

## 野外人工模拟降水条件下荒草坡产流产沙试验

孙 达, 张妙仙, 韩 瑾, 黄 芳

(浙江林学院 环境科技学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 采用人工模拟降水的方法, 以 5 种不同的降水强度研究浙江省临安市青山湖流域内荒坡的产流产沙特征。结果表明, 降水强度越大, 产流时间越短, 其径流量、产沙率和产沙量都越大, 降水强度为  $1.66 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  时, 产流时间仅为 47 s, 降水约 30 min 后, 小区径流总量可达到  $0.898 \text{ m}^3$ , 次侵蚀模数达到了  $30 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 。降水强度与产流时间呈较好的负相关对数关系, 与径流系数以及次侵蚀模数呈指数相关, 与径流总量呈幂函数相关。相关系数分别达到了  $-0.9655$ ,  $0.9218$ ,  $0.9635$  和  $0.8736$ , 均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。图 3 表 1 参 11

关键词: 水土保持学; 人工模拟降水; 荒草坡; 径流; 土壤侵蚀

中图分类号: S714.7 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692-(2008)05-0635-04

## Sediment and yield runoff with simulated rainfall on a barren slope

SUN Da, ZHANG Miao-xian, HAN Jin, HUANG Fang

(School of Environmental Sciences and Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To assess sediment and yield runoff on a barren slope in the Qingshan Catchment of Lin'an City, Zhejiang Province, a field, simulated rainfall experiment was carried out using five rainfall intensities ( $1.66, 1.57, 1.51, 0.97, 0.65 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Results showed that with an increase of rainfall intensity and a decrease in runoff time, runoff, ratio of sediment yield and sediment yield increased. When rainfall intensity was  $1.66 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , the runoff time was 47 seconds, and after 30 minutes, runoff reached  $0.898 \text{ m}^3$  with a soil erosion modulus of  $30 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ . As a logarithmic function, rainfall intensity was negatively correlated with runoff time ( $r = -0.9655, P < 0.01$ ), while it increased with the exponential of the runoff correlation ( $r = 0.9218, P < 0.01$ ) and soil erosion modulus ( $r = 0.9635, P < 0.01$ ). Also, with runoff as a power function, the correlation was  $r = 0.8736 (P < 0.01)$ . [Ch, 3 fig. 1 tab. 11 ref.]

Key words: water and soil conservation; simulated rainfall; barren field slope; runoff; soil erosion

降水是土壤侵蚀最重要的因子之一。监测大暴雨下的径流量和泥沙量, 对于分析区域水土流失规律, 评价水土保持措施等方面具有重要的意义<sup>[1]</sup>。为探讨降水特征与水土流失的关系, 国内外众多学者做了大量的相关研究<sup>[2-8]</sup>, 并取得一定的成果。杨丽霞等<sup>[4]</sup>研究表明, 农田产流时间与降水强度呈幂函数负相关, 径流量在降水强度较小时, 缓慢上升, 但随着降水强度的增大急剧上升。王玉宽等<sup>[5]</sup>认为紫色土降水侵蚀率与降水强度呈线性正相关。马琨等<sup>[6]</sup>对红壤坡面模拟暴雨研究表明, 径流含沙量随降水时间的延长而减小, 产流时间很大程度上由降水强度决定, 累计产沙量与产流量之间呈抛物线型相关。为了解浙江省临安市青山湖流域荒草坡在暴雨下水土流失的发生发展, 笔者基于野外模拟降水试验, 研究荒草坡在不同降水强度下产流和产沙等特性, 为流域水土流失综合治理决策提供科学依据。

收稿日期: 2007-10-16; 修回日期: 2008-01-21

基金项目: 教育部重点实验室环境修复与生态健康基金资助项目 (EREH-050401)

作者简介: 孙达, 硕士, 从事土壤资源与生态环境研究。E-mail: sddfj\_725@163.com

## 1 研究区域自然概况

径流小区设在浙江省临安市青山湖流域内。临安市属亚热带湿润型季风气候区,年平均气温为15.8℃,森林覆盖率达74.9%。境内雨水充沛,受地形和气候诸因素制约,多年平均降水量1613.9 mm,降水日158 d。降水量年内分配不均,4月至7月上旬有梅雨,历时长,范围大,强度较小;7月中旬至9月台风暴雨,历时短,范围小,强度较大。

