

目次

2018~2020年北京市大气PM_{2.5}污染特征及改善原因 刘保献, 李倩, 孙瑞雯, 董瑞, 王书肖, 郝吉明 (2409)

京津冀城市群冬季二次PM_{2.5}的时空分布特征 姚青, 杨旭, 唐颖潇, 樊文雁, 蔡子颖, 韩素芹 (2421)

COVID-19管控前后不同污染阶段PM_{2.5}中二次无机离子变化特征 姜楠, 郝雪新, 郝祺, 魏云飞, 张瑜, 吕政卿, 张瑞芹 (2430)

基于在线观测的太原市冬季PM_{2.5}中金属元素污染水平及来源解析 崔阳, 郭利利, 李宏艳, 李永麒, 李滨, 何秋生, 王新明 (2441)

青藏高原东缘黑碳气溶胶变化特征及其来源 王红磊, 刘思晗, 赵天良, 卢文, 夏俊荣, 施双双 (2450)

湛江市夏季大气挥发性有机物污染特征及来源解析 庞晓蝶, 高博, 陈来国, 刘明, 陆海涛, 王硕, 赵伟, 梁小明, 郭送军 (2461)

2021年夏季新乡市区臭氧超标日污染特征及敏感性 侯墨, 蒋小梅, 赵文鹏, 马琳, 黄皓旻, 范丽雅, 叶代启 (2472)

台风“浪卡”过程对海南岛臭氧污染的影响分析 符传博, 丹利, 徐金鹤, 徐文帅 (2481)

天津市空气污染的健康影响分析 华琨, 罗忠伟, 贾斌, 薛倩倩, 李亚菲, 肖致美, 吴建会, 张裕芬, 冯银厂 (2492)

2002~2020年中国河流环境质量演变及驱动因子分析 杨传玺, 薛岩, 高畅, 万孜恒, 王小宁, 刘永林, 刘琳, 刘长青, 王炜亮 (2502)

1990~2020年黄河流域典型生态区生态环境质量时空格局及驱动力分析 王芳, 李文慧, 林妍敏, 南雄雄, 胡志瑞 (2518)

长江上游小型水库枯水期水质对景观组成、配置和水库特征的响应 钟泳林, 冉娇娇, 文雯, 张名瑶, 吕明权, 吴胜军 (2528)

宁夏入黄排水沟中典型内分泌干扰物的污染特征与风险评价 李凌云, 高礼, 郑兰香, 李富娟, 陶红, 马兰 (2539)

微塑料及金属在黄浦江地表水环境的赋存特征及与金属抗性基因的相关性分析 陆嘉玮, 徐晨晔, 胡纯, 刘树仁, 李方 (2551)

黄河兰州段城市河道表层沉积物重金属空间分布特征及来源解析 李军, 李旭, 李开明, 焦亮, 臧飞, 毛满萱, 潘文惠, 米璇 (2562)

三峡库区支流库湾消落带土壤磷形态赋存特征及其释放风险 张雪, 朱波 (2574)

霍邱县城湖泊沉积物营养盐分布及污染评价 刘海, 赵国红 (2583)

基于贝叶斯网络的太湖叶绿素a影响因素分析 刘杰, 何云川, 邓建明, 汤祥明 (2592)

河北省顺平县地下水化学特征及其成因分析 刘元晴, 周乐, 吕琳, 李伟, 王新峰, 路小慧, 郑一迪, 孟顺祥 (2601)

饮用水处理过程中全氟化合物的分布、转化及去向 钟婷婷, 林涛, 刘威 (2613)

镍铁氧体@活性炭复合材料去除六价铬的表征、性能及机制 张华, 李荣华, 陈金雄, 曾鸿鹄, 黄海艺, Asfandyar Shahab (2622)

纳米核壳Co@NC催化剂活化过氧乙酸降解磺胺甲噁唑 郑婷露, 张龙龙, 陈家斌, 张亚雷, 周雪飞 (2635)

富里酸改性FeMnNi-LDH复合材料对水中砷镉的吸附性能与机制 何雅馨, 柯心怡, 魏世强, 蒋珍茂 (2646)

富含钙/铝的污泥生物炭复合材料对水溶液中磷酸盐的吸附机制 欧阳铸, 曹露, 王炳乾, 丁丽, 黄海明, 祝采莹, 邝晓彤 (2661)

污泥生物炭掺杂改性及其对水中1,2-二氯乙烷吸附行为和机制 周佳伟, 施维林, 许伟, 魏晨军, 吴建生, 孟宪荣 (2671)

森林生态系统对大气氮沉降降低的响应 谢丹妮, 仰东星, 段雷 (2681)

气候变化和人类活动对我国典型草原区植被恢复的影响 张良侠, 岳笑, 周德成, 樊江文, 李愈哲 (2694)

西南地区陆地植被生态系统NPP时空演变及驱动力分析 徐勇, 黄海艳, 戴强玉, 郭振东, 郑志威, 盘钰春 (2704)

不同碳输入对天山雪岭云杉林土壤化学计量特征的影响 马鑫钰, 贡璐, 朱海强, 张甜, 殷珂洁, 陆星宇 (2715)

氮磷添加对荒漠草原土壤养分含量及生态化学计量特征的影响 刘姝莹, 安慧, 张馨文, 邢彬彬, 文志林, 王波 (2724)

互花米草入侵对杭州湾滨海湿地土壤碳氮磷生态化学计量特征的影响 李文琦, 项琦, 解雪峰, 吴涛, 蒋国俊, 张建珍, 濮励杰, 徐飞 (2735)

黄土旱塬24 a不同秸秆还田土壤碳、氮、磷和胞外酶计量特征 姚志霞, 周怀平, 解文艳, 杨振兴, 陈浩宁, 文永莉, 程曼 (2746)

黄土高原子午岭植被自然恢复下的固碳特征 许小明, 张晓萍, 王浩嘉, 贺洁, 王妙倩, 易海杰, 薛帆, 邹亚东, 田起隆, 何亮 (2756)

短期氮添加对黄土高原人工刺槐林土壤有机碳组分的影响 简俊楠, 刘伟超, 朱玉帆, 李佳欣, 温宇豪, 刘付和, 任成杰, 韩新辉 (2767)

福建省水田土壤有机碳积累对未来温度升高的响应 车燕, 邱龙霞, 吴凌云, 龙军, 毋亭, 李晶, 邢世和, 张黎明 (2775)

中国镉超富集植物的物种、生境特征和筛选建议 赵晓峰, 雷梅, 陈同斌 (2786)

基于地理探测器的土壤重金属空间分异及其影响因素分析研究进展 龚仓, 王顺祥, 陆海川, 陈勇, 刘玖芬 (2799)

河北省土壤化学元素的背景值与基准值 张丽婷, 成杭新, 谢伟明, 齐全强, 谢晓阳, 于文龙, 王俊达 (2817)

非粮化利用下耕地土壤重金属分布特征、生态风险和来源解析 邱乐丰, 祝锦霞, 潘艺, 党云晓, 吴绍华 (2829)

基于乡镇尺度的地质高背景区耕地土壤重金属来源分析与风险评价 余飞, 王佳彬, 王锐, 王宇, 宁墨奂, 张云逸, 苏黎明, 董金秀 (2838)

长株潭地区土壤Cd和Pb固液分配特征与环境风险 李钰滢, 彭驰, 刘乐乐, 张严, 何亚磊, 郭朝晖, 肖细元 (2849)

贵州铅锌矿区土壤和作物重金属生态风险与迁移特征 马宏宏, 张利, 郭飞, 杨峥, 王惠艳, 彭敏, 张富贵 (2856)

贵州省旱地土壤Hg污染状况与玉米安全生产评估 马丽钧, 周浪, 宋波, 王佛鹏, 张云霞, 吴勇 (2868)

山西野生连翘生长地土壤PAHs污染特征及风险评价 郭佳佳, 王琦, 康敏捷, 焦海华, 茹文明, 白志辉 (2879)

P对小麦Cd和As吸收与转运的影响 王云, 赵鹏, 李广鑫, 胡彩霞, 王俊, 刘红恩, 高巍, 秦世玉, 睢福庆, 李畅 (2889)

施硅对水稻铁膜砷固定和体内砷转运的影响 李林峰, 文伟发, 徐梓盛, 陈勇, 李奇, 李义纯 (2899)

广东海丰湿地生态恢复进程中不同生境的土壤微生物特征分析 马姣娇, 高常军, 易小青, 吴琰, 李佳鸿, 曾向武, 蔡坚 (2908)

五台山不同退化程度亚高山草甸土壤微生物群落分类与功能多样性特征 罗正明, 刘晋仙, 胡砚秋, 赫磊, 周妍英, 郑庆荣, 柴宝峰 (2918)

天然高寒草地转变为混播人工草地对土壤微生物群落特征的影响 于皓, 刘悦, 邓晔, 芦光新, 颜璋琳, 王英成 (2928)

紫云英还田与化肥减量配施对稻田土壤细菌群落组成和功能的影响 张济世, 刘春增, 郑春风, 张琳, 张香凝, 吕玉虎, 曹卫东, 张玉亭 (2936)

长期生草栽培对山核桃人工林土壤真菌群落和酶活性的影响 胡颖榭, 梁辰飞, 金锦, 王潇璇, 叶子豪, 吴家森 (2945)

高密度聚乙烯微塑料胁迫对棉花生长、枯萎病发生和根际细菌群落的影响 张浩, 孙洁, 杨慧颖, 董联政, 滑紫微, 韩辉, 陈兆进 (2955)

菌藻复合体系氮代谢性能及菌群特征 赵志瑞, 吴海森, 马超, 李书缘, 李晴, 袁凯倪, 孟祥源, 刘硕, 方晓峰 (2965)

中国碳排放及影响因素的市域尺度分析 吴健生, 晋雪茹, 王晗, 冯喆, 张丹妮, 李雪尘 (2974)

碳交易政策如何影响工业碳生产率:来自中国省级数据的准自然实验 房琪, 李绍萍 (2983)

