生方知库
Eco-Environmental Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

北京城区$PM_{2.5}$各组分污染特征及来源分析

安欣欣，曹阳，王琴，富佳明，王陈婧，景宽，刘保献

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社

2022年5月
第43卷 第5期
Vol.43 No.5

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第43卷 第5期
2022年5月15日

目 次

北京城区 $PM_{2.5}$ 各组分污染特征及来源分析 …… 安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献 (2251)
基于时空混合效应模型的京津冀 $PM_{2.5}$ 浓度变化模拟 …… 范丽行, 杨晓辉, 宋春杰, 李梦诗, 段继福, 王卫, 李夫星, 李伟妙 (2262)
2000~2018年京津冀城市群 $PM_{2.5}$ 时空演变及其与城市扩张的关联 …… 赵安周, 相恺政, 刘宪锋, 张向蕊 (2274)
海-陆大气交汇作用下青岛冬季大气 $PM_{2.5}$ 污染特征与来源解析 …… 庹雄, 杨凌霄, 张婉, 齐安安, 王浥铭, 王鹏程, 黄琦, 赵彤, 张雄飞, 徐鹏, 张天琪, 王文兴 (2284)
硫酸盐非均相机制对颗粒物污染的影响:上海典型污染事件的WRF-Chem模拟 …… 张茹涵, 张皓然, 冯伟航, 汤克勤, 马亚平, 王红丽, 黄成, 胡建林, 张宏亮, 李楠 (2294)
省会城市不同功能区大气 $PM_{2.5}$ 化学组分季节变化及来源分析 …… 孙友敏, 范晶, 徐标, 李彦, 韩红, 张桂芹 (2304)
太原市冬季不同污染程度下 $PM_{2.5}$ 的化学组成、消光特征及氧化潜势 …… 任娇, 赵荣荣, 王铭, 张欢欢, 尹诗杰, 薛永刚 (2317)
郑州市冬季大气 $PM_{2.5}$ 金属元素来源及健康风险评价 …… 姚森, 王乾恒, 薛妍, 史来文, 张俊美, 杨书申 (2329)
淄博市冬季 $PM_{2.5}$ 载带金属元素污染特征、生态风险评价及来源分析 …… 白雯宇, 徐勃, 郭丽瑶, 殷宝辉, 马银红, 李丽明, 杨文, 赵雪艳 (2336)
承德市 $PM_{2.5}$ 中多环芳烃的季节分布特征、来源解析及健康风险评价 …… 贺博文, 聂赛赛, 李仪琳, 郭睿瑶, 姚波, 崔建升, 冯亚平, 王帅, 侯晓松 (2343)
珠三角大气中二噁英污染水平与区域迁移 …… 付建平, 谢丹平, 黄锦琼, 杨艳艳, 冯桂贤, 周长风, 廖海婷, 青宪, 张漫雯, 吴明亮, 张素坤 (2355)
华北平原南部农村地区黑碳气溶胶浓度及来源 …… 张玲, 孔少飞, 郑煌, 胡尧, 曾昕, 程溢, 祁士华 (2363)
基于模式过程分析技术天津地区 $PM_{2.5}$ 污染气象成因分析 …… 郝囝, 蔡子颖, 韩素芹, 杨旭, 樊文雁, 姚青, 邱晓滨 (2373)
基于排放量和大气反应活性的VOCs污染源分级控制 …… 陈鹏, 张月, 邢敏, 李珊珊 (2383)
基于复杂网络的中国臭氧拓扑特征 …… 菅娜, 陈建华, 李冬, 王迪, 薛志钢 (2395)
基于前体物多情景排放的兰州市2030年夏季臭氧预测 …… 陈天雷, 吴敏, 潘成珂, 常莉敏, 李泱, 刘鹏, 高宏, 黄韬, 马建民 (2403)
基于源反演和气溶胶同化方法天津空气质量模式预报能力改进 …… 蔡子颖, 唐邈, 肖致美, 杨旭, 朱玉强, 韩素芹, 徐虹, 邱晓滨 (2415)
基于空气质量监测数据的钢铁行业污染源识别方法 …… 石耀鹏, 胡京南, 褚旸晰, 段菁春, 胡丙鑫, 殷丽娜, 吕玲玲 (2427)
重污染天气应对"绩效分级、差异化管控"措施首次实践效果后评估 …… 曾景海, 王灿 (2436)
黄河流域水污染风险分区 …… 周夏飞, 曹国志, 於方, 杨威杉, 徐泽升 (2448)
黄河流域甘肃段工业行业水污染物空间排放特征 …… 李雪迎, 杨曦, 乔琦, 刘丹丹, 张玥, 赵若楠, 白璐 (2459)
黄河沉积物重金属时空分布与污染评价 …… 王韬轶, 潘保柱, 韩谞, 王雨竹, 李晨辉, 杜蕾 (2467)
APCS-MLR结合PMF模型解析厦门杏林湾近郊流域沉积物金属来源 …… 沈宸宇, 闫钰, 于瑞莲, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (2476)
河流底泥DOM、营养盐与重金属空间分异特征及响应关系 …… 肖艳春, 于会彬, 宋永会 (2489)
太原市汾河河岸带土壤重金属分布特征、评价与来源解析 …… 胡杰, 赵心语, 王婷婷, 荀奎贤, 王春玲 (2500)
洪泽湖溶解态有机质与重金属汞的结合特性 …… 胡斌, 王沛芳, 张楠楠, 包天力, 金秋彤 (2510)
富营养化驱动下西凉湖百年来生态系统演化轨迹 …… 郑佳楠, 徐敏, 郑文秀, 朱可欣, 王荣, 张恩楼 (2518)
基于DGT技术的黄河上游典型水库沉积物氮磷释放与污染源解析 …… 马玉珅, 朱翔, 庞晴晴, 孔明, 韩天伦, 彭福全, 谢磊, 汪龙眠, 徐斌, 何斐 (2527)
暴雨前后河南北部河流水质分异特征及其污染源解析 …… 张彦, 邹磊, 梁志杰, 窦明, 李平, 黄仲冬, 齐学斌 (2537)
鄱阳湖流域水葫芦(*Eichhornia crassipes*)对水体微塑料的吸附截留效应 …… 李文刚, 吴希恩, 简敏菲, 刘淑丽, 刘海球, 丁惠君 (2548)
太湖塑料添加剂时空分布和生态风险评价 …… 刘舒娇, 丁剑楠, 石浚哲, 张军毅, 庄严, 邹华 (2557)
骆马湖表层沉积物微塑料的分布、来源及储存量 …… 姚明轩, 白雪, 徐振佳, 李凤杰, 陆滢, 李畅, 华祖林 (2566)
太湖不同介质中磷的污染特征及其治理启示 …… 蔡梅, 陆志华, 王元元, 钱旭 (2575)
辽河四平段流域河流沉积物微生物群落多样性和结构分析 …… 李鹏洋, 安启睿, 王新皓, 孙思宇, 李肖乾, 郑娜 (2586)
面源污染诱导嘉陵江沉积物中细菌群落结构与功能异变 …… 薛玉琴, 徐飞, 刘坤和, 王佳颖, 竹兰萍, 朱志豪, 张拓 (2595)
微塑料对沉积物细菌群落组成和多样性的影响 …… 李汶璐, 王志超, 杨文焕, 张博文, 李卫平 (2606)
白洋淀冬季沉积物好氧反硝化菌垂向分布特征及群落构建 …… 张甜娜, 陈召莹, 张紫薇, 周石磊, 孟佳靖, 陈哲, 张一凡, 董宛佳, 崔建升 (2614)
人工诱导水库分层水体提前混合对细菌群落结构和代谢活性的影响 …… 高悦, 黄廷林, 李楠, 齐允之, 司凡, 杨斌 (2624)
鄱阳湖典型区铜锈环棱螺体内微塑料分布特征 …… 江为群, 胡启武, 简敏菲, 邹龙, 刘淑丽 (2633)
负载多壁碳纳米管的多孔 Ti/SnO_2-Sb-Ni 电极电催化氧化双酚A …… 符远航, 刘安迪, 黄纬斌, 唐柏彬, 张进忠 (2640)
磁性 $Mn_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$@SiO_2 催化 H_2O_2 降解亚甲基蓝效能及机制 …… 徐冬莹, 余静, 郝旗, 杨迎春, 方淑红 (2650)
两种纳米颗粒对沸石吸附环丙沙星的影响 …… 蒋兰翠, 孟昭福, 刘贤, 刘欣, 王新欣, 曹雪雯 (2662)
AMD污泥复合材料吸附As(Ⅴ)的机制及其影响因素 …… 张亚辉, 张瑞雪, 吴攀, 陈世万, 杨艳, 安丽, 傅渝然, 张予豪 (2673)
三氯生及其降解中间产物对活性污泥中微生物群落变化和硝化反硝化功能基因的影响 …… 卢英源, 董小琦, 彭星星, 贾晓珊 (2685)
污染场地风险管控可持续评价指标体系构建及关键影响因素分析 …… 李笑诺, 易诗懿, 陈卫平 (2699)
基于生态功能的滨海湿地土壤质量综合评价方法构建及实证分析 …… 张雪, 孔范龙, 姜志翔 (2709)
铜山矿区周边农田土壤重金属来源解析及污染评价 …… 陈航, 王颖, 王澍 (2719)
典型铁、锰矿物对稻田土壤砷形态与酶活性的影响 …… 周一敏, 黄雅媛, 刘凯, 赵儒乐, 李冰玉, 雷鸣 (2732)
两种油菜配施水溶性壳聚糖修复典型铅污染农田土壤 …… 孟晓飞, 郑国砥, 陈同斌, 杨俊兴, 郭俊姆, 刘杰 (2741)
基于贝叶斯理论的小麦籽粒镉铅超标风险预测 …… 王天齐, 李艳玲, 杨阳, 牛硕, 王美娥, 陈卫平 (2751)
紫色土旱坡地油菜/玉米轮作下氮流失的年际变化特征 …… 徐曼, 高明, 余泺, 朱浩宇, 邓华, 王子芳 (2758)
不同原料生物炭的理化特性及其作炭基肥缓释载体的潜力评价 …… 邢莉彬, 成洁, 耿增超, 张宏伟, 梁宏旭, 王强, 孙倩倩, 李艳 (2770)
木醋液酸化生物炭与氮素配施对盐渍土壤活性氮及氨挥发的影响 …… 申书伟, 张丹丹, 王敏鸽, 王旭东 (2779)
生物可降解地膜覆盖对关中地区小麦-玉米农田温室气体排放的影响 …… 郭怡婷, 罗晓琦, 王锐, 陈海心, 冯浩 (2788)
戴云山南坡不同海拔森林土壤微生物群落结构特征和影响因素 …… 何中声, 王紫薇, 朱静, 陈佳嘉, 谷新光, 江蓝, 陈博, 吴则焰, 刘金福, 陈文伟 (2802)
模拟增温和降雨增加对撂荒草地土壤胞外酶活性及计量特征的影响 …… 王兴, 钟泽坤, 简俊楠, 张硕宏, 杨改河, 任成杰, 冯永忠, 任广鑫, 王晓娇, 韩新辉 (2812)
中国主要城市的城市化对局地增温的贡献 …… 李宇, 周德成, 闫章美, 张良侠 (2822)