青山湖流域多为低山丘陵。流域上游主要是高植被覆盖的森林山区,中游进入低山丘陵区,在一些低洼地和缓坡地上分布有不同程度的农耕地,下游是临安城区及其城郊。

地势由西北向东南倾斜。流域内土壤为黄壤和红壤,丘陵相对高差小于200 m,坡度为10°~20°。据统计,临安地区水土流失面积超过600 km<sup>2</sup>,是浙江省内水土流失较严重的地区之一。杭州地区荒地水土流失率在20%以上,重者可达60%。荒坡水土流失导致荒山荒坡冲沟发育,蚕食地面,土地开发利用价值不断下降,生态环境不断恶化。泥石流是山地侵蚀最为严重的表现形式之一,临安市是浙江省泥石流灾害易发区,已被列为浙江省首次开展小流域泥石流调查的试点市。

## 2 材料和方法

### 2.1 模拟降水装置系统

试验所用模拟降水装置系统包括供水系统、动力系统、模拟降雨机、径流试验小区和采样设备等,模拟降雨机为压控双向侧喷式人工模拟降雨装置(中国科学院、水利部水土保持研究所仪器设备厂,tsjy-3型),包括单独直立竖管、延伸管、喷头及三角架等。此装置具有面积小,降水均匀,降水强度易于控制和移动方便等特点。野外实验可进行多次重复,可有效减少实验误差。

### 2.2 观测地点的选择

选择流域内比较有代表性的荒草坡作为降水场地。为便于比较,选择的试验小区坡度为18°,覆盖率为36%的荒草坡,降水试验小区为1.5 m×3.0 m的长方形,两边及上端用薄铁皮板围成,铁皮板高45 cm,埋入土中20 cm,外露25 cm。小区下端安装V型镀锌铁皮导流槽和用以集水的径流桶。

### 2.3 样品采集与监测项目

在2006年4月2-20日模拟了5场降水,降水开始之后记下时间。在径流产生后,降水持续30 min,每3 min就用聚乙烯塑料桶取径流水样,并记录下取样开始和结束的时间。每场雨共取10个水样进行实验分析,这样能够反映出整个降水过程中径流随时间变化的基本情况<sup>[9]</sup>。试验小区周边均匀设置6个常规雨量筒,以便测定实际降水量。径流小区基本测验项目包括降水量、降水强度、降水历时、径流量和侵蚀产沙量等。

## 3 结果与讨论

降水是产生径流和土壤水土流失的先决条件,降雨量、径流量和侵蚀量的大小与降水强度的关系非常密切。

### 3.1 不同降水强度径流特征随时间的变化规律

#### 3.1.1 不同降水强度下径流量随降水时间的变化规律

坡面径流沿着坡面流动对坡面土壤产生侵蚀作用,而坡面径流的大小,是影响水土流失过程的主导因素之一<sup>[10]</sup>。图1为模拟降水条件下,降水强度分别为0.65, 0.97, 1.51, 1.57和1.66 mm·min<sup>-1</sup>时径流小区内径流量随降水时间的变化。从图1可以看出,不同降水强度下,荒草坡在降水30 min中内,随着降水时间的推移,径流量呈逐渐增大的趋势,但降水后期,0.65和0.97 mm·min<sup>-1</sup>的降水强度下,径流量表现出平缓趋势。在30 min中内,

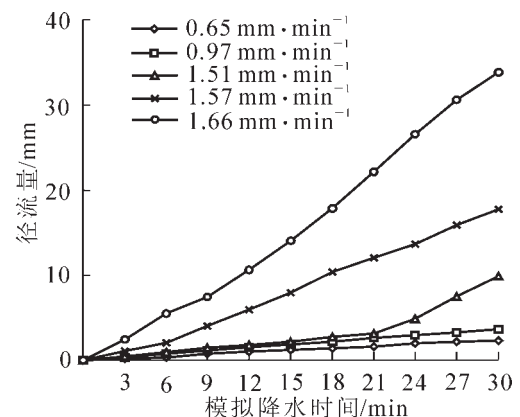


图1 不同降水强度下径流量随时间的变化规律

Figure 1 The runoff varied with rainfall time under the different rainfall intensities

试验小区径流量与降水强度有较好的关联度, 相关系数达到了 0.873 6 ( $P < 0.01$ ); 降水强度越大, 其径流总量也越大, 降水强度为  $1.66 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  的大暴雨情况下, 其降水径流系数达到了 90%, 降水径流总量更是达到了  $0.898 \text{ m}^3$ 。

