

黄土高原坡耕地泥沙输移特征分析

高军侠¹, 党宏斌¹, 程积民²

(1. 郑州航空工业管理学院 环境工程实验室, 河南 郑州 450015;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在野外利用人工模拟降雨试验, 分析了 20, 40, 60 m 坡长下的输沙率、含沙量及累积产沙量—径流量的变化特征。结果显示, 当雨强小于 2.0 mm/min 时, 最大输沙率出现在 40 m 坡长; 而当雨强大于 2.0 mm/min 时, 最大输沙率出现在 60 m 坡长。在试验雨强范围内, 最大含沙量总是出现在 20 m 坡长。累积产沙量—径流量随时间变化趋于平稳。试验结果表明, 为遏制黄土高原坡耕地水土流失, 实践中应采取垄作等措施增加坡面糙度和改变坡面形态, 防止在 20 m 坡长形成高含沙水流和后续坡长的输沙率。

关键词: 坡耕地; 泥沙输移; 输沙率; 含沙量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)02-0039-04

中图分类号: S157.1, P333.4

Characteristic Analysis of Sediment Transport on Slope Land in the Loess Plateau

GAO Jun-xia¹, DANG Hong-bin¹, CHENG Ji-min²

(1. Environmental Engineering Laboratory, Zhengzhou Institute of Aeronautical

Industry Management, Zhengzhou, He'nan 450015, China; 2. Institute of Soil and Water

Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The characteristics of sediment transport rate, sediment concentration and accumulative sediment-runoff in slope lengths of 20, 40, 60 m were analyzed based on field simulated rainfall experiments. Results showed that maximum sediment transport rate occurred in 40 m slope length at rainfall intensity less than 2 mm/min, while it occurred in 60 m slope length at rainfall intensity greater than 2 mm/min. Maximum sediment concentration was always observed in 20 m slope length in all the experiments. Accumulative sediment-runoff was prone to be steady with time. The study implies that the measures such as farming along contour, which increases the roughness value of slope and changes slope form, should be taken to reduce high sediment concentration and sediment transport rate, and thus control soil and water loss on loess slope.

Keywords: slope land; sediment transport; sediment transport rate; sediment concentration

我国黄土高原是世界上水土流失较为严重的地区之一, 其中属于陕西省境内的区域水土流失最为严重, 在黄河中游 138 个水土流失县中该境内占了 48 个; 全省年输入黄河、长江的泥沙量 9.20×10^8 t, 占全国水土流失总量的 1/5, 输入黄河的泥沙量达到了 8.00×10^8 t, 占三门峡以上地区输沙量的一半^[1]。中国科学院水土保持研究所朱显谟院士指出: 土壤侵蚀是黄土高原地区农业生产不能持续发展和水患频繁发生的根源^[2]。这样剧烈的水土流失是造成农耕地贫瘠减产的一个不可忽视的因素。而另据报道^[3-4], 黄土高原坡耕地占总耕地面积的 71.3%, 同时黄土高原坡耕地土壤侵蚀量也占到流域总侵蚀量的 50%~60%。可见, 当前坡耕地的土壤侵蚀及生产力下降在一定程度上阻碍了农业经济的持续发展。

为遏制坡耕地水土流失, 充分利用有限的水土资源并尽快改善生态环境, 加强区域发展, 本文通过野外人工模拟降雨试验, 试图揭示黄土高原南部坡耕地泥沙输移的一些特征。

1 材料与方 法

试验在陕西省淳化县小区径流场进行。该径流场对当地坡耕地具有较好的代表性。试验采用野外人工模拟降雨, 使用侧喷式降雨机, 高度为 9 m。坡度为 6°, 坡面形态是平整裸露直线坡, 面积为 60 m × 2.5 m。土壤容重 1.3 g/m³, 初始含水量 13%。

该试验设计雨强 4 个水平: 0.9, 1.8, 2.5, 3.2 mm/min; 坡长 3 个水平: 20, 40, 60 m。按照完全随机试验布设。

收稿日期: 2006-11-10

资助项目: 国家“九五”重点科技攻关计划项目(96-004-05-07); 陕西省“十五”科技攻关项目(2001K01-G1Z-03)

作者简介: 高军侠(1975-), 女(汉族), 陕西省渭南人, 讲师, 博士, 从事水土流失规律及水环境保护研究。E-mail: gaojunxia@zzia.du.cn。

出口处布设 90°三角堰,用塑料桶接取泥沙样,测定流量;过滤后烘干称重,计算输沙率和含沙量。将 6 个雨量计均匀布设在小区内,计算雨量、雨强。整个径流过程每 2 min 取样一次。

