

扰动土与原状土侵蚀产沙规律研究

秦百顺^{1,2}, 李占斌^{1,3}, 刘海波²

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048; 2. 北京水保生态工程咨询有限公司, 北京 100053; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用野外模拟降雨试验, 对扰动土与原状土的土壤侵蚀规律进行了研究。结果表明, 原状土坡面含沙量呈先下降后波动的过程, 扰动土径流含沙量在坡度 5°, 11° 时均呈上升—下降后波动的过程。在坡度相同, 雨强相近的情况下, 扰动土坡面径流含沙量大于原状土。前期原状土产沙量大于扰动土, 后期扰动土产沙量大于原状土。扰动土产沙量大于原状土的时间点随着坡度的增加而提前。产沙速率达到稳定后, 扰动土产沙速率大于原状土, 差距随着坡度的增大而增大。

关键词: 扰动土; 原状土; 模拟降雨; 产沙

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0078-04

中图分类号: S157

Processes of Erosion and Sediment Yield for Disturbed and Undisturbed Soils

QIN Bai-shun^{1,2}, LI Zhan-bin^{1,3}, LIU Hai-bo²

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environmental Ecology of the MOE at XAUT, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Beijing Soil Conservation and Ecology Engineering Consulting Company Limited, Beijing 100053, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Erosion processes of disturbed and undisturbed soils were studied by simulated rainfall experiment. Results showed that sediment concentration for undisturbed soil decreased first and then fluctuated, while sediment concentration for disturbed soil increased first, then decreased and fluctuated at last. At the same slope gradient and rainfall intensity, sediment concentration for disturbed soil was greater than that for undisturbed soil. In early stage, sediment yield for undisturbed soil was greater than that for disturbed soil, whereas in late stage, sediment yield for disturbed soil was greater. The time when sediment yield for undisturbed soil is greater than that for disturbed soil was advanced with increased slope gradient. After a steady state was reached, eroded sediment rate of disturbed soil was greater than that of undisturbed soil and the gap between disturbed and undisturbed soils became larger with increased slope gradient.

Keywords: disturbed soil; undisturbed soil; simulated rainfall; sediment yield

建设项目区水土资源的破坏和干扰主要是由人为开挖地表和随意堆置弃土、弃石、弃渣造成的, 是一种特殊的水土流失类型^[1], 其中开发建设活动形成的扰动土在建设项目区所占面积比例较大, 是新增产沙的重要来源之一^[2]。相对于原状土而言, 扰动土的土体的空隙比、含水量及压密固实状态都发生了改变^[3], 这种土壤特性的变化更加容易导致建设项目区的水土流失。近年来, 研究人员围绕开发建设扰动土的水土流失问题进行了系列研究, 从扰动土物理

性质变化、力学性质变化及对工程建设的影响等方面^[4-8], 揭示了扰动土土壤性质变化以及生态修复的机理。夏素平等^[9]从力学角度分析了典型施工对土体的扰动, 并给出了扰动土体的评价标准。于广云等^[10]分析了工程建设对土体含水量、土体空隙比等物理性质的影响。李宗禹等^[11]分析了植被恢复对扰动土壤水保与改土效益。这些研究有力推动了开发建设扰动土水土流失防治工作的进展。

从水土流失治理的角度来说, 掌握建设项目区扰

收稿日期: 2012-12-07

修回日期: 2012-12-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于小流域淤积信息的侵蚀产沙与侵蚀环境变化响应研究”(40971161); 国家科技支撑项目“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”(2006BAD09B02)

作者简介: 秦百顺(1964—), 男(汉族), 甘肃省天水市人, 高级工程师, 博士研究生, 从事水土保持与荒漠化防治等方面的研究。E-mail: liuhaibomail@163.com。

通信地址: 李占斌(1962—), 男(汉族), 河南省镇平县人, 教授, 博导, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: zhanbinli@126.com。