垃圾分类对碳减排的影响分析:以青岛市为例 陈纪宏, 卞荣星, 张昕雪, 高晨琦, 孙英杰, 李卫华, 张国栋, 占美丽 (2995)

1950~2019年中国季节平均最高气温时空演变特征及其大气环流影响定量分析 苏越, 路春燕, 黄雨菲, 苏艳琳, 王自立, 雷依凡 (3003)

《环境科学》征订启事(2480) 《环境科学》征稿简则(2538) 信息(2766, 2798, 2927)

长江上游小型水库枯水期水质对景观组成、配置和水库特征的响应

钟泳林^{1,2,3}, 冉娇娇^{1,2,3}, 文雯^{2,3,4}, 张名瑶^{2,3,4}, 吕明权^{2,3*}, 吴胜军^{2,3}

(1. 重庆交通大学智慧城市学院, 重庆 400074; 2. 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714; 3. 中国科学院大学重庆学院, 重庆 400714; 4. 长江大学资源与环境学院, 武汉 430000)

摘要: 长江流域小型水库数量多分布广, 具有重要的生态经济效益, 探明小型水库水质对环境变量的响应规律对于提升水库水质具有非常重要的意义. 基于长江上游 36 个小型水库枯水期水质数据, 运用相关分析和冗余分析等研究方法, 将环境变量划分为景观配置指标、景观组成指标和水库特征指标这三大类, 探明其对水质指标变化的影响. 结果表明: ①旱地是 NO_3^- -N、TN 和 TP 的主要来源; 居民点是 TP 物质的主要来源; 水田、林地和荒草地对水库 N、P 的截留和净化具有正向作用; ②旱地最大斑块指数与水库 TN 和 NO_3^- -N 浓度显著正相关, 水田散布与并列指数、林地散布与并列指数与水库 NO_3^- -N 和 TN 浓度显著负相关; 旱地斑块密度与 TP 物质含量显著正相关; 林地最大斑块指数与 TP 含量显著负相关; ③水库库容、水库平均深度和水库形状指数对水库水质提升具有显著的正向作用; ④水库环境变量中, 景观配置指标对水库水质指标变化的解释率最高 (24%), 其次是水库特征指标 (11%), 最后为景观组成指标 (9%). 流域因素是影响水库水质变化的关键因子 (55%), 内部因素 (19%) 对水库水质的影响同样不可忽视. 研究结果可以为通过管理和优化水库景观特征来控制小型水库水质退化提供理论依据.

关键词: 小型水库; 景观格局; 非点源污染; 长江上游; 枯水期

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2023)05-2528-11 DOI: 10.13227/j.hjkk.202204228

Response of Water Quality in Small Reservoirs to Landscape Composition, Landscape Configuration, and Reservoir Characteristics in the Upper Reaches of the Yangtze River During Dry Season

ZHONG Yong-lin^{1,2,3}, RAN Jiao-jiao^{1,2,3}, WEN Wen^{2,3,4}, ZHANG Ming-yao^{2,3,4}, LÜ Ming-quan^{2,3*}, WU Sheng-jun^{2,3}

(1. School of Smart City, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China; 3. Chongqing School, University of Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China; 4. College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430000, China)

Abstract: Small reservoirs in the Yangtze River are large in quantity and widely distributed, which have important ecological and economic benefits. It is of great significance to explore the response law of small reservoir water quality to environmental variables for improving reservoir water quality. Based on the measured water quality data of 36 small reservoirs in the upper reaches of the Yangtze River, combined with the measured water quality data, using correlation analysis, redundancy analysis, and other research methods, we divided the environmental variables into three categories: landscape configuration index, landscape composition index, and reservoir characteristic index, and explored their impact on the change in water quality index. The research results showed that: ① farms were the main source of NO_3^- -N, TN, and TP, and residential land was the main source of TP. Paddy, forest land, and wasteland had positive effects on the retention and purification of N and P in reservoirs. ② The LPI of farms was significantly positively correlated with the concentrations of TN and NO_3^- -N in the reservoir, and the paddy and forest were significantly negatively correlated with the concentrations of NO_3^- -N and TN in the reservoir. The PD of farms was positively correlated with TP. The LPI was negatively correlated with TP content. ③ The correlation between average reservoir depth and reservoir water quality was the strongest. Reservoir capacity, reservoir average depth, and reservoir LSI had significant positive effects on water quality improvement. ④ Among the environmental variables of the reservoir, landscape configuration index had the highest explanatory rate (24%), followed by that of the reservoir characteristics index (11%) and landscape composition index (9%). Watershed factors were the key factors (55%), and internal factors (19%) also had a significant influence on reservoir water quality. The research results can provide a theoretical basis for controlling water quality degradation of small reservoirs by managing and optimizing the landscape characteristics of reservoirs.

Key words: small reservoir; landscape pattern; non-point source pollution; upper Yangtze River; dry season

据文献[1]显示, 全国现有库容大于 10 万 m^3 的水库 9.86 万座, 其中小型水库 (库容小于 1 000 万 m^3) 9.4 万座, 占总水库数量 95.06%. 小型水库数量大分布广, 在灌溉、供水、养殖、旅游和发电方面发挥着较大的经济效益, 在防洪、泥沙拦截和栖息地方面发挥着生态作用, 为支持地方经济和社会的快速发展作出了巨大贡献. 我国很多地区的水库供

水占总供水量的 1/3, 甚至 1/2 以上, 特别是农村或乡镇地区饮用水源主要依赖于小型水库. 然而, 随着

收稿日期: 2022-04-19; 修订日期: 2022-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42071242); 中央引导地方科技发展专项 (2021000069); 重庆市科技局项目 (cstc2021jxj10091)

作者简介: 钟泳林 (1998 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为景观地理, E-mail: zhongyonglin20@mails.ucas.ac.cn

* 通信作者, E-mail: lvmingquan@cigit.ac.cn

经济的发展,小型水库的水质退化问题日益突出,严重影响了农村饮水安全和区域水生态^[2].因此,探明小型水库水质对环境变量的响应规律是提升水质的前提.

农村非点源污染是影响小型水库水质退化的主要影响因子,几乎所有的非点源污染的源头都与土地利用有关^[3].流域景观组成的变化会对流域生态功能和污染物种类和负荷产生深刻影响,是影响流域非点源污染排放的主导因素^[4].例如,旱地和建设用地面积与氨氮和总磷呈正相关,对水质具有负面效应^[5].以往研究大多仅分析土地利用类型,即景观组成的变化与水质变化的关系,过于依赖景观的组成指标,并没有充分考虑到景观格局的空间形状和排列配置,而这些指标可以反映土地利用对水质的影响机制^[6].从景观生态角度对水质影响进行相关分析和建立景观指数与流域水质量化关系的研究不断增多^[7].水质对景观格局的变化十分敏感,探究流域景观格局与水质的关系已经成为国内外水环境研究关注的主要方向之一^[8].流域景观格局是影响水质和污染负荷量时空变化的主要影响因子^[9].有研究发现,流域景观格局的改变同时会引起地表径流及其生态过程的变化,从而引发水环境剧变^[10].景观格局中,不同的景观配置会对污染物产生、迁移和转化过程产生影响,从而影响流域水质^[11].如耕地,森林平均斑块面积和灌丛/湿地平均斑块形状与生态系统水质净化服务呈显著正相关^[12],斑块数量和香农多样性指数与综合污染指数呈显著正相关,斑块密度、香农多样性指数和源汇景观指数与各水质指标也显著相关^[13].因此,探明流域景观配置指数与水质的关系,通过优化景观配置改善水质成为了近年水库水环境研究关注的热点^[14].

近年来,相关研究表明水库是生物地球化学循环的重要场所,是氮磷营养元素拦截削减的一类重要水体景观,一方面水库对氮磷物质的拦截也会导致下游地区的N/P发生改变,另一方面水库也能通过稀释扩散和吸附沉降等物理过程,以及降解、分解和吸收等生物化学过程将营养元素转化为其他物质,使得污染物浓度降低^[15],从而达到水质提升的目的.对乌江流域梯级水库的研究发现,水库中总氮和总磷浓度呈现出从上游到下游逐级降低的趋势^[16],水库对总氮和总磷的最高拦截率分别达到36.0%和56.5%^[17],从水库的特征来看,水库水位和库容与总氮和总磷拦截密切相关.因此,在探究水库水质时,除了其汇水流域的景观因素以外,水库本身的特征需要考虑,目前,水库特征(内因)相比流

域因素(外因)对水库水质贡献大小比较研究较少.

长江流域是我国水库分布密度较高的区域,各类水库5.2万座,占全国水库的一半,特别是在长江流域上游,为了解决供水和灌溉问题,修建了非常多的小型水库.本文以长江上游36个小型水库及相应的流域为研究对象,获取其枯水期氮、磷等数据,构建景观配置指标、景观组成指标和水库特征指标,结合相关分析、冗余分析和方差分解等研究方法,回答以下问题:①景观组成指标对流域水质有什么影响?影响有多大?②景观配置指标与流域水质有什么相关性?相关性是否显著?③水库特征是否影响氮磷物质的沉积和净化?④流域因素(包括景观配置指标、景观组成指标)和内部因素(水库特征指标)对水库水质变化的贡献差异?本研究通过揭示小型水库在枯水期的水质变化的驱动因素和相应贡献大小,以期通过管理和优化水库景观特征来控制小型水库水质退化提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于长江流域上游的重庆市开州区、丰都区、涪陵区和四川省隆昌市、富顺县、泸县(图1),地势总体呈现出东高西低的特点,地貌以山地、丘陵为主,属亚热带季风性湿润气候,年平均气温为16~18℃,降水量为1000~1350mm,年平均相对湿度多在70%~80%,气候温和,雨量充沛,长江穿境而过,提供了丰富的水文资源.土壤类型以紫色土为主,土质疏松,易于崩解,有机质含量低,磷、钾丰富,硝态氮流失严重,水环境受农田施肥影响程度大^[18].本研究共涉及36个小型水库流域,研究区总面积为201.1km²,水库的水面面积介于2~434.6hm²之间,流域面积最大的是17号流域,总面积为60.61km²,流域面积最小的是35号小流域,流域面积为0.17km²,汇水区的面积大小、土地利用类型及其组合方式均有不同,为本研究揭示景观格局与小型水库氮磷浓度的关系提供了很好的研究场所.