《环境科学》征订启事(2293) 《环境科学》征稿简则(2426) 信息(2585, 2672, 2708)

暴雨前后河南北部河流水质分异特征及其污染源解析

张彦[1], 邹磊[2], 梁志杰[1], 窦明[3,4], 李平[1,5], 黄仲冬[1], 齐学斌[1,5]*
(1. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 新乡 453002; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程院重点实验室, 北京 100101; 3. 郑州大学水利科学与工程学院, 郑州 450001; 4. 郑州大学生态与环境学院, 郑州 450001; 5. 农业农村部农产品质量安全水环境因子风险评估实验室, 新乡 453002)

摘要: 为了探究暴雨前后河南北部河流水质分异特征并对其污染源进行识别,选取了暴雨前后6个监测断面和8个水质指标的监测数据,利用箱线图、相关性分析和绝对主成分-多元线性回归模型等方法分析了暴雨前后河南北部河流水质指标的差异性及其变化过程,并计算了污染源的绝对贡献率. 结果表明,pH、DO、EC和TN的值暴雨后比暴雨前有所降低,而浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N和TP的值暴雨后比暴雨前有所增加,其中TP的变化率最大为177.17%; DO、高锰酸盐指数、NH_4^+-N和TP暴雨后处于Ⅳ类及以上水质标准占比明显增加,增加幅度分别为65.12%、34.26%、15.29%和37.46%; 各监测断面水质指标在暴雨前后均有不同程度的差异性,其中pH值的差异性最小,而浊度、NH_4^+-N和TP的差异性较大; 暴雨后pH和DO与其他水质指标的相关性有所增加,而浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N、TP和TN相互间的相关性在暴雨后有所减小; 暴雨前河流水质指标受到气象因子和河流水体内源的影响较大,暴雨后城市污染源对TN的绝对贡献率最大为60.53%,气象因子对DO、NH_4^+-N和TP的绝对贡献率分别为43.03%、46.11%和42.22%,农业面源对高锰酸盐指数的绝对贡献率较大为65.60%,未识别污染源对pH的绝对贡献率最大为60.04%.

关键词: 暴雨; 水质分异特征; 污染源; 绝对主成分-多元线性回归; 河南北部
中图分类号: X522 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2022)05-2537-11 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.202109010

Differential Characteristics and Source Identification of Water Quality of the Rivers in Northern Henan Before and After Rainstorm

ZHANG Yan[1], ZOU Lei[2], LIANG Zhi-jie[1], DOU Ming[3,4], LI Ping[1,5], HUANG Zhong-dong[1], QI Xue-bin[1,5]*
(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 4. School of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 5. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-Products on Water Environmental Factors, Ministry of Agriculture and Rural Affairs and Rural Affairs, Xinxiang 453002, China)

Abstract: To explore the water quality differential characteristics and identify pollution sources of rivers in Northern Henan before and after rainstorms, the monitoring data of eight water quality indexes in six monitoring sections before and after a rainstorm were selected. The change characteristics, differences, and change process of river water quality indexes in Northern Henan before and after the rainstorm were analyzed by using a box diagram, correlation analysis, and an absolute principal components-multiple linear regression model (APCS-MLR), and the absolute contribution rates of pollution sources were calculated. The results showed that the values of pH, DO, EC, and TN after the rainstorm were lower than those before the rainstorm, whereas the values of turbidity, permanganate index, NH_4^+-N, and TP increased after the rainstorm, and the maximum change rate of TP was 177.17%. The proportions of DO, permanganate index, NH_4^+-N, and TP in class Ⅳ and above water quality standards increased significantly after the rainstorm, with increase rates of 65.12%, 34.26%, 15.29%, and 37.46%, respectively. The water quality indexes of each monitoring section were different before and after the rainstorm, and the difference in pH value was the smallest, whereas the differences in turbidity, NH_4^+-N, and TP were relatively larger. The correlations between pH and DO and other water quality indexes increased after the rainstorm, whereas the correlations between turbidity, permanganate index, NH_4^+-N, TP, and TN decreased significantly after the rainstorm. Before the rainstorm, the water quality indexes of the rivers were greatly affected by meteorological factors and those endogenous to the water body. After the rainstorm, the absolute contribution rate of urban pollution sources to TN was 60.53%; the absolute contribution rates of meteorological factors to DO, NH_4^+-N, and TP were 43.03%, 46.11%, and 42.22%, respectively; the absolute contribution rate of agricultural non-point sources to the permanganate index was 65.60%; and the absolute contribution rate of unidentified pollution sources to pH was 60.04%.

Key words: rainstorm; differential characteristics of water quality; source; APCS-MLR; northern Henan

随着全球气候变暖,暴雨、高温和干旱等极端天气频发[1]. 有研究表明国内外地区的极端降水事件发生频次呈现逐年上升的态势[2~7],极端降水不仅影响了经济社会稳定的发展,而且对区域生态环境构成危害,如2007年"7·18"济南、2012年"7·21"北京、2015年"7·23"武汉和2021年"7·20"河南暴雨均给当地人民的生命财产安全和生态环境带来了严重的威胁.

暴雨发生时生活垃圾、农业面源污染物和畜禽养殖污染物等通过雨水汇至河流中将对河流水生态

收稿日期: 2021-09-01; **修订日期**: 2021-09-25
基金项目: 河南省自然科学基金项目(212300410310); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(FIRI20210105, FIRI2022-01); 国家自然科学基金项目(51879239, 42101043)
作者简介: 张彦(1989~),男,博士研究生,助理研究员,主要研究方向为水资源和水环境, E-mail:zhangyan09@caas.cn
* 通信作者,E-mail:qxb6301@sina.cn

环境造成一定的影响,相关研究表明暴雨和河流营养物质之间具有复杂的关系[8~11],如车蕊等[12]的研究分析了近38年极端降雨事件对东江流域水质的影响,华逢耀等[13]和黄诚等[14]的研究分析了降雨径流对西安金盆水库水质响应的特征,张丽等[15]和李程遥等[16]的研究分析了突发暴雨径流对磁湖水体水质和有机质的影响,孙世鹏等[17]的研究探究了暴雨前后库里泡底栖硅藻群落结构的变化特征,辛苑等[18]的研究分析了单场强降雨对北运河上游沙河水库水质的影响,谢坤等[19]的研究揭示了洱海海西种植区对农灌沟渠雨季水质的影响及氮磷的贡献率.针对水质污染源解析方面,目前常用的方法有排放清单法、流域模型法和统计学方法等,如李发荣等[20]的研究采用对应分析、层次聚类分析和自组织映射神经网络识别了牛栏江流域主要污染源与空间差异性,齐冉等[21]的研究应用铵盐同位素示踪技术和多元线性混合模型等方法识别了木沥河流域氮污染物来源,文献[22~30]分别解析了黑河流域、湟水流域、沁河流域、太湖流域、武水河流域、新疆艾比湖流域、漳卫南运河流域、土耳其中部近海和德国北部低洼地区的污染源情况.另外,后希康等[31]和杜展鹏等[32]的研究利用绝对主成分-多元线性回归模型分别解析了沱河和滇池草海和外海污染物来源及其主要贡献,孟利等[33]的研究利用主成分分析和主成分得分多元线性回归受体模型方法识别了水质指标主要因子并计算其贡献程度,史文昌等[34]的研究利用绝对主成分-多元线性回归受体模型对滇池宝象河干流表层沉积物重金属的来源进行了定量解析.

暴雨引起的面源污染具有一定的典型性,而突发暴雨所产生的面源污染对河南北部河流水质分异特征和污染贡献的影响尚不清楚,因此本研究为了探究暴雨前后河南北部河流水质分异特征及识别其污染贡献,以2021年"7·20"河南暴雨为契机,利用以箱线图、相关性分析和绝对主成分-多元线性回归模型分析了暴雨前后河南北部河流水质指标的变化过程及其差异性特征,并对河流水质污染源进行解析,以期为极端暴雨下区域河流水环境保护和污染控制提供一定的决策依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况及数据来源

河南北部主要城市有新乡市、安阳市、鹤壁市、濮阳市和焦作市等,其境内河流主要包括卫河、大沙河、共产主义渠、天然文岩渠、淇河、安阳河、马颊河、汤河和金堤河等,其中天然文岩渠属于黄河水系,其他河流属于海河水系,河南省黄河流域多年平均降水量约为628 mm,海河流域多年平均降水量约为576 mm. 2021年7月20日左右河南大部分地区出现特大暴雨情况,如2021年7月17日08:00到22日06:00新乡出现特大暴雨,最大降水量为907 mm,其中最大1 h雨强为149.9 mm,最大2 h雨强为267.4 mm,最强降水时段出现在2021年7月20日05:00到22日05:00,降水量812 mm;2021年7月19日20:00到22日06:00,安阳市最大降水量达到了600 mm以上;2021年7月21日20:00到21日23:00,鹤壁市最大降水量为63.5 mm,最大1 h雨强为51.1 mm·h^{-1}.另外,2021年7月12日左右新乡市和濮阳市平均降水量达到了50 mm以上.

本研究数据主要来自于文献[35],选取了暴雨前后河南北部河流水质监测数据系列较为完整的6个监测断面的8个水质指标,由于受到暴雨影响部分监测断面的监测设备不具备运行条件而造成部分水质指标数据缺失.监测断面主要有安阳市安阳河的彰武水库、新乡市共产主义渠的获嘉东碑村、新乡市天然渠封丘陶北、濮阳市卫河南乐元村集、濮阳市马颊河南乐水文站以及濮阳市金堤河濮阳大韩桥,监测断面具体位置详见图1.水质指标主要有pH、溶解氧(DO)、电导率(EC)、浊度、高锰酸盐指数、氨氮(NH_4^+-N)、总磷(TP)和总氮(TN),暴雨前水质指标的收集时间主要从2020年11月开始到2021年7月初,一月收集一次,体现了河流水质的常态,具体的监测时间分别为2020年11月29日、2020年12月25日、2021年1月15日、2021年2月25日、2021年3月29日、2021年4月25日、2021年5月24日、2021年6月25日和2021年7月12日;"7·20"河南暴雨后水质指标监测时间为2021年7月20日至8月6日,体现了河流水质在暴雨之后的变化过程.水质监测数据分析执行《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)[36].

1.2 研究方法

1.2.1 箱线图法

箱线图法是描述统计的一个简便工具,用于检验样本数据中异常值的方法,主要是以简单的组合图形将数据批量直观地表现出来,反映一组或多组连续型定量数据分布的中心位置和散布范围[37],其由最小值、上四分位数、中位数、下四分位数和最大值这5个统计量构成,可粗略地看出数据是否具有对称性、分布的分散程度等信息[38,39].箱线图法广泛地应用于流域水质评价的过程中,使得复杂庞大的监测数据得以清楚地反映出变化规律[40].