动土在降雨入渗、产流、汇流及侵蚀过程中的特点,是防治新增水土流失的关键,但是已有研究中对扰动土的侵蚀产沙规律研究较少。因此,本文通过模拟降雨试验对比分析扰动土与原状土径流产沙过程,揭示开发建设扰动地面的水土流失特征,以期为建设开发项目水土流失防治措施提供科学依据。

1 材料与方法

模拟降雨试验布设在神府东胜矿区。该煤矿位于陕西省和内蒙古自治区交界地带,中国最大煤盆地鄂尔多斯盆地腹地,陕西省神木县北部、府谷县西部和内蒙古自治区伊克昭盟的南部,地理位置为北纬 $37^{\circ}20'—40^{\circ}16'$,东经 $108^{\circ}36'—110^{\circ}36'$ 。据神木气象站观测资料,多年平均气温 8.5°C ,多年平均降水量 434 mm ,多年平均蒸发量 $1\ 712\text{ mm}$,最大冻土深度 1.46 m ,最大风速 19 m/s ,平均风速 2.5 m/s 。

模拟降雨装置采用西安理工大学设计的下喷式降雨器,试验装置分别由供水、稳压及降雨3部分组成。下喷式模拟降雨器形成雨滴与天然降雨接近,降雨均匀系数高,稳定性良好。降雨强度可以通过降雨器孔口直径及水压的大小来调节,模拟降雨强度范围为 $0.5\sim 3.5\text{ mm/min}$ 。

野外模拟降雨试验小区的投影面积为 2.0 m (长) $\times 1.0\text{ m}$ (宽)。本次模拟降雨试验选择2种土地类型,3种坡度,3种雨强(表1)。每次试验持续 $30\sim 45\text{ min}$ 。试验原状土采用没有人工扰动的撂荒地;扰动土是在原生地面基础上,去掉地面稀疏杂草,翻耕后简单压实,主要用于模拟剥离表土堆积对坡面产流产沙的影响。试验前在小区上方用塑料布覆盖,在

塑料布上方按一定密度摆放多个水桶,模拟降雨 3 min 后,用量筒测量桶内水量,计算降雨强度。试验从降雨器降雨时开始观测,记录小区产流时刻,此后每 2 min 收集1次径流泥沙,采用置换法计算每个时段产沙量和含沙量。

表1 神府东胜矿区野外模拟降雨试验设计

土质类型	坡度/ $(^{\circ})$	雨强/ $(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$
原状土	5°	1.68
	11°	1.30
	17°	1.62
扰动土	5°	1.53
	11°	1.12
	17°	1.54

2 结果与分析

2.1 原状土与扰动土径流过程分析

坡面汇流时间是指坡面上最上端一点的净雨量汇流到坡面出口断面所需的时间。坡面汇流时间与坡度、坡面粗糙程度、净雨强度相关。坡度越陡,粗糙程度越小,坡面汇流时间就越短;反之,坡面汇流时间就越长。从图1中可以看出,不同坡度下扰动土与原状土的径流过程涨水时间大约在 $8\sim 10\text{ min}$ 。径流量过程线的涨水是由净雨增大和坡面汇流共同作用的结果,涨水时间不能简单认为就是坡面汇流时间。在后期径流量稳定部分,净雨达到相对稳定状态,降雨停止后的退流时间可以认为是坡面最上端位置净雨汇流到出口的时间,即汇流时间。根据扰动土与原状土试验记录,退水时间最大值为 104 s ,最小值为 38 s ,平均值为 64 s ,因此降水试验的的汇流时间约为 64 s 。

