

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



2019

Vol.40 No.12

第40卷 第12期

目次(卷终)

研究报告

- 京津冀秋冬季 PM_{2.5} 污染概况和预报结果评估 朱媛媛, 高愈霄, 刘冰, 王晓彦, 朱莉莉, 许荣, 汪巍, 丁俊男, 李健军, 段小丽 (5191)
- 2016 ~ 2017 年采暖期华北平原东部 PM_{2.5} 组分特征及来源解析 张逸琴, 王杰, 高健, 徐仲均, 车飞, 马彤, 杨艳, 刘素, 闫璐璐 (5202)
- 霾不同发展阶段下污染气体和水溶性离子变化特征分析 王振彬, 刘安康, 卢文, 杨晓旻, 王红磊, 陈魁, 夏丽 (5213)
- 上海郊区家庭妇女 PM_{2.5} 重金属组分暴露水平、来源与健康风险 罗燃燃, 戴海夏, 张蕴晖, 乔利平, 马英歌, 周敏, 夏斌, 朱清扬, 赵迎亚, 黄成 (5224)
- 固定污染源可凝结颗粒物测量方法 蒋靖坤, 邓建国, 王刚, 张莹, 李妍菁, 段雷, 郝吉明 (5234)
- 家具企业挥发性有机物排放特征及其环境影响 张嘉妮, 曾春玲, 刘锐源, 姚懿娟, 柯云婷, 范丽雅, 叶代启 (5240)
- 抗生素企业 VOCs 排放清单及影响范围模拟 竹涛, 吕怡蓉, 边文璟, 牛文凤, 袁前程, 段二红, 于洋, 林军 (5250)
- 新乡市机动车排放对道路灰尘中重金属与多环芳烃污染的影响 李琦路, 吴锦涛, 张颖, 孙玉静, 乔泓钦, 张子伟, 裴梦园, 张孟琼, 任明浩 (5258)
- 成都市道路积尘中全氟化合物的污染特征及暴露风险评估 方淑红, 朱和祥, 叶芝祥, 印红玲, 孙静 (5265)
- 祁连山北坡中段降水稳定同位素特征及水汽来源分析 张百娟, 李宗省, 王昱, 李永格, 吕越敏, 袁瑞丰, 桂娟 (5272)
- 长江南京段水源水中抗生素的赋存特征与风险评估 封梦娟, 张芹, 宋宁慧, 卜元卿, 杨正标, 刘艳华, 郭瑞昕, 陈建秋, 张圣虎 (5286)
- 夏秋季混凝剂对复合锰氧化膜去除地表水中氨氮和锰的影响 程丽杰, 黄廷林, 程亚, 张莎莎, 阮昭意, 卢磊 (5294)
- 浙江省 H 市供水系统消毒副产物及其健康风险评价 刘俊萍, 于建全, 李青松, 马晓雁, 杨玉龙, 贾佳 (5302)
- 三峡库区城镇化背景下河流 DOM 的吸收及荧光光谱特征 陈昭宇, 李思悦 (5309)
- 川西高原河流水体 CDOM 的光化学降解特性 刘堰杨, 孙辉, 刘琛, 王小沁 (5318)
- 三峡库区典型紫色土小流域径流及氮磷流失特征 曹瑞霞, 刘京, 邓开开, 先宇, 王伟, 方芳, 欧阳文娟, 郭劲松 (5330)
- 九龙江流域河流磷输出对土地利用模式及水文状况的响应 黄亚玲, 唐莉, 黄金良, 肖才荣 (5340)
- 不同尺度土地利用方式对鄱阳湖湿地水质的影响 方娜, 刘玲玲, 游清徽, 田娜, 吴燕平, 阳文静 (5348)
- 太湖草藻型湖区磷赋存特征及其环境意义 耿雪, 文帅龙, 孙培荣, 徐楚天, 李大鹏, 黄勇 (5358)
- 太湖竺山湾沉积物碳氮磷分布特征与污染评价 方家琪, 祁闯, 张新厚, 韩睿明, 黄和笑, 王卓森, 王国祥 (5367)
- 降雨强度对洱海流域凤羽河氮磷排放的影响 李晓虹, 雷秋良, 周脚根, 张亦涛, 李影, 胡万里, 武淑霞, 翟丽梅, 王洪媛, 刘宏斌 (5375)
- 外源 Ca²⁺ 和 K⁺ 作用下河口区碱蓬水质净化效果和耐盐碱提高机制 吴丹, 孙萍, 陈广琳, 陈友媛, 彭昌盛 (5384)
- 泽泻 (*Alisma orientale*) 对全氟化合物的吸收和传输特征-浓度的影响 王团团, 李贝贝, 王赛, 华佩, 陈军, 应光国 (5394)
- 复合人工湿地中反硝化除磷作用的发生及其稳定性 刘冰, 郑煜铭, 李清飞, 赵承美, 魏巍, 张凯 (5401)
- 铅、镉和铜改性沸石添加控制底泥磷释放的对比 刘婷, 赵钰颖, 林建伟, 詹艳慧, 秦琴 (5411)
- 生物炭结构性质对氨氮的吸附特性影响 陈梅, 王芳, 张德俐, 易维明 (5421)
- 溶解氧对悬浮与附着生长系统短程硝化反应的影响机制 王嗣禹, 刘灵婕, 王芬, 季民 (5430)
- 间歇恒定/梯度曝气对 SNAD 工艺启动的影响 李冬, 刘志成, 徐贵达, 李帅, 张杰 (5438)
- 共基质模式下铁盐脱氮反应器的运行性能及微生物学特征 王茹, 刘梦瑜, 刘冰茵, 赵治国, 袁林江 (5446)
- 阶梯曝气对城市污水好氧颗粒污泥系统的影响 李冬, 魏子清, 劳会妹, 李帅, 张杰 (5456)
- 酵母菌降解胞外聚合物提升剩余活性污泥的脱水性能 俞心怡, 向金豪, 刘英, 龚天翼, 张彬辉, 吕文洲 (5465)
- 基于 GEE 的 1998 ~ 2018 年京津冀土地利用变化对生态系统服务价值的影响 娄佩卿, 付波霖, 林星辰, 闭璐, 马瑞雪, 唐廷元 (5473)
- 基于 MDS 与 TOPSIS 模型的滨海滩涂围垦区土壤质量评价 解雪峰, 濮励杰, 朱明, 吴涛, 许艳 (5484)
- 淹水增加对闽江河口淡水潮汐湿地孔隙水地球化学特征及 CO₂ 和 CH₄ 排放通量的影响 李敬, 黄佳芳, 罗敏, 刘育秀, 谭季, 朱爱菊, 王声钰, 仝川 (5493)
- 养殖塘 CH₄ 排放特征及其影响因素 王娇, 肖薇, 张秀芳, 张弥, 张文庆, 刘强, 陈争, 董保华, 李旭辉 (5503)
- 施肥对高梁地土壤呼吸及其温度敏感性的影响 严俊霞, 张媛, 焦晓燕 (5515)
- 高硒高镉区土地安全区划方法 王锐, 侯宛苓, 李雨潼, 余涛, 陈娟 (5524)
- 不同配比复合材料对农田镉污染土壤的修复效果 陈树兰, 许晨阳, 耿增超, 王强, 祝乐, 龚园, 拓卫卫 (5531)
- 水铝钙石对不同镉污染农田重金属的钝化效果及机制 吴秋梅, 刘刚, 王慧峰, 胡文友, 黄标 (5540)
- 狮子山矿区不同土地利用类型对土壤微生物群落多样性的影响 黄健, 朱旭炎, 陆金, 孙雨, 赵兴青 (5550)
- 林地转型耕地对东北丘陵区白浆土 *cbbL* 细菌群落丰度和结构的影响 王蕊, 吴宪, 李刚, 修伟明, 王丽丽, 张贵龙 (5561)
- 粤港澳大湾区场地污染特征、治理修复与环境管理研究专辑
- 粤港澳大湾区污染场地土壤风险管控制度体系建设与思考 常春英, 董敏刚, 邓一荣, 肖荣波, 刘丽丽 (5570)
- 粤港澳大湾区土壤污染问题计量及可视化分析 张宁, 张盛, 杨海超, 张建通 (5581)
- 城市生活垃圾填埋场的物质存量特征及其环境影响: 以粤港澳大湾区为例 马仕君, 周传斌, 杨光, 赵志岚, 刘懿颀 (5593)
- 粤港澳大湾区丘陵区带某电镀场地重金属污染特征与迁移规律分析 侯文隽, 龚星, 詹泽波, 刘锋, 黄子航, 杨立宏, 林晓琛 (5604)
- 粤港澳大湾区典型化工场地苯系物污染特征及迁移规律 邓一荣, 陆海建, 董敏刚, 程洲, 庄长伟, 肖荣波, 钟音, 彭平安 (5615)
- 针铁矿-富里酸复合材料对铅镉污染土壤的钝化修复性能 刘千钧, 李想, 周阳媚, 唐杰鹏, 林亲铁, 姚琨 (5623)
- 广东大宝山矿区土壤植物体系重金属迁移过程及风险评价 陈洁宜, 刘广波, 崔金立, 肖唐付 (5629)
- Hydrus-1D 模型在推导基于保护地下水的土壤风险控制值中的应用 林挺, 罗飞, 朱艳, 杨坤, 郝秀平 (5640)
- 《环境科学》第 40 卷(2019 年) 总目录 (5649)
- 《环境科学》征订启事(5233) 《环境科学》征稿简则(5285) 信息(5357, 5420, 5429)

