

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

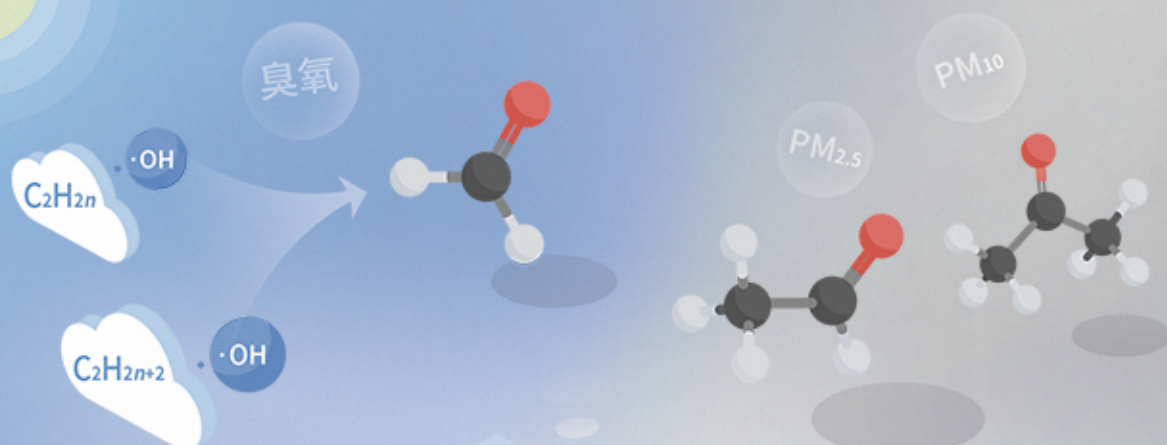
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

基于PMF和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析：以南京市观测为例
胡崑，王鸣，王红丽，景盛翱，陈文泰，卢兴东



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年1月

第42卷 第1期
Vol.42 No.1

目次

2019年国庆节前后北京气态氨和气溶胶铵盐浓度的同步观测	顾梦娜, 潘月鹏, 宋琳琳, 李萍, 田世丽, 武岳洋, 杨婷婷, 李浩洋, 石生伟, 吐莉尼沙, 吕雪梅, 孙倩, 方运霆(1)
基于无人机探空和数值模拟天津一次重污染过程分析	杨旭, 蔡子颖, 韩素芹, 史静, 唐颖潇, 姜明, 邱晓滨(9)
中原城市群典型城市秋冬季大气 PM _{2.5} 污染特征及溯源	苗青青, 姜楠, 张瑞芹, 赵孝因, 齐静文(19)
沈阳市冬季大气 PM _{2.5} 中水溶性离子污染特征及来源解析	王国祯, 任万辉, 于兴娜, 侯思宇, 张毓秀(30)
保定地区 PM _{2.5} 中重金属元素的污染特征及健康风险评价	雷文凯, 李杏茹, 张兰, 徐静, 赵文吉, 刘子锐(38)
基于 PMF 和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析:以南京市观测为例	胡崑, 王鸣, 王红丽, 景盛翔, 陈文泰, 卢兴东(45)
2019年天津市挥发性有机物污染特征及来源	高璟贇, 肖致美, 徐虹, 李立伟, 李鹏, 唐邈, 杨宁, 李源, 毕温凯, 陈魁(55)
柳州市春季大气挥发性有机物污染特征及源解析	刘齐, 卢星林, 曾鹏, 于爽(65)
天津市郊夏季的臭氧变化特征及其前体物 VOCs 的来源解析	罗瑞雪, 刘保双, 梁丹妮, 毕晓辉, 张裕芬, 冯银厂(75)
2017年春夏期间南京地区臭氧污染输送影响及潜在源区	谢放尖, 陆晓波, 杨峰, 李文青, 李洁, 谢轶嵩, 王艳, 刘益和, 王庆九, 胡建林(88)
2006~2019年珠三角地区臭氧污染趋势	赵伟, 高博, 卢清, 钟志强, 梁小明, 刘明, 马社霞, 孙家仁, 陈来国, 范绍佳(97)
大型石化企业邻近区域大气沉降中多环芳烃赋存特征及源解析	李大雁, 齐晓宝, 吴健, 黄沈发, 王敏, 沙晨燕, 沈城(106)
叶片大气颗粒物滞纳能力评估方法的定量对比	岳晨, 李广德, 席本野, 曹治国(114)
东江流域敌敌畏的排放量估算及归趋模拟	张冰, 张芊芊, 应光国(127)
松花江哈尔滨段及阿什河抗生素的分布规律与生态风险评估	杨尚乐, 王旭明, 王伟华, 胡雪莹, 高立伟, 孙兴滨(136)
东北小兴凯湖沉积物 POPs 污染特征及生态风险评估	李慧, 李捷, 宋鹏, 程云轩, 焦立新, 杨亚铮(147)
河南省地表水源中 PPCPs 分布及生态风险评估	周颖, 吴东海, 陆光华, 姚晶晶, 魏磊, 韩枫(159)
无锡-常州地下水中内分泌干扰物的赋存特征和健康风险评估	王淑婷, 饶竹, 郭峰, 刘成海, 战楠, 王娅南, 彭洁, 杨鸿波(166)
清江流域地表水重金属季节性分布特征及健康风险评估	刘昭, 周宏, 曹文佳, 刘伟, 兰圣涛(175)
会仙岩溶湿地丰平枯时期地下水金属元素污染与健康风险	李军, 赵一, 邹胜章, 蓝美宁, 樊连杰, 谢浩, 秦月, 朱丹尼(184)
三峡库区城镇化影响下河流 DOM 光谱特征季节变化	陈昭宇, 李思悦(195)
不同植物覆盖下黄河三角洲湿地土壤中微塑料的分布	岳俊杰, 赵爽, 程昊东, 段鑫越, 石洪华, 汪磊, 端正花(204)
基于宏基因组学探讨东平湖水库的菌群结构、耐药基因谱及其公共健康风险	张红娜, 崔娜, 申红妙(211)
分层型水库藻类季相演替的细菌种群驱动机制	闫苗苗, 张海涵, 黄廷林, 宗容容, 刘凯文, 苗雨甜, 杨尚业, 黄鑫, 王娜(221)
丹江口库区浮游真菌组成与功能及其影响因素	郑保海, 王晓宇, 李英军, 陈彦, 李百炼, 李玉英, 陈兆进(234)
太湖出流河道藻颗粒变化及其水质效应	郭宇龙, 许海, 陈旭清, 郑建中, 詹旭, 朱广伟, 朱梦圆(242)
石盘丘小流域不同土地利用方式下土壤氮磷流失形态及通量	邓华, 高明, 龙翼, 黎嘉成, 王莹燕, 王子芳(251)
前期干旱天数对生物滞留系统除氮性能的影响	陈焱, 李欣芮, 郑爽, 刘臻, 余雪花, 程启洪(263)
浒苔生物炭对雨水径流中氨氮的吸附特性及吸附机制	陈友媛, 李培强, 李闲驰, 孙萍, 赵新月, 李洁, 李晋, 辛至然(274)
填料对潮汐流人工湿地中 CANON 作用强化的影响	刘冰, 郑煜铭, 秦会安, 古励(283)
FeMnNi-LDHs 对水中 As(Ⅲ) 的吸附性能与机制	廖玉梅, 余杰, 魏世强, 蒋珍茂(293)
硝酸钙添加和铅改性膨润土覆盖联用控制底泥中磷释放的效果及机制	张宏华, 林建伟, 詹艳慧, 俞阳, 张志斌(305)
某市污水厂抗生素和抗生素抗性基因的分布特征	颜亚玮, 於驰晟, 李菲菲, 姚鹏城, 刘宏远(315)
不同污泥在微波预处理-厌氧消化过程中抗性基因分布及菌群结构演替	李慧莉, 武彩云, 唐安平, 佟娟, 魏源送(323)
天然富硒土地划定的富硒阈值	王惠艳, 曾道明, 郭志娟, 成晓梦, 彭敏, 孙跃(333)
融合自然-人为因子改进回归克里格对土壤镉空间分布预测	高中原, 肖荣波, 王鹏, 邓一荣, 戴伟杰, 刘楚藩(343)
南方典型水稻土镉(Cd)累积规律模拟	戴雅婷, 傅开道, 杨阳, 王美娥, 陈卫平(353)
闽西南土壤-水稻系统重金属生物可给性及健康风险	林承奇, 蔡宇豪, 胡恭任, 于瑞莲, 郝春莉, 黄华斌(359)
干湿交替灌溉制度下纳米修复材料对杂交水稻籽粒 Cd 累积及产量的影响	杨茹, 陈馨睿, 张颖, 崔俊义, 武立权, 马友华, 廖江, 何海兵(368)
三元复合调理剂对土壤镉赋存形态和糙米镉累积的调控效应	蒋毅, 刘雅, 辜娇峰, 杨世童, 曾雄, 王轩宁, 周航, 廖柏寒(378)
风化煤组配改良剂结合水分管理对水稻根际土壤与稻米甲基汞含量的影响	郑顺安, 吴泽赢, 杜兆林, 倪润祥, 姚启星(386)
不同施肥措施对水稻土壤微生物拮抗性的影响	郑开凯, 马志远, 孙波, 梁玉婷(394)
氮添加影响下新疆天山雪岭云杉林土壤酶活性及其与环境因子的相关性	张涵, 贡璐, 刘旭, 邵康, 李昕竹, 李蕊希(403)
黄土丘陵区撂荒农田土壤酶活性及酶化学计量变化特征	钟泽坤, 杨改河, 任成杰, 韩新辉(411)
生物炭对土壤酶活性和细菌群落的影响及其作用机制	冯慧琳, 徐辰生, 何欢辉, 曾强, 陈楠, 李小龙, 任天宝, 姬小明, 刘国顺(422)
植被恢复对刺萼龙葵根际土壤细菌群落结构与功能的影响	张瑞海, 宋振, 付卫东, 郭玲玲, 高金会, 王然, 王忠辉, 张国良(433)
黄壤稻田土壤微生物量碳氮及水稻品质对生物炭配施氮肥的响应	史登林, 王小利, 刘安凯, 侯再芬, 梁国太(443)
等碳量添加秸秆和生物炭对土壤呼吸及微生物量碳氮的影响	何甜甜, 王静, 符云鹏, 符新妍, 刘天, 李亚坤, 李建华(450)
秸秆与氮肥配比对农田土壤内外源碳释放的影响	孙昭安, 张轩, 胡正江, 王开永, 陈清, 孟凡乔(459)
生物炭与化肥混合对氨挥发和磷固定的影响	杨文娜, 邓正昕, 李娇, 郑杰炳, 王子芳, 高明(467)
氮肥减投条件下膜材料使用对稻田氨挥发排放的影响	俞映惊, 王梦凡, 杨根, 何世颖, 段婧婧, 杨林章, 薛利红(477)
微塑料对斑马鱼胚胎孵化影响及其在幼鱼肠道中的积累	赵佳, 饶本强, 郭秀梅, 高进勇(485)
无人机热红外支持下的城市微尺度热环境模拟	阳少奇, 冯莉, 田慧慧, 刘艳霞(492)
基于人居尺度的中国城市热岛强度时空变化及其驱动因子解析	孙艳伟, 王润, 郭青海, 高超(501)

