

E方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

冠状病毒气溶胶传播及环境影响因素

李雪, 蒋靖坤, 王东滨, 邓建国, 贺克斌, 郝吉明



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年7月

第42卷 第7期

Vol.42 No.7

目次

冠状病毒气溶胶传播及环境影响因素 李雪, 蒋靖坤, 王东滨, 邓建国, 贺克斌, 郝吉明 (3091)

新冠肺炎疫情期间气象条件和排放变化对 PM_{2.5} 的影响 逯世泽, 史旭荣, 薛文博, 雷宇, 严刚 (3099)

基于网格的长三角 PM_{2.5} 分布影响因素及交互效应 黄小刚, 赵景波, 辛未冬 (3107)

ARIMA 时间序列分析模型在臭氧浓度中长期预报中的应用 李颖若, 韩婷婷, 汪君霞, 权维俊, 何迪, 焦热光, 吴进, 郭恒, 马志强 (3118)

中国长三角背景点冬季大气棕碳污染特征及来源解析 赵宇, 吴灿, 王益倩, 陈玉宝, 吕少君, 汪芳琳, 杜伟, 刘仕杰, 丁志健, 王格慧 (3127)

四川盆地 PM_{2.5} 浓度时空变化特征遥感监测与影响因子分析 李梦真, 张廷斌, 易桂花, 秦岩宾, 李景吉, 刘贤, 蒋杰 (3136)

河网连续动态模型构建及其在典型杀虫剂时空迁移模拟中的应用 邢成, 张芊芊, 蔡雅雅, 烟晓婷, 应光国 (3147)

九龙江流域河流氮输出对土地利用模式和水文状况的响应 黄亚玲, 黄金良 (3156)

滇池近岸水体微塑料污染与富营养化的相关性 袁海英, 侯磊, 梁启斌, 李佳琛, 任甲 (3166)

白洋淀夏季入淀区沉积物间隙水-上覆水水质特征及交换通量分析 张甜娜, 周石磊, 陈召莹, 张紫薇, 孙悦, 姚波, 崔建升, 李再兴, 罗晓 (3176)

镇江市古运河和金山湖河湖上覆水体和沉积物氮及有机质分布特征及污染评价 原璐彬, 邢书语, 刘鑫, 周晓红, Adelaide Angela Dadzie (3186)

洪湖国际重要湿地沉积物磷空间分布特征及释放风险 刘永九, 黄素珍, 张璐, 彭雪, 张心怡, 葛芳杰, 刘碧云, 吴振斌 (3198)

苏州古城区域河道底泥的重金属污染分布及生态风险评价 白冬锐, 张涛, 包峻松, 陈坦, 王洪涛, 金曦, 金军, 杨婷 (3206)

武汉集中式饮用水源地土壤重金属的时空分布特征及生态风险评价 朱静, 侯耀宗, 邹书成, 曹梦华, 涂书新 (3215)

升金湖河湖交汇区地表-地下水水化学特征及成因分析 崔玉环, 王杰, 刘友存, 郝洸, 高祥 (3223)

青岛市农区地下水硝态氮污染来源解析 寇馨月, 丁军军, 李玉中, 毛丽丽, 李巧珍, 徐春英, 郑欠, 庄姗 (3232)

三峡库区支流浮游植物群落稳定性及其驱动因子分析 何书晗, 欧阳添, 赵璐, 纪璐璐, 杨安琪, 施军琼, 吴忠兴 (3242)

哈尔滨城市河网丰水期浮游植物群落分布特征及驱动因子 路枫, 李磊, 齐青松, 陆欣鑫, 刘妍, 范亚文 (3253)

湖泊沉积物中微生物群落对天然有机质输入的响应 居琪, 章奇, 曹驰程, 白雷雷, 张晖 (3263)

补给水质与社会活动对白洋淀湿地微生物的影响特征 赵志瑞, 吴会清, 毕玉方, 展庆周, 吴海淼, 袁凯悦, 孟祥源, 李方红 (3272)

蓝藻衰亡过程中上覆水溶解性有机物变化特征 李翔, 李致春, 汪旋, 张思远, 王慧敏, 厉荣强, 王国祥, 李启蒙 (3281)

长江下游快速城市化地区水污染特征及源解析:以秦淮河流域为例 马小雪, 龚畅, 郭加汛, 王腊春, 徐蕴韵, 赵春发 (3291)

长江下游居民区降水地表径流的污染特征 郭文景, 张志勇, 闻学政, 张瀚文, 王岩 (3304)

潮河流域降雨径流事件污染物输出特征 包鑫, 江燕, 胡羽聪 (3316)

不透水地表粗糙度对城市面源颗粒物的累积和冲刷影响 单溪环, 谢文霞, 廖云杰, 房志达, 杨晓晶, 苏静君, 赵洪涛, 李叙勇 (3328)

