

# 袁水上游小流域非点源污染研究

## ——实验设计与数据初步分析

胡远安<sup>1</sup>, 程声通<sup>1</sup>, 贾海峰<sup>1</sup>, 张海星<sup>2</sup>, 谭斌<sup>2</sup>, 赵江<sup>2</sup>

(1. 清华大学环境科学与工程系 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室 北京 100084 2. 江西省环境信息中心)

**摘 要** 选择江西赣江上游袁水小流域作为实验区域, 并对实验结果进行了统计分析与模型模拟计算。结果表明, 不同土地利用类型产生的污染物负荷存在着较大的差异, 非溶解性污染物负荷与地面覆盖情况密切相关, 而部分溶解性污染物与土壤背景值密切相关。SWAT(Soil and Water Assessment Tool)模型的模拟结果基本上体现了实验区域的非点源污染状况, 在模型的帮助下, 可以将基于实验区域的研究成果推广到全流域。

**关键词**: 非点源污染; 流域实验; 类型源实验; SWAT

中图分类号: X11 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2003)04-0442-04

### Non – Point Sources of a Small Watershed in Upper Yuan River: Experimental Design and Primary Data Analysis

HU Yuan-an<sup>1</sup>, CHENG Sheng-tong<sup>1</sup>, JIA Hai-feng<sup>1</sup>, ZHANG Hai-xing<sup>2</sup>, TAN Bin<sup>2</sup>, ZHAO Jiang<sup>2</sup>

(1. Environmental Simulation and Pollution Control State Key Point Joint Laboratory, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Jiangxi Environmental Information Center)

**Abstract:** As experiment is an important mean to study impact of non – point sources, in this paper, a small watershed in upper Yuan River was chosen to carry out experiments, and primary analysis was done, including statistics and model simulation. The results obtained from the experiments suggested that the quantities of pollutants varied greatly with land use types. It has been found that the land cover played an important role in transportation of undissolved pollutants, and the background contents in soils contributed greatly to the movement of some solutes. The status of non – point source in the watershed was described well by the output of the SWAT model. With the aid of the model, we could obtain the scene of the whole watershed on the base of the achievement of the small study area.

**Keywords:** non – point sources; watershed scale experiments; field scale experiments; SWAT

赣江是长江的主要支流, 也是江西省第一大河, 全长 766 km, 鄱阳湖入口处的外洲以上流域面积达 80 948 km<sup>2</sup>。赣江流域多山地丘陵, 降水充沛, 年平均降水约 1 600 mm, 其中近 50% 集中在 4—6 月份。根据环境监测数据可知, 赣江部分监测断面丰水期的水质往往劣于枯水期。造成这一现象的原因是长期被人们忽略的非点源污染。

狭义的地表水非点源污染是指在降雨 – 径流的淋溶和冲刷作用下, 大气、地面和地下的污染物进入江河、湖泊和海洋等水体而造成的水体污染。非点源已经成为水环境的重要污染源, 是危害全球生态环境的一个重要因素。据美国、日本等国家的报道, 即使点源污染全面控制之后, 由于非点源的存在, 江河的水质达标率也仅为 65%, 湖泊的水质达标率为 42%, 海域水质达标率为 78%<sup>[1]</sup>。

随着江西省经济的发展, 对江西省水资源进行综合规划势在必行, 识别赣江流域的非点源污染源, 并对其污染负荷进行定量是水资源综合规划中必不可少的部分。

收稿日期: 2002 – 08 – 26

基金项目: 国家环境保护总局 江西省环境保护局科研基金 清华大学环境科学与工程学院 985 基金

作者简介: 胡远安(1977—), 女, 博士研究生, 主要从事环境系统分析方面的研究。E – mail: cst – den@tsinghua.edu.cn

## 1 方法

与点源污染相比,非点源污染具有以下特点:

- (1) 非点源污染在时间上具有随机性和间歇性;
- (2) 在空间分布上具有广泛性;
- (3) 污染物组成和负荷具有不确定性;
- (4) 非点源污染控制和管理困难。

非点源模型在非点源研究中发挥着重要作用,尤其是分散参数的非点源模型的发展,使得定量河流的非点源污染物输送量和识别污染源空间分布成为可能。模型的成功应用必须获得有效的实验支持。实验是正确认识污染源和污染现状的必要手段,是全面、准确地掌握非点源污染物的产生、迁移、转化规律的前提,同时也是模型参数率定和模型验证所需数据的来源。由于目前的常规环境监测断面设置主要考虑点源污染,造成非点源研究所需数据匮乏,更加凸显了非点源实验的重要性。

