

不同下垫面对坡面侵蚀特征的影响^{*}

申震洲, 姚文艺, 李 勉, 肖培青, 王玲玲, 杨春霞, 杨吉山

(水利部 黄河水利委员会黄河水利科学研究院水利部黄河泥沙重点实验室, 郑州 450003)

摘 要:为研究不同下垫面对黄土坡面侵蚀特征的影响, 2008 年在黄河水利科学研究院模型黄河试验基地, 用人工降雨的方法研究了黄土坡面小区在不同立地条件和不同雨强下的径流量、侵蚀量。结果表明: 在小雨强条件下, 裸地和坡耕地的径流量随时间延续逐渐增加, 在试验进行到 30 min 左右时达到波动稳定状态, 约为 10 kg/min, 约为相同雨强下草地坡面径流量的 40 倍左右。中雨强时, 裸地和农耕地的径流量约是草地径流量的 7 倍; 大雨强时, 草地径流量在试验初期呈缓慢增加的态势, 在试验进行到 12 min 左右时基本稳定在 10 kg; 裸地和农耕地径流量在试验初期急剧增加, 在试验进行到 20 min 左右时达到各自的最高点, 然后维持在一个较低的水平。不同下垫面坡面在小雨强时, 裸地和农耕地的侵蚀产沙量远远大于草地, 约是其 20 倍, 为 10 kg 左右。中雨强时, 裸地和农耕地的侵蚀产沙量约是草地的 100 倍左右; 大雨强时, 裸地和农耕地的侵蚀量仍远远大于草地的侵蚀量, 二者在试验初期急剧增加, 在试验进行到 18 min 左右时达到各自的最高点, 然后坡面侵蚀量维持在一个较低的水平。综合分析表明, 草被覆盖坡面可以防护中小雨强下的土壤流失。

关键词:下垫面; 径流量; 侵蚀量

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0006-04

Study on Soil Erosion Sediment Under Different Underlying Horizon

SHEN Zhen-zhou, YAO Wen-yi, LI Mian, XIAO Pei-qing,

WANG Ling-ling, YANG Chun-xia, YANG Ji-shan

(The Key Lab of Yellow River Sediment, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, MWR, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The runoff amount and soil erosion amount on different rainfall and different underlying horizon were analyzed in base of yellow river institute of hydraulic research at 2008. The results show: the runoff of bare slope and farm slope were increasingly with time, they got the steady runoff at experiment 30 min, they are 10 kg/min which is 40 times that of grass slope in small rainfall; the runoff amount of bare slope and farm slope are 7 times that of grass slope in middle rainfall; the runoff of grass slope was slowly increasing at the initial stage, it got the steady runoff at experiment continue 12 min, it's 10 kg/min in heavy rainfall, the runoff of bare slope and farm slope were rapidly increasing at the initial stage, they got the maximum runoff at experiment continue 20 min, then they keep a low-level runoff amount in heavy rainfall. The soil erosion of bare slope and farm slope were 10 kg which were 20 times that of grass slope in small rainfall; The soil erosion amount of bare slope and farm slope is 100 times that of grass slope in middle rainfall; the soil erosion of bare slope and farm slope were rapidly increasing at the initial stage, they got the maximum soil erosion at experiment continue 18 min, then they keep a low-level soil erosion amount in heavy rainfall; the grass to cover slope could reduce the soil erosion in small and middle rainfall on the Loess Plateau.

Key words: underlying surface; runoff; soil erosion

^{*} 收稿日期: 2009-07-07

基金项目: “973”国家重点基础研究发展规划项目(2007CB407201); 黄河水利科学研究院科技发展基金(黄科发 200806); 黄委资助项目“黄土高原水土流失数学模型研发”(黄河保 200651-7); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项项目(HKY-JBYW-2007-31); 水利部公益性行业科研专项经费项目(200701035-05)