降雨强度对洱海流域凤羽河氮磷排放的影响

李晓虹¹, 雷秋良^{1*}, 周脚根², 张亦涛³, 李影¹, 胡万里⁴, 武淑霞¹, 翟丽梅¹, 王洪媛¹, 刘宏斌¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部面源污染控制重点实验室, 北京 100081; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 3. 中国科学院地理资源与科学研究所, 中国科学院生态系统观测与模拟重点实验室, 北京 100101; 4. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

摘要: 降雨形成的径流携带各种陆面物质进入河流湖泊是导致水质变化的重要因素, 而不同降雨强度下的河流氮磷输出特征均有所差异, 因此, 为阐明雨强对高原湖泊典型流域污染物排放的影响, 本研究以洱海流域上游的凤羽河为研究对象, 基于连续3 a(2011~2013年)的出口断面水质水量监测, 分析了4种降雨强度(小雨、中雨、大雨、暴雨)对水体氮磷浓度和形态的影响。结果表明, 降雨强度对凤羽河氮磷排放的影响显著, 所有组分的氮和磷浓度平均值在小雨(<10 mm)和中雨(10~25 mm)时较低, 在大雨(25~50 mm)和暴雨(50~100 mm)时较高; 氨氮(NH_4^+-N) (57.14%~76.85%) 占总氮(TN)的质量分数大于颗粒态氮(PN) (23.15%~42.86%), 溶解态总磷(TDP) (22.73%~28.00%) 占总磷(TP)的质量分数小于颗粒态磷(PP) (72.00%~77.27%); 不同形态的氮浓度比较为: $\text{TN} > \text{NH}_4^+-\text{N} > \text{PN}$; 不同形态的磷浓度比较为: $\text{TP} > \text{PP} > \text{TDP}$ 。

关键词: 降雨强度; 面源污染; 氮、磷形态; 小流域; 高原农业区

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)12-5375-09 DOI: 10.13227/j.hj.kx.201901094

Effect of Rainfall Intensity on the Content of Nitrogen and Phosphorus Components in Plateau Areas: A Case Study of the Fengyu River Watershed

LI Xiao-hong¹, LEI Qiu-liang^{1*}, ZHOU Jiao-gen², ZHANG Yi-tao³, LI Ying¹, HU Wan-li⁴, WU Shu-xia¹, ZHAI Li-mei¹, WANG Hong-yuan¹, LIU Hong-bin¹

(1. Key Laboratory of Nonpoint Source Pollution Control, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 3. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. Agricultural Resources & Environment Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

Abstract: The runoff formed by rainfall carrying various land surface materials into rivers and lakes is an important factor leading to a change in water quality, and the characteristics of nitrogen and phosphorus output of rivers under different rainfall intensities are different. This study explores the impact of rainfall intensity on the water quality of the Fengyu River Watershed in the plateau agricultural region, based on the water quality monitoring data of the export section of the Fengyu River Watershed from 2011 to 2013, combined with local rainfall monitoring. The effects of four rainfall intensities (light rain, moderate rain, heavy rain, and torrential rain) on the content of different nitrogen and phosphorus components in water were analyzed. The results show that the rainfall intensity has a significant effect on the nitrogen and phosphorus emissions of the Fengyu River Watershed. The average nitrogen and phosphorus concentrations of all components are lower in light rain (<10 mm) and moderate rain (10-25 mm), and higher in heavy rain (25-50 mm) and torrential rain (50-100 mm). The percentage of NH_4^+-N (57.14%-76.85%) to TN is larger than that of PN (23.15%-42.86%), and the percentage of TDP (22.73%-28.00%) to TP is smaller than that of PP (72.00%-77.27%). The nitrogen concentration of different forms is: $\text{TN} > \text{NH}_4^+-\text{N} > \text{PN}$; the phosphorus concentration of different forms is: $\text{TP} > \text{PP} > \text{TDP}$.

Key words: rainfall intensity; non-point source pollution; nitrogen and phosphorus forms; small watershed; plateau agricultural area

改革开放以来,随着经济的快速发展和人口的迅速增加,我国的环境问题尤其是水污染日益突出^[1,2],中国生态环境状况公报中显示,我国111个重要湖泊中,63%超过了Ⅲ类水质标准,其中,作为云南省第二大高原淡水湖泊,洱海近五年来的水质从Ⅱ类逐步向Ⅲ类过渡^[3],已成为我国初期富营养化湖泊的典型代表^[4]。当前,洱海流域点源污染已经得到有效控制,农业面源污染约占入湖污染总负荷的70%~80%,已成为该流域富营养化的主要污染源^[5]。该地区面源污染物进入流域的主要途径是

降雨径流^[6],降雨时,农田径流携带高浓度的氮、磷汇入流域,对河湖水质构成了巨大威胁,是水体富营养化的主要原因^[7]。此外,入湖河流的水质、水量会直接影响湖泊水质^[8,9],采取有效措施控制入湖前的河流水质,是改善湖泊水质,削减污染物入湖总

收稿日期: 2019-01-10; 修订日期: 2019-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(31572208); 公益性行业(农业)科研专项(201303089); 国家重点研发计划项目(2018YFD0200200); 中国农业科学院科技创新工程项目

作者简介: 李晓虹(1995~),女,硕士研究生,主要研究方向为环境污染与修复, E-mail: 15733201273@163.com

* 通信作者, E-mail: leiqliang@caas.cn

量^[10,11]进而防治湖泊污染的重要环节^[12]。

降雨是导致河流中营养物动态变化的驱动因子^[13]。降雨首先使得污染物从上游陆地土壤浸出,然后污染物随径流迁移到下游水体^[14,15]。在小流域中土壤氮、磷主要是通过降雨形成的地表径流输出^[16]。氮肥特别是尿素通常在灌溉前或预计降雨时施用^[17],尤其是在强降雨期间,氮磷流失较为严重,损失率高达 50%^[18],如有研究表明通过降雨径流流失到淮河流域的 TN 总量达到 144.33 万 t^[19]。其浓度波动与径流变化趋势相似^[7]。自然条件下,无论暴雨、中雨还是小雨,降雨初期污染物浓度呈上升趋势,随后逐渐平缓,后期呈现下降趋势^[6,20,21],其中, TN 和 NH_4^+-N 在第一次冲刷中浓度上升明显,磷在暴雨径流时以颗粒态为主^[22],降雨强度较小时以溶解态为主^[7]。模拟降雨条件下, TN 损失负荷随降雨强度的增加呈现增加的趋势,而 NH_4^+-N 浓度首先呈现下降趋势,然后随着降雨持续时间的延长趋于平稳^[14]。暴雨时,降雨初期大量陆源污染物随地表径流汇入河流,导致河流中氮、磷和 COD 等污染物负荷急剧增加,大伙房水库在强降雨时 TP 入库浓度最大达到 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[23];大雨时秦岭北麓俞家河 TN、TP 和 COD 的流域负荷分别为 228.10、9.94 和 $174.53 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$,相应增加的百分比分别为 35.93%、84.31% 和 69.65%^[24];三峡库区古夫河小流域出口断面 TN、硝态氮、PN 和 NH_4^+-N 的年排放负荷分别为 1432、1126、251 和 $55 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,丰水期各组分占其年的排放负荷分别达 59.6%、59.1%、62.5% 和 54.5%^[25]。

洱海属高原农区,受地形影响降雨时土壤侵蚀严重,而在当前对降雨径流的研究中,研究区大多集中在农田径流^[7,26~28]和平原区的流域^[15,16,29],同时受限于数据的缺乏^[21],对高原农业流域的研究较少。

为了探讨自然降雨条件下,各形态氮磷浓度随降雨强度变化的机制,本文基于凤羽河流域出口断面的长年水质监测数据,研究了降雨强度对溶解态及颗粒态氮、磷浓度动态变化的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