### 1.1 实验方法

国外的非点源实验可以追溯到 20 世纪 60 年代的土壤侵蚀实验。70 年代以后,对有毒有害物质(如农药)营养物质(氮、磷)的观测逐步开展,并且在空间、时间尺度上不断扩展与延伸。目前,在水文、气象和水质方面都已经能够实现连续自动监测,对降雨-径流-污染的过程观测详尽、可靠。我国以地表水环境为研究对象的非点源实验研究始于 20 世纪 80 年代。研究内容主要包括:污染物在区域地表的产生、迁移过程研究;污染物在受纳水体(河流、湖泊等)中的迁移、转化过程研究。前者如云南水田化肥流失实验<sup>[2]</sup>,广州赤红壤旱地营养物流失实验<sup>[3]</sup>;后者如于桥水库流域非点源实验<sup>[4]</sup>。目前常用的实验方法包括类型源实验、径流场实验、流域实验和人工降雨实验等。

综合考虑赣江流域的特征及实验条件,本次研究而以流域实验为主,以简化的类型源实验为辅,即选取典型小流域,在河流上设置断面,进行降雨后的水量、水质同步监测,研究汇水区降雨-径流-污染物流失的相互关系;同时根据研究区域的土地利用类型有针对性的选择类型源,收集一次降雨-径流过程中的混合水样,分析径流水质与下垫面之间的关系。

### 1.2 数据分析

(1) 对实验数据进行统计分析,归纳非点源污染物的流失规律;

(2) 利用非点源半机理模型模拟实验条件下的径

流-产污情况。本次研究所选用的模型为 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)。SWAT 是分散参数模型,适用于大区域非点源模拟。

## 2 实验地选取及概况

### 2.1 实验地选取

实验区域选择的主要原则:

(1) 代表性原则,即实验区域内与非点源污染负荷有关的因素与赣江流域的绝大多数区域相近或一致,包括气候气象、地形地貌、土地利用、土壤、耕作习惯、管理措施、农村居民生活卫生习惯等;

(2) 典型性原则,即实验区域内基本上没有进入水体的点源污染,水体的非点源污染特征突出,可认为是非点源污染的典型区域。

(3) 数据可得性原则,即实验区域内有气象站、雨量站、水文站等站点,能够为实验提供有力的数据支持,同时能够获取相应的历史数据用于分析对照;

(4) 便利性原则,由于实验在相当程度上受气象、人力物力的制约,要求尽量选择交通便利、距离实验室及工作人员较近的区域。

根据以上原则,最终确定的实验地为袁水上游小流域。

### 2.2 实验地概况

袁水(赣江的主要支流之一)上游小流域位于江西省萍乡市芦溪县境内,由发源地至芦溪镇下游,流域面积约为 331 km<sup>2</sup>。小流域出口处设有水文站,可以为本研究提供径流量、降雨量数据。流域内多山地丘陵,上游与下游落差较大。流域内植被覆盖情况良好,主要土地利用类型为林地,其次为水田与居民点,有少量旱地、草地、裸地。

在该研究区域内,水文站与芦溪常规水质监测断面的分布如图 1 所示。在水文站与水质监测断面之间有小支流(乌龙河)汇入,且水质较差。因此水文断面处不宜设为本次实验的水质采样断面。最终选择的水质监测断面在常规断面上游约 50 m 处,实验时该断面的径流量由水文站提供。

本次研究选择的类型源主要包括水田、林地、居民点,以及旱地、草地。类型源的土地利用类型和其他影响因子(如土壤类型、作物类型等)单一。其基本情况见表 1。

### 2.3 注意事项

为了保证实验尽可能客观、真实、完备的反映污染信息,在本次研究中必须注意:

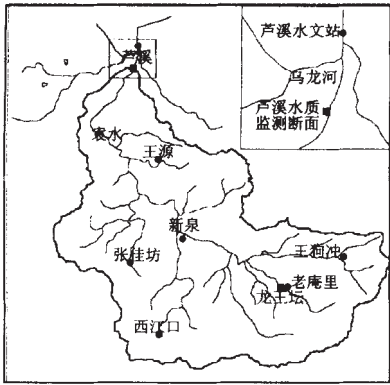


图 1 水文站、雨量站、水质监测断面(常规)分布图

●水文站/雨量站 ■水质监测断面

Figure 1 Distribution of hydrologic station, precipitation station and cross section for routine water quality monitoring

