

梁溪河水系地表水水质特征及其主要影响因素分析

严勇^{1,2}, 王晓睿³, 许玲玲^{1,2}, 陆凯^{1,2}, 汪锋^{1,2*} (1. 无锡市生态环境监测监控中心, 江苏无锡 214122; 2. 江苏省智能环境治理实验基地无锡子基地, 江苏无锡 214125; 3. 江南大学环境与土木学院, 江苏无锡 214122)

摘要 为综合分析无锡梁溪河水系地表水水质特征, 监测了 2020—2022 年梁溪河鸿桥和蠡桥 2 个断面水质变化, 并结合梅梁湾 2021—2022 年调水水质变化和梁溪河太湖入湖口与到京杭运河交界处河段 8 个支浜 2021 年 6—12 月的水质情况, 综合探究梅梁湾调水和梁溪河支浜水质变化对主河道断面水质的影响。结果表明, 梁溪河水系地表水水质逐步提升, 其 DO、COD、高锰酸盐、氨氮和总磷指标均满足地表水三类水标准。夏季高温会加速水系好氧过程, 引起 DO 含量降低, 进一步导致水系 COD、高锰酸盐、氨氮和总磷含量的增加, 是影响梁溪河水质的因素之一。夏季梅梁湾调水氨氮和总磷含量较高, 结合 Canoco 5 相关性分析发现, 其对梁溪河氨氮和总磷含量的贡献较大。而三节桥浜的 COD 含量较高, 其支浜水流的汇入是引起梁溪河有机污染物含量较高的因素之一。建议从夏季梁溪河水水质维稳、梅梁湾调水管控和主要入河河道水质的治理三方面综合提升梁溪河水体水质。

关键词 梁溪河; 地表水水质; 调水; 支浜; 相关性分析

中图分类号 X143 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)24-0062-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.24.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis on Quality Characteristics and Main Influencing Factors of Surface Water in Liangxi River System

YAN Yong^{1,2}, WANG Xiao-rui³, XU Ling-ling^{1,2} et al (1. Wuxi Ecological Environment Monitoring Center, Wuxi, Jiangsu 214122; 2. Wuxi Sub base of Jiangsu Province Intelligent Environment Governance Experimental Base, Wuxi, Jiangsu 214125; 3. School of Environmental and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122)

Abstract In order to comprehensively analyze the surface water quality characteristics of the Liangxi River in Wuxi. This study monitored the changes in water quality in the Hongqiao and Liqiao sections of the Liangxi River from 2020 to 2022. Combined with the change of water quality in Meiliang Bay from 2021 to 2022 and the water quality of eight tributaries at the entrance of Taihu Lake of Liangxi River and the junction of the Beijing-Hangzhou Canal from September to December 2021. This study comprehensively explored the influence of water diversion in Meiliang Bay and the change of water quality in Liangxi River on the water quality of the main river section. The results showed that the surface water quality of the Liangxi River system has gradually improved, and its indexes of DO, COD, permanganate, ammonia nitrogen, and total phosphorus all meet the three kinds of surface water standards. High temperatures in summer will accelerate the aerobic process of the water system, cause the decrease of DO content, and further lead to the increase of COD, permanganate, ammonia nitrogen, and total phosphorus in the water system, which is one of the important factors affecting the water quality of Liangxi River. The contents of ammonia nitrogen and total phosphorus in Meiliang Bay are higher in summer. Combined with the Canoco 5 correlation analysis, it makes a great contribution to the content of ammonia nitrogen and total phosphorus in the Liangxi River. However, the content of COD in Sanjieqiaobang is higher, and the confluence of its branch water flow is one of the factors leading to the high content of organic pollutants in the Liangxi River. It is suggested that the water quality of Liangxi River should be comprehensively improved from three aspects: the stability of Liangxi River water quality in summer, the control of water diversion in Meiliang Bay, and the treatment of main river water quality.

Key words Liangxi River; Surface water quality; Water diversion; Tributary; Correlation analysis

梁溪河位于太湖东北部, 全长约 5 500 m, 沟通城区水系、京杭大运河、蠡湖和太湖, 是无锡重要的天然水体纽带^[1]。自污染防治攻坚战政策实施以来, 无锡市政府对太湖流域水环境的综合管理力度逐年增强^[2]。其中, 梁溪河作为太湖东北部最主要的人湖河流, 其入湖水质对太湖水污染的治理至关重要。

调水是治理湖泊河流污染的有效举措, 不仅可以加快河道水体流动、缩短水体换水周期, 而且能对河道内污染物起到稀释作用。近年来, 无锡政府选择从梅梁湾调水至梁溪河, 进一步优化城区河道水质, 改善河道黑臭现象。然而, 每年夏季太湖蓝藻水华爆发会导致大量氮、磷等污染物质进入梅梁湾, 进而间接降低调水水质, 这在一定程度上可能会导致梁溪河外源污染的汇入、加重夏季河道的富营养化。

梁溪河流域内支浜众多, 其与主河道水系之间的关系接

近于毛细血管与动脉血管。通常情况下, 这些支浜会在一定程度上影响梁溪河的水质, 但由于支浜较难以引起重视, 其产生的污染易被忽略。随着城市经济发展和人口迁移, 梁溪河及支浜沿岸分布有工业、灌溉、市政、城市生活等多个污染源。其中一些分散在支浜附近的小企业由于规模小、较隐蔽、排污少等特点, 常常得不到有效监管, 导致个别污染源处于“失控”的状态。同时, 由于支浜往往仅一头进水, 较差的水体流动性导致支浜自身修复能力变弱, 伴随沿岸污染的持续输入使得水体不仅产生黑臭等现象, 还致使污染物沉降于河底, 造成严重的内源性污染, 最终影响梁溪河水质^[3]。