凤羽河流域地处东经 $99^{\circ}51'31'' \sim 100^{\circ}01'46''$,北纬 $25^{\circ}52'48'' \sim 26^{\circ}05'52''$,位于云南省西部大理白族自治州洱源县,是高原农业流域洱海流域西北部的一个典型子流域。流域属典型山地丘陵地貌,最高海拔 3 621 m,最低海拔 2 072 m,平均海拔 2 634 m;气候属于亚热带高原季风气候,干湿季分明,年均温 13.9°C ;多年平均降雨量 745 mm 左右,

5~10 月为汛期,占全年降雨量 85% 左右。流域内河流众多,主要支流(兰林河、黑龙河、白石江、青石江、大涧河、三爷河和清源沟)汇流至凤羽河,再从流域出口下龙门流出。凤羽河常年水流量达 1 亿 m^3 ,属澜沧江水系,是洱海的重要水源地。流域内土壤类型以麻黑汤土、麻灰汤土、棕红土和水稻土为主。流域面积 219 km^2 ,土地利用方式主要以草地(45.9%)、林地(29.6%)、水田(11.9%)和旱地(8.9%)为主。

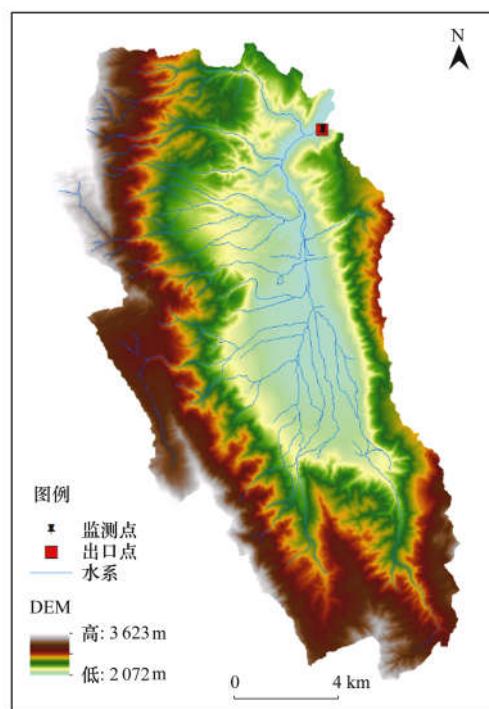


图1 凤羽河小流域监测点示意

Fig. 1 Map indicating the monitoring point in the Fengyu River Watershed

1.2 样品采集及测试

2011~2013 年监测期间,降雨量来自凤羽河小流域出口断面自动监测数据,流域断面监测位置如图 1 所示。

2011~2013 年进行水质采样,采样点位于凤羽河小流域出口断面(图 1),采样频率为每天采集一次。水样测定指标为总氮(TN)、氨氮(NH_4^+-N)、颗粒态氮(PN)、总磷(TP)、可溶性总磷(TDP)和颗粒态磷(PP)。

1.3 数据处理与分析

监测数据采用 Microsoft Excel 2016 进行数据分析,采用 Microsoft Excel 2016 和 Origin 2018 绘图。使用 ArcGIS 10.3 进行研究区地图的绘制。

2 结果与分析

2.1 凤羽河流域降雨特征分析

按照降雨等级标准来划分,当日降雨量 < 10

mm 时为小雨,日降雨量在 10 ~ 25 mm 之间时为中雨,日降雨量在 25 ~ 50 mm 之间时为大雨,当日降雨量在 50 ~ 100 mm 时为暴雨. 2011 ~ 2013 年间凤羽河小流域出口断面处的平均年降雨量为 1 045 mm. 按降雨事件类型划分,凤羽河小流域小雨事件比例为 66.06%,中雨为 23.64%,大雨为 8.48%,暴雨所占比例为 1.82%(表 1),其中暴雨事件主要集

中在 6、7 和 9 月. 大理白族自治州多年平均降雨量为 1 050 mm. 根据中国气象数据网的数据,2011 ~ 2013 年,小雨事件比例为 79.78%,中雨为 14.04%,大雨为 5.06%,暴雨所占比例为 1.12%(主要集中在 7 ~ 9 月). 这充分表明凤羽河流域降雨特征与大理白族自治州的吻合,该地区局部降雨分布的变异相对小.

表 1 凤羽河流域和大理白族自治州不同降雨强度的天数和比例

Table 1 Number and proportion of different rainfall intensities in the Fengyu River Watershed and the Dali Bai Autonomous Prefecture				
位置	小雨/d(比例/%)	中雨/d(比例/%)	大雨/d(比例/%)	暴雨/d(比例/%)
凤羽河流域	218 (66.06)	78 (23.64)	28 (8.48)	6 (1.82)
大理白族自治州	284 (79.78)	50 (14.04)	18 (5.06)	4 (1.12)

由凤羽河流域出口 TN/TP 月平均浓度与月平均降雨量的变化趋势(图 2)可以看出,2011 ~ 2013 年间凤羽河出口断面的 TN/TP 月平均浓度变化与月平均降雨趋势基本一致,其中降雨季(7 ~ 9 月)的 TN/TP 月平均浓度变化与月平均降雨趋势高度一致,相对非降雨季浓度较高,而在非降雨季 TN/TP 月平均浓度变化趋势较为平缓. 此外,在全年 12 个月中 TN 月平均浓度都高于 TP 月平均浓度.

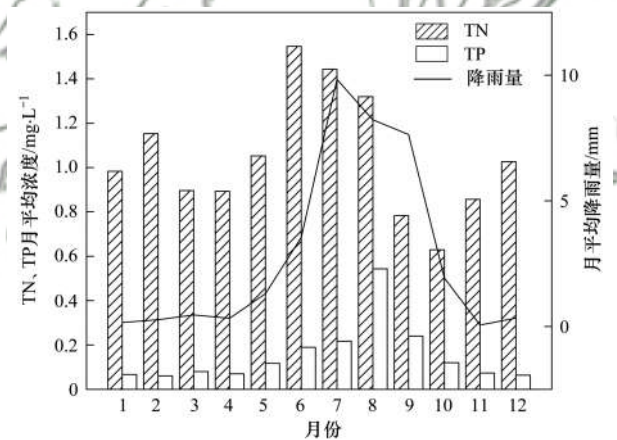


图 2 2011 ~ 2013 年间凤羽河流域出口 TN/TP 月平均浓度与月平均降雨量的变化趋势

Fig. 2 Temporal variation of TN/TP and rainfall in Fengyu River Watershed in different months in 2011-2013

2.2 凤羽河出口总氮和总磷浓度

凤羽河流域出口断面 TN 和 TP 含量受降雨事件的影响. 从图 3 可以看出,小雨事件下,TN 含量变程为 0.30 ~ 3.32 mg·L⁻¹,均值为 1.08 mg·L⁻¹. 中雨事件下 TN 含量变程为 0.32 ~ 3.25 mg·L⁻¹,均值为 1.21 mg·L⁻¹. 大雨事件下 TN 含量变程为 0.64 ~ 3.73 mg·L⁻¹,均值为 1.89 mg·L⁻¹. 暴雨事件下 TN 含量变程为 0.62 ~ 2.49 mg·L⁻¹,均值为 1.87 mg·L⁻¹. 从图 4 可以看出,小雨事件下 TP 含量变程为 0.01 ~ 2.21 mg·L⁻¹,均值为 0.19 mg·L⁻¹. 中雨事件下 TP 含量变程为 0.03 ~ 2.13

mg·L⁻¹,均值为 0.25 mg·L⁻¹. 大雨事件下 TP 含量变程为 0.10 ~ 3.92 mg·L⁻¹,均值为 0.82 mg·L⁻¹. 暴雨事件下 TP 含量变程为 0.04 ~ 0.70 mg·L⁻¹,均值为 0.44 mg·L⁻¹.

不同降雨事件下 TN 和 TP 含量与降雨量的关联性存在明显差异. TN 在小雨事件下的平均浓度是最低的,中雨事件比小雨事件的 TN 平均浓度大,在大雨事件下的平均浓度最高,暴雨事件 TN 的平均浓度略小于大雨事件且比中雨事件大. 整体来看 TN 浓度随着降雨量的增加先快速上升,趋于平缓后下降. TP 在小雨事件下的平均浓度最低,其散布的点集中在 1.00 mg·L⁻¹ 以下;在大雨事件下平均浓度最高,且相比于小雨和中雨事件,其分布的点较分散,随着降雨量的增加,TP 的整体浓度呈下降的趋势;暴雨事件下 TP 平均浓度比大雨事件小比小雨和中雨事件大. 整体来看,TP 的浓度随着降雨量的增加呈现先上升后下降的趋势.