基于概率方法的中国居民饮水途径暴露健康风险评估 秦宁, 刘运炜, 侯荣, 王彩云, 王贝贝, 段小丽 (3338)

蛋白类有机质在水厂各处理单元中的去除特性 李梦雅, 宋钰莹, 张晓岚, 黄海鸥 (3348)

污水处理厂不同单元工艺水中重金属及其纳米颗粒的分布 王杜珈, 何帅, 周小霞 (3358)

基于宏基因组技术分析 MBR 膜清洗后污泥中抗性基因 杜彩丽, 李中涵, 李晓光, 张列宇, 陈素华, 黎佳茜, 李曹乐 (3366)

石化废水处理厂中耐药菌和耐药基因的分布特征与去除效能解析 唐振平, 肖莎莎, 段毅, 刘迎九, 高媛媛, 吴月月, 陈怡雯, 周帅 (3375)

一段式亚硝化厌氧氨氧化 SMBBR 处理中低浓度氨氮废水 吕恺, 邵贤明, 王康舟, 姚雪薇, 彭党聪, 韩芸 (3385)

外加固体缓释碳源的两段反硝化工艺脱氮性能 唐义, 马邕文, 王金泉, 王艳, 叶刚 (3392)

臭氧投量对 SBR 系统污泥沉降性能及脱氮除磷的影响 吕永涛, 朱传首, 张旭阳, 徐超, 潘永宝, 刘爽, 崔双科, 王磊 (3400)

间歇梯度曝气下首段延时厌氧强化好氧颗粒污泥脱氮除磷 张玉君, 李冬, 王敬鑫, 张富国, 张杰 (3405)

提盐速率对序批式生物反应器性能和微生物群落结构的影响 古柏铭, 金春姬, 温淳, 侯金源, 赵阳国, 高孟春 (3413)

低温驯化对自养脱氮颗粒污泥功能活性与菌群结构的影响分析 钱飞跃, 刘雨馨, 王建芳, 刘文如 (3422)

矿渣基改性剂对城市污泥重金属稳定化 张发文, 董明坤, 陈辰慧, 赵长民 (3430)

2000~2018 年长三角土地利用变化对农田生态系统氨排放的影响 王文锦, 王卿, 朱安生, 黄凌, 顾莹, 王杨君, 王敏, 李莉 (3442)

麦秸水热炭及其改良产物对水稻产量和稻田氨挥发排放的影响 韩晨, 侯朋福, 薛利红, 冯彦房, 余姗, 杨林章 (3451)

水肥管理对热带地区双季稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响 李金秋, 邵晓辉, 缙广林, 邓艺欣, 谭诗敏, 徐文娟, 杨秋, 刘文杰, 伍延正, 孟磊, 汤水荣 (3458)

耐盐碱水稻土壤产甲烷菌群落特征及产甲烷途径 杨雨虹, 贺惠, 米铁柱, 刘玥腾, 刘佳音, 张国栋, 李明月, 甄毓 (3472)

铁碳微电解填料对人工湿地温室气体排放的影响 赵仲婧, 郝庆菊, 涂婷婷, 胡曼利, 张尧钰, 江长胜 (3482)

农地土壤重金属 Pb 和 Cd 有效性测定方法的筛选与评价 陈莹, 刘汉焱, 刘娜, 蒋珍茂, 魏世强 (3494)

亚热带高山森林土壤典型重金属的空间分布格局及其影响因素:以云南哀牢山为例 刘旭, 王训, 王定勇 (3507)

深圳市不同土类的重金属环境背景值与理化性质特征 林挺, 赵述华, 郝秀平, 杨坤, 吴静雅, 朱艳, 罗飞 (3518)

同步钝化土壤 Cd 和 As 材料的筛选 周嗣江, 刘针延, 熊双莲, 马烁, 黄倚豪, 雷寅, 曹梦华, 涂书新 (3527)

两种铁基材料对污染农田土壤砷、铅、镉的钝化修复 袁峰, 唐先进, 吴骥子, 赵科理, 叶正钱 (3535)

青藏高原东缘冻土中有机磷酸酯的污染特征 刘丽娅, 印红玲, 蹇林洁, 徐子文, 熊远明, 罗怡, 刘小雯, 徐维新 (3549)

成都平原氮磷化肥施用强度空间分布及影响因素分析 刘奇鑫, 王昌全, 李冰, 赵海岚, 方红艳, 邓茜, 李启权 (3555)

土壤中溶解性有机质对不同类型堆肥的响应差异 席北斗, 王燕, 檀文炳, 余红, 崔东宇, 程东会, 党秋玲 (3565)

《环境科学》征订启事(3315) 《环境科学》征稿简则(3357) 信息(3391, 3441, 3564)

镇江市古运河和金山湖河湖上覆水体和沉积物氮及有机质分布特征及污染评价

原璐彬, 邢书语, 刘鑫, 周晓红*, Adelaide Angela Dadzie

(江苏大学环境与安全工程学院, 镇江 212013)

