

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第2期

Vol.39 No.2

**2018**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

特别策划:挥发性有机污染物(VOCs)排放特征、减排控制、环境政策研究专辑(III)

序 ..... 郝郑平(477)

我国机动车排放VOCs及其大气环境影响 ..... 陈天增,葛艳丽,刘永春,贺泓(478)

基于PMF量化工业排放对大气挥发性有机物(VOCs)的影响:以南京市江北工业区为例 ..... 胡崑,王鸣,郑军,王红丽,卢兴东,景盛翱,陈超(493)

南京工业区挥发性有机物来源解析及其对臭氧贡献评估 ..... 张玉欣,安俊琳,王俊秀,师远哲,刘静达,梁静舒(502)

某工业园区VOCs臭氧生成潜势及优控物种 ..... 武蕾丹,王秀艳,杨文,郭凤艳,刘锦(511)

某石油化工园区秋季VOCs污染特征及来源解析 ..... 胡天鹏,李刚,毛瑶,郑煌,秦世斌,闵洋,张家泉,邢新丽,祁士华(517)

某典型石油化工园区冬季大气中VOCs污染特征 ..... 毛瑶,李刚,胡天鹏,郑煌,安艺伟,闵洋,邢新丽,祁士华(525)

杭州市工业源VOCs排放清单及排放特征 ..... 卢滨,黄成,卢清,杨强,井宝莉,夏阳,唐伟,顾泽平(533)

秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征 ..... 虎啸宇,刘航,王乃玉,王灿,揣莹(543)

浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数 ..... 杨忠平,王浙明,何志桥,徐志荣,滕富华,张华岳(551)

汽车制造企业恶臭来源及影响分析 ..... 石田立,张伟霞,陈小方,张嘉妮,梁小明,范丽雅,叶代启(557)

典型酿造业厂界无组织排放VOCs污染特征与风险评价 ..... 高占啟,胡冠九,王荃,朱冰清,陈素兰(567)

成都市大气环境VOCs污染特征及其健康风险评价 ..... 李友平,唐娅,范忠雨,蒲敏,章金莲,杨铮铮,吴大磊(576)

上海地区住宅儿童卧室甲醛和苯系物浓度的现场检测分析 ..... 蒋巧云,刘平平,王雪颖,路荣春,刘炜,周华元,龚莹莹,周亚欣,黄晨(585)

江苏省人为源VOCs排放清单及其对臭氧生成贡献 ..... 夏思佳,刘倩,赵秋月(592)

江门市人为源挥发性有机物排放清单 ..... 陈小方,张伟霞,陈柄旭,张嘉妮,范丽雅,叶代启(600)

长江三角洲2014年天然源BVOCs排放、组成及时空分布 ..... 刘岩,李莉,安静宇,张伟,严茹莎,黄凌,黄成,王红丽,王卿,王敏(608)

北京城市副中心(通州区)加油站VOCs排放清单 ..... 黄玉虎,胡玮,李贝贝,纪旋,肖宇,任碧琪,秦建平(618)

公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及VOCs成分谱 ..... 胡志远,林骠骑,黄成,王红丽,景盛翱,楼狄明(626)

生物滴滤塔净化甲基叔丁基醚废气的研究 ..... 褚其英,姚露露,吕雄标,叶杰旭,叶虹霓,潘梁柱,陈建孟,陈东之(633)

低温等离子体-生物耦合系统对复合CVOCs的降解 ..... 郭海倩,缪晶晶,姜理英,张迪(640)

水质异味期间钱塘江杭州段表层水体中挥发性和半挥发性有机物污染特征及健康风险评价 ..... 陈峰,唐访良,徐建芬,王奕奕,阮东德,张伟,周姗(648)

城市自来水管网中挥发性有机物的空间分布特征 ..... 许美佳,王海亮,李春梅,徐雄,王东红(655)

不同通勤模式暴露于VOCs的健康风险评价 ..... 佟瑞鹏,张磊(663)

家具制造过程中VOCs的来源分析及环境健康风险评价 ..... 佟瑞鹏,张磊,杨校毅,朱旭波,任传耕(672)

研究报告

北京市PM<sub>2.5</sub>时空分布特征及其与PM<sub>10</sub>关系的时空变异特征 ..... 杨文涛,姚诗琪,邓敏,王艳军(684)

小型池塘水-气界面CH<sub>4</sub>冒泡通量的观测 ..... 张秀芳,肖薇,张弥,王伟,赵佳玉,胡勇博,谢成玉,张圳,谢燕红,黄文晶(691)

中国七大流域全氟烷基酸污染水平与饮水暴露风险 ..... 王鑫璇,张鸿,王艳萍,罗骥(703)

铁岭市河流氮素时空分布及源解析 ..... 杨丽标,雷坤,乔飞,孟伟(711)

基于三维荧光及平行因子分析的川西高原河流水体CDOM特征 ..... 刘堰杨,秦纪洪,刘琛,孙辉,唐翔宇,范诗雨(720)

宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价 ..... 徐美娟,鲍波,陈春燕,王永川,高夫燕,虞效益(729)

巢湖水体可溶态重金属时空分布及污染评价 ..... 吴蕾,刘桂建,周春财,刘荣琼(738)

广西龙江沉积物重金属污染现状及生物有效性 ..... 蓝小龙,宁增平,肖青相,黄正玉,刘意章,肖唐付,赵彦龙,吴世良(748)

内电解人工湿地冬季低温尾水强化脱氮机制 ..... 郑晓英,朱星,王菊,周翔,徐亚东,韦诚,高雅洁,周徽(758)

河道型水库支流库湾营养盐动态补给过程 ..... 徐雅倩,徐飘,杨正健,刘德富,马骏(765)

降雨对蓝藻水华消退影响及其机制分析 ..... 刘心愿,宋林旭,纪道斌,刘德富,崔玉洁,黄佳维,赵冲,唐咏春,平明明(774)

城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系 ..... 梁晓东,余杨,张敏,段龙飞,彭文启(783)

三峡库区兰陵溪小流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征 ..... 张林,黄志霖,肖文发,曾立雄,宋文梅(792)

基于污染评价的地下水中优控污染物筛选 ..... 赵鹏,何江涛,王曼丽,黄德亮,王磊,梁雨(800)

硫和石英砂比对自养填充床反应器去除高浓度高氯酸盐的影响 ..... 陶华强,邵冬海,张超,宋圆圆,逯彩彩,郭建博(811)

活性炭/高分子复合水凝胶对水中亚甲基蓝和Cu(II)的去除性能 ..... 孔岩,庄媛,石宝友,韩志勇,郝昊天,韩昆,于建伟(819)

三维网状HZO@SGH对水中氟离子的吸附作用和机制 ..... 马福臻,周少奇,刘泽璐,支亮亮,周璇(828)

MgO/活性炭催化臭氧氧化降解有机物的作用机制 ..... 许珊珊,林存旺,丁亚磊,童少平(838)

污水厂二级出水中难降解有机物的臭氧化特性 ..... 侯瑞,金鑫,金鹏康,苟邦耀,王晓昌(844)

染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测 ..... 孟晓荣,王隽,王磊,王旭东,乔茹凯,任婷婷,唐卫婷(852)

污水处理厂厌氧氨氧化工艺小试 ..... 李冬,赵世勋,王俊安,朱金凤,关宏伟,张杰(859)

间歇曝气模式下曝气量对短程硝化恢复的影响 ..... 刘宏,南彦斌,李慧,王翔,彭永臻,陈永志(865)