**3.1.2 不同降水强度下径流含沙量随降水时间的变化规律** 径流含沙量过程线是土壤侵蚀程度的综合反应。土壤侵蚀主要受到降水特征、下垫面性质、坡度和坡长等的影响, 它与各种外界条件有密切关系。图 2 为不同降水强度条件下, 30 min 模拟降水过程中, 径流含沙量的变化过程(图 2 是根据实测资料绘制, 未经平调, 由于产沙的随机性等因素, 故曲线呈波浪线)。从图 2 可以看出, 随着降水时间的延长, 径流中含沙量呈下降趋势, 原因在于地面刚受到雨水冲刷时, 地表较干燥, 土粒分散, 容易被径流冲刷, 而随着降水历时延长, 一部分表层土壤被运移, 而表层土壤颗粒又逐渐被水分饱和, 致使被径流冲刷的泥沙量减少。因此不同降水强度下均表现出随降水时间的延长, 含沙量逐渐减少的趋势。

**3.1.3 不同降水强度下径流产沙率随降水时间的变化规律** 图 3 为不同降水强度下降水侵蚀产沙率随时间变化的规律, 由图 3 可知所有场次降水的侵蚀产沙率在降水初期比较高, 降水强度为  $0.65, 0.97, 1.51, 1.57, 1.66 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  时, 初期产沙率  $1.27, 2.05, 7.26, 10.03, 26.16 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ 。随着降水时间的延续产沙率逐渐减小; 侵蚀产沙率在降水初期与降水强度呈正相关, 即降水强度大所产生的侵蚀强度也就越大, 但在一段时间之后, 不同降水强度下的产沙率都趋向一致变得很小, 只有  $0.2 \sim 0.9 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ 。因此可认为降水强度对土壤侵蚀量有着很大的影响, 总体来看, 还是表现为降水强度越大, 对土壤侵蚀力度也越大。

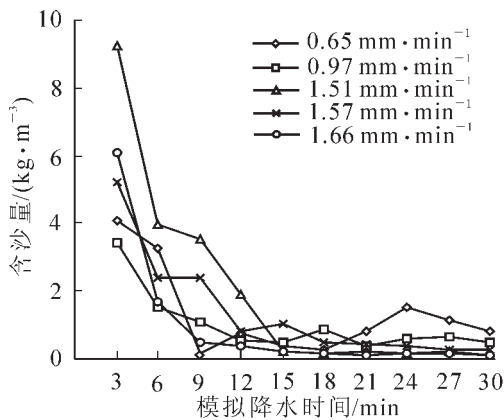


图 2 不同降水强度下径流含沙量随降水时间的变化规律

Figure 2 The silt content varied with rainfall with time under the different rainfall intensities

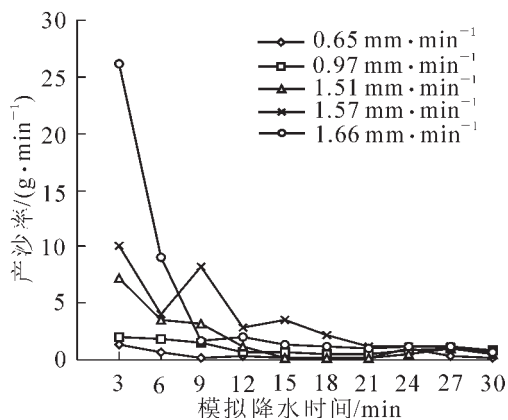


图 3 不同降水强度下径流产沙率随降水时间的变化规律

Figure 3 The rate of silt content in runoff varied rainfall time under the different rainfall intensities

**3.2 径流特征与降水强度的回归关系统计分析**

降水径流的出现是产生水土流失的前提条件。雨滴落在干燥的土壤表面时, 土粒来不及吸收雨水或表层土壤水分饱和就会产生径流。径流的作用在于转运分散的土壤颗粒和对土表的冲刷。土壤、地形、植被和降水等对径流的产生都有很大的影响。如表 1 所示, 降水强度越大, 产生径流所需时间也就越短, 两者呈现出较好的负相关对数关系 ( $y = - 628.42 \ln x + 363.02$ ),