作者简介: 申震洲(1980-), 男, 硕士, 河南汤阴人, 工程师, 主要研究方向: 土壤侵蚀。E-mail: zzsh80@163.com

通信作者: 姚文艺(1957-), 男, 河南西华人, 博士, 教高, 主要研究方向: 水土保持。E-mail: wyyao@yrihr.com.cn

短时期内,流域单元尺度内产沙程度的加剧和减弱,气候变化的影响是有限的,人类活动造成的土地利用变化是影响流域侵蚀产沙的主要原因^[1-4]。黄土高原开展大规模水土保持治理之后,土壤侵蚀的研究主要是围绕在人类活动减蚀的正面效应影响下,流域和河道出现的水沙变异规律的研究^[5-8]。水文法和水保法的研究结果均表明:除降雨偏少的原因外,水土保持工程对黄河泥沙的减少做出了重要的贡献。黄土丘陵区植被覆盖率也得到大幅度提高,一些水土保持综合治理先进的小流域,已恢复至 60 % 以上,使该区生态环境发生了显著变化,特别是在一些由国家重点投资的项目治理区或由科研机构设置的一些试验示范区,生态环境状况跨入一个新阶段。在这种与以往生态建设强度、规模截然不同的新形势下,流域的土地利用结构和植被覆盖度在相对很短时期内发生了根本变化,势必引起植被恢复重建过程中的流域环境和降雨—径流—泥沙特征将与以前不同,极大地改变了流域系统的产沙输沙过程,对流域水沙关系产生深刻的影响^[9]。以往研究大多是针对较长时间尺度以及植被自然恢复背景下的水沙效应动态过程的定位监测研究^[10-13],本文利用模型试验的方法,重点研究不同立地条件下黄土坡面的侵蚀过程,分析不同地类坡地产流产沙规律,希望对定量评价林草措施的水土保持效益提供技术支撑。

1 试验设计与数据采集

1.1 试验土槽设计

试验是在黄河水利科学研究院“模型黄河”试验

表 1 供试土样各级粒径组成

粒径/mm	> 1.0	1 ~ 0.25	0.25 ~ 0.05	0.05 ~ 0.01	0.01 ~ 0.005	0.005 ~ 0.001	< 0.001
含量/%	0	1.05	35.45	43.4	3.2	6.4	10.5

1.3 试验方法及数据采集

裸地的铺填方法为:在土槽下部铺填 10 cm 厚的天然沙以保持试验土壤的透水状况接近于自然状态,在其上铺填 20 cm 厚的过筛预处理的邙山黄土,用木板轻拍土壤,使其干容重达到 1.2 g/cm³。然后,再分两次铺填 15 cm 厚的处理过的土样,干容重均控制在 1.2 g/cm³,以此避免填土容重的不均匀。试验开始前夜将土槽洒水至饱和含水量,放置一夜后第二天开始做试验。农耕地的铺填方法与裸地相似,填好后再将表面 20 cm 厚的土层翻松。草地的铺填方法与裸地也类似,然后播种草籽,生长 3 个月后才开始试验。

试验时率定雨强达到设计雨强,开始计时,记录

基地进行的。试验土槽可调坡度为 5 °~ 45 °,既可用于人工降雨试验也可用于径流冲刷试验。试验土槽长 5 m,宽 3 m,深 60 cm。试验时将土槽用 PVC 板隔成 3 个长 5 m、宽 1 m 的同样大小的试验区,用于做同样条件下的 3 次重复试验。降雨器为中科院水保所研制的侧喷式降雨器,降雨强度可调为 0.3 ~ 3.0 mm/min,试验土槽两旁有可调高度的支架供测量使用。土槽的出口处设有集水槽,集水槽下放置集流桶以收集径流泥沙,如图 1 所示。



图 1 可移动式变坡坡面模型

1.2 试验设计

试验用土为郑州邙山表层黄土,颗粒组成如表 1,试验时土壤干容重控制在 1.2 g/cm³。试验坡度设计为 20 °,有裸地、农耕地及 60 % 覆盖度的草地 3 种立地条件,雨强有 45 mm/h (小雨强)、90 mm/h (中雨强)、130 mm/h (大雨强) 3 个不同雨强,每场试验做 2 个重复,分析数据时取其中比较接近的 2 场试验的平均数,共做试验 40 余组次。

径流进入集流桶的时间,然后每隔 2 min 换一次集流桶,降雨 60 min,试验完毕后,测量每个集流桶内的径流重量和体积,然后用换算法计算该时间段内的侵蚀量、含沙量以及入渗率,同时以 2 min 为步长测定坡面流的水动力学参数,包括流速、流宽及沿程含沙量等。最后对数据进行整理,分析雨强及不同的立地条件对侵蚀产沙的影响。