该研究通过监测 2020—2022 年无锡市梁溪河上鸿桥和蠡桥 2 个断面水质变化, 综合评估梁溪河水系地表水水质特征。进一步结合梅梁湾 2021—2022 年调水水质变化和梁溪河太湖入湖口与到京杭运河交界处河段 8 个支浜 2021 年 6—12 月的水质情况, 综合探究梅梁湾调水和梁溪河支浜水质变化对主河道断面水质的影响, 进而提出与梅梁湾调水和各支浜污染情况相匹配的针对性整治意见, 为梁溪河河道管控和太湖水污染治理提供理论支持与参考。

基金项目 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07204001-02)。
作者简介 严勇(1982—), 男, 江苏无锡人, 助理工程师, 从事环境信息化和水、大气生态环境污染研究。*通信作者, 高级工程师, 从事环境质量管理与评价研究。
收稿日期 2023-01-09; **修回日期** 2023-09-28

1 材料与与方法

梁溪河监测断面位于蠡桥和鸿桥,为国考断面。调水水流监测点位于梁溪河与梅梁湾交界处;各监测支浜分布于梁

溪河两侧,自东向西分别为镇山潭、三节桥浜、小渲河、泰康浜、蒋巷浜、唐巷浜、吴大成浜和骂蠡港。各支浜名称、监测点位置、坐标分别如图 1 和表 1 所示。

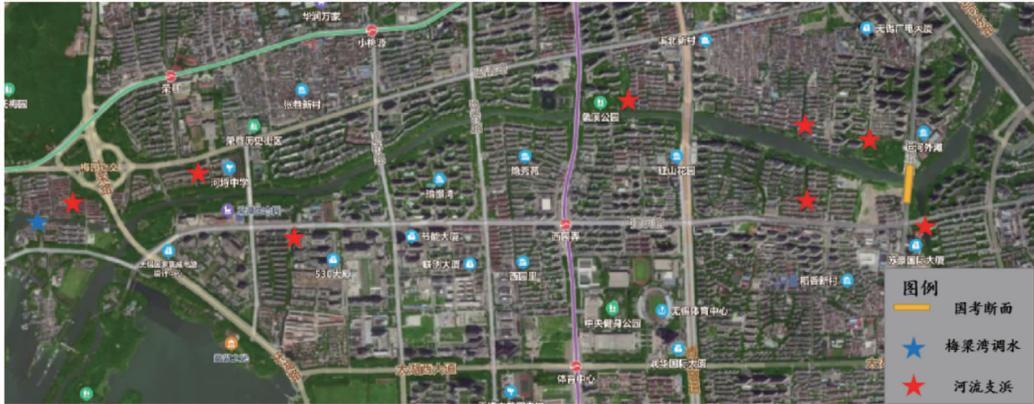


图 1 监测点位置

Fig.1 Monitoring point location figure

2020 年 1 月至 2022 年 12 月,对 2 个国考断面进行了为期 3 年的水质监测,每月采样 1 次,采样地点为河面中间位置,水面之下 0.5 m 处的水样。对所采集样品的溶解氧(DO)、高锰酸盐指数、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、化学需氧量(COD)、总磷(TP)5 个指标分析检测。DO 在样品采集之后,用便携式溶解氧仪进行现场测定。其余 4 项指标在取样测定溶解氧后,冷藏保运,待运输回实验室后测定。COD 采用重铬酸钾法(HJ 828—2017)进行测定^[4];高锰酸盐指数采用氧化还原滴定法进行指标物浓度检测^[5]; $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用纳氏试剂法(HJ

535—2009)进行测定^[6];TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—89)进行测定^[7]。为研究梅梁湾调水对梁溪河水质影响,2021 年 1 月至 2022 年 12 月对梅梁湾调水进行了为期 2 年的水质监测,具体采样指标和方法与断面监测一致。为研究梁溪河与相通各支浜污染的相关性,2021 年 6—12 月,对各支浜进行了为期 6 个月的水质监测,具体采样指标和方法与断面监测一致。试验数据使用 Canoco 5 进行分析整理及分析,使用 Origin 2018 进行图表制作。

表 1 监测点位置、坐标统计

Tbale 1 Monitoring point location and coordinate statistics

序号 No.	河道名称 River name	监测点名称 Monitoring point name	监测点坐标 Coordinates of monitoring points
1	梁溪河-断面	蠡桥	120°17'2",31°33'5"
2	梁溪河-断面	鸿桥	120°28'4",31°53'9"
3	梅梁湾	梅梁湾	120°29'4",31°43'4"
4	镇山潭	杨巷新村 243 号	120°13'26",31°33'2"
5	三节桥浜	金色江南三期南侧	120°13'50",31°32'54"
6	小渲河	蠡园中心小学	120°14'20",31°32'37"
7	泰康浜	蠡溪公园	120°15'42",31°33'20"
8	蒋巷浜	孙蒋社区	120°16'15",31°33'18"
9	唐巷浜	月溪苑东侧	120°16'38",31°33'4"
10	吴大成浜	仙蠡墩家园南面	120°16'52",31°33'13"
11	骂蠡港	尺马渚桥	120°17'6",31°32'57"

2 结果与分析

2.1 梁溪河及其连通河道水质污染特征

2.1.1 水质污染特征。2021 年 6—12 月梁溪河鸿桥和蠡桥 2 个断面及梁溪河段周边 8 个支浜综合水质特征如图 2 所示。根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)要求,梁溪河 2 个监测断面(蠡桥和鸿桥)除 COD 和高锰酸盐指数外,基本符合地表水二类水质标准。而蠡桥断面和鸿桥断面的 COD 含量分别为 15.8 和 16.7 mg/L、高锰酸盐指数分别为 4.4

和 4.3 mg/L,均满足地表水三类水质标准。连接梁溪河的多个支浜中,除三节桥浜和骂蠡港外均满足地表水三类水标准。对于三节桥浜,其总磷、氨氮、COD 和高锰酸盐指数均不满足地表三类水要求,污染较为严重且可能通过汇流引起梁溪河水质的下降。