● hydrologic / precipitation station ■ cross section

表 1 类型源实验地概况

Table 1 Characteristics for the field sites studied

类型源	坡度	覆盖度/%	土壤类型
林地	8~10°	80~90	酸性紫色土
水田	<1°	60~70	潜育型潮沙泥田
旱地	1~3°	20~30	酸性紫色土
草地	1~3°	>90	酸性紫色土
居民点	<1°	—	—

(1)降雨类型与降雨前期条件的选择。实验尽量包括不同的降雨类型(降雨历时、雨强)及降雨前期条件(地表覆盖、与上一次降雨的时间间隔)的组合情

表 2 类型源污染物流失( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Table 2 Pollutant loss from the field sites studied( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

类型源	COD			总 N			NH <sub>3</sub> -N			总 P			NO <sub>3</sub> -N			SS		
	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
旱地	17.40	4.40	9.77	2.83	0.95	1.74	0.71	0.10	0.40	2.61	0.15	1.10	2.04	0.55	1.29	336.00	226.40	264.73
草地	7.60	4.90	6.53	0.92	0.26	0.61	0.65	0.12	0.34	0.30	0.09	0.17	0.06	0.02	0.04	127.00	54.40	89.07
林地	2.80	2.30	2.50	3.57	2.03	2.89	0.14	0.08	0.11	0.04	0.04	0.04	2.78	2.56	2.60	152.80	17.80	84.33
水田	5.80	3.80	5.10	0.54	0.14	0.34	0.46	0.08	0.18	0.20	0.04	0.12	0.06	nd	0.02	80.60	9.40	34.94
居民点	7.50	7.10	7.30	0.81	0.44	0.62	0.44	0.20	0.32	0.20	0.15	0.17	0.20	0.13	0.15	198.40	81.80	140.10

(1)不同土地利用类型产生的悬浮物、总氮、硝氮流失差别较大,而 COD、氨氮的排放差异相对较小。污染流失浓度的一般规律为旱地>居民点>草地>林地>水田,但林地的总氮和硝氮流失量较高,这可能是林地土壤背景值较高引起的。

(2)在单次降雨中,旱地、草地和林地径流携带的 TN 与土壤中 TN 含量存在着明显的正相关关系(见表 3,2001 年 6 月 10 日的监测数据)。水田与其他类型源的差异可能源于其降雨-径流过程的特殊性:由于蓄水的关系而直接产生径流,降雨与水田土壤并未

况,能够掌握典型降雨在不同时期产生的非点源污染情况。较为理想的情况包括:第一场春雨,代表长期未降雨且地表覆盖状况相对较差时的非点源污染情况;五、六月份雨季时降雨,代表连续降雨-冲刷情况下的非点源污染情况;夏季暴雨,代表短历时、高强度的降雨情况下的非点源污染情况;其他。

(2)实验时间的安排。除特殊实验目的外(如研究雨季连续降雨),应当尽量排除前一场降雨对实验的影响,以免造成数据分析的困难。

(3)水样的采集与监测项目的确定。除采集河流、类型源在降雨过程中产生的水样外,还必须收集雨水、地下水水样以及降雨前和径流基本结束后的水样,以用于背景分析等。监测项目的确定必须反映非点源污染物的特点,除 COD 等常规监测项目外,突出对泥沙、营养物的观测。

(4)采样时间、采样频率的合理安排。由于目前还无法实现自动采样,所有水样都依靠人工采集。在实验过程中必须根据实验情况调整采样时间、采样频率等,在获取尽可能准确的信息的同时,减少人力、物力的浪费。

3 实验结果与分析

3.1 类型源污染物流失

各类型源的污染物流失浓度基本情况见表 2。  
由实验可知:

直接接触。

(3)旱地与水田的污染物流失在不同时期变化较大,草地的变化幅度较小,而居民点与林地的流失浓

表 3 类型源 TN 流失与土壤背景值

Table 3 the loss of TN and N content in soil

类型源	径流 TN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	土壤 TN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	水样 TN: 土壤 TN/%
旱地	1.43	52.0	2.75
草地	0.92	33.0	2.79
林地	2.03	83.9	2.42
水田	0.41	60.0	0.68