好氧/除磷颗粒对亚硝化颗粒污泥启动的影响 ..... 李冬,郭跃洲,曹美忠,张泽文,李帅,张杰(872)

处理垃圾渗滤液的SBR中微生物种群与污泥比阻 ..... 蔡丽云,黄泽彬,须子唯,江志斌,林莉莉,黄宇(880)

基于城镇化进程表层土壤多环芳烃来源解析及风险评价 ..... 姚宏,张士超,刘明丽,王静,鲁垠涛,于晓华(889)

西江流域土壤砷含量空间变异与污染评价 ..... 刘畅,宋波,张云霞,雷梅,田美玲,余元元,庞瑞(899)

开封城市土壤磷素组成特征及流失风险 ..... 白秀玲,马建华,孙艳丽,刘德新(909)

电子垃圾拆解区土壤-水稻系统重金属分布特征及健康风险评价 ..... 尹伊梦,赵委托,黄庭,程胜高,赵珍丽,余葱葱(916)

上海市稻米中有机氯农药残留水平与健康风险评价 ..... 孟媛,刘翠翠,仇雁翎,周轶慧,朱志良(927)

四环素类抗生素对不同蔬菜生长的影响及其富集转运特征 ..... 迟菽琳,王卫中,徐卫红,李桃,李彦华,张春来(935)

硅肥耦合水分管理对复合污染稻田土壤As-Cd生物有效性及稻米累积阻控 ..... 李园星露,叶长城,刘玉玲,李丹阳,刘寿涛,罗海艳,刘孝利,铁柏清,孙健(944)

电子垃圾拆解工人的肝功能和肾功能健康状况及影响因素分析:以清远市龙塘镇为例 ..... 严晓,李淑圆,王美欢,许榕发,郑晶,任明忠(953)

《环境科学》征稿简则(584) 《环境科学》征订启事(683) 信息(799,908,934)

# 三峡库区兰陵溪小流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征

张林<sup>1</sup>, 黄志霖<sup>1, 2\*</sup>, 肖文发<sup>1</sup>, 曾立雄<sup>1</sup>, 宋文梅<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 2. 南京林业大学, 南方现代林业协同创新中心, 南京 210037; 3. 秭归县林业局, 宜昌 443600)

**摘要:** 以三峡库区兰陵溪农林复合系统小流域为研究对象, 对小流域氮磷流失量及其浓度进行连续监测, 结合丰水期次降雨分析径流氮、磷输出变化特征及其响应过程。结果表明: ①小流域雨季径流总量为  $50.92 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 输出总氮载荷为  $52.43 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 其中以硝态氮 ( $30.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 和颗粒态氮 ( $21.61 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 为主体, 输出总磷为  $0.10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; ②降雨量分布具有阶段性特征, 丰水期强降雨是土壤养分输出的主要驱动, 其降雨径流贡献了雨季 88% 的总氮和 90% 的总磷流失; ③小流域土壤养分氮、磷主要经由降雨形成地表径流过程输出, 占养分总流失量的 68% 和 74%; ④降雨径流过程硝态氮浓度与径流量表现为负相关, 养分输出主要在径流过程后期; 径流的氨氮、总磷浓度与降雨量显著正相关, 输出主要在径流过程前期; ⑤雨季流域水体总氮浓度超标, 降雨或非降雨期间均属劣 V 类水质。

**关键词:** 三峡库区; 退耕还林; 面源污染; 小流域; 降雨径流

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0792-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201706287

## Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area

ZHANG Lin<sup>1</sup>, HUANG Zhi-lin<sup>1, 2\*</sup>, XIAO Wen-fa<sup>1</sup>, ZENG Li-xiong<sup>1</sup>, SONG Wen-mei<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 3. Forestry Bureau of Zigui County, Yichang 443600, China)

**Abstract:** The small watershed of an agroforestry system in the Lanlingxi watershed in the Three Gorges Reservoir area was studied by performing continuous monitoring of nitrogen and phosphorus output and concentrations and analyzing the changes in the output of nitrogen and phosphorus in runoff and its response to different rainfall conditions. The results showed that: ①The total runoff loss was  $50.92 \times 10^4 \text{ m}^3$  in this watershed during the rainy season, with  $52.43 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  lost by total nitrogen, including nitrate nitrogen ( $30.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) and particulate nitrogen ( $21.61 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), and  $0.06 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and  $0.10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  lost by ammonium nitrogen and total phosphorus; ②The distribution of rainfall has the characteristics of stage and strong rainfall during the wet season was the main driving force of soil nutrient output. Rainfall runoff contributed to 88% of total nitrogen loss and 90% of total phosphorus loss in the rainy season; ③The main path of nitrogen and phosphorus loss in the rainy season was the surface runoff caused by rainfall, accounting for 68% of total nitrogen loss and 74% of total phosphorus loss; ④Nitrate nitrogen concentrations showed a negative correlation with rainfall runoff and the output was mainly distributed in the later runoff process. Ammonium nitrogen and total phosphorus concentrations were positively correlated with rainfall and both were mainly distributed in the early stage of the runoff process; ⑤The concentrations of total nitrogen in this watershed exceeded the standard values. The water quality in the rainfall and the non-rainfall period was worse than Grade V.

**Key words:** Three Gorges Reservoir Area; returning farmland to forest; non-point source pollution; watershed; rainfall and runoff

长江三峡水库蓄水后, 库区水质一直保持在 III 类水质为主, 有些月份水质甚至可以达到 V 类<sup>[1, 2]</sup>。次级河流污染严重, 水华现象频发, 面源污染物输入是水体富营养化主要来源<sup>[3]</sup>, 给库区社会、经济 and 环境的可持续发展造成严重影响<sup>[4]</sup>。目前对于面源污染的研究涵盖了从土地利用/覆被变化以及多尺度的监测、评估、管理和技术研发<sup>[5, 6]</sup>, 许多学者在流域尺度上开展了监测实验<sup>[7-10]</sup>、模型开发及应用<sup>[11-14]</sup>和控制技术措施等方面研究<sup>[15]</sup>。

其中关于三峡库区生态屏障区农林复合系统的面源污染控制, 前期研究多是监测研究土地利用类型/覆被分异的土壤养分氮、磷流失负荷分异, 对降雨径流过程中养分输出形态、浓度和负荷变化并不十

收稿日期: 2017-06-30; 修订日期: 2017-10-24

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD07B04); 国家自然科学基金项目(31370481)

作者简介: 张林(1994~), 男, 硕士研究生, 研究方向土地利用/覆被变化生态环境效应, E-mail: leiylinfeng@126.com

\* 通信作者, E-mail: hzlin66@163.com

分确定. 面源污染输出具有明显的季节变化特征, 其中夏季丰水期是面源污染物输出的高发季节<sup>[16]</sup>. 基于此, 本文选择三峡库区典型农林复合小流域(兰陵溪)为研究对象, 对小流域出水口的氮、磷输出质量浓度及径流量连续监测, 针对雨季降雨径流过程, 开展小流域径流过程中养分输出形态、浓度和负荷变化过程的监测与分析, 研究土壤养分氮磷输出过程及其影响因素, 揭示小流域雨季氮、磷输出特征及其对典型降雨径流过程的响应特征, 以期对小流域面源污染控制和水环境治理提供基础的决策依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于湖北省秭归县兰陵溪小流域, 东经  $110^{\circ}53'27'' \sim 110^{\circ}54'50''$ , 北纬  $30^{\circ}51'21'' \sim 30^{\circ}51'34''$ , 面积约  $144.4 \text{ km}^2$ , 属亚热带大陆性季风区, 近 50 年平均降雨量为  $991.90 \text{ mm}$ , 年内降雨分布不均,  $5 \sim 9$  月降雨量约占全年的  $70\%$ . 研究区土壤为花岗岩母质出露发育的石英砂土, 土质疏松.