2.1.2 污染源分析。虽然梁溪河整体满足地表水三类水质标准,但在个别月份中河水的一些指标仍表现出较高的污染,分析引起梁溪河水质降低的污染源有助于了解梁溪河污

染的现状。自污染防治攻坚战政策实施以来,无锡市政府对城市环境的保护和建设愈加重视,梁溪河两侧的工业厂区逐渐搬迁,至2020年梁溪河两侧已没有工厂污水的排放。然而,梁溪河底泥中含有大量氮、磷、重金属等污染物质,每年来往梁溪河的船只引起底泥搅动,导致污染物质从底泥中释放进入梁溪河水体。同时,梁溪河作为城市旅游景点之一,两侧仍有许多餐饮店铺运营,一些商家会偷排污水进入

梁溪河,这会导致梁溪河水体中氨氮、总磷等指标的上升。梅梁湾调水在很大程度上也会影响梁溪河水质,特别是每年夏季受太湖水华影响,引入水体中含有大量的氮、磷元素,会加重梁溪河的富营养化。另外,梁溪河周围的支流支浜与河道相通,其中污染较严重的支浜会将污染物汇入梁溪河,这也是导致河体水质降低的重要污染源。

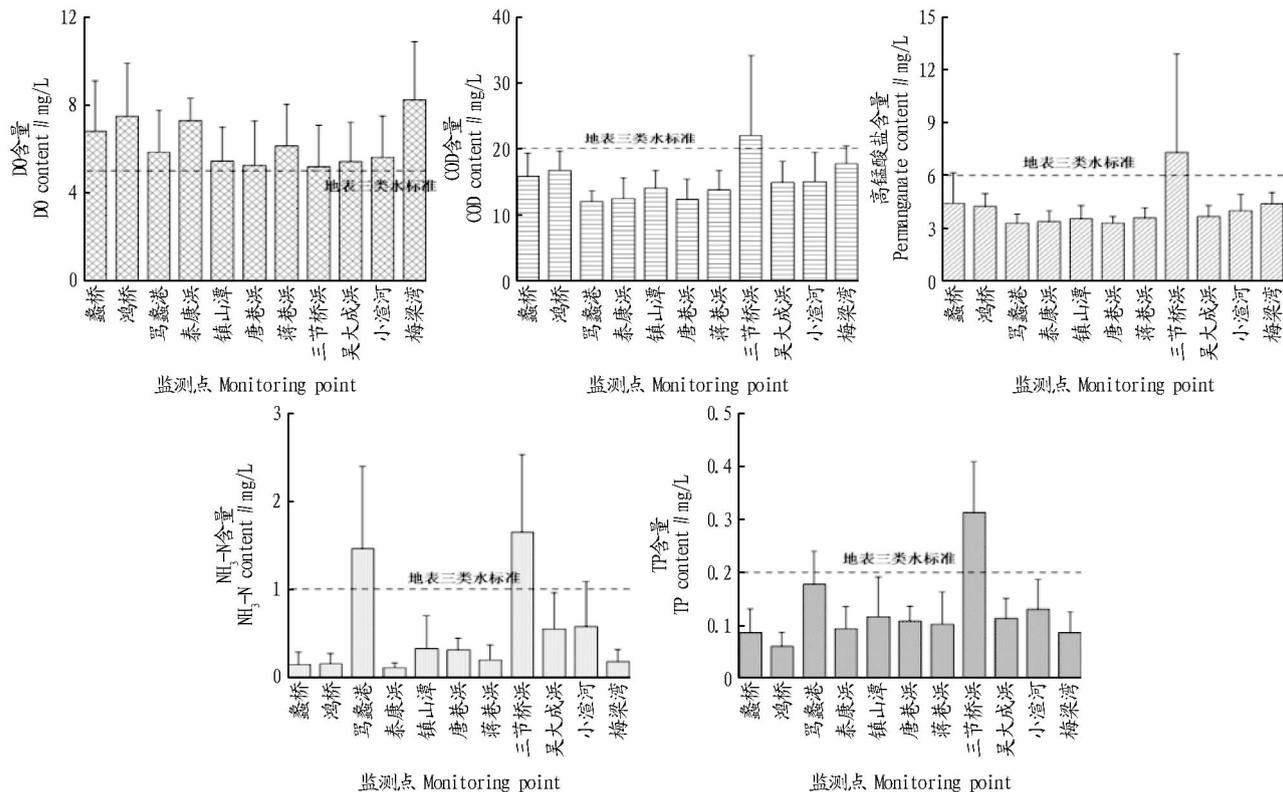


图2 监测断面及支浜平均水质指标

Fig.2 Average water quality indicators of monitoring sections and tributaries

2.2 梁溪河水质变化趋势与成因分析

2.2.1 梁溪河水质变化趋势。为进一步探究梁溪河2020—2022年水质的年际变化和年内变化特征,该研究分析了蠡桥断面和鸿桥断面3年内5个水质参数的变化(图3~7)。

2.2.1.1 溶解氧。水体中的溶解氧(DO)是水生生态系统中生命体和生物地球化学过程的基础,溶解氧受温度、气压、水深、盐度、水动力和有机物含量等因素影响,在不同地区呈现出不同的特征^[8]。当溶解氧低于3 mg/L时,大量浮游植物的卵和幼虫会在几天之内死亡;严重的低氧甚至会在水体中形成“死区”^[9]。该研究中,梁溪河年内溶解氧含量受季节影响较大,总体表现为夏季溶解氧含量较低、冬季含量较高,其中2020年7月份蠡桥断面检测的溶解氧含量甚至低于3 mg/L。导致这一现象的主要原因是夏季较高的气温,此时水体中各种生物活动更加剧烈,大量消耗梁溪河水中的溶解氧。另外,高温会使得水中的溶解氧较快溶出,耗氧速率大于复氧速率,这也导致了水体中溶解氧含量的下降^[10]。通过对比2020—2022年蠡桥断面和鸿桥断面溶解氧含量发现,梁溪河水体平均溶解氧含量逐年上升,且均高于地表三