度相对较稳定。

3.2 流域出口污染物输送

一次典型降雨-径流过程中,非点源污染物负荷随流量的变化规律如下:

(1)非溶解性污染物与流量的正相关关系较为显著,SS 的污染高峰与波峰几乎同时出现,峰后污染物负荷下降速度比峰前缓慢;

(2)溶解性污染物负荷与流量的相关性较弱,基本上呈锯齿形变化。

假设实验期间的地下水反补给量不变,为降雨前的径流量,则实验监测所得的径流量-降雨前径流量=地面径流量。根据实验数据计算所得的监测断面污染物输送量与地面径流量的典型积累曲线见图 2、图 3 所示(2001 年 6 月 10 日的监测数据,采样频率 1 次/h,连续监测 12 h),可溶性污染物的输送量随径流量的增加呈线性变化;而 SS 随径流量的变化近似于多次曲线。

SWAT 模型对径流-产污情况模拟结果见表 4。

表 4 SWAT 模拟情况  
Table 4 The result of SWAT simulation

模拟项	平均流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	污染物平均浓度/mg·L <sup>-1</sup>			径流量 /×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	污染物输送量/kg		
		TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	SS		TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	SS
模拟值	44.6	0.64	0.13	254	1 926.5	1 233	250	489 387
实测值	41.9	0.54	0.09	264	1810	978	163	477 861
误差/%	6.44	18.52	44.44	-3.79	6.44	26.16	53.75	2.41

由表 4 可知,对径流量与悬浮物的模拟结果较为准确,而对溶解性污染物的模拟误差较大。当实验结果与模型模拟值接近时,可以认为模型在该地区适用,并可应用于相似的区域。

4 结语

在本次研究中,重点讨论了非点源实验设计,包括实验目的、实验方法,实验地的选择以及实验注意事项,并对实验结果进行了初步分析。

从实验的统计分析结果来看,不同类型源之间存在着较大的差异,总的来说,非溶解性污染物的浓度与地面覆盖情况密切相关,部分溶解性污染物(如 TN)的浓度基本取决于土壤背景值。在一次降雨-径流过程中,可溶性污染物的输送量随径流量的增加呈线性变化;而 SS 随径流量的变化近似于多次曲

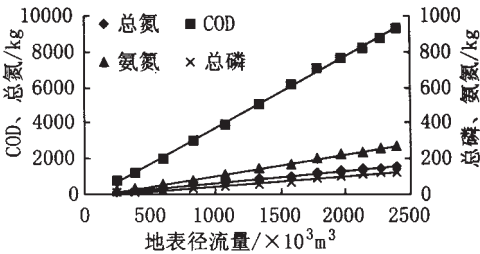


图 2 可溶性污染物输送量-地面径流量累积曲线  
Figure 2 Cumulative curve for soluble pollutants transportation - surface runoff

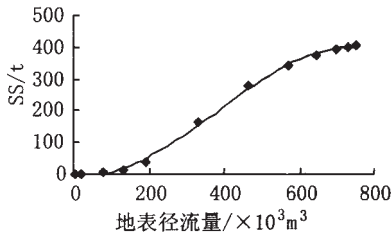


图 3 SS 输送量-地面径流量累积曲线  
Figure 3 Cumulative curve for SS transportation - surface runoff

线。  
由分散参数非点源模型 SWAT 对实验的模拟结果来看,可认为模型的模拟结果基本上体现了实验区域的非点源污染状况。在研究区域与实验区域的污染物流失规律相似性时,可以将研究成果由实验区域推广至研究区域。

参考文献:

[1] 何 萍,王家骥. 非点源(NPS)污染控制与管理研究的现状、困境与挑战[J]. 农业环境保护,18(5),1999.  
[2] 刘忠翰,彭江燕. 化肥氮素在水稻田中迁移与淋失的模拟研究[J]. 农村生态环境,2000,16(2).  
[3] 吴雪彪,陈士银. 旱耕赤红壤中氮、磷流失污染研究[J]. 湛江海洋大学学报,1999,19(2).  
[4] 朱 萱,等. 农田径流非点源污染特征及负荷量化方法探讨[J]. 环境科学,1985,6(5).