太湖出流河道藻颗粒变化及其水质效应

郭宇龙^{1,2}, 许海², 陈旭清³, 郑建中⁴, 詹旭^{1*}, 朱广伟², 朱梦圆²

(1. 江南大学环境与土木工程学院, 无锡 214122; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 3. 无锡市蓝藻治理办公室, 无锡 214000; 4. 江苏省水文水资源勘测局无锡分局, 无锡 214000)

摘要: 河湖连通是保障城市水体水生态健康的一种常用工程手段, 但对于蓝藻水华严重的湖泊, 湖泊出流携带的藻团颗粒会对河道水质产生明显的影响。为了分析富营养化湖泊引水对受水河道水质的影响程度, 以太湖梅梁湾连通河道梁溪河为例, 连续 3a 开展夏季河道蓝藻颗粒通量及其水质的高频监测, 分析河道蓝藻水华颗粒物通量变化规律及其对河道水质的影响强度。结果表明: ①梅梁湾藻情的好转及河道入口加压抑藻井运行显著降低了梁溪河的叶绿素 a 浓度与藻颗粒通量, 2019 年夏季河道叶绿素 a 浓度与通量均值分别为 $54.34 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $84.7 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$, 显著低于 2017 年; ②连通河道调水工程对改善受水水体的水质效果显著, 除 DTP 外, 梁溪河其余各形态氮、磷浓度 2017~2019 年整体呈下降趋势, 说明调水工程将湖水外排后, 对梁溪河水质有一定改善效果; ③携带大量蓝藻水华颗粒物的湖水进入河道后, 显著增加了河道颗粒态氮、磷等营养盐含量, 2017~2019 年梁溪河水体中氮、磷均以 PN 和 PP 为主, 分别占 TN 和 TP 的 62.5% 和 70.8%; ④梅梁湾水体大量携带的藻颗粒未对连通的京杭大运河等其他河道产生水质影响, 2019 年 8 月京杭大运河水体中叶绿素 a 相较于 6 月下降了 65%, 说明蓝藻颗粒物未在运河中积累; ⑤在湖泊藻情未能得到有效改观的前提下, 调水携带的藻颗粒态会对连通河道局部河段水质和景观产生冲击。

关键词: 连通河道; 调水工程; 蓝藻水华; 颗粒态叶绿素 a; 颗粒态有机物交换通量

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)01-0242-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202005241

Changes in Algal Particles and Their Water Quality Effects in the Outflow River of Taihu Lake

GUO Yu-long^{1,2}, XU Hai², CHEN Xu-qing³, ZHENG Jian-zhong⁴, ZHAN Xu^{1*}, ZHU Guang-wei², ZHU Meng-yuan²

(1. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Wuxi Blue Algae Control Office, Wuxi 214000, China; 4. Wuxi Branch of Jiangsu Bureau of Hydrology and Water Resources, Wuxi 214000, China)

Abstract: Connected rivers are a common engineering method to ensure the ecological health of urban water. However, for the lakes with serious cyanobacteria blooms, the algal particles are carried by the outflow of the lake and will have a significant impact on water quality. The location at which the Liangxi river meets Meiliang Bay of Lake Taihu was selected to explore the influence of the eutrophic lake on the connected rivers, and high-frequency monitoring was conducted in summer for three consecutive years to analyze the changes in the flux of cyanobacterial bloom particles in rivers and their impact on river water quality. The results show that: ① The improvement of the algal cyanobacteria bloom in Meiliang Bay and the operation of the pressure-controlled algae well at the entrance of the river significantly reduced the concentration of chlorophyll a and the flux of algae particles in the Liangxi River. The average value of the concentration of chlorophyll a and the flux of algae particles in the river in summer 2019 were $54.34 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ and $84.7 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$, respectively, and significantly lower than those of 2017; ② Water diversion had a significant effect on improving the water quality of the receiving water. Except for DTP, the nitrogen and phosphorus concentrations of the remaining forms of the Liangxi River showed a downward trend from 2017 to 2019, indicating that the water quality of the Liangxi river improved after water transfer; ③ A large amount of cyanobacterial blooms entering the channel significantly increased the particulate nitrogen and phosphorus content of the water. From 2017 to 2019, the nitrogen and phosphorus in the Liangxi River were mainly PN and PP, accounting for 62.5% and 70.8% of TN and TP, respectively; ④ The water quality of the Beijing-Hangzhou Grand Canal and other connected rivers has not been affected by the algal particles in Meiliang Bay. In August 2019, the chlorophyll a content in the canal water decreased by 65% compared with that of June, indicating that cyanobacterial bloom particles have not accumulated in the Grand Canal; ⑤ On the premise that the cyanobacteria bloom in the lake has not been effectively improved, the algae particles carried by the water diversion will have an impact on the water quality and landscape of the local reach connecting the river.

Key words: connected rivers; water diversion project; cyanobacteria bloom; particulate chlorophyll a; exchange flux of particulate organic matter

收稿日期: 2020-05-23; 修订日期: 2020-07-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671494); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07203)

作者简介: 郭宇龙(1995~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湖泊生态, E-mail: 1617886008@qq.com

* 通信作者, E-mail: xuzhan@jiangnan.edu.cn

我国城市河网众多,湖泊河流水系较为发达.但近几十年来由于人类生产及水资源统筹调配和承载能力、河湖健康保障和水旱灾害防御等方面的问题,江河湖水系连通已经成为国家江河湖治理的重大需求^[1,2].为确保河湖水体健康,必须重新梳理河湖水系关系,进一步提升以水资源的可持续利用支撑经济社会可持续发展的能力^[3].而对于这种连通河道水质的改善,调水是一重要措施.引水调控工程治理湖泊富营养化研究始于 20 世纪 60 年代,中国和美国的小型富营养化湖泊均开展了相关研究^[4].如南水北调工程^[5-7]降低了沿线水源区藻类密度的水平,水质得到改善,在Ⅱ类水以上(TN 不参评);美国 Green 湖^[8]的引水工程显著降低了营养盐浓度水平和浮游植物含量,明显改善了湖体的富营养化状况.作为改善水质的应急措施,调水工程虽能够优化入湖水源结构,加快湖区水体交换^[9];但输出水源的湖泊若与受水水体水质差别大,会对连通河道水质及生态环境造成较大的风险,破坏了河流原有水生环境^[10].如底克索玛湖(Lake Texoma)与盐度较高的红河(Red River)相接导致底克索玛湖湖水的电导率较高(电导率 $1\,300 \sim 1\,500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$),进而导致当底克索玛湖湖水注入淡水湖莱温湖(电导率 $300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)时,莱温湖的电导率也相应升高^[11].

太湖的富营养化自梅梁湾开始并逐步扩大到整个西北太湖^[12].2007 年 5 月无锡水危机事件以来,江苏省管理部门果断开启梅梁河泵站,在原“引江济太”调水线路望虞河-东太湖-大浦河的基础上,又增加了望虞河-贡湖湾-梅梁湾-五里湖-梁溪河的调水线路,从而对太湖北部水体形成联合引调态势^[13].梅梁湾梁溪河排水工程将梅梁湾水体调入无锡市梁溪河,最后通过京杭大运河排出,既有效提升了梁溪河及无锡内河的水质,又能够有效降低梅梁湾水体蓝藻水华在北部滨岸带、风景区的大量堆积,是无锡市滨湖临城区水环境治理中的重要举措.然而,在蓝藻水华暴发期,梅梁湾内大量蓝藻水华颗粒物会随水流进入梁溪河,既影响了梁溪河的水面景观,也影响了梁溪河“水十条”国考、省考断面的达标,降低了梁溪河水利调度的生态环境效益^[10,14,15].

