

# 野外人工模拟降雨条件下荒草坡产流产污试验研究

孙达<sup>1</sup>, 张妙仙<sup>1</sup>, 吴希媛<sup>2</sup>, 黄芳<sup>1</sup>, 韩瑾<sup>1</sup>

(1. 浙江林学院 环境科技学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310029)

**摘要:** 采用人工模拟降雨的方法, 以 5 种不同的降雨强度研究浙江省临安市青山湖流域内荒坡的产流产污特征。结果表明, 降雨径流总量与降雨强度呈正相关, 相关系数达到 0.873 2; 径流中平均含沙量浓度与雨强关系不显著, 不同污染物产污浓度大小排序为 COD> TN> TP> 水溶性磷; 雨强越大, 污染物浓度越小, 说明雨水对污染物浓度有稀释作用; 不同污染物的次产污模数与雨强呈正相关, 相关系数均在 0.9 以上, 说明降雨强度越大, 产生的污染也越大。

**关键词:** 人工模拟降雨; 荒草坡; 径流污染; 产污模数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0121-03

中图分类号: S157.2

## Runoff Yield and Pollutant of Barren Grassland Slope Under Simulated Rainfall Condition

SUN Da<sup>1</sup>, ZHANG Miao-xian<sup>1</sup>, WU Xi-yua<sup>2</sup>, HUANG Fang<sup>1</sup>, HAN Jin<sup>1</sup>

(1. School of Environment Sciences and Technology, Zhejiang Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300, China;

2. College of Environment and Resources, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China)

**Abstract:** A field experiment under simulated rainfall was carried out to assess the characteristics of pollution and runoff yield at five different rainfall intensities on barren grassland slope in Qingshan catchment, Lin'an City, Zhejiang Province. Results showed that runoff volume was positively correlated with rainfall intensity and the correlation coefficient was 0.873 2. Sediment concentration in runoff was not significantly correlated with rainfall intensity. Pollutants ranked in the descendant order of COD, TN, TP, and water-soluble P in terms of concentration and the concentration became smaller and smaller with increased rainfall intensity, which means that rainfall can dilute pollutant concentration. The secondary pollutant modulus of different pollutants was positively correlated with rainfall intensity and the correlation coefficient was above 0.9, which showed that pollutant was bigger with the increased rainfall intensity.

**Keywords:** artificially simulated rainfall; barren grassland slope; runoff pollution; pollutant modulus

面源污染, 是指溶解的或固体污染物从非特定的地点, 在降水和径流的冲刷作用下, 通过径流过程汇入受纳体(如河流、湖泊、水库、海湾等)而引起的水体污染<sup>[1]</sup>。与点源污染相比较, 面源污染一般具有以下特点: 产生具有随机性, 来源和排放不固定, 排放时间间歇性, 污染负荷时空变化大, 监测和控制处理困难而复杂<sup>[2-3]</sup>。

研究表明, 面源污染已成为水体富营养化和水质恶化的重要原因<sup>[4-5]</sup>, 国内众多学者对不同下垫面包括城市路面、农田、荒坡地、混交林等降雨径流进行监测<sup>[6-9]</sup>, 结果表明降水径流携带走大量养分, 对区域内湖泊水体富营养化具有潜在的威胁。因此, 研究暴

雨径流中养分损失对水体污染的影响, 对土地生产利用, 面源污染防治等问题具有重要意义。

## 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 15.8℃, 森林覆盖率达 74.9%。境内雨量充沛, 受地形、气候诸因素制约, 多年平均降水量 1 613.9 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。该流域多为低山丘陵, 水土流失严重。

收稿日期: 2007-09-24

修回日期: 2007-12-07

基金项目: 环境修复与生态健康教育部重点实验室基金项目(ERH-050401)

作者简介: 孙达(1982-), 男(汉族), 浙江省金华市人, 在读硕士, 研究方向为土壤资源与生态环境。E-mail: sddfj\_725@163.com。

近年来,由于青山湖上游大量工业废水和生活污水排入水库,加上沿岸农业地表径流以及冬季库区内水生生物的不合理捕捞,导致青山湖水质恶化。为保证青山湖流域生态系统的良好维持和发展,确保当地居民的良好居住环境,改善其水环境质量使其与经济发展相协调已成为刻不容缓的任务。以流域为研究尺度,以水文研究方法为基础,环境水质监测评价为手段,研究降雨产流、产污特性,分析径流中各种污染物的含量,探讨流域面源污染形成的主要机制,从而为面源污染的定量估算和面源污染模型的建立、水环境污染防治提供科学依据。

