

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

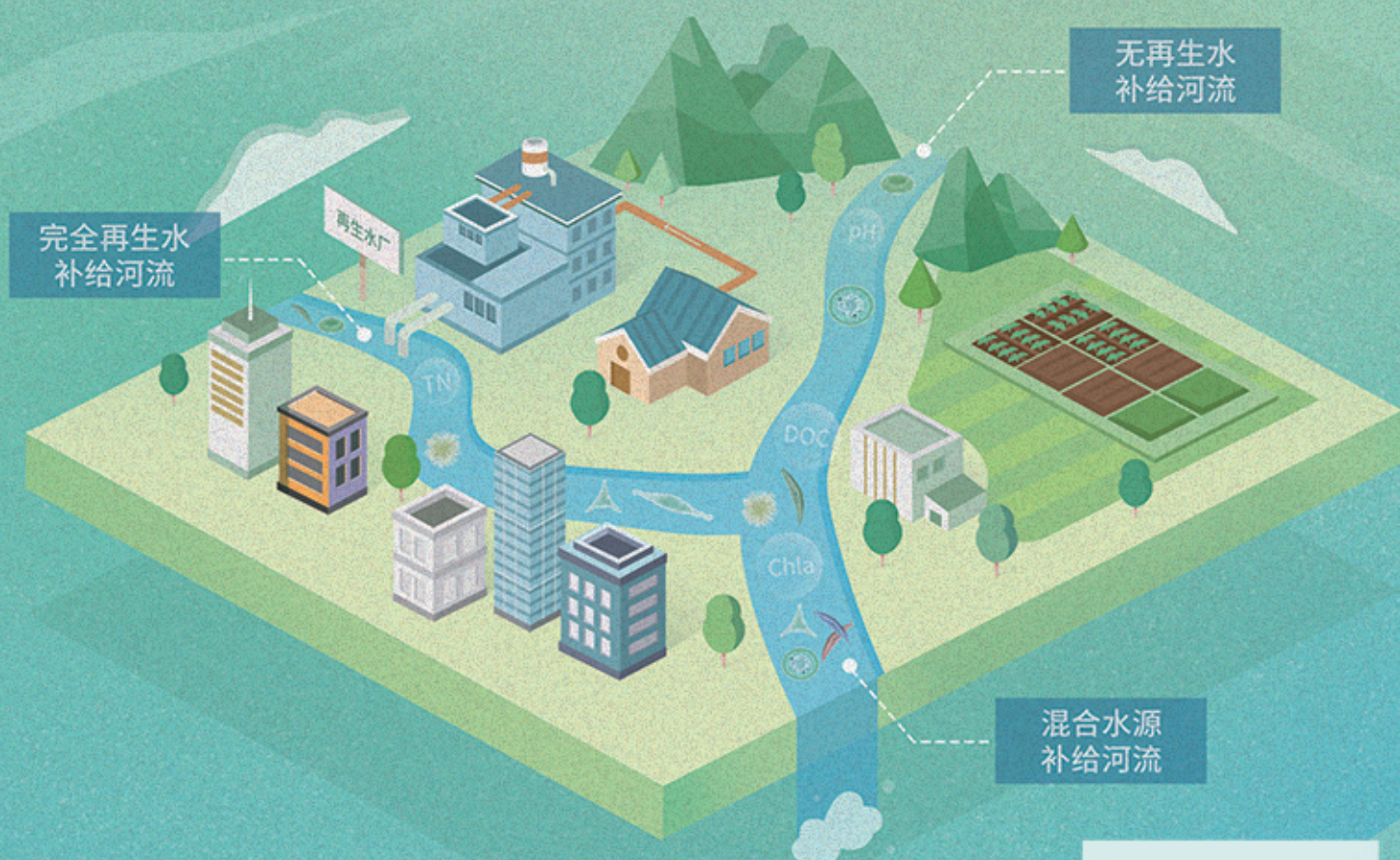
ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

不同水源补给河流浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系

侯颖, 李信, 白灵, 白乙娟, 张淑荣, 王圣瑞, 郑蕾, 丁爱中



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年12月

第43卷 第12期

Vol.43 No.12

目次(卷终)

关中平原城市群 PM _{2.5} 时空演变格局及其影响因素	张军, 金梓函, 王玥, 李旭, 戴恩华 (5333)
中原城市群 PM _{2.5} 浓度驱动因子联动效应及非线性影响	周志衡, 周廷刚, 秦宁 (5344)
长株潭城市群 PM _{2.5} 和 O ₃ 浓度时空分布特征及影响因素分析	刘贤赵, 张国桥, 杨文涛, 吴业荣, 李朝奎, 任毅 (5354)
张掖市城区大气细颗粒物 PM _{2.5} 的化学组成及来源解析	潘成珂, 黄韬, 高宏, 常莉敏, 宋世杰, 毛潇萱, 王佳欣, 赵渊, 马建民 (5367)
2018~2019年冬季天津和青岛 PM _{2.5} 中重金属污染特征与健康风险评估	赵明升, 任丽红, 李刚, 刘亚妮, 赵刚, 张佳浩, 高元官, 杨小阳 (5376)
青岛大气降水中金属浓度、溶解度及其来源解析	孔令冬, 祁建华, 张旭 (5387)
2015~2021年陕西关中城市群臭氧污染变化趋势	赵伟, 王硕, 庞晓蝶, 高博, 卢清, 刘明, 陈来国, 范绍佳 (5399)
海南省背景区域臭氧及其前体物污染特征	谢文晶, 邢巧, 谢东海, 吴晓晨, 胡珊珊, 徐文帅 (5407)
基于双维度校验的珠三角区域臭氧生成机制长期时空演化特征识别	杨雷峰, 谢丹平, 杨俊, 韩静磊, 刘丽君, 袁自冰 (5421)
郑州市夏季大气 VOCs 污染特征及来源解析	齐一谨, 王玲玲, 倪经纬, 何海洋, 赵东旭, 龚山陵 (5429)
兰州市夏季挥发性有机物污染特征及来源解析	杨燕萍, 陈强, 孟宪红, 孙健, 王莉娜, 陶会杰, 杨丽丽 (5442)
地下停车场 VOCs 污染特征与健康风险评估	刘妍, 杨宁, 孙露娜, 吴亚君, 宋鹏飞, 赵耀, 姜昆, 毛洪钧 (5453)
缸内直喷汽油车颗粒物化学组分特征	李家琛, 葛蕴珊, 王浩浩, 王欣, 郝利君, 谭建伟 (5464)
废弃物焚烧处理温室气体排放情景模拟与预测	严薇, 刘舒乐, 吴正方, 高庆先, 杜海波, 马占云, 冯鹏 (5470)
长江颗粒(类)金属元素分布、来源和向海输送	刘珈铭, 吴文涛, 刘笑天, 刘军, 王昊, 臧家业, 张爱周, 冉祥滨 (5478)
澜沧江水系氮磷污染及硝酸盐来源解析	郭树芳, 陈安强, 刁斌, 居学海, 黄宏坤, 刘建香, 毛妍婷, 郭云周, 雷宝坤 (5491)
小浪底水库水沙调控期滨河湿地地下水与河水转化关系	肖春艳, 刘怡凡, 赵同谦, 郭晓明, 陈飞宏, 杨晨 (5499)
磨刀门水道输水水库群饮用水水源水质的时空变化	张坤峰, 昌盛, 张琦, 王思瑞, 谢琼, 张茉莉, 樊月婷, 杨光, 付青 (5509)
疫情背景下长江中游地区典型饮用水源中 PPCPs 分布特征与风险评估	樊月婷, 昌盛, 张坤峰, 涂响, 杨光, 王山军, 张茉莉, 谢琼, 付青 (5522)
北江中上游地表水和沉积物中 PAHs 和 PCBs 污染特征和风险评估	昌盛, 白云松, 涂响, 付青, 张坤峰, 潘杨, 王山军, 杨光, 汪星 (5534)
平朔矿区不同水体水化学特征及氟分布成因	孙龙, 刘廷玺, 段利民, 张文瑞, 郑国峰 (5547)
三峡水库典型消落带土壤 DOM 组分特征及其对有效态镉释放影响	张宝豪, 武亚遵, 徐东昱, 高丽, 李艳艳, 王启文, 高博 (5560)
不同溶解氧条件下沉积物-水体系磷循环	刘笑天, 刘军, 王以斌, 刘珈铭, 吴文涛, 冯耀, 臧家业, 冉祥滨 (5571)
2011~2019年鄱阳湖水质演化特征及主要污染因子解析	谢慧钰, 胡梅, 嵇晓燕, 曹炳伟, 贾世琪, 徐建, 金小伟 (5585)
乌梁素海表层沉积物中营养盐和重金属分布特征以及风险评价	杜彩丽, 黎佳茜, 李国文, 李晓光, 赵琛, 张列宇 (5598)
生物炭吸附雨水径流难生物降解有机氮效能及机制	苏增辉, 孙萍, 陈友媛, 罗冠杨, 王秀海, 郑天元 (5608)
不同水源补给河流浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系	侯颖, 李信, 白灵, 白乙娟, 张淑荣, 王圣瑞, 郑蕾, 丁爱中 (5616)
锰氧化物改性生物炭基质材料对典型喹诺酮类抗生素的吸附及其在人工湿地的应用	高惠子, 田伟君, 张子钰, 邹梦圆, 杨淑洁, 赵婧, 储美乐, 江俊峰 (5627)
KOH 活化小麦秸秆生物炭对废水中四环素的高效去除	徐晋, 马一凡, 姚国庆, 张宇珊, 杨李琪, 周娜, 范世锁 (5635)
改性凹凸棒负载硫化亚铁的制备及其对水中 Mo(VI)的吸附机制	练建军, 郭洪艳, 叶天然, 孔巧平, 徐晴, 吴朝阳, 陈波, 牛司平 (5647)
桉树生物炭负载绿色合成纳米零价铁去除水中 Cr(VI)	刘沁文, 丁爱中, 梁信, 谢领辉, 鄢俊彬, 李娜 (5657)
镁改性硅藻土回收废水氮磷产物对水中 Pb ²⁺ 和 Zn ²⁺ 的去除	吴盈秋, 夏鹏, 李远, 王学江 (5667)
钠化改性河南南部膨润土吸附亚甲基蓝性能分析	程飞鹏, 杨冬亮, 常乐, 吴登峰 (5676)
上海市典型工业用地土壤和地下水重金属复合污染特征及生态风险评价	李晓曼, 李青青, 杨洁, 黄沈发, 张施阳, 吉敏 (5687)
重庆市煤矸山周边农用地土壤重金属污染评价和定量溯源解析	马杰, 刘萍, 刘今朝, 郭春会, 张秀, 王玲灵 (5698)
典型石油场地周边土壤重金属形态特征及源解析	官健, 何连生, 李强, 王耀锋, 曹莹, 刘晓雪, 高存富 (5710)
基于 PMF 模型的垃圾焚烧厂周边农田土壤重金属源解析	张恬雨, 胡恭任, 于瑞莲, 林承奇, 黄华斌 (5718)
香河县农田土壤重金属污染生态与健康风险评估	陈瑜佳, 屈星辰, 张斌, 李现涛, 朱国平, 查同刚 (5728)
地质构造单元交接带表土中重金属污染特征对比及源解析:以重庆城口地区为例	刘永林, 吴梅, 刘睿, 李军, 倪润祥, 刘双燕, 田兴磊, 赵家宇, 刘怡, 夏传波 (5742)
新疆典型地区植物和土壤多环芳烃污染特征、来源解析及健康风险评估	杨北辰, 解启来, 郑芊, 郑晓波, 叶金明, 唐成金, 梁晓晖 (5751)
肥料调控强化象草对重度 Cd 污染农田修复效果	伍港繁, 周航, 唐棋, 辜娇峰, 曾鹏, 廖柏寒 (5761)
微碱性土壤施用烟秆生物炭与磷酸盐降低小麦籽粒镉积累	杨艳征, 张银鸽, 李畅, 扶海超, 秦世玉, 王龙, 刘亥扬, 刘红恩, 睢福庆, 赵鹏 (5769)
产多胺细菌提高小麦 Cd 抗性和消减 Cd 吸收机制	姬明飞, 吴雪姣, 李晓哲, 陈兆进, 姚伦广, 张君, 庞发虎, 韩群 (5778)
硫酸盐还原菌对碱性和酸性农田土壤中重金属的钝化效果及其作用机制	高羽, 刘雨辰, 郭晓方, 吉莉, 张桂香, 张哲海, 夏红丽, 何文峰, 张博远 (5789)
巨大芽孢杆菌对土壤理化性质及植物富集镉的影响	王萍, 李一曼, 王雪佳, 许亚琼, 张书强, 李倩, 徐凯莉, 李荣华, 张增强 (5798)
嘉陵江滨岸带不同土地利用类型土壤真菌群落结构与功能多样性	竹兰萍, 徐飞, 王佳颖, 朱智豪, 张拓, 张富斌 (5808)
添加生物炭对琼北地区双季稻田生物固氮的影响	赵炎, 袁新生, 唐瑞杰, 邵晓辉, 李凯凯, 文昌丽, 陈琦琦, 伍延正, 孟磊, 汤水荣 (5819)
基于 g-C ₃ N ₄ 研究环境中甲氧苄啶的光降解行为及其毒性	朱娜, 王星阳, 焦俊恒, 王磊, 梁栋, 李广科, 桑楠 (5832)
“双碳”目标下中国省域碳排放核算分析	杨柏, 秦广鹏, 郭钦 (5840)
长株潭城市群地类转移的碳传导效应与预测	杨旭, 刘贤赵 (5850)
基于分类的张家港市生活垃圾典型处置情景环境效益分析	张涛, 郑钧文, 孙煜豪, 白冬锐, 杨婷, 张冰, 郭含文, 陈坦, 王洪涛 (5861)
《环境科学》第43卷(2022年)总目录	(5873)
《环境科学》征订启事(5386) 《环境科学》征稿简则(5521) 信息(5607,5741,5768)	