本文以“梅梁湾泵引”为背景,以梁溪河为研究对象,在夏季蓝藻水华期间开展河道蓝藻颗粒物及氮、磷等水质指标的逐日监测调查,结合同期流量和温度等因子数据,对比分析 2017~2019 年引水期梁溪河藻颗粒生物量时空动态变化特征及其对水质的影响,旨在为科学调水提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况与点位布设

梁溪河($\text{E}120^{\circ}14'22'' \sim 120^{\circ}17'47''$, $\text{N}31^{\circ}33'10'' \sim 31^{\circ}33'48''$)位于无锡市西北方向,是市区最大的内河,是沟通城区水系、京杭大运河、蠡湖和太湖的一条天然水体纽带,也是连接太湖和蠡湖的一条天然景观水道.作为梅梁湾主要的出入湖河道之一,梁溪河东至蠡桥,西至梅梁湾,沿线共有 21 条支浜,全长 7 km,平均水深 1.9 m,通过梁溪河船闸与太湖相通.1991 年,梁溪河在入湖口构建了犊山防洪控制工程,工程持续发挥挡污、防洪和引排水等作用,控制工程包括梁溪河节制闸、梁溪河船闸等,后来为了能引排水,另构建了 $50 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 泵水流量的梅梁湖泵站^[16].

本次监测集中在 2017~2019 年每年的 6~8 月展开,监测点位如图 1.沿梅梁湾入河口至京杭大运河共设置 10 个监测断面,分别为大渲桥(LXH1)、景宜桥(LXH2)、鸿桥(LXH3)、隐秀桥(LXH4)、蠡溪桥(LXH5)、青祁桥(LXH6)、蠡桥(LXH7)、梁韵桥(YH1)、盛新桥(YH2)和梁溪桥(YH3),其中景宜桥为逐日水质和藻类生物量通量监测.

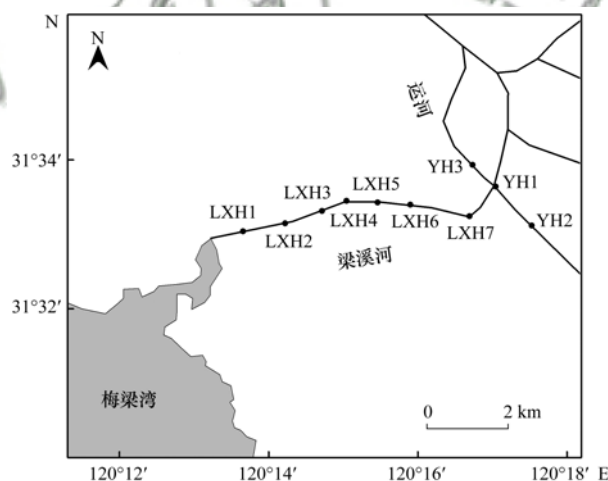


图 1 梁溪河采样点位示意

Fig. 1 Map of sampling sites of the Liangxi River

1.2 样品分析方法

由于泵水量和风向原因,蓝藻颗粒在水体表面易形成聚团、分层现象,因此在景宜桥断面使用长 1 m 和直径 20 cm 有机玻璃柱采集左、中、右水样并混合于桶中,分取水样,进行水质指标测定.

水体测定指标包括:总氮(TN)、总磷(TP)、溶解性总氮(DTN)、溶解性总磷(DTP)、氨氮(NH_4^+-N)、颗粒态氮(PN)、颗粒态磷(PP)及叶绿素 a,其中 TN 采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法^[17],加入过硫酸钾溶液消解,然后在 220 nm 和

275 nm 测定吸光度; TP 采用碱性过硫酸钾消解-钼锑抗显色分光光度法^[18]测定,加入过硫酸钾溶液消解,结束加入钼酸盐进行显色,接着在 700 nm 测定吸光度;氨氮(NH_4^+-N)采用 Skalar 流动注射光度法(荷兰 Skalar 公司, SAN^{++} 型)^[19]; 颗粒态氮(PN)和颗粒态磷(PP)分别为 TN 与 DTN 差值及 TP 与 DTP 差值;浮游植物叶绿素 a 含量则采用热乙醇提取法^[20].

1.3 河道水体颗粒态有机物交换通量估算

量取两份一定体积的原水并用 25 目浮游生物网过滤,用纯水冲洗滤网上颗粒藻转移至滤器后,一份用 GF/F 玻璃纤维滤膜过滤测定水中叶绿素 a 浓度,一份用 550℃ 烧过的已知质量的 GF/F 玻璃纤维滤膜测定藻颗粒干重,分别定义为颗粒态叶绿素 a [Chl-a(P)] 与颗粒态藻含量 W_{pa} .

根据颗粒态叶绿素 a 与藻颗粒含量两者线性回归分析,得到公式(1):

$$W_{\text{pa}} = 0.0003 \times \text{Chl-a(P)} + 0.02 \quad (1)$$

$$(R^2 = 0.96)$$

式中, W_{pa} 指颗粒态藻的含量 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$); Chl-a(P) 指颗粒态叶绿素 a 浓度 ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$). 再结合梅梁湾每日排入梁溪河水流量,可得到梅梁湾逐日排入梁溪河藻通量计算公式(2):

$$A_{\text{f}} = W_{\text{pa}} \times V \times 24 \times 60 \times 60 \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中, A_{f} 指梅梁湾每日排入梁溪河藻干重通量 ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$); V 指泵站排入梁溪河水流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

1.4 数据获取及处理

太湖湖泊生态系统观测站 2015 年以来逐月对环太湖 15 条河道水体碳、氮、磷等主要营养盐实施监测. 从该站获得 2017~2019 年 15 条主要河道 1~12 月氮、磷营养盐指标的逐月值,用以比较梁溪河的藻颗粒含量与营养盐水平状况.

监测期间的逐日梅梁湖泵站调水量数据来自江苏省水文水资源勘测局无锡分局. 所有数据的处理和制图等采用 Excel 2019、SPSS 17 和 Origin 8 等软件进行.

2 结果与分析

2.1 梅梁湾与梁溪河每日藻类颗粒物交换通量

2017~2019 年每年 6~8 月梅梁湾排入梁溪河水量如表 1. 梅梁湖泵站设计流量 $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 3a 泵站平均引水流量分别为 32.33、20.45 和 $25.82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 共计调水 $6.28 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占太湖平均年出湖径流量的 8.3%.

梁溪河口颗粒态叶绿素 a 浓度及梅梁湾和梁溪河每日藻类颗粒物交换通量如图 2. 3 a 内梁溪河颗

粒态叶绿素 a 变化幅度大,于 2018 年 6 月 25 日与 7 月 29 日达到最低值、最高值,浓度分别为 $0.85 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $554.13 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 梁溪河入河口锦园藻水分离站加压控藻技术的实施,颗粒态叶绿素 a 整体呈下降趋势,3 a 均值为 58.79、38.45 和 $54.34 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,与同期平均水流量变化一致,初步说明藻颗粒浓度与入河水量同步变化.

表 1 2017~2019 年夏季 梅梁湾排入梁溪河水量状况

Table 1 Water discharge of Meiliang Bay into Liangxi River in summer of 2017-2019

年份	流量均值/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	总水量 $\times 10^8/\text{m}^3$
2017	32.33	2.60
2018	20.45	1.63
2019	25.82	2.05

在湖泊藻情严重情况下,梁溪河与梅梁湾藻类颗粒物交换通量巨大. 2017~2019 年藻颗粒干重通量均值分别为 104.7、57.4 和 $84.7 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$, 2019 年相对 2017 年下降了 19%. 根据相关资料,无锡市近年来蓝藻打捞量约为每年平均 50 000 t 藻泥,按照 85% 含水率计算,3 a 内排入藻泥分别为 64 889、35 207 和 51 958 t,则 2017 年排入梁溪河的藻颗粒干重通量比无锡市全年的蓝藻打捞量还多,2018 年排入梁溪河的藻颗粒干重通量占全年蓝藻打捞量的 70%,而 2019 年排入梁溪河的藻颗粒干重通量与全年打捞量相当. 2017~2019 年梅梁湾排入梁溪河藻颗粒通量与同期梅梁湾泵站泵水量的变化一致,说明梅梁湾每日以不同流速向梁溪河排水改善水质的同时,对受水水体也造成高藻通量的冲击.

2.2 太湖主要环湖河道水质对比分析

2017~2019 年每年 6~8 月梁溪河与环太湖 15 条河道营养盐的对比情况如图 3.

就 TN 而言,各个出流河道之间差异较小. 位于梅梁湖上游的直湖港污染相对较为严重,太浦河浓度最低,均值为 $1.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 梁溪河浓度在 2017~2019 年下降 40%, 2018~2019 年增长 16%,整体呈下降趋势,说明梁溪河 TN 污染逐渐好转. 与环太湖主要出流河道相比,梁溪河浓度均值为 $3.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,与环湖河道浓度均值相当.