## 2 材料和方法

### 2.1 模拟降雨装置系统

试验所用模拟降雨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,模拟降雨机由单独直立竖管、延伸管、喷头及三角架等构成。此装置具有面积小,降雨均匀,雨强易于控制,移动方便等特点,野外实验可进行多次重复,以有效减少实验误差。

### 2.2 观测地点的选择

选择流域内有代表性的荒草坡作为降雨场地。为便于比较,选择的试验小区坡度为  $18^\circ$ ,覆盖度为 36% 的荒草坡,降雨试验小区为  $1.5\text{ m} \times 3\text{ m}$  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 样品采集与分析

在 2006 年 4 月进行了 5 场降雨,降雨开始之后记下时间,在径流产生后,降雨持续 30 min,每 3 min 就用聚乙烯塑料桶取一次径流水样,并准确记录下取样的始末时间,每场雨共取 10 个水样进行实验分析,以便反映出整个降雨过程中径流随历时变化的基本情况<sup>[10]</sup>。试验小区周边均匀设置 6 个雨量筒,测定实际降雨量。

径流监测指标包括 pH, COD, TN, TP, 水溶性磷, 含沙量等。样品分析方法: pH 值用 pHS-3c 数字式酸度计测定, COD 采用重铬酸钾法, TN 采用碱性过硫酸钾法, TP 和水溶性磷采用钼酸铵分光光度法, 含沙量用  $0.45\mu\text{m}$  滤膜过滤,再烘干称重。

## 3 结果与分析

### 3.1 径流 pH 值、径流总量及含沙量分析

雨强为 0.65, 0.97, 1.51, 1.57, 1.66 mm/min 时产生的径流平均 pH 值分别为 6.5, 7.1, 7.1, 6.9,

6.3, 表明坡地径流略偏酸性。降雨 30 min 产生径流总量分别为 0.068, 0.107, 0.184, 0.477, 0.898  $\text{m}^3$ , 与雨强相关显著, 相关系数达到 0.873 2, 即降雨强度越大, 产生的径流越大, 对土壤的侵蚀力也越大。径流中 SS 主要是地表土壤产生的颗粒和悬浮固体, 是反应径流携带其它污染物的间接指标<sup>[11]</sup>。降雨试验中径流的平均含沙量分别为 0.198, 0.295, 0.293, 0.217, 0.15 g/L, 雨强对径流中含沙量影响并不显著, 但这并不意味着雨强和径流携带的含沙量没有关系, 因为径流携带的含沙量多少不仅取决于其浓度, 还决定于降水径流量<sup>[12]</sup>。雨强与坡面径流量呈正相关, 因此雨强可以通过影响径流量来影响其含沙量。

### 3.2 径流中不同污染物浓度分析

降雨的前段时间和后段时间径流中污染物的浓度差别较大, 所以只计算降雨过程中污染物的平均浓度。表 1 为不同降雨强度降雨 30 min 所产生的径流中 COD, TN, TP、水溶性磷的平均浓度。各场降雨中, 产污浓度大小排序为  $\text{COD} > \text{TN} > \text{TP} > \text{水溶性磷}$ , 结果与熊丽君对张家港西南片区非点源产污量大小排序一致<sup>[13]</sup>。污染物浓度随降雨强度的增加而减小, 雨强达到 1.66 mm/min 时, 各种污染物浓度均为最小。这说明降雨对污染物具有稀释作用, 一定时间内, 雨强越大则对土壤冲刷也越强, 携带走的污染物就越多<sup>[14]</sup>, 但同时降雨量越大, 雨水对污染物稀释作用越强, 径流中污染物的浓度就会降低, 降雨量与污染物平均浓度呈现负相关关系<sup>[14]</sup>。径流中水溶性磷含量占全磷含量的 70%~94%, 说明土壤中的磷多以水溶性磷的形式流失<sup>[15]</sup>, 随着时间的推移则表现为肥力不断下降。

表 1 不同污染物浓度分析

雨强/ ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ )	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	水溶性磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
0.65	20.3	1.400	0.245	0.174
0.97	18.1	0.744	0.136	0.095
1.51	22.9	0.746	0.292	0.253
1.57	15.8	0.570	0.219	0.205
1.66	9.8	0.300	0.121	0.111

对不同污染物浓度的相关分析发现, COD 与 TN, TP, 水溶性磷具有较好相关性, 相关系数分别为 0.826, 0.801 和 0.617; 含沙量与 COD, TN, TP, 水溶性磷相关性不好, 而任玉芬对城市路面、草坪等下垫面的降雨径流污染物浓度分析后, 认为 SS 与 COD, TN, TP 有较好的相关性<sup>[14]</sup>。本试验含沙量与 TN 等不相关, 可能由于下垫面土壤养分含量存在差异。