1.2 数据收集与处理

1.2.1 水质数据采集

本研究在研究区范围内选取了36个水库进行采样,水样采集时间12月下旬.共采集36个水库出水口水样,每个水库设置3个样点,均匀分布于水库周边,采样点距离岸边1m的位置.每个样点采集3瓶水样,分别装在200mL的一次性采样瓶中,于4℃车载冰箱内保存并在48h内送至实验室进行分析.实验测定的指标主要包括总氮(TN)、硝态氮(NO₃⁻-N)和总磷(TP).具体分析方法如下:将水样

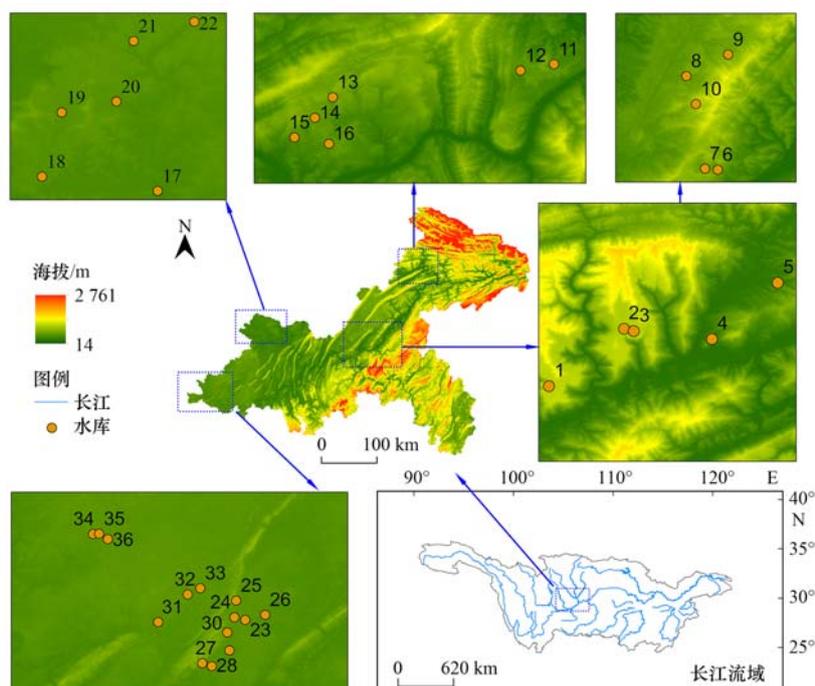


图1 研究区概况

Fig. 1 Location of the study area

用 $0.45 \mu\text{m}$ 有机微孔滤膜抽滤后进行测定, TN 通过碱性过硫酸钾-紫外分光光度法进行测定, TP 通过钼酸铵分光光度法测定, NO_3^- -N 通过紫外分光光度法测定. 电导率 (TDS) 使用多参水质仪在采样点现场测定.

1.2.2 水库流域土地利用提取

利用 ArcGIS 10.5 的水文分析模块, 基于空间分辨率 5 m 的 DEM 数据, 结合研究区河流水系图, 提取所取样的 36 个小型水库的汇水流域边

界. 下载 36 个流域近 3 年的 Google Earth 高清遥感影像 (分辨率为 1.04 m). 近年来, 相关研究表明水田和旱地对面源污染贡献差异巨大^[19], 因此, 本研究依托高精度的遥感影像与目视解译, 将耕地分为旱地与水田两类. 通过 ArcGIS 软件对所有流域开展目视解译工作, 结合研究区实际情况, 将土地利用划分为水库、水塘、河流、居民点、林地、水田、旱地、荒草地和道路这 9 个类型 (图 2). 经实地验证, 目视解译结果精度高, 误差小, 满足研究

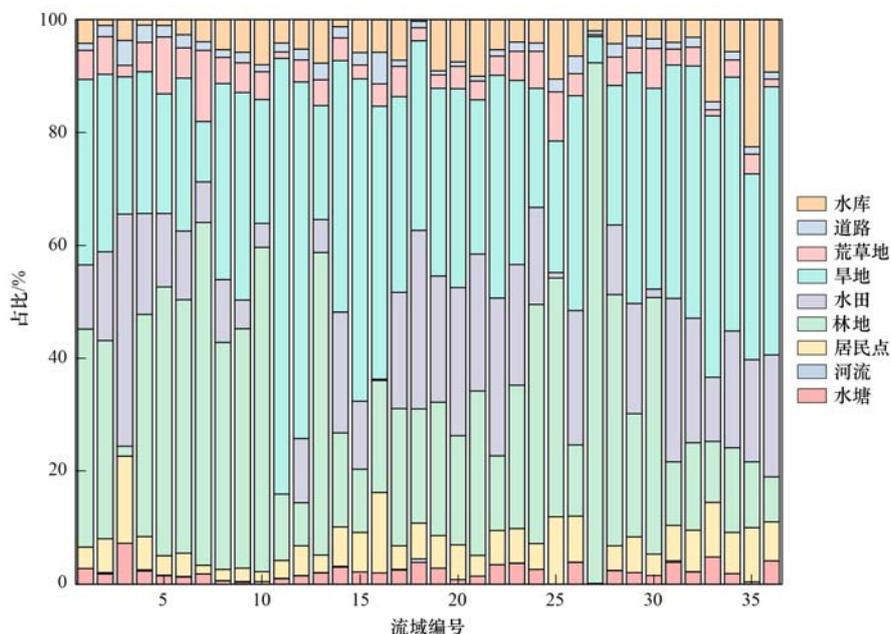


图2 36个流域中不同土地利用类型的面积占比

Fig. 2 Area ratio of the different land-use types in 36 basins

分析要求. 河流和道路占流域总面积的百分比低于 3%, 所以没有对河流和道路开展更进一步的分析工作.

36 个农业小流域内主要土地利用类型具体面积占所在流域总面积见图 2 所示. 居民点面积占比最大的流域是 3 号流域, 林地面积比例最大的是 27 号流域, 占比为 92.22%; 水田面积比例最大的是 3 号流域, 占比为 41.10%; 旱地面积比例最大的是 11 号流域, 占比为 77.22%; 荒草面积比例最大的是 7 号流域, 占比为 12.59%; 水库水面面积占比最大的是 35 号流域, 占比为 22.53% (图 2).

1.2.3 景观指数的选取

本研究从景观组成、水库特征、景观配置方面来测量并选取景观指数 (表 1). 利用 Fragstats 4.0 软件在类型尺度上计算了斑块密度 (PD)、景观形状指数 (LSI)、斑块所占景观面积比例 (PLAND)、最大斑块指数 (LPI) 和散布与并列指数 (IJI) 在内的景观配置指标和景观组成指标. 水库特征指标包括水库库容 (capacity)、水库水面面积 (area)、水库平均深度 (depth)、水库水力滞留时间 (HRT)、水库形状指数 (LSIres) 和水库散布并列指数 (IJIres), 其中后两个指标通过 Fragstats 4.0 计算.

表 1 研究区景观指标描述

Table 1 Descriptions of the landscape metrics in this study

类型	名称	描述
水库特征指标	库容 (capacity)	坝前水位水平面以下的静库容
	面积 (area)	坝前水位水平面面积
	水库平均深度 (depth)	坝前水位水平面以下的平均深度
	水库形状指数 (LSIres)	度量水库的形状的复杂程度
	水库散布并列指数 (IJIres)	衡量水库与其他斑块类型相邻的程度, 当对应的斑块类型仅与另一个斑块类型相邻时, IJI 趋于 0
	水库水力停留时间 (HRT)	水体在水库的停留时间, 计算方法为, $HRT(h) = V / Q$, 即水库库容与水库进水流量之比
景观组成指标	水库 (reservoir)	水库水面面积比例
	水塘 (water)	水塘面积比例
	居民点 (residential land)	居民点面积比例
	林地 (forest)	林地面积比例
	水田 (paddy)	水田面积比例
	旱地 (farm)	旱地面积比例
	荒草地 (grassland)	荒草面积比例
类型尺度的景观配置指标	斑块密度 (PD)	每单位面积对应类别的斑块数目 (每 100 hm ² 的数目)
	最大斑块指数 (LPI)	斑块类型中最大的斑块所占景观总面积的百分比.
	形状指数 (LSI)	是通过计算区域内某斑块形状与相同面积的圆或正方形之间的偏离程度来测量其形状复杂程度
	散布于并列指数 (IJI)	计算斑块与所有其他斑块类型相邻的程度, 当对应的斑块类型仅与另一个斑块类型相邻时, IJI 趋于 0
	聚集度指数 (AI)	聚集度指数考察了每一种景观类型斑块间的连通性. 取值越小, 景观越离散

1.3 统计分析

本研究采用 Pearson 相关分析、冗余分析 (RDA) 和方差分解探索景观组成指标、景观配置指标和水库特征指标与水库水质参数的关系. Pearson 相关分析可以确定变量之间的关系, 用相关系数来反映变量之间相关关系的密切程度. RDA 分析能够从统计学角度评价不同组变量之间的关系, 也能够单独分析各个环境因子对水质指标变化的解释度和贡献率, 环境变量与水质参数之间的夹角大于 90°, 呈负相关关系; 小于 90°, 呈正相关关系; 等于 90°, 则不存在关系^[20], 同时, 线段长度反映了环境变量对水质影响程度的强弱. 在进行 RDA 分析之前, 首先通过除趋势对应分析 (DCA) 分析水库水质数据, 以确定是采用线性模型还是单峰模型. DCA 排序结

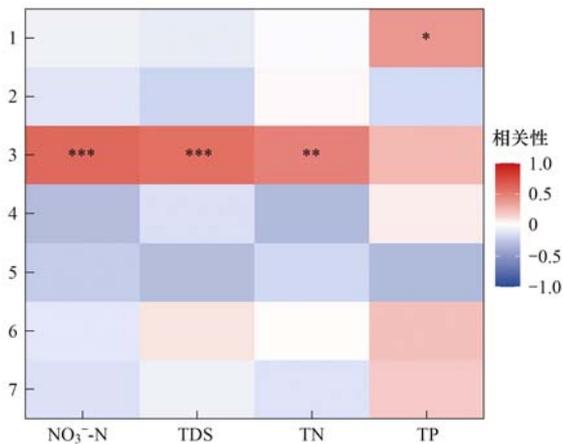
果显示, 4 个纵坐标轴的最长梯度长度均小于 3, 因此使用 RDA 分析景观指标与水库水质参数的关系. 为了消除景观指标之间的共线性, 进行了两次 RDA 分析. 将所有的景观指标作为环境因子导入 CANOCO 5 中计算, 根据重要性检验选择变量, 之后将获得的景观指标再次进行 RDA 分析, RDA 分析采用排列检验来测试显著性. 最后利用方差分解来量化景观组成指标、景观配置指标和水库特征指标对水库水质影响的重要性. 数据分析使用 SPSS 19 和 R, 使用 Origin 21.0 软件进行绘图.