摘要: 镇江市位于长江和京杭大运河“十字黄金水道”的交汇处,是我国历史上最为重要的水上交通枢纽之一,区域内水量充沛、河网密布。近年来,该区域水环境存在不同程度的退化,故调查镇江市主要河湖水体及沉积物污染现状,将为当地水环境质量的改善提供重要的基础数据。基于此,本研究选择镇江市典型河湖水体共21个点位(金山湖10个点位,古运河及其支流共11个点位),在冬夏两季采集上覆水及沉积物样品测定其理化指标和氮素含量,并通过有机指数及有机氮对沉积物污染程度进行评价。结果表明:①上覆水总氮(TN)浓度在冬夏季节分别介于 $1.95 \sim 15.71 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.64 \sim 12.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 $4.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4.07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值浓度高于地表水V类标准。上覆水氨氮(NH_4^+-N)浓度在季节上均表现为冬季<夏季,空间上则表现为河流>湖泊;②沉积物TN含量在冬夏两季分别介于 $394.61 \sim 3288.09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $869.21 \sim 3598.04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $1928.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2068.40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。湖泊沉积物TN、 NH_4^+-N 、硝态氮(NO_3^--N)和有机氮(Org-N)含量均表现为冬季>夏季,而河流沉积物TN平均含量为冬季<夏季, NH_4^+-N 和 NO_3^--N 则表现为冬季>夏季,表明河流沉积物在季节上的分布规律更为复杂;空间上,冬夏两季沉积物 NO_3^--N 表现为湖泊>河流, NH_4^+-N 含量则表现为湖泊<河流。C/N结果表明研究区域沉积物有机质主要来源于内源污染;③湖泊和河流沉积物超过60%点位属于有机氮污染IV水平,即存在有机氮污染,而超过70%和54.55%的湖泊和河流沉积物处于有机指数II类水平,即较清洁水平,表明镇江市河湖沉积物主要为氮素污染。以上研究结果将为镇江市河流水体及沉积物氮素控制提供重要的基础数据。

关键词: 季节; 空间; 有机指数; 有机氮; 金山湖; 古运河及支流

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)07-3186-12 DOI: 10.13227/j.hjxx.202010192

Distribution Characteristics and Pollution Evaluation of Nitrogen and Organic Matter in Overlying Water and Sediment of Guyun River and Jinshan Lake in Zhenjiang City

YUAN Lu-bin, XING Shu-yu, LIU Xin, ZHOU Xiao-hong*, Adelaida Angela Dadzie

(School of the Environment and Safety Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Zhenjiang City is located in the intersection of the Yangtze River and the Beijing-Hangzhou Grand Canal, which is the most important water transportation hub in China, with abundant water resources and a dense river network. In recent years, the water quality in this region has declined with the rapid development of the economy and enhanced anthropogenic activity. Therefore, it is crucial to understand the state of water and sediment pollution in rivers and lakes of Zhenjiang City, which can provide important basic data for improving the water environment quality for this region. In total, 21 sampling sites (including 10 sites from Jinshan Lake and 11 sites from the ancient canal) in Zhenjiang City were selected, and overlying water and sediment samples were sampled in winter and summer, respectively. In addition, the physical and chemical parameters of overlying water and sediment samples were determined, respectively, and the organic index as well as organic nitrogen index were analyzed in order to evaluate the degree of sediment contamination in this region. Results showed that ① The TN concentration of overlying water changed from $1.95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ to $15.71 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in the winter and from $0.64 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ to $12.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in the summer, with mean values of $4.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $4.07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively, which are higher than those of the surface water V class standard. In addition, the ranked order of NH_4^+-N was as follows: winter < summer and river > lake; ② the TN content in the sediment samples ranged from $394.61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $3288.09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and from $869.21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $3598.04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively, with the mean values of $1928.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $2068.40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. The ranked order of TN, NH_4^+-N , NO_3^--N , and Org-N was as follows: winter > summer for lake sediment samples. For river sediment samples, the ranked order of TN was winter < summer, whereas those of NH_4^+-N and NO_3^--N were winter > summer, indicating more complicated seasonal distribution for river sediment. In addition, the NO_3^--N content was higher in lake sediment than in river sediment, whereas that of NH_4^+-N was higher in river sediment than in lake sediment. The C/N ratio results indicated that the organic matter in sediments primarily resulted from endogenous pollution in this region; ③ Results of organic nitrogen index confirmed that 60% sediment samples from the lake in winter and the river in summer belong to the IV pollution level, indicating that organic nitrogen pollution existed in these samples. The results of organic index confirmed that 70% and 54.55% sediments samples belong to

收稿日期: 2020-10-26; 修订日期: 2020-12-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(31971472); 江苏省环境监测基金项目(1816)

作者简介: 原璐彬(1995~),女,硕士研究生,主要研究方向为退化生态系统修复, E-mail: 476534387@qq.com

* 通信作者, E-mail: xzhzhou0214@ujs.edu.cn

the II pollution level, indicating that the sediments were not severely polluted in rivers and lakes of Zhenjiang City. The results demonstrate that sediments in rivers and lakes of Zhenjiang City are mainly polluted by nitrogen. Our findings provide important basic data for nitrogen control schemes in river water and sediment in Zhenjiang City.