2011~2019年鄱阳湖水质演化特征及主要污染因子解析

谢慧钰^{1,2}, 胡梅³, 嵇晓燕², 曹炳伟³, 贾世琪², 徐建¹, 金小伟^{2*}

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 2. 中国环境监测总站, 北京 100012; 3. 江西省生态环境监测中心, 南昌 330039)

摘要: 基于2011~2019年鄱阳湖17个国控监测点位的水质数据, 采用综合污染指数、综合营养状态指数和蔚蓝城市水质指数法分析了各湖区的水质时空演变特征与趋势, 利用主成分分析法对湖区的主要影响因素进行探索, 综合评价“十二五”和“十三五”时期鄱阳湖的水质变化及其演变规律。结果表明: ①在时间上, 2011~2015年鄱阳湖水质呈下降趋势; 2016~2019年鄱阳湖水质总体呈向好趋势但富营养化现象依然存在; 各年水质状况具有明显的水期变化特征且波动明显, 主要表现为: 丰水期 > 平水期 > 枯水期。②在空间上, 2011~2015年各湖区的综合污染指数均呈上升趋势, 蔚蓝城市水质指数等级以一般为主; 2016~2019年各湖区整体呈向好趋势, 东北湖区水质改善明显; 2011~2019年主湖湖区水质状况波动最为显著, 南湖湖区相较于其他湖区水质污染情况最为严重。③从影响因素来看, 2011~2019年鄱阳湖湖区主要超标指标为总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)和高锰酸盐指数; “十二五”期间鄱阳湖受到化工企业及农业面源的污染影响较为严重, “十三五”期间城镇居民生活对水质的影响作用呈逐年上升趋势。

关键词: 水质演化; 综合污染指数; 富营养化; 污染源解析; 鄱阳湖

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)12-5585-13 DOI: 10.13227/j.hjxx.202112220

Water Quality Evolution Characteristics and Pollution Factor Analysis in Poyang Lake from 2011 to 2019

XIE Hui-yu^{1,2}, HU Mei³, JI Xiao-yan², CAO Bing-wei³, JIA Shi-qi², XU Jian¹, JIN Xiao-wei^{2*}

(1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China; 3. Jiangxi Province Ecological Environmental Monitoring Centre, Nanchang 330039, China)

Abstract: Based on the water quality data of 17 national environmental monitoring sections of Poyang Lake from 2011 to 2019, spatial-temporal evolution characteristics and trends of water quality were analyzed using the comprehensive pollution index, eutrophication analysis, and blue city surface water quality index methods. Then, the main impact factors of water pollution were analyzed using the principal component analytic method to comprehensively evaluate the water environment of Poyang Lake during the 12th and 13th Five-Year Plan periods. The results showed that: ① In terms of temporal distribution, the water quality of Poyang Lake decreased obviously from 2011 to 2015 and showed a positive trend from 2016 to 2019. However, the eutrophication status still existed, and the water quality of each year fluctuated obviously. Changes and fluctuations were evident, mainly in the high-water period > the flat-water period > the low-water period. ② In terms of spatial distribution, the water quality of each area showed an upward trend from 2011 to 2015, the total dynamic attitude of each index was positive, and the water quality decreased slightly. The water quality in the northeast lake area improved significantly, the water pollution in the South Lake area was the most serious, and that in the main lake area fluctuated significantly from 2016 to 2019. ③ From the perspective of influencing factors, the main pollutants exceeding the standard in Poyang Lake area from 2011 to 2019 were total phosphorus, total nitrogen, ammonia nitrogen, and permanganate index. During the 12th Five-Year Plan periods, Poyang Lake had been mainly polluted by chemical enterprises and agricultural non-point sources, and during the 13th Five-Year Plan periods, the impact of the lives of urban residents on water quality increased yearly.

Key words: water quality evolution; comprehensive pollution index; eutrophication; pollution source identification; Poyang Lake

鄱阳湖作为我国最大的淡水湖和长江流域最大的通江湖泊, 承担着重要的生态、生活和生产功能。在人为因素的长期干扰下, 鄱阳湖的生态环境正持续发生变化, 出现如水质恶化^[1]、水体富营养化^[2]、湿地面积锐减^[3]和生物多样性降低^[4]等生态失衡现象。有研究表明2000年以来鄱阳湖湖区水质状况显著下降, 富营养化水平呈上升趋势且季节差异显著^[5,6]。自2009年国务院正式批复《鄱阳湖生态经济区规划》方案起, 以“保持鄱阳湖一湖清水”为目标的研究便大力展开。然而, 在积极响应水环境保护的同时, 高强度的人类活动依然严重影响着鄱阳湖的水环境质量, 导致水生态系统脆弱性和敏感性的显著提升, 这不仅会限制鄱阳湖经济带的可持续发

展, 同时也会影响长江中下游的生态状况。因此, 为更好地保护鄱阳湖水生态环境质量, 对鄱阳湖水体污染特征及成因分析十分必要。

近年来针对鄱阳湖水质变化趋势的研究正逐渐增加, 大多以部分区域为对象, 以丰、枯水期为主要时间尺度, 评价指标与方法相对单一, 而对于全湖区的长时间序列研究相对较少。21世纪初, 有研究以氮、磷两种污染物探讨鄱阳湖湖区及入湖河水丰枯水期的水质污染状况^[7~9]; Wu等^[10]采用聚类分析

收稿日期: 2021-12-22; 修订日期: 2022-04-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC3200105)

作者简介: 谢慧钰(1998~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为流域水生态完整性评估, E-mail: X_huiyu1998@163.com

* 通信作者, E-mail: jinxw@cncemc.cn

法研究了鄱阳湖 2009~2015 年 15 个采样点的水质空间差异,发现鄱阳湖自北向南的污染负荷差异显著且表现出强烈的季节性波动,水质呈逐年恶化趋势.考虑到水环境及其主要驱动因素的整体性,也有学者提出综合多种多元统计方法对流域水质变化趋势及主导因子进行深度探究^[11~13]. Li 等^[14]应用 Mann-Kendall 趋势分析和 Pettitt 测试法综合分析了鄱阳湖 20 世纪 80 年代至 2018 年的水质和水文情势变化特征,结果表明近 40 年间湖区水质明显下降, TN、 NH_4^+ -N 和 TP 浓度及高锰酸盐指数显著上升,且受到降雨所导致的水位变化的影响.

本文以鄱阳湖 17 个国控监测点位为研究对象,分析了 2011~2019 年湖区水质状况及富营养化水平的时空演变特征,并对鄱阳湖的主要影响因素及污染成分变化进行深入探索,进而在较长时间序列尺度上评估“十二五”与“十三五”期间鄱阳湖水环境总体状况及演变趋势.

1 材料与方法

1.1 研究区域

鄱阳湖 ($28^{\circ}02' \sim 29^{\circ}44' \text{N}$ 、 $115^{\circ}28' \sim 116^{\circ}52' \text{E}$),位于江西省北部,水域面积达 16.22 万 km^2 ^[15],平均水深为 $14 \sim 15 \text{ m}$ ^[16],是我国第一大淡水湖,其北部与长江相连,主要入湖河流为修河、赣江、信江、抚河和饶河等“五河”及博阳河等支流.鄱阳湖作为长江中下游的重要湖泊水体,在水土保持、洪水调控和生物多样性保护等方面发挥着重要作用,维护着区域和国家的生态安全.此外,鄱阳湖的生态环境状况主要受到沿湖地区农业、工业等人类活动的干扰.受年内水位波动巨大的影响,鄱阳湖丰水期主要集中于 6~8 月,平水期集中于 4、5 和 9 月,枯水期时间提前至 10 月并延长至次年 2 月^[17],具有明显的“洪水一片,枯水一线”的独特景象.

1.2 数据来源

本文采用的水质数据为 2011~2019 年国家地表水环境监测数据.鄱阳湖共设置 17 个监测点位(如图 1),将其划分为 5 个区域 A1~A5,分别表示入江水道、西湖、主湖、东北湖和南湖湖区这 5 个区域.其中,入江水道湖区(A1)包括蛤蟆石、老爷庙、鄱阳湖出口和星子这 4 个监测点位;西湖湖区(A2)包括蚌湖和吴城这 2 个监测点位;主湖湖区(A3)主要包括南矶山、伍湖分场、都昌、康山、莲湖、梅溪嘴、余干和三山这 8 个监测点位;东北湖湖区(A4)含白沙洲 1 个监测点位;南湖湖区(A5)包括金溪咀刘家和南湖村这 2 个监测点位.

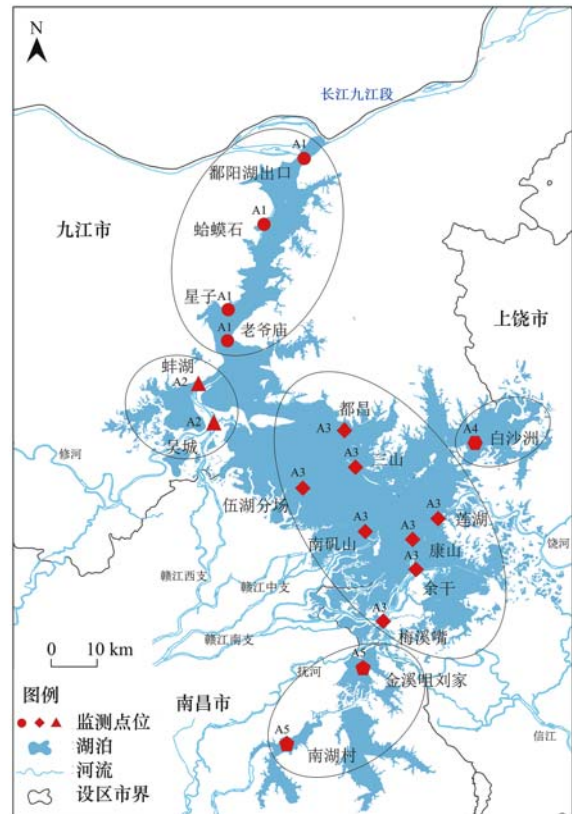


图 1 鄱阳湖水水质监测点位示意

Fig. 1 Distribution of water quality monitoring sites in Poyang Lake

1.3 评价方法

鄱阳湖主要水质指标测定与评价依据文献[18,19]中的标准和方法,按照每月监测一次的频率进行实时记录.其中,部分年份水质指标存在低于检出限的情况,取其检出限 1/2 进行处理.本研究选取单因子指数法并引入蔚蓝城市水质指数法对鄱阳湖 2011~2019 年的年际水质变化趋势进行分析,再选取综合污染指数法及综合营养状态指数法对 1 月(枯水期)、4 月(平水期)和 8 月(丰水期)不同水期的污染状况及富营养化水平进行评价,最后结合主成分分析法识别湖区的主要污染成分.