2 结果与分析

2.1 不同立地条件及雨强对坡面径流量的影响

分析了不同立地条件的 20 °坡面在 45 mm/h 雨强时的径流量随时间变化(图 2),可以看出,裸地和坡耕地的径流量远远大于草地(60 % 覆盖度,下同)的径流

量,且二者的径流量相差不是太大,变化规律也比较接近,都是坡面径流量随时间延续逐渐增加,在试验进行到 30 min 左右时达到波动稳定状态,约为 10 kg/min,约为同样雨强下草地坡面径流量的 40 倍左右。

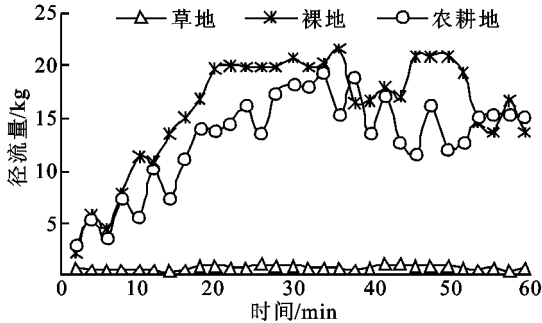


图 2 45 mm/h 雨强时不同立地条件下径流量随时间变化

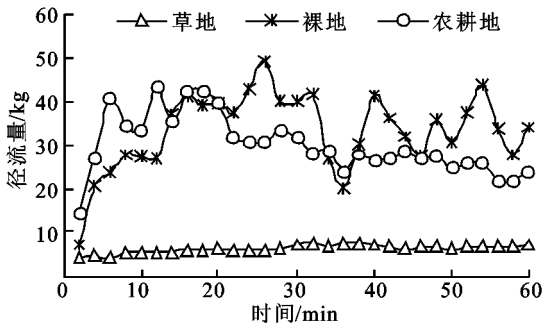


图 3 90 mm/h 雨强时不同立地条件下径流量随时间变化

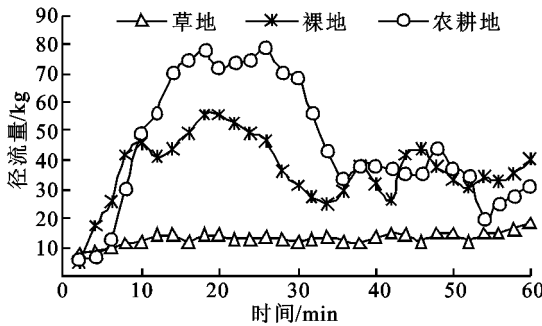


图 4 130 mm/h 雨强时不同立地条件下径流量随时间变化

比较 20 不同立地条件下坡面在 90 mm/h 雨强时径流量随时间变化(图 3)可知,裸地和农耕地的径流量相差不大,但是都远远大于草地的径流量,约是草地径流量的 7 倍;同时可以看出,草地径流量随着降雨时间的延续是逐渐增加的,但变化量不是太大,而裸地和农耕地的径流量随着降雨的进行变化比较明显,二者径流量都是在降雨初期剧烈增加,在试验进行到 8 min 左右时达到波动稳定状态,农耕地甚至出现径流量略有降低的态势。

分析了不同立地条件的 20°坡面在 130 mm/h 雨强时的径流量随时间变化(图 4),由图可知,裸地和农耕地的径流量仍远远大于草地的径流量。草地径流量在试验初期呈缓慢增加的态势,在试验进行到 12 min 左右时基本稳定在 10 kg,裸地和农耕地

尽管在试验初期有一定区别,但其变化规律基本一致,在试验初期急剧增加,在试验进行到 20 min 左右时达到各自的最高点,然后可能是由于试验过程中坡面滑塌或者下渗的原因,坡面径流量维持在一个较低的水平。