2.3 凤羽河出口溶解态氮磷浓度

凤羽河流域出口断面溶解态氮磷含量受降雨事件的影响. 小雨事件下,NH₄⁺-N 含量变程为 0.14 ~ 2.34 mg·L⁻¹,均值为 0.83 mg·L⁻¹. 中雨事件下含量变程为 0.21 ~ 2.18 mg·L⁻¹,均值为 0.83 mg·L⁻¹. 大雨事件下 NH₄⁺-N 含量变程为 0.39 ~ 2.06 mg·L⁻¹,均值为 1.08 mg·L⁻¹. 暴雨事件下 NH₄⁺-N 含量变程为 0.53 ~ 1.56 mg·L⁻¹,均值为 1.25 mg·L⁻¹. 小雨事件下 TDP 含量变程为 0.00 ~ 0.72 mg·L⁻¹,均值为 0.05 mg·L⁻¹. 中雨事件下 TDP 含量变程为 0.01 ~ 0.15 mg·L⁻¹,均值为 0.07 mg·L⁻¹. 大雨事件下 TDP 含量变程为 0.02 ~ 1.47 mg·L⁻¹,均值为 0.20 mg·L⁻¹. 暴雨事件下 TDP 含量变程为 0.01 ~ 0.20 mg·L⁻¹,均值为 0.10 mg·L⁻¹.

不同降雨事件下溶解态氮磷含量与降雨量的关

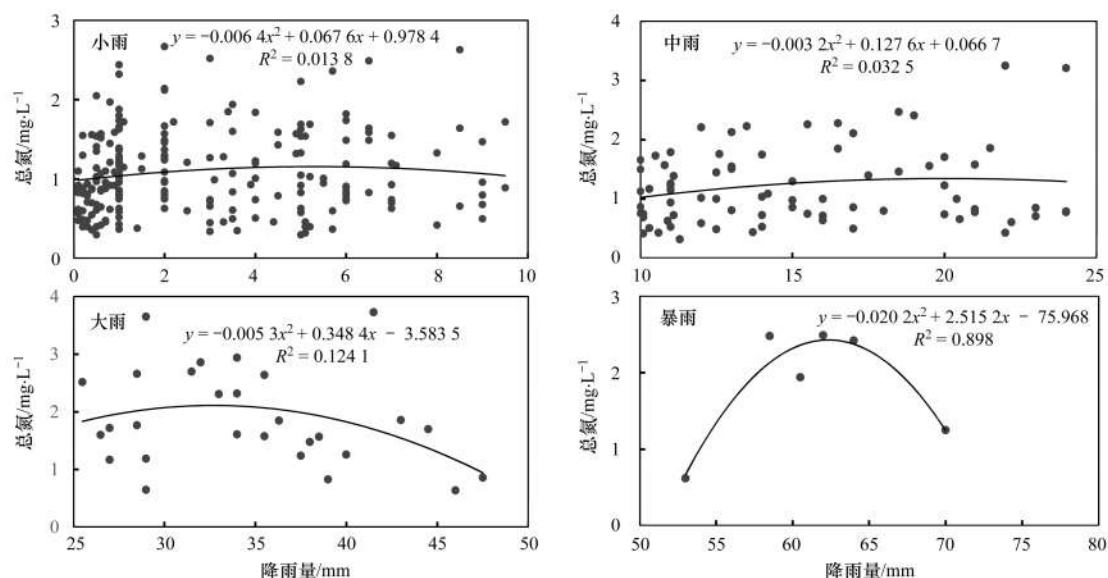


图3 不同降雨强度下氨氮浓度变化趋势

Fig. 3 Trend of TN concentration under different rainfall intensities

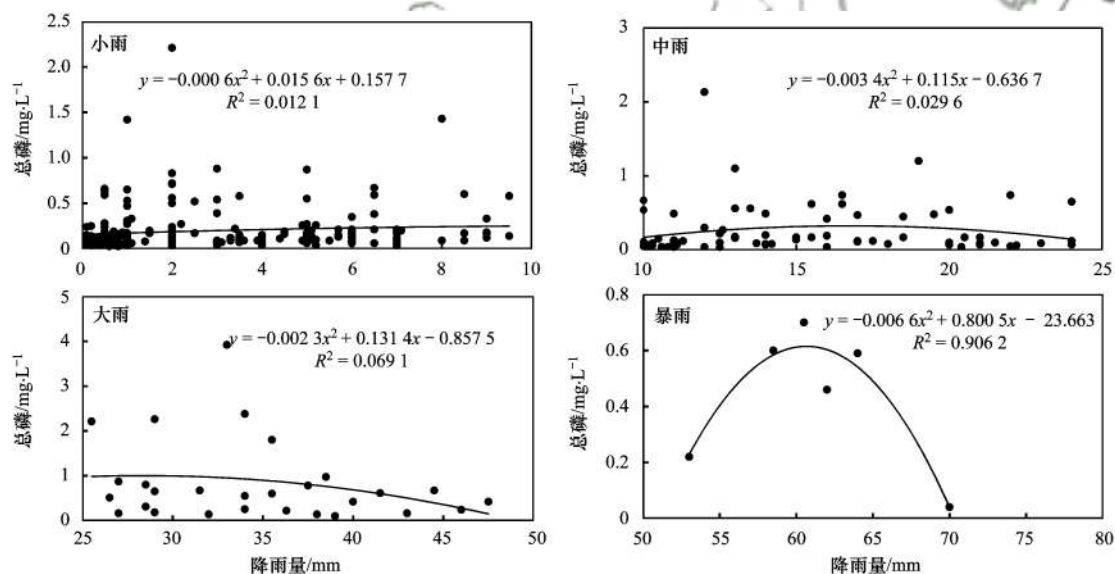


图4 不同降雨强度下总磷浓度变化趋势

Fig. 4 Trend of TP concentration under different rainfall intensities

联性存在差异。NH₄⁺-N 的浓度在小雨事件下的变化很小;中雨事件下 NH₄⁺-N 浓度散点分布比小雨集中(图5), NH₄⁺-N 平均浓度等于小雨事件,同时其平均浓度是所有降雨中浓度最低的;大雨事件下 NH₄⁺-N 平均浓度大于小雨和中雨事件,而随着降雨量的增大, NH₄⁺-N 浓度略有下降;暴雨事件下 NH₄⁺-N 浓度随着降雨量的增大呈先增大后减小的趋势,其平均浓度是所有降雨事件中浓度最高的。整体来看, NH₄⁺-N 的浓度随着降雨量的增加呈现上升的趋势。

小雨事件下 TDP 的平均浓度是最低的,且浓度在 0.02 mg·L⁻¹ 以下所分布的点较密集(图6),随着降雨量的增加 TDP 的浓度整体略有上升;中雨事件较小雨事件中的点分散,且随着降雨量的增多,TDP

的浓度先增大后趋于平缓,后又有所降低;大雨事件是所有降雨事件中 TDP 平均浓度最高的,且随着降雨量的增大,TDP 的浓度呈下降的趋势;暴雨事件下随着降雨量的增加 TDP 的浓度先上升后下降。整体来看,TDP 的浓度随着降雨量的增多呈现先快速上升后下降的趋势。

2.4 凤羽河出口颗粒态氮磷浓度

凤羽河流域出口断面 PN 和 PP 含量受降雨事件的影响。小雨事件下 PN 含量变程为 0.00 ~ 1.95 mg·L⁻¹,均值为 0.25 mg·L⁻¹。中雨事件下 PN 含量变程为 0.02 ~ 1.93 mg·L⁻¹,均值为 0.38 mg·L⁻¹。大雨事件下 PN 含量变程为 0.10 ~ 2.06 mg·L⁻¹,均值为 0.81 mg·L⁻¹。暴雨事件下 PN 含量变程为 0.09 ~ 1.16 mg·L⁻¹,均值为 0.62 mg·L⁻¹。小雨事