1.3.1 综合污染指数

选取高锰酸盐指数、化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD_5)和 TP 这 4 项指标计算鄱阳湖综合污染水平,取各水质指标的实测值与评价标准值的比值作为污染指数,通过等权重平均计算综合污染指数(comprehensive pollution index, P)^[20~22].

$$P_i = c_i / L_i$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

式中, c_i 为指标 i 的实测浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; L_i 为指标 i 的 III 类标准值, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; P_i 为指标 i 的污染指数; n

为选取的指标数目; P 为综合污染指数.

引入动态度分析方法^[23]对研究期湖泊综合污染指数的变化程度进行分析, 计算公式如下:

$$S = P_n^{-1} \cdot (P_m - P_n) \times 100\%$$

式中, S 为湖泊综合污染指数动态度; P_m 为第 m 年湖泊综合污染指数; P_n 为第 n 年湖泊综合污染指数, 当 $m - n = 1$ 时, S 为年动态度; 该方法同样适用于分析其他指数的变化程度.

1.3.2 综合营养状态指数

使用综合营养状态指数法对鄱阳湖富营养化水平 (comprehensive trophic level index, TLI) 进行评价, 以叶绿素 a (Chl. a)、TP、TN、透明度 (SD) 和高锰酸盐指数这 5 项水质指标检测值进行计算.

$$TLI \left(\sum \right) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI(j)$$

式中, W_j 为以 Chl. a 作为基准参数, 第 j 种参数归一化的相关权重; $TLI(j)$ 为第 j 种指标的综合营养状态指数, m 为评价指标的个数; 其中, W_j 和 $TLI(j)$ 的计算公式参照文献^[24 ~ 26].

1.3.3 蔚蓝城市水质指数

根据刘玲花等^[27]对国外较为成熟的水质指数评价方法的对比分析, 选取调和平方加和法计算的水质指数——蔚蓝城市水质指数 (blue city water quality index, BCWQI) 对鄱阳湖水水质进行评价. 首先, 采用单因子指数法^[28]对各监测点位水体水质进行评价确定水质类别, 利用 BCWQI 中的蔚蓝城市地表水质指数 (BCWQI_s)^[29,30]建立水质类别与数值的对应关系, 将 I 类 ~ 劣 V 类水质分别赋值得到相应系数 F_s 为 1.5、5、10、15、20 和 60, 最后对 2011 ~ 2019 年各监测点位 12 个月的算术平均值进行计算.

$$BCWQI_s = (\bar{F}_{s1} + \bar{F}_{s2} + \cdots + \bar{F}_{sn}) / n$$

式中, $F_{s1}, F_{s2}, \cdots, F_{sn}$ 为第 1, 2, $\cdots, n$ 个监测点位的水质系数; 最终计算得出的 BCWQI_s 指数由高到低可划分为 5 个得分等级, 分别对应不同的水质等级: 优、良、一般、较差和差, BCWQI_s 指数得分越低表示监测点位水质状况越好, 反之亦然, 如表 1 所示.

表 1 BCWQI_s 指数得分分级说明

Table 1 BCWQI _s index score classification description			
指数名称	得分分级	等级	等级说明
BCWQI _s	[0, 5]	优	鄱阳湖监测点位水质平均达到或优于Ⅱ类
	(5, 10]	良	鄱阳湖监测点位水质平均达到或优于Ⅲ类
	(10, 15]	一般	鄱阳湖监测点位水质平均达到或优于Ⅳ类
	(15, 20]	较差	鄱阳湖监测点位水质平均达到或优于Ⅴ类
	(20, 50]	差	鄱阳湖监测点位水质平均未达到Ⅴ类

1.3.4 主成分分析

为识别鄱阳湖水环境质量关键影响因子, 选取

高锰酸盐指数、COD、TP、挥发酚、石油类和阴离子表面活性剂这 6 项水质指标进行主成分分析 (principal component analysis, PCA)^[31,32].

数据的统计分析采用 Excel 2019 和 IBM SPSS statistics 25 进行, 绘图采用 Origin Pro 和 ArcGIS 10.7 软件完成.

2 结果与分析

2.1 2011 ~ 2019 年鄱阳湖水水质时间变化特征

2.1.1 水质等级年际变化趋势

2011 ~ 2019 年鄱阳湖的水质类别变化如图 2 (a). 运用单因子指数法对湖区各监测点位进行评价时, 水质定类指标主要为 TP 和 TN. 总体来看, 鄱阳湖水水质呈现先下降后稳定的趋势, 且年际均未出现劣 V 类水体, 当前仍存在一定的轻度污染现象. “十二五”期间, 鄱阳湖Ⅲ类及以上水域范围逐年下降而Ⅲ类以下水域范围显著增加; 2014 年起Ⅲ类以下水域范围超过 50%, 主要以Ⅳ类水为主, 2015 年Ⅲ类及以上水体相较于 2011 年降低 64.7%; “十三五”期间, 鄱阳湖Ⅳ类水质范围分布广泛, 开始出现小范围的 V 类水体, 2017 年Ⅳ类水体达到 94.1%. 值得注意的是, 2011 ~ 2019 年鄱阳湖水水质波动幅度较大, 全湖受 TP、TN 和 NH₄⁺-N 的影响显著; 2018 年后Ⅲ类及以上水域范围小幅上升, 但在蚌湖、南湖村和金溪咀刘家等监测点位仍存在 V 类水质状况.

由 BCWQI_s 计算结果可知, 如图 2 (b), 鄱阳湖近几年水质状况呈现下降趋势, 除个别年份水质等级为良和较差等级外, 等级主要以一般为主. “十二五”期间鄱阳湖水水质状况基本稳定, 处于一般等级;

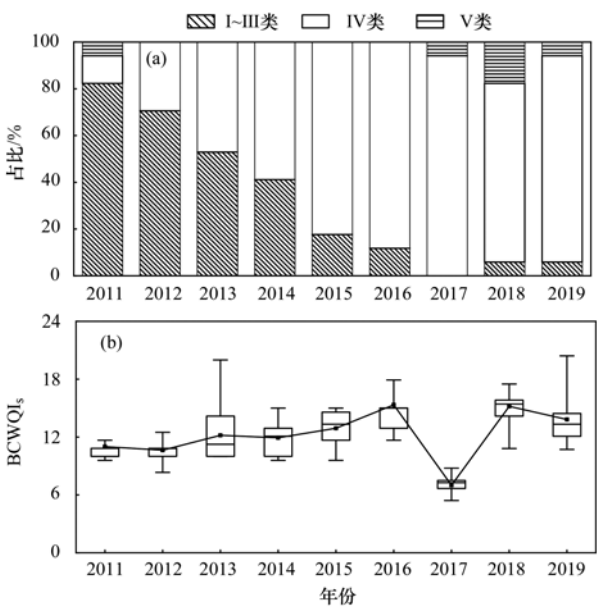


图 2 2011 ~ 2019 年鄱阳湖水水质情况

Fig. 2 Water quality of Poyang Lake from 2011 to 2019

“十三五”期间水质变化波动明显,2017 年水质状况表现较好,主要以良为主;2018~2019 年水质主要稳定在一般等级. 其中,2011~2017 年水质等级处于良和一般的数量稳定,约占监测点位总数的 90%;2018 年水质等级明显下降,17 个监测点位水质由良转变为一般和较差等级;2019 年略有提升,以一般等级为主.

2.1.2 不同水期水质等级变化趋势

2011~2019 年鄱阳湖综合污染指数变化趋势如图 3(a). 从年均值看,鄱阳湖的综合污染指数在 0.65~0.76 之间,按照分级标准^[33],鄱阳湖 9 a 内均存在轻度和中度污染现象. 其中,2016~2018 年综合污染指数均高于 0.71,表现为中度污染. 从不同水期看,鄱阳湖综合污染指数表现为:1 月 > 4 月 > 8 月,即:枯水期 > 平水期 > 丰水期;且 2014 年和

2015 年的 1 月的综合污染指数分别增长至 0.72 和 0.82,2016 年 4 月综合污染指数达到 0.88;2019 年 8 月综合污染指数达到最低,为 0.39. 从动态度看,2011~2015 年鄱阳湖综合污染指数总体动态度为 5.6%,湖泊水质状况呈现略微下降趋势;年动态度有正有负,期间产生显著波动;2016~2019 年鄱阳湖综合污染指数总体动态度为 -12.1%,水质状况得到明显改善. 总体来说,2011~2019 年鄱阳湖水水质呈现“恶化-好转”的两阶段变化趋势,水环境治理初有成效,但年动态度出现负值的频率相对正值较少,水环境质量改善效果仍有波动,实现湖泊水质持续向好的态势仍面临挑战.

2011~2019 年鄱阳湖综合营养状态指数变化趋势如图 3(b). 从年均值看,2011~2015 年富营养化指数呈缓慢下降趋势,2015 年水体富营养化程度

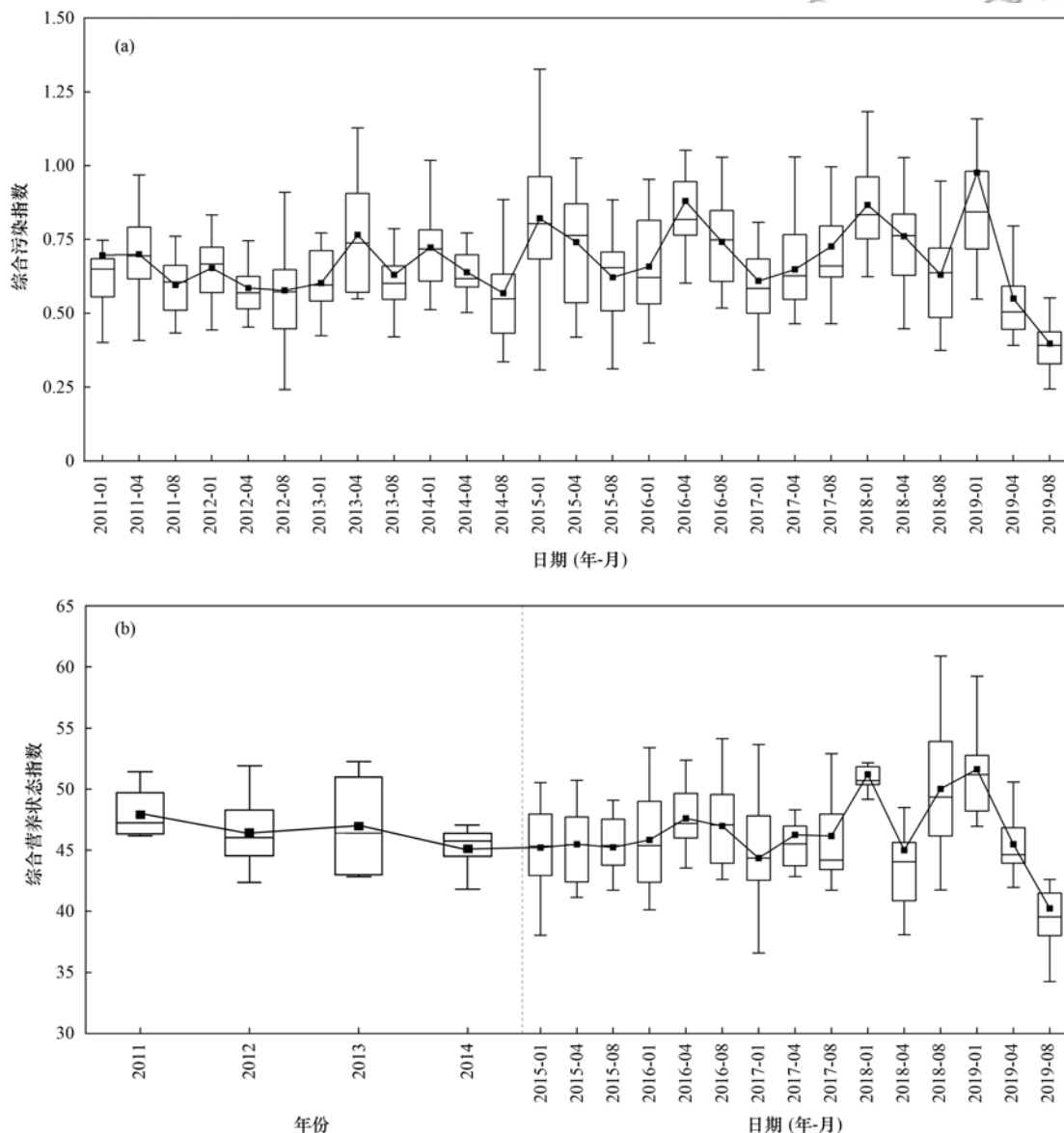


图3 2011~2019 年鄱阳湖综合污染指数和综合营养状态指数变化趋势

Fig. 3 Variation trends of comprehensive pollution index and comprehensive nutrient status index in Poyang Lake from 2011 to 2019