图 1　河南北部河流监测断面分布示意

Fig. 1　Distribution of monitoring sections of the rivers in northern Henan

1.2.2　相关性分析

相关性分析主要用于计算水质指标之间的相关系数[41,42]，相关系数越大说明二者间的相关性越大，其值主要在 −1 ~ 1 之间. 具体计算公式如下：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中，n 为水质指标系列总数，x_i 和 y_i 分别为两种不同水质指标系列值.

1.2.3　绝对主成分-多元线性回归(APCS-MLR)模型

(1)污染源识别[31~34]

绝对主成分-多元线性回归(APCS-MLR)模型首先要提取水质指标的主成分，进一步作为污染源判别和量化的依据. 主成分得分计算公式如下：

$$(A_z)_{jk} = \sum_{j=1}^{p} w_j \cdot z_k \quad (2)$$

$$z_k = (c_k - \bar{c})/\sigma \quad (3)$$

式中，$(A_z)_{jk}$为主成分的得分值，w_j 为第 j 主成分的因子系数，z_k 为 k 监测断面标准化的污染物质量浓度，j 为提取的主成分序号，c_k 为 k 监测断面的污染物质量浓度，$\bar{c}$ 为污染物质量浓度平均值，σ 为污染物标准差.

由于$(A_z)_{jk}$是标准化值，故不能直接计算主成分的原始贡献，因此必须把标准化因子得分转化为非标准化绝对主成分(APCS)用于主成分对污染物的贡献解析. 绝对主成分的计算公式如下：

$$\mathrm{APCS}_{jk} = (A_z)_{jk} - (A_0)_j \quad (4)$$

$$(A_0)_j = \sum_{i=1}^{i} S_{ij} \cdot (Z_0)_i \quad (5)$$

$$(Z_0)_i = (0 - \bar{c})/\sigma \quad (6)$$

式中，i 为水质指标因子序号，$(A_0)_j$ 为 0 值下的主成分得分值，S_{ij}为因子得分系数，$(Z_0)_i$ 为监测断面 0 值标准化的污染物质量浓度.

(2)基于多元线性回归的污染源贡献率[43~45]

多元线性回归方程是以水质指标实测质量浓度 C 为因变量，以绝对主成分 APCS 为自变量，对于污染物 j 的实测质量浓度 C_j 与污染源 k(APCS)的线性关系如下式所示：

$$C_j = \sum_k a_{kj} \cdot \mathrm{APCS}_{kj} + b_j \quad (7)$$

式中，a_{kj}为污染源 k 对污染物 j 的回归系数，$a_{kj} \cdot \mathrm{APCS}_{kj}$为污染源 k 对污染指标质量浓度 C_j 的贡献，b_j 为多元线性回归常数.

污染源 k 对污染物 j 的绝对贡献比例可用下式表示：

$$\mathrm{PC}_{kj} = \frac{|a_{kj} \cdot \overline{\mathrm{APCS}_{kj}}|}{|b_j| + \left|\sum_k a_{kj} \cdot \overline{\mathrm{APCS}_{kj}}\right|} \times 100\% \quad (8)$$

未识别源的绝对贡献比例为：

$$\mathrm{PC}_{kj} = \frac{|b_j|}{|b_j| + \left|\sum_k a_{kj} \cdot \overline{\mathrm{APCS}_{kj}}\right|} \times 100\% \quad (9)$$

式中，$\overline{\mathrm{APCS}_{kj}}$为污染物 j 的所有样本绝对主成分因子得分的平均值.

2　结果与分析

2.1　暴雨前后河南北部河流水质指标变化特征

暴雨前后河南北部河流水质指标变化总体情况如表 1 所示，可知暴雨前各监测断面 pH、DO、NH_4^+-N和 TN 的最大值分别为 9.20、22.78 mg·L^{-1}、8.70 mg·L^{-1}和 13.35 mg·L^{-1}，而暴雨后 EC、浊度、高锰酸盐指数和 TP 的最大值分别为2 808.00 μS·cm^{-1}、330.80 NTU、17.68 mg·L^{-1} 和 1.04

mg·L^{-1}. 针对各监测断面水质指标的总平均值，pH、DO、EC 和 TN 呈现出暴雨后比暴雨前有所降低，其变化率分别为 -4.95%、-63.31%、-38.54% 和 -26.44%；浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 呈现出暴雨后比暴雨前有所增加，其变化率分别为 120.70%、84.46%、58.15% 和 177.17%.

表 1 暴雨前后河南北部河流水质总体监测情况

Table 1 Overall monitoring of water quality of the rivers in northern Henan before and after rainstorm

时间	监测断面数据类型	pH	DO /mg·L^{-1}	EC /μS·cm^{-1}	浊度 /NTU	高锰酸盐指数 /mg·L^{-1}	NH_4^+-N /mg·L^{-1}	TP /mg·L^{-1}	TN /mg·L^{-1}
暴雨前	最小值	7.27	1.30	455.70	2.40	0.61	0.03	0.01	0.59
	最大值	9.20	22.78	2 701.10	235.70	10.98	8.70	0.85	13.35
	平均值范围	7.87 ~ 8.36	7.94 ~ 11.89	564.29 ~ 1 903.07	4.30 ~ 85.98	1.35 ~ 5.59	0.06 ~ 3.06	0.01 ~ 0.22	1.92 ~ 8.32
	总平均值	8.18	9.65	1192.37	29.76	3.75	0.69	0.09	4.43
暴雨后	最小值	7.32	0.18	228.40	3.40	1.80	0.03	0.02	0.22
	最大值	8.82	13.24	2 808.00	330.80	17.68	4.23	1.04	7.35
	平均值范围	7.38 ~ 8.01	1.01 ~ 9.75	460.86 ~ 1 556.39	20.43 ~ 89.28	2.36 ~ 13.75	0.29 ~ 1.76	0.06 ~ 0.49	1.57 ~ 4.92
	总平均值	7.77	3.54	732.88	65.68	6.92	1.09	0.24	3.26
暴雨前后总平均值变化率/%		-4.95	-63.31	-38.54	120.70	84.46	58.15	177.17	-26.44

暴雨前后河南北部河流水质指标类别占比总体情况如图 2 所示，可知暴雨前后各水质指标类别占比均有不同程度的变化，其中 pH 和 TN 各水质类别占比变化较小，TN 在暴雨前和暴雨后处于劣Ⅴ类水质标准占比分别为 79.17% 和 84.04%；暴雨前 DO 和NH_4^+-N 处于Ⅰ类水质标准占比较高，分别为 77.08% 和 47.92%，暴雨前高锰酸盐指数和 TP 处于Ⅱ类水质标准占比较高，分别为 39.58% 和 39.58%，而暴雨后 DO 处于劣Ⅴ类水质标准占比最大为 40.43%，高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 处于Ⅲ类水质标准占比较大，分别为 35.11%、30.85% 和 30.85%. 总体来说，暴雨前 DO、高锰酸盐指数和 TP 处于Ⅲ类及以下水质标准占比较大，均为 89.58%，NH_4^+-N为 81.25%；而暴雨后 DO、高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 处于Ⅳ类及以上水质标准占比明显增加，增加幅度分别为 65.12%、34.26%、15.29% 和 37.46%，说明暴雨过程对河流水体 DO、高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 的影响较大.

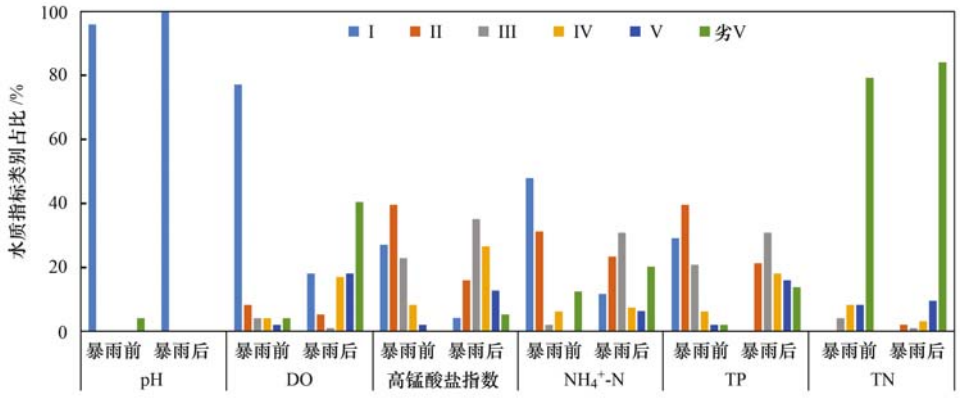

图 2 暴雨前后河南北部河流水质指标类别占比

Fig. 2 Proportion of water quality index categories of the rivers in northern Henan before and after rainstorm

2.2 暴雨前后水质指标差异性及变化过程

对各监测断面水质指标暴雨前后的差异性分析如图 3 所示，对于 pH，相比暴雨前 pH 值在暴雨后在各监测断面均呈现减小的趋势，其减小幅度相对较小均为超过 7%，监测断面南乐元村集和南乐水文站 pH 值在暴雨前后的差异性相对较大. 对于 DO，其质量浓度暴雨后均低于暴雨前，监测断面封丘陶北、南乐元村集、南乐水文站和濮阳大韩桥的降低幅度均超过了 70%，暴雨前后具有明显的差异性. 对于 EC，暴雨前后监测断面南乐元村集和濮阳大韩桥的 EC 具有明显的差异性，其减小幅度分别达到了 73.84% 和 51.04%. 对于浊度，暴雨前后监测断面彰武水库、南乐元村集、南乐水文站和濮阳大韩桥的浊度差异性较大，其增加幅度分别达到了 430.30%、279.61%、302.51% 和 504.44%. 暴雨后高锰酸盐指数在监测断面封丘陶北的增加幅度最大为 568.27%，而彰武水库、获嘉东碑村和南乐水文站的增加幅度也达到了 60% 以上. 对于NH_4^+-N，暴雨后监测断面彰武水库、封丘陶北、南乐元村集、南乐水文站和濮阳大韩桥NH_4^+-N质量浓度的增加幅度均超过了 200%，获嘉东碑村NH_4^+-N的质量浓度出现减小状况，减小幅度为 57.37%. 对于 TP，暴

雨后监测断面彰武水库、获嘉东碑村、封丘陶北、南乐水文站和濮阳大韩桥 TP 质量浓度的增加幅度均超过了 200%，而南乐元村集 TP 质量浓度的增加幅度相对较小为 60.16%. 对于 TN，暴雨后监测断面彰武水库和濮阳大韩桥 TN 质量浓度的增加幅度分别为 41.92% 和 41.69%，而获嘉东碑村和南乐元村集 TN 质量浓度的减小幅度分别为 38.48% 和 78.14%. 总体来说，各监测断面水质指标在暴雨前后均有不同程度的差异性，其中 pH 值的差异性最小，而浊度、NH_4^+-N和 TP 的差异性相对较大.