类水水质要求。相较于蠡桥断面,鸿桥断面平均溶解氧含量更高,这可能与该断面周边较多的曝气设备有关。

2.2.1.2 高锰酸盐。高锰酸盐指数是指在酸性或碱性介质中以高锰酸钾为氧化剂,处理水样时所消耗的量,以mg/L表示,常被作为地表水体受有机污染物和还原性无机物质污染程度的综合指标^[11]。该研究中,梁溪河年内高锰酸盐指数趋势与溶解氧含量相反,总体表现为夏季较高、冬季较低,这说明梁溪河夏季受到有机污染物和还原性无机物质污染更为严重。对比2020—2022年梁溪河高锰酸盐指数的年际含量变化可以看出,梁溪河高锰酸盐指数逐年降低,且均符合地表三类水水质要求。需要指出的是,2020年夏季梁溪河的有机污染物和还原性无机物质污染较为严重,多个月份未达到地表三类水水质要求。

2.2.1.3 化学需氧量。化学需氧量(COD)是通过化学方法检测水样中能被氧化的还原性物质消耗氧化剂的量,该指标是考察水体中有机污染物浓度的重要依据^[12]。该研究中,梁溪河年内化学需氧量较为平稳,但在8—9月会有一定程度的增加,说明夏季梁溪河水体中有机物污染都更为严重。

一般而言,有机污染物的来源主要是农药、化工废水、有机肥料等还原性物质^[13],鉴于当前梁溪河管理现状,这些过量的有机污染物可能来源于夏季较为频繁游船来往引起的底泥污染释放和支流的汇入。对比 2020—2022 年蠡桥断面和鸿桥断面化学需氧量的年际含量变化可以看出,梁溪河水体中

的 COD 含量逐年降低,且均符合地表水三类水水质标准。其中,2022 年蠡桥断面 COD 的平均含量为 14.89 mg/L,符合地表水二类水水质标准,这也进一步说明了梁溪河水质管控与治理的进步。