Key words: season; space; organic index; organic nitrogen index; Jinshan Lake; ancient canal and tributary

镇江市地处长江和京杭大运河“十字黄金水道”的唯一交汇处,是我国历史上最为重要的水上交通要道之一,市区内河网密布,纵横交织.作为中国经济最为活跃的长三角城市之一,近几十年来,伴随着经济的快速发展和城市化进程的加剧,大量污染物排入河湖水体,加上古运河年久失修,部分河段堵塞,使得河湖水体自净能力严重下降,水质恶化,呈黑臭现状;而镇江市最大的景观湖泊-金山湖部分湖湾处在夏季亦有蓝藻水华的频繁暴发,故河湖水体环境质量治理和生态环境修复已成为镇江市北部滨水区及“山水花园城市”建设的重要目标.

目前,针对河湖水体及沉积物污染现状已开展了大量的调查^[1-3].现有研究表明:受流域特征、污染物来源等自然因素和人类活动的干扰,河湖水体及沉积物营养元素在空间及时间尺度上均具有一定的分异性^[4-6].因此,针对特定区域,调查及评价河湖水体营养元素在时间和空间上的差异对全面了解污染物的污染状况有重要的意义.

当前,关于镇江市河湖水体污染现状已开展了一些调查.如周晓红等^[7]通过古运河电力路桥段和南水桥段沉积物柱状样的采集及沉积物氮素及有机质的污染垂向分布特征研究,发现沉积物氮素及有机质污染水平在垂向上有差异,且两个点位之间亦存在差异.周裔文等^[8]及储金宇等^[9]则分别对古运河河岸带沉积物氮素及重金属污染状况进行了研究,结果进一步表明,氮素及重金属含量均有空间分布上的差异.尽管关于该区域污染状况已经取得了一些成果,但前期研究在时间和空间尺度均较为分散.由于镇江市河网纵横交织,市区的一湖九河存在密切的关联及连通性,故将金山湖及其与古运河相关联支流作为统一的整体,开展镇江市河湖水体氮素及有机质污染现状的系统调查与评价,以期镇江市河湖水体环境的治理方案的科学制定提供重要依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于江苏省镇江市(32°09'53"N ~ 32°14'08"N, 119°24'04"E ~ 119°31'11"E),该地区位于长江和京杭大运河“十字黄金水道”的唯一交汇处,是我国历史上最为重要的水上交通要道之一.市内河网纵横密布,主要湖泊及河流包括:金山湖、古

运河、运粮河、虹桥港、光明河、玉带河、周家河和丁卯团结河等.该区域位于亚热带北端,气候四季分明,平均气温 14.9 ~ 15.4℃,多年平均年降水量 1 044.5 mm,多集中在 5 ~ 10 月.

其中,金山湖湖区东西方向长约 4 km,南北宽约 2 km,丰水期面积约 8.8 km²,占镇江市城市地表水面积的 80% 以上,是镇江市水量最大的城市景观湖泊,该湖泊为闸坝型水体,引航道闸坝将长江水引入金山湖,并通过下游焦南坝回流至长江,实现金山湖水位的调控^[10].

古运河起点为京口闸,终点为谏壁三汊河口,与京杭大运河相连,其流经镇江市市区段河长 16.69 km,汇水面积 80.81 km²,平均水深 4 ~ 6 m,主要支流为运粮河、周家河、四明河、团结河、虹桥港和玉带河^[7-9,11].古运河是镇江市老城区最大的接纳水体^[7],也是镇江老城区和官塘、丁卯、丹徒和谏壁等地地表径流和南部山丘洪水的主要汇入河流,担负着城市防洪排涝、调节水位、文脉传承和观光游览等功能.

1.2 样品采集和预处理

在综合考虑镇江市河湖水体分布特征、水域面积及人类活动的影响程度等基础上,在金山湖湖区(L1 ~ L10)、古运河镇江段干流(R6 ~ R10)和古运河 6 条主要支流(R1-虹桥港、R2-玉带河、R3-团结河、R4-四明河、R5-周家河、R11-运粮河),共选取 21 个点位进行样品采集,具体点位见图 1 所示.



图 1 镇江市主要河湖采样点位示意

Fig. 1 Main rivers and lakes sampling locations in Zhenjiang City

于 2019 年 1 月(冬季)和 2019 年 7 月(夏季)在所选 21 个点位分别采集上覆水体及沉积物样品.具体采样方法为:

上覆水样品采用 2 L 的有机玻璃水样采集器分别采集 21 个点位的表层水样(距水面下 25 ~ 30 cm 处),各点位采集 3 个水样,并分别置于预先清洗干净的聚乙烯取样瓶中,记为 3 次重复.采集的水样迅速带回实验室于 4℃ 条件保存,并立刻测定上覆水体氮素(TN、NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N).在上覆水样采集的同时,对每个点位的水温(*T*)、pH、电导率(EC)和溶解氧浓度(DO)进行原位监测,每个点位测定 3 次,计为 3 次重复,同时记录各点位周边环境状况.

