

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.10
第41卷 第10期

目次

青岛春节期间大气污染特征及烟花燃放一、二次贡献分析	方天歌, 姚小红, 孟赫, 陈春强 (4345)
基于在线观测的天津市 PM _{2.5} 污染特征及来源解析	肖致美, 徐虹, 李立伟, 李鹏, 元洁, 唐邈, 杨宁, 郑乃源, 陈魁 (4355)
2017~2018年北京大气 PM _{2.5} 中水溶性无机离子特征	李欢, 唐贵谦, 张军科, 刘琴, 闫广轩, 程萌田, 高文康, 王迎红, 王跃思 (4364)
北京南部城区 PM _{2.5} 中碳质组分特征	董贵明, 唐贵谦, 张军科, 刘琴, 闫广轩, 程萌田, 高文康, 王迎红, 王跃思 (4374)
成都市冬季3次灰霾污染过程特征及成因分析	冯小琼, 陈军辉, 尹寒梅, 徐雪梅, 熊文朋, 梅林德, 钱骏, 刘政 (4382)
南京北郊黑碳气溶胶分布特征及来源	谢锋, 林煜棋, 宋文怀, 鲍孟盈, 章炎麟 (4392)
2019年10~12月京津冀及周边“2+26”城市重污染减排效果评估	朱媛媛, 高愈霄, 汪巍, 鲁宁, 许荣, 刘冰, 李健军 (4402)
保定市大气污染变化趋势及特征	苟银寅, 张凯, 李金娟, 吕文丽, 竹双, 黎洁, 何珊珊, 郑悦, 支敏康 (4413)
郑州市 VOCs 组分排放清单及其臭氧生成潜势	卢轩, 张瑞芹, 韩跃钢 (4426)
郑州市少数民族运动会期间 O ₃ 及 VOCs 污染特征的演变和评估	赵金帅, 于世杰, 王楠, 马双良, 王维思, 尹沙沙, 李一丹, 张栋, 张瑞芹 (4436)
我国木器涂料及汽车涂料中挥发性有机物特征	柯云婷, 孙宇航, 成海荣, 刘锐源, 黄皓旻, 范丽雅, 叶代启 (4446)
典型脱硫工艺对燃煤锅炉烟气颗粒物的影响	张进生, 吴建会, 吕瑞鹤, 宋丹林, 黄凤霞, 张裕芬, 冯银厂 (4455)
不同居民燃煤炉具大气污染物排放差异性及减排分析	张熠晨, 薛陈利, 刘杰, 钟连红, 薛亦峰 (4462)
天津市 2017 年移动源高分时空分辨率排放清单	刘庚, 孙世达, 孙露娜, 金嘉欣, 房键旭, 宋鹏飞, 王婷, 吴琳, 毛洪钧 (4470)
四川省基于第二次污染源普查数据的人为源大气污染源排放清单及特征	徐晨曦, 陈军辉, 李媛, 何敏, 冯小琼, 韩丽, 刘政, 钱骏 (4482)
抗大气复合污染的城市森林植物初步筛选	李品, 卫妍妍, 冯兆忠 (4495)
宝鸡市绿植叶片重金属空间分布及污染特征	张军, 梁青芳, 高煜 (4504)
潮汕地区入海河流及水生生物中 PPCPs 分布特征及风险评估	秀措, 王尘辰, 吕永龙, 陆轶峰, 王聪, 张梦, 曹祥会 (4514)
泉州山美水库及入库河流沉积物中多溴二苯醚的时空分异和降解分析	韩文亮, 刘豫, 冯凯文 (4525)
长江上游典型山地农业小流域浅层地下水硝态氮时空变异特征及影响因素	江南, 周明华, 李红, 李子阳, 章熙峰, 朱波 (4539)
沱江流域典型农业小流域氮和磷排放特征	王宏, 徐娅玲, 张奇, 林超文, 翟丽梅, 刘海涛, 蒲波 (4547)
基于 DPeRS 模型的海河流域面源污染潜在风险评估	冯爱萍, 王雪蕾, 徐逸, 黄莉, 吴传庆, 王昌佐, 王洪亮 (4555)
降水空间异质性和非点源关键源区识别面积变化的影响	高晓曦, 左德鹏, 马广文, 徐宗学, 胡小红, 李佩君 (4564)
硅藻群落指示的近 50 年来大理西湖湖泊生态系统演变规律	张晨雪, 徐敏, 董一凡, 王荣, 方凤满 (4572)
海陆交互带土壤及河流沉积物中镉含量及形态分布特征	王芳婷, 陈植华, 包科, 赵信文, 孟宪萌, 黄长生 (4581)
内蒙古河套灌区排水干沟微塑料赋存特征及质量估算	王志超, 杨帆, 杨文焕, 李卫平, 杨建林, 秦一鸣, 李河 (4590)
透水/不透水格局特征对汇水单元径流污染的影响	姜智绘, 廖云杰, 谢文霞, 李佳, 房志达, 赵洪涛, 李叙勇 (4599)
铁铜双金属有机骨架 MIL-101(Fe, Cu) 活化双氧水降解染料性能	梁贺, 刘锐平, 安晓强, 刘会娟 (4607)
纳米 Cu ⁰ @Fe ₃ O ₄ 活化 PMS 降解对-硝基苯酚的协同反应机制	石清清, 蒲生彦, 杨犀 (4615)
紫外活化过硫酸盐降解水中三氯蔗糖动力学和机制	余韵, 陆金鑫, 吕贞, 彭明国, 徐彬焜, 杜尔登, 郑璐 (4626)
污水生物处理工艺低温下微生物种群结构	尚越飞, 王申, 宗倪, 杜海洲, 张鑫, 齐嵘, 杨敏 (4636)
不同 DN 与 PN-ANAMMOX 耦合工艺处理中晚期垃圾渗滤液的微生物群落分析	陆明羽, 李祥, 黄勇, 殷记强, 方文烨 (4644)
全程自养颗粒污泥快速启动及混合营养型脱氮性能分析	齐泽坤, 王建芳, 钱飞跃, 刘雨馨, 乔伟, 李小蝶 (4653)
不同低碳氮比废水中好氧颗粒污泥的长期运行稳定性	袁强军, 张宏星, 陈芳媛 (4661)
潮土细菌及真菌群落对化肥减量配施有机肥和秸秆的响应	吴宪, 王蕊, 胡荷, 修伟明, 李刚, 赵建宁, 杨殿林, 王丽丽, 王欣奕 (4669)
不同轮作模式下作物根际土壤养分及真菌群落组成特征	孙倩, 吴宏亮, 陈阜, 康建宏 (4682)
酒糟生物炭短期施用对贵州黄壤氮素有效性及细菌群落结构多样性的影响	张萌, 刘彦伶, 魏全全, 苟久兰 (4690)
稻油不同轮作模式对农田甲烷和氧化亚氮排放的影响	陈友德, 赵杨, 高杜娟, 罗先富, 崔婷, 童中权, 吴家梅 (4701)
解淀粉芽孢杆菌生物有机肥防控土壤氨挥发	杨亚红, 薛莉霞, 孙波, 张宝, 庄绪亮, 庄国强, 白志辉 (4711)
外源磷对镉胁迫下水稻生长及镉累积转运的影响	霍洋, 仇银燕, 周航, 胡雨丹, 邓鹏辉, 魏宾斌, 辜娇峰, 刘俊, 廖柏寒 (4719)
水稻不同生育期 As 胁迫下 As 累积关键生育期	邓鹏辉, 蔡雅琴, 周航, 刘雅, 杨文俊, 辜娇峰, 廖柏寒 (4726)
铅锌矿区玉米中重金属污染特征及健康风险评价	周艳, 万金忠, 李群, 黄剑波, 张胜田, 龙涛, 邓绍坡 (4733)
浙江省台州市电子垃圾拆解地多溴联苯醚浓度水平分布特征和迁移趋势	魏抱楷, 柳晨, 王英, 金军 (4740)
重庆市酉阳县南部农田土壤重金属污染评估及来源解析	王锐, 邓海, 严明书, 何忠库, 周皎, 梁绍标, 曾琴琴 (4749)
重庆市畜禽粪便及菜田土壤中四环素类抗生素生态风险评价	彭秋, 王卫中, 徐卫红 (4757)
《环境科学》征订启事 (4435) 《环境科学》征稿简则 (4445) 信息 (4606, 4625, 4732)	