表 1 径流特征与降水强度的回归方程

Table 1 Regression equations for runoff characteristics and rainfall intensity

| 降水强度/<br>( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | 产流时间/s | 径流系数 | 径流总量/ $\text{m}^3$ | 次侵蚀模数/<br>( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ ) |
|--|--------|------|--------------------|---|
| 0.65   | 695    | 0.10 | 0.068              | 3   |
| 0.97   | 267    | 0.14 | 0.107              | 7   |
| 1.51   | 144    | 0.44 | 0.184              | 12  |
| 1.57   | 91     | 0.30 | 0.477              | 23  |
| 1.66   | 47     | 0.90 | 0.898              | 30  |

说明: 产流时间是指人工降水开始计时到集结雨水导流槽能集结到雨水的时间。

相关系数达到了-0.965 5( $P < 0.01$ ); 降水的径流系数与降水强度呈指数相关( $y = 0.026 5e^{1.845 8x}$ ), 相关系数为0.921 8( $P < 0.01$ )。

降水径流总量随降水强度的增加而显著增加, 在降水强度为 $1.66 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, 降水30 min左右径流小区内径流总量竟达到了 $0.898 \text{ m}^3$ 。降水径流越大, 对荒坡土壤侵蚀强度也就越大, 降水强度为 $0.65 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, 模拟降水次侵蚀模数<sup>[11]</sup>为 $3 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ , 而降水强度为 $1.66 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, 次侵蚀模数达到了 $30 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 。次侵蚀模数与降水强度呈指数相关( $y = 0.840 3e^{2.034 x}$ ), 相关系数达到了0.963 5( $P < 0.01$ )。径流总量与降水强度呈幂函数相关( $y = 0.418 0x^{2.297 2}$ ), 相关系数为0.873 6( $P < 0.01$ )。

## 4 结果与讨论

降水初期, 径流含沙量和产沙率都较高, 随着时间的延长, 两者均呈减少趋势, 且基本表现为随降水强度增大而增加。荒草坡地上降水产流时间、径流系数与降水强度呈对数和指数相关, 其相关系数分别为-0.965 5和0.921 8。降水强度越大, 产流所需时间就越短, 在降水强度为 $1.66 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 降水下, 其径流系数更是高达90%。荒草坡降水径流总量、次土壤侵蚀模数与降水强度有较好的幂函数和指数函数相关性, 相关系数分别达到了0.873 6和0.963 5。

以小流域为基本单元, 开展的水土流失综合治理是当前改善地区生态环境的主要措施。但是流域内植被类型、下垫面、地形、土壤和降水规律等因素复杂多变, 给产沙产流的物理过程分析带来不便。由于本试验是野外模拟降水试验, 虽然试验期间天气状况良好, 但还是要受到风的间断性干扰, 加上输水管道和试验地等因素影响, 结论难免存在一定误差, 但仍可为临安市青山湖流域水土保持规划与治理提供一定的参考依据。笔者只研究了人工降水下荒坡产沙产流过程, 对于流域内降水引起的养分流失及其对周边水体影响等一系列问题还有待于进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 李智广. 水土流失测验与调查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 22.
- [2] 陈洪松, 邵明安, 张兴昌, 等. 野外模拟降雨条件下坡面降雨入渗、产流试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 5 - 8.
- [3] 王晓燕, 高焕文, 杜兵, 等. 用人工模拟降雨研究保护性耕作下的地表径流与水分入渗[J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 23 - 25.
- [4] 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 不同雨强条件下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素的径流特征[J]. 环境科学, 2007, 28(8): 1 763 - 1 769.
- [5] 王玉宽, 王勇强, 傅斌, 等. 紫色土坡面降雨侵蚀试验研究[J]. 山地学报, 2006, 24(5): 597 - 600.
- [6] 马琨, 陈欣, 王兆骞. 模拟暴雨下红壤坡面产流产沙及养分流失特征研究[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(1): 1 - 4.
- [7] JACKSON C R. Hillslope infiltration and lateral downslope unsaturated flow[J]. Water Resour Res, 1992, 28(9): 2 533 - 2 539.
- [8] 高智慧, 陈顺伟, 蒋妙定, 等. 亚热带岩质海岸不同类型植被的水土保持效益[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(4): 380 - 386.
- [9] 李恒鹏, 刘晓玫, 黄文钰. 太湖流域浙西区不同土地类型的面源污染产出[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 24 - 28.
- [10] 郭廷辅, 段巧甫. 水土保持径流调控理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 21.
- [11] 孙飞达, 蒋志荣, 王立. 不同降雨强度下农地的产流产沙研究[J]. 甘肃科学学报, 2005, 17(1): 53 - 56.