

神府东胜矿区不同下垫面产流产沙试验研究^{*}

李 强,李占斌,鲁克新,王 民,穆 军

(西安理工大学 水资源研究所,西安 710048)

摘 要:针对神府东胜矿区煤田开采过程中所引发的严重新增水土流失问题,采用野外模拟降雨实验的研究方法,对神府东胜矿区不同下垫面降雨入渗、侵蚀产沙规律进行了初步研究。结果表明:在相同雨强条件下,不同类型下垫面对入渗速率的影响差异性较大,稳渗率大小顺序为扰动地面>原状地面>非硬化路面;在降雨过程中不同类型下垫面的径流量随时间增加而增大,其大小顺序为非硬化路面>扰动地面>原状地面;不同类型下垫面的侵蚀产沙高峰期均出现在降雨初期的 0~20 min 内,此后侵蚀产沙均下降并趋于稳定,并且不同类型下垫面间的侵蚀产沙量差别不大;非硬化路面的径流含沙量一直稳定在较低水平,而其它类型下垫面的径流含沙量降雨初期很大而后急剧下降,并逐渐接近于非硬化路面的径流含沙量。

关键词:神府东胜矿区;下垫面;径流量;入渗率;含沙量

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0001-03

Effect of Different Underlying Surfaces on Runoff Generation and Sediment Yield in Shenfu-Dongsheng Coal Mining Area

LI Qiang, LI Zhan-bin, LU Ke-xin, WANG Min, MU Jun

(Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: According to the serious newly-increased soil and water loss caused by the mining exploitation in the Shenfu-Dongsheng coal mining area, the effects of different underlying surfaces including undisturbed soil, disturbed soil and earth road on runoff generation and sediment yield in Shenfu-Dongsheng coal mining area together with their reasons or mechanisms, were analyzed preliminarily in the paper. The results indicated that, under the same rainfall intensity, the initial infiltration rates of all the underlying surfaces were similar, and the steady infiltration rate of disturbed soil slope was the biggest one among the different underlying surface slopes, and that of earth road slope was smaller than that of undisturbed soil slope. In addition, all the infiltration rates of the different slopes increased firstly and then reduced with the increasing of rainfall duration. The peak of sediment yields for three different underlying surfaces appeared in the initial 0~20 min of simulated rainfall, after then all the sediment yields reduced and then kept relatively steady. During the simulated rainfall experiments, the sediment concentration of earth road kept small and steady, while those of other underlying surfaces were high at the beginning stage of rainfall, then reduced remarkably, and were finally close to that of earth road slope.

Key words: Shenfu-Dongsheng coal mining area; underlying surface; runoff generation; infiltration rate; sediment concentration

神府-东胜煤田是世界七大煤田之一,是我国重要的能源供应地,地处黄土高原向鄂尔多斯高原过渡的风蚀水蚀交错带,脆弱的下垫面条件和风蚀水蚀在空间上的相互迭加、在时间上的相互交替,导致该区成为黄土高原土壤侵蚀最严重的地区^[1]。随着煤炭资源的大规模开发和基础设施等的发展,在原有侵蚀的基础上,又迭加了新的人为加速侵蚀,形成点状、线状、面状等局部水土流失剧增的现象^[2-3]。开发建设过程中的水土流失预测是水土保持方案的重要内容之一,是水土保持方案编制的基础,但其水土流失规律研究目前较为薄弱。因此,加强建设开发项目水土流失规律的研究已迫在眉睫。通过野外模拟降雨试验,对陕北神府矿区不同类型

下垫面的侵蚀产沙机理进行初步研究,以期阐明神府东胜矿区不同类型下垫面人为新增水土流失的基本规律,为新增水土流失预测和生态修复治理提供科学依据^[4]。

1 研究材料与方法

1.1 试验区概况

神府东胜矿区地处陕北黄土高原北缘与鄂尔多斯高原西南过渡的黄河中游地区,地理位置为 37°20' - 40°16' N, 108°36' - 110°36' E,地质构造属于鄂尔多斯地台向斜的一部分,是强烈抬升中心之一。地面组成物质复杂,主要为砂页岩互层,结构疏松,极易风化,抗冲性极差。黄土是主要地面

^{*} 收稿日期:2007-07-15

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目(2007CB407206);教育部博士学科点专项科研基金项目(20060700004)

作者简介:李强(1982-),男,陕西延安人,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀与水土保持等研究。E-mail:liqiang8276@126.com

