠, 当地农业生态环境逐渐恶化, 而且水库泥沙淤积给三峡工程和长江中下游的安危造成极大威胁^[1]。小流域是水土保持研究的基本单元, 对其侵蚀产沙空间分布的了解是预测和防治流域水土流失的重点^[2]。

本研究以三峡库区主要土壤类型紫色土为研究对象, 通过建立小流域模型, 结合人工模拟降雨试验,

研究小流域在不同降雨强度下产流产沙过程, 为三峡库区小流域治理以及水土流失预测模型的建立提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 小流域模型的建立

研究区位于三峡库区湖北宜昌段, 以秭归县水田坝乡的王家桥小流域(31°12′—31°15′N, 110°40′—110°43′E, 小流域面积约为2.0 km², 植被覆盖良好)

收稿日期: 2013-07-31

修回日期: 2013-08-29

资助项目: 十二五科技支撑项目“金沙江梯级水电开发区生态保护与入库泥沙调控关键技术与示范: 河岸工程施工区生态系统修复技术与示范”(2012BAC06B02-04); 国家自然科学基金项目(41201270; 41202250)

作者简介: 肖海(1988—), 男(汉族), 湖南省郴州市人, 硕士研究生, 研究方向为水土流失机理。E-mail: xiaohai19881104@sohu.com。

通信作者: 夏振尧(1981—), 男(汉族), 湖北省武汉市人, 博士, 副教授, 主要从事边坡生态防护研究。E-mail: xzy_yc@126.com。

为原型,通过实地勘察,按1:100的比例尺将其微缩模型建于三峡大学人工模拟降雨试验场。

小流域模型外围边界用红砖及水泥砌成,模型中下层铺设砂土以便透水。上层土壤按照 1.3 g/cm^3 的容重铺设10 cm厚的紫色土层。小流域模型面积约为 20 m^2 ,其最高处约1.3 m,最低处高约0.4 m,位于小流域出口处。由一条主沟、两条支沟组成。主沟长约5.5 m,上半主沟沟底坡度为 $10^\circ\sim 15^\circ$,沟壁坡度为 $20^\circ\sim 35^\circ$;下半主沟沟底坡度为 $0^\circ\sim 9^\circ$,沟壁坡度为 $15^\circ\sim 30^\circ$ 。支沟位于主沟两侧,左支沟长约2.2 m,沟底坡度小于 5° ,沟壁坡度在 $25^\circ\sim 35^\circ$;右支沟长约1.9 m,沟底坡度小于 5° ,沟壁坡度在 $15^\circ\sim 30^\circ$ 。各坡面坡度在 10° 以内,下半坡面坡度整体比上半坡面坡度大。

1.2 人工降雨过程及处理

人工降雨试验在三峡大学人工模拟降雨试验场开展。降雨设施采用南京南林电子科技生产的NLJY-10-01型便携式人工模拟降雨系统,降雨高度4 m,由9组大中小喷头均匀喷出雨滴,降雨均匀度大于0.86,降雨强度分别为60,90,120 mm/h。利用均匀分布于小流域中的雨量筒,通过多次测定平均降雨强度对降雨强度率定。每次降雨开始前,先将小流域表层湿润,直至接近产生地表径流。然后,将降雨强度调至设定值,在降雨开始产流后,开始计时,以2 min为时间间隔接取全部泥沙样品以待测试。同时照相,并对试验过程进行记录。降雨30 min结束后,覆盖防雨布以备下次试验使用。泥沙样品收集后静置至泥沙沉淀,倒掉上部清液,并将下部泥沙烘干称重保存于自封袋中。

2 结果与分析

2.1 总产流产沙量分析

分别于2012年10月27日、11月1日及11月10日完成3种雨强(60,90,120 mm/h)条件的降雨试验。从表1可以看出,产流量随着降雨强度的增大而增加,但是增加幅度相差较大,虽然3次降雨强度均相差30 mm/h,但与60 mm/h雨强降雨试验相比,90 mm/h雨强降雨试验的产流量增加了325.12 kg,120 mm/h雨强降雨试验相对于90 mm/h雨强降雨试验只增加了261.62 kg,增幅减少了19.53%。分析认为,60 mm/h雨强降雨试验前虽然进行了预湿润,但只是表面饱和,因此降雨过程中入渗较大,从而使得产流量减小。而由于第一次降雨试验的进行,土壤基本趋于饱和,后两次入渗相对较小,产流量增加,从而导致在第3场降雨试验中产流量增幅减小。