2 结果与讨论

2.1 不同坡长的输沙率曲线

在小雨强条件下,最大输沙率出现在 40 m 坡长,出现时间较晚 (> 15 min); 20 m 和 60 m 坡长的输沙率较小,亦较接近;在不同坡长出现其最大输沙率的时间不具规律性,分别有 1~2 个峰值出现(图 1a, 1b)。当雨强较大时,最大输沙率出现在 60 m 坡长处,出现时间较早 (< 10 min); 在不同坡长出现其最大输沙率的时间大致相当,此后输沙率随时间缓慢减小(图 1c, 1d)。在整个产流过程中,输沙率均有间或跳跃现象发生。

在 20 m 坡长范围内,径流主要以坡面漫流为主,后期才有雏形细沟发育^[5-6],因此虽形成侵蚀但最大输沙率均没有出现在 20 m 坡长处。随坡长继续延长,径流输送上坡侵蚀的泥沙所消耗的能量增大,继续往出口携带泥沙时需要花费更长的时间,并由此导致在小雨强下,最大输沙率出现在 40 m 坡长;而当雨强超过 2.0 mm/min 时,输沙率增加幅度急剧变大,其最大输沙率从小于 100 g/s 到超过 300 g/s,说明在

超渗产流情况下,这种大雨强的暴雨引起的径流动能较大,不仅能产生剧烈的侵蚀,而且还能够携带上坡冲刷的泥沙快速流向出口。同时最大输沙率延长到 60 m 坡长处。

孔亚平等在室内模拟降雨试验中认为坡面侵蚀能力急剧发生变化的雨强值亦为 2.0 mm/min^[7],与本试验结果一致,这在一定程度上可以认为:当雨强超过 2.0 mm/min 时,降雨将会引起特别高的侵蚀强度和侵蚀速度。

2.2 不同坡长的含沙量曲线

整个雨强范围内,含沙量随坡长变化不大,均是 20 m 最大,40 m 和 60 m 发生交替变化(图 2)。在小雨强下,40 m 坡长的含沙量稍高于 60 m 坡长(图 2a);当雨强增大时,60 m 坡长的含沙量稍高于 40 m 坡长(图 2b, 2c, 2d)。含沙量随时间呈减小趋势,随雨强的增大也在缓慢增大;峰值多出现在初始阶段。

在 20 m 坡长处,径流以侵蚀为主,从产流开始一般具有相对高的含沙量;40 m 和 60 m 坡长的径流,其自身能量在继续支持上坡泥沙前进的过程中,还在对小颗粒的土壤进行侵蚀,而此时刚游离在水流中的土壤与上坡携带泥沙之间不可避免地存在着碰撞交替以及发生粒级交换,这种泥沙的内在变更也需要一部分耗能,将降低径流携带泥沙的能力,实际表现出来的则是含沙量的减小。