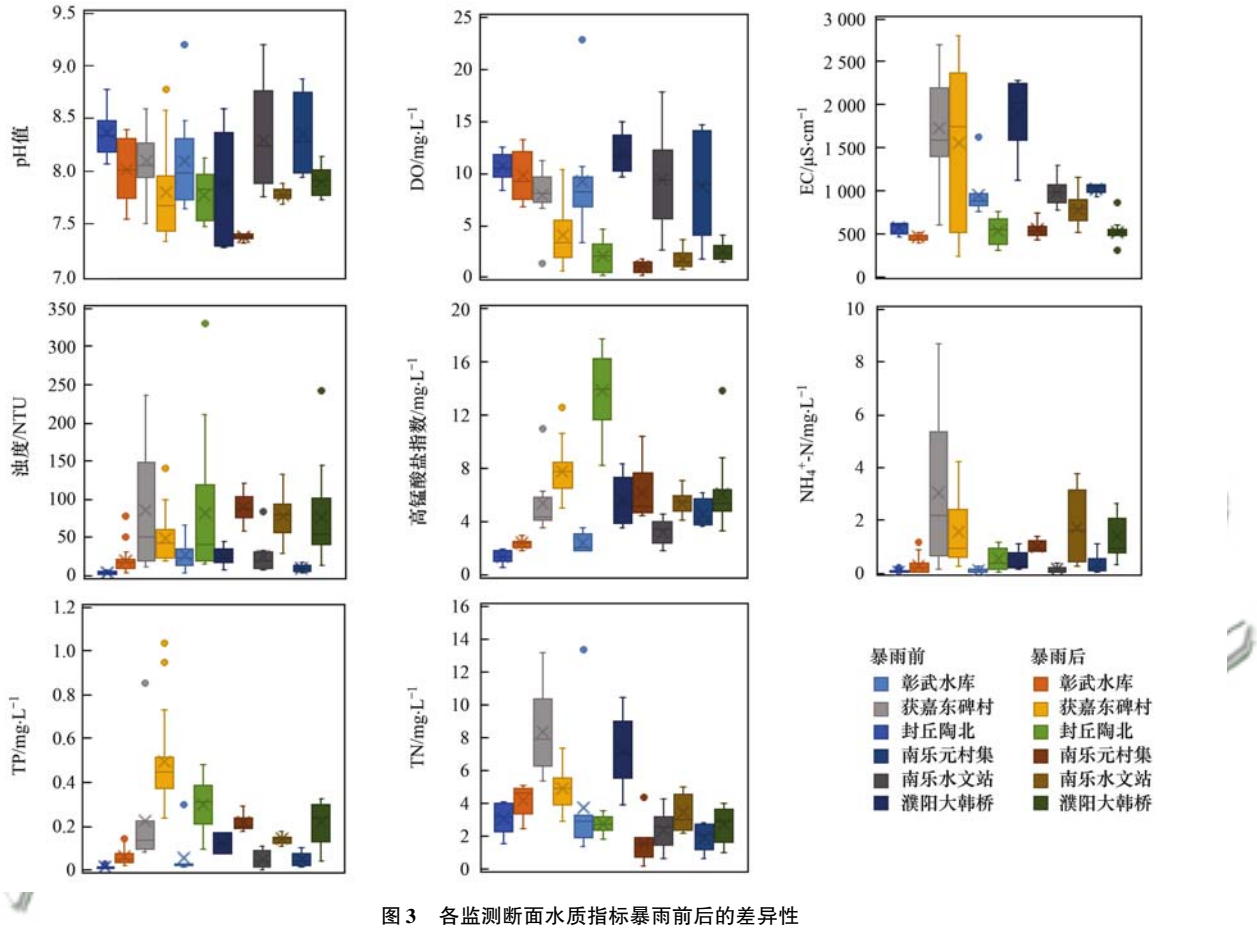

图 3　各监测断面水质指标暴雨前后的差异性

Fig. 3　Differences in water quality indexes of each monitoring section before and after rainstorm

为了分析各水质指标在暴雨前后的变化过程，本文以监测断面获嘉东碑村为例进行分析，具体情况如图 4 所示. 可知，获嘉东碑村各水质指标在暴雨前后呈现出波动状态，pH 值、DO、EC 和 TN 在 7 月 20 日之后呈现减小趋势，分别于 7 月的 24、24、22 和 23 日达到最低值，分别为 7.33 $mg·L^{-1}$、0.66 $mg·L^{-1}$、228.40 $\mu S·cm^{-1}$ 和 2.91 $mg·L^{-1}$，之后逐步呈现出波动的增加趋势. 浊度在 7 月 20 日达到最大值，为 141.10 NTU，之后一直处于减小趋势. 高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 在 7 月 20 日之后呈现增加趋势，均在 7 月 25 日达到最大值，分别为 12.56、2.39 和 1.04 $mg·L^{-1}$，之后逐步呈现出波动的减小趋势；本研究表明各水质指标在暴雨一段时间后可通过水体自身功能进行调节恢复. 另外，各水质指标在 7 月 12 日异常值，这可能是由于 7 月 12 日在新乡部分地区下了暴雨所致.

2.3　暴雨前后水质指标相关性变化特征

暴雨前后河南北部河流水质指标相关性分析如表 2 所示，可知 pH 和 DO 暴雨前后均呈现显著的正相关，且暴雨后二者的相关性有所增加；pH 和浊度暴雨前后均呈现显著的负相关，且暴雨后二者的相关性有所降低；暴雨前 pH 与高锰酸盐指数、NH_4^+-N、TP 和 TN 的相关性较小，而暴雨后相关性有所增加且呈现显著的相关性. 暴雨前后 DO 与浊度和NH_4^+-N均呈现显著的负相关且暴雨后相关性有所增加，暴雨后 DO 与高锰酸盐指数和 TP 呈现显著的负相关；DO 和 TN 暴雨前后均呈现显著的正相关，且暴雨后二者的相关性有所增加. 暴雨前 EC 与浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N、TP 和 TN 均呈现显著的正相关，而暴雨后其相关性有所减小. 暴雨前浊度与高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 均呈现显著的正相关而暴雨后其相关性有所减小，暴雨前浊度与 TN 呈现显著的正相关而暴雨后二者呈现显著的负

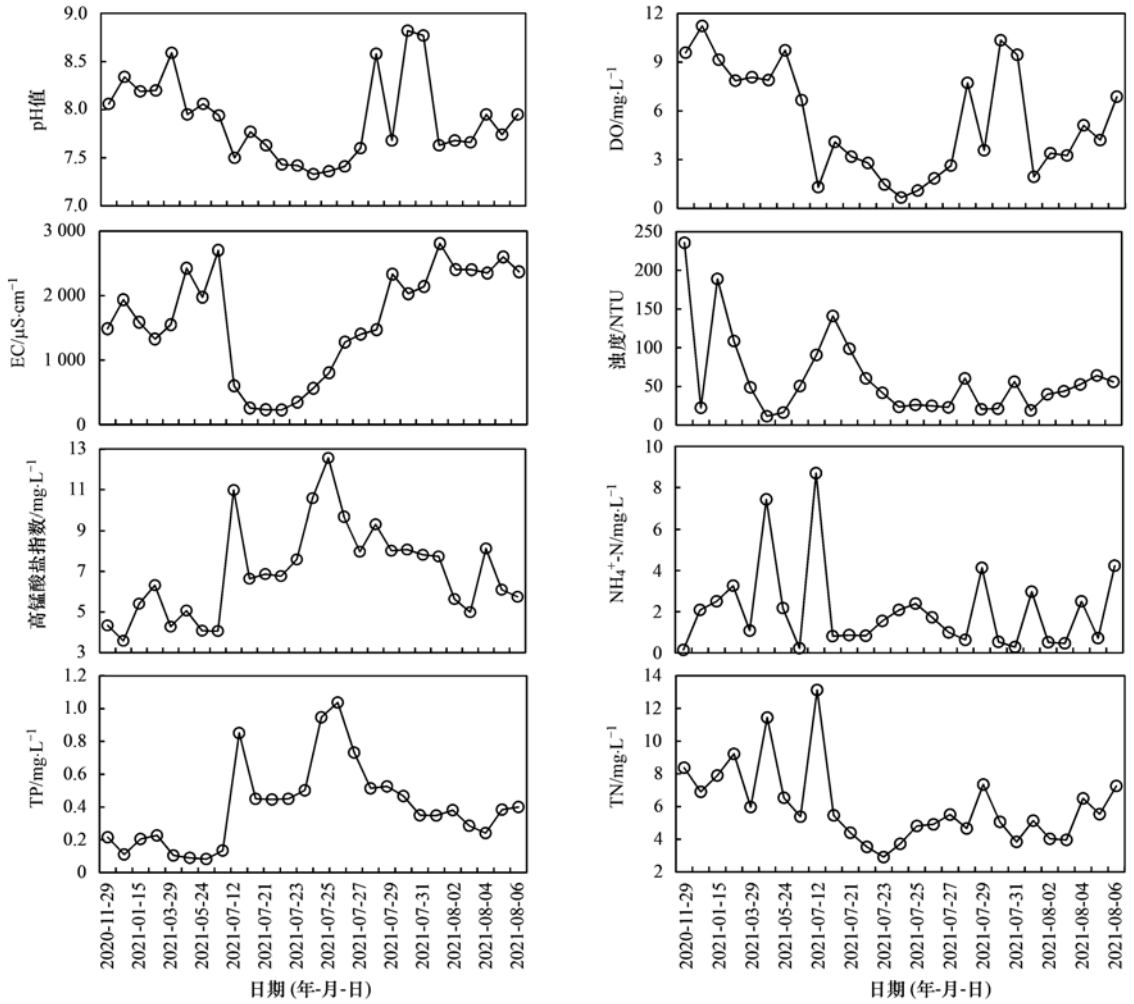

图 4 暴雨前后获嘉东碑村各水质指标变化过程

Fig. 4 Change process of water quality indexes in Huojia Dongbeicun before and after rainstorm

表 2 暴雨前后河南北部河流水质指标相关性[1)]

Table 2 Correlation coefficients of water quality indexes of the rivers in northern Henan before and after rainstorm

	pH	DO	EC	浊度	高锰酸盐指数	NH_4^+-N	TP	TN
pH	1	0.566**	−0.108	−0.366*	−0.248	−0.142	−0.195	−0.066
DO	0.685**	1	0.179	−0.394**	−0.214	−0.302*	−0.154	0.317*
EC	0.164	0.041	1	0.464**	0.715**	0.641**	0.778**	0.591**
浊度	−0.324**	−0.538**	−0.172	1	0.486**	0.431**	0.653**	0.378**
高锰酸盐指数	−0.231*	−0.487**	0.274**	0.311**	1	0.678**	0.754**	0.468**
NH_4^+-N	−0.382**	−0.430**	0.233*	0.238*	−0.003	1	0.796**	0.649**
TP	−0.423**	−0.375**	0.248*	0.297**	0.706**	0.466**	1	0.721**
TN	0.312**	0.461**	0.437**	−0.502**	−0.179	0.359**	0.204*	1

1)右上部分为暴雨前水质指标相关性,左下部分为暴雨后水质指标相关性; * 表示水质指标间在 0.05 水平上显著相关, ** 表示水质指标间在 0.01 水平上显著相关

相关. 暴雨前高锰酸盐指数与NH_4^+-N、TP 和 TN 均呈现显著的正相关,而暴雨后仅高锰酸盐指数和 TP 呈现显著的正相关. 暴雨前NH_4^+-N与 TP 和 TN 均呈现显著的正相关而暴雨后其相关性有所减小,暴雨前 TP 和 TN 呈现显著的正相关而暴雨后其相关性有所减小. 综上分析,河南北部河流水质指标的相关性在一定程度上受到了暴雨的影响,暴雨后增加了 pH 和 DO 与其他水质指标的相关性,而浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N、TP 和 TN 相互间的相关性在暴雨后有所减小,说明暴雨后大量污染物受冲刷和侵蚀作用随地表径流汇入河流水体中,对河流水质指标具有较大的影响,进而影响了水质指标间的相互作用,因此针对突发暴雨时要监测河流水质指标,以便及时地做出河流水体污染治理与防治措施.