与产流量变化规律相同,3场降雨产沙量随着降雨强度的增大而增加,且增加幅度相差较大,90 mm/h雨强降雨试验的产沙量比60 mm/h雨强降雨试验的产沙量增加了20.85 kg,120 mm/h雨强降雨试验的产沙量比90 mm/h雨强降雨试验增加了1.79 kg,增幅较前两场减少91.42%,这个增幅远小于同期产流量的增幅。试验过程中观察发现,在降雨强度为60 mm/h雨强降雨试验结束后小流域坡面仅出现了细沟雏形,细沟并未明显发育,因此坡面产沙量很少,且产流量相对也较少,因此对沟道冲刷也不太剧烈,因而总产沙量相对较少。而在随后的90 mm/h降雨强度下,产沙量陡增,主要是由于在前场降雨的基础上,一方面坡面细沟继续发育,而且较大的降雨强度导致了较快的发育速度^[3]引起坡面产沙量大增;另一方面较大的产流量使得对沟道冲刷较严重,产沙量也相应增加,从而使总产沙量增幅较大,在120 mm/h降雨强度下,由于前两次降雨的作用,坡面细沟以及沟道发育已经较为稳定,因此降雨强度及产流量的增加并不能导致产沙量的显著增加,因此在整个降雨过程中产沙量增幅不大。

表1 3次降雨试验的产流量及产沙量

| 项目 | 雨强/(mm·h ⁻¹) | | |
|--------|--------------------------|--------|--------|
| | 60 | 90 | 120 |
| 产流量/kg | 226.50 | 551.61 | 813.22 |
| 产沙量/kg | 3.94 | 24.79 | 26.58 |

2.2 产流产沙过程分析

从图1可以看出,产流量在3场模拟降雨过程中均随径流时间呈现先增大后趋于稳定的趋势。这是因为在降雨初期时,一方面小流域中土壤渗透性较强,另一方面随着雨滴的打击作用及径流对土壤颗粒的剥离、搬运和沉积使得表层土壤中形成薄封闭层^[4]。封闭层形成后土壤的入渗能力降低,从而使得产流量增加。当封闭层发育稳定时,产流量也逐渐稳定^[5],且降雨强度越大,这个过程也越快。

虽然3场降雨产流量均随时间呈现相同的变化规律,但由图1可知,3场降雨的产沙量变化规律并不一致。在60 mm/h降雨强度下,产沙量随降雨历时逐渐增加,主要是由于上述封闭作用引起入渗减小,径流增加,径流流速加快,从而径流冲刷力增大,使径流能够运走更多的泥沙^[6]。

通过试验观察,降雨结束后坡面细沟并未明显发育,因此整个过程中产沙量均缓慢增加。而在随后的90 mm/h降雨强度下,产沙量随降雨历时变化出现了先陡增后稳定再波动的趋势。降雨初期产沙量陡

增,主要是由于在前场降雨的基础上,一方面在较大的降雨强度下坡面细沟快速发育;另一方面产流量的增加使得沟道侵蚀迅速增加^[7]。坡面细沟以及沟道的沟壁坍塌使得产沙量出现了波动变化的趋势。在

120 mm/h 降雨强度下,随着坡面细沟以及沟道发育已经较为稳定,产流量的增加并不能导致产沙量的显著增加,因此在整个降雨过程中产沙量仍呈现先增加后略有减小的变化趋势。

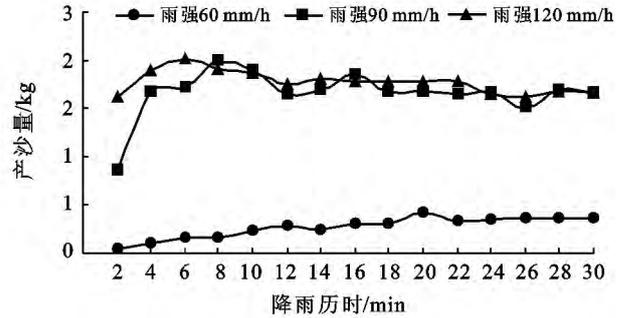
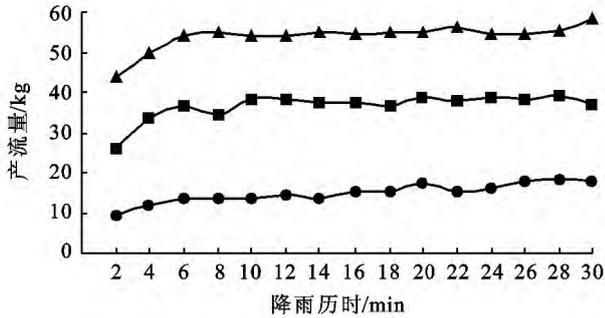