沱江流域典型农业小流域氮和磷排放特征

王宏¹, 徐娅玲¹, 张奇¹, 林超文^{1*}, 翟丽梅², 刘海涛¹, 蒲波³

(1. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3. 成都土壤肥料测试中心, 成都 610041)

摘要: 小流域非点源污染氮和磷流失是河流水体污染的重要来源, 而且氮和磷流失强度与气候、人为活动有密切的关系。因此, 本文以长江上游沱江水系花椒沟小流域为研究对象, 对小流域径流量、氮磷流失浓度以及流失量进行定位连续监测, 结合降雨分析氮和磷输出变化特征及其响应过程。结果表明: ①小流域 2012 年和 2013 年的 7~9 月径流量分别为 $10.05 \times 10^5 \text{ m}^3$ 和 $3.34 \times 10^5 \text{ m}^3$, 分别占全年径流量的 76.58% 和 56.51%, 而且径流量与降雨量呈正相关关系; ②铵态氮最大排放浓度在 4~6 月, 2012 年和 2013 年最高分别能够达到 $11.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 流失风险期为 4~7 月, 2012 年和 2013 年流失量分别占全年流失量的 78.45% 和 62.24%; 总氮、硝态氮最大排放浓度、流失风险期都为 7~9 月, 硝态氮为总氮的最主要排放形式, 2012 年和 2013 年硝态氮最大排放浓度分别为 $6.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $11.43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 7~9 月流失量分别占全年流失量的 88.74% 和 65.55%; ③总磷、可溶性总磷和颗粒态磷流失风险期为 7~9 月, 颗粒态磷为总磷最主要的排放形式, 2012 年和 2013 年 7~9 月流失量占全年流失的 36% 和 68%, 且总磷中颗粒态磷的比例会受到降雨的影响。

关键词: 川中丘陵区; 三峡库区; 小流域; 降雨径流; 流失风险期

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)10-4547-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.202003213

Emission Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Typical Agricultural Small Watershed in Tuojiang River Basin

WANG Hong¹, XU Ya-ling¹, ZHANG Qi¹, LIN Chao-wen^{1*}, ZHAI Li-mei², LIU Hai-tao¹, PU Bo³

(1. Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Chengdu Soil and Fertilizer Testing Center, Chengdu 610041, China)

Abstract: The emission of nitrogen and phosphorus via non-point source pollution from a small watershed has become the main pollution source of river waters, while climatic conditions and human activities directly affect the changes in rainfall-runoff and types of land use that are closely related to nitrogen and phosphorus pollution. In this study, we explore the runoff loss, nitrogen and phosphorus concentration, and nitrogen and phosphorus emission in Huajiaogou small watershed on the upper reaches of Yangtze River. The rainfall, runoff, and temporal changes of nitrogen and phosphorus were analyzed using the continuous position monitoring data. The results showed that: ① the runoff volumes were $10.05 \times 10^5 \text{ m}^3$ and $3.34 \times 10^5 \text{ m}^3$ from July 1st to September 30th, accounting for 76.58% and 56.51% in 2012 and 2013, respectively, and they were positively correlated to rainfall. The peak concentrations of ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) from April 1st to June 30th were $11.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $4.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in 2012 and 2013, respectively. ② The $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ emission risk period was from July 1st to September 30th, accounting for 78.45% and 62.24% in 2012 and 2013, respectively. The peak concentration and emission risk period of total nitrogen (TN) and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) were from July 1st to September 30th, and $\text{NO}_3^- \text{-N}$ was the main form of the total nitrogen emission. The peak concentration of $\text{NO}_3^- \text{-N}$ was $6.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $11.43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in 2012 and 2013, respectively, and the loss in $\text{NO}_3^- \text{-N}$ from July 1st to September 30th accounted for 88.74% and 65.55% in 2012 and 2013, respectively. ③ The emission risk period of total phosphorus (TP), dissolved total phosphorus (DTP), and particulate phosphorus (PP) was also from July 1st to September 30th, and the particulate phosphorus was the main form of the total phosphorus emission. The particulate phosphorus emission from July 1st to September 30th accounted for 36% and 68% in 2012 and 2013, respectively, and the ration of particle phosphorus to total phosphorus was easily affected by rainfall.

Key words: purple hilly area of Sichuan; Three Gorges Reservoir area; small watershed; rainfall-runoff; emission risk period

沱江流域位于三峡库区的上游,其水质对三峡库区甚至整个长江流域水环境都有至关重要的作用。但是近年来,三峡库区的水环境问题日益频发,部分支流富营养化问题、水华现象频繁发生^[1~3]。沱江流域位于四川省中部,流域内的土壤主要为紫色土,质地松软,极易造成水土流失^[2,4]。此外,沱江流域人口密度高、人均耕地面积少和土地利用强度大,再加上森林覆盖率比较低、养殖规模大养殖方式粗

放、农田肥料农药用量高,导致流域周边非点源污染问题非常突出^[5~7]。因此准确监测流域内的非点源

收稿日期: 2020-03-21; 修订日期: 2020-04-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0800605); 四川省创新能力提升工程专项(2016GYSH-023); 省财政创新能力提升工程专项青年基金项目(2018QNJJ-018)

作者简介: 王宏(1988~),男,博士研究生,主要研究方向为农田面源污染防治、土壤污染与修复, E-mail: wang.hongde163@163.com

* 通信作者, E-mail: lcw-11@163.com

污染对区域氮磷排放的防控,保证区域和周边环境安全具有重要意义。

地表养分流失是促成小流域污染的主要原因,而且土壤物理性质、降雨强度、地形地貌、植被覆盖以及管理方式等影响地表养分流失^[3,4,8~12]。降雨是促成地表养分流失最主要的外部动力条件,一般而言,降雨量越大、降雨强度、雨滴直径越大,地表径流量、径流总量和泥沙流失量越多,地表养分流失也越多^[13]。但是不同类型的降雨对氮、磷流失浓度以及流失风险期的影响是不相同的。陈成龙等^[10]研究了三峡库区小流域稻田空间格局对氮磷流失的影响,发现小到中雨事件 TN 流失浓度明显升高,中到大雨事件 TP 浓度极易呈现跳跃性浮动。除降雨之外,田间施肥模式、灌溉量、种植模式等对氮和磷的影响也不同^[2,14~17]。例如,叶祖鑫等^[17]对洪泽湖支流流域非点源颗粒态磷的研究发现,蔬菜种植相比于玉米种植能够增加田间颗粒态磷的含量。因此,全面认识降雨、地形和土地利用等对小流域氮磷流失特征的影响,有助于揭示小流域面源污染形成机制,明确养分流失途径与载体,这对防治农业面源污染具有重要的理论与实际意义。