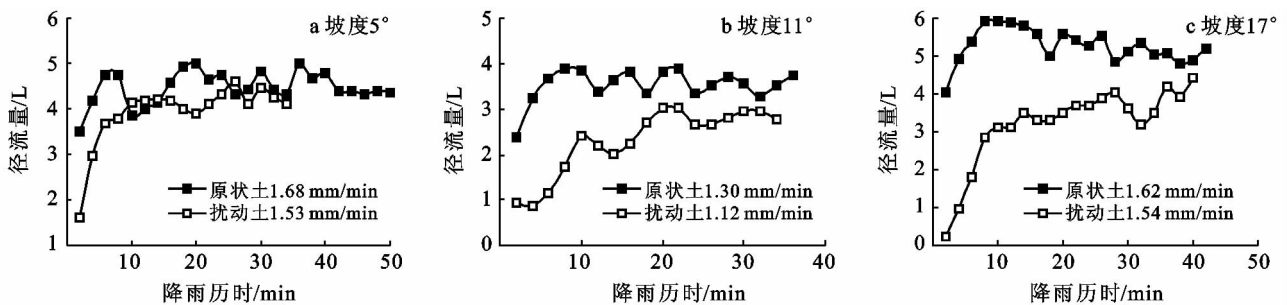


图1 不同坡度下扰动土与原状土的径流过程

从图1中可以发现,原状土的起始流量均高于扰动土,说明在前 2 min 内原状土产生的净雨大于扰动土。扰动土是原状土经过剥离后的简单堆积,土质相对疏松,因此初始阶段扰动土的下渗率较大,产生的净雨少,随着雨水下渗,土壤含水量增加,下渗率逐渐减小,最后达到稳定值。而原状土土质经过多年的自

然恢复,不受人工干扰,土壤质地相对密实,因此初始下渗率较低,产生的净雨较大,径流量的初始值较高。初始径流量值与稳定的径流量值相差不多,说明原状土初始下渗率与稳定下渗率相对较接近。

2.2 扰动土与原状土的含沙量过程对比分析

从图2中可以看出,不同坡度下扰动土与原状土

的含沙量变化过程相似。原状土含沙量呈先下降后波动的过程,扰动土在坡度为 5°, 11° 时含沙量呈上升一下降后波动的过程。扰动土被剥离后随意堆积,土壤结构受到破坏,土质疏松,土壤颗粒之间的粘聚力较差,易于被侵蚀流失。

与原状土相比,扰动土表层疏松土壤较多,因此相似降雨条件下,扰动土坡面径流含沙量高于原状土的坡面径流含沙量。

从图 2 中可以看出,扰动土在 5°, 11° 坡度时,会在产流开始约 6~8 min 时含沙量出现峰值。

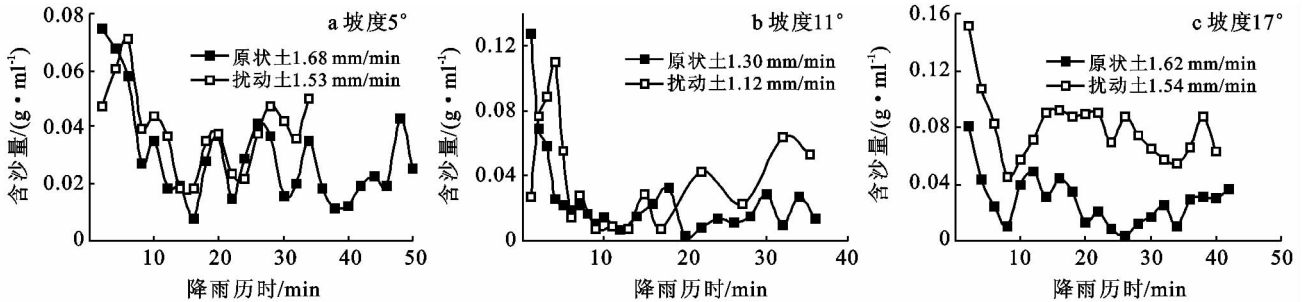


图 2 扰动土与原状土不同坡度下的含沙量过程

在坡度 5°, 11° 时,雨强相近的情况下,扰动土含沙量略大于原状土,但是在 17° 坡时,雨强在 1.6 mm/min 附近情况下,扰动土含沙量明显高于原状土。