图 1 3 场模拟降雨试验产流量及产沙量随时间变化

2.3 累积产流产沙量分析

图 2 反映了 3 场模拟降雨试验累积产流量和产沙量随降雨历时的变化。累积产流量及产沙量表明侵蚀产流产沙总量随时间的变化规律。由图 2 可以

看出,3 场降雨强度下累积产流量及产沙量均随降雨历时增长而增加,且降雨强度越大,累积产流量及产沙量越大,这与降雨强度增大,小流域单位时间所承受的降雨增多,侵蚀力增强有关。

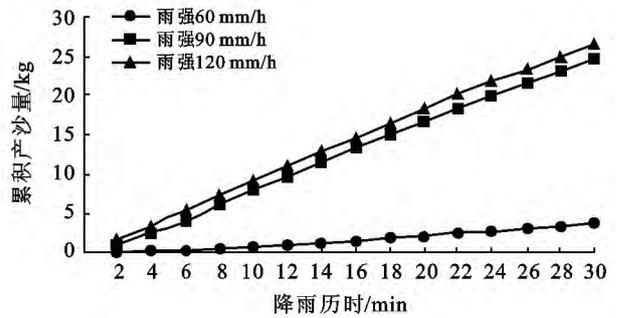
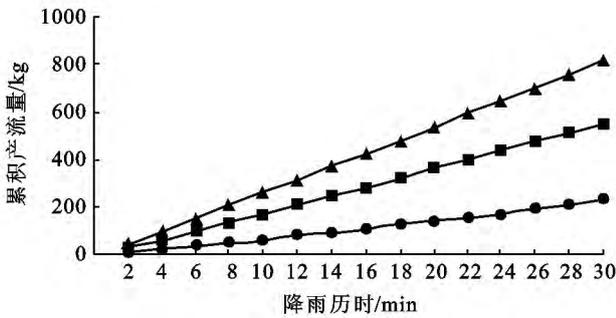


图 2 3 场模拟降雨试验累积产流量及产沙量随时间变化

在各场次降雨下,累积径流、产沙量与降雨历时的关系均可用进行线性拟合,相关系数 R^2 均大于 0.97,说明这些拟合方程具有较高的可靠性。60,90,120 mm/h 这 3 种雨强条件下,单位时间内所增加产流量分别为 7.755,18.888 和 27.501 kg,产流量相差不大;而累积产沙量在 3 场降雨下单位时间所增加的产沙量分别为 0.144 2,0.856 3 和 0.890 7 kg,相差较大。

知,60 mm/h 降雨强度下坡面细沟发育不明显且径流冲刷沟道的强度不剧烈,因此单位时间产沙量较少;而在 90 mm/h 时,坡面细沟快速发育,径流对沟道冲刷也加剧,因此单位时间内产沙量较 60 mm/h 降雨强度下大幅度增加;120 mm/h 降雨强度下,随着坡面细沟发育趋于稳定,单位时间产沙量增幅也相应变小。

分析认为,单位时间产流量的多少由承雨量及入渗量决定,3 次降雨过程中,入渗量除了第一次降雨过程中入渗较强外,其与两次由于第一次降雨的作用,小流域内土壤趋于饱和,因此入渗量变化不大,从而使得增幅相差不大。而产沙量受到多种因素的影响,在本试验中,产沙量的多少主要有坡面细沟发育情况以及径流对沟道的冲刷情况所决定的,分析可

2.4 含沙量变化规律

含沙量是产沙量和产流量两者的比值,表明单位径流中携带泥沙量的多少。由图 3 可以看出 3 场降雨径流含沙量变化规律并不一致。60 mm/h 降雨强度下径流含沙量随着降雨的持续呈增加趋势,90 mm/h 降雨强度下径流含沙量呈现先增加后波动变化,而 120 mm/h 降雨强度下却呈现先增加后略微递减的趋势。径流含沙量出现这种不一致的变化规