花椒沟小流域位于四川盆地紫色丘陵区,是沱江水系非常有代表性的一个小流域。该流域降水量较大且集中,水力冲蚀作用强烈,农田水土流失严重^[4,18]。华玲玲等^[3]的研究指出相比于模型模拟流域氮磷流失,模拟结果与实际监测存在比较大的差异,需要通过实际监测研究进行进一步验证。因此,本文以长江上游沱江水系花椒沟小流域为研究对象,通过连续监测的方法查明小流域氮和磷养分流失量及流失特征,以期为三峡库区甚至长江水系面源污染防治和水环境治理提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验布设在长江上游沱江水系花椒沟小支流的响水滩上段,属于四川省资阳市雁江区松涛镇的响水村、花椒村,是一个比较典型的农业小流域。花椒沟小流域地处东经 104°34'12"~104°35'19"、北纬 30°05'12"~30°06'44",海拔 395 m,该区多年平均降雨量为 965.8 mm,降雨最大 1 290.7 mm,最小 725.2 mm,全年 70% 降雨分布于 6~9 月,年均温 16.8℃,季节性干旱比较频繁,是典型的雨养农业区。花椒沟小流域土壤为遂宁组母质发育的紫色红砂土,质地较轻,pH 值为 7.28,土壤肥力不高。

花椒沟小流域面积 0.96 km²,具有唯一的进水

口和出水口,封闭性比较好。该流域耕地面积为 350 亩,主要有林地、耕地和园地,主要作物有水稻、油菜、玉米、牧草和柑橘;总人口为 188 人,养殖猪 120 头。通过农村生活、畜禽和农田这 3 个方面调查,发现农村生活污水、生活垃圾、畜禽粪便、农药及作物化肥过量施用是小流域内主要的污染源。

1.2 降雨、径流量监测方法

监测期间,降雨量和流域出口日径流量采用试验站水文站的自动监测数据进行采集。流域监测位置如图 1 所示,监测时段为 2012 年和 2013 年。

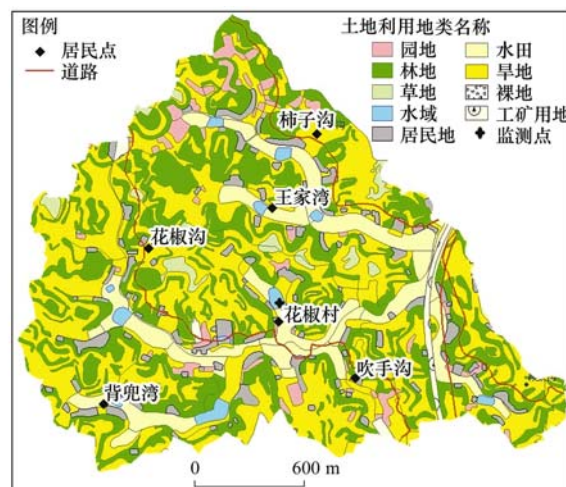


图 1 花椒沟小流域土地利用现状

Fig. 1 Land use in Huajiaogou small watershed

1.3 水质监测方法及点位选择

河流水质采样于花椒沟小流域出口,采样频率为每周 1 次采集水样,如遇到降雨则在降雨当天临时采集水样。水样采集后现场加酸保存,并于 24 h 内进行室内分析。水质测定指标包括总氮、铵态氮、硝态氮、总磷和可溶性总磷。总氮采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定(GB 11894-89),硝态氮使用酚二磺酸分光光度法测定(GB 7480-87),铵态氮使用纳氏试剂分光光度法测定(GB 7479-87),总氮减去硝态氮和铵态氮即为颗粒态氮。总磷和可溶性总磷采用钼酸铵分光光度法测定(GB 11893-89),总磷与可溶性总磷的差值为颗粒态磷^[19]。

1.4 污染量计算

污染量计算如公式(2):

$$P = Q_i \times c_j \quad (2)$$

式中, P 为监测时段河流径流污染物的排放量(kg), Q_i 为监测时段河流径流量(m³), c_j 为河流检测水质氮磷养分浓度(mg·L⁻¹)。

1.5 数据处理及分析

本试验数据采用 Excel 2007 分析软件分析,图表制作采用 SigmaPlot 8.0 制图软件。

2 结果与分析

2.1 降雨量及径流量变化特征

图2表示的是2012年和2013年全年的降雨与径流. 2012年全年的降雨量为844.4 mm, 其中7~9月雨季降雨为691.75 mm, 占全年降雨量的81.92%; 2013年全年的降雨量为937.35 mm, 其中7~9月雨季降雨为562.5 mm, 占全年降雨量的60%. 因此, 2012年和2013年几乎全年的降雨量都集中于7~9月. 对于径流量而言, 2012年花椒沟小流域全年的径流量高达 $14.04 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 其中7~9月径流量

为 $10.05 \times 10^5 \text{ m}^3$, 占全年径流量71.58%; 而2013年全年的径流量为 $5.91 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 其中7~9月径流量为 $3.34 \times 10^5 \text{ m}^3$, 占全年径流量56.51%. 可以发现径流量与降雨量呈现正相关关系. 2012年7~9月降雨量比2013年高, 导致全年径流量比2013年高. 另外, 2012年降雨量比2013年分散, 也是导致2012年径流量比2013年高的原因. 2012年和2013年4月中下旬开始降雨增多, 因而径流量也开始增多, 直到7月日径流量出现比较大的增多, 并且出现最大径流量, 分别为 $0.74 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.27 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. 2012年和2013年10月之后, 降雨量减少, 因此径流

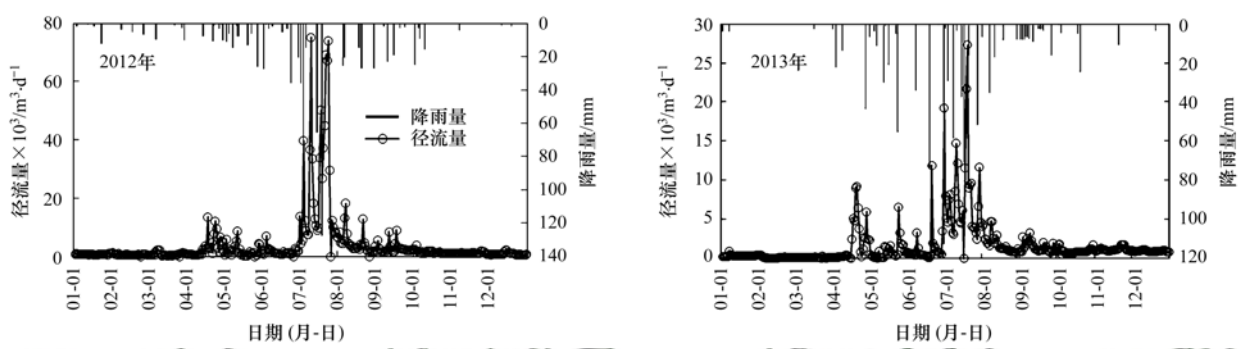


图2 花椒沟小流域年度径流量和降雨量变化
Fig. 2 Annual rainfall and runoff in Huajiaogou small watershed