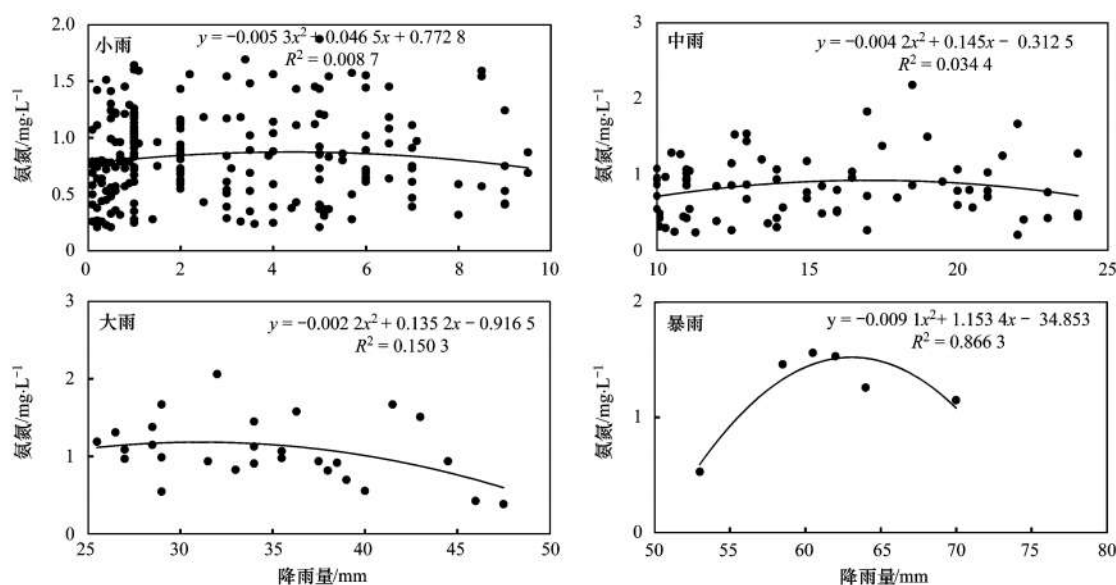


图5 不同降雨强度下氨氮浓度变化趋势

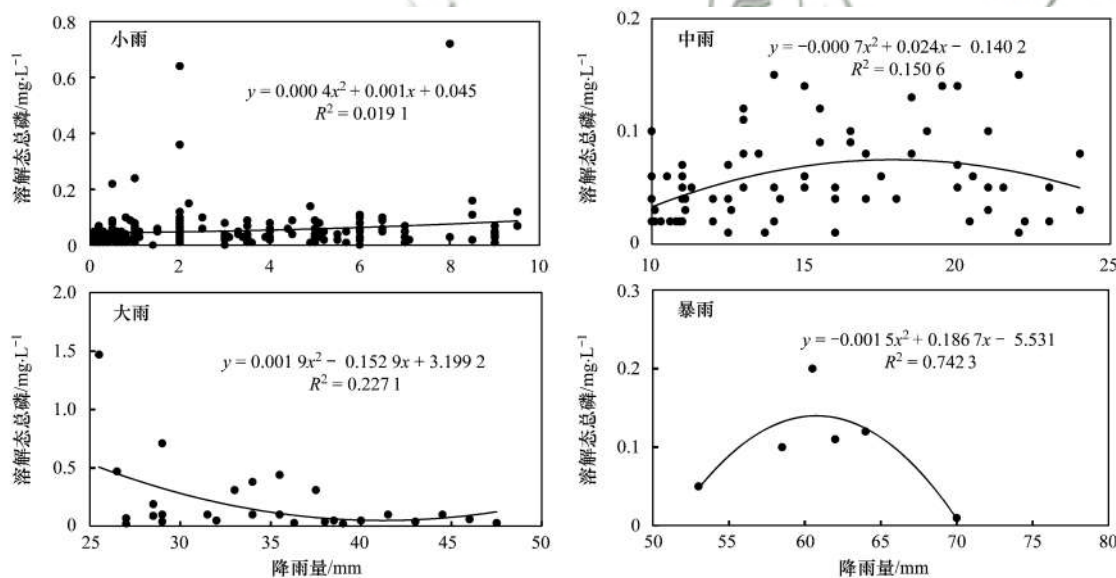
Fig. 5 Trend of NH_4^+-N concentration under different rainfall intensities

图6 不同降雨强度下溶解态总磷浓度变化趋势

Fig. 6 Trend of TDP concentration under different rainfall intensities

件下 PP 含量变程为 $0.00 \sim 1.57 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均值为 $0.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 中雨事件下 PP 含量变程为 $0.00 \sim 1.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均值为 $0.18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 大雨事件下 PP 含量变程为 $0.03 \sim 3.62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均值为 $0.62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 暴雨事件下 PP 含量变程为 $0.03 \sim 0.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均值为 $0.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

不同降雨事件下 PN 和 PP 含量与降雨量的关联性存在明显差异. PN 在小雨事件下的平均浓度最低, 且随着降雨量增加 PN 的浓度变化不大; 中雨事件下 PN 的浓度在略有下降后缓慢上升; PN 在大雨事件下的平均浓度最高, 且点的分布较分散 (图 7); 暴雨事件下 PN 的浓度随着降雨量的增大先上升后下降. 小雨事件下的 PP 平均浓度最低; 大雨事

件下的 PP 平均浓度最高, 而随着降雨量的增加, PP 的浓度整体呈现出降低的趋势 (图 8); 暴雨事件下 PP 的浓度随着降雨量的增加先上升后下降. 整体来看, PN 和 PP 的浓度随着降雨量的增多呈现先上升后下降的趋势.

2.5 溶解态/颗粒态氮磷比例

从溶解态和颗粒态氮在全氮中所占的比例 (质量分数) 对比可以看出 (表 2), 在小雨到大雨事件中, 随着降雨强度的增大, NH_4^+-N 在 TN 中所占比例减少, 在大雨到暴雨事件中, 随着降雨强度的增大, 其所占比例增加, 其中, NH_4^+-N 在小雨中所占比例最大, 在大雨中所占比例最小, PN 的比例则反之.

从溶解态和颗粒态磷在全磷中所占的比例 (质

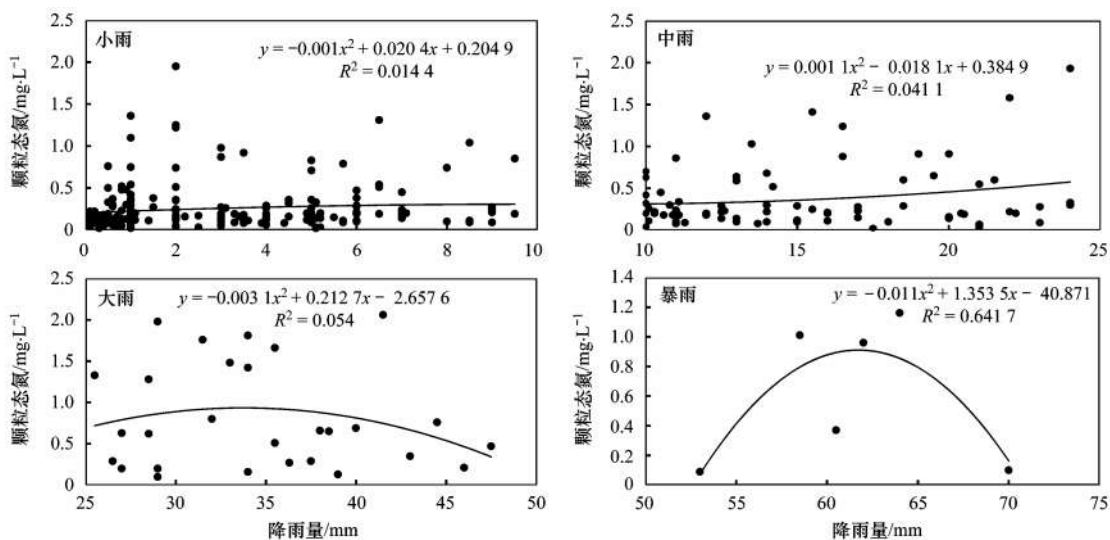


图 7 不同降雨强度下颗粒态氮浓度变化趋势

Fig. 7 Trend of PN concentration under different rainfall intensities

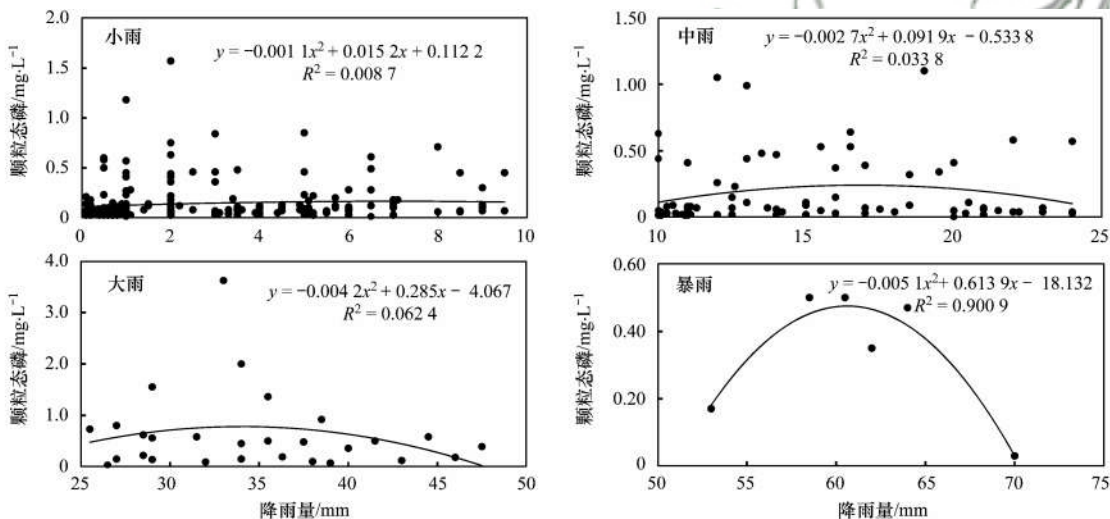


图 8 不同降雨强度下颗粒态磷浓度变化趋势

Fig. 8 Trend of PP concentration under different rainfall intensities

量分数)对比可以看出(表2),在小雨到中雨事件中,随着降雨强度的增大,TDP在TP中所占的比例增加,在中雨到暴雨事件中,随着降雨强度的增大,其所占比例减少,其中,TDP在中雨中所占比例最大,在暴雨中所占比例最小,PP则反之。