环太湖河道及梁溪河 DTN 差异较大. 梁溪河、望虞河与太浦河浓度均值处于较低水平,均值分别为 1.26、1.05 和 $1.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 位于太湖西北部的太浦运河,污染最严重,其浓度均值高出梁溪河约 68%. 相对于环太湖河道,梁溪河在 3 a 内变化幅度不大,浓度比环湖河道低 55%. 梁溪河 NH_4^+-N 浓度在 3 a 内连续下降,2019 年较 2017 年下降 74%,均值为 $0.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,与梁溪河相比,环湖河道高出梁

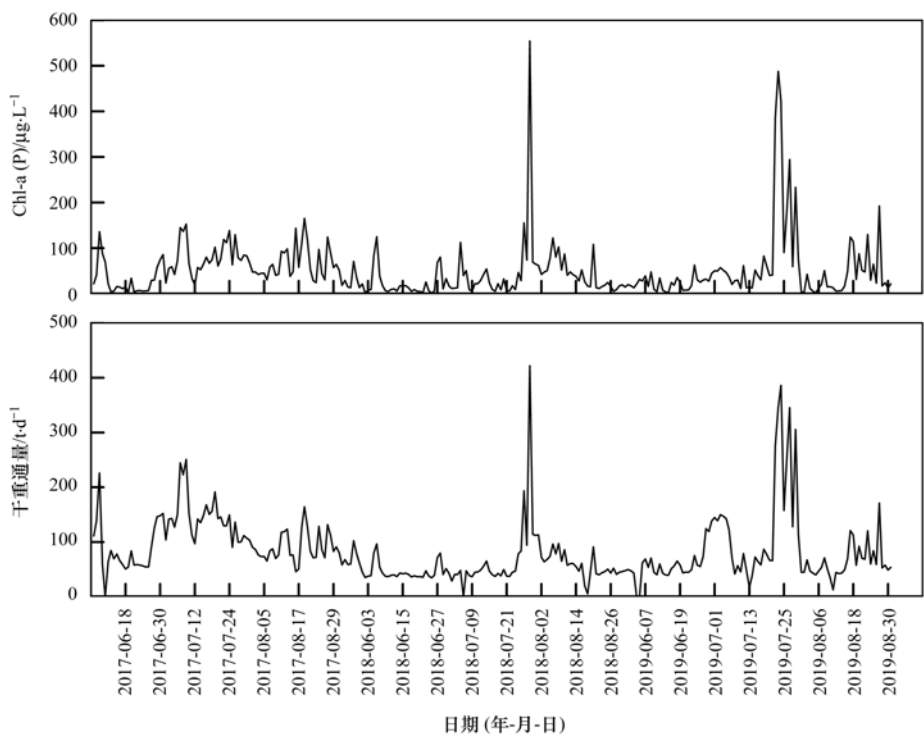


图2 梁溪河颗粒态叶绿素 a 及藻通量日变化

Fig. 2 Daily variation of granular chlorophyll a and the algal flux in the Liangxi River

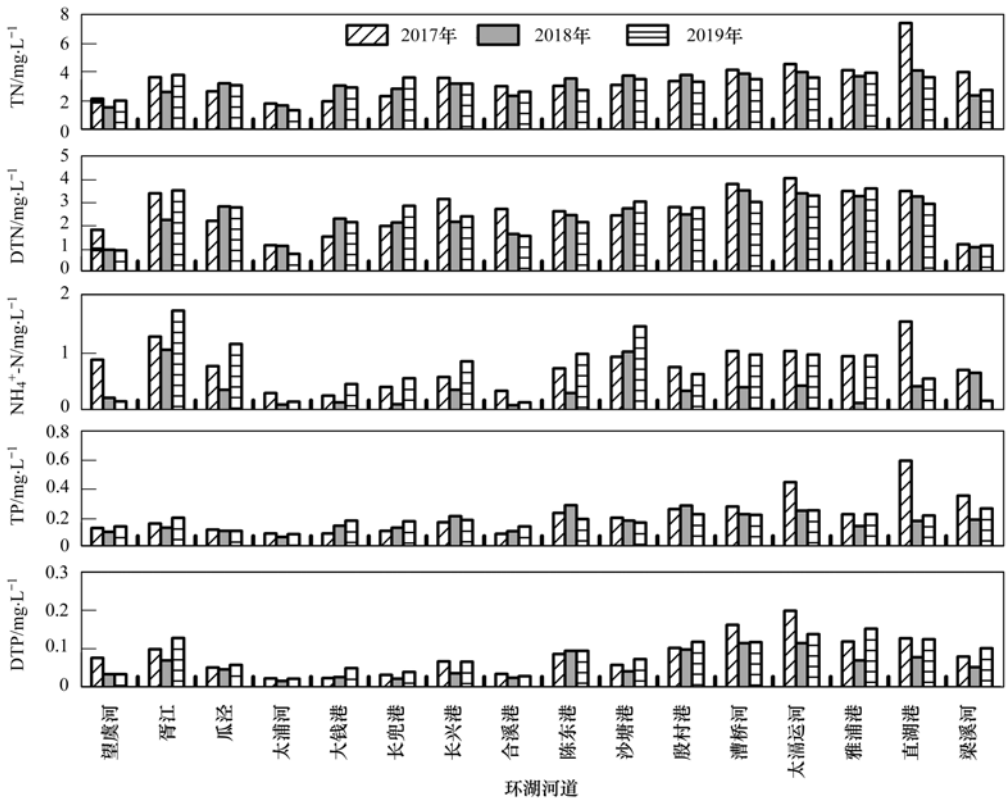


图3 梁溪河与环湖河道的氮、磷浓度

Fig. 3 N and P concentrations between the Liangxi River and rivers around Taihu Lake

溪河约 25%,说明梁溪河 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 指标污染程度优于环湖河道。

对 TP 而言,各个环湖河道之间浓度差异大.梁溪河 TP 浓度在 2017 ~ 2019 年先下降后升高;与环太湖河道相比,梁溪河浓度处于较高水平,均值为

$0.273 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (本调查方法包括漂浮颗粒物,与环保部门调查的样品预处理方法不同),同比环湖河道,高出约 30%,说明梁溪河 TP 指标污染程度高于环湖河道.与环太湖河道相比,梁溪河 DTP 浓度为 $0.080 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,和环湖河道相当.梁溪河、漕桥河、直

湖港以及太滬运河浓度较高,污染程度为太滬运河 > 漕桥河 > 雅浦港 > 直湖港 > 殷村港 > 胥江 > 陈东港 > 梁溪河 > 沙塘港 > 长兴港 > 瓜泾 > 望虞河 > 大钱港 > 长兜港 > 合溪港 > 太浦河,说明太湖北部河道 DTP 指标污染较其他河道严重.

梁溪河与环湖河道 TN、DTN 以及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度相当,而 TP 和 DTP 浓度分别高出环湖河道 30% 和 4%,梁溪河氮污染程度与环太湖河道无显著差异,磷污染程度高于环湖河道,说明对于太湖环湖河道而言,梁溪河受太湖调水的影响更大;另外,除梁溪河 DTP 有小幅增长外,其余各个氮、磷形态浓度 3 a 整体呈下降趋势,说明调水工程将湖水外排后,在改善梅梁湾水环境的同时,对梁溪河水质也有一定改善效果.

2.3 梁溪河水质空间变化特征

为了解水体从梅梁湾排出经梁溪河最终流向京杭大运河过程中的水质变化,表 2 列举了 6~8 月梅梁湾、梁溪河和京杭大运河各项指标数据.

叶绿素 a 在很大程度上能够反映浮游植物的现存量、表征藻的生物量及密度^[21,22].梅梁湾、梁溪河及运河叶绿素 a 浓度均值分别为 50.56、37.11 和 26.75 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,从梅梁湾排出的藻颗粒经分流后进入梁溪河,其浓度有所下降,流向大运河后浓度又减少了 47%,说明排出的藻颗粒并未在大运河中大量堆积.

空间上,梅梁湾、梁溪河及运河 TN 浓度均值分别为 1.90、3.11 和 3.21 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,运河相对梅梁湾升高了 68.9%.梁溪河整个断面浓度在 1.58~6.58 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,其中青祁桥断面明显高于其他断面,景宜桥断面浓度最低.对于 DTN 而言,梁溪河浓度介于梅梁湾和运河之间,均值为 0.83 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,显著低于运河.梅梁湾、梁溪河及运河 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度均值为 0.39、0.20 和 0.29 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,梁溪河同比梅梁湾下降约 49%;梁溪河各个断面整体呈先升高后下降的趋势,其中青祁桥浓度最高.空间上,梅梁湾、梁溪河及运河 TN、DTN 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 整体上均呈下降趋势,说明河道连通并未对各个河段造成氮的冲击.

梁溪河至运河各个河段的 TP 与 DTP 变化则不明显,但其各个断面浓度均高于梅梁湾.梅梁湾、梁溪河及运河的 TP 浓度均值分别为 0.185、0.341 和 0.366 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;其中,作为入河口的大渲桥 TP 浓度最高,景宜桥断面浓度最低.梅梁湾、梁溪河及运河 DTP 浓度一直升高,而梁溪河除青祁桥外,其余断面基本保持在同一水平.

根据浓度均值来看,京杭大运河氮、磷浓度高于梁溪河,甚至高于蓝藻水华严重的梅梁湾湖区,说明运河受到的氮、磷污染高于梁溪河.