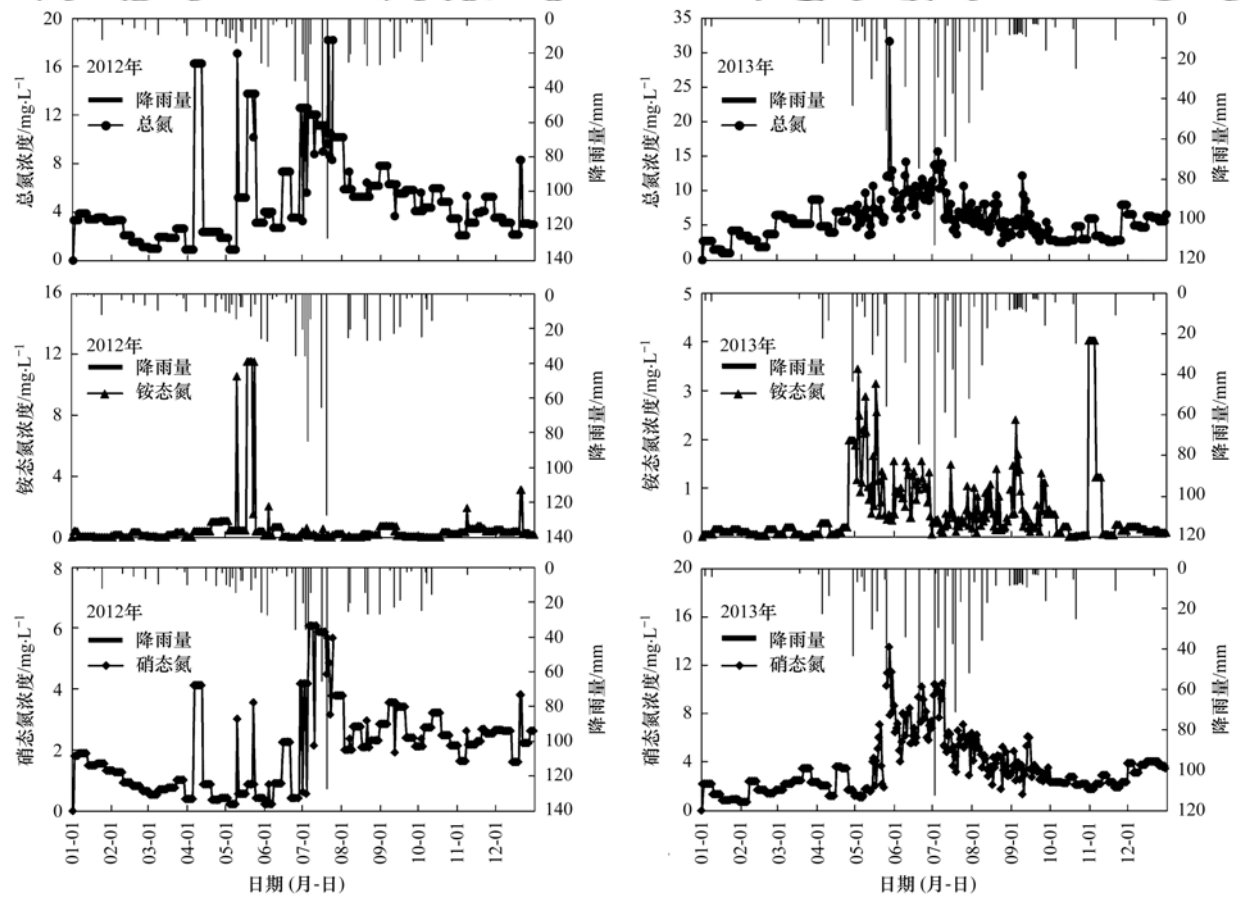


图3 花椒沟小流域不同氮污染物浓度变化
Fig. 3 Concentration variation of nitrogen discharge in Huajiaogou small watershed

量也趋于平缓,基本上分别接近于 $1\,004.5\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $1\,208.13\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$.

2.2 氮污染排放量及排放特征

2012年和2013年花椒沟小流域监测端氮素污染物浓度变化见图3.从中可以看出,从4月开始降雨量增多,总氮、铵态氮和可溶性总氮流失浓度增大,特别是铵态氮.2012年和2013年4和5月铵态氮浓度都出现了全年最大,分别为 $11.51\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4.44\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,5月之后铵态氮浓度逐渐降低.硝态氮相比铵态氮而言,流失浓度从6月开始增大直到7月达到最大流出浓度,2012年和2013年硝态氮流出最大浓度分别为 6.06 和 $11.43\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.结合铵态氮和硝态氮浓度的变化,总氮流出浓度从5月开始升高直到7月出现最大浓度峰值,2012年和2013年总氮流出浓度峰值为 $18.16\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $31.63\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.因此,根据流失浓度得到,花椒沟小流域铵态氮流失风险期在7月之前,大概在4~6月;总氮和硝态氮流失风险期在7月之后,大概在7~9月.

2012年和2013年总氮、铵态氮、硝态氮流失量及流失情况见表1.从中可以看出,2012年和2013年总氮、铵态氮和硝态氮全年流失总量分别是 $11\,172.61\text{ kg}$ 和 $3\,869.71\text{ kg}$ 、 415.37 kg 和 271.31

kg 、 $4\,590.46\text{ kg}$ 和 $2\,668.65\text{ kg}$,2012年氮污染物的流失量大于2013年可能是因为2012年的7~9月的降雨比2013年大的原因.对于总氮而言,7~9月流失量分别占2012年和2013年全年流失的86.78%和59.29%,占全国总氮流失量一半以上,属于流失风险期.对于铵态氮而言,4~7月流失量分别占2012年和2013年全年流失的78.45%和62.24%.硝态氮相比于铵态氮流失风险期比较延后,主要发生在2012年和2013年的7~9月,流失量分别为88.74%和65.55%.通过铵态氮、硝态氮与总氮比例分析,发现2012年和2013年1~12月硝态氮所占的比例都是最多的,而且在7~9月的时候,硝态氮占总氮的比例在全年几乎是最高,说明花椒沟小流域总氮的流失形式主要以硝态氮形式流失,特别是在7~9月的时候;而花椒沟小流域总氮中铵态氮的流失比较小,而且主要集中在4~7月.此外,除硝态氮和铵态氮之外,总氮的流失还有一部分以颗粒态流失,2012年和2013年颗粒态氮的流失比例分别为51.9%和31.13%.2012年比2013年颗粒态流失比例高,可能是因为2012年降雨分散、降雨强度比较大,导致颗粒态氮流失量比较大.

表1 花椒沟小流域氮污染物流失量及流失情况

Table 1 Change in different forms of nitrogen discharge in Huajiaogou small watershed

月份	TN/ $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$		$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$		$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{TN}/\%$		$\text{NO}_3^--\text{N}/\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$		$\text{NO}_3^--\text{N}/\text{TN}/\%$	
	2012年	2013年	2012年	2013年	2012年	2013年	2012年	2013年	2012年	2013年
1	85.00	25.92	1.66	1.22	1.95	4.71	39.29	13.63	46.22	52.60
2	38.40	9.43	2.37	0.26	6.16	2.79	17.15	3.73	44.65	39.50
3	44.40	21.23	2.88	0.25	6.48	1.17	18.23	8.74	41.05	41.18
4	283.32	400.11	75.93	40.19	26.80	10.04	69.21	180.46	24.43	45.10
5	305.15	252.10	117.56	25.69	38.52	10.19	40.31	153.61	13.21	60.93
6	270.97	463.03	29.01	26.93	10.71	5.82	62.10	308.63	22.92	66.65
7	8 305.60	1 740.67	103.38	76.06	1.24	4.37	3 474.45	1 377.76	41.83	79.15
8	876.84	307.42	14.76	28.69	1.68	9.33	341.75	223.92	38.98	72.84
9	511.75	246.29	28.32	28.98	5.53	11.77	257.47	147.60	50.31	59.93
10	225.32	93.57	5.14	11.94	2.28	12.76	124.22	64.36	55.13	68.78
11	138.08	145.04	19.10	26.96	13.84	18.59	82.61	78.73	59.83	54.28
12	87.78	164.89	15.27	4.14	17.40	2.51	63.67	107.48	72.54	65.19
全年	11 172.61	3 869.71	415.37	271.31	7.01	0.18	4 590.46	2 668.65	41.09	68.96