### 3.3 不同污染物次产污模数

表2为模拟不同降雨强度条件下,降雨历时30 min后径流中不同污染物的产污模数。COD, TN, TP, 水溶性磷的产污模数基本上都随雨强的增大而增大,且与雨强有较好的线性相关,相关系数分别为0.977, 0.913, 0.949, 0.946, 说明雨强越大,则携带走的污染物所产生的污染程度越大,即对周边水体的污染更具威胁。相同雨强下,均以COD产污模数最大,水溶性磷产污模数最小。

表2 不同污染物次产污模数分析

雨强/ (mm·min <sup>-1</sup> )	COD/ (t·km <sup>-2</sup> )	TN/ (kg·km <sup>-2</sup> )	TP/ (kg·km <sup>-2</sup> )	水溶性磷/ (kg·km <sup>-2</sup> )
0.65	0.31	21.2	3.7	2.6
0.97	0.43	17.7	3.2	2.3
1.51	0.94	30.5	11.9	10.3
1.57	1.67	60.4	23.2	21.7
1.66	1.96	59.9	24.1	22.2

## 4 结论

通过对荒草坡野外模拟降雨条件下径流污染物的研究分析,表明荒草坡降雨径流总量与雨强呈正相关,相关系数达到0.873 2。径流中污染物主要为有机物和悬浮固体颗粒,降雨初期径流污染物浓度较大,随着降雨量增加,雨水对污染物的稀释作用增加,径流污染物平均浓度大小排序为COD>TN>TP>水溶性磷。降雨30 min后不同污染物的产污模数与雨强呈正相关,相关系数都在0.9以上。降水径流冲刷走的大量养分,不仅会降低土壤肥力,而且还会对周边水体产生污染威胁。由于本研究结论是基于对野外模拟降雨条件下径流水质的分析,这不仅受到地形坡度、植被、风力、风向等自然条件的影响,还会受到污染物来源不确定性包括下垫面土壤养分条件、周边生产活动产生的粉尘颗粒落到下垫面等因素的影响,结论可能具有随机性。要评价降水径流对流域内水体污染的影响程度,还必须加强对不同利用方式下土壤的产流产污规律的试验研究,为流域面源污染负荷的预测提供更多更精确的资料。

### [参考文献]

- [1] 杨桂山,王德建.太湖流域经济发展·水环境·水灾害[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] 王晓峰,王晓燕.国外降雨径流污染过程及控制管理研究进展[J].首都师范大学学报:自然科学版,2002,23(1):91-96.
- [3] 张宏艳.发达地区农村面源污染的经济学研究[D].上海:复旦大学博士论文,2004.
- [4] Dieter Lessmann, Andrew Fyson, Brigitte Nixdorf. Experimental eutrophication of a shallow acidic mining lake and effects on the phytoplankton[J]. Hydrobiologia, 2003(1/3): 753-758.
- [5] 施为光,陈达平.黑龙滩水库氮磷平衡与富营养化评价[J].长江流域资源与环境,2002,11(2):171-174.
- [6] 杨德敏,曹文志,陈能汪,等.厦门城市降雨径流氮、磷污染特征[J].生态学杂志,2006,25(6):625-628.
- [7] 贺宝根,周乃晟,胡雪峰,等.农田降雨径流污染模型探讨:以上海郊区农田氮素污染模型为例[J].长江流域资源与环境,2001,10(2):159-165.
- [8] 王辉,王全九,邵明安.人工降雨条件下黄土坡面养分随径流迁移试验[J].农业工程学报,2006,22(6):39-43.
- [9] 彭培好,王金锡,胡振宇,等.人工桉柏混交林中降雨对养分离子的淋溶影响[J].生态学杂志,1996,15(5):12-15.
- [10] 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.
- [11] 郑涛,穆环珍,黄衍初,等.降雨促渗对地表径流污染物负荷影响模拟试验研究[J].环境污染治理技术与设备,2006,7(2):84-88.
- [12] 傅涛,倪九派,魏朝富,等.不同雨强和坡度条件下紫色土养分流失规律研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):71-74.
- [13] 熊丽君,刘凌,徐祖信,等.张家港西南片地区非点源的计算研究[J].环境科学与技术,2007,30(8):3-5.
- [14] 任玉芬,王效科,韩冰,等.城市不同下垫面的降雨径流污染[J].生态学报,2005,25(12):3325-3330.
- [15] 陈能汪,洪华生,张珞平,等.九龙江流域降雨径流污染特征研究[J].厦门大学学报:自然科学版,2004,43(4):537-541.