在采集水样的同一个点位,采用彼得森抓斗式沉积物采样器分别随机采集沉积物各 3 次,现场充分混匀后装入聚乙烯自封袋(排出空气),作为该点位混合样品,迅速带回实验室,一部分 -20℃ 条件下保存,并一部分风干、研磨,过 100 目筛装入自封袋,4℃ 储存,用于沉积物理化指标测定.

1.3 上覆水和沉积物理化指标测定

水体样品测定指标包括:温度(*T*)、pH、溶解氧(DO)、电导率(EC)、总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N).其中,pH 和 *T* 通过 pH 计(HI 98128 防水型袖珍 pH/温度计)现场原位测定;DO 通过溶解氧仪(哈希 HQ30d)现场原位测定;EC 通过 EC/TDS/温度测定仪(哈纳 HI99301)进行现场原位测定.其余指标参考文献[12]进行测定,其中

表 1 沉积物营养盐的污染状况评价标准及污染等级

Table 1 Evaluation standard and grade of sediment nutrient pollution

等级	有机指数 ^[17,18]		有机氮 ^[17,18]	
	有机指数	污染类型	有机氮/%	污染类型
I	<0.05	清洁	<0.033	清洁
II	0.05 ≤ 有机指数 < 0.20	较清洁	0.033 ≤ 有机氮 < 0.066	较清洁
III	0.20 ≤ 有机指数 < 0.50	尚清洁	0.066 ≤ 有机氮 < 0.133	尚清洁
IV	≥0.50	有机污染	≥0.133 3	有机氮污染

1.5 数据计算与分析

通过皮尔逊相关系数(Pearson correlation coefficient)进行相关性分析.采用单因素方差分析方法进行差异显著性检验(one-way ANOVA).通过 Excel 2019、Origin 9.0、IBM SPSS 22.0 软件和 R 语言进行数据计算、分析与图表绘制.

2 结果与讨论

2.1 上覆水氮元素分布特征分析

所采水样中氮素浓度在季节和空间方面存在明显差异(图 2 和图 3).TN 浓度在冬夏两季分别介于 1.95 ~ 15.71 mg·L⁻¹ 和 0.64 ~ 12.09 mg·L⁻¹ 之间,其平均值为 4.01 mg·L⁻¹ 和 4.07 mg·L⁻¹.NH₄⁺-N 浓度在冬夏两季介于 0.17 ~ 2.97 mg·L⁻¹ 和 0.02 ~ 4.84 mg·L⁻¹ 之间,其平均值为 0.63 mg·L⁻¹ 和 1.54

TN 采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定;NH₄⁺-N 采用纳氏试剂分光光度法测定;NO₃⁻-N 采用紫外分光光度法测定,NO₂⁻-N 采用 *N*-(1-萘基)-乙二胺光度法测定.有机氮(Org-N)及溶解性无机氮(DIN)通过经验公式计算获得^[13],具体为:

$$\text{Org-N} = \text{TN} - \text{DIN}$$

$$\text{DIN} = \text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N}$$

沉积物测定指标包括:pH、TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和有机质(OM)含量.沉积物 pH(水土比为 2.5:1)采用复合电极 pH 计测定(上海雷磁 PHS-25 型 pH 计,BNCQ9 型探头).沉积物 NH₄⁺-N 通过 2 mol·L⁻¹ KCl 浸提后采用靛酚蓝分光光度法测定;NO₃⁻-N 采用酚二磺酸分光光度法测定^[14];TN 采用碱性过硫酸钾氧化消解-紫外分光光度法测定^[15];OM 采用水合热重铬酸钾氧化-比色法测定.有机碳根据之前研究结果^[16],通过 OM(%)/1.724 计算获得.

1.4 营养盐污染状况评价

采用有机指数[式(1)]和有机氮[式(2)]对沉积物污染现状及污染程度进行评价^[17].评价标准及污染等级见表 1 所示.

$$\text{有机指数} = \text{有机碳}(\%) \times \text{有机氮}(\%) \quad (1)$$

$$\text{有机氮}(\%) = \text{总氮}(\%) \times 0.95 \quad (2)$$

mg·L⁻¹.硝态氮在冬夏两季平均浓度为 2.09 mg·L⁻¹ 和 0.87 mg·L⁻¹,浓度范围为 0.33 ~ 9.86 mg·L⁻¹ 和 0.07 ~ 1.68 mg·L⁻¹.与《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)相比,镇江市河湖水体 TN 平均浓度高于地表水 V 类标准,总氮污染较严重.