2.3 扰动土与原状土的累积产沙过程对比分析

图 3 为同坡度下扰动土与原状土累积产沙量之差,即扰动土新增产沙量=扰动土累积产沙量-原状土累积产沙量。在不同坡度的降雨试验中,原状土的试验雨强均大于扰动土。根据径流过程分析,原状土的平均径流量同样均大于扰动土,但是从图 3 可以看出,在降雨前期,原状土的累积产沙量大于扰动土,随着降雨的持续进行,扰动土的产沙速率增加,最终在某一时刻,扰动土的产沙量大于原状土,并且差距越来越大。

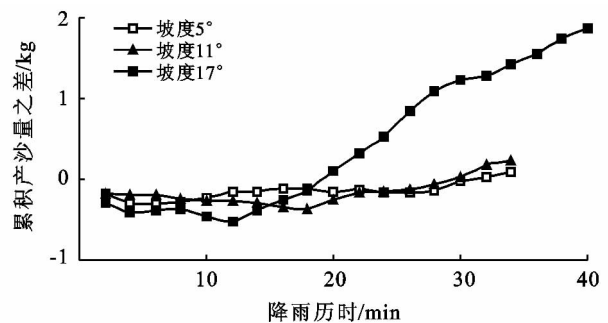


图 3 同坡度下扰动土与原状土累积产沙量之差

5° 坡时,前期原状土与扰动土的累积产沙量曲线接近,差距小,在 114~303 g 内变动,从 28 min 开始,两者差距减小,在 30~32 min 产沙量相等,32 min 后扰动土产沙量大于原状土。11° 坡时开始阶段,扰动土与原状土的产沙量差距缓慢增加,在 18 min 两者差距最大,达 378 g,之后扰动土的侵蚀速率增加,在 28~30 min 扰动土与原状土的产沙量一致。17° 坡时,在 12 min 扰动土与原状土的差距最大,之后扰动土产沙速率增大,在 18~20 min 内两者相等。

综上所述,扰动土与原状土产沙量差距开始减小的时间分别为 28, 18, 12 min,随着坡度的增加,时间逐渐提前。扰动土与原状土累积产沙量相等的时间段分别为 30~32, 28~30, 18~20 min,同样随着坡度的增加,时间提前。

从图 4 原状土不同坡度下累积产沙量可以看出,5°, 11° 后期累积产沙曲线与 17° 中期 20~30 min 内曲线是平行上升的,说明 5°, 11° 后期与 17° 中期的产沙速率相近。而扰动土只有 5°, 11° 后期的曲线是平行上升的,产沙速率相近。