2.4 暴雨前后污染源贡献率分析

首先将暴雨前后河南北部河流水质指标数据系

列进行标准化处理，进而对暴雨前后水质指标数据进行主成分分析，根据 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)检验分析可知，暴雨前后 KMO 值分别为 0.459 和 0.539，其 Bartlett 球度检验给出的相伴概率为 0.00 且小于显著性水平 0.05，则认为暴雨前后水质指标数据系列适合做主成分分析. 通过 SPSS 21.0 对暴雨前后水质指标数据系列进行主成分分析，得到暴雨前后河南北部河流水质指标主成分的特征值和其方差的贡献率(表 3)，根据相关研究将特征值大于 1 的成分确定为其主成分[46]，因此暴雨前后分别提取了 2 个主成分和 3 个主成分，其累积方差的贡献率分别达到了 65.676% 和 73.262%.

表 3　暴雨前后河南北部河流水质指标主成分解释总方差

Table 3　Total variance of the interpretation of the main components of water quality indexes of the rivers in northern Henan before and after rainstorm

时间	成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
		合计	方差的贡献率/%	累积方差的贡献率/%	合计	方差的贡献率/%	累积方差的贡献率/%	合计	方差的贡献率/%	累积方差的贡献率/%
暴雨前	F1	3.538	44.224	44.224	3.538	44.224	44.224	3.407	42.589	42.589
	F2	1.716	21.452	65.676	1.716	21.452	65.676	1.847	23.087	65.676
暴雨后	F1	2.798	34.977	34.977	2.798	34.977	34.977	2.173	27.157	27.157
	F2	1.995	24.942	59.919	1.995	24.942	59.919	1.872	23.398	50.555
	F3	1.068	13.344	73.262	1.068	13.344	73.262	1.817	22.708	73.262

根据暴雨前后河南北部河流水质指标旋转因子荷载情况(图 5)，暴雨前提取到的第一主成分特征值为 3.538，方差的贡献率为 44.224%，其主要荷载水质指标为 EC、浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N、TP 和 TN，由于暴雨前河流的污染物主要为废污水排放，可认定为城市污染源；第二主成分特征值为 1.716，方差的贡献率为 21.452%，其主要荷载水质指标为 pH 和 DO，其主要为物理因子变量受到气象因素的影响较大，可认定为气象因子. 暴雨后提取到的第一主成分特征值为 2.798，方差的贡献率为 34.977%，其主要荷载水质指标为 EC、浊度和 TN，其主要受城市污染源的影响；第二主成分特征值为 1.995，方差的贡献率为 24.942%，其主要荷载水质指标为 pH、DO 和NH_4^+-N，其主要受气象因子的影响；第三主成分特征值为 1.068，方差的贡献率为 13.344%，其主要荷载水质指标为高锰酸盐指数和 TP，其主要受到农业面源污染的影响.

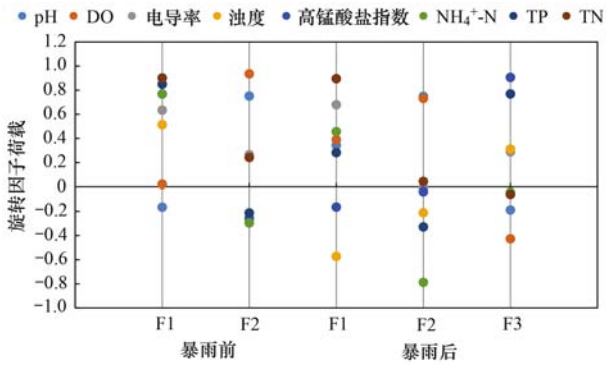

图 5　暴雨前后河南北部河流水质指标旋转因子荷载

Fig. 5　Rotation factor loading matrix of water quality indexes of the rivers in northern Henan before and after rainstorm

在主成分分析确定暴雨前后各主成分组成和空间分布的基础上，利用绝对主成分-多元线性回归模型建立各主成分与水质指标间的函数关系，并基于建立的函数关系预测暴雨前后水质指标值，暴雨前后水质指标预测值与实际值的线性拟合结果如图 6 所示. 可知，暴雨前 pH、DO、EC、高锰酸盐指数、NH_4^+-N、TP 和 TN 多元线性回归模型的预测值与实测值的线性拟合的 R^2 均在 0.73 以上，而浊度相对较小为 0.561. 暴雨后各水质指标预测值与实测值线性拟合的 R^2 基本上有所降低，而NH_4^+-N呈现增加的现象，其中 EC 和浊度预测值与实测值线性拟合的 R^2 较小分别为0.300 2和 0.092，其余水质指标均在 0.6 以上. 总体来看，构建的绝对主成分-多元线性回归模型基本可靠，计算结果较为可信.

根据构建的绝对主成分-多元线性回归模型和污染源贡献模型，各污染源对暴雨前后河南北部河流水质指标的贡献结果如表 4 所示. 从中可知，暴雨前气象因子对 DO、EC、浊度、NH_4^+-N和 TP 的绝对贡献率较大分别为 57.74%、46.55%、44.34%、46.49% 和 42.98%，未识别污染源对 pH、高锰酸盐指数和 TN 的绝对贡献率较大分别为 62.49%、41.29% 和 39.73%，说明暴雨前河流水质指标受到气象因子和河流水体内源的影响较大. 暴雨后城市污染源对 EC 和 TN 的绝对贡献率较大分别为 43.32% 和 60.53%，气象因子对 DO、NH_4^+-N 和 TP 的绝对贡献率较大分别为 43.03%、46.11% 和 42.22%，农业面源对高锰酸盐指数的绝对贡献率较大为 65.60%，未识别污染源对 pH 和浊度的绝对贡献率较大分别为 60.04% 和 44.21%.

3　讨论

当暴雨发生时受到冲刷作用，大量的生活垃圾、泥沙颗粒及农业面源污染物等随着地表径流汇入

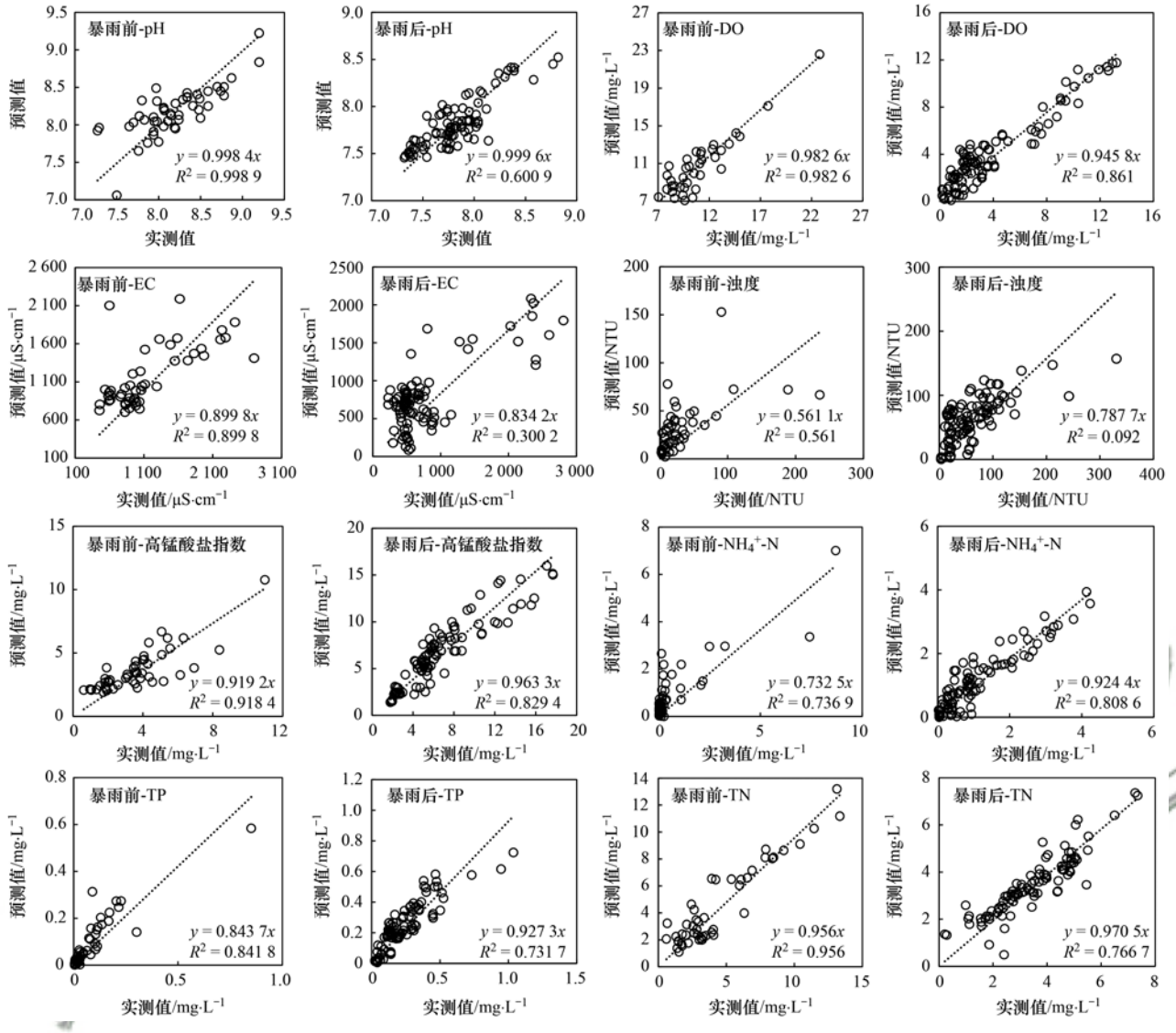

图 6 暴雨前后河南北部河流水质指标实测值与预测值对比结果

Fig. 6 Comparison between measured value and predicted value of water quality indexes of the rivers in northern Henan before and after rainstorm