达到最低,为 45.8; 2015 年后富营养化指数逐年增加,2018 年达到最高(为 49.5), 2019 年略有降低。从不同水期看,2015~2019 年枯水期富营养化程度逐年加重,2018 年和 2019 年达 51.20 和 51.63,出现轻度富营养化现象; 2018 年 8 月鄱阳湖富营养化指数达到最高,为 50.01。总体来看,鄱阳湖整体处于中营养水平状态。

2.1.3 不同水期主要水质指标变化特征

2011~2019 年鄱阳湖重点水质指标及富营养化指标变化趋势见图 4。整体来看,各水质指标在不同水期差异显著,普遍变化为:1 月 > 4 月 > 8 月,

即:枯水期 > 平水期 > 丰水期。鄱阳湖 BOD_5 、COD 和 NH_4^+-N 浓度年均值呈下降趋势; 2011~2014 年 BOD_5 年内波动幅度较大,2015 年后变化较缓,但从水期来看 1 月浓度起伏较大,且普遍高于 8 月; COD 枯水期浓度于 2014 年达到最高,丰水期浓度于 2019 年达到最低。

鄱阳湖 TN 浓度总体呈上升趋势,2011~2013 年各水期浓度均有所下降,2015 年后起伏波动显著,2018 年 $\rho(TN)$ 达到峰值,为 $1.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,已超出富营养化 $\rho(TN)$ 水平($0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)近 3 倍; 湖区 $\rho(TP)$ 年均值和 $\rho(TN)$ 总体变化特征较为相似,呈

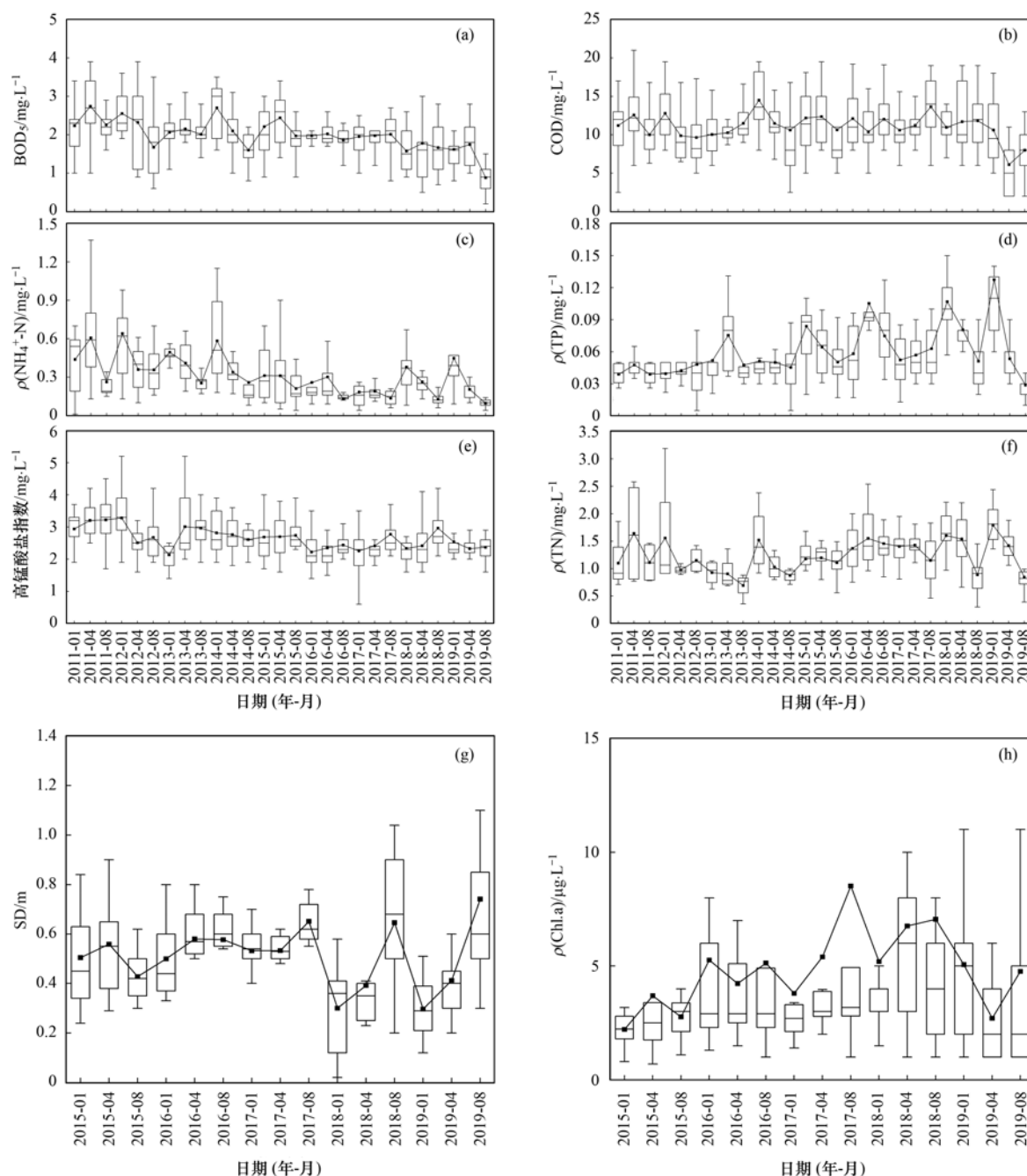


图 4 2011~2019 年鄱阳湖关键水质及富营养化指标变化趋势

Fig. 4 Variation trends of water quality indexes and eutrophication parameters in Poyang Lake from 2011 to 2019

逐步上升趋势,2018 年达到 $0.083 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的峰值后,于 2019 年小幅下降;但 TP 的水期变化比 TN 表现得更为明显,2015 年后年内枯水期浓度显著高于丰水期。

高锰酸盐指数作为一个表征环境水体有机污染物的特定指标,其年均值波动较为明显,2011~2014 年显著下降,2014 年后波动较大;2011 年峰值为 $3.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,2016 年降至最低为 $2.43 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,2016~2018 年缓慢上升,2019 年小幅下降;SD 年均值于 2016~2019 年呈现先升高后降低的阶段趋势,2016 年达到 0.54 m 的峰值,2018 年降低至 0.39 m ,改善较小,且存在波动性;而鄱阳湖 $\rho(\text{Chl. a})$ 年均值于 2019 达到 $7.25 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,2015~2019 年期间呈小幅稳定上升趋势,主要受主湖湖区和南湖湖区高浓度集中的影响,存在一定的富营养化现象。

2.1.4 综合污染指数、综合营养状态指数和 BCWQI_s 的关键水质指标识别

对主要水质指标与综合污染指数、 $\text{TLI}(\sum)$

和 BCWQI_s 指数进行 Pearson 相关分析(图 5)。其中,TP 和 TN 与综合污染指数呈显著正相关($P < 0.05$),相关系数分别为 0.849 和 0.853, NH_4^+-N 与综合污染指数呈显著负相关,相关系数为 -0.679 ,同时石油类、高锰酸盐指数和阴离子表面活性剂与综合污染指数呈弱负相关性,相关系数分别为 -0.466 、 -0.339 和 -0.393 ; Chl. a 和 DO 与 $\text{TLI}(\sum)$ 呈显著正相关($P < 0.05$),TN 和 TP 与 $\text{TLI}(\sum)$ 呈正相关,SD、挥发酚和石油类与 $\text{TLI}(\sum)$ 呈负相关性,相关系数分别为 -0.551 、 -0.581 和 -0.415 ; BCWQI_s 与 TN、TP 和 DO 存在一定正相关关系,相关系数分别为 0.348、0.199 和 0.245,与 pH、SD 和石油类存在一定负相关关系,相关系数分别为 -0.488 、 -0.380 和 -0.428 。

2.2 2011~2019 年鄱阳湖水质空间变化特征
根据综合污染指数变化显示,如图 6(a),2011

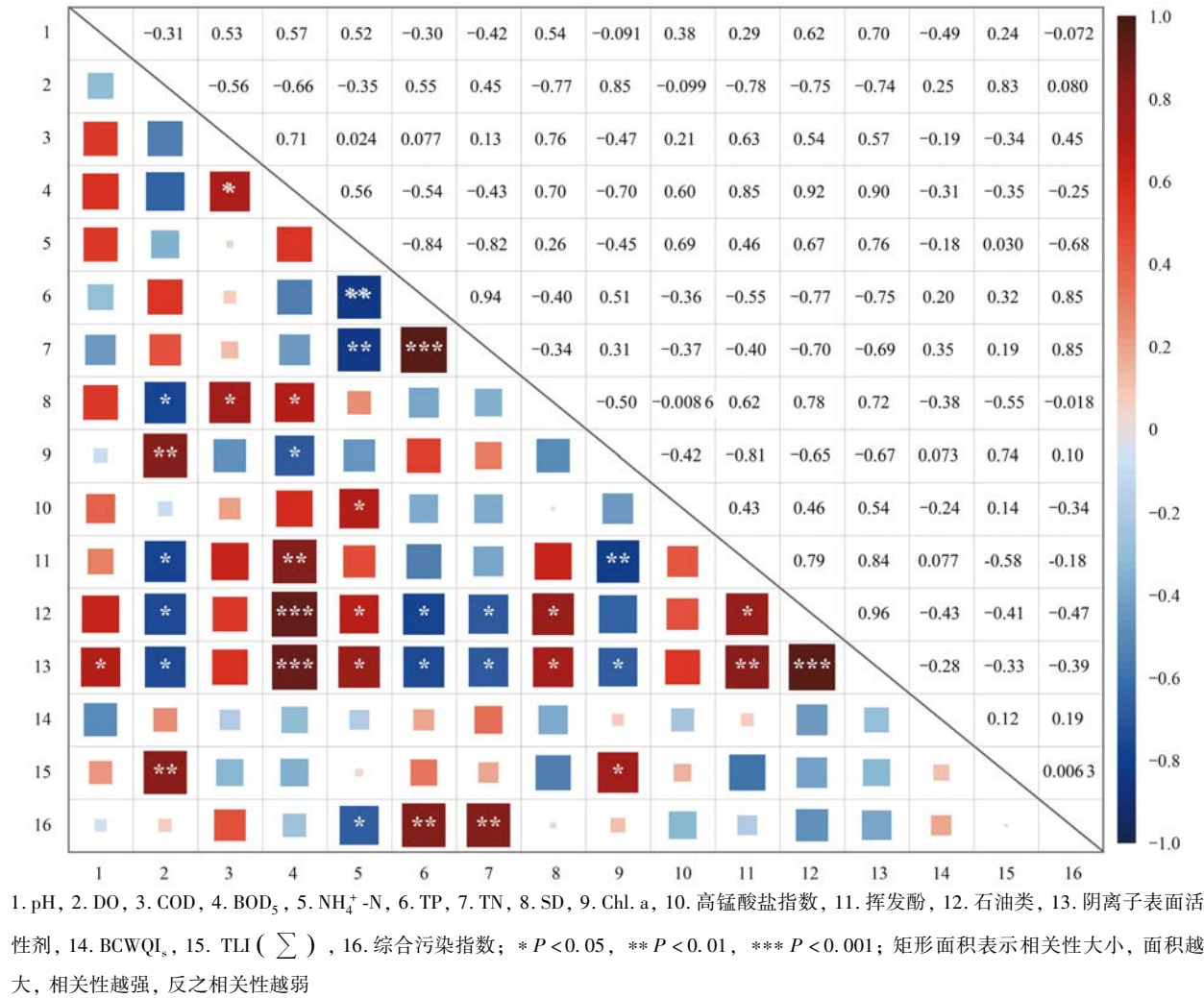


图 5 水质指标与综合污染指数、 $\text{TLI}(\sum)$ 和 BCWQI_s 的关系

Fig. 5 Pearson correlation analysis between water quality indicators and comprehensive pollution index, $\text{TLI}(\sum)$ and BCWQI_s

年水质综合污染指数由高到低依次为南湖湖区、主湖湖区、入江水道湖区、东北湖湖区和西湖湖区, 各区水质状况均表现为中度污染. 2011~2015 年各湖区的水质综合污染指数均呈上升趋势, 其中东北湖湖区综合污染指数总体动态度为负值, 水质情况略微改善; 其他 4 个湖区的综合污染指数总体动态度均为正值, 水质小幅下降; 其中, 南湖湖区动态度明显升高, 水质下降最为明显. 2016 年各湖区的水质综合污染指数总体呈现下降趋势, 除西湖湖区综合污染指数总体动态度为 0.223, 水质状况下降以外, 其余 4 个湖区的综合污染指数动态度均为负值, 水质小幅上升; 其中, 东北湖湖区水质提升最为显著; 2019 年湖泊水质综合污染指数较高的是西湖湖区及南湖湖区.