2 结果与分析

2.1 小型水库氮磷浓度与流域景观组成关系

本研究对水库水质指标 (TN、NO₃⁻-N、TP、

TDS)和景观组成指标(池塘、居民点、林地、水田、旱地、荒草地)进行 Pearson 相关分析(图 3). 相关性分析结果显示:从 TDS 来看,旱地与 TDS 呈显著强正相关($P < 0.001$),居民点与 TDS 呈正相关,林地、荒草地、水田和水库与 TDS 呈负相关,水塘与 TDS 的相关性不显著; TP 与水库呈显著正相关($P < 0.05$),居民点、水塘、旱地和水田与 TP 呈正相关,林地和荒草地与 TP 呈负相关; TN 与旱地呈显著正相关($P < 0.01$),水田、林地和水塘与 TN 负相关,荒草地、水库和居民点与 TN 的相关性则很微弱; NO_3^- -N 与旱地呈显著强正相关($P < 0.001$),跟林地、水田、荒草地和水塘与 NO_3^- -N 呈负相关,水库与 NO_3^- -N 相关性不强.



1. 水库占流域面积比例, 2. 荒草地占流域面积比例, 3. 旱地占流域面积比例, 4. 林地占流域面积比例, 5. 水田占流域面积比例, 6. 居民点占流域面积比例, 7. 水塘占流域面积比例; *** 表示显著性 $P < 0.001$ 级别(双尾), ** 表示显著性 $P < 0.01$ 级别(双尾), * 表示显著性 $P < 0.05$ 级别(双尾)

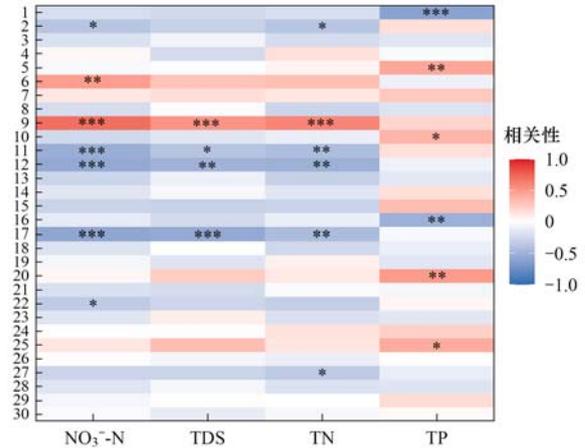
图 3 景观组成指标与水质指标的相关性

Fig. 3 Correlation analysis of landscape composition metrics with water quality

2.2 小型水库氮磷浓度与流域景观配置关系

本研究对水质指标和景观配置指标进行 Pearson 相关分析(图 4). 从 TN 来看,旱地最大斑块指数与 TN 呈强正相关($P < 0.001$),林地散布与并列指数、水田散布与并列指数、水田聚集度指数与 TN 呈显著负相关($P < 0.01$);从 NO_3^- -N 角度来看,旱地最大斑块指数与 NO_3^- -N 含量呈强正相关($P < 0.001$),旱地聚集度与 NO_3^- -N 呈显著正相关($P < 0.01$);林地散布与并列指数、水田散布与并列指数、水田聚集度与 NO_3^- -N 呈强负相关($P < 0.001$);从 TP 来看,荒草地最大斑块指数和林地斑块密度与 TP 呈显著正相关($P < 0.01$),荒草地聚集度与 TP 呈强负相关($P < 0.001$),林地聚集度与 TP 呈显著负相关($P < 0.01$);从 TDS 来看,旱

地最大斑块指数与 TDS 呈强正相关($P < 0.001$),林地散布和并列指数则与 TDS 呈强负相关($P < 0.001$),水田散布和并列指数则与 TDS 呈显著负相关($P < 0.01$).



1. 荒草地聚集度指数, 2. 荒草地散布与并列指数, 3. 荒草地形状指数, 4. 荒草地最大斑块指数, 5. 荒草地斑块密度, 6. 旱地聚集度指数, 7. 旱地散布与并列指数, 8. 旱地形状指数, 9. 旱地最大斑块指数, 10. 旱地斑块密度, 11. 水田聚集度指数, 12. 水田散布与并列指数, 13. 水田形状指数, 14. 水田最大斑块指数, 15. 水田斑块密度, 16. 林地聚集度指数, 17. 林地散布与并列指数, 18. 林地形状指数, 19. 林地最大斑块指数, 20. 林地斑块密度, 21. 居民点聚集度指数, 22. 居民点散布与并列指数, 23. 居民点形状指数, 24. 居民点最大斑块指数, 25. 居民点斑块密度, 26. 水塘聚集度指数, 27. 水塘散布与并列指数, 28. 水塘形状指数, 29. 水塘最大斑块指数, 30. 水塘斑块密度; *** 表示显著性 $P < 0.001$ 级别(双尾), ** 表示显著性 $P < 0.01$ 级别(双尾), * 表示显著性 $P < 0.05$ 级别(双尾)

图 4 景观配置指标与水质指标的相关性分析

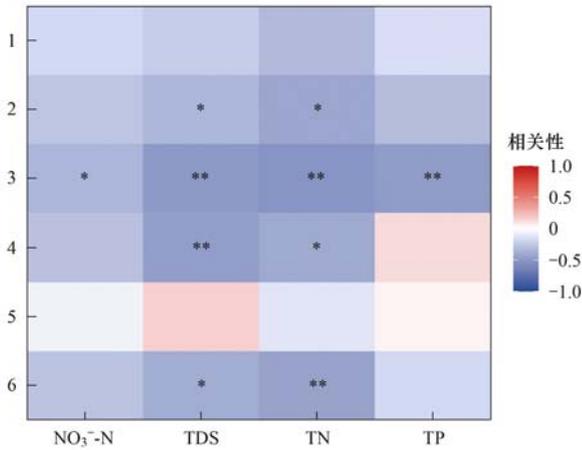
Fig. 4 Correlation analysis of landscape configuration metrics with water quality

2.3 小型水库氮磷浓度与水库特征关系

相关性分析结果显示(图 5),水库库容与 TN 和 TDS 呈负相关($P < 0.05$);水库水深与 TDS、TN 和 TP 呈显著负相关($P < 0.01$),与 NO_3^- -N 呈负相关($P < 0.05$);水库水力滞留时间与 TDS 呈显著负相关($P < 0.01$),与 TN 呈负相关($P < 0.05$);水库形状指数与 TN 呈显著负相关($P < 0.01$),与 TDS 呈负相关($P < 0.05$).

2.4 景观组成、配置及水库特征对小型水库氮磷浓度贡献分解

首先对各样本的水质指标进行除趋势对应分析(DCA 分析),结果显示所有排序轴中的最长梯度为 0.68,因此采用 RDA 分析.所有景观指标在多元回归模型分析时会产生严重的共线性,因此将所有指标进行了两次 RDA 分析,根据重要性检验剔除了一些景观指标,消除了共线性,结果如表 2 所示.



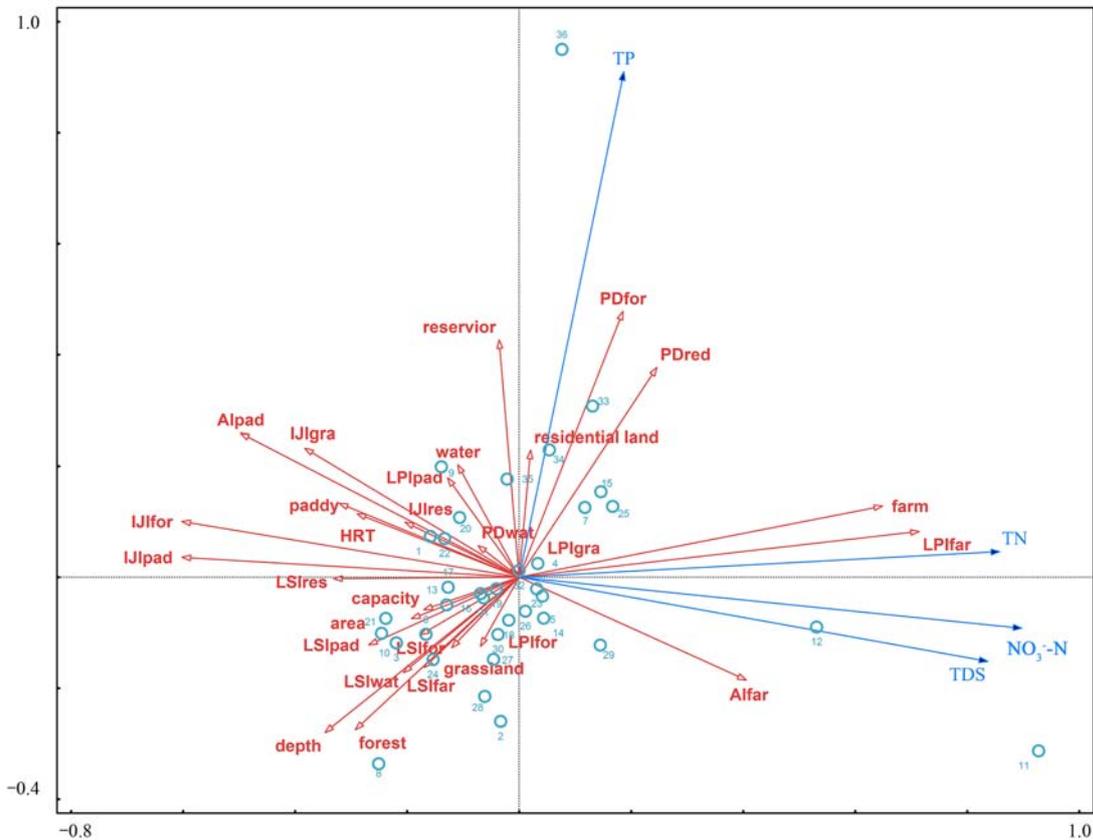
1. 水库面积, 2. 水库库容, 3. 水库水深, 4. 水库水力滞留时间, 5. 水库散布与并列指数, 6. 水库形状指数; *** 表示显著性 $P < 0.001$ 级别(双尾), ** 表示显著性 $P < 0.01$ 级别(双尾), * 表示显著性 $P < 0.05$ 级别(双尾)