2.3 磷污染物排放量及排放特征

2012年和2013年花椒沟小流域径流磷污染物浓度变化见图4.从中可以看出,2012年总磷最高浓度分别出现在1、2、3和5月,最高浓度分别为 3.43 、 1.28 、 1.41 和 $1.29\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,而在6~12月时小流域总磷流出浓度变化比较稳定.与2012年相同,2013年总磷浓度变化也比较剧烈.2013年总磷污染物排放最高浓度分别出现在3、5、6和9月,最高浓度分别为 2.67 、 1.86 、 2.54 和 $3.04\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.对于可溶性总磷而言,2012年花椒沟小流域可溶性

总磷流出的浓度都比较低,只在3和8月流出浓度比较高,分别为 $0.48\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.2013年花椒沟小流域可溶性总磷流出浓度相比2012年而言都比较高,特别是在5和9月的时候,流出浓度分别为 $1.83\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.28\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.2012年颗粒态磷流出最高浓度出现在1月,为 $3.27\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;2013年颗粒态磷在3、6、8和9月都比较高,浓度分别为 2.46 、 1.96 、 1.30 和 $2.61\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.因此,小流域总磷、可溶性总磷、颗粒态磷流出浓度与降雨量并没有呈现比较明显的正相关关系,而且与可溶性总磷相

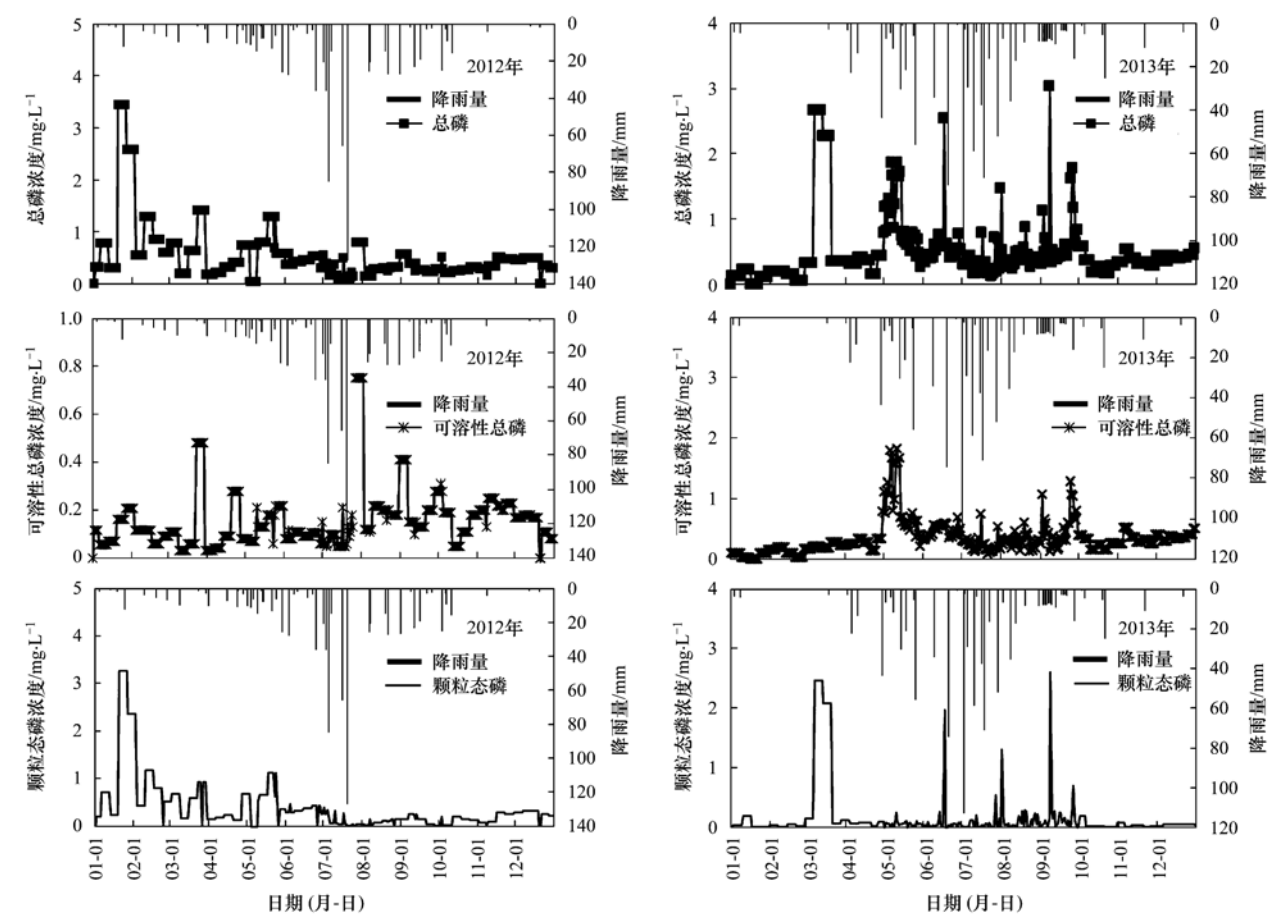


图4 花椒沟小流域不同磷污染物变化
Fig. 4 Concentration variation of phosphorus discharge in Huajiaogou small watershed

表2 花椒沟小流域磷污染物流失量及流失情况

月份	TP/kg·d ⁻¹		DP/kg·d ⁻¹		DP/TP/%		PP/kg·d ⁻¹		PP/TP/%	
	2012 年	2013 年	2012 年	2013 年	2012 年	2013 年	2012 年	2013 年	2012 年	2013 年
1	39.88	1.27	3.14	0.67	7.88	52.66	36.74	0.60	92.12	47.34
2	16.08	0.41	1.86	0.31	11.58	74.08	14.22	0.11	88.42	25.92
3	17.65	4.92	4.10	0.76	23.25	15.44	13.55	4.16	76.75	84.56
4	42.88	20.22	16.19	16.66	37.76	82.38	26.69	3.56	62.24	17.62
5	38.19	17.68	8.33	16.13	21.81	91.22	29.86	1.55	78.19	8.78
6	28.69	22.39	6.63	20.44	23.10	91.27	22.07	1.95	76.90	8.73
7	179.60	74.00	110.12	55.19	61.32	74.58	69.47	18.81	38.68	25.42
8	39.15	20.77	28.66	16.75	73.21	80.66	10.49	4.02	26.79	19.34
9	29.31	31.79	18.12	20.89	61.83	65.71	11.19	10.90	38.17	34.29
10	13.03	9.07	7.27	7.60	55.77	83.76	5.76	1.47	44.23	16.24
11	14.60	12.79	7.92	11.85	54.24	92.69	6.68	0.93	45.76	7.31
12	11.33	12.00	3.91	10.68	34.49	89.00	7.42	1.32	65.51	11.00
全年	470.39	227.32	216.26	177.92	45.97	78.27	254.13	49.40	54.03	21.73

比,颗粒态磷的流出浓度比较大。

2012 年和 2013 年花椒沟小流域磷污染物流失量及流失特征情况见表 2。从中可以看出,2012 年的总磷、可溶性总磷和颗粒态磷的流出量都比 2013 年多,这可能是 2012 年径流量比 2013 年高引起的。2012 年和 2013 年的 1~4 月,总磷、可溶性总磷和颗粒态磷流出量都比较偏低,特别是在 2013 年前 3 个月流出量更少。主要原因可能是在产流初期径流量较少,携带养分的能力有限,从而导致径流中磷素污染物流出量比较低^[20]。总磷、可溶性总磷和颗粒态磷流出量最多的时间主要集中在 2012 年和 2013 年的 7~9 月,分别占全年流出量的 53% 和 56%、73% 和 52%、36% 和 68%。2012 年和 2013 年的 10~12 月,总磷、可溶性总磷和颗粒态磷流出量减少,变化也比较平缓。通过可溶性总磷、颗粒态磷和总磷的对比分析,得到总磷的流出形式中,颗粒态磷占主