小流域地势西高东低, 西部为生态公益林带(海拔  $500 \text{ m}$  以上), 以马尾松(*Pinus massoniana*) 次生林和松栎混交林为主; 中部为生态经济林带(海拔  $200 \sim 500 \text{ m}$ ), 地势趋于平缓, 土地利用多样, 多以经济作物为主, 包括茶(*Camellia sinensis*)、板栗(*Castanea mollissima*)、柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)等, 少量耕地以花生(*Arachis hypogaea*)、玉米(*Zea mays*)、红薯(*Moniato*)等为主, 居民区多居于此; 东部低丘陵区(海拔  $200 \text{ m}$  以下)为沿江景观防护林带, 多以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等为基本树种, 低缓坡地种植茶树.

小流域分布柑橘园、茶园和耕地等, 在管理和耕作过程施用化肥和农药, 以及居民区生活污水和家禽、家畜养殖等排放是小流域氮磷主要来源. 图 1 是研究区兰陵溪小流域监测点布设情况, S2 ~ S7 为流域各支流出水口, S1、S8、S9 位于流域干流, S9 为监测点, 处于小流域出水口控制整个流域.

### 1.2 降雨量和流量监测

湖北秭归三峡库区森林生态系统国家定位观测研究站位于研究区小流域内, 布设自动记录雨量计, 实时记录降雨量及降雨过程. 小流域出水口处设置有直角三角堰, 配备水位自动监测仪, 实时记

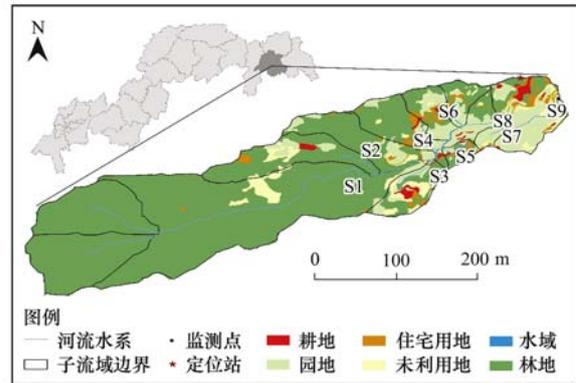


图 1 兰陵溪小流域地理位置示意

Fig. 1 Location of Lanlingxi watershed

录水位及其变化过程. 出水口流量可根据水位-流量关系曲线图计算求得.

### 1.3 样品采集与分析

小流域出口断面, 水样采集分为降雨径流过程监测和常规监测, 其方法如下.

(1) 降雨径流过程监测 降雨产流后, 根据降雨特征设置采样间隔期分别为  $20 \text{ min}$  (短时强降雨) 和  $30 \text{ min}$  (长时轻量降雨). 采样时间从降雨径流开始直至降雨结束后径流水位恢复到基本水位时结束.

(2) 常规监测 采样时间为次降雨径流结束后到下次降雨径流开始. 采样频率为每天  $08:00$  和  $18:00$  各采集一次, 每次使用聚乙烯瓶( $500 \text{ mL}$ )采集 3 瓶.

水样采集后记录时间并带回实验室于  $4^{\circ}\text{C}$  恒温冰箱内进行保存, 并在  $24 \text{ h}$  内进行实验分析. 水样分析的指标有总氮(TN)、硝态氮(NN)、氨氮(AN)、颗粒态氮(PN)、总磷(TP), 分析测试全部在秭归定位站实验室完成.

TN 和 TP 分别采用紫外分光光度法(GB 11894-89)和钼酸铵分光光度法(GB 11893-89)<sup>[17]</sup>, NN 和 AN 经  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜过滤后, 用意大利产的 SmartChem140 型全自动间断化学分析仪测定, PN 用 TN 与溶解态氮(NN 和 AN)的差值表示.

### 1.4 氮、磷排放负荷在降雨径流过程中的分布特征

研究区汛期降雨经常出现强降雨, 强降雨前期径流养分流失有时可达整场降雨冲刷量的  $90\%$ <sup>[18]</sup>. 为探究土壤养分氮、磷排放负荷在降雨径流过程中的分布特征, 以污染物累积污染负荷与累积径流量的无量纲累积曲线  $M(V)$  为表征初期效应, 以初期冲刷比值描述初期冲刷程度强弱, 其计算公式为:

$$MEF_n = \frac{\int_0^n c_i Q_i dt}{\frac{M}{V}} \quad (1)$$

式中,  $n$  为径流百分比,  $0 \sim 100\%$ ;  $M$  为累积污染总负荷,  $g$ ;  $V$  为累积径流总量,  $m^3$ ;  $t$  为时间,  $s$ ;  $c_i$  为  $t$  时刻污染物质量浓度,  $mg \cdot L^{-1}$ ;  $Q_i$  为  $t$  时刻径流流量,  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

### 1.5 次降雨养分流失负荷计算

单场降雨径流氮磷排放负荷由流域出口断面同步流量和浓度监测值进行计算, 公式如下:

$$Q = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \times \Delta t \quad (2)$$

$$M = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{C_i + C_{i+1}}{2} \times \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \times \Delta t \quad (3)$$

式中,  $Q$  为单场降雨地表径流累积量,  $m^3$ ;  $M$  为单场降雨养分输出负荷,  $g$ ;  $Q_i$  为第  $i$  次取样时的降雨径流量,  $m^3 \cdot s^{-1}$ ;  $Q_{i+1}$  为第  $i+1$  次取样时的降雨径流量,  $m^3 \cdot s^{-1}$ ;  $\Delta t$  为两场采样时间间隔,  $s$ ;  $C_i$  为第  $i$  次取样时该养分在径流中的质量浓度,  $mg \cdot L^{-1}$ ;

$C_{i+1}$  为第  $i+1$  次取样时该养分在径流中的质量浓度,  $mg \cdot L^{-1}$ .

### 1.6 数据处理与分析

实验数据采用 Excel 2016 和 SPSS 21.0 进行数据分析和作图.

## 2 结果与分析

### 2.1 小流域监测期间养分流失特征

#### 2.1.1 小流域雨季降雨-径流特征

兰陵溪小流域降雨集中在 6、7 月和 8 月上旬, 雨季(6~9 月)总降雨量为 729.60 mm. 日降雨量峰值达 107.20 mm(图 2, 07 月 10 日). 小流域雨季总流量达  $50.92 \times 10^4 m^3$ , 最大日流量为  $4.15 \times 10^4 m^3 \cdot d^{-1}$ , 其中 5 次最大降雨产生的径流量占总径流量的 23.9%. 对小流域日径流量和降雨量相关分析, 结果表明日径流量与降雨显著相关( $r=0.762$ ,  $P<0.01$ ). 小流域降雨径流日平均流量值为  $0.89 \times 10^4 m^3 \cdot d^{-1}$ (41 d), 非降雨期间径流日平均流量为  $0.24 \times 10^4 m^3 \cdot d^{-1}$ (63 d), 降雨径流流量占雨季总径流的 71.7%. 小流域径流输出主要分布在 6 月下旬至 8 月上旬, 为径流量高输出期, 随后降雨减少而径流量趋于平稳.