根据京杭大运河水质对比分析(图 4),TN、DTN、TP、DTP 以及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度 7 月相对于 6 月增

表 2 梁溪河与梅梁湾及运河氮、磷浓度对比

Table 2 Comparison of N and P concentrations in Liangxi River, Meiliang Bay, and the canal

位置	TN/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	DTN/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	TP/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	DTP/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Chl-a/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
梅梁湾	1.90 ± 0.72	1.07 ± 0.44	0.185 ± 0.047	0.082 ± 0.011	0.39 ± 0.28	50.56 ± 32.70
大渲桥	3.22 ± 2.83	0.83 ± 0.09	0.396 ± 0.208	0.117 ± 0.060	0.14 ± 0.06	47.22 ± 20.67
景宜桥	2.22 ± 0.50	0.81 ± 0.09	0.312 ± 0.121	0.120 ± 0.064	0.15 ± 0.08	35.61 ± 12.41
鸿桥	3.32 ± 1.79	0.79 ± 0.10	0.334 ± 0.144	0.124 ± 0.063	0.20 ± 0.15	27.05 ± 18.66
隐秀桥	2.36 ± 0.45	0.79 ± 0.08	0.316 ± 0.124	0.124 ± 0.060	0.24 ± 0.24	26.88 ± 25.32
蠡溪桥	4.09 ± 2.32	0.84 ± 0.06	0.340 ± 0.130	0.126 ± 0.051	0.17 ± 0.08	31.16 ± 33.45
青祁桥	2.17 ± 1.82	0.95 ± 0.18	0.360 ± 0.109	0.142 ± 0.052	0.27 ± 0.16	48.38 ± 20.73
蠡桥	4.40 ± 0.52	0.82 ± 0.14	0.328 ± 0.133	0.120 ± 0.068	0.25 ± 0.14	43.47 ± 16.66
梁韵桥	2.55 ± 0.76	1.01 ± 0.18	0.329 ± 0.133	0.133 ± 0.064	0.41 ± 0.31	40.31 ± 6.37
盛新桥	3.13 ± 0.56	2.13 ± 0.33	0.387 ± 0.083	0.158 ± 0.064	0.24 ± 0.06	24.27 ± 20.89
梁溪桥	3.94 ± 1.40	2.73 ± 1.43	0.381 ± 0.114	0.155 ± 0.047	0.21 ± 0.07	15.68 ± 24.07

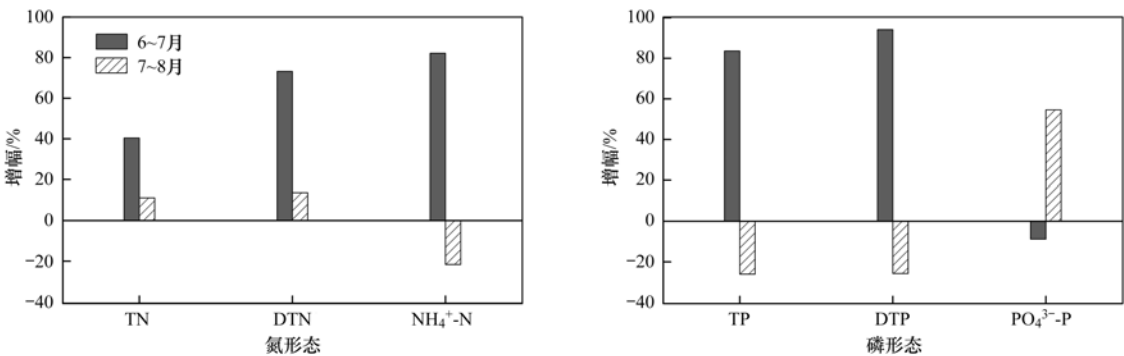


图 4 京杭大运河氮、磷形态 6~8 月增幅

Fig. 4 Increase of N and P forms in the Beijing Hangzhou Grand Canal from June to August

量分别为 40%、73%、84%、94% 和 82%, 8 月相对于 7 月增量为 11%、14%、-26%、-26% 和 -22%, 而颗粒态 Chl-a 浓度分别下降了 62% 和 9%, 蓝藻水华颗粒物在梁溪河至运河沿程逐渐降低, 说明梅梁湾水体经梁溪河排入京杭大运河后, 没有在大运河引起藻类生物量积累, 反而对水体氮、磷等指标产生稀释作用。

3 讨论

3.1 藻颗粒对河道氮、磷形态和浓度的影响

氮、磷营养盐作为湖泊初级生产力主要的限制性因子, 有多种赋存形态^[23]。相关研究表明, 溶解态磷和颗粒态磷是水体中磷存在的主要形式^[24], 氮存在形式也主要以溶解态和颗粒态为主。对于富营养化严重的湖泊来说, 蓝藻生长会存储大量营养物质^[25], 因为藻类可以通过光合作用, 把水体中尿素、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 和 H_2PO_4^- 等无机离子物质中所含的氮磷等元素缔合到碳骨架上, 形成颗粒态的藻类生物量^[26]。朱广伟等^[27]的研究认为在水体的营养物质中, 颗粒态氮、磷占比很高, 是氮、磷的主要存在形式。以上结果说明在水华暴发期, 水体中颗粒态氮磷成分较高。如张雷等^[28]的研究表明, 大辽河感潮河段颗粒态磷占总磷的 50% 以上; 吴亚林^[29]的研究表明, 水体中颗粒态氮磷为主要的存在形态, 且

与藻类关系密切。因此, 当河道中有大量藻类生长或外来输入时, 水体中颗粒态氮磷浓度也同步升高。根据图 5, 叶绿素 a 与总氮、总磷及颗粒态氮、磷线性回归分析, 水体中叶绿素 a 和 TN 及 TP 呈正相关关系, 相关系数分别为 0.78 和 0.80 ($P < 0.01$), 颗粒态叶绿素 a 和 PN 及 PP 也呈正相关关系, 相关系数分别为 0.81 和 0.82 ($P < 0.01$), 说明高藻入河会对受水水体造成营养盐冲击, 尤其是高藻会携带大量的颗粒态氮、磷进入受水水体。

然而, 对于蓝藻水华不严重湖泊来说, 其所富集的颗粒态营养物质也相对下降, 溶解性氮、磷可能占据主导地位。2018 年夏季环湖河道叶绿素 a 浓度有明显差异 (图 6), 环湖河道同比梁溪河低 86%, 说明梅梁湾调水对梁溪河影响最大, 排入藻颗粒含量巨大。

那么, 对于藻颗粒赋存量少的河道而言, 氮、磷所受的影响程度如何? 王雪等^[30]的研究表明, 2010 年 8 月太湖流域武进港-直湖港水系氮、磷以 DTN 和 DTP 为主, 分别占总氮、磷的 91.8% 和 62.13%。根据图 7, 2017~2019 年每年 6~8 月, 15 条环湖河道氮均以 DTN 为主, 胥江、漕桥河及雅浦港磷以 DTP 为主, 其余河道以 PP 为主, 占 TN 的 52% 以上; 梁溪河氮、磷均以 PN 和 PP 为主, 分别占 TN 和 TP 的 62.5% 和 70.8%。以上结果说明相对其

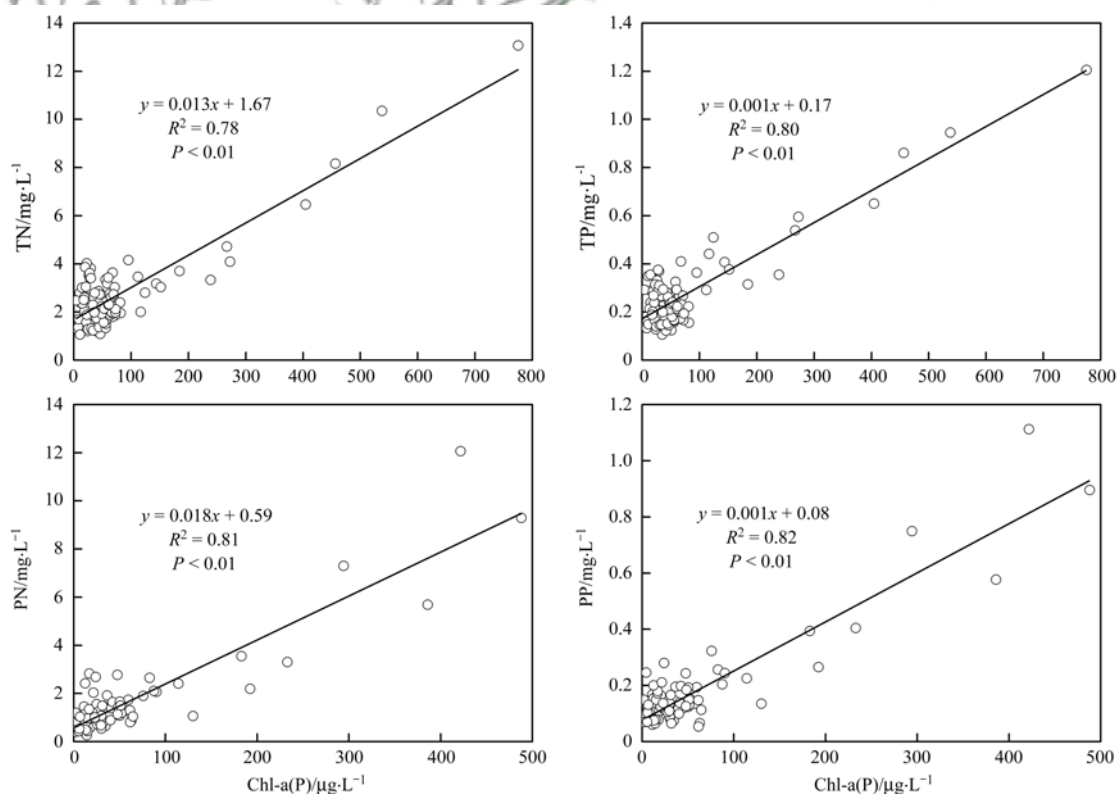


图 5 叶绿素 a 与氮、磷线性拟合

Fig. 5 Linear fitting of chlorophyll a with N and P

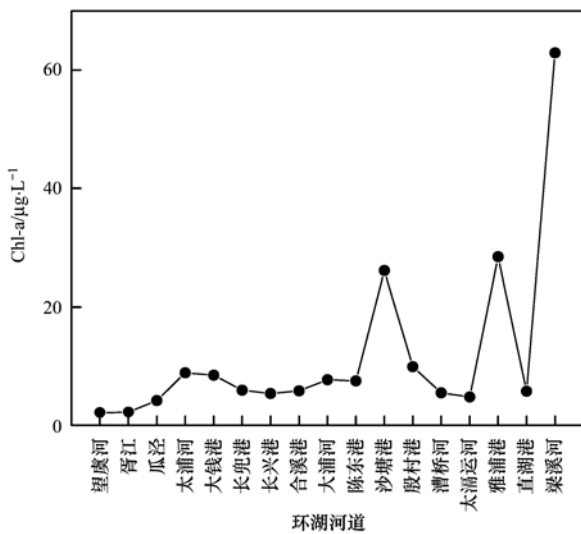


图 6 2018 年夏季环太湖河道叶绿素 a 浓度

Fig. 6 Chlorophyll a concentrations in the river around Taihu Lake in the summer of 2018