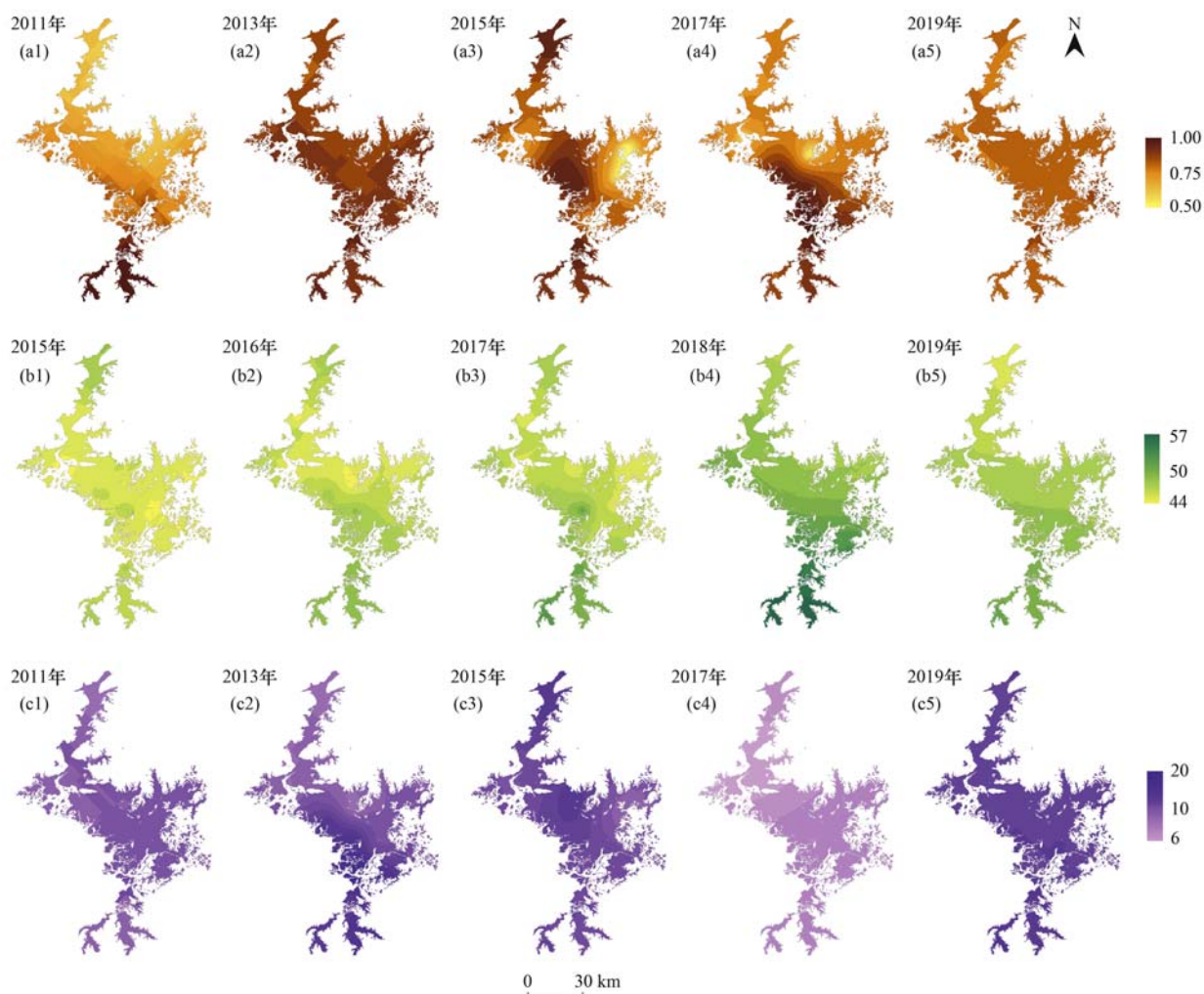
根据湖泊富营养化指数变化显示, 如图 6(b), 除南湖湖区 2017~2019 年处于富营养化状态以外, 各湖区整体的营养化水平均为中营养水平. 2015~2019 年入江水道湖区中营养湖泊营养状态得到略

微改善, 西湖、主湖、东北湖及南湖湖区的湖泊营养化指数总体动态度均为正值, 营养化水平略微上升; 2018~2019 年除西湖湖区的湖泊营养化指数总体动态度为正值以外, 其他 4 个湖区营养状态均有好转. 2019 年湖泊营养化指数最高的是南湖湖区.

根据 BCWQI_s 变化显示, 如图 6(c), 各湖区年均水质状况处于一般等级. 2011~2015 年东北湖湖区 BCWQI_s 总体动态度为负值, 水质略微上升; 入江水道、西湖、主湖及南湖湖区的 BCWQI_s 总体动态度为正值, 水质小幅下降, 其中入江水道湖区水质下降幅度最为明显. 2016~2019 年除西湖湖区外, 各湖区 BCWQI_s 总体动态度均为负值, 水质小幅上升, 东北湖湖区改善最为明显; 2019 年 BCWQI_s 最高的是南湖湖区, 水质等级较差.

2.3 2011~2019 年鄱阳湖水水质主要污染成分分析

利用 IBM SPSS statistics 25 对鄱阳湖 2011~2019 年 17 个监测点位的 6 项水质指标进行主成分分析. 为降低由于不同指标间的数值差异而造成的分析误



(a) 综合污染指数; (b) 综合营养状态指数; (c) 蔚蓝城市水质指数

图 6 2011~2019 年关键年份鄱阳湖各湖区不同水质指数变化趋势

Fig. 6 Variation trends of different water quality indexes in Poyang Lake from 2011 to 2019

差,分别将监测数据进行标准化处理,再进行主成分分析.在分析前,先对 2011~2019 年监测数据进行 KMO 和 Bartlett 检验,得出 KMO 值均大于 0.6,且 Bartlett 显著性均小于 0.05,可进行主成分分析.提取特征值大于 1 的主成分,利用 Origin Pro 绘制的载荷如图 7,主成分载荷矩阵和系数矩阵如表 2.

在 2011 年,第一主成分(PC1)贡献率为 42.33%,COD 与 PC1 呈显著正相关,因子载荷量

为 0.821,挥发酚和阴离子表面活性剂与 PC1 呈显著负相关,因子载荷量分别为 -0.783 和 -0.779 ,表明污染物主要来源于农业面源污染和畜禽养殖等;第二主成分(PC2)贡献率为 30.96%,高锰酸盐指数与 PC2 呈显著正相关,因子载荷量为 0.839,表明水体受有机物污染的程度较为严重.在 2015 年,PC1 贡献率为 53.07%,主要包括挥发酚和石油类,它们与 PC1 呈显著正相关,且因子载

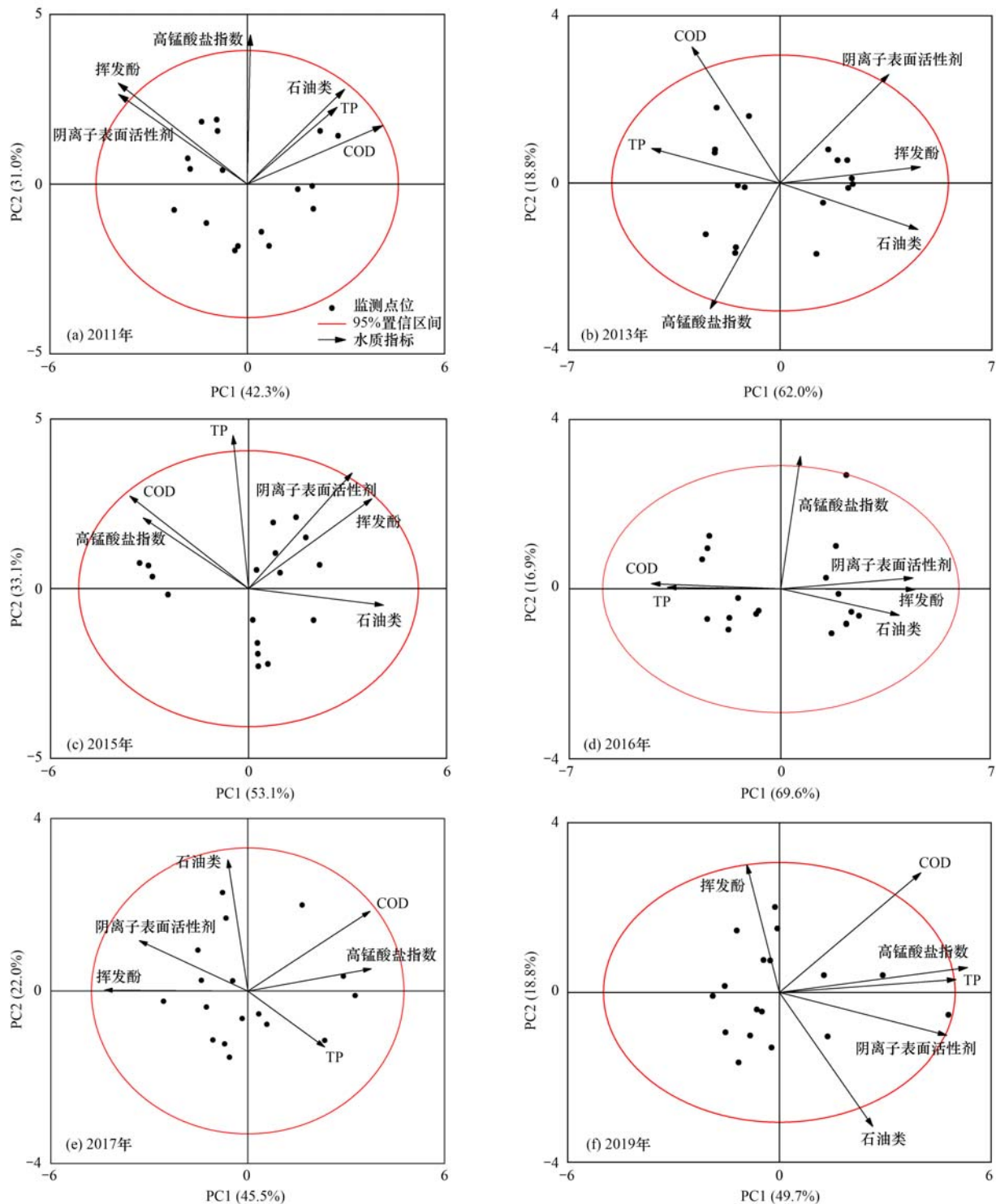


图 7 2011~2019 年鄱阳湖水质指标主成分载荷

Fig. 7 Principal component load diagram of water quality indicators in Poyang Lake from 2011 to 2019

荷量均高于 0.800,表明污染物主要来源于工业废水排放;PC2 贡献率为 33.07%,主要包括 TP 与阴离子表面活性剂,表明污染物主要来源于畜禽养殖和生活污水排放。

从 2011 ~ 2015 年的 PC1 与 PC2 的主要污染因子来看,污染物的主要来源多集中于工业生产及化工厂排放等,其次与生活污水排放有关,由此可见,鄱阳湖周边人类生活频繁,生产活动密集,水体的污染负荷较大。