对于金山湖而言,上覆水体 TN 在夏季分别有 20%、40%、30% 和 10% 点位处于地表水 III、IV、V 和劣 V 类水平,而冬季所有点位 TN 浓度均高于地表水 V 类标准,表现为较为严重的 TN 污染.金山湖冬夏两季 NH₄⁺-N 浓度平均值分别为 0.28 mg·L⁻¹ 和 0.06 mg·L⁻¹,低于 NO₃⁻-N 平均浓度(1.18 mg·L⁻¹ 和 0.74 mg·L⁻¹).TN、NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 污染程度均表现为冬季劣于夏季.对于古运河及其支流而言,冬夏两季上覆水样 TN 平均值分别高于五类标准值的 2.29 和 3.22 倍,且 TN 的污染程度表现为冬季 < 夏

季. 这一结果与赵丽等^[19]对岱海水体的研究结果一致. 此外, 河流水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均值在冬夏两季分别为 $0.95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2.87 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 浓度介于 $0.18 \sim 2.97 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.09 \sim 4.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 则介于 $1.24 \sim 9.86 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.20 \sim 1.68 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 平均值为冬季 > 夏季. 以上数据表明季节对河湖上覆水体氮素浓度具有不同的影响. 进一步, 将水体理化因子 (DO、pH、EC、T) 与湖泊、河流上覆水体氮素 (TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$) 之间做相关性分析后发现, 除了冬季河流水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度与温度

因子之间存在显著相关性 ($P < 0.05$), 湖泊和河流其它氮素浓度与温度之间均不存在显著相关关系 ($P > 0.05$), 表明温度并非直接影响上覆水体氮素形态转化的关键因子 (图 4). 赵丽等^[19]对岱海水体的研究认为冬季总氮浓度高于其他季节的主要原因在于冬季湖水结冰导致了总氮浓度浓缩所致. 本研究区域, 冬季湖水温度高于 0°C , 故整个水域无结冰现象, 其冬季 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较高的可能原因在于冬季湖水水位下降, 导致河湖水体环境容量下降所致.

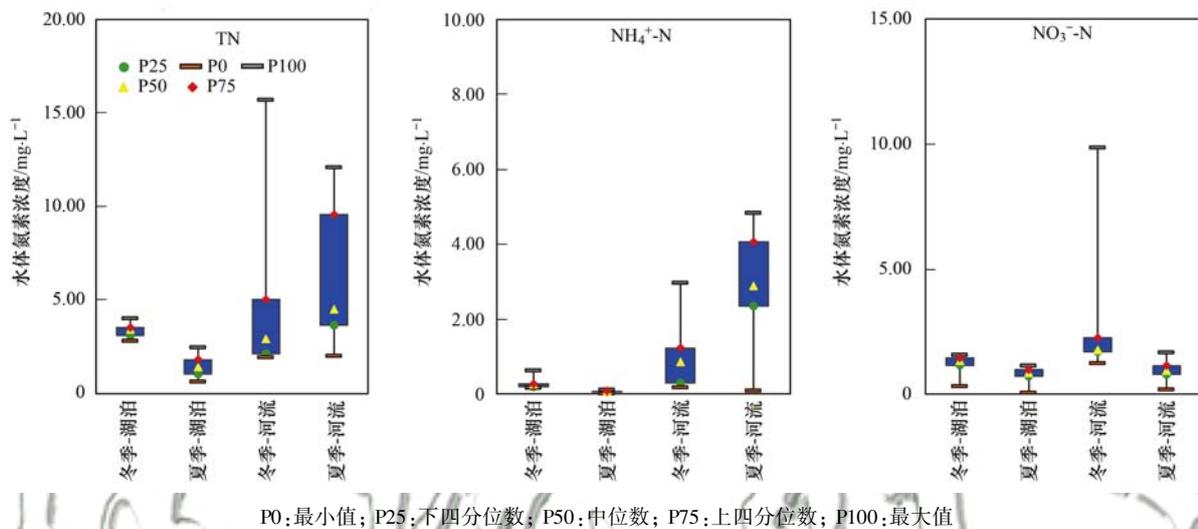


图 2 河湖水体氮素浓度统计结果

Fig. 2. Statistics of nitrogen concentration in rivers and lakes

不同点位氮素浓度的变化趋势表明 (图 3), TN 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度均表现为河流 > 湖泊, 表明河流水体氮素污染程度高于金山湖水体. 从统计结果可知, 金山湖水体氮素变异系数介于 $11.04\% \sim 51.56\%$ 之间, 而古运河水体氮素浓度变异系数介于 $44.15\% \sim 91.49\%$, 表明较金山湖而言, 古运河水体氮素浓度具有较大的变幅, 这与河流周边污染源和人类活动等分布密切相关. 其中古运河及其支流其水源主要受金山湖湖水的补给, 且其流经镇江市老城区, 流经区域污水以合流制排水模式为主, 河岸溢流污染等是古运河水质恶化的原因之一. 如本研究发现, TN 浓度最高值出现在 R2 点位, 该点位位于古运河的支流——玉带河, 玉带河水流缓慢, 水动力不足, 且周边有生活污水和生活垃圾排入, 导致了玉带河常年发黑发臭; R1 点位 (虹桥港) 同样存在水动力不足等情况, 同样导致该河段水体氮素浓度较高.