律,与产流产沙变化规律有密切相关,尤其与产沙量变化规律密切相关,这与本试验各次降雨过程中产流量除前期略少外后期基本变化不大有关。

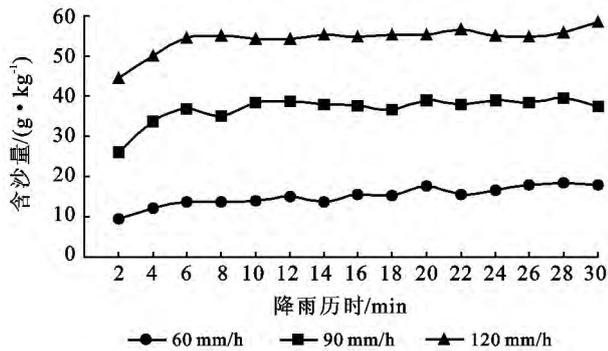


图3 含沙量随降雨历时变化规律图

3 结论

(1) 3种雨强条件下,降雨产流量及产沙量均随雨强增加,但产流量的增加幅度远大于产沙量。

(2) 3种雨强条件下,产流量均随径流时间的延长呈现先增大后趋于稳定的趋势。

(3) 3场降雨过程中产沙量及径流含沙量变化规律不一致,在60 mm/h雨强下,两者变化均随产流时间逐渐增加;90 mm/h雨强下,两者变化均随产流时间变化出现了先陡增后稳定波动的趋势;而120 mm/h

降雨强度下两者变化均随产流时间变化出现了先增加后略微递减的趋势。

(4) 在各场次降雨下,累积产流量和累积产沙量均随降雨历时的增加呈线性变化。

[参考文献]

- [1] 熊平生,谢世友,谢金宁. 初探三峡水库湿地面临的问题及其对策[J]. 国土与自然资源研究,2004(4):60-62.
- [2] Kimoto A, Nearing M A, Shipitalo M J, et al. Multi-year tracking of sediment sources in a small agricultural watershed using rare earth elements[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2006, 31(14): 1763-1774.
- [3] 刘刚,杨明义,刘普灵,等.⁷Be示踪坡耕地次降雨细沟与细沟间侵蚀[J]. 农业工程学报,2009,25(5):47-53.
- [4] 唐泽军,雷廷武,张晴雯,等. 降雨及聚丙烯酰胺(PAM)作用下土壤的封闭过程和结皮的形成[J]. 生态学报,2001,22(5):674-648.
- [5] 田风霞,刘刚,郑世清,等. 草本植物对土质路面径流水动力学特征及水沙过程的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(10):25-29.
- [6] 李朝霞,王天巍,史志华,等. 降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀产沙关系[J]. 水土保持学报,2005,19(1):1-4,9.
- [7] 丁文峰,李勉,张平仓,等. 坡沟系统侵蚀产沙特征模拟试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3):10-14.

(上接第259页)

- [14] 谭永忠,吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报,2003,18(1):112-117.
- [15] 周生路,黄劲松. 东南沿海低山丘陵区土地利用结构的地域分异研究[J]. 土壤学报,2003,40(1):37-45.
- [16] 申海建,郭荣中,刘刚,等. 洞庭湖区土地利用结构信息熵分异规律研究:以湖南省岳阳市为例[J]. 河北农业科学,2008,12(2):92-97.
- [17] 石培基,张学斌,罗君. 黄土丘陵沟壑区土地利用空间结构的计量地理分析:以甘肃省天水市为例[J]. 土壤,2011,43(3):439-445.
- [18] 赵晶,徐建华,梅安新,等. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析[J]. 地理研究,2004,23(2):137-146.
- [19] 周子英,段建南,梁春风. 长沙市土地利用结构信息熵时空变化研究[J]. 经济地理,2012,32(4):124-129.
- [20] 陈彦光,刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述:从信息熵到分数维[J]. 地理研究,2001,20(2):146-152.
- [21] 吴燕芳,石培基,刘宁宁. 陇南山地土地利用结构动态演变分析[J]. 水土保持研究,2010,17(6):133-137.
- [22] 边静,何多兴,田永中,等. 基于信息熵与空间洛伦兹曲线的土地利用空间结构分析:以重庆市合川区为例[J]. 水土保持研究,2011,18(5):201-204.
- [23] 毛良祥,林燕华. 基于信息熵的我国土地利用结构动态变化研究[J]. 国土资源科技管理,2008,25(6):48-51.