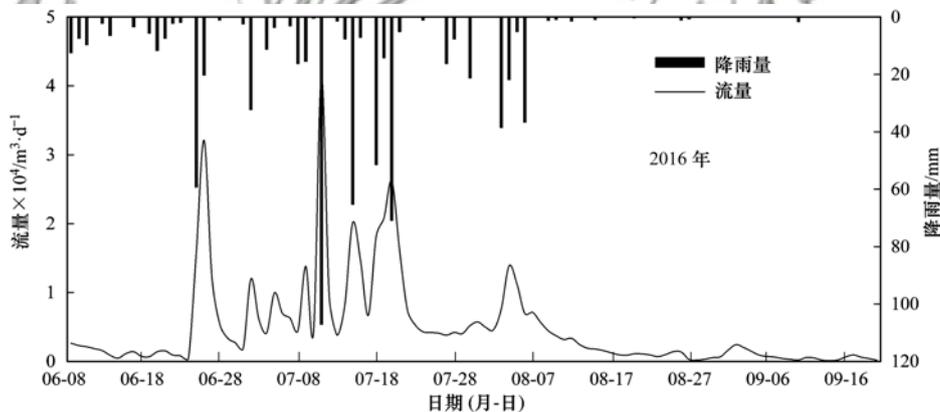


图 2 小流域雨季降雨量和流量分布

Fig. 2 Rainfall and runoff in watershed during rainy season

#### 2.1.2 小流域雨季氮磷输出过程

丰水期主要集中在 6 月下旬到 8 月上旬, 是降雨量较多时间段(图 3). 流域雨季 TN、NN、PN、TP 养分最大日流失量为 766.73、388.10、372.21、1.98 kg(07 月 10 日), AN 最大日流失量为 9.41 kg(06 月 25 日). 对各养分日流失量和降雨量相关分析, 各养分流失均与降雨量显著相关( $P<0.01$ ), 降雨期间的各养分流失量约占雨季养分总流失的 64.7%~71.4%. 最大 5 场降雨 TN、NN、PN、AN 和 TP 流失分别贡献了雨季养分总流失量的

25.1%、21.1%、30.7%、20.3% 和 28.6%, 流域土壤养分流失是由强降雨径流过程输出.

分析小流域养分输出过程, 养分输出累积曲线(图 4)具有明显的阶段性特征. 大致可分为 3 个时段, 时段 I(06 月 23 日之前)和 III(08 月 10 日之后)是土壤养分输出变化较为平稳的时期. 时段 II(06 月 23 日~08 月 10 日)也就是雨季丰水期, 是养分输出的高速增长阶段, 贡献了雨季 88.0% 的总氮和 90.0% 的总磷. 可以看出, 养分流失过程中, AN 的累积速率增长最快, 其次是 TP. PN 前期累积

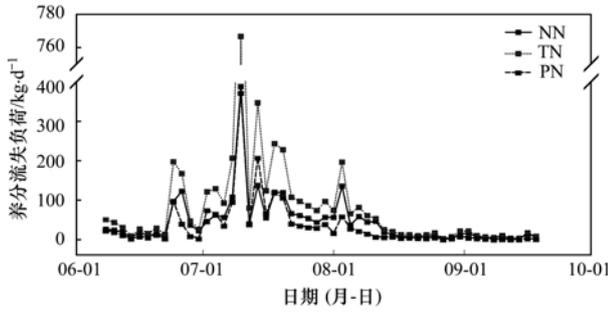


图3 小流域雨季养分流失分布

Fig. 3 Nutrient loss in watershed during rainy season

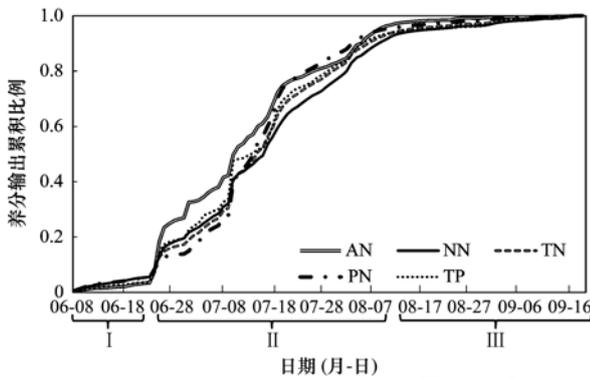


图4 小流域雨季养分输出累积曲线

Fig. 4 Cumulative curve of nutrient output in watershed during rainy season

较慢，7月中旬之后，累积速率急速上升，这是由于强降雨或大雨出现。

### 2.1.3 小流域雨季氮磷输出分布

小流域雨季土壤养分 TN、NN、PN、AN、TP 输出总量分别为 52.43、30.26、21.61、0.059 和 0.10 kg·hm<sup>-2</sup> (图5)。氮磷输出时间分布上，7月贡献了雨季各养分流失的 63.8%、57.6%、72.7%、56.1% 和 63.0%。9月养分输出最少，约占总输出的 0.6%~3.1%。

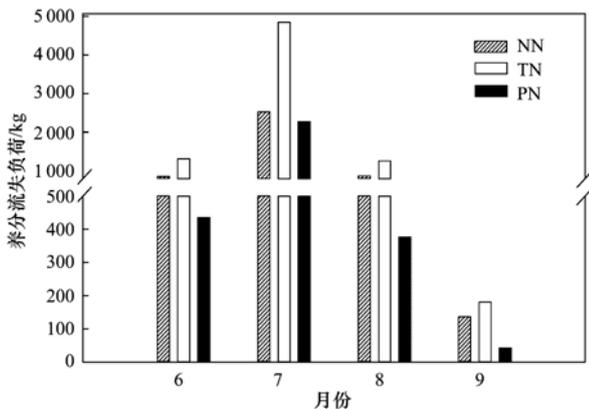


图5 小流域雨季养分输出负荷

Fig. 5 Nutrient output in watershed during rainy season

对小流域雨季土壤养分流失负荷分析，硝态氮和颗粒态氮是小流域氮素输出的主要形式。其中，各月份 NN 占 TN 输出的变化范围是 52.0%~75.4%；其次是 PN，各月份输出占 TN 的变化范围是 24.1%~47.0%。

小流域出口断面降雨径流过程监测(41 d)，土壤养分 TN、TP 流失量分别为 5301.25 kg 和 10.75 kg；常规监测(63 d)，土壤养分 TN、TP 流失量分别为 2502.20 kg 和 3.78 kg。降水径流过程监测时段，TN 和 TP 养分流失量占雨季总流失量的 67.9% 和 74.0%；而非降雨径流时段，常规监测的径流土壤养分输出，其 TN 和 TP 流失占总流失的 32.1% 和 26.0%，土壤养分氮磷输出主要贡献是降雨径流过程。

### 2.1.4 小流域雨季水质特征

小流域雨季径流中 TN 除 8 月浓度较低外(平均浓度 13.18 mg·L<sup>-1</sup>)，其余月相差不大(图6)；AN 浓度呈递减趋势，水体中 6 月浓度最大(平均浓度 0.06 mg·L<sup>-1</sup>)；TP 浓度变化幅度较小，平均浓度为 0.03 mg·L<sup>-1</sup>。