表 4 暴雨前后河南北部河流水质指标的绝对贡献率/%

Table 4 Main contribution rates of water quality indexes of the rivers in northern Henan before and after rainstorm/%

水质指标	暴雨前绝对贡献率			暴雨后绝对贡献率			
	F1	F2	未识别源	F1	F2	F3	未识别源
pH	1.58	35.93	62.49	6.01	30.14	2.81	60.04
DO	0.26	57.74	42.00	9.97	43.03	9.26	37.74
EC	22.23	46.55	31.22	43.32	0.92	15.54	40.22
浊度	15.97	44.34	39.69	24.18	20.48	11.13	44.21
高锰酸盐指数	21.97	36.74	41.29	13.98	7.44	65.60	12.98
NH_4^+-N	24.06	46.49	29.45	11.62	46.11	0.95	41.32
TP	34.35	42.98	22.67	15.92	42.22	36.66	5.30
TN	25.69	34.58	39.73	60.53	6.80	3.47	29.20

河流,对河流水体在一定时间内产生不良的影响[47,48].本研究表明暴雨后河流水体浊度明显增大,这是由于暴雨径流携带了大量的颗粒态物质使得河流水体变得浑浊,更能直观地反映暴雨后径流汇入河流的具体情况.暴雨径流携带大量的污染物进入河流中,使得河流中高锰酸盐指数、NH_4^+-N和TP等指标上升,这与相关研究成果具有一致性[18,49];暴雨径流形成后携带了耗氧污染物进入河流,加剧了河流水体中DO的消耗,因此暴雨后DO呈现明显的降低趋势;随着暴雨径流汇入河流使得

河流水体增大,通过稀释和中和作用使得 pH 和 TN 水质指标降低. 暴雨发生后一段时期内河流水质指标出现显著性地降低或升高,而在一段时期后逐步恢复到暴雨前的水质指标水平,说明河流水体在暴雨后通过自身调节具有一定的净化作用. 从各水质指标相关性来看,本研究表明 pH、DO 与其他水质指标的相关性在暴雨后有所增加,其余水质指标间的相关性在暴雨后显著降低,说明受到暴雨径流的影响河流水体的 pH、DO 与其他水质指标的密切性增强,而其他水质指标间的密切性有所减弱.

从暴雨前后不同污染源对河南北部河流水质指标的绝对贡献率来看,暴雨前气象因子和未识别污染源对河流水质指标绝对贡献率的影响较大,这是由于暴雨河流水体流速相对稳定且受到外部污染源的干扰相对较小,此时未识别污染源主要是河流水体中各水质指标间的相互影响和物理化学作用; 另外,暴雨前有些河流在枯水期水量较小,水体基本上不流动,使得气象因子干扰了河流水体中生物生存的影响增强,同时河流水环境本身的物理、化学特性也随之发生变化. 暴雨后不仅由于地表径流携带了大量的城市污染源和农业面源污染进入河流水体,而且暴雨过程使得河流水体流速加快,增强了对河流底泥的冲刷作用,因此加大了城市污染源和农业面源对河流水质指标的绝对贡献率,也增强了底泥内源对水体污染物及其物理特性的影响. 目前由于通过统计方法对污染源解析存在一定的主观性,因此为了加强污染源解析的准确性需要完善监测数据系列且要结合污染源的成分特性开展相关研究,同时应结合多种污染源解析模型进行解析提高结果的准确性[31].

综上所述,极端暴雨不仅给人类生活和经济社会发展造成影响,同时也给河流水生态环境带来了巨大的挑战,因此揭示暴雨前后河南北部河流水质分异特征并对其污染源进行识别,可为今后河流水生态环境保护和管理提供一定的理论基础.

4　结论

(1)pH、DO、电导率和 TN 的值暴雨后比暴雨前有所降低,而浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 的值暴雨后比暴雨前有所增加; 暴雨过程对河流水体 DO、高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 的影响较大,其在暴雨后处于Ⅳ类及以上水质标准占比明显增加.

(2)暴雨前后各监测断面水质指标均有不同程度的差异性,其中 pH 值的差异性最小,而浊度、NH_4^+-N和 TP 的差异性相对较大; 监测断面获嘉东碑村 pH、DO、EC 和 TN 分别于 7 月的 24、24、22 和 23 日达到最低值,浊度在 7 月 20 日达到最大值,高锰酸盐指数、NH_4^+-N和 TP 均在 7 月 25 日达到最大值,各水质指标在暴雨一段时间后可通过水体自身功能进行调节.

(3)河南北部河流水质指标的相关性在一定程度上受到了暴雨的影响,暴雨后增加了 pH 和 DO 与其他水质指标的相关性,而浊度、高锰酸盐指数、NH_4^+-N、TP 和 TN 相互间的相关性在暴雨后有所减小.

(4)暴雨前气象因子对 DO、EC、浊度、NH_4^+-N和 TP 的绝对贡献率较大,未识别污染源对 pH、高锰酸盐指数和 TN 的绝对贡献率较大; 暴雨后城市污染源对 EC 和 TN 的绝对贡献率较大,气象因子对 DO、NH_4^+-N和 TP 的绝对贡献率较大,农业面源对高锰酸盐指数的绝对贡献率较大,未识别污染源对 pH 和浊度的绝对贡献率较大.

参考文献:

[1] Zhai P M, Zhou B Q, Chen Y. A review of climate change attribution studies [J]. Journal of Meteorological Research, 2018, **32**(5): 671-692.

[2] Ali H, Mishra V. Contributions of dynamic and thermodynamic scaling in subdaily precipitation extremes in India [J]. Geophysical Research Letters, 2018, **45**(5): 2352-2361.

[3] Dookie N, Chadee X T, Clarke R M. Trends in extreme temperature and precipitation indices for the Caribbean small islands: Trinidad and Tobago [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, **136**(1-2): 31-44.

[4] Rahimi M, Fatemi S S. Mean versus extreme precipitation trends in Iran over the period 1960-2017 [J]. Pure and Applied Geophysics, 2019, **176**(8): 3717-3735.

[5] 甘露, 刘睿, 冀琴, 等. 四川省极端降水事件时空演变特征[J]. 山地学报, 2021, **39**(1): 10-24.
Gan L, Liu R, Ji Q, *et al*. Spatio-temporal evolution characteristics analysis of extreme precipitation in Sichuan province, China[J]. Mountain Research, 2021, **39**(1): 10-24.

[6] 黄璐, 刘贤赵, 莫宏伟. 1987~2016 年武汉市极端降水事件特征分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2019, **34**(3): 103-110.
Huang L, Liu X Z, Mo H W. Characteristic analysis of extreme precipitation events in Wuhan from 1987 to 2016[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2019, **34**(3): 103-110.

[7] 孟清, 高翔, 白红英, 等. 1960-2015 年秦岭地区极端降水的时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2019, **26**(6): 171-178, 183.
Meng Q, Gao X, Bai H Y, *et al*. Temporal and spatial variations and trends of extreme precipitation in Qinling mountains during the period 1960- 2015 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, **26**(6): 171-178, 183.

[8] Fasching C, Ulseth A J, Schelker J, *et al*. Hydrology controls dissolved organic matter export and composition in an Alpine stream and its hyporheic zone[J]. Limnology and Oceanography, 2016, **61**(2): 558-571.

[9] Wiegner T N, Tubal R L, MacKenzie R A. Bioavailability and export of dissolved organic matter from a tropical river during base- and stormflow conditions [J]. Limnology and Oceanography, 2009, **54**(4): 1233-1242.

[10] Parr T B, Cronan C S, Ohno T, *et al*. Urbanization changes the composition and bioavailability of dissolved organic matter in headwater streams[J]. Limnology and Oceanography, 2015, **60**(3): 885-900.

[11] Zhou Y Q, Liu M, Zhou L, *et al*. Rainstorm events shift the molecular composition and export of dissolved organic matter in a large drinking water reservoir in China: high frequency buoys and field observations[J]. Water Research, 2020, **187**, doi: 10.1016/j.watres.2020.116471.

[12] 车蕊, 林澍, 范中亚, 等. 连续极端降雨对东江流域水质影响分析[J]. 环境科学, 2019, **40**(10): 4440-4449.
Che R, Lin S, Fan Z Y, *et al*. Effects of continuous extreme rainfall on water quality of the Dongjiang River Basin [J]. Environmental Science, 2019, **40**(10): 4440-4449.

[13] 华逢耀, 黄廷林, 李楠, 等. 不同强度降雨径流对水源水库热分层和水质的影响[J]. 中国环境科学, 2021, **41**(3): 1234-1242.
Hua F Y, Huang T L, Li N, *et al*. Influence of rainfall runoff with different intensities on thermal stratification and water quality of water source reservoir [J]. China Environmental Science, 2021, **41**(3): 1234-1242.

[14] 黄诚, 黄廷林, 李扬, 等. 金盆水库暴雨径流时空演变过程及水质评价[J]. 环境科学, 2021, **42**(3): 1380-1390.
Huang C, Huang T L, Li Y, *et al*. Temporal and spatial evolution of storm runoff and water quality assessment in Jinpen Reservoir[J]. Environmental Science, 2021, **42**(3): 1380-1390.

[15] 张丽, 鞠定国, 王晨. 夏季突发暴雨对磁湖水质特征的影响[J]. 湖北理工学院学报, 2021, **37**(4): 12-15.
Zhang L, Ju D G, Wang C. Influence of summer sudden rainstorm on water quality characteristics of Cihu Lake [J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2021, **37**(4): 12-15.

[16] 李程遥, 黄廷林, 温成成, 等. 汛期暴雨径流对饮用水水库溶解性有机质(DOM)光谱特征的影响[J]. 环境科学, 2021, **42**(3): 1391-1402.
Li C Y, Huang Y L, Wen C C, *et al*. Influence of storm runoff on the spectral characteristics of dissolved organic matter (DOM) in a drinking water reservoir during the flood season [J]. Environmental Science, 2021, **42**(3): 1391-1402.

[17] 孙世鹏, 孔超, 陆欣鑫, 等. 暴雨期前后库里泡底栖硅藻群落结构变化及其环境因子相关性[J]. 海洋与湖沼, 2021, **52**(1): 162-174.
Sun S P, Kong C, Lu X X, *et al*. Changes in community structure of benthic diatom and the environmental factors before and after rainstorm season in the Kulipao Lake[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2021, **52**(1): 162-174.

[18] 辛苑, 李萍, 吴晋峰, 等. 强降雨对北运河流域沙河水库水质的影响[J]. 环境科学学报, 2021, **41**(1): 199-208.
Xin Y, Li P, Wu J F, *et al*. Impacts of heavy rainfall on the water quality of Shahe Reservoir in the North Canal Basin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, **41**(1): 199-208.