物质,分布面积约占 63.6%以上,是侵蚀的主要物质之一。风成沙的大面积分布是本区区别于典型黄土丘陵区的主要特征之一。全区多年平均年降水量 350~400 mm,分配不均,且多暴雨,7~9 月的降雨量占全年的 65%~70%;年蒸发量 1 636~2 535 mm,多年平均风沙日 70 多天。神府东胜矿区地处水蚀风蚀交错区,侵蚀类型极其复杂,水蚀、风蚀、冻融侵蚀皆有发生,以泥石流、滑坡为代表的重力侵蚀在本区也异常活跃,全区平均侵蚀模数达 1.5 万 t/(km²·a),冬春以风蚀为主,夏秋以水蚀为主。

1.2 试验布设与方法

研究区位于神府东胜矿区大柳塔后山的后柳塔村荒地

表 1 试验土壤颗粒组成

粒径/ mm	2~1	1~0.5	0.5~ 0.25	0.25~ 0.1	0.1~ 0.05	0.05~ 0.025	0.025~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.002	0.002~ 0.001	%
原状地面	2.12	5.53	23.21	26.56	18.88	7.7	7.28	5.8	1.54	0.62	0.76
扰动地面	1.85	3.09	21.47	22.73	16.54	12.18	10.35	8.65	2.02	0.19	0.93
非硬化路面	1.98	4.28	23.64	25.58	17.46	9.26	8.3	6.25	2.39	0.28	0.58

试验采用西安理工大学水资源研究所研制的下喷式 X 型模拟降雨装置。设计雨强为 1.5 mm/min,雨量为 75 mm。试验前,利用环刀取样称重法测定土壤容重,采用烘干法测定土壤含水量。降雨过程中记录产流时间并在小区出口处收集径流泥沙样,采用染色剂示踪法测定坡面水流流速,产流前 5 min 内每隔 1 min 取 1 次径流泥沙样,5 min 后每隔 3 min 取 1 次径流泥沙样,用烘干称重法测定产沙量和产流量,并计算出含沙率、累积产沙量。土壤入渗速率 K 用公式 (1) 计算。试验设 3 个重复,结果取平均值^[5]。

$$K = r \cos \theta - \frac{k \cdot F}{A \cdot t} \tag{1}$$

式中: k ——将产流量换算成水的体积的转换系数,取 $k=0.1 \text{ cm}^3/\text{g}$; r ——降雨强度 (mm/min); θ ——坡度 (°); t ——时间间隔 (min); F ——时间间隔 t 内的产流量 (g); A ——土槽截面积 (cm²)。

2 结果与分析

2.1 不同下垫面土壤入渗速率变化

在不同类型下垫面,土壤水分入渗速率有比较大的差异^[6]。通过分析模拟降雨过程中 3 种类型下垫面的土壤入渗速率随时间的变化关系 (图 1) 可以看出:在相同雨强条件下,3 种类型下垫面对土壤入渗速率均有显著影响,但是,不同类型下垫面对入渗速率的影响具有差异性。非硬化路面达到稳渗的时间短,而原状地面、扰动地面土壤入渗率到达稳渗阶段的时间长,而且达到稳渗时的入渗率即稳渗率也很大,这说明原状地面、扰动地面的入渗能力较非硬化路面大。图 1 中曲线的共同特点是:初渗率大,在很短时间内急剧减少,之后,入渗率逐渐减小,当降雨到某时段后,入渗率基本趋于—稳定值。由于降雨前 3 种下垫面的初始土壤含水率控制在同一水平且很低,故降雨初期 3 种下垫面的土壤吸力均很大,此时的入渗率主要取决于土壤吸力,这使得降雨初期土壤的入渗速率在不同下垫面间差别不明显,但是随着降雨历时的延长,土壤开始逐渐变得湿润,土壤吸力下降,土壤中的

上,土壤类型为风沙土。根据开发建设项目对地面扰动情况的差异,选取原状坡面、扰动坡面、非硬化路面 3 种类型下垫面进行模拟降雨试验,各下垫面的物质颗粒组成见表 1。原状地面是指没有耕种农作物的、废弃的、没有人工扰动的撂荒地。扰动地面则是指利用铁锹在原状地面上翻动 20 cm 深的土层模拟形成。非硬化路面是在原状地面上用农用的杵子击打 3~5 遍,使容重达到 1.8 g/cm³ 以上,即认为达到了土路路面的强度与硬度。试验小区长 2 m,宽 1.0 m,坡度为 10°,四周用插入地下 0.15 m、地上出露 0.20 m 的 2 mm 厚的钢板围住,控制试验小区边界条件使其尽量一致。在小区的下方设集流槽和集流桶,收集小区产生的径流和泥沙。