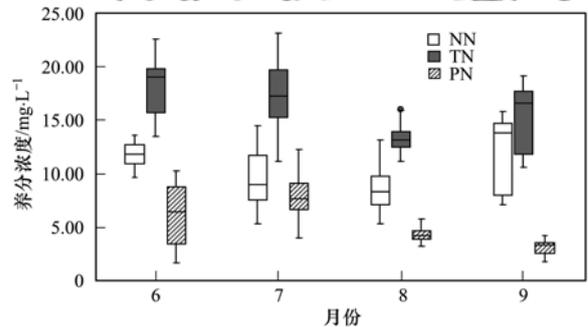


图6 小流域雨季养分浓度季节特征

Fig. 6 Characteristics of seasonal nutrient concentrations in watershed

根据国家地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)<sup>[19]</sup>，小流域径流的氨氮、总磷浓度均未超过 III 类标准限值，总氮最低浓度已超过 V 类标准。小流域水体的主要超标项目是总氮，属劣 V 类水质，6、7 月水质状况更差。

小流域雨季降雨期间和非降雨期间养分浓度如图 7 所示。对其进行多重比较 (LSD)，降雨径流和非降雨期间，NN 和 PN 养分浓度差异性显著 ( $P < 0.05$ )。其中，AN、PN 在降雨期间浓度较大，而 NN 在非降雨期间浓度较大。氨氮、总磷浓度在降雨和非降雨期间均未超过地表水水质 III 类标准，而总氮在两个时段均超地表水 V 类标准。降雨和非降雨期间，小流域水体在均为劣 V 类水质。

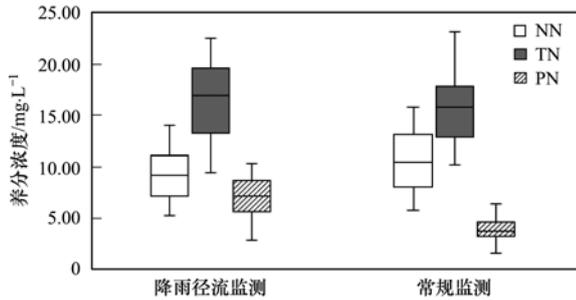


图7 小流域雨季不同时期养分浓度特征

Fig. 7 Characteristics of nutrient concentrations in different periods in watershed during rainy season

表1 典型降雨特征

Table 1 Characteristics of rainfalls under different conditions

降雨日期	降雨量/mm	降雨历时/h	最大雨强/mm·min <sup>-1</sup>	取样次数
2016-07-14	65.4	4.3	1.85	14
2016-07-19	51.4	11	0.45	23

值)比较,径流 I 比径流 II 提高了 60% 和 66%,降雨强度影响水体养分浓度大小,且降雨强度越大,水体养分浓度越大.两场径流过程硝态氮浓度与径流量表现为负相关,其中径流 II 表现显著 ( $P < 0.01$ ),氨氮、总磷输出浓度与降雨量显著相关(径流 I  $P < 0.01$ ; 径流 II  $P < 0.05$ ).

两场降水径流过程养分输出负荷见表 2. 径流 I、II 过程总氮负荷分别为 49.98 kg 和 111.19 kg,硝态氮、颗粒态氮占氮素输出 50% 左右,是氮素输出的主要形式. 径流 I 中,颗粒态氮占氮素输出的比例更高甚至超过了硝态氮,说明降雨强度影响颗

表2 典型降雨径流养分流失负荷

Table 2 Nutrient loss load in two rainfall events

降雨事件	负荷/kg				
	总氮	硝态氮	颗粒态氮	氨氮	总磷
径流 I	49.98	22.76	25.75	1.47	0.82
径流 II	111.19	56.19	52.66	2.35	1.68

### 2.2.2 典型降雨径流的氮磷输出过程

以累积污染负荷和累积径流量绘制的  $M(V)$  无量纲累积曲线可以直观表征各养分随径流输出过程(图 9). 径流 I, 氨氮、颗粒态氮和总磷的输出累积比例均大于其对应的径流量比例,表明这些养分输出主要在降雨径流前期;硝态氮、总氮的负荷累积比例小于对应的径流量比例,说明硝态氮、总氮输出主要分布在降雨径流后期. 径流 II 中,氮、磷在降水径流初期输出不明显,中期随雨强增大,氨氮和总磷径流输出效应逐渐显现.

进一步对比分析两场降雨径流,径流 I 中  $MEF_{30}$  值,  $TP > AN > PN > TN > NN$ , 体现径流 I 养

## 2.2 典型降雨径流氮磷输出特征

### 2.2.1 典型降雨径流氮磷输出量

选取两场典型降雨养分输出过程分析,其一为短时强降雨,其二降雨历时较长,平均雨强较小,两场降雨特征见表 1. 两场降雨径流养分输出过程分别为径流 I 和径流 II.

两场降水径流过程养分浓度特征如图 8 所示. 其中,径流 I 和 II 的累积径流量为 3 054 m<sup>3</sup> 和 10 338 m<sup>3</sup>. 径流 I 中各养分浓度均与径流 II 差异显著 ( $P < 0.01$ ). 其中,总氮和总磷养分浓度(平均

粒态氮输出水平. 降水径流过程中磷素输出较少,主要是溶解态磷随径流输出.

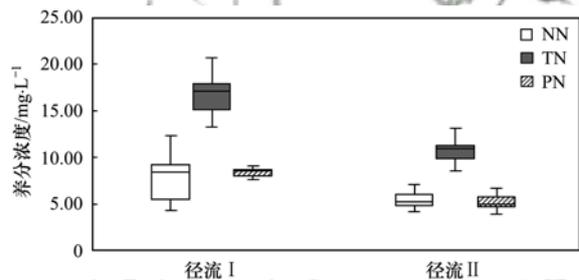


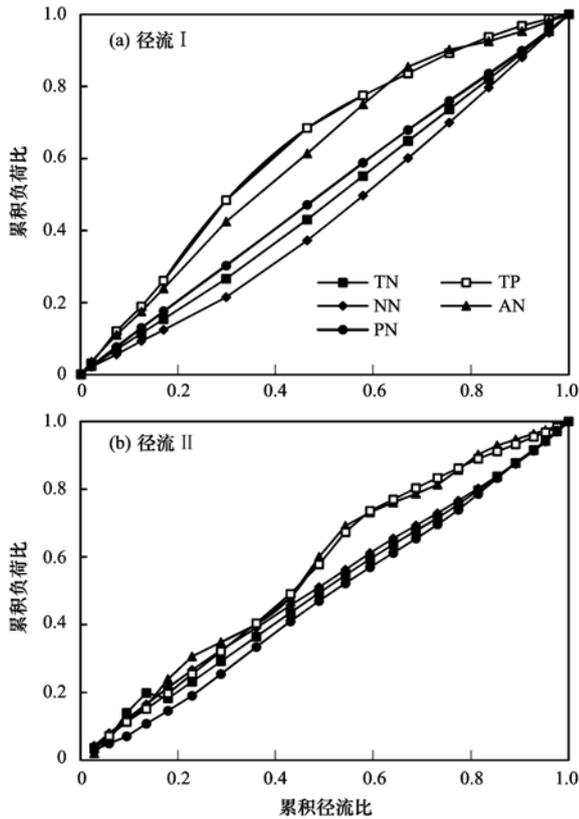
图8 两场降水径流养分浓度特征

Fig. 8 Characteristics of nutrient concentrations in runoff in two rainfall events

分输出初期效应,养分中流失顺序为  $TP > AN > PN$ ; 径流 II 中  $MEF_{30}$  值,  $AN > NN > TP > TN > PN$ . 而径流 II 中,累积径流比为 30% 时,各养分初期效应均不明显,约在径流比为 40% 时,氨氮、总磷才体现出显著的初期效应,土壤养分的冲刷程度顺序为  $TP > AN > PN$ . 养分总磷是降水过程中受初期冲刷程度最大的养分,氨氮次之.