在 2016 年,PC1 贡献率为 69.59%,其中阴离子表面活性剂、挥发酚和石油类与 PC1 呈显著正相关,因子载荷率分别为 0.957、0.973 和 0.859,表明污染物主要来源于化工产业废水与生活污水排放;PC2 贡献率为 16.93%,高锰酸盐指数与 PC2 呈显著

正相关,因子载荷率为 0.985,表明存在显著的有机物污染现象。在 2019 年,PC1 贡献率为 49.75%,主要包括高锰酸盐指数、TP 与阴离子表面活性剂,表明主要污染来源为生活污水和畜禽养殖废水;PC2 贡献率为 18.77%,挥发酚与 PC2 呈正相关,表明污染物主要来源于工业废水。

总体来看,在“十二五”期间,鄱阳湖的水生态受到周边化工电镀企业、城镇生活污水、畜禽水产养殖和农药化肥等有机、无机废物处理不当的影响,加上湖泊内源性污染,鄱阳湖水环境质量呈现下降趋势;在“十三五”期间,鄱阳湖水体污染负荷主要来源于人类生活和农业面源污染,由于对工业生产活动以及入湖水质的加强控制,工业污染对水质的影响有所降低。

表 2 2011 ~ 2019 年鄱阳湖水质指标主成分载荷矩阵和系数矩阵
Table 2 Principal component load matrix and coefficient matrix of water quality indicators in Poyang Lake from 2011 to 2019

成分	年份	主成分载荷矩阵		主成分的系数矩阵		年份	主成分载荷矩阵		主成分的系数矩阵	
		PC1	PC2	PC1	PC2		PC1	PC2	PC1	PC2
COD	2011	0.821	0.328	0.323	0.177	2013	-0.602	0.647	-0.162	0.575
TP		0.545	0.432	0.215	0.232		-0.878	0.164	-0.236	0.146
高锰酸盐指数		0.020	0.839	0.008	0.451		-0.477	-0.598	-0.128	-0.532
挥发酚		-0.783	0.567	-0.308	0.305		0.958	0.076	0.258	0.067
石油类		0.591	0.533	0.233	0.287		0.943	-0.221	0.254	-0.196
阴离子表面活性剂		-0.779	0.504	-0.307	0.271		0.743	0.517	0.200	0.459
主成分解释率/%		42.331	30.959				61.990	18.757		
主成分累计解释率/%		42.331	73.290				61.990	80.747		
COD	2015	-0.803	0.538	-0.252	0.271	2016	-0.938	0.039	-0.225	0.038
TP		-0.104	0.891	-0.033	0.449		-0.823	0.011	-0.197	0.010
高锰酸盐指数		-0.713	0.410	-0.224	0.207		0.143	0.985	0.034	0.969
挥发酚		0.835	0.522	0.262	0.263		0.973	-0.003	0.233	-0.003
石油类		0.912	-0.098	0.287	-0.049		0.859	-0.196	0.206	-0.193
阴离子表面活性剂		0.701	0.672	0.220	0.338		0.957	0.080	0.229	0.079
主成分解释率/%		53.069	33.073				69.592	16.932		
主成分累计解释率/%		53.069	86.142				69.592	86.524		
COD	2017	0.770	0.531	0.282	0.403	2019	0.693	0.561	0.232	0.498
TP		0.484	-0.374	0.177	-0.283		0.865	0.060	0.290	0.053
高锰酸盐指数		0.778	0.148	0.285	0.112		0.921	0.117	0.309	0.103
挥发酚		-0.903	0.006	-0.331	0.004		-0.159	0.599	-0.053	0.532
石油类		-0.125	0.874	-0.046	0.662		0.458	-0.629	0.154	-0.558
阴离子表面活性剂		-0.683	0.335	-0.250	0.254		0.820	-0.201	0.275	-0.179
主成分解释率/%		45.472	22.000				49.749	18.767		
主成分累计解释率/%		45.472	67.472				49.749	68.516		

3 讨论

3.1 不同水质评价方法的对比分析

结合综合污染指数、综合营养状态指数和 BCWQI_s 的表征情况,3 个指数均从整体反映出 2011 ~ 2019 年鄱阳湖水质呈现“恶化-好转”的趋势,期间存在水质变化不稳定的现象。其中,BCWQI_s 主要建立在单因子评价方法的基础上对地表水水质状况进行打分评级,能够较直观地反映鄱阳湖湖区

的水质状况。但值得注意的是,相对于综合污染指数和综合营养状态指数,BCWQI_s 在反映鄱阳湖水质变化趋势的同时,受最初选用的年际月度水质类别的影响,获取的结果会更为敏感。比如 2016 ~ 2019 年由于各湖区的监测点位数据获取较少,会产生水质下降的直观感受,故需结合原始数据和多种水质评价方法进行综合分析。因此,若监测数据容量足够大时,该指数反映各湖区水质状况的精准度也会显著提升,从而协助综合污染指数和富营养化指数进

行整体评价。

同时,为避免水质评价方法的主观性偏差,主成分分析方法能够在保留原始数据的基础上对研究的水质指标特征进行定量标准分析,筛选出同类特征的污染成分并计算其贡献率,提高水质评价结果的准确性及客观性。因此,主成分分析法也是一种能够分析水质污染状况的重要评价方法。

3.2 鄱阳湖的水质污染状况及成因

自 1940 年以来,随着城市人口密度、农业发展强度与渔业生产所需饵料及产生代谢物等的增加,鄱阳湖周边的生活污水、农业生产用水及工业废水等污染排放显著提升^[34]。据报道,江西省工业废水排放量的 78% 以上会直接排放到河流中最终汇入鄱阳湖,而工业废水中包含引起富营养化的氮磷营养盐、重金属以及有机污染物,进而影响鄱阳湖的水质状况。有研究表明,人为因素驱动下的土地利用建设活动能通过多种途径对鄱阳湖水质产生重大影响,其类型的快速转变是城市扩张和农牧业迅速发展的结果^[35]。同时,鄱阳湖作为典型的浅水湖泊,其水质状况受到独特的地形地貌条件与复杂的气候、水文条件等多种环境因素的影响^[36]。鄱阳湖独特的水期节律会影响 C 和 N 的浓度,陆瑶等^[37]的研究发现,鄱阳湖通江流域的 C、N 浓度呈明显季节变化,其中丰水期 TC 浓度较高,而在枯水期 TN 浓度较高,Lei 等^[38]指出鄱阳湖流域的径流时空变化主要受到气候变化和人类活动的影响,影响占比分别为 57% 和 42%;在年际尺度上气候变化对径流深度的影响占比高达 91.88%,而人类建设活动的加剧也会降低鄱阳湖流域的径流深度,使得排放至湖区的污染物产生富集现象;在年内尺度上,汛期气候变化对径流深度变化的影响相较于非汛期显著增加,因此水位的周期变化也会造成污染物浓度的周期变化,最终导致鄱阳湖水质状况波动显著^[39]。

相对于“十二五”时期,鄱阳湖在“十三五”期间的水质改善成果显著上升,这与水环境治理力度的加强有着密不可分的联系。本研究对比单因子指数法、综合污染指数法、富营养指数法和 BCWQI 指数法这 4 种评价方法,发现水质评价结果存在一定差异。但综合多种评价方法来看,2011 ~ 2019 年鄱阳湖总体呈现中污染、中营养、水质等级一般的水质状况,污染等级表现为:1 月 > 4 月 > 8 月,且水质在丰水期明显优于平水期和枯水期。赵爽等^[40]基于水质指数法研究发现鄱阳湖 2003 ~ 2016 年的总体水质良好,接近“中等”阈值,但由于受到工业、农业及旅游业快速发展的影响,氮磷污染较为严重。有研究发现,鄱阳湖氮磷浓度的变化主要受流入湖区

外源性污染物负荷增加及降雨导致的水位变化的影响^[8,17];王朔月等^[41]的研究也表明 2017 ~ 2018 年鄱阳湖流域内从初级支流到湖区的氮磷浓度呈阶梯状递增,其中赣江(下游)污染物浓度显著高于香溪河和架竹河(上游)。大量的营养物质富集从而导致藻类大量繁殖,造成富营养化现象日趋严重^[42,43]。与此同时,湖区受入湖河流周边矿产开采活动的影响,也成为了 Cu、Pb、Zn 和 Cd 等重金属污染的受纳水体^[44,45]。因此,湖泊的生态保护不仅需要控源截污,也需要维护好湖泊的生态系统结构,从而加强水体的自我修复能力,实现持续改善的目标。

在空间分布上,相较于其他 4 个湖区,南湖湖区的水质污染情况最为严重,该湖区周边存在农业种植、水产养殖、畜禽养殖等生产活动,大量的氮磷营养物质与有机化合物通过水文循环过程流入湖区,造成湖泊的富营养化现象产生;入江水道湖区水质情况表现最好,主要由于湖区北部沿岸工业和生活污染排放较少,且水体流速较快,不易产生污染物富集现象。从各湖区来看,西湖湖区的蚌湖监测点位、主湖湖区的莲湖监测点位、南湖湖区的金溪咀刘家监测点位水质污染突出,这与入湖河流上游的农业非点源污染和化工产业废水等点源排放以及湖区采砂等活动息息相关。方娜等^[36]指出湖泊周边地区起着污染物“源”的作用,关注小尺度(≤ 1 km)的土地利用格局即人类开发建设活动对鄱阳湖的水质保护起着重要作用。

2009 年,“鄱阳湖生态经济区”的提出为周边地区带来了经济快速发展的福音,但由于无法采取稳定长效的发展措施,人类生产活动对水生态系统的破坏与保护力度产生了偏差,使得水质无法持续性改善,导致人与环境的失衡,为鄱阳湖的生态修复带了严峻的挑战。“十三五”期间水质状况总体得到改善是一个良好的开端,在“十四五”仍需对 TP、TN、 NH_4^+-N 、阴离子表面活性剂和挥发酚等主要污染指标进行细致调查及长期监测,严格把关入湖水体的水质质量,及时关注污染水区,针对各区域不同污染状况实施相应整治措施,同时加强对水生态系统完整性的监测与评价,从而提升湖区的水体自净能力及水生态健康状况。

4 结论

(1) 在时间上,2011 ~ 2015 年鄱阳湖水质呈下降趋势;2016 ~ 2019 年鄱阳湖水质总体呈向好趋势但富营化现象依然存在;各年水质状况具有明显的水期变化特征且波动明显,主要表现为:丰水期 > 平水期 > 枯水期,水质改善趋势较缓。

(2) 在空间上, 2011~2015 年各湖区的综合污染指数均呈上升趋势, BCWQI₅ 等级以一般为主; 2016~2019 年各湖区整体呈向好趋势, 东北湖湖区水质改善明显; 2011~2019 年主湖湖区水质状况波动最为显著, 南湖湖区相较于其他湖区水质污染情况最为严重。

(3) 从影响因素来看, 2011~2019 年鄱阳湖湖区主要超标指标为 TP、TN、NH₄⁺-N 和高锰酸盐指数; “十二五”期间鄱阳湖受到化工企业及农业面源的污染影响较为严重, “十三五”期间城镇居民生活对水质的影响作用呈逐年上升趋势。

参考文献:

- [1] 刘恋, 王国英. 鄱阳湖水环境质量及主要污染物变化趋势分析[J]. 水文, 2016, 36(3): 61-64, 96.
Liu L, Wang G Y. Trend analysis of water quality and main pollutants in Poyanghu Lake[J]. Journal of China Hydrology, 2016, 36(3): 61-64, 96.
- [2] 钱奎梅, 刘霞, 陈宇炜. 鄱阳湖丰水期着生藻类群落空间分布特征[J]. 湖泊科学, 2021, 33(1): 102-110.
Qian K M, Liu X, Chen Y W. Spatial distribution characteristics of periphytic algae community of Lake Poyang in the high water level phase[J]. Journal of Lake Sciences, 2021, 33(1): 102-110.
- [3] 任琼, 佟光臣, 张金池. 鄱阳湖区域景观格局动态变化研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(3): 94-100.
Ren Q, Tong G C, Zhang J C. Dynamics of Poyang Lake watershed landscape pattern[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2016, 40(3): 94-100.
- [4] 游清徽, 王硕, 孙晨松, 等. 基于大型底栖无脊椎动物的鄱阳湖湿地水质评价[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(6): 1570-1576.
You Q H, Wang S, Sun C S, et al. Bioassessment of water quality in Poyang Lake wetland using benthic macroinvertebrate-based Margalef index[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2021, 27(6): 1570-1576.
- [5] 李荣昉, 张颖. 鄱阳湖水质时空变化及其影响因素分析[J]. 水资源保护, 2011, 27(6): 9-13, 18.
Li R F, Zhang Y. Analysis of spatial and temporal variation of water quality and its influencing factors in Poyang Lake[J]. Water Resources Protection, 2011, 27(6): 9-13, 18.
- [6] 吴召仕, 张路, 刘宝贵, 等. 鄱阳湖丰水期水体中叶绿素 a 含量空间分布及其与环境因子的关系[J]. 湿地科学, 2014, 12(3): 286-292.
Wu Z S, Zhang L, Liu B G, et al. Spatial distribution of chlorophyll a in Poyang Lake during wet season and its relationship with environmental factors[J]. Wetland Science, 2014, 12(3): 286-292.
- [7] 陈晓玲, 张媛, 张琰, 等. 丰水期鄱阳湖水体中氮、磷含量分布特征[J]. 湖泊科学, 2013, 25(5): 643-648.
Chen X L, Zhang Y, Zhang L, et al. Distribution characteristic of nitrogen and phosphorus in Lake Poyang during high water period[J]. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(5): 643-648.
- [8] 胡春华, 周文斌, 王毛兰, 等. 鄱阳湖氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养化评价[J]. 湖泊科学, 2010, 22(5): 723-728.
Hu C H, Zhou W B, Wang M L, et al. Inorganic nitrogen and phosphate and potential eutrophication assessment in Lake Poyang[J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(5): 723-728.
- [9] 王毛兰, 周文斌, 胡春华. 鄱阳湖区水体氮、磷污染状况分析[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 334-338.
Wang M L, Zhou W B, Hu C H. Status of nitrogen and phosphorus in waters of Lake Poyang Basin[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(3): 334-338.
- [10] Wu Z S, Cai Y J, Zhang L, et al. Spatial and temporal heterogeneities in water quality and their potential drivers in Lake Poyang (China) from 2009 to 2015[J]. Limnologia, 2018, 69: 115-124.
- [11] 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.
- [12] 郭晶, 王丑明, 黄代中, 等. 洞庭湖水污染特征及水质评价[J]. 环境化学, 2019, 38(1): 152-160.
Guo J, Wang C M, Huang D Z, et al. Pollution characterization and water quality assessment of Dongting Lake[J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(1): 152-160.
- [13] 孙悦, 李再兴, 张艺冉, 等. 雄安新区白洋淀冰封期水体污染特征及水质评价[J]. 湖泊科学, 2020, 32(4): 952-963.
Sun Y, Li Z X, Zhang Y R, et al. Water pollution characteristics and water quality evaluation during the freezing period in Lake Baiyangdian of Xiong'an New Area[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(4): 952-963.
- [14] Li B, Yang G S, Wan R R. Multidecadal water quality deterioration in the largest freshwater lake in China (Poyang Lake): implications on eutrophication management[J]. Environmental Pollution, 2020, 260, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114033.
- [15] 王兆夺, 崔利芳, 邓利欢, 等. 鄱阳湖口石钟山岩崖壁上记载的水位变化初探[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(9): 45-49.
Wang Z D, Cui L F, Deng L H, et al. Preliminary study on the change of water level recorded on the cliff of Shizhongshan rock in Poyang Lake[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2020, 37(9): 45-49.
- [16] 王子为, 林佳宁, 张远, 等. 鄱阳湖入湖河流氮磷水质控制限值研究[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1163-1169.
Wang Z W, Lin J N, Zhang Y, et al. Water quality limits of nitrogen and phosphorus in the inflow rivers of Poyang Lake[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(5): 1163-1169.
- [17] 刘聚涛, 温春云, 韩柳, 等. 2012—2017 年鄱阳湖水位变化与氮磷响应特征研究[J]. 环境污染与防治, 2020, 42(10): 1274-1279.
Liu J T, Wen C Y, Han L, et al. Study on the response characteristics of nitrogen and phosphorus to water level change of Poyang Lake during 2012-2017[J]. Environmental Pollution and Control, 2020, 42(10): 1274-1279.
- [18] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [19] 生态环境部. 地表水环境质量评价办法(环办[2011]22 号)[R]. 北京: 环境保护部, 2011.
- [20] 陆建忠, 崔肖林, 陈晓玲. 基于综合指数法的鄱阳湖流域水资源安全评价研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(2): 212-218.
Lu J Z, Cui X L, Chen X L. Assessment of water resource security in Poyang Lake watershed based on composite index method[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,

- 2015, **24**(2): 212-218.
- [21] 王燕, 刘彦斌, 赵红雪, 等. 宁夏沙湖水水质评价及水污染特征[J]. 湿地科学, 2020, **18**(3): 362-367.
Wang Y, Liu Y B, Zhao X H, *et al.* Water quality assessment and characteristics of water pollution of sand lake in Ningxia[J]. Wetland Science, 2020, **18**(3): 362-367.
- [22] 蒋火华, 朱建平, 梁德华, 等. 综合污染指数评价与水质类别判定的关系[J]. 中国环境监测, 1999, **15**(6): 46-48.
Jiang H H, Zhu J P, Liang D H, *et al.* The relationship between comprehensive pollution index assessment and water quality type distinguishing[J]. Environmental Monitoring in China, 1999, **15**(6): 46-48.
- [23] 代晓颖, 徐栋, 武俊梅, 等. 2015-2019 年武汉市湖泊水质时空变化[J]. 湖泊科学, 2021, **33**(5): 1415-1424.
Dai X Y, Xu D, Wu J M, *et al.* Spatiotemporal variations of water quality of lakes in Wuhan from 2015 to 2019[J]. Journal of Lake Sciences, 2021, **33**(5): 1415-1424.
- [24] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, **18**(5): 47-49.
Wang M C, Liu X Q, Zhang J H. Evaluate method and classification standard on lake eutrophication[J]. Environmental Monitoring in China, 2002, **18**(5): 47-49.
- [25] 章筱悦, 李洁, 孙寓姣, 等. 永定河北京段基于模糊数学的水体富营养化评价[J]. 环境工程, 2022, **40**(5): 117-122.
Zhang X Y, Li J, Sun Y J, *et al.* Eutrophication evaluation of Yongding River (Beijing section) based on fuzzy mathematics[J]. Environmental Engineering, 2022, **40**(5): 117-122.
- [26] 邹伟, 朱广伟, 蔡永久, 等. 综合营养状态指数(TLI)在夏季长江中下游湖库评价中的局限及改进意见[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(1): 36-47.
Zou W, Zhu G W, Cai Y J, *et al.* The limitations of comprehensive trophic level index (TLI) in the eutrophication assessment of lakes along the middle and lower reaches of the Yangtze River during summer season and recommendation for its improvement[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, **32**(1): 36-47.
- [27] 刘玲花, 吴雷祥, 吴佳鹏, 等. 国外地表水水质指数评价法综述[J]. 水资源保护, 2016, **32**(1): 86-90, 96.
Liu L H, Wu L X, Wu J P, *et al.* Review on surface water quality index assessment method in foreign countries[J]. Water Resources Protection, 2016, **32**(1): 86-90, 96.
- [28] 毕业亮, 王华彩, 夏兵, 等. 雨源型城市河流水污染特征及水质联合评价: 以深圳龙岗河为例[J]. 环境科学, 2022, **43**(2): 782-794.
Bi Y L, Wang H C, Xia B, *et al.* Pollution characterization and comprehensive water quality assessment of rain-source river: a case study of the Longgang River in Shenzhen[J]. Environmental Science, 2022, **43**(2): 782-794.
- [29] 刘鸿志, 王光镇, 马军, 等. 黄河流域水质和工业污染源研究[J]. 中国环境监测, 2021, **37**(3): 18-27.
Liu H Z, Wang G Z, Ma J, *et al.* Water quality status and industrial pollution sources in the Yellow River Basin[J]. Environmental Monitoring in China, 2021, **37**(3): 18-27.
- [30] Perrin J L, Salles C, Bancon-Montigny C, *et al.* Comparison of index systems for rating water quality in intermittent rivers[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2018, **190**(2), doi: 10.1007/s10661-017-6396-2.
- [31] Huang J L, Ho M, Du P F. Assessment of temporal and spatial variation of coastal water quality and source identification along Macau peninsula[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2011, **25**(3): 353-361.
- [32] 黄金良, 黄亚玲, 李青生, 等. 流域水质时空分布特征及其影响因素初析[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1098-1107.
Huang J L, Huang Y L, Li Q S, *et al.* Preliminary analysis of spatiotemporal variation of water quality and its influencing factors in the Jiulong River watershed[J]. Environmental Science, 2012, **33**(4): 1098-1107.
- [33] 李慧明, 候林丽, 徐鹏. 不同水质指数法在峡江水库水质评价中的应用[J]. 人民长江, 2020, **51**(S2): 32-36, 87.
Li H M, Hou L L, Xu P. Application of various water quality index methods in water quality evaluation of Xiajiang Reservoir[J]. Yangtze River, 2020, **51**(S2): 32-36, 87.
- [34] 刘志刚, 倪兆奎. 鄱阳湖发展演变及江湖关系变化影响[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(5): 1265-1273.
Liu Z G, Ni Z K. The rules and the effects of varying river-lake relationships on the evolution of Poyang Lake[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, **35**(5): 1265-1273.
- [35] 张琰, 陈晓玲, 张媛, 等. 水文地貌分区下鄱阳湖丰水期水质空间差异及影响机制[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(10): 2637-2645.
Zhang L, Chen X L, Zhang Y, *et al.* Spatial distribution of water quality and its impacting factor in the wet season of Poyang Lake using the hydro-geomorphological partitions[J]. China Environmental Science, 2014, **34**(10): 2637-2645.
- [36] 方娜, 刘玲玲, 游清徽, 等. 不同尺度土地利用方式对鄱阳湖湿地水质的影响[J]. 环境科学, 2019, **40**(12): 5348-5357.
Fang N, Liu L L, You Q H, *et al.* Effects of land use types at different spatial scales on water quality in Poyang Lake wetland[J]. Environmental Science, 2019, **40**(12): 5348-5357.
- [37] 陆瑶, 高扬, 贾珺杰, 等. 鄱阳湖流域多尺度 C、N 输送通量及其水质参数变化特征[J]. 环境科学, 2019, **40**(6): 2696-2704.
Lu Y, Gao Y, Jia J J, *et al.* C and N transport flux and associated changes of water quality parameters from a multiscale subtropical watershed in the Poyang Lake area[J]. Environmental Science, 2019, **40**(6): 2696-2704.
- [38] Lei X Y, Gao L, Wei J H, *et al.* Contributions of climate change and human activities to runoff variations in the Poyang Lake Basin of China[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2021, **123**, doi: 10.1016/j.pce.2021.103019.
- [39] 杜冰雪, 徐力刚, 张杰, 等. 鄱阳湖富营养化时空变化特征及其与水位的关系[J]. 环境科学研究, 2019, **32**(5): 795-801.
Du B X, Xu L G, Zhang J, *et al.* The spatial-temporal characteristics of eutrophication in Poyang Lake and its relationship with the water level[J]. Research of Environmental Sciences, 2019, **32**(5): 795-801.
- [40] 赵爽, 倪兆奎, 黄冬凌, 等. 基于 WQI 法的鄱阳湖水水质演变趋势及驱动因素研究[J]. 环境科学学报, 2020, **40**(1): 179-187.
Zhao S, Ni Z K, Huang D L, *et al.* Evolution of water quality of Poyang Lake using WQI method and driving factors identification[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, **40**(1): 179-187.
- [41] 王朔月, 高扬, 陆瑶, 等. 鄱阳湖多尺度流域磷源输送特征及其生态效应[J]. 环境科学, 2020, **41**(7): 3186-3193.
Wang S Y, Gao Y, Lu Y, *et al.* Transport characteristics of phosphorus sources at the multi-scale watershed and the associated ecological effects on Poyang Lake[J]. Environmental Science, 2020, **41**(7): 3186-3193.
- [42] 许海, 陈洁, 朱广伟, 等. 水体氮、磷营养盐水平对蓝藻优势形成的影响[J]. 湖泊科学, 2019, **31**(5): 1239-1247.