表 2 溶解态和颗粒态氮(磷)在全氮(磷)中所占比例/%

Table 2 Proportion of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and PN in TN, and Proportion of TDP and PP in TP/%				
项目	小雨	中雨	大雨	暴雨
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	76.85	68.60	57.14	66.84
PN	23.15	31.40	42.86	33.16
TDP	26.32	28.00	24.39	22.73
PP	73.68	72.00	75.61	77.27

3 讨论

2011~2013年间,凤羽河水质营养物质较高,根据《国家地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)

中的水质标准划分,凤羽河水质处于Ⅳ~Ⅴ类.降雨量影响着氮和磷的损失^[30],对面源污染有着至关重要的影响,它决定了降雨过程中产生的径流和污染物的量^[31],当降雨量越大时,径流量也越大,氮和磷的损失也越大^[14].在降雨量相同的情况下,短时强降雨一般比长时间低强度降雨径流量大,造成土壤侵蚀严重,可溶性污染物浸出严重^[32].有研究表明,在降雨强度较小时,氮浓度由开始的较高后降低,在降雨强度较大及暴雨时,氮浓度快速下降后缓慢上升^[33].本研究发现,在大雨或暴雨条件下,不同形态的氮和磷浓度波动较大.在暴雨事件中,凤羽河流域出口的TN和TP的初始浓度比小雨、中雨和大雨事件都低,是因为较大的雨量稀释了水体中污染物的浓度,随后TN和TP浓度快速上升后下降,这是由于暴雨情况下,雨量较大,产生了地表径流,携带了农田和生活等来源的污染物进入水体,使

污染物浓度上升,之后的下降是由于随着雨量的增多又稀释了污染物的浓度。

河流水质的变化受诸多因素的影响包括降雨、土地利用、坡度、养分投入、植物吸收能力等^[34-37]。在苏阳湖流域,严重的季风事件使硝化作用明显,最终导致河流径流中有超过 80% 的硝酸盐排放^[38]。在三峡库区古夫河小流域中,污染物排放负荷受降雨的季节变化特征明显,其中硝态氮输出浓度与降雨量显著线性相关,TP、TDP 和 PP 受降雨量和泥沙流失量影响较大^[25]。在凤羽河流域中,氮的损失主要以溶解态的氮为主,对于磷的损失,主要以颗粒态的磷为主,但是溶解态和颗粒态的磷浓度相差不大,其损失形式受降雨强度、植被覆盖和前期土壤含水量的影响很大^[39]。此外,地形也会对氮和磷的损失造成影响^[40],坡度越大的越容易发生径流^[41]。也有研究指出,在中国的丘陵区,降雨径流中的 NH_4^+ -N 和磷酸盐的浓度始终保持在较低的水平^[20]。凤羽河流域属于高原中的山地丘陵地形,是较易产生径流的地区,但 NH_4^+ -N 和 TDP 的损失在小雨及中雨中波动较小且浓度较低。此外,施肥也会影响氮和磷的损失^[42],肥料的使用可以明显地增加氮和磷的输出^[39]。

4 结论

(1) 不同降雨强度对污染物的影响不同,降雨的稀释和侵蚀作用对污染物浓度的变化起主要影响。氮的浓度平均值在小雨和中雨中较低,在大雨和暴雨时较高;磷的平均浓度在小雨和中雨强度中较低,在大雨强度下较高,但暴雨强度下的磷浓度比小雨和中雨强度高,比大雨强度低。

(2) 在降雨强度的影响下,不同形态的氮、磷浓度也有所不同。不同形态的氮浓度比较为: $\text{TN} > \text{NH}_4^+$ -N > PN, 其中,小雨条件下的 PN 平均浓度最小为 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,大雨条件下的 TN 平均浓度最大为 $1.89 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;不同形态的磷浓度比较为: $\text{TP} > \text{PP} > \text{TDP}$, 其中,小雨条件下的 TDP 平均浓度最小为 $0.04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,大雨条件下的 TP 平均浓度最大为 $0.82 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(3) 不同降雨强度下,溶解态氮磷和颗粒态氮磷比例有所不同。 NH_4^+ -N 在 TN 中的质量分数大于 PN,且随着降雨强度的增大质量分数先减小,然后在暴雨时增大;TDP 在 TP 中的质量分数小于 PP,且随着降雨强度的增大质量分数先增大然后在暴雨时减小。

参考文献:

[1] Bu H M, Meng W, Zhang Y. Nitrogen pollution and source

identification in the Haicheng River basin in Northeast China [J]. *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(18): 3394-3402.

[2] 陈小华, 钱晓雅, 李小平, 等. 洱海富营养化时间演变特征 (1988-2013 年) 及社会经济驱动分析[J]. *湖泊科学*, 2018, **30**(1): 70-78.

Chen X H, Qian X Y, Li X P, *et al.* Long-term trend of eutrophication state of Lake Erhai in 1988-2013 and analyses of its socio-economic drivers[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, **30**(1): 70-78.

[3] 中华人民共和国环境保护部. 2018 年中国生态环境状况公报 [EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201905/P020190619587632630618.pdf>, 2019-05-29.

[4] 宋岸, 肖举强. 洱海流域富营养化成因及教训[J]. *广东化工*, 2010, **37**(8): 133-134.

Song A, Xiao J Q. On the reasons and lessons of eutrophication in the Erhai Lake[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2010, **37**(8): 133-134.

[5] Bengtsson L, Herschy R W, Fairbridge R W. *Encyclopedia of lakes and reservoirs* [M]. Netherlands: Springer, 2012. 258-270.

[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] Li S M, Wang X L, Qiao B, *et al.* First flush characteristics of rainfall runoff from a paddy field in the Taihu Lake watershed, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, **24**(9): 8336-8351.

[8] Zhang S H, Li Y Q, Zhang T X, *et al.* An integrated environmental decision support system for water pollution control based on TMDL-a case study in the Beiyun River watershed[J]. *Journal of Environmental Management*, 2015, **156**: 31-40.

[9] Dong C Y, Zhang W G, Ma H L, *et al.* A magnetic record of heavy metal pollution in the Yangtze River subaqueous delta[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **476-477**: 368-377.

[10] 冯帅, 李叙勇, 邓建才. 太湖流域上游河网污染物降解系数研究[J]. *环境科学学报*, 2016, **36**(9): 3127-3136.

Feng S, Li X Y, Deng J C. A study on degradation coefficients of pollutants in the upstream river network of the Lake Taihu basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, **36**(9): 3127-3136.

[11] 项颂, 庞燕, 窦嘉顺, 等. 不同时空尺度下土地利用对洱海入湖河流水质的影响[J]. *生态学报*, 2018, **38**(3): 876-885.

Xiang S, Pang Y, Dou J S, *et al.* Impact of land use on the water quality of inflow river to Erhai Lake at different temporal and spatial scales[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(3): 876-885.

[12] 易娟, 徐枫, 高怡, 等. 2007 年以来环太湖 22 条主要河流水质变化及其对太湖的影响[J]. *湖泊科学*, 2016, **28**(6): 1167-1174.

Yi J, Xu F, Gao Y, *et al.* Variations of water quality of the major 22 inflow rivers since 2007 and impacts on Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2016, **28**(6): 1167-1174.