2.2 不同立地条件及雨强对坡面侵蚀产沙的影响

分析了不同立地条件的 20°坡面在 45 mm/h 雨强时的侵蚀产沙变化(图 5),可以看出,不同立地条件坡面的侵蚀产沙变化与径流量变化基本一致,具有相当好的关联性。裸地和农耕地的侵蚀产沙量远远大于草地的侵蚀产沙量,约是其 20 倍左右;同时可以看到裸地和坡耕地的侵蚀产沙量在试验初期就呈现剧烈增加的态势,在试验进行到 30 min 左右时达到波动稳定状态,为 10 kg 左右。

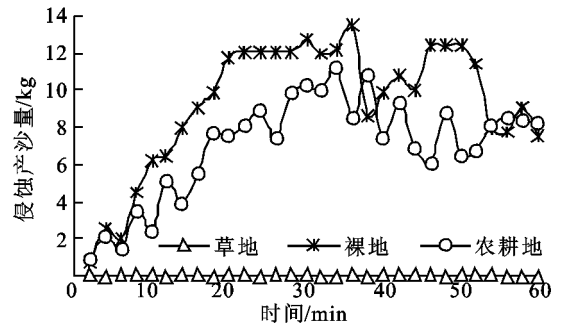


图 5 45 mm/h 雨强时不同立地条件下侵蚀产沙量随时间变化

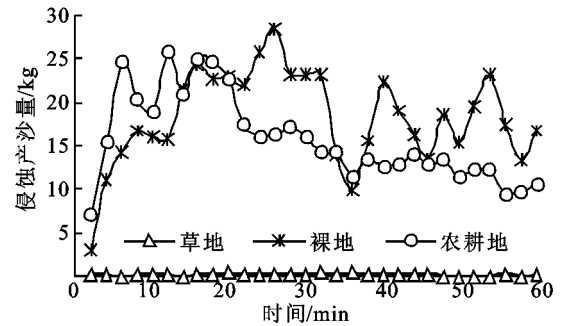


图 6 90 mm/h 雨强时不同立地条件下侵蚀产沙量随时间变化

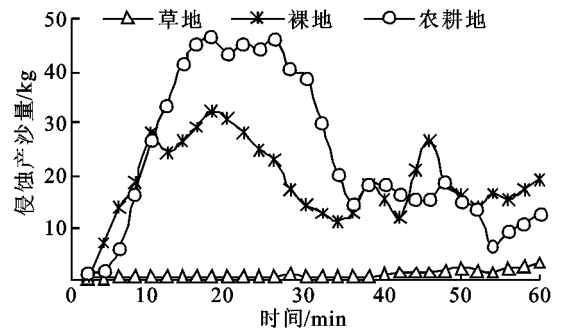


图 7 130 mm/h 雨强时不同立地条件下侵蚀产沙量随时间变化

分析了不同立地条件的 20°坡面在 90 mm/h 雨强时的侵蚀产沙变化(图 6),可以看出,不同立地条件坡面的侵蚀产沙变化与径流量变化基本一致,具有相当好的关联性。裸地和农耕地的侵蚀产沙量远远大

于草地的侵蚀产沙量,约是其 100 倍左右,可见草地对侵蚀产沙的影响远远大于其对坡面径流的影响;同时可以看到草地坡面侵蚀产沙量是逐渐缓慢增加的,而裸地和坡耕地的侵蚀产沙量在试验初期就呈现剧烈增加的态势,在试验进行到 8 min 左右时达到波动稳定状态,农耕地也出现略微下降的趋势。

分析了不同立地条件的 20°坡面在 130 mm/h 雨强时的径流量随时间变化(图 7),由图可知,裸地和农耕地的侵蚀量仍远远大于草地的侵蚀量。裸地和农耕地变化规律基本一致,在试验初期急剧增加,在试验进行到 18 min 左右时达到各自的最高点,然后可能是由于试验过程中坡面滑塌或者下渗的原因,坡面侵蚀量维持在一个较低的水平。

总而言之,不同立地条件坡面的径流、泥沙之间是相互关联的,变化趋势也是互为因果的。草地条件下坡面的径流、泥沙变化都比较缓慢且变化量不大,而裸地和农耕地条件下坡面的径流、泥沙在试验初期就出现剧烈的变化,然后达到一个波动稳定状态。同时可以看出,对于裸地和农耕地,都是初期农耕地的径流、泥沙变化较大,达到波动稳定时则裸地较大,这可能是由于降雨初期农耕地表面较疏松造成的径流产沙偏大。而草地坡面在不同雨强条件下的径流、泥沙也有其特点,尽管中雨强和小雨强条件下的径流量差别较大,但其产沙量相差不是很大,而大雨强条件下的侵蚀产沙远远大于中小雨强的。这也从侧面说明了,草被覆盖坡面可以防护中小雨强下的土壤流失。