要比例,特别是在 2012 年的时候,1 月颗粒态磷的流出比例能够达到 92.12%。此外,2012 和 2013 年的 1~4 月颗粒态磷的流出比例都是非常高的,反而在 7~9 月时颗粒态磷的流出比例有所降低,可能是因为降雨强度会对颗粒态磷的流失特征有影响^[20,21]。

3 讨论

2012 年和 2013 年的 1~4 月降雨量比较少,因而径流量也比较少;而 7~9 月降雨频繁,径流量随之增大,几乎全年一半以上的径流发生在 7~9 月。此外,与 2013 年相比,虽然 2012 年全年降雨量小于 2013 年,但是 2012 年 7~9 月的降雨量远远大于 2013 年 7~9 月的降雨量,因此导致 2012 年径流量大于 2013 年径流量。林超文等^[22]分别对比 2007、2008 和 2009 年这 3 a 的径流系数与降雨之间的关系,发现 2007 年和 2009 年径流系数显著高于 2008 年是因为降雨比较集中而且降雨强度比较大。梁斐斐等^[8]着重研究了大雨、中雨和小雨对径流量的影响,发现大雨时的径流量分别为中雨和小雨时的 2.34 倍和 7.59 倍。因此,对于花椒沟小流域而言,重点关注 7~9 月降雨对径流的影响,对防治水土流失具有比较重要的意义。

花椒沟小流域铵态氮最大排放浓度发生在 4~6 月,并没有与降雨呈现比较明显的正相关关系,而 4~7 月铵态氮排放量占全年 70% 以上。这可能是因为花椒沟小流域是 pH 值比较高的石灰性紫色土壤,4~6 月夏季作物播种施肥之后,很快转化为铵态氮一部分随着氨挥发损失另一部分随径流进入到小流域中^[23~25]。此外,花椒沟小流域生活污水、畜禽粪便、生活垃圾等都是露天排放,春季温度升高,遇到降雨也会导致铵态氮进入到小流域中^[2,16,24]。花椒沟小流域硝态氮最高排放浓度、流失风险期集中于 7~9 月,晚于铵态氮。这可能是因为硝态氮带负电荷,不容易被土壤胶体吸附,容易随着径流进入到流域中^[3]。花椒沟小流域总氮最高排放浓度是发生在 7~9 月,与流失风险期是同步的,而且与降雨量有直接的正相关关系。这是因为总氮中的大部分是有溶解态存在,而且主要是硝态氮^[6,14]。此外,通过对总氮、铵态氮和硝态氮流失量差值分析,发现存在较多的氮以颗粒态的形式流出,而且与降雨呈现比较明显的正相关关系。梁斐斐等^[8]的研究发现,中雨产生径流中颗粒态氮占全氮的比例为 74.9%~75.9%,而大雨产生径流中颗粒态氮占全氮比例更高,能够达到 85.0%~92.6%。

花椒沟小流域中磷素污染物排放浓度的变化与

氮素污染物不同,并没有表现出与季节有较大的相关性。这可能是因为由于雨滴与土壤的相互作用,使得土壤颗粒与磷素之间不断发生吸附和解吸的关系,导致径流中磷素的变化始终处于动态变化^[26~28]。王彦等^[27]的研究发现,石灰性紫色土由于缺少羟基聚合物或较强的静电排斥作用,对磷的吸附能力较弱,解吸量增加,解吸率增大,而且在降雨后淹水条件下土壤中的磷素更加容易解吸释放。磷素污染物排放量与季节呈现比较大的相关性,排放高峰期主要是发生在 7~9 月,而且总磷排放形式主要是以颗粒态磷为主,特别是在 2012 年。这可能是因为土壤中存在的铁铝氧化物对磷具有较强的吸附作用,当降雨发生时,土壤颗粒携带磷随着地表径流流入到小流域中从而增加了小流域颗粒态磷的含量^[8,14]。通过分析颗粒态磷流失比例发现,在 7~9 月降雨比较显著时,流域中颗粒态磷的含量反而小于其他月份,特别是 1~4 月颗粒态磷的比例,特别是 2013 年。这可能是因为冲刷效应的影响即过量频繁地降雨、干湿交替等过程导致土壤颗粒态磷部分转化为胶体磷,而胶体磷根据目前的测定方法是归属为溶解态的部分,从而增加了溶解态磷的含量^[20,21,29]。因此,花椒沟小流域磷污染防治应该重点关注 7~9 月,而且在防治颗粒态磷污染的同时,还应该重点关注径流中胶体磷的迁移、转化,这对防治水体富营养化具有重要的意义。

4 结论

(1) 花椒沟小流域径流量与降雨量呈正相关关系,7~9 月为小流域径流暴发高峰期,而且这个时期降雨强度较大时会导致全年径流量增大。

(2) 花椒沟小流域铵态氮最大排放浓度出现在 4~6 月,流失风险期为 4~7 月;总氮、硝态氮最大排放浓度、流失风险期都为 7~9 月,与降雨量呈正相关关系,硝态氮为总氮最主要排放形式;颗粒态氮流失风险也比较高,而且与降雨量呈正相关关系。

(3) 花椒沟小流域总磷、可溶性总磷、颗粒态磷最大排放浓度受降雨量的影响比较小,流失风险期都为 7~9 月。颗粒态磷为总磷最主要的流失形式,但降雨量比较大、干湿交替比较频繁时,部分颗粒态磷会通过胶体磷的形式转化为溶解态磷。

致谢:感谢四川省农业科学院土壤肥料研究所资阳水土保持试验站对本研究的支持。

参考文献:

- [1] 丁毅,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.
- [2] Zhu B, Wang Z H, Wang T, *et al.* Non-point-source nitrogen and phosphorus loadings from a small watershed in the Three Gorges Reservoir area[J]. *Journal of Mountain Science*, 2012, **9**(1): 10-15.
- [3] 华玲玲, 李文超, 翟丽梅, 等. 三峡库区古夫河小流域氮磷排放特征[J]. *环境科学*, 2017, **38**(1): 138-146.
- Hua L L, Lin W C, Zhai L M, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus emissions in the Gufu river small watershed of the Three Georges Reservoir area[J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(1): 138-146.
- [4] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 等. 不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响[J]. *生态学报*, 2010, **30**(22): 6091-6101.
- Lin C W, Luo C Y, Pang L Y, *et al.* Effects of different cultivation and mulching methods on soil erosion and nutrient losses from a purple soil of sloping land[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(22): 6091-6101.
- [5] Sharpley A N, Smith S J, Naney J W. Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1987, **35**(5): 812-817.
- [6] 田耀武, 黄志霖, 肖文发. 三峡库区黑沟小流域非点源污染物输出的动态变化[J]. *环境科学*, 2011, **32**(2): 423-427.
- Tian Y W, Huang Z L, Xiao W F. Dynamic change of non-point source pollution exported from Heigou watershed in Three Gorges Reservoir area[J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(2): 423-427.
- [7] 胡芸芸, 王永东, 李廷轩, 等. 沱江流域农业面源污染排放特征解析[J]. *中国农业科学*, 2015, **48**(18): 3654-3665.
- Hu Y Y, Wang Y D, Li T X, *et al.* Characteristics analysis of agricultural nonpoint source pollution on Tuojiang river basin[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, **48**(18): 3654-3665.
- [8] 梁斐斐, 蒋先军, 袁俊吉, 等. 降雨强度对三峡库区坡耕地土壤氮、磷流失主要形态的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, **26**(4): 81-85.
- Liang F F, Jiang X J, Yuan J J, *et al.* Main features of the loss of nitrogen and phosphorus and rainfall intensity influence in the slope farmland of the Three Gorges Reservoir area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, **26**(4): 81-85.
- [9] 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.
- [10] 陈成龙, 高明, 倪九派, 等. 三峡库区小流域稻田空间格局对氮磷流失影响[J]. *环境科学*, 2017, **38**(5): 1889-1897.
- Chen C L, Gao M, Ni J P, *et al.* Influence of spatial pattern of paddy field on the losses of nitrogen and phosphorus in Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(5): 1889-1897.
- [11] 何圣嘉, 吕军. 流域基流氮磷流失的非点源污染定量研究[J]. *水土保持学报*, 2017, **31**(6): 20-26.
- He S, Lü J. Quantitative study on nitrogen and phosphorus loss in base flow of typical agricultural watershed based on non-point source pollution model [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2017, **31**(6): 20-26.
- [12] 张林, 黄志霖, 肖文发, 等. 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[J]. *环境科学*, 2018, **39**(2): 792-799.
- Zhang L, Huang Z L, Xiao W F, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus output in runoff and rainfall runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir area [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(2): 792-799.
- [13] 秦华, 李晔, 李波, 等. 人工模拟降雨条件下石灰土养分流失规律[J]. *水土保持学报*, 2016, **30**(1): 1-4, 53.
- Qin H, Li Y, Li B, *et al.* Nutrient loss of limestone soil under artificial simulated rainfall [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, **30**(1): 1-4, 53.
- [14] 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.
- [15] 田太强, 何丙辉, 黄巍. 三峡库区坡耕地不同施肥水平与耕作模式径流泥沙流失规律[J]. *水土保持研究*, 2014, **21**(1): 61-65, 70.
- Tian T Q, He B H, Huang W. Characteristics of runoff and sediment production under different fertilization and tillage patterns in Three Gorges Reservoir Area [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, **21**(1): 61-65, 70.
- [16] Wu L, Long T Y, Liu X, *et al.* Impacts of climate and land-use changes on the migration of non-point source nitrogen and phosphorus during rainfall-runoff in the Jialing River Watershed, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2012, **475**: 26-41.
- [17] 叶祖鑫, 林晨, 安艳玲, 等. 土地利用驱动下洪泽湖支流流域非点源颗粒态磷流失时空变化特征[J]. *农业环境科学学报*, 2017, **36**(4): 734-742.
- Ye Z X, Lin C, An Y L, *et al.* Temporal and spatial distribution characteristics of NPS particulate phosphorus driven by land use in Hongze Lake tributary basin [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, **36**(4): 734-742.
- [18] 丁武泉, 李航, 杨兴伦. 表面电荷性质对紫色土粘粒悬浮液稳定性影响研究[J]. *水土保持学报*, 2005, **19**(5): 174-177, 190.
- Ding W Q, Li H, Yang X L. Effect of stability of purplish soil colloids suspension by surface charge properties [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, **19**(5): 174-177, 190.
- [19] 国家环保总局. 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.
- [20] 陈玲, 宋林旭, 崔玉洁, 等. 模拟降雨条件下黄棕壤坡耕地磷素流失规律研究[J]. *农业环境科学学报*, 2013, **32**(1): 49-55.
- Chen L, Song L X, Cui Y J, *et al.* Characteristics of phosphorus loss in sloping arable land of yellow-brown soil under artificial rainfall test [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, **32**(1): 49-55.
- [21] 赵越, 梁新强, 傅朝栋, 等. 土壤胶体磷活化迁移的影响因素及分析技术[J]. *应用生态学报*, 2015, **26**(4): 1271-1278.
- Zhao Y, Liang X Q, Fu C D, *et al.* Factors affecting activation and transference of soil colloidal phosphorus and related analysis technologies [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, **26**(4): 1271-1278.
- [22] 林超文, 付登伟, 庞良玉, 等. 不同粮草种植模式对四川紫色丘陵区水土流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, **25**(1): 43-46.
- Lin C W, Fu D W, Pang L Y, *et al.* Influence of different forage

- rotation on runoff and sediment in purple hilly area of Sichuan province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, **25**(1): 43-46.
- [23] 许其功, 刘鸿亮, 沈珍瑶, 等. 三峡库区典型小流域氮磷流失特征[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(2): 326-331.
- Xu Q G, Liu H L, Shen Z Y, *et al.* Characteristics on nitrogen and phosphorus losses in the typical small watershed of the Three Georges Reservoir area [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, **27**(2): 326-331.
- [24] 付斌, 刘宏斌, 鲁耀, 等. 高原湖泊典型农业小流域氮、磷排放特征研究——以凤羽河小流域为例[J]. *环境科学学报*, 2015, **35**(9): 2892-2899.
- Fu B, Liu H B, Lu Y, *et al.* Study on characteristics of nitrogen and phosphorus emission in typical small watershed of plateau lakes: a case study of the Fengyu River Watershed[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(9): 2892-2899.
- [25] 张翀, 韩晓阳, 李雪倩, 等. 川中丘陵区紫色土冬小麦/夏玉米轮作氨挥发研究[J]. *中国生态农业学报*, 2015, **23**(11): 1359-1366.
- Zhang C, Han X Y, Li X Q, *et al.* Ammonia volatilization in winter wheat/summer maize rotation system of purple soil in hilly area of Central Sichuan Basin [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, **23**(11): 1359-1366.
- [26] 高杨, 宋付朋, 马富亮, 等. 模拟降雨条件下 3 种类型土壤氮磷钾养分流失量的比较[J]. *水土保持学报*, 2011, **25**(2): 15-18.
- Gao Y, Song F P, Ma F L, *et al.* Comparison of loss amount of nitrogen, phosphorus and potassium in three types of soil under simulated rainfall[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, **25**(2): 15-18.
- [27] 王彦, 张进忠, 王振华, 等. 四川盆地丘陵区农田土壤对磷的吸附与解吸特征[J]. *农业环境科学学报*, 2011, **30**(10): 2068-2074.
- Wang Y, Zhang J Z, Wang Z H, *et al.* Adsorption and desorption characteristics of phosphorus on cropland soils in the hilly area of Sichuan Basin, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, **30**(10): 2068-2074.
- [28] Baken S, Moens C, van der Grift B, *et al.* Phosphate binding by natural iron-rich colloids in streams[J]. *Water Research*, 2016, **98**: 326-333.
- [29] Missong A, Holzmann S, Bol R, *et al.* Leaching of natural colloids from forest topsoils and their relevance for phosphorus mobility[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **634**: 305-315.