## 3 讨论

养分流失量与降雨量的显著相关性表明降水是氮磷流失的主要动力,且降雨条件(降雨量、降雨强度及降雨历时等)影响土壤养分流失及流失形

图9 两场降雨  $M(V)$  曲线图Fig. 9 The  $M(V)$  curves of two rainfall events

态<sup>[20]</sup>. 兰陵溪小流域雨季降雨多分布在6月下旬到8月上旬, 该段时间内降雨量和径流量占雨季降雨量和总径流量的近90%. 也是土壤养分氮磷的高输出期, 输出载荷占雨季总氮和总磷总流失的90%. 降雨期间, 小流域径流土壤养分浓度普遍高于非降雨期间, 且养分浓度与降雨强度呈正相关. 小流域雨季氮素流失的主要形式是硝态氮和颗粒态氮, 大致占氮总流失量60%和40%. 总磷受降水初期冲刷程度最强, 其流失量却很小, 负荷流失受降雨强度影响, 这符合前期兰陵溪小流域监测研究结果, 磷素主要流失形式是颗粒态磷经由地表径流携带<sup>[21]</sup>. 实施退耕还林工程以来, 兰陵溪小流域耕地面积比例减少至1.2%<sup>[22]</sup>, 且茶园、果园种植大量实施坡改梯等高种植措施<sup>[12]</sup>, 耕地采用免耕、覆盖耕作、垄耕等保护性耕作措施, 有效减少了泥沙以及易吸附在泥沙上被携带的颗粒态磷的流失.

小流域基流和地表径流是总径流的主要组成部分. 兰陵溪小流域氮、磷流失均以降雨地表径流为主, 且6、7月地表径流量显著高于9月. 小流域降雨径流监测和常规监测中, 总氮流失所占比例分别为65%和35%, 总磷流失的比例接近70%和30%, 养分输出主要经由降雨形成的地表径流流失. 前期

也有研究发现流域氮、磷输出途径以地表径流为主, 且输出负荷季节性规律显著<sup>[23]</sup>. 此外, 基流对小流域氮、磷流失也有重要贡献. 有研究指出, 亚热带地区旱季基流对总径流的贡献可达48.0%~96.0%<sup>[24]</sup>, 基流水质和水量直接影响流域的生态水文环境<sup>[25]</sup>. 基于小流域单元长期定位监测, 开展三峡库区关于地表径流和基流过程的氮磷迁移贡献的研究, 将有助于提高对流域农业面源污染物输出及其生态水文过程的认知.

三峡水库支流回水区水体TN和TP浓度比在10:1~25:1时, 藻类生长与氮、磷浓度存在线性相关关系<sup>[26]</sup>. 小流域水体TN/TP比值在9月达到最低, 平均值为455.17, 远超三峡水库入库支流TN/TP比值适合藻类生长的标准<sup>[27]</sup>, 初步判定小流域水体属氮限制性水体. 兰陵溪小流域径流水体中氨氮、总磷满足地表水Ⅲ类标准要求, 而总氮浓度长期严重超标, 无论是按月份还是降雨状况分析, 流域水体均属劣V类水体. 氮素尤其是颗粒态氮和硝态氮通过河道径流途径进入库区湖泊的风险较大, 因氮素渗透引起水体富营养化的风险较高<sup>[28]</sup>.

#### 4 结论

(1) 小流域养分流失随降雨量分布具有阶段性特征, 表现为初期(6月下旬之前)和末期(8月上旬之后)养分输出平稳, 而丰水期(6月下旬到8月上旬)输出迅猛增长, 贡献雨季88.0%的总氮和89.9%的总磷流失.

(2) 硝态氮对降雨的响应程度小于氨氮、总磷和颗粒态氮, 氮、磷流失主要是通过降雨造成的地表径流过程.

(3) 降雨径流过程中, 硝态氮浓度与径流量表现负相关, 初期效应不显著; 氨氮和总磷与降雨量显著正相关, 初期效应显著.

(4) 本流域水体初步判定为氮限制性水体, 雨季降雨或非降雨期间属于劣V类地表水水质, 增加了库区缓流水体富营养化的风险.

#### 参考文献:

- [1] 吕怡兵, 宫正宇, 连军, 等. 长江三峡库区蓄水后水质状况分析[J]. 环境科学研究, 2007, 20(1): 1-6.  
Lv Y B, Gong Z Y, Lian J, et al. Status of water quality in the Three Gorges after the water storage period [J]. Research of Environmental Sciences, 2007, 20(1): 1-6.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 2015 长江三峡工程生态与环境监测公报 [EB/OL]. <http://www.mep.gov.cn/hjzl/shj/sxgb/>, 2016-05-27.
- [3] 傅伯杰, 徐延达, 吕一河. 景观格局与水土流失的尺度特征