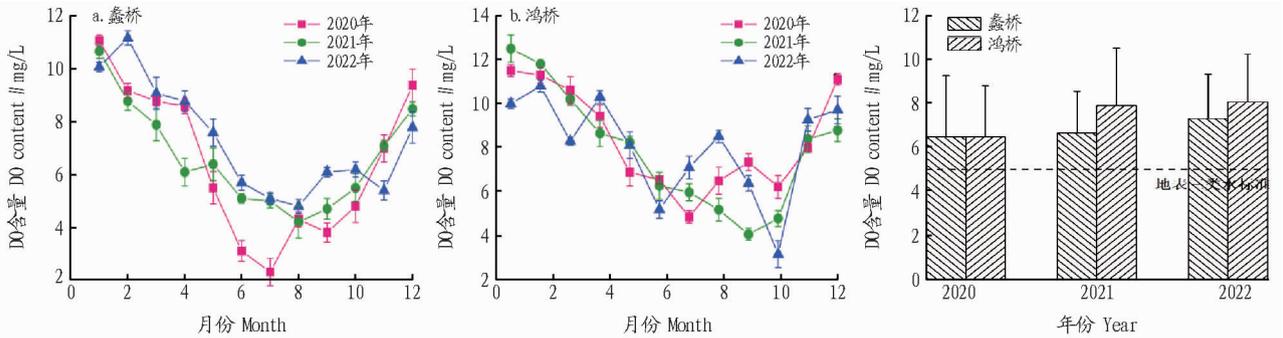


图3 2020—2022年监测断面DO含量变化

Fig.3 Change of DO content in monitoring section from 2020 to 2022

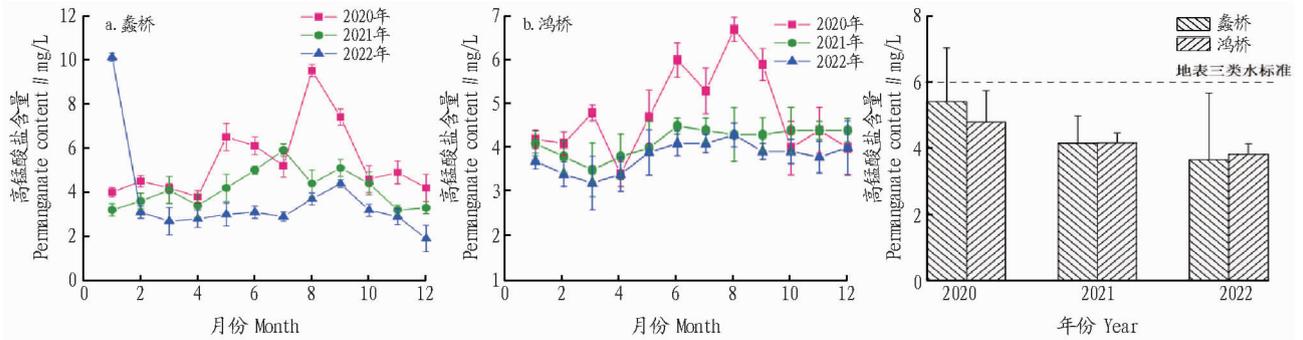


图4 2020—2022年监测断面高锰酸盐含量变化

Fig.4 Changes of permanganate content in monitoring section from 2020 to 2022

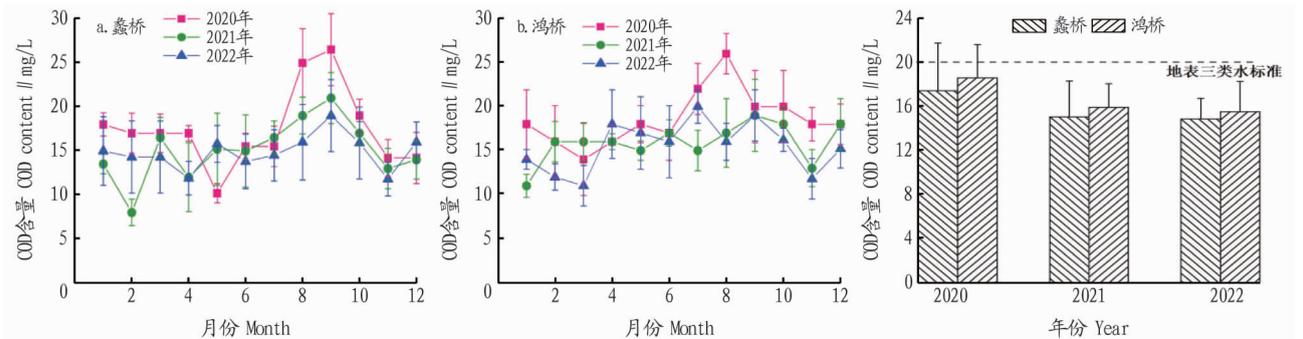


图5 2020—2022年监测断面COD含量变化

Fig.5 Change of COD content in monitoring section from 2020 to 2022

2.2.1.4 氮、磷元素。氮、磷元素作为生物地球化学循环中物质的基础,是污染物排放总量控制的主要对象^[14],也是该研究中主要分析的重要参数。其中,氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)是指以游离氨或者铵盐形式存在的氨^[15],而总磷(TP)含量主要指水样中正磷酸盐、偏磷酸盐、焦磷酸盐、聚磷酸盐和有机态含磷化合物的总和^[16]。该研究中,虽然梁溪河受夏季太湖蓝藻爆发影响,其氨氮含量会有一定程度的提升,但均满足地表水三类水标准。总磷含量的变化趋势与氨氮相似,虽然蠡桥断面在2020年8月检测到总磷含量超过了0.2 mg/L,但其他时间段的指标也均满足地表水三类水标准。整体来看,梁溪河

水体氨氮和总磷含量逐年降低得益于相关部门的有效监管与治理,至2022年蠡桥断面和鸿桥断面年平均氨氮和总磷含量均已满足地表水二类水标准。

2.2.2 成因分析。梁溪河水质逐步提升,但仍然存在较多因素影响水质,如夏季气温、两岸餐饮店的偷排、支浜污染等,探究影响梁溪河水质的主要因素有助进一步监管和治理梁溪河水系。夏季梁溪河DO含量会有一定程度的降低,而COD、高锰酸盐指数、氨氮和总磷指标均出现上升。夏季的高温是导致这一现象的主要原因。研究认为^[17],持续高温将导致河道蒸发量加大,加上降水量的减少,导致水体容量

与水动力不足,削弱水体自净能力;另外,持续高温将导致氧气在水中溶解度的下降,同时高温条件下河道底泥及水体耗氧过程加速,导致水体溶解氧浓度快速下降。研究也表

明^[18],高温有利于促进有机物的降解,导致溶解氧下降、无机营养盐浓度增加,加速底泥氮、磷污染物的释放,加重水体富营养化程度。

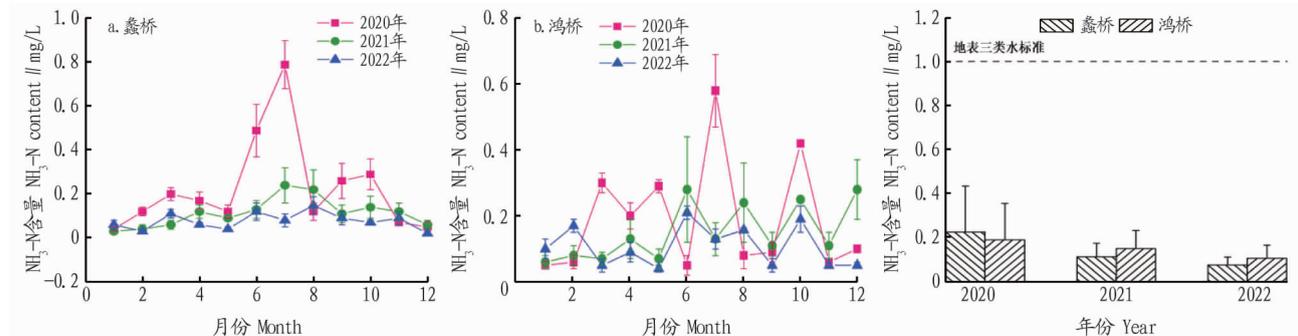


图6 2020—2022年监测断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量变化

Fig.6 Change of $\text{NH}_3\text{-N}$ content in monitoring section from 2020 to 2022