CONTENTS

Analysis of Pollution Characteristics and Primary, Secondary Contributions of Firework Burnings in Qingdao During the Spring Festival	FANG Tian-ge, YAO Xiao-hong, MENG He, <i>et al.</i> (4345)
Characterization and Source Apportionment of PM _{2.5} Based on the Online Observation in Tianjin	XIAO Zhi-mei, XU Hong, LI Li-wei, <i>et al.</i> (4355)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} in Beijing During 2017-2018	LI Huan, TANG Gui-qian, ZHANG Jun-ke, <i>et al.</i> (4364)
Characteristics of Carbonaceous Species in PM _{2.5} in Southern Beijing	DONG Gui-ming, TANG Gui-qian, ZHANG Jun-ke, <i>et al.</i> (4374)
Characteristics and Formation Mechanism of Three Haze Pollution Processes in Chengdu in Winter	FENG Xiao-qiong, CHEN Jun-hui, YIN Han-mei, <i>et al.</i> (4382)
Distribution Characteristics and Source of Black Carbon Aerosols in the Northern Suburbs of Nanjing	XIE Feng, LIN Yu-chi, SONG Wen-huai, <i>et al.</i> (4392)
Assessment of Emergency Emission Reduction Effect During the Heavy Air Pollution Episodes in Beijing, Tianjin, Hebei, and Its Surrounding Area ("2+26" Cities) from October to December 2019	ZHU Yuan-yuan, GAO Yu-xiao, WANG Wei, <i>et al.</i> (4402)
Variational Trend and Characteristics of Air Pollution in Baoding City	GOU Yin-yin, ZHANG Kai, LI Jin-juan, <i>et al.</i> (4413)
Emission Inventory of VOCs Components in Zhengzhou and Their Ozone Formation Potential	LU Xuan, ZHANG Rui-qin, HAN Luo-kai (4426)
Evolution and Evaluation of O ₃ and VOCs in Zhengzhou During the National Traditional Games of Ethnic Minorities Period	ZHAO Jin-shuai, YU Shi-jie, WANG Nan, <i>et al.</i> (4436)
Characteristics of Volatile Organic Compounds in Wood Coatings and Automotive Coatings in China	KE Yun-ting, SUN Yu-hang, CHENG Hai-rong, <i>et al.</i> (4446)
Influence of Typical Desulfurization Process on Flue Gas Particulate Matter of Coal-fired Boilers	ZHANG Jin-sheng, WU Jian-hui, LÜ Rui-he, <i>et al.</i> (4455)
Investigation on the Emission Difference of Air Pollutants from Common Residential Coal Stoves and Suggestions for Emission Reduction	ZHANG Yi-chen, XUE Chen-li, LIU Jie, <i>et al.</i> (4462)
Mobile Source Emission Inventory with High Spatiotemporal Resolution in Tianjin in 2017	LIU Geng, SUN Shi-da, SUN Lu-na, <i>et al.</i> (4470)
Emission Inventory and Characteristics of Anthropogenic Air Pollution Sources Based on Second Pollution Source Census Data in Sichuan Province	XU Chen-xi, CHEN Jun-hui, LI Yuan, <i>et al.</i> (4482)
Preliminary Screening for the Urban Forest Against Combined Air Pollution	LI Pin, WEI Yan-yan, FENG Zhao-zhong (4495)
Spatial Distribution and Pollution Characteristics of Heavy Metals in Plant Leaves in Baoji City	ZHANG Jun, LIANG Qing-fang, GAO Yu (4504)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of PPCPs in Surface Water and Aquatic Organisms in Chaoshan Coastal Area along the South China Sea	XIU Cuo, WANG Chen-chen, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (4514)
Spatiotemporal Differentiation and Degradation Analysis of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments of Shanmei Reservoir and Its Inflowing River, Quanzhou, China	HAN Wen-liang, LIU Yu, FENG Kai-wen (4525)
Spatial-temporal Variations and the Regulators of Nitrate Status in Shallow Groundwater of the Typical Mountainous Agricultural Watershed in the Upper Reaches of the Yangtze River	JIANG Nan, ZHOU Ming-hua, LI Hong, <i>et al.</i> (4539)
Emission Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Typical Agricultural Small Watershed in Tuojiang River Basin	WANG Hong, XU Ya-ling, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (4547)
Assessment of Potential Risk of Diffuse Pollution in Haihe River Basin Based Using DPeRS Model	FENG Ai-ping, WANG Xue-lei, XU Yi, <i>et al.</i> (4555)
Impact of Spatial Heterogeneity of Precipitation on the Area Change in Critical Source Area of Non-point Sources Pollution	GAO Xiao-xi, ZUO De-peng, MA Guang-wen, <i>et al.</i> (4564)
Sedimentary Diatom Records Reveal the Succession of Ecosystem in Lake Xihu, Dali over the Past 50 Years	ZHANG Chen-xue, XU Min, DONG Yi-fan, <i>et al.</i> (4572)
Content and Distribution of Cadmium in Soil and Fluvial Sediments in the Sea-Land Interaction Zone	WANG Fang-ting, CHEN Zhi-hua, BAO Ke, <i>et al.</i> (4581)
Occurrence Characteristics and Quality Estimation of Microplastics in Drainage Ditches in Hetao Irrigation District of Inner Mongolia	WANG Zhi-chao, YANG Fan, YANG Wen-huan, <i>et al.</i> (4590)
Influence of Pervious/Impervious Pattern on Runoff and Pollution in Parcel-based Catchment	JIANG Zhi-hui, LIAO Yun-jie, XIE Wen-xia, <i>et al.</i> (4599)
Activating Efficiency of Iron-copper Bimetallic Organic Framework MIL-101 (Fe, Cu) Toward H ₂ O ₂ for Degradation of Dyes	LIANG He, LIU Rui-ping, AN Xiao-qiang, <i>et al.</i> (4607)
Synergistic Reaction Mechanism of Cu ⁰ @Fe ₃ O ₄ Activated PMS for Degradation of <i>p</i> -nitrophenol	SHI Qing-qing, PU Sheng-yan, YANG Xi (4615)
Kinetics and Mechanism of Sucralose Degradation in Water Using UV-activated Persulfate Process	YU Yun, LU Jin-xin, LÜ Zhen, <i>et al.</i> (4626)
Microbial Community Structure for Sewage Wastewater Treatment Plants in Winter	SHANG Yue-fei, WANG Shen, ZONG Ni, <i>et al.</i> (4636)
Microbial Community Analysis of Different DN and PN-ANAMMOX Coupling Modes for Mature Landfill Leachate Treatment	LU Ming-yu, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4644)
Analysis of Rapid Start-up and Mixed Nutritional Nitrogen Removal Performance of Complete Autotrophic Granular Sludge	QI Ze-kun, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (4653)
Long-term Stability of Aerobic Granular Sludge Under Low Carbon to Nitrogen Ratio	YUAN Qiang-jun, ZHANG Hong-xing, CHEN Fang-yuan (4661)
Response of Bacterial and Fungal Communities to Chemical Fertilizer Reduction Combined with Organic Fertilizer and Straw in Fluvio-aquic Soil	WU Xian, WANG Rui, HU He, <i>et al.</i> (4669)
Characteristics of Soil Nutrients and Fungal Community Composition in Crop Rhizosphere Under Different Rotation Patterns	SUN Qian, WU Hong-liang, CHEN Fu, <i>et al.</i> (4682)
Effects of Short-term Application of Moutai-flavor Vinasse Biochar on Nitrogen Availability and Bacterial Community Structure Diversity in Yellow Soil of Guizhou Province	ZHANG Meng, LIU Yan-ling, WEI Quan-quan, <i>et al.</i> (4690)
Effects of Different Rotation Patterns of Oil-Rice on Methane and Nitrous Oxide Emissions in Rice Fields	CHEN You-de, ZHAO Yang, GAO Du-juan, <i>et al.</i> (4701)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> Biofertilizer Mitigating Soil Ammonia Volatilization	YANG Ya-hong, XUE Li-xia, SUN Bo, <i>et al.</i> (4711)
Effects of Exogenous Phosphorus on Rice Growth and Cadmium Accumulation and Transportation Under Cadmium Stress	HUO Yang, QIU Yin-yan, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (4719)
Key Stage of As Accumulation in Rice Under As Stress at Different Growth Stages	DENG Peng-hui, CAI Ya-qin, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (4726)
Heavy Metal Contamination and Health Risk Assessment of Corn Grains from a Pb-Zn Mining Area	ZHOU Yan, WAN Jin-zhong, LI Qun, <i>et al.</i> (4733)
Polybrominated Diphenyl Ether in E-waste Dismantling Sites in Taizhou City, Zhejiang Province: Concentration, Distribution, and Migration Trend	WEI Bao-kai, LIU Chen, WANG Ying, <i>et al.</i> (4740)
Assessment and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Farmland Soils in Southern Youyang County, Chongqing	WANG Rui, DENG Hai, YAN Ming-shu, <i>et al.</i> (4749)
Ecological Risk Assessment of Tetracycline Antibiotics in Livestock Manure and Vegetable Soil of Chongqing	PENG Qiu, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong (4757)