孔隙逐渐被水分填满,入渗率也随之减小;达到稳定入渗阶段后,稳渗率大小排序为扰动地面>原状地面>非硬化路面。

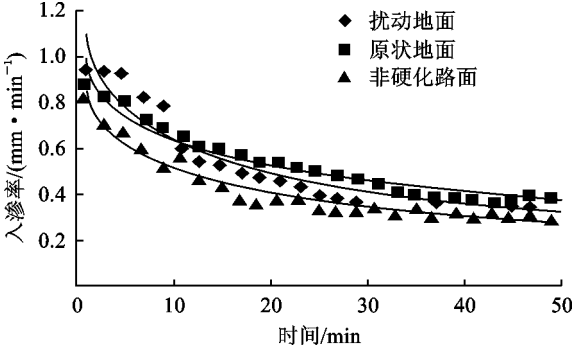


图 1 不同类型下垫面入渗速率随时间的变化

2.2 不同下垫面径流变化

图 2 是根据不同类型下垫面模拟降雨试验的试验资料,分析得到的为降雨过程中不同下垫面径流量随时间的变化。从图中可以看出,在相同降雨量条件下,不同类型下垫面在降雨过程中径流量随时间的增加而增加。其原因在于:在径流量的计算过程中,使用的是水量平衡法,即径流等于降雨减去入渗,故径流量与土壤入渗率密切相关,入渗率大则径流量小,反之亦然。试验中随降雨的持续,土壤湿润程度增加,入渗率逐渐减小,非硬化路面由于机械压实等外力的作用,使得路面的入渗能力大大降低,产流量很大;而在模拟降雨过程中,雨滴打击扰动地面的表土形成结皮,同时溅散的土壤颗粒堵塞土壤孔隙,阻滞降雨的入渗,这两者都使降雨入渗作用减弱而产生径流作用增强,地表径流量增加;同时,结皮的形成以及土壤孔隙的填充减小了地面糙率,使径流的流速迅速增加,所有这些作用的叠加,势必造成径流量的增大;与非硬化路面和扰动地面不同的是原状地面因地表覆盖(苔藓、杂草等)和虫洞、根孔等存在而具有较大的入渗能力,反而产流量小。故降雨过程中 3 种类型下垫面的径流量依次为非硬化路面>扰动地面>原状地面。