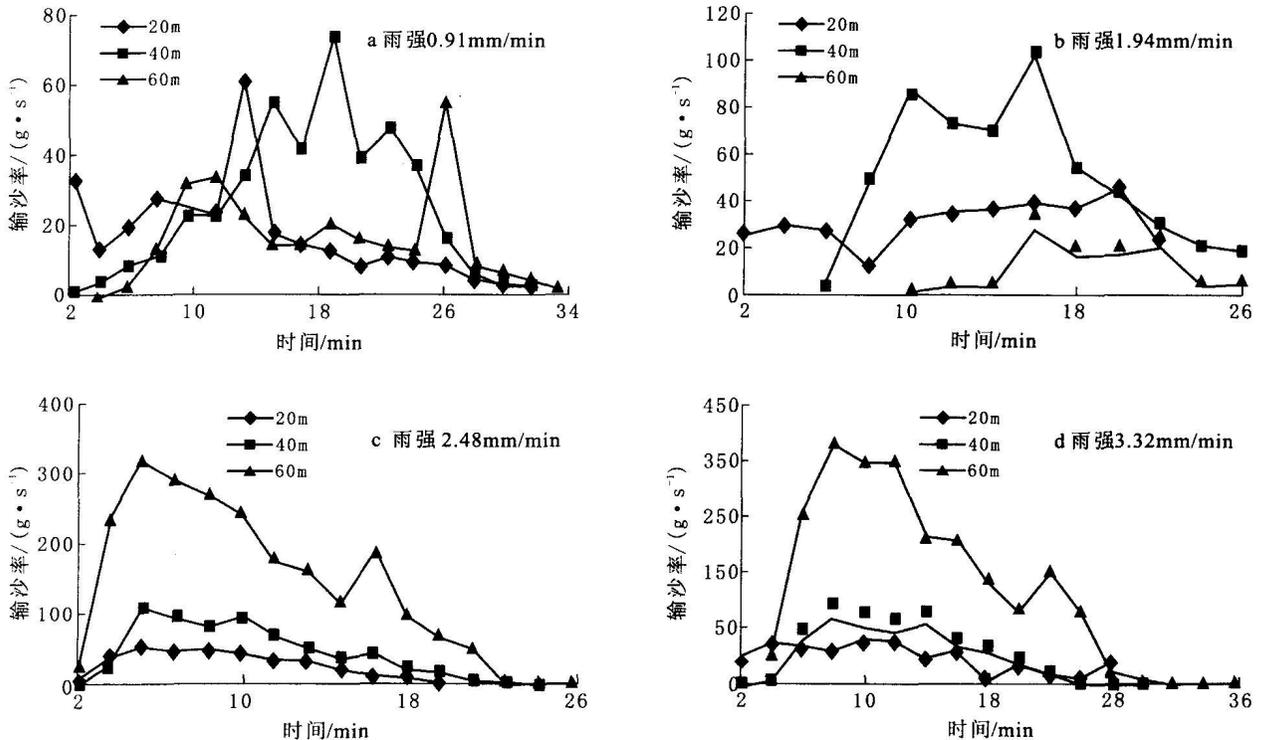


图 1 不同雨强的输沙率曲线

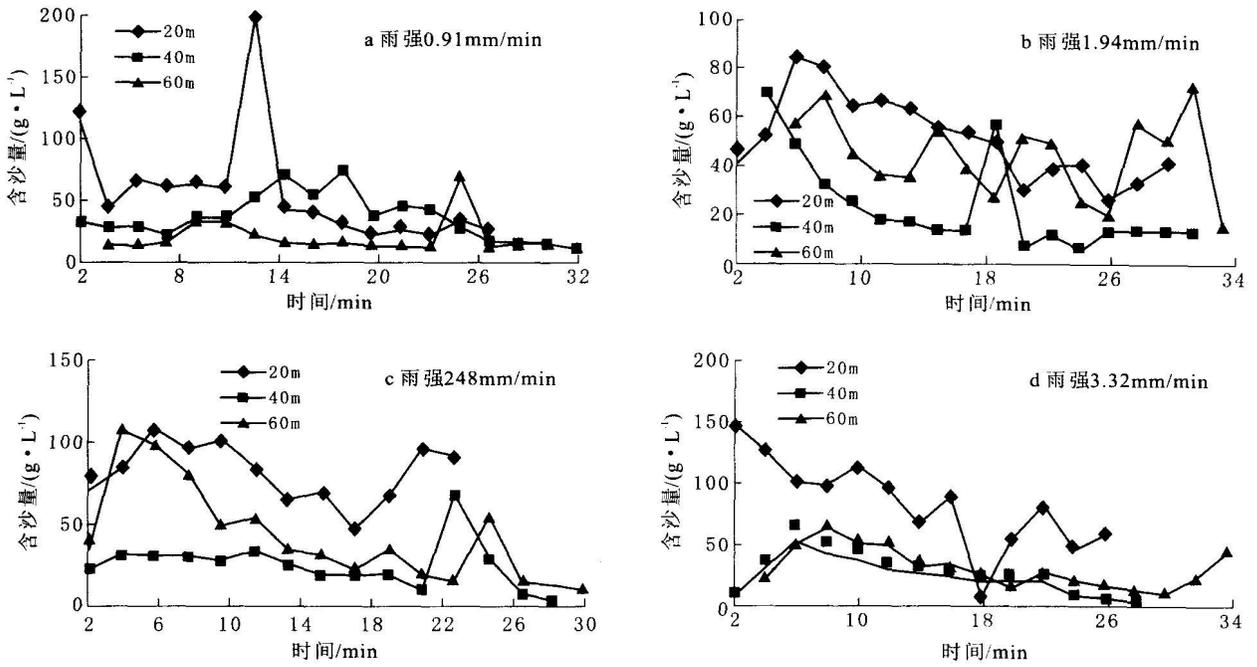


图2 不同雨强的含沙量曲线

本次试验发现最高含沙量一致发生在 20 m 坡长,与蔡强国在张家口市水土保持试验站研究得到的结果不同^[6],形成高含沙水流的坡面是 25, 40 m 坡长,在这 2 个坡长小区,降雨开始不久就进入细沟侵蚀阶段,发育一条基本纵贯小区的细沟,坡面水流汇入细沟,形成强烈的细沟侵蚀。但它同时认为细沟的发育有其随机性,与坡耕地的松散土层密切相关。