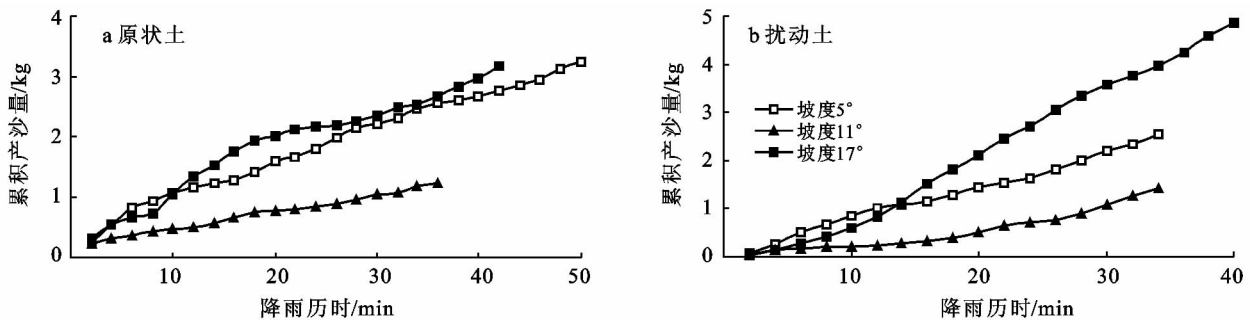


图 4 扰动土与原状土不同坡度下的累积产沙量

从以上分析可以看出,产沙速率在整个降雨过程是变化的,降雨前几分钟内,产沙速率变化较大,后期特别是 20 min 后,产沙速率比较稳定。为比较后期

稳定后的产沙速率,对不同下垫面 20 min 后累积产沙曲线进行拟合,确定产沙速率,拟合结果如表 2 所示。

表 2 累积产沙曲线拟合公式

土质类型	坡度/(°)	雨强/ (mm·min ⁻¹)	拟合公式	20 min 后产沙速率/(g·min ⁻¹)	同坡度下产沙速率之比(扰动土/原状土)
原状土	5°	1.68	$y=52.7x+590.8$	52.7	—
	11°	1.30	$y=29.8x+145.5$	29.8	—
	17°	1.62	$y=47.7x+1012.1$	47.7	—
扰动土	5°	1.53	$y=81.2x-250.6$	81.2	1.5
	11°	1.12	$y=63.7x-809.8$	63.7	2.1
	17°	1.54	$y=131.9x-442.2$	131.9	2.8

注:y 指累积产沙量(g); x 指降雨历时(min)。

从表 2 分析,比较原状土与扰动土的后期产沙速率,5°坡时,原状土与扰动土雨强分别为 1.68, 1.53 mm/min,产沙速率分别为 52.7, 81.2 g/min,在扰动土雨强小于原状土 0.15 mm/min 的情况下,扰动土的产沙速率大于原状土 28.5 g/min。17°坡时,扰动土同样在雨强小于 0.08 mm/min 的情况下,产沙速率大于 84.2 g/min。随着坡度的增大,相同雨强下,原状土与扰动土产沙速率的差距越来越大。扰动土与原状土在 5°, 11°, 17°坡时产沙速率的比值依次为 1.5, 2.1, 2.8,随着坡度的增加而增大。

3 结论

原状土坡面径流含沙量变化呈先下降后波动的过程,扰动土在坡度为 5°,11°时含沙量呈上升一下降后波动的过程。坡度相同,雨强相近的情况下,扰动土坡面径流含沙量大于原状土。在降雨前期,原状土的累积产沙量大于扰动土,随着降雨的持续进行,扰动土的产沙速率增加,最终在某一时刻,扰动土的产沙量大于原状土,并且差距越来越大。扰动土与原状土累积产沙量相等的时间段,随着坡度的增加,时间有所提前。产沙速率达到稳定后,扰动土产沙速率大于原状土,差距随着坡度的增大而增大。在 5°坡时,扰动土产沙速率是原状土的 1.5 倍,在 17°坡时,扰动土产沙速率是原状土的 2.8 倍。

[参 考 文 献]

- [1] 高永海. 神府—东胜煤田井田区的水土流失及防治[J]. 中国水土保持, 1994(8):42-45.
- [2] 张平仓. 小煤窑开采对环境与水土保持的影响[J]. 水土保持通报, 1997, 17(2):41-45.
- [3] 王卫华, 王全九, 樊军. 原状土与扰动土导气率、导水率与含水率的关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8):25-29.
- [4] 李俊杰, 白中科, 赵景逵. “矿山工程扰动土”人工再造的概念、方法、特点与影响因素[J]. 土壤, 2007, 39(2):216-221.
- [5] Luce C H, Black T A. Sediment production from forest roads in Western Oregon [J]. Water Resources Research, 1999, 35(2):2561-2570.
- [6] 邵允铖. 受扰动土性状室内试验研究[D]. 杭州:浙江大学, 2008.
- [7] 于广云. 采动区大变形扰动土物理力学性质演变及工程响应研究[D]. 北京:中国矿业大学, 2009.
- [8] 陈霞, 杨晓龙. 天然含水量的扰动土与风干土抗剪强度的分析[J]. 吉林水利, 2002(8):10-12.
- [9] 夏素平, 周怀民, 王立伟. 扰动土研究现状及其评价标准[J]. 岩土工程界, 2005, 8(9):38-42.
- [10] 于广云, 夏军武, 盛平, 等. 扰动土性状及在环境治理工程中的应用[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(6):631-634.
- [11] 李宗禹, 黄岩, 刘昕, 等. 高速公路路域扰动土壤及其生态管理[J]. 公路交通科技, 2002, 19(3):155-159.