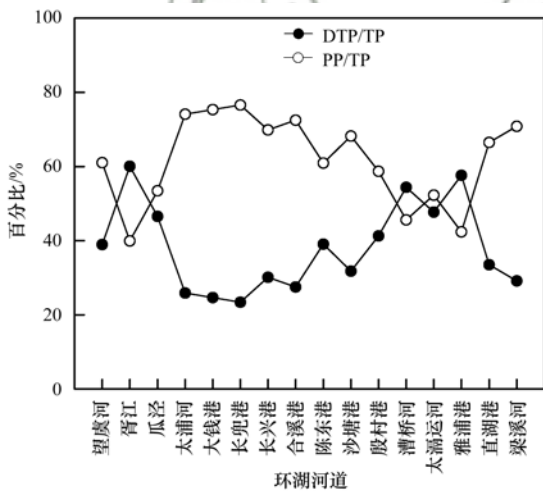
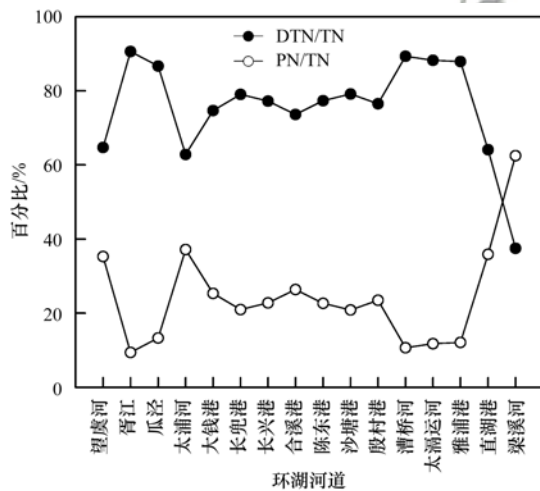


图 7 出流河道 DTN、PN 与 TN 以及 DTP、PP 与 TP 比值

Fig. 7 DTN, PN, and TN, DTP, PP, and TP ratios of the outflow channel

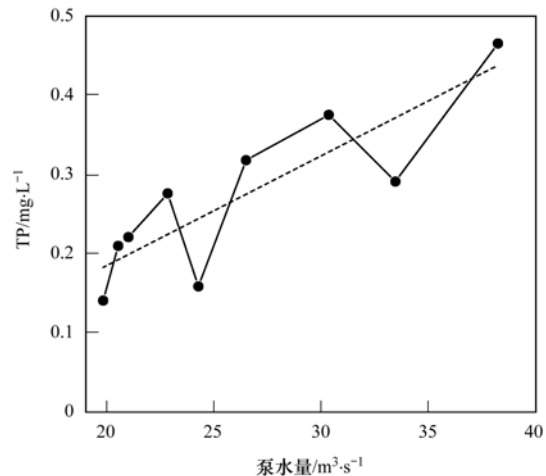
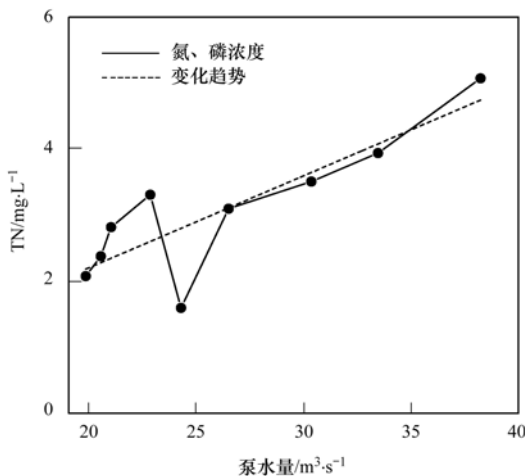


图 8 不同水流量下氮、磷浓度变化

Fig. 8 Changes in the N and P concentrations under different water flow rates

他环湖河道而言,高藻水进入连通河道后,梁溪河氮、磷营养盐受藻类影响更大。

3.2 梅梁湾泵站调水状况探讨

太湖位于太湖流域中心,进出河道有 124 条,太湖出水口主要分布在太湖的北湖岸,如梁溪河、望虞河和太浦河等。蓝藻水华暴发时,太湖流域不同湖区会通过定期换水来改善水质,贡湖湾、梅梁湾、竺山湾和湖心区换水周期分别为 267、287、146 及 365 d 以上。调水是改善水质的重要措施,如燕妹雯等^[31]的研究表明引江济太对太湖整体水质改善有积极作用,区域入湖河流水质与相应湖内区域水质有较好相关性;顾岗等^[32]的研究表明梅梁湾泵站经过 6 ~ 8 d 的引水,五里湖水质可达到稳定,各项水质指标明显改善,高锰酸盐指数、TN 和 TP 相对于引水前分别下降 38.5%、49.4% 和 27.7%。

那么,梅梁湾每日排出多少水量为宜?唐一

率^[16]的研究发现,当调水量为基准水量的 30% 时,对降低 TN 浓度效果最好,当调水量为基准水量的 38% 时,对降低 TP 浓度效果最好.梅梁湾泵站以不同水流量向梁溪河排水,改善了湖水的流动状态,2019 年水量同比 2017 年下降 21% (表 1),TN 和 TP 浓度分别下降了 30% 和 15%.根据图 8,梅梁湾泵站调水量加大过程中,梁溪河受氮、磷营养盐的冲击更大.因此,基于 2017~2019 年梁溪河水质分析,建议梅梁湾泵站逐日水流量应小于设计流量的 40%,对梅梁湾和梁溪河水质的改善效果好,也与 2018 年氮磷浓度较低相符合.

4 结论

(1)梁溪河与梅梁湾逐日藻类颗粒物交换通量巨大.2017~2019 年 6~8 月梅梁湾排入梁溪河藻泥分别为 64 889, 35 207 和 51 958 t,与无锡市 3 a 内蓝藻打捞量相当.

(2)引水对梁溪河氮浓度有明显改善作用,使得梁溪河氮浓度低于其它环太湖河道,但引水会加重梁溪河 TP 污染,使得梁溪河磷污染程度高于其它环湖河道.

(3)蓝藻水华期间,河湖连通水体交换在改善水体水质过程的同时,携带高藻入河也带入了大量的颗粒态氮、磷,梁溪河 PN 和 PP 分别占 TN 和 TP 的 62.5% 和 70.8%.

(4)梅梁湾水体经梁溪河排入京杭大运河,蓝藻颗粒物并未在大运河积累,调水对水体氮、磷等指标具有稀释作用.