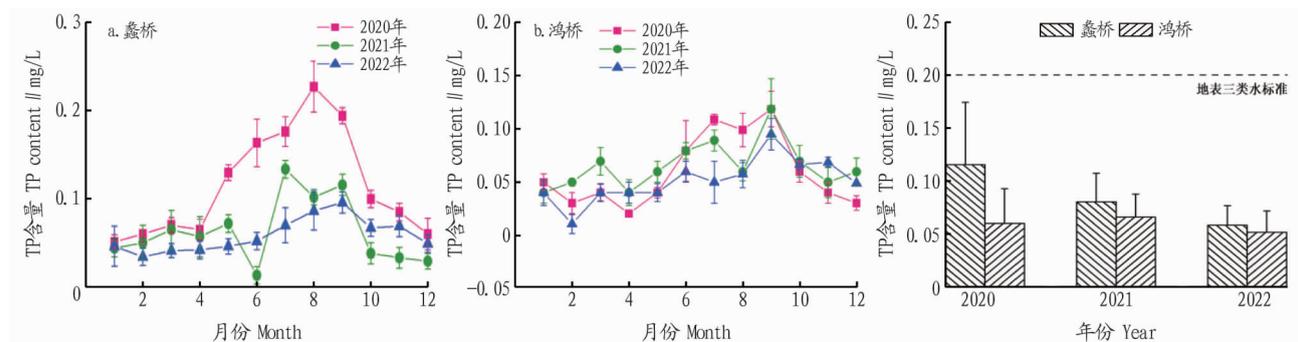


图7 2020—2022年监测断面 TP 含量变化

Fig.7 Change of TP content in monitoring section from 2020 to 2022

梅梁湾调水在很大程度上会影响梁溪河水质,2021—2022年的水质变化情况如图8所示。调水COD含量和高锰酸盐指数在2年内较为平稳,受季节变动的影响较小,这说明梅梁河调水有机污染物浓度整体较为稳定。结合前文梁溪河断面每年夏季COD含量和高锰酸盐指数上升的结果可以推测,梁溪河有机污染物的增高受调水的影响较小,可能与支浜汇入和商家偷排有关。梅梁湾调水的氨氮和总磷含量在夏季均有一定程度的增加,而DO含量则在夏季降低,这可能与每年夏季太湖蓝藻水华爆发有关。梅梁湾与太湖相通,蓝藻爆发会引起湖水富营养化,大量的氮、磷元素会进入梅梁湾,进而通过调水引入梁溪河,导致梁溪河夏季的氨氮和总磷含量增高,DO含量降低。通过Canoco 5相关性分析也发现(图9),梅梁湾调水的氨氮、总磷和DO含量与梁溪河断面呈正相关,这说明梅梁湾调水对梁溪河氨氮、总磷和DO的贡献较大。考虑到每年夏季梁溪河氨氮和总磷含量较高的现状,应选择在夏季减少梅梁湾的调水或选择其他水质更好的水源地进行同步调水。

梁溪河周边支浜的汇入也是影响梁溪河水质的因素之一。通过上文的研究可以看出,三节桥浜和骂蠡港的多个指标不满足地表水三类水标准,而其他支浜个别月份也会出现水质不达标现象,这些支浜会通过汇流将过量污染物引入梁溪河,导致水质降低。进一步,该研究通过对各支浜6个月的水质指标进行相关性分析,深入探讨影响梁溪河水质的

因素,明确污染物的来源。通过高锰酸盐指数和COD含量的相关性分析可以综合分析梁溪河水体中有机污染物与支浜汇流的关系(图10),其中三节桥浜和镇山潭与梁溪河2个检测断面COD含量呈正相关,而三节桥对于这2个断面COD含量的贡献较大。结合图2结果可以看出,三节桥浜COD含量过高,超过地表水三类水体标准,这说明三节桥浜的含有较高的有机污染物,其汇流会引起梁溪河COD含量上升,降低水质。

氮、磷元素是污染物排放总量控制的主要对象,该研究进一步分析了支流支浜氨氮和总磷浓度与梁溪河断面的相关性关系。通过上文的研究可以发现,三节桥浜含有较高的氨氮和总磷,然而通过相关性分析发现其含量与梁溪河断面并无正相关关系,这说明该支浜对梁溪河中氮磷元素并无较大贡献。反而,氨磷浓度较低的唐港浜、小渲河等与梁溪河断面有较大的相关性。考虑到2020—2022年梁溪河自身较低的氨氮含量,可以推测这与无锡市政府对这几个相关性较大支浜氨氮和总磷的有效综合管控有关。

3 梁溪河水质提升管控策略

3.1 夏季高温气候下水质的管控 在夏季高温天,建议采用再生水补水、河道引水、水库下泄补水等方式,积极拓展生态补水的水源,加大生态补水的量。通过内河节制闸、泵站等科学调度,对河道水体进行精准调控,增强平原河网的流动性,改善河道水动力条件。部分不具备补水、调控条件的

河道可以通过设置临时水泵、涌浪机、推流曝气装置,增加水体流动性。另外,在不影响断面水质监测的范围外采用喷泉式曝气机、涌浪机或微纳米曝气设备等设施对水体进行复氧,促进上下层水体的混合,并加大局部水体的扰动,提高水