[19] 谢坤, 罗元, 冯弋洋, 等. 洱海海西不同种植类型下农灌沟渠雨季水质变化特征与综合评价[J]. 农业环境科学学报, 2020, **39**(10): 2387-2396.
Xie K, Luo Y, Feng Y Y, *et al*. Comprehensive evaluation of water quality changes in agricultural irrigation ditches in the rainy season under different planting patterns in the west of Erhai, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2020, **39**(10): 2387-2396.

[20] 李发荣, 李玉照, 刘永, 等. 牛栏江污染物源解析与空间差异性分析[J]. 环境科学研究, 2013, **26**(12): 1356-1363.
Li F R, Li Y Z, Liu Y, *et al*. Source apportionment and spatial pattern analysis of River Niulanjiang [J]. Research of Environmental Sciences, 2013, **26**(12): 1356-1363.

[21] 齐冉, 徐菲菲, 杨帆, 等. 木沥河流域氮素污染及其污染源解析[J]. 环境科学, 2020, **41**(7): 3165-3174.
Qi R, Xu F F, Yang F, *et al*. Analysis of nitrogen pollution and its pollution sources in the Muli River Basin[J]. Environmental Science, 2020, **41**(7): 3165-3174.

[22] 王昱, 卢世国, 冯起, 等. 黑河上中游水质时空分异特征及污染源解析[J]. 中国环境科学, 2019, **39**(10): 4194-4204.
Wang Y, Lu S G, Feng Q, *et al*. Spatio-temporal characteristics and source identification of water pollutants in the upper and middle reachers of Heihe River [J]. China Environmental Science, 2019, **39**(10): 4194-4204.

[23] 邱瑀, 卢诚, 徐泽, 等. 湟水河流域水质时空变化特征及其污染源解析[J]. 环境科学学报, 2017, **37**(8): 2829-2837.
Qiu Y, Lu C, Xu Z, *et al*. Spatio-temporal variation characteristics and water pollution sources in the Huangshui River Basin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, **37**(8): 2829-2837.

[24] 王翠榆, 杨永辉, 周丰, 等. 沁河流域水体污染物时空分异特征及潜在污染源识别[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(9): 2267-2278.
Wang C Y, Yang Y H, Zhou F, *et al*. Spatio-temporal characteristics and source identification of water pollutants in River Qinhe Basin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, **32**(9): 2267-2278.

[25] 张涛, 陈求稳, 易齐涛, 等. 太湖流域上游平原河网区水质空间差异与季节变化特征[J]. 湖泊科学, 2017, **29**(6): 1300-1311.
Zhang T, Chen Q W, Yi Q T, *et al*. Spatial and seasonal variations of water quality in the upstream plain river networks of the Taihu Basin[J]. Journal of Lake Sciences, 2017, **29**(6): 1300-1311.

[26] 朱琳, 王雅南, 韩美, 等. 武水河水质时空分布特征及污染成因的解析[J]. 环境科学学报, 2018, **38**(6): 2150-2156.
Zhu L, Wang Y N, Han M, *et al*. Spatio-temporal distribution of water quality and source identification of pollution in Wushui River Basin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, **38**(6): 2150-2156.

[27] 任岩, 张飞, 王娟, 等. 新疆艾比湖流域地表水丰水期和枯水期水质分异特征及污染源解析[J]. 湖泊科学, 2017, **29**(5): 1143-1157.
Ren Y, Zhang F, Wang J, *et al*. Spatio-temporal characteristics and source identification of surface water pollutants in Lake Ebinur Watershed, Xinjiang [J]. Journal of Lake Sciences, 2017, **29**(5): 1143-1157.

[28] 徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 等. 漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 359-369.
Xu H S, Xu Z X, Tang F F, *et al*. Spatiotemporal variation analysis and identification of water pollution sources in the Zhangweinan River Basin[J]. Environmental Science, 2012, **33**(2): 359-369.

[29] Kowalkowski T, Zbytniewski R, Szpejna J, *et al*. Application of chemometrics in river water classification[J]. Water Research, 2006, **40**(4): 744-752.

[30] Lam Q D, Schmalz B, Fohrer N. Assessing the spatial and temporal variations of water quality in lowland areas, Northern Germany[J]. Journal of Hydrology, 2012, **438-439**: 137-147.

[31] 后希康, 张凯, 段平洲, 等. 基于 APCS-MLR 模型的沱河流域污染来源解析[J]. 环境科学研究, 2021, **34**(10): 2350-2357.
Hou X K, Zhang K, Duan P Z, *et al*. Pollution source apportionment of Tuohe River Based on absolute principal component score-multiple linear regression [J]. Research of Environmental Sciences, 2021, **34**(10): 2350-2357.

[32] 杜展鹏, 王明净, 严长安, 等. 基于绝对主成分-多元线性回归的滇池污染源解析[J]. 环境科学学报, 2020, **40**(3): 1130-1137.
Du Z P, Wang M J, Yan C A, *et al*. Pollution source apportionment of Lake Dianchi based on absolute principal component score-multiple linear regression [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, **40**(3): 1130-1137.

[33] 孟利, 左锐, 王金生, 等. 基于 PCA-APCS-MLR 的地下水污染源定量解析研究[J]. 中国环境科学, 2017, **37**(10): 3773-3786.
Meng L, Zuo R, Wang J S, *et al*. Quantitative source apportionment of groundwater pollution based on PCA-APCS-MLR[J]. China Environmental Science, 2017, **37**(10): 3773-3786.

[34] 史文昌, 古正刚, 冯燕, 等. 基于 APCS-MLR 的宝象河沉积物重金属污染源解析[J]. 环境科学与技术, 2020, **43**(10): 51-59.
Shi W C, Gu Z C, Feng Y, *et al*. Source apportionment of heavy metals in sediments with application of APCS-MLR model in Baoxiang River [J]. Environmental Science & Technology, 2020, **43**(10): 51-59.

[35] 中国环境监测总站. 国家地表水水质自动监测实时数据发布系统[EB/OL]. http://www.cnemc.cn/, 2021-07-20.

[36] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].

[37] Tareen A D K, Nadeem M S A, Kearfott K J, *et al*. Descriptive analysis and earthquake prediction using boxplot interpretation of soil radon time series data[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2019, **154**, doi: 10.1016/j.apradiso.2019.108861.

[38] Huang Y Z, Sui Q, Lyu S G, *et al*. Tracking emission sources of PAHs in a region with pollution-intensive industries, Taihu Basin: from potential pollution sources to surface water [J]. Environmental Pollution, 2020, **264**, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114674.

[39] Zhang M Z, Zhang J, Zhang H H, *et al*. Pollution characteristics, spatial variation, and potential risks of phthalate esters in the water-sediment system of the Yangtze River estuary and its adjacent East China Sea[J]. Environmental Pollution, 2020, **265**, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114913.

[40] 滕智超, 丁爱中, 李亚惠, 等. 赤水河上游水质时空特征分析及其污染源解析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, **52**(3): 322-327.
Teng Z C, Ding A Z, Li Y H, *et al*. Sources of water pollution and their spatiotemporal variations in the upper reach of the Chishui River[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2016, **52**(3): 322-327.

[41] 刘超, 王智源, 张建华, 等. 景观类型与景观格局演变对洪泽湖水质的影响[J]. 环境科学学报, 2021, **41**(8): 3302-3311.
Liu C, Wang Z Y, Zhang J H, *et al*. Effects of landscape types and landscape pattern evolution on water quality of Hongze Lake [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, **41**(8): 3302-3311.

[42] 贺玉晓, 郑永坤, 李卫国, 等. 丹江口水库早春真核浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学学报, 2021, **41**(6): 2192-2200.
He Y X, Zheng Y K, Li W G, *et al*. Characteristics of eukaryotic phytoplankton community structure in early spring and its relationship with environmental factors in Danjiangkou Reservoir[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, **41**(6): 2192-2200.

[43] Cheng G W, Wang M J, Chen Y, *et al*. Source apportionment of water pollutants in the upstream of Yangtze River using APCS-MLR[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2020, **42**(11): 3795-3810.

[44] Zhang H, Cheng S Q, Li H F, *et al*. Groundwater pollution source identification and apportionment using PMF and PCA-APCA-MLR receptor models in a typical mixed land-use area in Southwestern China [J]. Science of the Total Environment, 2020, **741**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140383.

[45] 霍明珠, 高秉博, 乔冬云, 等. 基于 APCS-MLR 受体模型的农田土壤重金属源解析[J]. 农业环境科学学报, 2021, **40**(5): 978-986.
Huo M Z, Gao B B, Qiao D Y, *et al*. Source apportionment of heavy metals in farmland soil based on the APCS-MLR model [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2021, **40**(5): 978-986.

[46] 张彦, 窦明, 于璐. 小型人工湖泊水环境变化特征分析及驱动因子识别[J]. 安全与环境学报, 2017, **17**(2): 746-753.
Zhang Y, Dou M, Yu L. Identification of the influential factors and analysis of the varying characteristics for the water environment of the small artificial lakes and pools[J]. Journal of Safety and Environment, 2017, **17**(2): 746-753.

[47] 杨帆, 蒋轶锋, 王翠翠, 等. 西湖龙泓涧流域暴雨径流氮磷流失特征[J]. 环境科学, 2016, **37**(1): 141-147.
Yang F, Jiang Y F, Wang C C, *et al*. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses in Longhong ravine basin of Westlake in rainstorm runoff[J]. Environmental Science, 2016, **37**(1): 141-147.

[48] Wang X, Hao F H, Cheng H G, *et al*. Estimating non-point source pollutant loads for the large-scale basin of the Yangtze River in China[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, **63**(5): 1079-1092.