致谢:中国科学院太湖湖泊系统研究站支持了本项目的样品采集和分析工作.无锡市蓝藻办平台提供每日泵水量数据,钱荣树、夏丽萍、薛静琛、赵锋、季鹏飞、康丽娟、赵星辰和陈洁等在采样和实验方面提供帮助,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 李宗礼,李原园,王中根,等.河湖水系连通研究:概念框架[J].自然资源学报,2011,26(3):513-522.
Li Z L, Li Y Y, Wang Z G, et al. Research on interconnected river system network: Conceptual framework [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(3): 513-522.
- [2] 李原园,郦建强,李宗礼,等.河湖水系连通研究的若干问题与挑战[J].资源科学,2011,33(3):386-391.
Li Y Y, Li J Q, Li Z L, et al. Issues and challenges for the study of the interconnected river system network [J]. Resources Science, 2011, 33(3): 386-391.
- [3] 唐传利.关于开展河湖连通研究有关问题的探讨[J].中国水利,2011,(6):86-89.
- [4] 王莹,王道伟,李辉,等.内陆湖泊富营养化内源污染治理工程对比研究[J].地球与环境,2013,41(1):20-28.
Wang Y, Wang D W, Li H, et al. Comparative study of treatment project for internal source pollution of Inland lake eutrophication [J]. Earth and Environment, 2013, 41(1): 20-28.
- [5] 徐华山,赵磊,孙昊苏,等.南水北调中线北京段水质状况分析[J].环境科学,2017,38(4):1357-1365.
Xu H S, Zhao L, Sun H S, et al. Water quality analysis of Beijing segment of south-to-north water diversion middle route project [J]. Environmental Science, 2017, 38(4): 1357-1365.
- [6] 陶亮,黄振芳,陆玉娇.南水北调进京水营养化态势及对策研究[J].北京水务,2017,(6):15-21.
Tao L, Huang Z F, Lu Y J. Study on countermeasures and the nutrition of water in south-to-north water diversion project [J]. Beijing Water, 2017, (6): 15-21.
- [7] 沈焕庭,茅志昌,顾玉亮.东线南水北调工程对长江口咸水入侵影响及对策[J].长江流域资源与环境,2002,11(2):150-154.
Shen H T, Mao Z C, Gu Y L. Impact of south-north water transfer (east route) on saltwater intrusion in the Changjiang estuary with consideration of its countermeasures [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(2): 150-154.
- [8] 吴时强,戴江玉,石莎.引水工程湖泊生态效应评估研究进展[J].南昌工程学院学报,2018,37(6):14-26.
Wu S Q, Dai J Y, Shi S. Progress in assessment of hydro-ecological effects in lakes induced by water diversion [J]. Journal of Nanchang Institute of Technology, 2018, 37(6): 14-26.
- [9] Hudon C, Carignan R. Cumulative impacts of hydrology and human activities on water quality in the St. Lawrence River (Lake Saint-Pierre, Quebec, Canada) [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2008, 65(6): 1165-1180.
- [10] 余茂蕾,洪国喜,许海,等.湖泊蓝藻水华对连通河道水质的影响[J].环境科学,2019,40(2):603-613.
Yu M L, Hong G X, Xu H, et al. Effects of cyanobacterial blooms in eutrophic lakes on water quality of connected rivers [J]. Environmental Science, 2019, 40(2): 603-613.
- [11] 刘孝盈,于琪洋,王冬梅,等.国外调水工程及我国南水北调西线工程对生态系统的影响及对策初探[A].见:第七届全国泥沙基本理论研究学术讨论会论文集[C].西安:中国水利学会,2008.
- [12] 秦伯强,杨桂军,马健荣,等.太湖蓝藻水华“暴发”的动态特征及其机制[J].科学通报,2016,61(7):759-770.
Qin B Q, Yang G J, Ma J R, et al. Dynamics of variability and mechanism of harmful cyanobacteria bloom in Lake Taihu, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(7): 759-770.
- [13] 马倩,田威,吴朝明.望虞河引长江水入太湖水体的总磷、总氮分析[J].湖泊科学,2014,26(2):207-212.
Ma Q, Tian W, Wu Z M. Total phosphorus and total nitrogen concentrations of the water diverted from Yangtze River to Lake Taihu through Wangyu River [J]. Journal of Lake Sciences, 2014, 26(2): 207-212.
- [14] 周吉,张小稳,刘琳,等.利用望虞河实施引江济太的成效分析及建议[J].江苏水利,2015,(4):45-46.
- [15] 孙永明,陈宝华.梅梁湖泵站进水引渠水工模型试验研究[J].江苏水利,2007,(3):25-26.
- [16] 唐一率.梁溪河水质改善的调水引流效应研究[D].南京:南京大学,2018.
Tang Y L. Study on impact of water diversion and drainage on water quality of Liangxi River [D]. Nanjing: Nanjing University, 2018.
- [17] 杨加文,陈椽,张明时,等.不同方法测定污水中总氮总磷的比较研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2008,26(3):45-47,90.
Yang J W, Chen C, Zhang M S, et al. Comparison of different

- methods for determination of total nitrogen and total phosphorus in sewage [J]. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2008, **26**(3): 45-47, 90.
- [18] 申斌霞. 过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法测定水中总磷的讨论[J]. *广西轻工业*, 2010, **26**(11): 27, 35.
- [19] 邓辉萍, 张红宇, 林凯. Skalar 间隔流动注射分析仪在水质监测的应用[J]. *职业与健康*, 2007, **23**(10): 808-809.
- Deng H P, Zhang H Y, Lin K. Application of Skalar interval floating injection analyzer in water quality surveillance [J]. *Occupation and Health*, 2007, **23**(10): 808-809.
- [20] 陈宇炜, 陈开宁, 胡耀辉. 浮游植物叶绿素 a 测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨[J]. *湖泊科学*, 2006, **18**(5): 550-552.
- Chen Y W, Chen K N, Hu Y H. Discussion on possible error for phytoplankton chlorophyll-a concentration analysis using hot-ethanol extraction method[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, **18**(5): 550-552.
- [21] 杜胜蓝, 黄岁樑, 臧常娟, 等. 浮游植物现存量表征指标间相关性研究 I: 叶绿素 a 与生物量[J]. *水资源与水工程学报*, 2011, **22**(1): 40-44.
- Du S L, Huang S L, Zang C J, *et al.* Correlation research between the indicators of phytoplankton standing stock I: chlorophyll a and biomass[J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2011, **22**(1): 40-44.
- [22] 杜胜蓝, 黄岁樑, 臧常娟, 等. 浮游植物现存量表征指标间相关性研究 II: 叶绿素 a 与藻密度[J]. *水资源与水工程学报*, 2011, **22**(2): 44-49.
- Du S L, Huang S L, Zang C J, *et al.* Correlation research between the indicators of phytoplankton standing stock II: chlorophyll a and algal density[J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2011, **22**(2): 44-49.
- [23] 张宇, 颜翔, 房晟忠. 滇池草海水体枯水期不同形态氮磷空间分布差异性[J]. *环境科学导刊*, 2020, **39**(2): 10-14.
- Zhang Y, Yan X, Fang S Z. Spatial distribution difference of different forms of nitrogen and phosphorus in Caohai lake in Dianchi Lake during low water period[J]. *Environmental Science Survey*, 2020, **39**(2): 10-14.
- [24] 王睿喆, 王沛芳, 任凌霄, 等. 营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响[J]. *环境科学*, 2015, **36**(4): 1301-1308.
- Wang R Z, Wang P F, Ren L X, *et al.* Effects of nutrient inputs on changes of phosphorus forms and phytoplankton growth in Taihu Lake[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(4): 1301-1308.
- [25] 刘聚涛, 高俊峰, 姜加虎, 等. 基于突变理论的太湖蓝藻水华危险性分区评价[J]. *湖泊科学*, 2010, **22**(4): 488-494.
- Liu J T, Gao J F, Jiang J H, *et al.* Catastrophe theory-based risk evaluation of blue-green algae bloom of different regions in Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, **22**(4): 488-494.
- [26] 周贝贝. 蓝藻打捞对水中氮磷及藻类生长的影响[D]. 南京: 南京师范大学, 2012.
- Zhou B B. The effect of cyanobacteria salvage on nitrogen and phosphorus in water and algae growth [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2012.
- [27] 朱广伟, 秦伯强, 张运林, 等. 2005-2017 年北部太湖水体叶绿素 a 和营养盐变化及影响因素[J]. *湖泊科学*, 2018, **30**(2): 279-295.
- Zhu G W, Qin B Q, Zhang Y L, *et al.* Variation and driving factors of nutrients and chlorophyll-a concentrations in northern region of Lake Taihu, China, 2005-2017[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, **30**(2): 279-295.
- [28] 张雷, 曹伟, 马迎群, 等. 大辽河感潮河段及近岸河口氮、磷的分布及潜在性富营养化[J]. *环境科学*, 2016, **37**(5): 1677-1684.
- Zhang L, Cao W, Ma Y Q, *et al.* Distribution of nitrogen and phosphorus in the tidal reach and estuary of the Daliao River and analysis of potential eutrophication[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(5): 1677-1684.
- [29] 吴亚林. 滇池水体和沉积物氮磷组成及沉积特征研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2018.
- [30] 王雪, 余辉, 燕姝雯, 等. 太湖流域上游河流污染空间分布特征研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, **21**(3): 341-348.
- Wang X, Yu H, Yan S W, *et al.* Spatial distribution characteristics of up-stream river pollution in lake Taihu basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, **21**(3): 341-348.
- [31] 燕姝雯, 余辉, 张璐璐, 等. 2009 年环太湖入出湖河流量及污染负荷通量[J]. *湖泊科学*, 2011, **23**(6): 855-862.
- Yan S W, Yu H, Zhang L L, *et al.* Water quantity and pollutant fluxes of inflow and outflow rivers of Lake Taihu, 2009 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, **23**(6): 855-862.
- [32] 顾岗, 陆根法. 太湖五里湖水环境综合整治的设想[J]. *湖泊科学*, 2004, **16**(1): 56-60.
- Gu G, Lu G F. On the integrated control of water environment of Wuli Lake, Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2004, **16**(1): 56-60.