中溶解氧的含量,抑制底泥氮、磷的释放,防止水体黑臭现象的发生,恢复和增强水体中好氧微生物的活力,使水体中的污染物加快降解得以净化,从而改善河道水质。

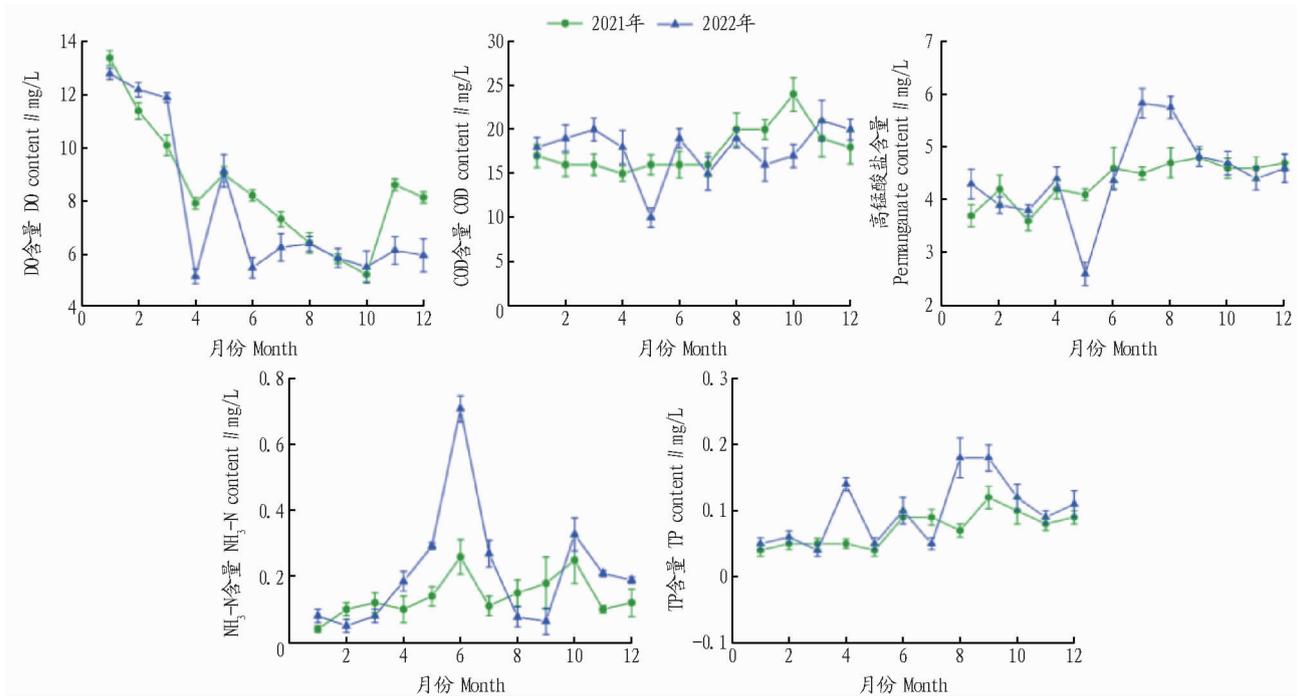


图 8 2021—2022 年梅梁湾调水水质变化

Fig.8 Changes in water quality of Meiliang Bay from 2021 to 2022

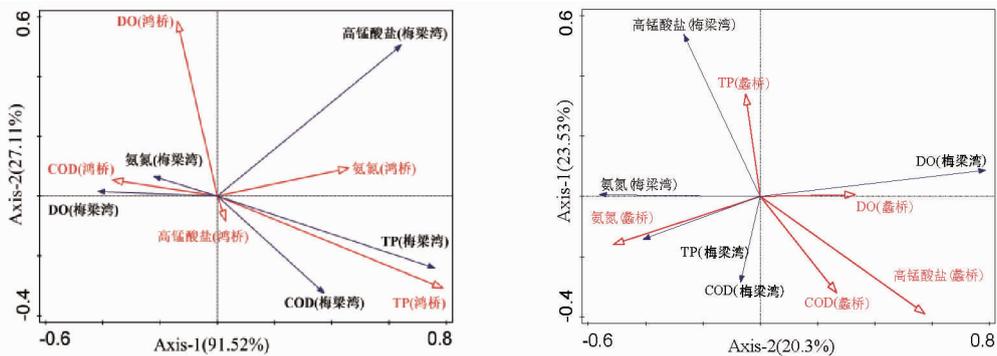


图 9 梁溪河与梅梁湾污染相关性关系

Fig.9 Correlation between Liangxi River and Meiliang Bay pollution

3.2 上游梅梁湾调水及主要入河河道的管控 针对由于夏季太湖水华梅梁湾调水氨氮和总磷含量较高的现状,首先应按照季节变化调整上游调水水量,减少夏季梅梁湾的调水;再另外选择其他水质较高的河流湖泊同步进行梁溪河的夏季调水工作。针对支浜内源污染严重、河床淤积等问题,首先采用水力冲控法对支浜进行生态疏浚,对支浜底泥进行清淤,减少内源氮磷释放,对支浜水质改善有着重要作用;针对支浜水生态环境恶化、水体自净能力差等问题,利用“基质-微生物-植物”协同作用,构建支浜原位反应器和支浜异位人工湿地,恢复水体的溶解氧,提升水体的自净能力。支浜原位生态反应器技术通过曝气增氧、生态浮岛等相关技术,构建缺氧/好氧原位生态净化系统。支浜异位生态净化工程采

用湿地处理技术,利用景观风车以及太阳能提水泵,将河水引入河岸湿地处理系统,通过多级湿地对河水进行异位处理,处理出水进入支浜活水平循环。

针对梁溪河沿岸居民区众多,需要建立和完善生活污水排放收集系统,统一规划污水管网,建立健全污水排放和收集系统,使得生活污水不直接排入环境。首先,对部分雨污水管网存在的老化破损、淤积堵塞、错接漏接等“不健康”问题进行深入“体检”,通过分类摸排、全面溯源,理清全区排水网络,精准定位管道“痛点”,查清“病因”,推进污水源头收集和污染源头管控。其次,可以在沿支浜的居民区建立人工湿地系统,人工湿地的作用首先是消纳居民的生活污水,再者就是作为生态屏障,对该地区的微气候起调节作用,可以