[13] 连慧妹, 刘宏斌, 李旭东, 等. 典型入湖河流水体氮素变化特征及其对降雨的响应: 以太湖乌溪港为例[J]. *环境科学*,

- 2017, **38**(12): 5047-5055.
- Lian H S, Liu H B, Li X D, *et al.* Characteristics of nitrogen variation and its response to rainfall: a case study in Wuxi Port at Taihu Lake Basin[J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(12): 5047-5055.
- [14] Wu L, Peng M L, Qiao S S, *et al.* Assessing impacts of rainfall intensity and slope on dissolved and adsorbed nitrogen loss under bare loessial soil by simulated rainfalls[J]. *CATENA*, 2018, **170**: 51-63.
- [15] 郝利朋. 辽宁省浑河流域降雨径流中氮磷流失特征研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- Hao L P. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses of rainfall runoff in Liaoning Hunhe Basin [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012.
- [16] 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.
- [17] Huang J C, Zhang Y J, Arhonditsis G B, *et al.* How successful are the restoration efforts of China's lakes and reservoirs? [J]. *Environment International*, 2019, **123**: 96-103.
- [18] 宋大平, 左强, 刘本生, 等. 农业面源污染中氮排放时空变化及其健康风险评估研究——以淮河流域为例[J]. *农业环境科学学报*, 2018, **37**(6): 1219-1231.
- Song D P, Zuo Q, Liu B S, *et al.* Estimation of spatio-temporal variability and health risks of nitrogen emissions from agricultural non-point source pollution: a case study of the Huaihe River Basin, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, **37**(6): 1219-1231.
- [19] Wang X L, Li J S, Li S M, *et al.* A study on removing nitrogen from paddy field rainfall runoff by an ecological ditch-zeolite barrier system [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, **24**(35): 27090-27103.
- [20] 蒋锐, 朱波, 唐家良, 等. 紫色丘陵区小流域典型降雨径流氮磷流失特征[J]. *农业环境科学学报*, 2008, **27**(4): 1353-1358.
- Jiang R, Zhu B, Tang J L, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus losses in typical rainfall-runoff events in a small watershed in hilly area of purple soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, **27**(4): 1353-1358.
- [21] 曾晓岚, 王涛涛, 罗万申, 等. 设施农业生产区降雨径流和氮磷输出特征及模拟——以滇池东岸花卉大棚种植区为例[J]. *湖泊科学*, 2017, **29**(5): 1061-1069.
- Zeng X L, Wang T T, Luo W S, *et al.* Characteristics and simulation of rainfall runoff and nitrogen & phosphorus outputs in facility agricultural area: a case study of flower greenhouse region in the East Coast of Lake Dianchi[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, **29**(5): 1061-1069.
- [22] Zhang W Q, Jin X, Meng X, *et al.* Contribution of particulate matter in storm runoff to organic phosphorus loads in urban rivers [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, **25**(23): 23342-23348.
- [23] 黄瑞, 韩龙喜, 张防修. 强降雨过程中入库面源污染对库区水质的影响[J]. *长江科学院院报*, 2018, **35**(5): 12-16.
- Huang R, Han L X, Zhang F X. Effects of non-point source pollutants on water quality of reservoir during heavy rainfall[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2018, **35**(5): 12-16.
- [24] 郭泽慧, 刘洋, 黄懿梅, 等. 降雨和施肥对秦岭北麓俞家河水质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2017, **36**(1): 158-166.
- Guo Z H, Liu Y, Huang Y M, *et al.* Effects of rainfall and fertilization on water quality of the Yujia River watershed in the northern Qinling Mountains [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, **36**(1): 158-166.
- [25] 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, Li 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.
- [26] 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): 1763-1769.
- Yang L X, Yang G S, Yuan S F, *et al.* Characteristics of soil phosphorus runoff under different rainfall intensities in the typical vegetable plot of Taihu Basin [J]. *Environmental Science*, 2007, **28**(8): 1763-1769.
- [27] Welter J R, Fisher S G. The influence of storm characteristics on hydrological connectivity in intermittent channel networks: implications for nitrogen transport and denitrification [J]. *Freshwater Biology*, 2016, **61**(8): 1214-1227.
- [28] Ouyang W, Skidmore A K, Toxopeus A G, *et al.* Long-term vegetation landscape pattern with non-point source nutrient pollution in upper stream of Yellow River basin [J]. *Journal of Hydrology*, 2010, **389**(3-4): 373-380.
- [29] 李明涛. 密云水库流域土地利用与气候变化对非点源氮、磷污染的影响研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2014.
- Li M T. Impacts of land use and climate changes on nonpoint source nitrogen and phosphorus pollution in the Miyun reservoir watershed [D]. Beijing: Capital Normal University, 2014.
- [30] Chen Y X, Liu R M, Sun C C, *et al.* Spatial and temporal variations in nitrogen and phosphorous nutrients in the Yangtze River Estuary [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, **64**(10): 2083-2089.
- [31] Rosenberg E A, Keys P W, Booth D B, *et al.* Precipitation extremes and the impacts of climate change on stormwater infrastructure in Washington State [J]. *Climatic Change*, 2010, **102**(1-2): 319-349.
- [32] Qiu J L, Shen Z Y, Wei G Y, *et al.* A systematic assessment of watershed-scale nonpoint source pollution during rainfall-runoff events in the Miyun Reservoir watershed [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, **25**(7): 6514-6531.
- [33] 石德坤. 模拟降雨条件下坡地氮流失特征研究[J]. *水土保持通报*, 2009, **29**(5): 98-101.
- Shi D K. Characteristics of nitrogen loss on slope under simulated rainfall [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, **29**(5): 98-101.
- [34] Arnhold S, Lindner S, Lee B, *et al.* Conventional and organic farming: soil erosion and conservation potential for row crop cultivation [J]. *Geoderma*, 2014, **219-220**: 89-105.
- [35] Bartsch S, Frei S, Ruidisch M, *et al.* River-aquifer exchange fluxes under monsoonal climate conditions [J]. *Journal of Hydrology*, 2014, **509**: 601-614.
- [36] Yue F J, Li S L, Liu C Q, *et al.* Sources and transport of nitrate constrained by the isotopic technique in a karst catchment: an example from Southwest China [J]. *Hydrological Processes*, 2015, **29**(8): 1883-1893.
- [37] Quan N H, Meon G. Nutrient dynamics during flood events in

- tropical catchments: a case study in southern Vietnam [J]. Clean-Soil, Air, Water, 2015, **43**(5): 652-661.
- [38] Suárez S P, Peiffer S, Gebauer G. Origin and fate of nitrate runoff in an agricultural catchment: Haeon, South Korea-Comparison of two extremely different monsoon seasons [J]. Science of the Total Environment, 2019, **648**: 66-79.
- [39] Liu R M, Wang J W, Shi J H, *et al.* Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions[J]. Science of the Total Environment, 2014, **468-469**: 1069-1077.
- [40] 赵伟, 杨培岭, 李海山, 等. 呼伦湖流域 3 种利用方式草场水土及氮磷流失特征[J]. 农业工程学报, 2011, **27**(9): 220-225.
- Zhao W, Yang P L, Li H S, *et al.* Characteristics of soil erosion, nitrogen and phosphorous losses under three grassland use patterns in Hulun Lake watershed [J]. Transactions of the CSAE, 2011, **27**(9): 220-225.
- [41] Wang W, Wu X H, Yin C M, *et al.* Nutrition loss through surface runoff from slope lands and its implications for agricultural management[J]. Agricultural Water Management, 2019, **212**: 226-231.
- [42] 王静, 郭熙盛, 王允青, 等. 巢湖流域不同耕作和施肥方式下农田养分径流流失特征[J]. 水土保持学报, 2012, **26**(1): 6-11.
- Wang J, Guo X S, Wang Y Q, *et al.* Characteristics of nutrient runoff losses from farmland under different tillage and fertilization methods in Chaohu Lake Region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, **26**(1): 6-11.