- 与耦合方法[J]. 地球科学进展, 2010, **25**(7): 673-681.
- Fu B J, Xu Y D, Lv Y H. Scale characteristics and coupled research of landscape pattern and soil and water loss [J]. *Advances in Earth Science*, 2010, **25**(7): 673-681.
- [4] 蔡庆华, 胡征宇. 三峡水库富营养化问题与对策研究[J]. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 7-11.
- Cai Q H, Hu Z Y. Studies on eutrophication problem and control strategy in the Three Gorges Reservoir[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 7-11.
- [5] 胡舒, 张旭, 张晓凤, 等. 奥林匹克森林公园典型人工林地非点源污染输出特征分析[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(1): 61-68.
- Hu S, Zhang X, Zhang X F, *et al.* The characteristics of non-point source pollution in typical artificial forest lands in Beijing Olympic Forest Park[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, **31**(1): 61-68.
- [6] 涂安国, 尹炜, 陈德强, 等. 丹江口库区典型小流域地表径流氮素动态变化[J]. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(8): 926-932.
- Tu A G, Yin W, Chen D Q, *et al.* Dynamic change research of nitrogen loss from surface runoff in the typical small watershed of Danjiangkou Reservoir Area[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, **19**(8): 926-932.
- [7] 韩建刚, 李占斌, 钱程. 紫色土小流域土壤及氮磷流失特征研究[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(2): 423-427.
- Han J G, Li Z B, Qian C. Nitrogen, phosphorous and soil losses by runoff in a farmland-dominated watershed in purple soil region [J]. *Ecology and Environment*, 2010, **19**(2): 423-427.
- [8] Chen C L, Gao M, Xie D T, *et al.* Spatial and temporal variations in non-point source losses of nitrogen and phosphorus in a small agricultural catchment in the Three Gorges Region[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, **188**(4): 257.
- [9] Weld J L, Parsons R L, Beegle D B, *et al.* Evaluation of phosphorus-based nutrient management strategies in Pennsylvania [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, **57**(6): 448-454.
- [10] 曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应[J]. 环境科学, 2012, **33**(10): 3390-3396.
- Zeng L X, Huang Z L, Xiao W F, *et al.* Nitrogen and phosphorus loss in different land use types and its response to environmental factors in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(10): 3390-3396.
- [11] Jayakrishnan R, Srinivasan R, Santhi C, *et al.* Advances in the application of the SWAT model for water resources management [J]. *Hydrological Processes*, 2005, **19**(3): 749-762.
- [12] 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等. 农业管理措施对三峡库区流域非点源污染削减效果评价[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(6): 1530-1536.
- Huang Z L, Tian Y W, Xiao W F, *et al.* Reduction effects of agricultural management practices on non-point source pollution in a watershed in Three Gorges Reservoir Area [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, **21**(6): 1530-1536.
- [13] 秦耀民, 胥彦玲, 李怀恩. 基于 SWAT 模型的黑河流域不同土地利用情景的非点源污染研究[J]. 环境科学学报, 2009, **29**(2): 440-448.
- Qin Y M, Xu Y L, Li H E. SWAT model of non-point source pollution under different land use scenarios in the Heihe river basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, **29**(2): 440-448.
- [14] 丁相毅, 周怀东, 王宇晖, 等. 基于分布式水文模型的三峡库区污染负荷对气候变化的响应研究[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(8): 1991-1998.
- Ding X Y, Zhou H D, Wang Y H, *et al.* Impacts of climate change on pollution load in the Three Gorges Reservoir based on a distributed hydrological model [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **32**(8): 1991-1998.
- [15] 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 等. 淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 547-554.
- Zhou L, Xu J G, Sun D Q, *et al.* Spatial heterogeneity and classified control of agricultural non-point source pollution in Huaihe River Basin[J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(2): 547-554.
- [16] 陈克亮, 朱晓东, 朱波, 等. 川中紫色土区旱坡地非点源氮输出特征与污染负荷[J]. 水土保持学报, 2006, **20**(2): 54-58.
- Chen K L, Zhu X D, Zhu B, *et al.* Load and output character on non-point nitrogen from purple soil farmlands in hilly area of Central Sichuan Basin [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, **20**(2): 54-58.
- [17] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] IWA. Specialist group on use of microphysics in water pollution control[C]. *Constructed wetland for pollution control*. WA Publishing, 2000.
- [19] GB 3838-2002. 地表水环境质量标准[S].
- [20] 高海鹰, 黄丽江, 张奇, 等. 不同降雨强度对农田土壤氮素淋失的影响及 LEACHM 模型验证[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(4): 1346-1352.
- Gao H Y, Huang L J, Zhang Q, *et al.* Nitrogen leaching under different rainfall intensities for agricultural soils-laboratory experiments and numerical modeling using LEACHM[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, **27**(4): 1346-1352.
- [21] 曾立雄, 肖文发, 黄志霖, 等. 三峡库区兰陵溪小流域养分流失特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 3035-3042.
- Zeng L X, Xiao W F, Huang Z L, *et al.* Characteristics of nutrient loss of Lanlingxi watershed in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(8): 3035-3042.
- [22] 吴东, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡库区小流域土地利用结构变化及其氮素输出控制效应: 以兰陵溪小流域为例[J]. 环境科学, 2016, **37**(8): 2940-2946.
- Wu D, Huang Z L, Xiao W F, *et al.* Land use structure change and its control effect of nitrogen output in a small watershed of Three Gorges Reservoir Area: a case study of Lanlingxi watershed [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(8): 2940-2946.
- [23] 崔超. 三峡库区香溪河流域氮磷入库负荷及迁移特征研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- Cui C. Characteristics of nitrogen and phosphorus loadings into receiving water body and migration in Xiangxi River Basin, Three Gorges Reservoir Region [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [24] 高东东, 吴勇, 王橦樵. 山地森林系统小流域降雨过程水循环与地下水补给[J]. 水文地质工程地质, 2014, **41**(1): 7-

14.  
Gao D D, Wu Y, Wang X T. Water cycle and groundwater recharge of small watershed rainfall process in a mountain forest system[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2014, **41**(1): 7-14.
- [25] 马秋梅, 李玮, 王毅, 等. 基流对亚热带农业流域氮素输出的贡献研究[J]. *环境科学*, 2016, **37**(4): 1371-1378.  
Ma Q M, Li W, Wang Y, *et al.* Contribution of base flow to total nitrogen loading in subtropical agricultural catchments [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(4): 1371-1378.
- [26] 张晟, 李崇明, 郑坚, 等. 三峡水库支流回水区营养状态季节变化[J]. *环境科学*, 2009, **30**(1): 64-69.  
Zhang S, Li C M, Zheng J, *et al.* Seasonal variation of trophic states in backwater areas of tributaries in Three Gorges Reservoir [J]. *Environmental Science*, 2009, **30**(1): 64-69.
- [27] 张晟, 郑坚, 刘婷婷, 等. 三峡水库入库支流水体中营养盐季节变化及输出[J]. *环境科学*, 2009, **30**(1): 58-63.  
Zhang S, Zheng J, Liu T T, *et al.* Seasonal variation and output of nutrient in tributaries of Three Gorges Reservoir [J]. *Environmental Science*, 2009, **30**(1): 58-63.
- [28] 冯源嵩, 林陶, 杨庆媛. 百花湖周边城市近郊小流域氮、磷输出时空特征[J]. *环境科学*, 2014, **35**(12): 4537-4543.  
Feng Y S, Lin T, Yang Q Y. Temporal and spatial characteristic of nitrogen and phosphorus output in the suburb watershed around the Baihua Lake [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(12): 4537-4543.

## 《环境科学》多项引证指标名列前茅

2017年10月31日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2016年度中国科技论文统计结果.统计结果显示《环境科学》2015年度总被引频次10 024,影响因子1.878,多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.