- Xu H, Chen J, Zhu G W, *et al.* Effect of concentrations of phosphorus and nitrogen on the dominance of cyanobacteria[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, **31**(5): 1239-1247.
- [43] 陈泽恺. 鄱阳湖着生藻类分布格局及其与环境相关性的研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2019.
- Chen Z K. Distribution pattern of periphytic algae and correlation to its environmental factors in the Poyang Lake[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2019.
- [44] 简敏菲, 李玲玉, 徐鹏飞, 等. 鄱阳湖-乐安河湿地水土环境中重金属污染的时空分布特征[J]. *环境科学*, 2014, **35**(5): 1759-1765.
- Jian M F, Li L Y, Xu P F, *et al.* Spatiotemporal variation characteristics of heavy metals pollution in the water, soil and sediments environment of the Lean River-Poyang Lake wetland[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(5): 1759-1765.
- [45] 刘婉清, 倪兆奎, 吴志强, 等. 江湖关系变化对鄱阳湖沉积物重金属分布及生态风险影响[J]. *环境科学*, 2014, **35**(5): 1750-1758.
- Liu W Q, Ni Z K, Wu Z Q, *et al.* Influence of the river-lake relation change on the distribution of heavy metal and ecological risk assessment in the surface sediment of Poyang Lake[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(5): 1750-1758.

环境科学

CONTENTS

Temporal and Spatial Evolution Pattern of PM _{2.5} and Its Influencing Factors in Guanzhong Plain Urban Agglomeration	ZHANG Jun, JIN Zi-han, WANG Yue, <i>et al.</i>	(5333)
Linkage Effect and Nonlinear Impact of PM _{2.5} Concentration Driving Factors in Central Plains Urban Agglomeration	ZHOU Zhi-heng, ZHOU Ting-gang, QIN Ning	(5344)
Analysis of Spatiotemporal Distribution Characteristics and Influencing Factors of PM _{2.5} and O ₃ in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration, China	LIU Xian-zhao, ZHANG Guo-qiao, YANG Wen-tao, <i>et al.</i>	(5354)
Chemical Composition and Source Apportionment of PM _{2.5} in Zhangye City	PAN Cheng-ke, HUANG Tao, GAO Hong, <i>et al.</i>	(5367)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of PM _{2.5} Heavy Metals in Tianjin and Qingdao in Winter of 2018-2019	ZHAO Ming-sheng, REN Li-hong, LI Gang, <i>et al.</i>	(5376)
Concentration, Solubility, and Sources of Metal Elements in Atmospheric Precipitation in Qingdao	KONG Ling-dong, QI Jian-hua, ZHANG Xu	(5387)
Trends of Ozone Pollution in Guanzhong Urban Agglomeration from 2015 to 2021	ZHAO Wei, WANG Shuo, PANG Xiao-die, <i>et al.</i>	(5399)
Pollution Characteristics of Ozone and Its Precursors in Background Region of Hainan Province	XIE Wen-jing, XING Qiao, XIE Dong-hai, <i>et al.</i>	(5407)
Identification of Ozone Formation Mechanism Long-term Spatio-temporal Evolutions in PRD Based on Two-dimensional Mutual Verification	YANG Lei-feng, XIE Dan-ping, YANG Jun, <i>et al.</i>	(5421)
Characteristics and Source Apportionment of Ambient Summer Volatile Organic Compounds in Zhengzhou, China	QI Yi-jin, WANG Ling-ling, NI Jing-wei, <i>et al.</i>	(5429)
Summer Pollution Characteristics and Sources of Volatile Organic Compounds in Lanzhou	YANG Yan-ping, CHEN Qiang, MENG Xian-hong, <i>et al.</i>	(5442)
Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs in an Underground Parking Garage	LIU Yan, YANG Ning, SUN Lu-na, <i>et al.</i>	(5453)
Chemical Characterizations of Particles from Direct-injection Gasoline Vehicles	LI Jia-chen, GE Yun-shan, WANG Hao-hao, <i>et al.</i>	(5464)
Scenario Simulation and Prediction of Greenhouse Gas Emissions from Incineration of Solid Waste	YAN Wei, LIU Shu-le, WU Zheng-fang, <i>et al.</i>	(5470)
Distribution, Sources, and Export of the (Sub-) Metal Elements in the Changjiang River	LIU Jia-ming, WU Wen-tao, LIU Xiao-tian, <i>et al.</i>	(5478)
Analysis of Nitrogen and Phosphorus Pollution and Nitrogen Sources in the Lancang River	GUO Shu-fang, CHEN An-qiang, XI Bin, <i>et al.</i>	(5491)
Transformation Relationship of Groundwater and River Water in Riparian Wetland During Water and Sediment Regulation of Xiaolangdi Reservoir in Yellow River	XIAO Chun-yan, LIU Yi-fan, ZHAO Tong-qian, <i>et al.</i>	(5499)
Spatiotemporal Variation in Water Quality of Modaomen Waterway Conveyance Reservoir Drinking Water Sources	ZHANG Kun-feng, CHANG Sheng, ZHANG Qi, <i>et al.</i>	(5509)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of PPCPs in Typical Drinking Water Sources in the Middle Reaches of the Yangtze River During the COVID-19 Pandemic	FAN Yue-ting, CHANG Sheng, ZHANG Kun-feng, <i>et al.</i>	(5522)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of PAHs and PCBs in Surface Water and Sediments in Middle and Upper Reaches of Beiji River	CHANG Sheng, BAI Yun-song, TU Xiang, <i>et al.</i>	(5534)
Hydrochemical Characteristics and Fluorine Distribution and Causes of Different Water Bodies in Pingshuo Mining Area	SUN Long, LIU Ting-xi, DUAN Li-min, <i>et al.</i>	(5547)
Characteristics of Dissolved Organic Matters and Their Influence on Labile Cadmium Release from Soils of Typical Water Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir	ZHANG Bao-hao, WU Ya-zun, XU Dong-yu, <i>et al.</i>	(5560)
Phosphorus Cycling in a Sediment-water System Controlled by Different Dissolved Oxygen Levels of Overlying Water	LIU Xiao-tian, LIU Jun, WANG Yi-bin, <i>et al.</i>	(5571)
Water Quality Evolution Characteristics and Pollution Factor Analysis in Poyang Lake from 2011 to 2019	XIE Hui-yu, HU Mei, JI Xiao-yan, <i>et al.</i>	(5585)
Distribution and Risk Assessment on the Nutrients and Heavy Metals in Surface Sediments of Wuliangsu Lake	DU Cai-li, LI Jia-xi, LI Guo-wen, <i>et al.</i>	(5598)
Effect and Mechanism of Biochar Adsorption on Unbiodegradable Organic Nitrogen in Stormwater Runoff	SU Zeng-hui, SUN Ping, CHEN You-yuan, <i>et al.</i>	(5608)
Phytoplankton Community Structures and Their Relationship with Environmental Factors in Rivers Supplied with Different Water Sources	HOU Ying, LI Xin, BAI Ling, <i>et al.</i>	(5616)
Adsorption of Typical Quinolone Antibiotics by Manganese Oxide-Modified Biochar Substrate and Its Application in CWs	GAO Hui-zi, TIAN Wei-jun, ZHANG Zi-yu, <i>et al.</i>	(5627)
Effect of KOH Activation on the Properties of Biochar and Its Adsorption Behavior on Tetracycline Removal from an Aqueous Solution	XU Jin, MA Yi-fan, YAO Guo-qing, <i>et al.</i>	(5635)
Preparation of Modified Attapulgite-supported Iron Sulfide and Its Adsorption Mechanism for Mo(VI)	LIAN Jian-jun, WU Hong-yan, YE Tian-ran, <i>et al.</i>	(5647)
Removal of Cr(VI) from Water Using Green Synthesis Nanoscale Zero-Valent Iron Supported on <i>Eucalyptus</i> Biochar	LIU Qin-wen, DING Ai-zhong, LIANG Xin, <i>et al.</i>	(5657)
Removal of Pb(II) and Zn(II) from Wastewater via Magnesium-Modified Diatomite Product Recovering Nitrogen and Phosphorus	WU Ying-qiu, XIA Peng, LI Yuan, <i>et al.</i>	(5667)
Adsorption of Methylene Blue on Sodium-Modified Bentonite from Southern Part of Henan	CHENG Fei-peng, YANG Dong-liang, CHANG Le, <i>et al.</i>	(5676)
Compound Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Soil and Groundwater of Typical Industrial Lands in Shanghai	LI Xiao-man, LI Qing-qing, YANG Jie, <i>et al.</i>	(5687)
Pollution Evaluation and Quantitative Traceability Analysis of Heavy Metals in Farmland Soils Around the Gangue Heap of a Coal Mine in Chongqing	MA Jie, LIU Ping, LIU Jin-zhao, <i>et al.</i>	(5698)
Species Distribution and Source Analysis of Heavy Metals in Surrounding Soil Around Typical Petroleum Sites	GONG Jian, HE Lian-sheng, LI Qiang, <i>et al.</i>	(5710)
Source Analysis of Heavy Metals in Farmland Soil Around a Waste Incineration Plant Based on PMF Model	ZHANG Tian-yu, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i>	(5718)
Ecological and Health Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Farmland Soil of Xianghe County	CHEN Yu-jia, QU Xing-chen, ZHANG Bin, <i>et al.</i>	(5728)
Comparison of the Concentrations, Sources, and Distributions of Heavy Metals in Topsoils of the Junction Zone of Geological Tectonic Units: A Case Study in Chengkou County, China	LIU Yong-lin, WU Mei, LIU Rui, <i>et al.</i>	(5742)
Occurrence, Source Analysis, and Health Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Plants and Soils from Typical Areas of Xinjiang, China	YANG Bei-chen, XIE Qi-lai, ZHENG Qian, <i>et al.</i>	(5751)
Effects of Strengthening <i>Pennisetum purpureum</i> Schumacher with Fertilizer Application Strategy on Remediation of Severely Cadmium-polluted Farmland	WU Gang-fan, ZHOU Hang, TANG Qi, <i>et al.</i>	(5761)
Tobacco Stem Biochar and Phosphate Application Decrease Wheat Grain Cadmium Accumulation in Alkaline Soils	YANG Yan-zheng, ZHANG Yin-ge, LI Chang, <i>et al.</i>	(5769)
Polyamine-producing Bacteria Improve Cd Resistance and Reduce Uptake of Cd in Wheat	JI Ming-fei, WU Xue-jiao, LI Xiao-zhe, <i>et al.</i>	(5778)
Effect and Mechanism of Sulfate-Reducing Bacteria on the Passivation of Heavy Metals in Alkaline and Acidic Agricultural Soils	GAO Yu, LIU Yu-chen, GUO Xiao-fang, <i>et al.</i>	(5789)
Effects of <i>Bacillus megaterium</i> on Soil Physicochemical Properties and Its Effects on the Accumulation of Cd and Zn in Plant	WANG Ping, LI Yi-man, WANG Xue-jia, <i>et al.</i>	(5798)
Soil Fungal Community Structure and Function Diversity of Different Land Use Types in the Waterfront Area Along the Jialing River	ZHU Lan-ping, XU Fei, WANG Jia-ying, <i>et al.</i>	(5808)
Effect of Biochar Application on Biological Nitrogen Fixation in Double Cropping Paddy Field in Northern Hainan	ZHAO Yan, YUAN Xin-sheng, TANG Rui-jie, <i>et al.</i>	(5819)
Photodegradation Behaviors and Toxicity Characteristics of Trimethoprim into Different Environmental Media with the Presence of g-C ₃ N ₄	ZHU Na, WANG Xing-yang, JIAO Jun-heng, <i>et al.</i>	(5832)
Analysis of Provincial CO ₂ Emission Accounting in China Under the Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals	YANG Bai, QIN Guang-peng, WU Qin	(5840)
Temporal and Spatial Differences in Carbon Conduction and Prediction Effect of Land Type Transfer in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration	YANG Xu, LIU Xian-zhao	(5850)
Environmental Benefit Analysis of Municipal Solid Waste Typical Disposal Scenarios in Zhangjiagang City Based on Classification	ZHANG Tao, ZHENG Jun-wen, SUN Yu-can, <i>et al.</i>	(5861)