相关性分析结果表明 (图 4), 冬季河流 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度与水体 DO 浓度间均存在显著的负相关关系 ($P < 0.05$), 而与 EC 值之间则存在显著的正相关关系 ($P < 0.01$), 表明冬季河流水体

氮素受水体 DO 和 EC 值的影响较大. 研究表明, DO 浓度对水体氮素形态及其氮素转化具有显著的影响^[20-22]. 当 DO 浓度大于 $2.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 将通过硝化作用转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$, 而反硝化作用则受阻, 从而出现 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度累积的现状. 本研究中发现, 湖泊 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均值在冬夏两季分别占 TN 浓度的比值为 8.36% 和 5.40% , 而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 则分别占 TN 的 33.94% 和 50.02% , 占比最高值达 42.92% (冬季) 和 98.85% (夏季). 这与湖泊水体 DO 浓度有密切关系. 研究中发现, 除了 L1 点位在夏季 DO 浓度为 $3.07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之外, 其余点位均高于 $9.65 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (冬季) 和 $7.95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (夏季), 湖泊水体 DO 平均值达 $11.54 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (冬季) 和 $9.39 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (夏季), 总体呈现好氧状态. 但对于河流而言, 夏季水体氨氮平均值占 TN 浓度的 58.07% , 这与夏季河流水体较低的 DO 浓度密切相关, 夏季河流部分点位 DO 浓度平均值仅为 $4.43 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 且在局部区域 DO 浓度低于 $2.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 或者在 $2.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 附近波动变化, 呈现出厌氧状态, 采样过程中发现这部分水域, 如 R1、R2、R6 和 R7 等, 水体污染较为严重, 水

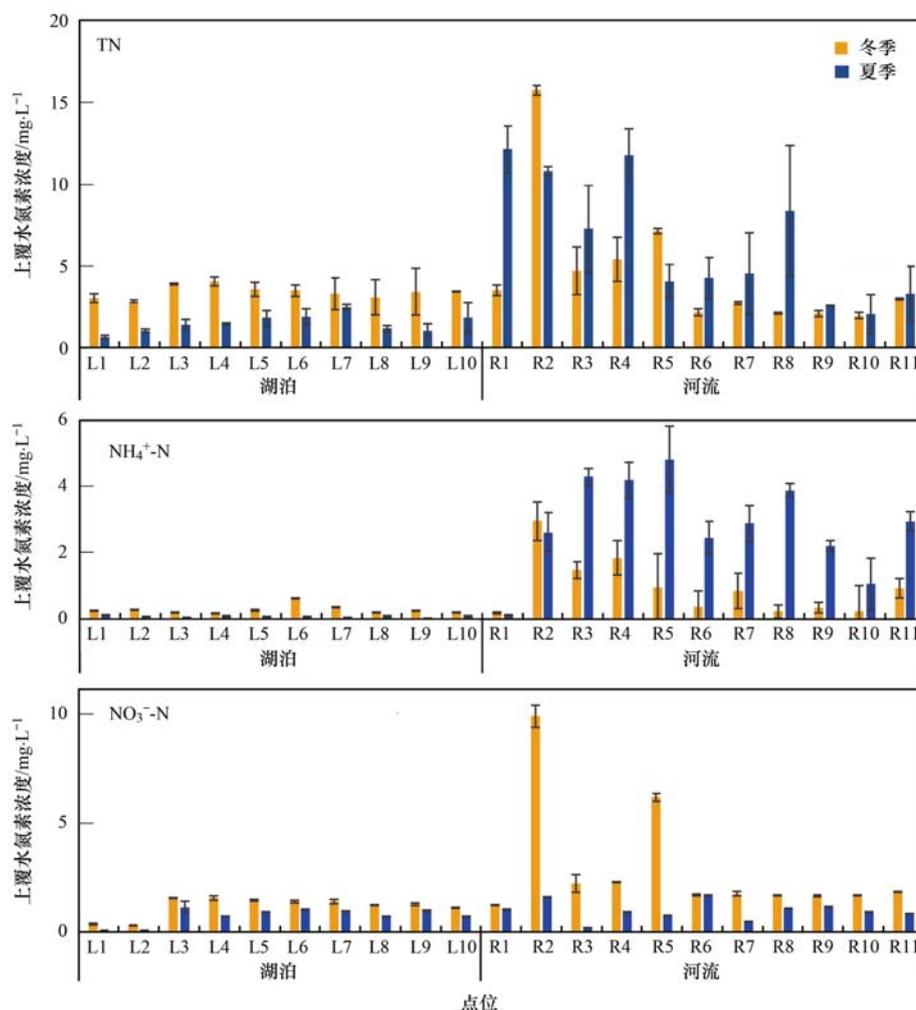


图3 镇江市主要河湖上覆水体氮素浓度

Fig. 3 Nitrogen content in overlying water of main rivers and lakes in Zhenjiang City