图 5 水库特征指标与水质指标的关系

Fig. 5 Correlation analysis of reservoir feature metrics with water quality

RDA 分析景观配置指标解释率和贡献度的结果显示(图 6), 第一轴的解釋率为 56.42%, 景观指数对水质指标的总解释率达到了 85.8%. 从排序来看, 4 个水质指标的箭头都较长并且长度接近, 说明景观配置指标、景观组成指标和水库特征指标对水质指标影响程度较强. 水质指标中 TN 和 $NO_3^- - N$ 与旱地最大斑块指数和旱地比例表现出显著正相关, 旱地聚集度指数和居民点斑块密度等与 TN 和 $NO_3^- - N$ 呈正相关; 水库形状指数和水库水力滞留时间等指标与 TN 和 $NO_3^- - N$ 呈显著负相关; 水塘面积比例、水田最大斑块指数和林地最大斑块指数等与 TN 呈负相关. 其中, 最显著的变量为旱地最大斑块指数和水库平均深度, 对于水质指标变化的贡献率分别为 33.0% 和 10.2%.

从 TDS 来看, 旱地聚集度指数与 TDS 相关性最强; 旱地最大斑块指数、旱地面积比例和居民点斑块密度与 TDS 呈正相关. 水田斑块聚集度指数、水



reservoir: 水库占流域面积比例, grassland: 荒草地占流域面积比例, farm: 旱地占流域面积比例, forest: 林地占流域面积比例, paddy: 水田占流域面积比例, residential land: 居民点占流域面积比例, water: 水塘占流域面积比例, LPIfar: 旱地最大斑块指数, Alfar: 旱地聚集度指数, LSIfar: 旱地形状指数, PDred: 居民点密度, LPIpad: 水体最大斑块指数, Alpad: 水田聚集度指数, IJlpad: 水田散布与并列指数, LSIpad: 水田形状指数, IJlgra: 荒草地散布与并列指数, LPIgra: 荒草地最大斑块指数, PDwat: 水塘密度, LSIwat: 水塘形状指数, IJlfor: 林地散布与并列指数, LSIfor: 林地形状指数, LPIfor: 林地最大斑块指数, IJlres: 水库散布与并列指数, LSIres: 水库形状指数, area: 水库水面面积, capacity: 水库库容, depth: 水库水深, HRT: 水库水力滞留时间; 红色箭头表示水库水质指标的关系因子, 蓝色箭头表示水库水质指标

图 6 景观指标和水质指标的 RDA 排序

Fig. 6 Redundancy analysis (RDA) ranking of landscape metrics with water quality

表 2 景观指标对水质指标的解解释率和贡献度/%

Table 2 Redundancy analysis (RDA) results for the percentage of the overall water quality variation explained by the landscape metrics/%

指标	解释变量				总解释率	关键指标(贡献度)
	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4		
景观指标	56.06	18.17	8.59	1.92	85.8	旱地 LPI 33.3 和 HRT(水力停留时间) 10.2

田最大斑块指数和水库水力滞留时间等指标与 TDS 呈显著负相关;水塘面积比例、水库平均深度和林地最大斑块指数等与 TDS 呈负相关。

TP 与居民点面积比例正相关性最强,水库水面面积比例、居民点密度和水田聚集度指数等指标与 TP 呈正相关;水库平均深度、林地面积比例、水塘形状指数和水库水力滞留时间等指标与 TP 呈负相关。

方差分解的结果显示(图 7),景观配置指标、景观组成指标和水库特征指标三者共同解释了 44% 水质指标变化。其中景观配置指标对于水质指标变化的贡献最大,共解释了 24% 的水质指标变化。3 组景观指数类别对水质指标变化的贡献度分别为:景观配置指标(24%)、水库特征指标(11%)和景观组成指标(9%)。景观组成指标和景观配置指标作为影响水库水质的外部因子,共同解释了 22% 的水质指标变化。水库特征指标对水库水质指标的解解释率较高,但与景观配置指标、景观组成指标对水质指标变化的共同解解释率则较低(4%)。

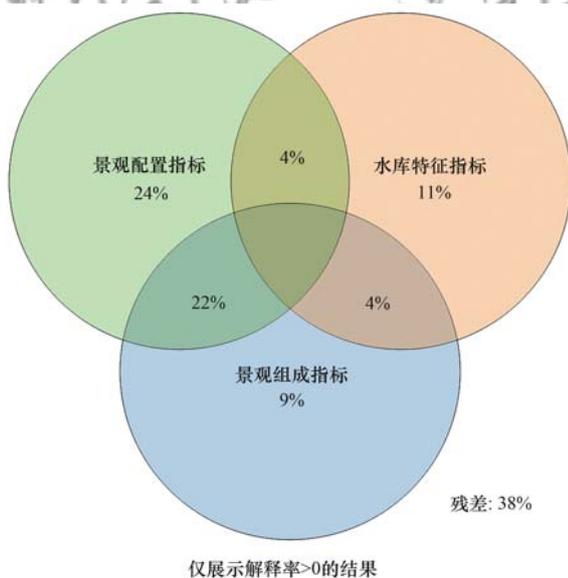


图 7 方差分解结果

Fig. 7 Results of variance decomposition

3 讨论

3.1 景观组成指标与水质指标的关系

土地利用的变化改变了地表径流,是影响流域氮磷物质输移的关键因子^[21],不同的土地利用类型

及其组合对氮磷输移过程所起到的作用也不同^[22]。根据遥感影像判断,近年来重庆与四川东部经济的发展和城市化进程加快,导致水田面积下降的情况尤为严重^[23]。

旱地面积比例对流域 N、P 污染物呈正相关,研究区内存在大量的水改旱现象,旱地作为非点源污染重要的“源”^[24],旱地面积越大,并且旱地施肥量大且利用率低,大部分肥料被降雨冲刷或农田径流排入水体,使得流域农业源污染严重。

水田与流域 N、P 污染物呈负相关关系,起到一定的拦截作用^[25]。查智琴等^[26]的研究证明,不同于旱地,水田作为一种人工湿地,对 N、P 等农业源污染物具有非常显著的拦截净化作用。

林地、荒草地面积比例与 TN 和 TP 呈负相关。林地和荒草地能够有效地消除和拦截 N、P 污染物进入水体,显著消除面源污染的影响^[27]。林地和荒草地的生长需要大量的养分,而自然状态下土壤所提供的养分不能满足植被生长需求,为了吸收足够的养分,林地和荒草地景观类型会截留坡面上“源”景观所流失的养分,起到了“汇”的作用^[28]。

水塘和居民点面积比例与 TP 呈正相关。研究区部分水塘存在水产养殖活动,不完善的排污设备和地下管道导致了大量生活污水以及养殖活动所产生的含磷废水未经处理直接通过河流进入水库,导致了 TP 入库负荷增大,TP 浓度上升,这与蔡宏等^[29]研究的结果一致。

3.2 景观配置指标与水质指标的关系

本研究结果显示,水库水质指标变化很大程度受景观配置指标的影响。旱地和居民点是研究区最大的“源”景观,旱地面积越大、整体性和优势度越高,所产生的 N、P 污染物就越多,旱地与其他景观类型的连通性越强,越利于污染物在流域的输移,从而使得水库水质下降。大多数研究区距离主城区较远,地下排污管道并未联通,居民点生活污水大多是通过沟渠直接排入河流中,居民点的斑块密度和规模越大,表明自然村的人口就越多,大量人口产生的污染物超过了天然水体的消纳能力,导致水库水质下降明显,这与吉冬青等^[30]和刘超等^[31]研究的结果一致。

当流域景观组成以大的“汇”景观斑块为主或其他“源”景观与“汇”景观斑块具备良好的连接性

时,上游“源”景观所产生的污染物能够很快地被截留、净化.对于以林地、荒草地和水田为代表的“汇”景观而言,最大斑块指数、聚集度指数和形状指数与流域 N、P 物质含量呈现出负相关.大面积的林地、荒草地和水田有利于污染物在其中滞留和沉淀,削减至环境背景值,使得汇入水体的污染物减少,水质较好,这与任嘉衍^[32]和陈优良等^[33]研究的结果一致.

3.3 水库特征指标与水质指标的关系

水库水质指标除了受上游流域因素的影响外,还和水库自身的特征指标联系紧密,水库的库容、面积、深度和形状会影响 N、P 物质在水库内的迁移和转换和氮磷物质进入水库的通道和滞留时间^[34].

本文研究结果发现,水库平均深度和库容与水质指标呈负相关.水库水深的变化不仅会影响水库的容积和水力负荷,还会影响水库水生植物、微生物的生长和对污水的净化效果,对污染物的降解起到非常重要的作用.水库的消纳污染物的能力也随着深度和库容的增加而增加,这与白晓华等^[35]和丰小华^[36]研究的结果一致.