3 结 论

(1) 在小雨强条件下,裸地和坡耕地的径流量随时间延续逐渐增加,在试验进行到 30 min 左右时达到波动稳定状态,约为 10 kg/min,约为同样雨强下草地坡面径流量的 40 倍左右。中雨强时,裸地和农耕地的径流量约是草地径流量的 7 倍;大雨强时,裸地和农耕地的径流量仍远远大于草地的径流量。草地径流量在试验初期呈缓慢增加的态势,在试验进行到 12 min 左右时基本稳定在 10 kg;裸地和农耕地径流量在试验初期急剧增加,在试验进行到 20 min 左右时达到各自的最高点,然后维持在一个较低的水平。

(2) 小雨强时不同立地条件坡面的侵蚀产沙变化与径流量变化基本一致,具有相当好的关联性。裸地和农耕地的侵蚀产沙量远远大于草地的侵蚀产沙量,约是其 20 倍左右,在试验进行到 30 min 左右

时达到波动稳定状态,为 10 kg 左右。

(3) 中雨强时,裸地和农耕地的侵蚀产沙量远远大于草地的侵蚀产沙量,约是其 100 倍左右,可见草地对侵蚀产沙的影响远远大于其对坡面径流的影响;同时可以看到草地坡面侵蚀产沙量是逐渐缓慢增加的,而裸地和坡耕地的侵蚀产沙量在试验初期就呈现剧烈增加的态势。大雨强时,裸地和农耕地的侵蚀量仍远远大于草地的侵蚀量。裸地和农耕地变化规律基本一致,在试验初期急剧增加,在试验进行到 18 min 左右时达到各自的最高点,然后坡面侵蚀量维持在一个较低的水平。

(4) 草地坡面尽管在中、小雨强条件下的径流量差别较大,但其产沙量相差不是很大,而大雨强条件下的侵蚀产沙远远大于中小雨强,说明草被覆盖坡面可以防护中小雨强下的土壤流失。

参考文献:

- [1] 傅伯杰,邱扬,王军,等.黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J].地理学报,2002,57(6):718-721.
- [2] 柳长顺,齐实,史明昌.土地利用变化与土壤侵蚀关系的研究进展[J].水土保持学报,2001,15(5):11-13.
- [3] 张晓明,余新晓,武思宏,等.黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/土地覆被变化对径流产沙的影响[J].北京林业大学学报,2007,29(6):115-122.
- [4] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆盖变化国际研究动向[J].地理学报,1995,51(6):553-558.
- [5] 唐克丽,蔡庆.黄土高原土壤侵蚀过程和生态环境演变的关系[C]//黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集(第1集).北京:地质出版社,1991:62-73.
- [6] 张胜利,李倬,赵文林,等.黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势[M].郑州:黄河水利出版社,1998:10-120.
- [7] 张仁,丁联臻.黄河水沙变化的成因分析方法[C]//黄河水沙变化研究论文集(2卷).1993:188-237.
- [8] 刘昌明.黄河下游断流的径流序列分析[J].地理学报,2000,55(3):257-265.
- [9] 贾绍凤,梁季阳.黄土高原径流、产沙相互关系的研究[J].水土保持学报,1992,6(3):42-47.
- [10] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰.黄土丘陵小流域生态用水试验研究[J].水科学进展,2006,117(11):14-19.
- [11] 张洪江,李猛,江玉林.高速公路边坡侵蚀沟特性初步研究[J].北京林业大学学报,2007,29(6):143-146.
- [12] 李卫红,袁磊.中国干旱区中小流域水土保持生物措施分析[J].宁夏大学学报,1999,20(2):129-132.
- [13] 徐向舟,刘大庆,张红武.室内人工模拟降雨试验研究[J].北京林业大学学报,2006,28(5):52-58.