## CONTENTS

Preface .....	HAO Zheng-ping ( 477 )
VOCs Emission from Motor Vehicles in China and Its Impact on the Atmospheric Environment .....	CHEN Tian-zeng, GE Yan-li, LIU Yong-chun, <i>et al.</i> ( 478 )
Quantification of the Influence of Industrial Emissions on Volatile Organic Compounds (VOCs) Using PMF Model; A Case Study of Jiangbei Industrial Zone in Nanjing .....	..... HU Kun, WANG Ming, ZHENG Jun, <i>et al.</i> ( 493 )
Source Analysis of Volatile Organic Compounds in the Nanjing Industrial Area and Evaluation of Their Contribution to Ozone .....	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jun-xiu, <i>et al.</i> ( 502 )
Ozone Formation Potential and Priority Species of VOCs in an Industrial Park .....	WU Lei-dan, WANG Xiu-yan, YANG Wen, <i>et al.</i> ( 511 )
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of a Petrochemical Industrial Park During Autumn in China .....	HU Tian-peng, LI Gang, MAO Yao, <i>et al.</i> ( 517 )
Characteristics of VOCs Pollution in the Winter Atmosphere of a Typical Petrochemical Industry Park .....	MAO Yao, LI Gang, HU Tian-peng, <i>et al.</i> ( 525 )
Emission Inventory and Pollution Characteristics of Industrial VOCs in Hangzhou, China .....	LU Bin, HUANG Cheng, LU Qing, <i>et al.</i> ( 533 )
Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao .....	HU Xiao-yu, LIU Hang, WANG Nai-yu, <i>et al.</i> ( 543 )
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province .....	..... YANG Zhong-ping, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> ( 551 )
Stench Sources and Impact Analysis in Automobile Making .....	SHI Tian-li, ZHANG Wei-xia, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> ( 557 )
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs Fugitively Emitted from Typical Brewers .....	GAO Zhan-qi, HU Guan-ju, WANG Hui, <i>et al.</i> ( 567 )
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in Chengdu .....	LI You-ping, TANG Ya, FAN Zhong-yu, <i>et al.</i> ( 576 )
Indoor Formaldehyde and Benzene Series in Shanghai Residences and Their Associations with Building Characteristics and Lifestyle Behaviors .....	..... JIANG Qiao-yun, LIU Ping-ping, WANG Xue-ying, <i>et al.</i> ( 585 )
Emission Inventory of Anthropogenically Sourced VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Jiangsu Province .....	XIA Si-jia, LIU Qian, ZHAO Qiu-yue ( 592 )
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City .....	CHEN Xiao-fang, ZHANG Wei-xia, CHEN Bing-xu, <i>et al.</i> ( 600 )
Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014 .....	LIU Yan, LI Li, AN Jing-yu, <i>et al.</i> ( 608 )
VOCs Emission Inventory of Service Stations in a Subcenter (Tongzhou District) of the City of Beijing .....	HUANG Yu-hu, HU Wei, LI Bei-bei, <i>et al.</i> ( 618 )
Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel .....	HU Zhi-yuan, LIN Biao-qi, HUANG Cheng, <i>et al.</i> ( 626 )
Treatment of the Waste Gas Containing Methyl <i>tert</i> -Butyl Ether via a Biotrickling Filter .....	CHU Qi-ying, YAO Lu-lu, LÜ Xiong-biao, <i>et al.</i> ( 633 )
Composite CVOCs Removal in a Combined System of Nonthermal Plasma and a Biotrickling Filter .....	GUO Hai-qian, MIAO Jing-jing, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> ( 640 )
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs) in Qiantang River's Hangzhou Section During a Water Odor Pollution Event .....	CHEN Feng, TANG Fang-liang, XU Jian-fen, <i>et al.</i> ( 648 )
Occurrence and Spatial Distribution of Volatile Organic Compounds in Urban Drinking Water Distribution Systems .....	XU Mei-jia, WANG Hai-liang, LI Chun-mei, <i>et al.</i> ( 655 )
Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Different Commuting Modes .....	TONG Rui-peng, ZHANG Lei ( 663 )
Source Analysis and Environmental Health Risk Assessment of VOCs in Furniture Manufacturing .....	TONG Rui-peng, ZHANG Lei, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> ( 672 )
Spatio-temporal Distribution Characteristics of PM <sub>2.5</sub> and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> in Beijing .....	..... YANG Wen-tao, YAO Shi-qi, DENG Min, <i>et al.</i> ( 684 )
Quantification of Methane Ebullition Flux from Small Ponds Using the Inverted-Funnel Method .....	ZHANG Xiu-fang, XIAO Wei, ZHANG Mi, <i>et al.</i> ( 691 )
Contamination Levels and Exposure Risk via Drinking Water from Perfluoroalkyl Acids in Seven Major Drainage Basins of China .....	..... WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, WANG Yan-ping, <i>et al.</i> ( 703 )
Spatio-temporal Distribution and Source Apportionment of Nitrogen in Rivers of Tieling .....	YANG Li-biao, LEI Kun, QIAO Fei, <i>et al.</i> ( 711 )
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Rivers of Western Sichuan Plateau Based on EEM-PARAFAC Analysis .....	..... LIU Yan-yang, QIN Ji-hong, LIU Chen, <i>et al.</i> ( 720 )
Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk of Surface Waters in the City of Ningbo, China .....	XU Mei-juan, BAO Bo, CHEN Chun-yan, <i>et al.</i> ( 729 )
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake .....	WU Lei, LIU Gui-jian, ZHOU Chun-cai, <i>et al.</i> ( 738 )
Spatial Distribution, Sources and Bioavailability of Heavy Metals in the Surface Sediments of Longjiang River, Southern China .....	..... LAN Xiao-long, NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, <i>et al.</i> ( 748 )
Mechanism on Enhanced Nitrogen Removal in Municipal Secondary Effluent via Internal-Electrolysis Constructed Wetlands at Low Temperature in Winter .....	..... ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, WANG Ju, <i>et al.</i> ( 758 )
Dynamic Replenishment Process of Nutrients in Tributary of Channel Reservoir .....	XU Ya-qian, XU Piao, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> ( 765 )
Effect of the Rainfall on Extinction of Cyanobacteria Bloom and Its Mechanism Analysis .....	LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> ( 774 )
Relationship Between Macrophyte Communities and Macroinvertebrate Communities in an Urban Stream .....	QU Xiao-dong, YU Yang, ZHANG Min, <i>et al.</i> ( 783 )
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area .....	..... ZHANG Lin, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> ( 792 )
Screening Method of Priority Control Pollutants in Groundwater Based on Contamination Assessment .....	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, <i>et al.</i> ( 800 )
Effect of Sulfur to Quartz Sand Ratios on the Removal of High-Concentration Perchlorate in Packed-Bed Reactors .....	TAO Hua-qiang, SHAO Dong-hai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> ( 811 )
Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) by Activated Carbon/Macromolecule Composite Hydrogel .....	KONG Yan, ZHUANG Yuan, SHI Bao-you, <i>et al.</i> ( 819 )
Adsorption Performance and Mechanism of HZO@SGH for the Removal of Fluoride from Aqueous Solution .....	MA Fu-zhen, ZHOU Shao-qi, LIU Ze-jun, <i>et al.</i> ( 828 )
Mechanism of MgO/GAC Catalyzed Ozonation of Organic Compounds .....	XU Shan-shan, LIN Cun-wang, DING Ya-lei, <i>et al.</i> ( 838 )
Ozonation Characteristics of Low Coagulability Organic Matter from the Secondary Effluent of WWTPs .....	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, <i>et al.</i> ( 844 )
Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology .....	MENG Xiao-rong, WANG Cong-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> ( 852 )
Lab-scale ANAMMOX Process in a Wastewater Treatment Plant .....	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> ( 859 )
Effect of Aeration Rate on Shortcut Nitrification Recovery in Intermittent Aeration Mode .....	LIU Hong, NAN Yan-bin, LI Hui, <i>et al.</i> ( 865 )
Effect of Aerobic/Phosphorus Granules on Start-up of Partial Nitrification Granular Sludge .....	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, <i>et al.</i> ( 872 )
Microbial Communities and Sludge Specific Resistance in Two SBRs Treating Leachate .....	CAI Li-yun, HUANG Ze-bin, XU Zi-wei, <i>et al.</i> ( 880 )
Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Urbanization Process of Topsoil .....	YAO Hong, ZHANG Shi-chao, LIU Ming-li, <i>et al.</i> ( 889 )
Spatial Variability and Contamination of Arsenic in Soils of Xijiang River Basin .....	LIU Chang, SONG Bo, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> ( 899 )
Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss .....	BAI Xiu-ling, MA Jian-hua, SUN Yan-Li, <i>et al.</i> ( 909 )
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in a Soil-Rice System in an E-waste Dismantling Area .....	YIN Yi-meng, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i> ( 916 )
Residue Levels and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Rice from Shanghai .....	MENG Yuan, LIU Cui-cui, QIU Yan-ling, <i>et al.</i> ( 927 )
Effects of Tetracycline Antibiotics on Growth and Characteristics of Enrichment and Transformation in Two Vegetables .....	CHI Sun-lin, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong, <i>et al.</i> ( 935 )
Bioavailability of Silicon Fertilizer Coupled Water Management on Soil Bioavailability and Cumulative Control of Rice in Compound Contaminated Paddy Soils .....	..... LI Yuan-xing-lu, YE Chang-cheng, LIU Yu-ling, <i>et al.</i> ( 944 )
Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors .....	YAN Xiao, LI Shu-yuan, WANG Mei-huan, <i>et al.</i> ( 953 )