水库的形状指数与水质指标呈负相关,水库作为一种水体,具备消纳农业非面源污染物的自净能力,水库的形状越复杂,污染物进入水库的路径就越曲折,进入水库的污染物就越少.

研究区水库水力停留时间与 TN、NO₃⁻-N 和 TDS 呈负相关.水库水力停留时间是影响水库自净能力的重要因素,对水库中氮的去除有着显著的影响,通过水流流速快慢来影响有机物和营养盐的供给和流失^[37].一般而言,水库对磷的滞留率较高,氮的滞留率则稍微弱,其滞留率可以通过延长滞留时间来提升^[38].在本研究区中,水力停留时间与 TP 呈正相关,当入库磷浓度较高时,磷进入水体后经过了沉淀、转化等过程,沉积在水库底泥之中,枯水期雨量少,汇入水库的水量明显减少,导致了在这一时期内水力停留时间延长,从汇水区进入水库的污染负荷量也随之降低,TP 无法在水库内得到有效地迁移,致使沉积物中的磷还原释放到水中导致 TP 浓度升高,这与张晨等^[39]和 Wu 等^[40]研究的结果一致,与 Ji 等^[41]研究的结果相反.

3.4 景观组成指标、景观配置指标和水库特征指标与水库水质的关系

以往的研究工作大多侧重于研究水质指标对景观格局的响应,较少全面考虑不同类别的景观指标对水质影响贡献.

本研究对所有景观指标进行了定性讨论,探明

了所选取的景观指标对水质指标的解释度和贡献率,量化了 3 组不同类型景观指数对整体水质指标的贡献.结果表明,水库水质指标受到流域因素的影响较大,上游汇水区的“源”景观通过河流排入水库的非点源污染物,直接决定了水库水质的好坏,当上游来水量过少时,水库特征指标就发挥出了更大的作用,通过影响非点源污染物进入水体的路径,以及消纳和转化过程对水库水质变化产生影响,所发挥的是“汇”景观的作用,因而解释度略低于景观配置指标.

徐启渝等^[42]在赣江流域枯水期的研究中发现,景观格局对水质指标变化的贡献率为 16%,土地利用为 14%.Wu 等^[43]对横溪河流域开展了研究,结果表明无论在流域尺度还是在缓冲区尺度,景观组成指标对流域水质变化的解释度均在 3.2%~7.5% 之间,而景观配置指标对流域水质变化的解释度达到了 20.5%~31.6%.景观组成指标对水质变化的贡献率较低(9%),一方面枯水期研究区内水库水力停留时间较长,所获得的水体样本已经在水库内停留较长时间,受水库自身特征影响较大,并且旱季雨量较小,无法形成比较大的径流和壤中流将各氮磷物质冲刷至水体中,导致贡献率较低.另一方面,尽管各土地利用是非点源污染产生的源头,但本研究的景观组成指标仅是土地利用类型面积占研究区面积的比例,仅代表各个研究区的主要土地利用类型和污染类型,无法反映研究区土地利用类型的空间格局,因此无法较好地解释水库水质的变化.

控制水库水质退化,提升水库水质,一方面可以通过优化水库上游景观组成和景观配置,从源头控制非点源污染的产生;另一方面可以通过水库特征着手,水库面积相对流域面积小,并且水库特征指标对水库水质变化的贡献率也较高,相对而言也更容易实施,效益也更高.

4 结论

(1) 旱地是水库 N、P 物质的主要“源”景观;居民点是水库 TP 物质的主要来源;水田、林地、荒草地对水库氮磷物质的截留和净化具有正向作用.

(2) 综合相关性分析和 RDA 分析的结果来看,旱地的最大斑块指数和旱地聚集度指数与水库 TN 和 NO₃⁻-N 的输出显著正相关;林地散布与并列指数、水田散布与并列指数、水田聚集度指数与水库 TN 和 NO₃⁻-N 输出显著负相关;荒草地斑块密度、旱地斑块密度和居民点斑块密度与水库 TP 物质含量显著正相关;林地聚集度指数与水库 TP 物质含量显著负相关.

(3) 水库平均深度与水库水质的相关性最强. 水库平均深度、水库库容、水库形状指数、水库水力滞留时间均与水库 TN、NO₃⁻-N、TDS 含量呈负相关; 水力滞留时间与 TP 呈正相关. 水库平均深度、水库库容、水库形状指数对水库水质提升具有显著的正向作用.

(4) 水库水质很大程度上受景观配置指标的影响. 在景观组成指标、景观配置指标和水库特征指标当中, 景观配置指标对水库水质指标变化的贡献度最高(24%), 其次是水库特征指标(11%), 最后为景观组成指标(9%). 流域因素是影响水库水质变化的关键因子(55%), 内部因素(19%) 对水库水质的影响同样不可忽视.

(5) 本文揭示了小型水库在枯水期的水质变化的驱动因素和相应贡献大小, 但仍存在一定的局限性. 本研究仅进行了一次采样, 所得出的结果仅代表枯水期, 没有综合考虑丰水期结果. 鉴于这些因素, 研究结论难免有一定的偏倚, 后续会进一步改进研究方法, 增加采样次数和水质指标, 获取不同时期的水质数据, 更全面的揭示水库水质对环境要素的响应规律.

参考文献:

- [1] 王振华, 李青云, 龙萌, 等. 我国小型水库水质劣化特征及长效治理对策[A]. 见: 中国水利学会 2021 学术年会论文集第二分册[C]. 北京: 黄河水利出版社, 2021.
- [2] 韩博平. 中小型水库生态特征与监测管理中存在的问题——以广东省为例[A]. 见: 中国水利学会 2013 学术年会论文集——S1 水资源与水生态[C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [3] Putro B, Kjeldsen T R, Hutchins M G, *et al.* An empirical investigation of climate and land-use effects on water quantity and quality in two urbanising catchments in the southern United Kingdom[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **548-549**: 164-172.
- [4] Plexida S G, Sfougaris A I, Ispikoudis I P, *et al.* Selecting landscape metrics as indicators of spatial heterogeneity—A comparison among Greek landscapes[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, **26**: 26-35.
- [5] 杨强强, 徐光来, 杨先成, 等. 青弋江流域土地利用/景观格局对水质的影响[J]. *生态学报*, 2020, **40**(24): 9048-9058.
Yang Q Q, Xu G L, Yang X C, *et al.* Responses of water quality to land use & landscape pattern in the Qingyijiang River watershed[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(24): 9048-9058.
- [6] 刘丽娟, 李小明, 何兴元. 流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展[J]. *生态学报*, 2011, **31**(19): 5460-5465.
Liu L J, Li X Y, He X Y. Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(19): 5460-5465.
- [7] 杨娅楠, 王金亮, 陈光杰, 等. 抚仙湖流域土地利用格局与水质变化关系[J]. *国土资源遥感*, 2016, **28**(1): 159-165.
Yang Y N, Wang J L, Chen G J, *et al.* Relationship between land use pattern and water quality change in Fuxian Lake basin [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2016, **28**(1): 159-165.
- [8] DeFries R, Eshleman K N. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future [J]. *Hydrological Processes*, 2004, **18**(11): 2183-2186.
- [9] 陈利顶, 傅伯杰, 张淑荣, 等. 异质景观中非点源污染动态变化比较研究[J]. *生态学报*, 2002, **22**(6): 808-816.
Chen L D, Fu B J, Zhang S R, *et al.* Comparative study on the dynamics of non-point source pollution in a heterogeneous landscape[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(6): 808-816.
- [10] Xiao H G, Ji W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques[J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, **82**(1): 111-119.
- [11] 吕乐婷, 高晓琴, 刘琦, 等. 东江流域景观格局对氮、磷输出的影响[J]. *生态学报*, 2021, **41**(5): 1758-1765.
Lü L T, Gao X Q, Liu Q, *et al.* Influence of landscape pattern on nitrogen and phosphorus output in the Dongjiang River basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(5): 1758-1765.
- [12] 刘怡娜, 孔令桥, 肖懿, 等. 长江流域景观格局与生态系统水质净化服务的关系[J]. *生态学报*, 2019, **39**(3): 844-852.
Liu Y N, Kong L Q, Xiao Y, *et al.* Relationships between landscape pattern and ecosystem water purification service in the Yangtze River basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(3): 844-852.
- [13] 朱珍香, 高肖飞, 彭凤, 等. 厦门后溪水质与流域景观特征沿城乡梯度的变化分析[J]. *生态学报*, 2019, **39**(6): 2021-2033.
Zhu Z X, Gao X F, Peng F, *et al.* Relationship between water quality and landscape characteristics of the Houxi River watershed in Xiamen City along a rural-urban gradient [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(6): 2021-2033.
- [14] 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.
- [15] 张明. 大伙房水库水体滞留时间及水质的数值模拟研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2017.
Zhang M. Numerical study on water residence time and water quality of Dahuofang reservoir [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2017.
- [16] 向鹏, 王仕禄, 卢玮琦, 等. 乌江流域梯级水库的氮磷分布及其滞留效率研究[J]. *地球与环境*, 2016, **44**(5): 492-501.
Xiang P, Wang S L, Lu W Q, *et al.* Distribution and retention efficiency of nitrogen and phosphorus in cascade reservoirs in Wujiang River Basin [J]. *Earth and Environment*, 2016, **44**(5): 492-501.
- [17] 周涛, 程天雨, 虞宁晓, 等. 乌江中上游梯级水库氮磷滞留效应[J]. *生态学杂志*, 2018, **37**(3): 707-713.
Zhou T, Cheng T Y, Yu N X, *et al.* Nitrogen and phosphorus retention in cascade reservoirs along the upper reaches of Wujiang River [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, **37**(3): 707-713.
- [18] 王荣萍, 黄建国, 袁玲, 等. 重庆市主要土壤类型硝态氮淋失及其影响因素[J]. *水土保持学报*, 2004, **18**(5): 35-38.