因此,在这 2 个不同地区最高含沙量出现在不同位置都有其合理的存在性,它与当地土壤质地有着密切关联。

2.3 累积产沙量—径流量曲线

累积产沙量—径流量曲线反映了水流随时间对泥沙进行侵蚀、输移的主要作用表现。随雨强变大,累积产沙量、累积径流量均有所增加(图 3)。

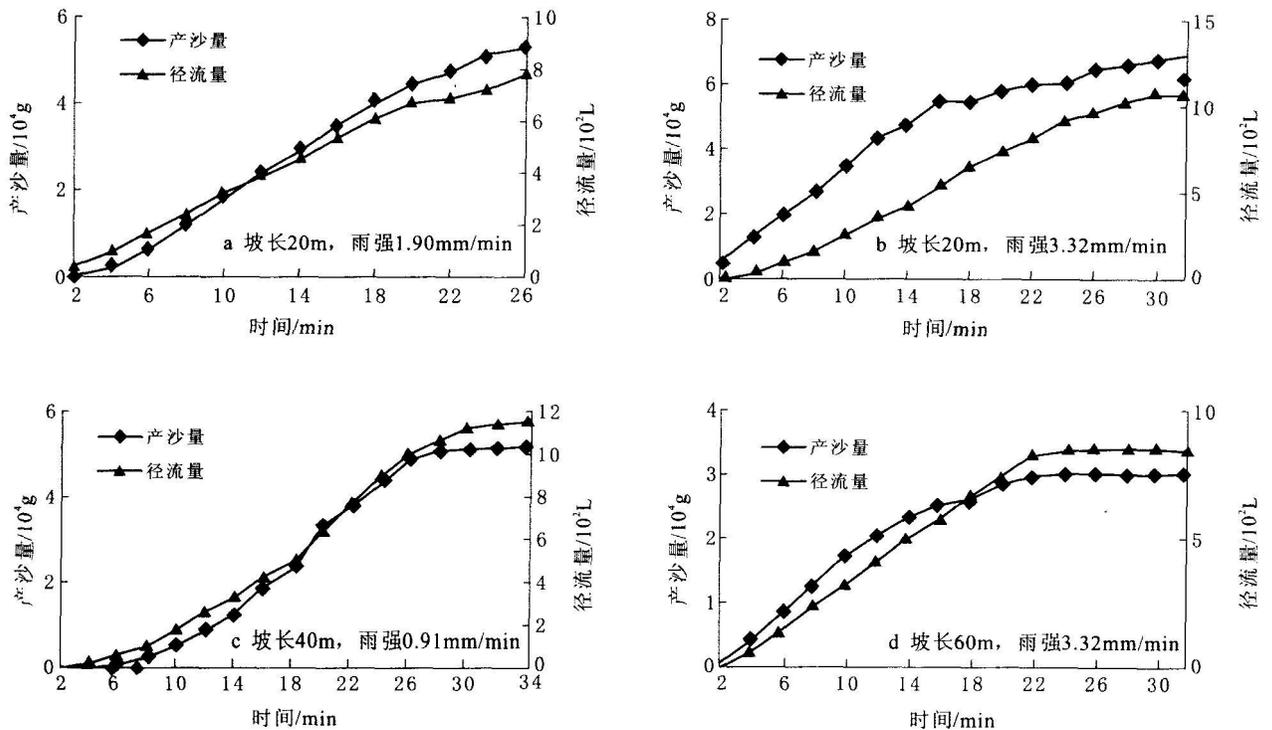


图3 不同坡长、不同雨强的的累积产沙量—流量曲线

20 m 坡长累积产沙量—径流量曲线根据雨强大小反映出如下特征: 小雨强(图 3a)的累积产沙量、累积径流量随时间一直处于攀升状态, 未能趋于稳定, 这主要是由于在一定时间内小雨强发生产流较晚, 产流以后的降雨历时相对缩短, 降雨主要以侵蚀为主; 而在大雨强情况下的累积产沙量—径流量在产流后期有趋向平稳的趋势(图 3b)。对于 40, 60 m 坡长, 不管雨强大小, 累积产沙量—径流量在产流后期逐渐趋于平稳(图 3c, 3d): 累积产沙量、累积径流量开始增加很快, 在产流一段时间(大约 15~20 min)后, 曲线斜率将接近一常数, 曲线达到平稳。这不仅说明产流后期侵蚀速度较前边增加缓慢, 表现出达到或接近一个稳定值; 而且说明随着坡长延长, 单位面积侵蚀量在不断减少, 径流主要起了输移泥沙的作用^[7]。