环境科学

CONTENTS

Concentration Characteristics and Assessment of Model-Predicted Results of PM _{2.5} in the Beijing-Tianjin-Hebei Region in Autumn and Winter	ZHU Yuan-yuan, GAO Yu-xiao, LIU Bing, <i>et al.</i> (5191)
Chemical Composition Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} During the Heating Period of 2016-2017 in the Eastern Part of the North China Plain	ZHANG Yi-qin, WANG Jie, GAO Jian, <i>et al.</i> (5202)
Change in Characteristics of Pollution Gas and Water-soluble Ions at Different Development Stages of Haze	WANG Zhen-bin, LIU An-kang, LU Wen, <i>et al.</i> (5213)
Exposure Levels, Sources, and Health Risks of Heavy Metal Components of PM _{2.5} in Housewives in Rural Shanghai	LUO Ran-ran, DAI Hai-xia, ZHANG Yun-hui, <i>et al.</i> (5224)
Measuring the Condensable Particle Matter from a Stationary Source	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, WANG Gang, <i>et al.</i> (5234)
Volatile Organic Compound Emission Characteristics of Furniture Manufacturing Enterprises and the Influence on the Atmospheric Environment	ZHANG Jia-mi, ZENG Chun-ling, LIU Rui-yuan, <i>et al.</i> (5240)
VOCs Emission Inventory and Impact Range Simulation of Antibiotic Enterprises	ZHU Tao, LÜ Yi-rong, BIAN Wen-jing, <i>et al.</i> (5250)
Effects of Vehicle Emissions on Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Pollution in Road Dust in Xinxiang	LI Qi-lu, WU Jin-tao, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (5258)
Pollution Characteristics and Exposure Risk Assessment of Perfluoroalkyl Substances in Road Dust, Chengdu	FANG Shu-hong, ZHU He-xiang, YE Zhi-xiang, <i>et al.</i> (5265)
Characteristics of Stable Isotopes and Analysis of Water Vapor Sources of Precipitation at the Northern Slope of the Qilian Mountains	ZHANG Bai-juan, LI Zong-xing, WANG Yu, <i>et al.</i> (5272)
Occurrence Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics in Source Water of the Nanjing Reach of the Yangtze River	FENG Meng-juan, ZHANG Qin, SONG Ning-hui, <i>et al.</i> (5286)
Effects of Different Coagulants on Co-manganese Oxides Filter Media for Removing Ammonium and Manganese from Surface Water in Summer and Autumn	CHENG Li-jie, HUNAG Ting-lin, CHENG Ya, <i>et al.</i> (5294)
Disinfection By-products and the Relevant Health Risk in the Water Supply System in H City of Zhejiang Province	LIU Jun-ping, YU Jian-quan, LI Qing-song, <i>et al.</i> (5302)
Absorption and Fluorescence Spectra of Dissolved Organic Matter in Rivers of the Three Gorges Reservoir Area Under the Background of Urbanization	CHEN Zhao-yu, LI Si-yue (5309)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Natural Rivers of Western Sichuan Plateau	LIU Yan-yang, SUN Hui, LIU Chen, <i>et al.</i> (5318)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Losses and Runoff in a Typical Purple Soil Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	CAO Rui-xia, LIU Jing, DENG Kai-kai, <i>et al.</i> (5330)
Responses of Riverine Phosphorus Exports to Land Use and Hydrological Regime in the Jiulong River Watershed	HUANG Ya-ling, TANG Li, HUANG Jin-liang, <i>et al.</i> (5340)
Effects of Land Use Types at Different Spatial Scales on Water Quality in Poyang Lake Wetland	FANG Na, LIU Ling-ling, YOU Qing-hui, <i>et al.</i> (5348)
Environmental Significance of Phosphorus Fractions of Phytoplankton-and Macrophyte-Dominated Zones in Taihu Lake	GENG Xue, WEN Shuai-long, SUN Pei-rong, <i>et al.</i> (5358)
Spatial Distribution and Pollution Evaluation of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Sediments of Zhushan Bay at Taihu Lake	FANG Jia-qi, QI Chuang, ZHANG Xin-hou, <i>et al.</i> (5367)
Effect of Rainfall Intensity on the Content of Nitrogen and Phosphorus Components in Plateau Areas: A Case Study of the Fengyu River Watershed	LI Xiao-hong, LEI Qiu-liang, ZHOU Jiao-gen, <i>et al.</i> (5375)
Water Purification Effect and Saline-alkali Tolerance Improvement Mechanism of <i>Suaeda salsa</i> in the Estuary Area	WU Dan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i> (5384)
Concentration-dependent Accumulation and Translocation of PFASs by Wetland Plant <i>Alisma orientale</i>	WANG Tuan-tuan, LI Bei-bei, WANG Sai, <i>et al.</i> (5394)
Occurrence of Denitrifying Dephosphatation in a Hybrid Constructed Wetland System and Its Stability	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, LI Qing-fei, <i>et al.</i> (5401)
Comparison of the Control of Sedimentary Phosphorus Release Using Zirconium-, Lanthanum-, and Lanthanum/Zirconium-Modified Zeolites as Sediment Amendments	LIU Ting, ZHAO Yu-ying, LIN Jian-wei, <i>et al.</i> (5411)
Effect of Biochar Structure on Adsorption Characteristics of Ammonia Nitrogen	CHEN Mei, WANG Fang, ZHANG De-li, <i>et al.</i> (5421)
Effect of Dissolved Oxygen on Partial Nitrification of Suspended and Attached Growth Systems	WANG Si-yu, LIU Ling-jie, WANG Fen, <i>et al.</i> (5430)
Effects of Different Intermittent Aeration Strategies on the Start-up of SNAD Process	LI Dong, LIU Zhi-cheng, XU Gui-da, <i>et al.</i> (5438)
Operational Performance and Microbiological Characteristics of an Iron-Salt Denitrification Reactor in Co-substrate Mode	WANG Ru, LIU Meng-yu, LIU Bing-yin, <i>et al.</i> (5446)
Effect of Step Aeration on a Municipal Sewage Aerobic Granular Sludge System	LI Dong, WEI Zi-qing, LAO Hui-mei, <i>et al.</i> (5456)
Improvement of the Dewaterability of Excess Activated Sludge with Mixed Yeasts by Degrading Extracellular Polymeric Substances	YU Xin-yi, XIANG Jin-hao, LIU Ying, <i>et al.</i> (5465)
Influence of Land Use Change on Ecosystem Service Value Based on GEE in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 1998 to 2018	LOU Pei-qing, FU Bo-lin, LIN Xing-chen, <i>et al.</i> (5473)
Assessment of Soil Quality in Coastal Tidal Flat Reclamation Areas Based on MDS-TOPSIS Model	XIE Xue-feng, PU Li-jie, ZHU Ming, <i>et al.</i> (5484)
Effect of Increasing Tidewater Inundation on Porewater Geochemistries and CO ₂ and CH ₄ Effluxes in the Tidal Freshwater Marshes of the Minjiang River Estuary, Southeast China	LI Jing, HUANG Jia-fang, LUO Min, <i>et al.</i> (5493)
Methane Emission Characteristics and Its Influencing Factors over Aquaculture Ponds	WANG Jiao, XIAO Wei, ZHANG Xiu-fang, <i>et al.</i> (5503)
Effect of Fertilization on Soil Respiration and Its Temperature Sensitivity in a Sorghum Field	YAN Jun-xia, ZHANG Yuan, JIAO Xiao-yan (5515)
Land Safety Zoning Method in High-Selenium and High-Cadmium Areas	WANG Rui, HOU Wan-ling, LI Yu-tong, <i>et al.</i> (5524)
Remediation Effects of Different Composite Materials on Cadmium-Contaminated Farmland Soil	CHEN Shu-lan, XU Chen-yang, GENG Zeng-chao, <i>et al.</i> (5531)
Hydrocalumite Passivation Effect and Mechanism on Heavy Metals in Different Cd-Contaminated Farmland Soils	WU Qiu-mei, LIU Gang, WANG Hui-feng, <i>et al.</i> (5540)
Effects of Different Land Use Types on Microbial Community Diversity in the Shizishan Mining Area	HUANG Jian, ZHU Xu-yan, LU Jin, <i>et al.</i> (5550)
Effects of Conversion of Forest to Arable Land on the Abundance and Structure of the <i>cbbL</i> -Harboring Bacterial Community in Albic Soil of the Hilly Region of Northeast China	WANG Rui, WU Xian, LI Gang, <i>et al.</i> (5561)
Thoughts on and Construction of a Risk Management and Control System for Contaminated Sites in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	CHANG Chun-ying, DONG Min-gang, DENG Yi-rong, <i>et al.</i> (5570)
Visualized Quantitative Research of Soil Pollution in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	ZHANG Ning, ZHANG Sheng, YANG Hai-chao, <i>et al.</i> (5581)
Characteristics and Environmental Impacts of Materials Stored in Municipal Solid Waste Landfills: A Case Study of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	MA Shi-jun, ZHOU Chuan-bin, YANG Guang, <i>et al.</i> (5593)
Heavy Metal Contamination and Migration in Correspondence of an Electroplating Site on the Hilly Lands of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China	HOU Wen-juan, GONG Xing, ZHAN Ze-bo, <i>et al.</i> (5604)
Pollution Characteristics and Migration of BTEX at a Chemical Contaminated Site in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	DENG Yi-rong, LU Hai-jian, DONG Min-gang, <i>et al.</i> (5615)
Immobilization Impact of Goethite-Fulvic Acid Composites on Pb-Cd Contaminated Soil	LIU Qian-jun, LI Xiang, ZHOU Yang-mei, <i>et al.</i> (5623)
Mobilization of Heavy Metals in a Soil-Plant System and Risk Assessment in the Dabaoshan Mine Area, Guangdong Province, China	CHEN Jie-yi, LIU Guang-bo, CUI Jin-li, <i>et al.</i> (5629)
Calculation of the Soil Risk Control Value through a Hydrus-1D Model for Groundwater Protection	LIN Ting, LUO Fei, ZHU Yan, <i>et al.</i> (5640)
INDEX HUANJING KEXUE CONTENTS 2019, Vol. 40	(5659)