[49] 李延, 毕见霖, 王立硕, 等. 暴雨径流对非常规水源补给城市河流水质冲击研究[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(2): 443-448.
Li Y, Bi J L, Wang L S, *et al*. Effect of storm runoff on the water quality of urban rivers with unconventional water sources [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, **35**(2): 443-448.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 43 No. 5

May 15, 2022

CONTENTS

Chemical Characteristics and Source Apportionment of $PM_{2.5}$ in Urban Area of Beijing ····· AN Xin-xin, CAO Yang, WANG Qin, *et al.* (2251)

Modeling of $PM_{2.5}$ Concentrations in the Beijing-Tianjin-Hebei Region Using a Space-time Linear Mixed Effects Model ····· FAN Li-hang, YANG Xiao-hui, SONG Chun-jie, *et al.* (2262)

Spatio-temporal Evolution Patterns of $PM_{2.5}$ and Relationship with Urban Expansion in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration from 2000 to 2018 ····· ZHAO An-zhou, XIANG Kai-zheng, LIU Xian-feng, *et al.* (2274)

Characteristics and Source Analysis of $PM_{2.5}$ in Qingdao in Winter Under the Action of Sea-Land-Atmosphere Convergence ····· TUO Xiong, YANG Ling-xiao, ZHANG Wan, *et al.* (2284)

Impacts of Heterogeneous Uptake Pathway on Sulfate Formation: A Case Study in Shanghai Based on WRF-Chem ····· ZHANG Ru-han, ZHANG Hao-ran, FENG Wei-hang, *et al.* (2294)

Source Apportionment and Seasonal Changes in $PM_{2.5}$ Chemical Components from Different Functional Areas of a Provincial Capital City ····· SUN You-min, FAN Jing, XU Biao, *et al.* (2304)

Chemical Compositions, Light Extinction Effect, and Oxidative Potential of $PM_{2.5}$ Under Different Pollution Levels During Winter in Taiyuan ····· REN Jiao, ZHAO Rong-rong, WANG Ming, *et al.* (2317)

Source Apportionment and Health Risk Assessment of Metal Elements in Ambient $PM_{2.5}$ in the Winter of Zhengzhou ····· YAO Sen, WANG Qian-heng, XUE Yan, *et al.* (2329)

Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Sources of the Polluted Metallic Elements in $PM_{2.5}$ During Winter in Zibo City ····· BAI Wen-yu, XU Bo, GUO Li-yao, *et al.* (2336)

Seasonal Distribution Characteristics, Source Analysis, and Health Risk Evaluation of PAHs in $PM_{2.5}$ in Chengde ····· HE Bo-wen, NIE Sai-sai, LI Yi-lin, *et al.* (2343)

Pollution Level and Regional Migration of PCDD/Fs in Ambient Air from Pearl River Delta, China ····· FU Jian-ping, XIE Dan-ping, HUANG Jin-qiong, *et al.* (2355)

Concentrations and Sources of Black Carbon Aerosols in Rural Areas of Southern North China Plain ····· ZHANG Ling, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, *et al.* (2363)

Research on Causes of Severely Polluted Weather in Tianjin Based on Process Analytical Technology ····· HAO Jian, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, *et al.* (2373)

Classification Control of Volatile Organic Compounds(VOCs) Emission Pollution Sources Based on Emission Amounts and Atmospheric Reactivity ····· CHEN Peng, ZHANG Yue, XING Min, *et al.* (2383)

Complex Networks Reveal the Characteristics of Ozone in China ····· YING Na, CHEN Jian-hua, LI Dong, *et al.* (2395)

Ozone Simulation of Lanzhou City Based on Multi-scenario Emission Forecast of Ozone Precursors in the Summer of 2030 ····· CHEN Tian-lei, WU Min, PAN Cheng-ke, *et al.* (2403)

Improvement of Environmental Model Prediction Based on Inversion and Aerosol Assimilation ····· CAI Zi-ying, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, *et al.* (2415)

Method of Identifying Air Pollution from Iron and Steel Industry Based on Ambient Air Quality Monitoring Data Analysis ····· SHI Yao-peng, HU Jing-nan, CHU Yang-xi, *et al.* (2427)

Assessment of "Differentiated Response Requirement Based on Performance Grading" Plolicy During Heavy Air Pollution Alert ····· ZENG Jing-hai, WANG Can (2436)

Risk Zoning of Water Pollution in the Yellow River Basin ····· ZHOU Xia-fei, CAO Guo-zhi, YU Fang, *et al.* (2448)

Emission Characteristics of Industrial Water Pollutants in Gansu Section of the Yellow River Basin ····· LI Xue-ying, YANG Xi, QIAO Qi, *et al.* (2459)

Spatial-temporal Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Yellow River ····· WANG Tao-yi, PAN Bao-zhu, HAN Xu, *et al.* (2467)

APCS-MLR Combined with PMF Model to Analyze the Source of Metals in Sediment of Xinglin Bay Suburban Watershed, Xiamen ····· SHEN Chen-yu, YAN Yu, YU Rui-lian, *et al.* (2476)

Spatial Differentiation Characteristics and Response Relationship of DOM, Nutrients, and Heavy Metals in River Sediments ····· XIAO Yan-chun, YU Hui-bin, SONG Yong-hui (2489)

Distribution Characteristics, Evaluation, and Source Analysis of Heavy Metals in Soils of Fenhe Riparian Zone in Taiyuan City ····· HU Jie, ZHAO Xin-yu, WANG Ting-ting, *et al.* (2500)

Binding Affinity Between Heavy Metal Hg and Dissolved Organic Matter in Hongze Lake ····· HU Bin, WANG Pei-fang, ZHANG Nan-nan, *et al.* (2510)

Ecosystem Evolutionary Trajectory of Lake Xiliang over the Past Century Driven by Eutrophication ····· ZHENG Jia-nan, XU Min, ZHENG Wen-xiu, *et al.* (2518)

Sediment Release and Pollution Source Analysis of Typical Reservoirs in the Upper Reaches of the Yellow River Based on DGT Technology ····· MA Yu-shen, ZHU Xiang, PANG Qing-qing, *et al.* (2527)

Differential Characteristics and Source Identification of Water Quality of the Rivers in Northern Henan Before and After Rainstorm ····· ZHANG Yan, ZOU Lei, LIANG Zhi-jie, *et al.* (2537)

Adsorption and Interception Effects of *Eichhornia crassipes* on Microplastics in Water of the Poyang Lake Basin ····· LI Wen-gang, WU Xi-en, JIAN Min-fei, *et al.* (2548)

Spatiotemporal Distribution and Ecological Risk Assessment of Plastic Additives in Taihu Lake ····· LIU Shu-jiao, DING Jian-nan, SHI Jun-zhe, *et al.* (2557)

Distribution Characteristics, Sources, and Storage of Microplastics in Surface Sediments of Luoma Lake ····· YAO Ming-xuan, BAI Xue, XU Zhen-jia, *et al.* (2566)

Pollution Characteristics of Phosphorus in Different Media in Taihu Lake and Its Treatment Enlightenment ····· CAI Mei, LU Zhi-hua, WANG Yuan-yuan, *et al.* (2575)

Analysis on Diversity and Structure of Microbial Community in River Sediment of Siping Section of Liaohe River ····· LI Peng-yang, AN Qi-rui, WANG Xin-hao, *et al.* (2586)

Non-point Source Pollution (NPSP) Induces Structural and Functional Variation in Bacterial Communities in Sediments of Jialing River ····· XUE Yu-qin, XU Fei, LIU Kun-he, *et al.* (2595)

Effects of Microplastics on Bacterial Community Composition and Diversity in Sediments ····· LI Wen-lu, WANG Zhi-chao, YANG Wen-huan, *et al.* (2606)

Vertical Distribution Characteristics and Community Construction of Aerobic Denitrification Bacteria from the Sediments of Baiyangdian Lake During the Winter Freezing Period ····· ZHANG Tian-na, CHEN Zhao-ying, ZHANG Zi-wei, *et al.* (2614)

Effect of Induced Mixing on Bacterial Community Structure and Metabolic Activity in Reservoir ····· GAO Yue, HUANG Ting-lin, LI Nan, *et al.* (2624)

Distribution Characteristics of Microplastics in *Bellamya aeruginosa* in Typical Area of Poyang Lake ····· JIANG Wei-qun, HU Qi-wu, JIAN Min-fei, *et al.* (2633)

Electrocatalytic Oxidation of Bisphenol A by Porous Ti/SnO_2-Sb-Ni Electrode Loaded with Multi-wall Carbon Nanotubes ····· FU Yuan-hang, LIU An-di, HUANG Wei-bin, *et al.* (2640)

Efficiency and Mechanism of Degradation of Methylene Blue with H_2O_2 Catalyzed by Magnetic $Mn_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4@SiO_2$ ····· XU Dong-ying, YU Jing, HAO Qi, *et al.* (2650)

Effect of Two Types of Nanoparticles on the Adsorption of Ciprofloxacin on Zeolite ····· JIANG Lan-cui, MENG Zhao-fu, LIU Xian, *et al.* (2662)

Adsorption Mechanisms and Effect Factors of As(Ⅴ) by AMD Sludge Composite Material ····· ZHANG Ya-hui, ZHANG Rui-xue, WU Pan, *et al.* (2673)

Shifts in Microbial Community and Variation in Functional Genes for Nitrification and Denitrification in Activated Sludge Affected by Triclosan and Its Transformed Intermediates ····· LU Ying-yuan, DONG Xiao-qi, PENG Xing-xing, *et al.* (2685)

Construction of Sustainability Evaluation Index System for Contaminated Site Risk Management and Analysis on Key Influential Factors ····· LI Xiao-nuo, YI Shi-yi, CHEN Wei-ping (2699)

Construction and Empirical Analysis of a Comprehensive Evaluation Method of Coastal Wetland Soil Quality Based on Ecological Functions ····· ZHANG Xue, KONG Fan-long, JIANG Zhi-xiang (2709)

Source Analysis and Pollution Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil Around Tongshan Mining Area ····· CHEN Hang, WANG Ying, WANG Shu (2719)

Effects of Typical Iron and Manganese Minerals on Arsenic Speciation and Enzyme Activities in Paddy Soil ····· ZHOU Yi-min, HUANG Ya-yuan, LIU Kai, *et al.* (2732)

Phytoremediation Efficiency of Two Cultivars of *Brassica napus* L. Under Water-soluble Chitosan Treatment in Typical Pb-contaminated Farmland Soils ····· MENG Xiao-fei, ZHENG Guo-di, CHEN Tong-bin, *et al.* (2741)

Risk Prediction of Cadmium and Lead in Wheat Grains Based on Bayes Theorem ····· WANG Tian-qi, LI Yan-ling, YANG Yang, *et al.* (2751)

Interannual Variation Characteristics of Nitrogen Loss Under Rapeseed/Maize Rotation in Purple Soil Sloping Field ····· XU Man, GAO Ming, YU Luo, *et al.* (2758)

Physicochemical Properties of Biochars Prepared from Different Feedstocks and Evaluation of Its Potential as A Slow-release Carriers for Biochar-based Fertilizers ····· XING Li-bin, CHENG Jie, GENG Zeng-chao, *et al.* (2770)

Effects of Combined Application of Wood Vinegar-Acidified Biochar and Nitrogen on Active Nitrogen and Ammonia Volatilization in Saline Soil ····· SHEN Shu-wei, ZHANG Dan-dan, WANG Min-ge, *et al.* (2779)

Effects of Biodegradable Plastic Film Mulching on Greenhouse Gas Emissions Under Wheat-Maize Rotation System in the Guanzhong Plain ····· GUO Yi-ting, LUO Xiao-qi, WANG Rui, *et al.* (2788)

Forest Soil Microbial Community Structure Characteristics and Its Influencing Factors at Different Elevations on the Southern Slope of Daiyun Mountain ····· HE Zhong-sheng, WANG Zi-wei, ZHU Jing, *et al.* (2802)

Effects of Simulated Warming and Increased Precipitation on Soil Extracellular Enzyme Activity and Enzymatic Stoichiometry of Abandoned Grassland ····· WANG Xing, ZHONG Ze-kun, JIAN Jun-nan, *et al.* (2812)

Contribution of Urbanization to Local Warming in Major Cities of China ····· LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei, *et al.* (2822)