净化水质、调节气候环境,同时还能居民打造休息区,起到美化生活环境的作用。

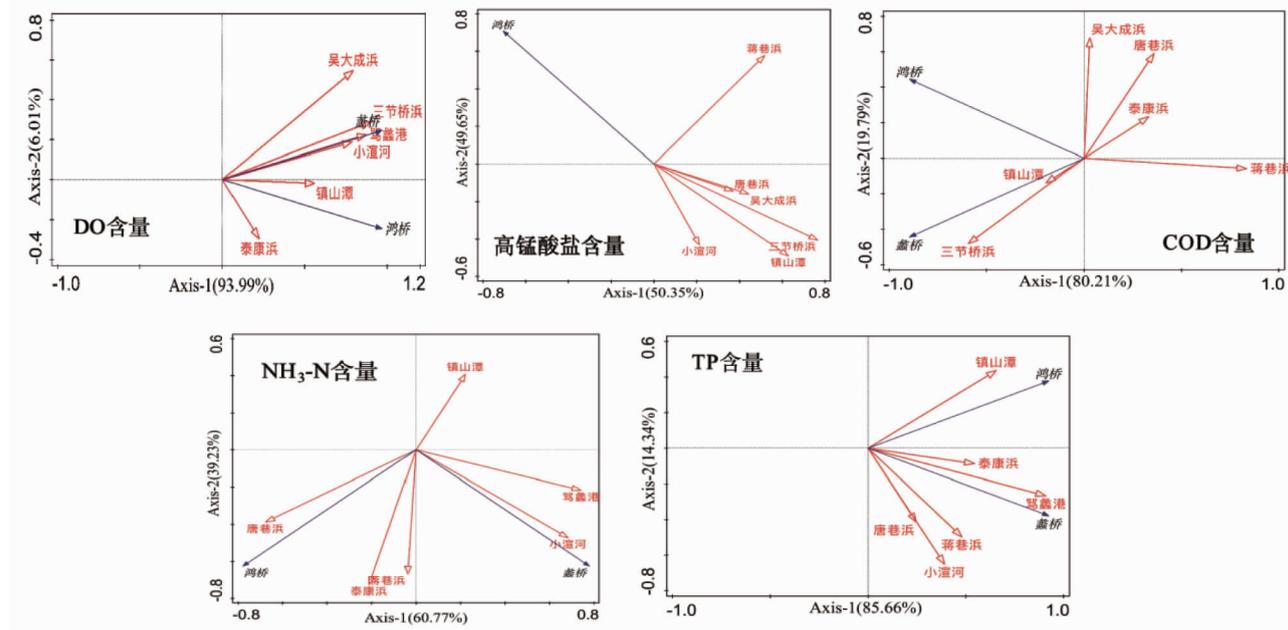


图 10 梁溪河与相通支浜污染相关性关系

Fig.10 Correlation of pollution between Liangxi River and adjacent branch creek

4 结论

2020—2022年梁溪河水系地表水质逐步提升,其 DO、COD、高锰酸盐、氨氮和总磷指标均满足地表水三类水标准,但夏季气温、梅梁湾调水和支浜污染等因素仍可能影响梁溪河的综合水质。

(1) 夏季高温会加速水系耗氧过程,引起 DO 含量降低,进一步导致水系 COD、高锰酸盐、氨氮和总磷含量的增加,是影响梁溪河水质的主要因素。

(2) 夏季梅梁湾调水水质氨氮和总磷含量上升,且结合 Canoco 5 相关性分析发现,梁溪河氨氮和总磷浓度与梅梁湾调水有关。

(3) 通过 Canoco 5 相关性分析,发现三节桥浜的 COD 含量较高,其水流的汇入是引起梁溪河有机污染物含量较高的因素之一;而梁溪河较低的氨氮、总磷污染得益于无锡政府对唐港浜、小渲河等相关支流支浜的有效管理。

(4) 建议从夏季梁溪河水水质维稳、梅梁湾调水管控和主要入河河道水质的治理三方面综合提升梁溪河水体水质。

参考文献

- [1] 程丹璐.无锡地域景观研究与实践:以无锡中心城区生态绿网规划为例[D].北京:北京林业大学,2019.
- [2] 吴浩云,甘月云,金科.“引江济太”20年:工程实践、成效和未来挑战[J].湖泊科学,2022,34(5):1393-1412.
- [3] 徐斌.绿色生态城市建设适应性技术体系与实施路径建构:以苏南地区为实证研究[D].南京:东南大学,2019.
- [4] 环境保护部.水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法:HJ 828—2017[S].北京:中国环境出版社,2017.
- [5] 国家环境保护局.水质 高锰酸盐指数的测定:GB 11892—89[S].北京:

中国标准出版社,1989.

- [6] 环境保护部.水质 氨氮的测定 蒸馏-中和滴定法:HJ 537—2009[S].北京:中国环境科学出版社,2010.
- [7] 国家技术监督局.水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法:GB 11893—89[S].北京:中国标准出版社,1989.
- [8] BALES R, XU K H, LI G D, et al. Hydrodynamics, sediment transport, and water quality of two contrasting dredge pits on the Louisiana shelf[J]. Continental shelf research, 2021, 230: 1-15.
- [9] 徐闯,刘广州,陈晓宏.珠江流域东江(东莞段)溶解氧时空变化及其影响因素[J].湖泊科学,2022,34(5):1540-1549.
- [10] WANG Y T, XU H, SHEN Z, et al. Effects of dissolved oxygen on water quality and biofilms in the raw water distribution pipeline for a reserved water source[J]. Environmental science: Water research & technology, 2022, 8(10): 2277-2288.
- [11] YAN T, SHEN S L, ZHOU A N. Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives[J]. Environmental pollution, 2022, 308: 1-19.
- [12] MUHAIMIN M, PRAYOGA R A, ENIATI E. Determination of chemical oxygen demand (COD) concentration in domestic wastewater using UV-Vis spectrophotometry method based on the effect of reflux time and preservation time[J]. Stannum, 2022, 4(1): 13-18.
- [13] 张媛.污染河流的生物-生态修复技术及其研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2007.
- [14] DING S D, WANG B Y, FENG Y Y, et al. Livestock manure-derived hydrochar improved rice paddy soil nutrients as a cleaner soil conditioner in contrast to raw material[J]. Journal of cleaner production, 2022, 372: 1-13.
- [15] 陈琳荔.蠡河水环境质量评价及水体脱氮研究[D].无锡:江南大学,2014.
- [16] RAPIN A, GRYBOS M, RABIET M, et al. Phosphorus mobility in dam reservoir affected by redox oscillations: An experimental study[J]. Journal of environmental sciences, 2019, 77: 250-263.
- [17] LEI X L, LU B. Integrated water environment treatment: Mountainous sponge city and three gorges reservoir region[M]. [s.l.]: CRC Press, 2021.
- [18] 雷建森,洪海,刘海龙,等.松花湖底泥 TN、TP 和 COD 的释放影响因素研究[J].节水灌溉,2014(8):45-48,52.