- Wang R P, Huang J G, Yuan L, *et al.* Nitrate nitrogen leaching and its affecting factors under main soil types of Chongqing[J]. *Journal of soil and Water Conservation*, 2004, **18**(5): 35-38.
- [19] 高斌, 许有鹏, 王强, 等. 太湖平原地区不同土地利用类型对水质的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2017, **36**(6): 1186-1191.
- Gao B, Xu Y P, Wang Q, *et al.* Effects of land use changes on water quality of the plain area in Taihu basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, **36**(6): 1186-1191.
- [20] Lepš J, Šmilauer P. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [21] Li C W, Zhang Y J, Kharel G, *et al.* Impact of climate variability and landscape patterns on water budget and nutrient loads in a peri-urban watershed: a coupled analysis using process-based hydrological model and landscape indices [J]. *Environmental Management*, 2018, **61**(6): 954-967.
- [22] 黄益平, 王鹏, 徐启渝, 等. 袁河流域土地利用方式对河流水体碳、氮、磷的影响[J]. *环境科学研究*, 2021, **34**(9): 2132-2142.
- Huang Y P, Wang P, Xu Q Y, *et al.* Influence of land use on carbon, nitrogen and phosphorus in Water of Yuan River basin [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2021, **34**(9): 2132-2142.
- [23] 罗傲蓝, 何灏, 曹银贵, 等. 重庆市长寿区旱改水潜力评价与优化研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, **43**(12): 172-182.
- Luo A L, He H, Cao Y G, *et al.* Evaluation and optimization of dryland-to-paddy potential in Chang Shou district, Chongqing [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, **43**(12): 172-182.
- [24] 王月, 房云清, 纪婧, 等. 不同降雨强度下旱地农田氮磷流失规律[J]. *农业资源与环境学报*, 2019, **36**(6): 814-821.
- Wang Y, Fang Y Q, Ji J, *et al.* The loss of nitrogen and phosphorus from dryland farmland under different rainfall intensities [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, **36**(6): 814-821.
- [25] 李好好, 黄懿梅, 郭威, 等. 河湟谷地不同时空尺度下土地利用及空间格局对水质的影响[J]. *环境科学*, 2022, **43**(8): 4042-4053.
- Li H H, Huang Y M, Guo W, *et al.* Influence of land use and land cover patterns on water quality at different spatio-temporal scales in Hehuang valley[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(8): 4042-4053.
- [26] 查智琴, 角媛梅, 刘志林, 等. 哈尼梯田湿地景观水体富营养化及截留效应评价[J]. *生态学杂志*, 2018, **37**(11): 3413-3421.
- Zha Z Q, Jiao Y M, Liu Z L, *et al.* Evaluation on water eutrophication and retention effect in wetland landscape of Hani Rice Terraces[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, **37**(11): 3413-3421.
- [27] Duchemin M, Hogue R. Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year following establishment of an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada)[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, **131**(1-2): 85-97.
- [28] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数[J]. *生态学报*, 2003, **23**(11): 2406-2413.
- Chen L D, Fu B J, Xu J Y, *et al.* Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on “Source-Sink” ecological processes [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(11): 2406-2413.
- [29] 蔡宏, 何政伟, 安艳玲, 等. 基于遥感和 GIS 的赤水河水质对流域土地利用的响应研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, **24**(2): 286-291.
- Cai H, He Z W, An Y L, *et al.* Response relationship between land use and water quality in Chishui River basin based on RS and GIS[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(2): 286-291.
- [30] 吉冬青, 文雅, 魏建兵, 等. 流溪河流域景观空间特征与河流水质的关联分析[J]. *生态学报*, 2015, **35**(2): 246-253.
- Ji D Q, Wen Y, Wei J B, *et al.* Relationships between landscape spatial characteristics and surface water quality in the Liu Xi River watershed [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(2): 246-253.
- [31] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响[J]. *环境科学*, 2012, **33**(3): 794-801.
- Hu H B, Liu H Y, Hao J F, *et al.* Influence of spatial difference on water quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(3): 794-801.
- [32] 任嘉衍. 伊河流域景观格局对水质的影响[D]. 开封: 河南大学, 2018.
- Ren J Y. *The effects of landscape pattern on water quality in Yihe River Basin*[D]. Kaifeng: Henan University, 2018.
- [33] 陈优良, 邹文敏, 刘星根, 等. 东江源流域不同空间尺度景观格局对水质影响分析[J]. *环境科学*, 2022, **43**(11): 5053-5063.
- Chen Y L, Zou W M, Liu X G, *et al.* Scale effects of landscape pattern on water quality in Dongjiang River source watershed[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(11): 5053-5063.
- [34] 李玉凤, 刘红玉, 刘军志, 等. 农村多水塘系统景观结构对非点源污染中氮截留效应的影响[J]. *环境科学*, 2018, **39**(11): 4999-5006.
- Li Y F, Liu H Y, Liu J Z, *et al.* Effect of different multi-pond network landscape structures on nitrogen retention over agricultural Watersheds [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(11): 4999-5006.
- [35] 白晓华, 胡维平. 太湖水深变化对氮磷浓度和叶绿素 a 浓度的影响[J]. *水科学进展*, 2006, **17**(5): 727-732.
- Bai X H, Hu W P. Effect of water depth on concentration of TN, TP and Chla in Taihu Lake, China [J]. *Advances in Water Science*, 2006, **17**(5): 727-732.
- [36] 丰小华. 浅滩湿地水深对氮、磷去除的影响及其在河道治理中的应用[J]. *环境工程*, 2020, **38**(9): 53-58, 223.
- Feng X H. Effect of shoal wetland water depth on nitrogen and phosphorus removal and its application in riverregulation [J]. *Environmental Engineering*, 2020, **38**(9): 53-58, 223.
- [37] Elliott J A, Jones I D, Page T. The importance of nutrient source in determining the influence of retention time on phytoplankton: an explorative modelling study of a naturally well-flushed lake [J]. *Hydrobiologia*, 2009, **627**(1): 129-142.
- [38] 冉祥滨, 于志刚, 姚庆祯, 等. 水库对河流营养盐滞留效应研究进展[J]. *湖泊科学*, 2009, **21**(5): 614-622.
- Ran X B, Yu Z G, Yao Q Z, *et al.* Advances in nutrient retention of dams on river[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2009, **21**(5): 614-622.
- [39] 张晨, 宋迪迪, 廉铁辉. 引水结构变化对天津于桥水库磷滞留的影响分析与生态水量估算[J]. *湖泊科学*, 2020, **32**(2): 370-379.
- Zhang C, Song D D, Lian T H. The influences of the water diversion structure change on total phosphorus retention and

- implication for ecological flows in Yuqiao Reservoir, Tianjin[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(2): 370-379.
- [40] Wu P, Qin B Q, Yu G. Estimates of long-term water total phosphorus (TP) concentrations in three large shallow lakes in the Yangtze River basin, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, **23**(5): 4938-4948.
- [41] Ji Z G, Jin K R. An integrated environmental model for a surface flow constructed wetland: water quality processes[J]. *Ecological Engineering*, 2016, **86**: 247-261.
- [42] 徐启渝, 王鹏, 舒旺, 等. 不同空间划分方式下袁河流域景观结构对水质的影响[J]. *环境科学学报*, 2020, **40**(12): 4325-4337.
- Xu Q Y, Wang P, Shu W, *et al.* Impacts of landscape structure on water quality under different spatial scales in the Yuan River Basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40**(12): 4325-4337.
- [43] Wu J H, Lu J. Spatial scale effects of landscape metrics on stream water quality and their seasonal changes [J]. *Water Research*, 2021, **191**, doi: 10.1016/j.watres.2021.116811

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjcx.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过 20 字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论.重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如 mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1, 1.1, 1.1.1 的形式,左起顶格书写,3 级以下标题可用(1), (2)……表示,后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In);编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在 3 个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市 2871 信箱;邮编:100085;电话:010-62941102;E-mail:hjcx@rcees.ac.cn;网址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