在遏制坡耕地水土流失中, 天然降雨并不为人类所控制, 因此, 在分析不同坡长输沙率、含沙量和累积产沙量—径流量的基础上, 只能对坡面实施有效措施, 在实践中可适当采取垄作等形式, 增加坡面粗糙程度, 达到就地拦蓄雨水, 防止在 20 m 坡长范围内形成高含沙水流; 其次是如果在 20 m 坡长产生高含沙水流, 通过改变坡面糙度和坡面形态, 延缓水流在后续坡长的输移能力, 降低输沙率, 使它在未流到出口前发生沉积, 减少侵蚀, 从而增加坡耕地雨水利用效率, 恢复土地生产力, 减少泥沙坡面来源。

3 结论

(1) 在小雨强下, 最大输沙率出现在 40 m 坡长处; 当雨强超过 2.0 mm/min 时, 输沙率增加幅度急剧变大, 同时最大输沙率延长到 60 m 坡长。这说明

当雨强超过 2.0 mm/min 时, 降雨将会引起特别高的侵蚀强度和侵蚀速度。

(2) 试验条件下, 最高含沙量一致发生在 20 m 坡长处; 峰值多出现在初始阶段。

(3) 20 m 坡长累积产沙量—径流量随时间一直处于攀升状态; 40, 60 m 坡长在产流后期逐渐趋于平稳, 产流后期的侵蚀速度较前边增加缓慢, 随坡长延长, 单位面积侵蚀量不断减少, 径流主要起了输移泥沙的作用。

(4) 在遏制黄土高原坡耕地水土流失中, 应采取垄作等措施增加坡面糙度和改变坡面形态, 防止在 20 m 坡长形成高含沙水流和后续坡长的输沙率。

[参 考 文 献]

- [1] 吴发启, 鲁向平, 贾志宽, 等. 陕西山川秀美工程实施方案探讨[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 6—11.
- [2] 朱显谟. 黄土高原脱贫致富之道——三论黄土高原的国土整治[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998(3): 1—5.
- [3] 朱显谟. 黄土高原区的自然保护[A]. 中国自然保护文集[C]. 1990. 279—296.
- [4] Tang Keli, Zhen Fenli, Ca Xuan. Soil erosion on sloping farmland in the Loess Plateau of China. Proceeding of the Fourth International Symposium on River Sedimentation [M]. Beijing: China ocean press, 1989.
- [5] 蔡强国. 坡长在坡面侵蚀产沙过程中的作用[J]. 泥沙研究, 1989(4): 84—91.
- [6] 蔡强国. 坡长对坡耕地侵蚀产沙过程的影响[J]. 云南地理环境研究, 1998, 10(1): 34—43.
- [7] 孔亚萍, 张科利. 黄土坡面侵蚀产沙沿程变化的模拟实验研究[J]. 泥沙研究, 2003(1): 33—38.
- (上接第 23 页)
- [12] Uchida T, Kosugi K, Mizuyama T. Runoff characteristics of pipeflow and effects of pipeflow on rainfall-runoff phenomena in a mountainous watershed[J]. Journal of Hydrology, 1999, 222: 18—36.
- [13] Farenhorst A, Topp E, Bowman B T, et al. Earthworm burrowing and feeding activity and the potential for atrazine transport by preferential flow[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 479—488.
- [14] 张洪江, 程云, 史玉虎, 等. 长江三峡花岗岩坡面林地土管特性及其对管流的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 55—60.
- [15] 张洪江, 程云, 史玉虎, 等. 长江三峡花岗岩坡面管流产流特性研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 5—8.
- [16] Zhang Hongjiang, Shi Yuhu, Cheng Yun et al. Movement properties of the pipe flow along granite slope of the Three Gorges Area on Yangtze River in China[J]. Forestry Studies in China, 2002, 4(1): 35—43.
- [17] Marian W. Kemblowski, Ching Min Chang. The shape distribution in the soil infiltration[J]. Ground Water, 1993, (2): 187—192.
- [18] Loret A, Ledesma A. Finite element analysis of detonations unsaturated soils[J]. Civil Engineering European Course, Barcelona, 1993(4): 15—17.
- [19] 薛强, 梁冰, 曹国强. 土壤中非稳定耦合渗流问题的拟解析解[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 21—24.