CONTENTS

Concurrent Collection of Ammonia Gas and Aerosol Ammonium in Urban Beijing During National Celebration Days Utilizing an Acid-Coated Honeycomb Denuder in Combination with a Filter System	GU Meng-na, PAN Yue-peng, SONG Lin-lin, <i>et al.</i>	(1)
Heavy Pollution Episode in Tianjin Based on UAV Meteorological Sounding and Numerical Model	YANG Xu, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i>	(9)
Characteristics and Sources of PM _{2.5} Pollution in Typical Cities of the Central Plains Urban Agglomeration in Autumn and Winter	MIAO Qing-qing, JIANG Nan, ZHANG Rui-qin, <i>et al.</i>	(19)
Characteristics and Sources of Water-soluble Ion Pollution in PM _{2.5} in Winter in Shenyang	WANG Guo-zhen, REN Wan-hui, YU Xing-na, <i>et al.</i>	(30)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} Collected in Baoding	LEI Wen-kai, LI Xing-ru, ZHANG Lan, <i>et al.</i>	(38)
Source Apportionment of Ambient Carbonyl Compounds Based on a PMF and Source Tracer Ratio Method: A Case Based on Observations in Nanjing	HU Kun, WANG Ming, WANG Hong-li, <i>et al.</i>	(45)
Characterization and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in Tianjin in 2019	GAO Jing-yun, XIAO Zhi-mei, XU Hong, <i>et al.</i>	(55)
Characteristics and Source Apportionment of Ambient VOCs in Spring in Liuzhou	LIU Qi, LU Xing-lin, ZENG Peng, <i>et al.</i>	(65)
Characteristics of Ozone and Source Apportionment of the Precursor VOCs in Tianjin Suburbs in Summer	LUO Rui-xue, LIU Bao-shuang, LIANG Dan-ni, <i>et al.</i>	(75)
Transport Influence and Potential Sources of Ozone Pollution for Nanjing During Spring and Summer in 2017	XIE Fang-jian, LU Xiao-bo, YANG Feng, <i>et al.</i>	(88)
Ozone Pollution Trend in the Pearl River Delta Region During 2006-2019	ZHAO Wei, GAO Bo, LU Qing, <i>et al.</i>	(97)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Deposition in Areas Adjacent to a Large Petrochemical Enterprise	LI Da-yan, QI Xiao-bao, WU Jian, <i>et al.</i>	(106)
Quantitative Comparison of Methods to Assess the Airborne Particulate Matter Retention Capacity of Leaves	YUE Chen, LI Guang-de, XI Ben-ye, <i>et al.</i>	(114)
Emission Estimation and Fate Simulation of Dichlorvos in the Dongjiang River Watershed	ZHANG Bing, ZHANG Qian-qian, YING Guang-guo	(127)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Antibiotics in the Songhua River Basin of the Harbin Section and Ashe River	YANG Shang-le, WANG Xu-ming, WANG Wei-hua, <i>et al.</i>	(136)
Characteristics and Ecological Risk Assessment of POPs Pollution in Sediments of Xiaoxingkai Lake in the Northeast China	LI Hui, LI Jie, SONG Peng, <i>et al.</i>	(147)
Distribution and Ecological Risk Assessment of PPCPs in Drinking Water Sources of Henan Province	ZHOU Ying, WU Dong-hai, LU Guang-hua, <i>et al.</i>	(159)
Occurrence Characteristics and Health Risk Assessment of Endocrine Disrupting Chemicals in Groundwater in Wuxi-Changzhou	WANG Shu-ting, RAO Zhu, GUO Feng, <i>et al.</i>	(166)
Seasonal Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water of Qingjiang River	LIU Zhao, ZHOU Hong, CAO Wen-jia, <i>et al.</i>	(175)
Metal Pollutions and Human Health Risks in Groundwater from Wet, Normal, and Dry Periods in the Huixian Karst Wetland, China	LI Jun, ZHAO Yi, ZOU Sheng-zhang, <i>et al.</i>	(184)
Seasonal Variation of DOM Spectral Characteristics of Rivers with Different Urbanization Levels in the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Zhao-yu, LI Si-yue	(195)
Distribution of Micro-plastics in the Soil Covered by Different Vegetation in Yellow River Delta Wetland	YUE Jun-jie, ZHAO Shuang, CHENG Hao-dong, <i>et al.</i>	(204)
Metagenomic Analysis Provides Insights into Bacterial Communities, Antibiotic Resistomes, and Public Health Risks in the Dongping Lake Reservoir	ZHANG Hong-na, CUI Na, SHEN Hong-miao	(211)
Mechanism of Algal Community Dynamics Driven by the Seasonal Water Bacterial Community in a Stratified Drinking Water Reservoir	YAN Miao-miao, ZHANG Hai-han, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i>	(221)
Community Structure, Function, and Influencing Factors of Planktonic Fungi in the Danjiangkou Reservoir	ZHENG Bao-hai, WANG Xiao-yu, LI Ying-jun, <i>et al.</i>	(234)
Changes in Algal Particles and Their Water Quality Effects in the Outflow River of Taihu Lake	GUO Yu-long, XU Hai, CHEN Xu-qing, <i>et al.</i>	(242)
Characteristics of Soil Nitrogen and Phosphorus Losses Under Different Land-use Schemes in the Shipanqiu Watershed	DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, <i>et al.</i>	(251)
Influence of Antecedent Dry Days on Nitrogen Removal in Bioretention Systems	CHEN Yao, LI Xin-rui, ZHENG Shuang, <i>et al.</i>	(263)
Effect of <i>Enteromorpha prolifera</i> Biochar on the Adsorption Characteristics and Adsorption Mechanisms of Ammonia Nitrogen in Rainfall Runoff	CHEN You-yuan, LI Pei-qiang, LI Xian-chi, <i>et al.</i>	(274)
Effect of Filter Medium on the Enhancement of Complete Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Process in a Tidal Flow Constructed Wetland	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, QIN Hui-an, <i>et al.</i>	(283)
Adsorption Effect and Mechanism of Aqueous Arsenic on FeMnNi-LDHs	LIAO Yu-mei, YU Jie, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i>	(293)
Combined Use of Zirconium-Modified Bentonite Capping and Calcium Nitrate Addition to Control the Release of Phosphorus from Sediments	ZHANG Hong-hua, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i>	(305)
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Wastewater Treatment Plants	XIE Ya-wei, YU Chi-sheng, LI Fei-fei, <i>et al.</i>	(315)
Occurrence of Antibiotic Resistance Genes and Bacterial Community Structure of Different Sludge Samples During Microwave Pretreatment-Anaerobic Digestion	LI Hui-li, WU Cai-yun, TANG An-ping, <i>et al.</i>	(323)
Selenium Threshold for the Delimitation of Natural Selenium-Enriched Land	WANG Hui-yan, ZENG Dao-ming, GUO Zhi-juan, <i>et al.</i>	(333)
Improved Regression Kriging Prediction of the Spatial Distribution of the Soil Cadmium by Integrating Natural and Human Factors	GAO Zhong-yuan, XIAO Rong-bo, WANG Peng, <i>et al.</i>	(343)
Simulation Cadmium (Cd) Accumulation in Typical Paddy Soils in South China	DAI Ya-ting, FU Kai-dao, YANG Yang, <i>et al.</i>	(353)
Bioaccessibility and Health Risks of the Heavy Metals in Soil-Rice System of Southwest Fujian Province	LIN Cheng-qi, CAI Yu-hao, HU Gong-ren, <i>et al.</i>	(359)
Effects of Nano Material on Cadmium Accumulation Capacity and Grain Yield of Indica Hybrid Rice Under Wetting-drying Alternation Irrigation	YANG Ru, CHEN Xin-rui, ZHANG Ying, <i>et al.</i>	(368)
Regulation Control of a Tribasic Amendment on the Chemical Fractions of Cd and As in Paddy Soil and Their Accumulation in Rice	JIANG Yi, LIU Ya, GU Jiao-feng, <i>et al.</i>	(378)
Combined Effect of Weathered Coal Based Amendments and Soil Water Management on Methylmercury Accumulation in Paddy Soil and Rice Grains	ZHENG Shun-an, WU Ze-ying, DU Zhao-ling, <i>et al.</i>	(386)
Effects of Fertilization Strategies on the Cadmium Resistance of Paddy Soil Microorganisms	ZHENG Kai-kai, MA Zhi-yuan, SUN Bo, <i>et al.</i>	(394)
Soil Enzyme Activity in <i>Picea schrenkiana</i> and Its Relationship with Environmental Factors in the Tianshan Mountains, Xinjiang	ZHANG Han, GONG Lu, LIU Xu, <i>et al.</i>	(403)
Effects of Farmland Abandonment on Soil Enzymatic Activity and Enzymatic Stoichiometry in the Loess Hilly Region, China	ZHONG Ze-kun, YANG Gai-he, REN Cheng-jie, <i>et al.</i>	(411)
Effect of Biochar on Soil Enzyme Activity & the Bacterial Community and Its Mechanism	FENG Hui-lin, XU Chen-sheng, HE Huan-hui, <i>et al.</i>	(422)
Effects of Vegetation Restoration on the Structure and Function of the Rhizosphere Soil Bacterial Community of <i>Solanum rostratum</i>	ZHANG Rui-hai, SONG Zhen, FU We-dong, <i>et al.</i>	(433)
Response of Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Rice Quality in a Yellow Soil Paddy Field to Biochar Combined with Nitrogen Fertilizer	SHI Deng-lin, WANG Xiao-li, LIU An-kai, <i>et al.</i>	(443)
Effects of Adding Straw and Biochar with Equal Carbon Content on Soil Respiration and Microbial Biomass Carbon and Nitrogen	HE Tian-tian, WANG Jing, FU Yun-peng, <i>et al.</i>	(450)
How Different Ratios of Straw Incorporation to Nitrogen Fertilization Influence Endogenous and Exogenous Carbon Release from Agricultural Soils	SUN Zhao-an, ZHANG Xuan, HU Zheng-jiang, <i>et al.</i>	(459)
Effect of Biochar and Chemical Fertilizer Mixture on Ammonia Volatilization and Phosphorus Fixation	YANG Wen-na, DENG Zhen-xin, LI Jiao, <i>et al.</i>	(467)
Effects of Film Materials on Ammonia Volatilization Emissions from a Paddy System After Reducing Nitrogen Fertilizer Application	YU Ying-liang, WANG Meng-fan, YANG Bei, <i>et al.</i>	(477)
Effects of Microplastics on Embryo Hatching and Intestinal Accumulation in Larval Zebrafish <i>Danio rerio</i>	ZHAO Jia, RAO Ben-qiang, GUO Xiu-mei, <i>et al.</i>	(485)
Urban Micro-Scale Thermal Environment Simulation Supported by UAV Thermal Infrared Data	YANG Shao-qi, FENG Li, TIAN Hui-hui, <i>et al.</i>	(492)
Estimation of the Urban Heat Island Intensity Change and Its Relationships with Driving Factors Across China Based on the Human Settlement Scale	SUN Yan-wei, WANG Run, GUO Qing-hai, <i>et al.</i>	(501)