Pollution Characteristics and Factors Influencing the Reduction in Ambient PM _{2.5} in Beijing from 2018 to 2020	LIU Bao-xian, LI Qian, SUN Rui-wen, <i>et al.</i>	(2409)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of Secondary Aerosol in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration in Winter	YAO Qing, YANG Xu, TANG Ying-xiao, <i>et al.</i>	(2421)
Changes in Secondary Inorganic Ions in PM _{2.5} at Different Pollution Stages Before and After COVID-19 Control	JIANG Nan, HAO Xue-xin, HAO Qi, <i>et al.</i>	(2430)
On-line Measurement of Trace Elements in PM _{2.5} in Winter in Urban Taiyuan, China; Levels and Source Apportionment	CUI Yang, GUO Li-li, LI Hong-yan, <i>et al.</i>	(2441)
Characteristics and Source Apportionment of Black Carbon Over the Eastern Tibetan Plateau	WANG Hong-lei, LIU Si-han, ZHAO Tian-liang, <i>et al.</i>	(2450)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Zhanjiang in Summer	PANG Xiao-die, GAO Bo, CHEN Lai-guo, <i>et al.</i>	(2461)
Ozone Pollution Characteristics and Sensitivity During the Ozone Pollution Days in Summer 2021 of Xinxiang City	HOU Mo, JIANG Xiao-mei, ZHAO Wen-peng, <i>et al.</i>	(2472)
Influence of Typhoon Nangka Process on Ozone Pollution in Hainan Island	FU Chuan-bo, DAN Li, TONG Jin-he, <i>et al.</i>	(2481)
Health Impacts of Air Pollution in Tianjin	HUA Kun, LUO Zhong-wei, JIA Bin, <i>et al.</i>	(2492)
Analysis of Change and Driving Factors of River Environmental Quality in China from 2002 to 2020	YANG Chuan-xi, XUE Yan, GAO Chang, <i>et al.</i>	(2502)
Spatiotemporal Pattern and Driving Force Analysis of Ecological Environmental Quality in Typical Ecological Areas of the Yellow River Basin from 1990 to 2020	WANG Fang, LI Wen-hui, LIN Yan-min, <i>et al.</i>	(2518)
Response of Water Quality in Small Reservoirs to Landscape Composition, Landscape Configuration, and Reservoir Characteristics in the Upper Reaches of the Yangtze River During Dry Season	ZHONG Yong-lin, RAN Jiao-jiao, WEN Wen, <i>et al.</i>	(2528)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Typical Endocrine Disrupting Chemicals in Drains Flowing into the Yellow River of Ningxia	LI Ling-yun, GAO Li, ZHENG Lan-xiang, <i>et al.</i>	(2539)
Occurrence Characteristics of Microplastics and Metal Elements in the Surface Water of Huangpu River and Their Associations with Metal Resistance Genes	LU Jia-wei, XU Chen-ye, HU Chun, <i>et al.</i>	(2551)
Spatial Distribution Characteristics and Source Analysis of Heavy Metals in Urban River Surface Sediments from the Lanzhou Reach of the Yellow River	LI Jun, LI Xu, LI Kai-ming, <i>et al.</i>	(2562)
Distribution and Release Potential of Soil Phosphorus Fractions in Water-level Fluctuation Zone of the Tributary Bay, Three Gorges Reservoir	ZHANG Xue, ZHU Bo, <i>et al.</i>	(2574)
Distribution and Pollution Assessment of Nutrients in the Surface Sediments of Lake in Huoqiu County	LIU Hai, ZHAO Guo-hong, <i>et al.</i>	(2583)
Analysis of Influencing Factors of Chlorophyll-a in Lake Taihu Based on Bayesian Network	LIU Jie, HE Yun-chuan, DENG Jian-ming, <i>et al.</i>	(2592)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Groundwater in Shunping County, Hebei Province	LIU Yuan-qing, ZHOU Le, LÜ Lin, <i>et al.</i>	(2601)
Distribution, Transformation, and Fate of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Drinking Water Treatment	ZHONG Ting-ting, LIN Tao, LIU Wei, <i>et al.</i>	(2613)
Removal of Cr(VI) via a Nickel Ferrite@Activated Carbon Composite Under Batch Experiments; Study of Characterization, Performance, and Mechanism	ZHANG Hua, LI Rong-hua, CHEN Jin-xiong, <i>et al.</i>	(2622)
Degradation of SMX with Peracetic Acid Activated by Nano Core-shell Co@NC Catalyst	ZHENG Ting-lu, ZHANG Long-long, CHEN Jia-bin, <i>et al.</i>	(2635)
Adsorption Characteristics of Arsenic and Cadmium by FeMnNi-LDH Composite Modified by Fulvic Acid and Its Mechanisms	HE Ya-xin, KE Xin-yi, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i>	(2646)
Adsorption Mechanism for Phosphate in Aqueous Solutions of Calcium/Aluminum-rich Sludge Biochar Composite	OUYANG Zhu, CAO Lu, WANG Bing-qian, <i>et al.</i>	(2661)
Sludge Biochar Modified by B-doped and Its Adsorption Behavior and Mechanism of 1,2-DCA in Water	ZHOU Jia-wei, SHI Wei-lin, XU Wei, <i>et al.</i>	(2671)
Response of Forest Ecosystems to Decreasing Atmospheric Nitrogen Deposition	XIE Dan-ni, YANG Dong-xing, DUAN Lei, <i>et al.</i>	(2681)
Impacts of Climate Change and Human Activities on Vegetation Restoration in Typical Grasslands of China	ZHANG Liang-xia, YUE Xiao, ZHOU De-cheng, <i>et al.</i>	(2694)
Spatial-temporal Variation in Net Primary Productivity in Terrestrial Vegetation Ecosystems and Its Driving Forces in Southwest China	XU Yong, HUANG Hai-yan, DAI Qiang-yu, <i>et al.</i>	(2704)
Effects of Different Carbon Inputs on Soil Stoichiometry in Tianshan Mountains	MA Xin-yu, GONG Lu, ZHU Hai-qiang, <i>et al.</i>	(2715)
Effects of Nitrogen and Phosphorus Addition on Soil Nutrient Content and Stoichiometry in Desert Grassland	LIU Shu-xuan, AN Hui, ZHANG Xin-wen, <i>et al.</i>	(2724)
Effect of <i>Spartina alterniflora</i> Invasion on Soil C:N:P Stoichiometry in Coastal Wetland of Hangzhou Bay	LI Wen-qi, XIANG Qi, XIE Xue-feng, <i>et al.</i>	(2735)
Effects of 24 Years Different Straw Return on Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, and Extracellular Enzymatic Stoichiometry in Dryland of the Loess Plateau, China	YAO Zhi-xia, ZHOU Huai-ping, XIE Wen-yan, <i>et al.</i>	(2746)
Carbon Sequestration Characteristics Under Natural Vegetation Restoration in Ziwuling Area of the Loess Plateau	XU Xiao-ming, ZHANG Xiao-ping, WANG Hao-jia, <i>et al.</i>	(2756)
Effects of Short-term Nitrogen Addition on Soil Organic Carbon Components in <i>Robinia pseudoacacia</i> L. Plantation	JIAN Jun-nan, LIU Wei-chao, ZHU Yu-fan, <i>et al.</i>	(2767)
Response of Soil Organic Carbon Accumulation in Paddy Fields in Fujian Province to Future Temperature Increases	CHE Yan, QIU Long-xia, WU Ling-yun, <i>et al.</i>	(2775)
Species, Habitat Characteristics, and Screening Suggestions of Cadmium Hyperaccumulators in China	ZHAO Xiao-feng, LEI Mei, CHEN Tong-bin, <i>et al.</i>	(2786)
Research Progress on Spatial Differentiation and Influencing Factors of Soil Heavy Metals Based on Geographical Detector	GONG Cang, WANG Shun-xiang, LU Hai-qiang, <i>et al.</i>	(2799)
Geochemical Background and Baseline Value of Soil Chemical Elements in Hebei Province	ZHANG Li-ting, CHENG Hang-xin, XIE Wei-ming, <i>et al.</i>	(2817)
Distribution Characteristics, Ecological Risks, and Source Identification of Heavy Metals in Cultivated Land Under Non-grain Production	QIU Le-feng, ZHU Jin-xia, PAN Yi, <i>et al.</i>	(2829)
Source Analysis and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Arable Soil at the Geological High Background, Based on the Township Scale	YU Fei, WANG Jia-bin, WANG Rui, <i>et al.</i>	(2838)
Solid-solution Partitioning Coefficients and Environmental Risk of Cd and Pb in Soil in Chang-Zhu-Tan Area	LI Yu-ying, PENG Chi, LIU Le-le, <i>et al.</i>	(2849)
Ecological Risk and Migration Patterns of Heavy Metals in Soil and Crops in the Lead-Zinc Mining Area in Guizhou, China	MA Hong-hong, ZHANG Li, GUO Fei, <i>et al.</i>	(2856)
Mercury Pollution in Dryland Soil and Evaluation of Maize Safety Production in Guizhou Province	MA Li-jun, ZHOU Lang, SONG Bo, <i>et al.</i>	(2868)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of PAHs in the Soil of Wild <i>Forsythia Suspensa</i> in Shanxi	GUO Jia-jia, WANG Qi, KANG Min-jie, <i>et al.</i>	(2879)
Effects of P on the Uptake and Transport of Cd and As in Wheat Seedlings	WANG Yun, ZHAO Peng, LI Guang-xin, <i>et al.</i>	(2889)
Effects of Silicon Application on Arsenic Sequestration in Iron Plaque and Arsenic Translocation in Rice	LI Lin-feng, WEN Wei-fa, XU Zi-sheng, <i>et al.</i>	(2899)
Characteristics of Soil Microbial Community in Different Habitats in the Process of Ecological Restoration of Haifeng Wetland in Guangdong	MA Jiao-jiao, GAO Chang-jun, YI Xiao-qing, <i>et al.</i>	(2908)
Taxonomic and Functional Diversity of Soil Microbial Communities in Subalpine Meadow with Different Degradation Degrees in Mount Wutai	LUO Zheng-ming, LIU Jin-xian, HU Yan-qiu, <i>et al.</i>	(2918)
Effects of the Transformation from Natural Alpine Grassland to Mixed Artificial Grassland on the Characteristics of Soil Microbial Community	YU Hao, LIU Yue, DENG Ye, <i>et al.</i>	(2928)
Effects of Chinese Milk Vetch Returning Incorporated with Chemical Fertilizer Reduction on the Composition and Function of Soil Bacterial Communities in Paddy Fields	ZHANG Ji-shi, LIU Chun-zeng, ZHENG Chun-feng, <i>et al.</i>	(2936)
Effects of Long-term Sod Cultivation on Chinese Hickory Plantation Soil Fungal Community and Enzyme Activities	HU Ying-bing, LIANG Chen-fei, JIN Jin, <i>et al.</i>	(2945)
Effects of Microplastic High-density Polyethylene on Cotton Growth, Occurrence of <i>Fusarium</i> wilt, and Rhizosphere Soil Bacterial Community	ZHANG Hao, SUN Jie, YANG Hui-ying, <i>et al.</i>	(2955)
Nitrogen Metabolism and Flora Characteristics of Bacteria Algae Complex System	ZHAO Zhi-ru, WU Hai-miao, MA Chao, <i>et al.</i>	(2965)
Analysis of Carbon Emissions and Influencing Factors in China Based on City Scale	WU Jian-sheng, JIN Xue-ru, WANG Han, <i>et al.</i>	(2974)
How Do Carbon Trading Policies Affect Industrial Carbon Productivity; Quasi-natural Experiments from Chinese Provincial Data	FANG Qi, LI Shao-ping, <i>et al.</i>	(2983)
Influence of the Classification of Municipal Solid Wastes on the Reduction of Greenhouse Gas Emissions; A Case Study of Qingdao City, China	CHEN Ji-hong, BIAN Rong-xing, ZHANG Ting-xue, <i>et al.</i>	(2995)
Quantitative Analysis of Spatio-temporal Evolution Characteristics of Seasonal Average Maximum Temperature and Its Influence by Atmospheric Circulation in China from 1950 to 2019	SU Yue, LU Chun-yan, HUANG Yu-fei, <i>et al.</i>	(3003)