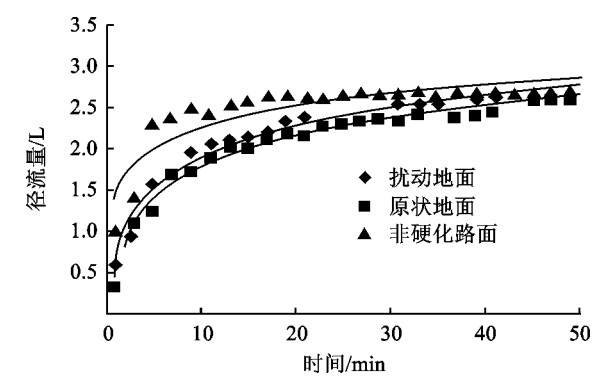


图 2 不同类型下垫面径流量与时间的关系

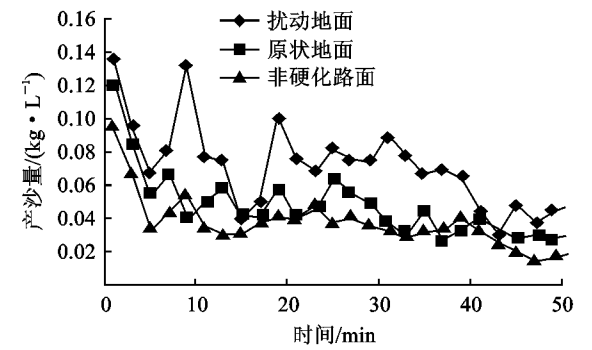


图 3 降雨过程中的侵蚀产沙变化

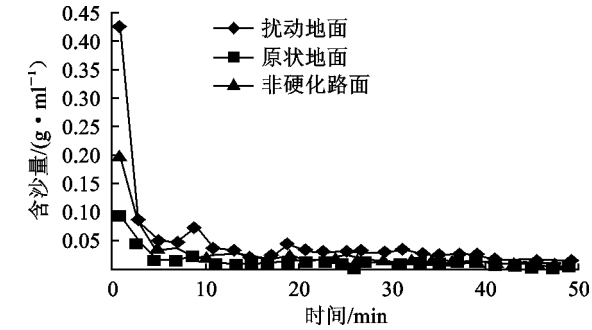


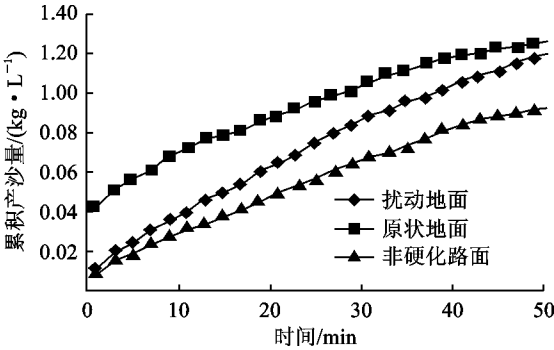
图 4 降雨过程中径流含沙量

从该图可以得知,在相同降雨量下,3 种类型下垫面的原状地面、扰动地面、非硬化路面的土壤在降雨过程中侵蚀含沙量随时间逐渐降低,然后维持在一个较低的水平。根据含沙量变率的大小可以将侵蚀产沙过程分为降雨初期 0~20 min 的含沙量高度变化期、随后 20~40 min 的含沙量微弱变化期和 40~50 min 含沙量稳定期 3 个阶段。原状地面、扰动地面、非硬化路面的土壤侵蚀含沙量在降雨过程由高明显降低,说明这 3 种类型下垫面的土壤在降雨初期土壤侵蚀剧烈,相比之下降雨后期土壤的侵蚀却很小。这与降雨过程中不同下垫面的土壤入渗率和坡面径流的变化有关。由前面的分析可以得知,扰动地面的土壤入渗率最大、径流量最小,这导致在降雨初期,大部分降雨通过入渗进入土壤,地表径流量小,故而产生的土壤侵蚀量小;而原状地面、非硬化路面土壤的入渗和径流量与扰动地面的土壤正好相反,即经入渗进入土壤的降雨少,地表径流量大,从而导致较高的土壤侵蚀。随着降雨的持续,扰动地面的产沙量逐渐大于原状地面和非硬化路面的产沙量,最后不同类型下垫面的径流含沙量趋于平稳。图 3 中侵蚀产沙的变化趋势与图 4 中含沙率的

2.3 不同下垫面侵蚀产沙变化

图 3 为降雨过程中不同类型下垫面的侵蚀产沙量。可以看出,在相同降雨量下,降雨过程中前 20 min 是侵蚀产沙的高峰期。此阶段的侵蚀产沙量占总侵蚀产沙量的百分比依次为扰动地面>原状地面>非硬化路面,高峰期的侵蚀产沙量原状地面为 15.3、21.2 和 11.8 g/(min·m²)。此后,试验小区土壤的侵蚀产沙量均下降到 7.5 g/(min·m²)左右,降雨 30 min 后,扰动地面的土壤侵蚀产沙量下降显著。试验中一次降雨的总侵蚀产沙量在 3 种类型下垫面之间依次为扰动地面>原状地面>非硬化路面。

图 4 为降雨过程中径流含沙量随时间的变化趋势图。



变化趋势大体一致,其主要原因也在于此。

3 结 论

采用野外模拟降雨试验方法分析研究了神府东胜矿区 3 种不同类型下垫面的产流、产沙过程差异及其原因。试验结果表明:(1)在相同雨强条件下,不同类型下垫面对入渗速率的影响差异性较大,稳渗率大小顺序为扰动地面>原状地面>非硬化路面;(2)在相同降雨量条件下,不同类型下垫面在降雨过程中径流量随降雨历时的增加而增大,其大小排序为非硬化路面>扰动地面>原状地面;(3)在相同降雨量条件下,不同类型下垫面的侵蚀产沙高峰期均出现在降雨初期 0~20 min 内,此后侵蚀产沙均随降雨历时的延长而下降并最终趋于稳定,并且不同类型下垫面间侵蚀产沙量差别不大;同时,非硬化路面的径流含沙量一直稳定在较低水平,而其它类型下垫面的降雨初期很大而后急剧下降,并逐渐接近于非硬化路面的径流含沙量。

参考文献:

[1] 王文龙,李占斌,李鹏,等.神府东胜煤田原生地面放水冲刷试验研究[J].农业工程学报,2005,21(增刊):59-62.
[2] 奚成刚,杨成永,许兆义.铁路工程施工期路堑边坡产流产沙规律研究[J].中国环境科学,2002,22(2):174-178.
[3] 奚成刚,杨成永,许兆义.铁路工程建设中重塑坡面单元产流产沙规律研究[J].土壤,2003(1):48-52.
[4] 李文银,王治国,蔡继清.工矿区水土保持[M].北京:科学出版社,1996:117-134.
[5] 朱元骏,邵明安.不同碎石含量的土壤降雨入渗和产沙过程初步研究[J].农业工程学报,2006,22(2):64-67.
[6] 蒋定生.黄土高原土壤入渗能力野外测试[J].水土保持通报,1984,4(4):7-9.