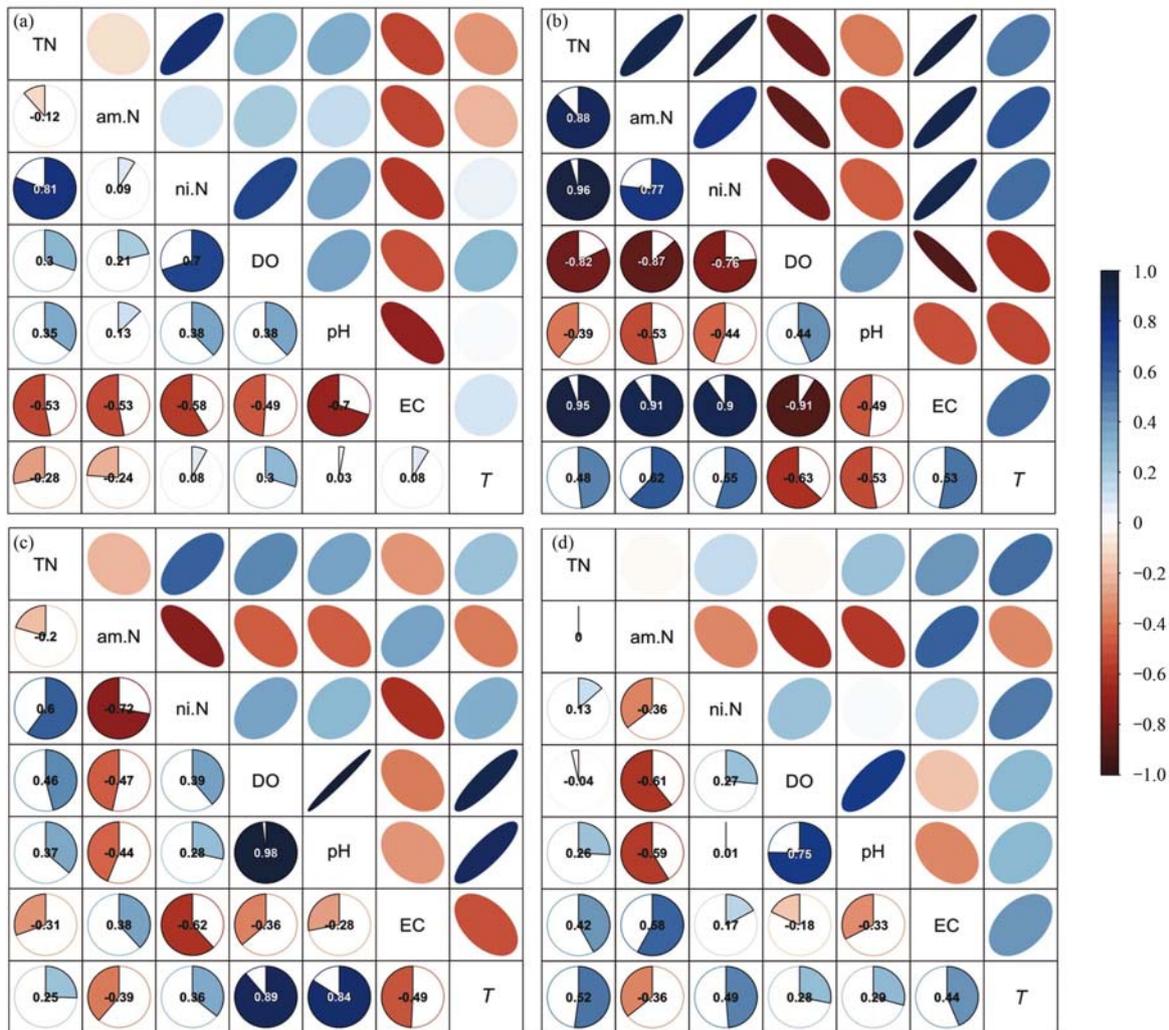
流非常缓慢,且发黑发臭. 较低的溶解氧浓度,导致河流上覆水体硝化反应严重受阻,故在河流水体中呈现出了高氨氮的污染状态.

2.2 沉积物氮素分布特征分析

镇江市河湖沉积物 TN 含量在冬夏两季分别介于 $394.61 \sim 3288.09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $869.21 \sim 3598.04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $1928.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2068.40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,该平均值高于太湖竺山湾表层沉积物 TN 含量^[17]. 与美国环保署(EPA)关于沉积物 TN 污染标准值对比后发现^[17],冬季共有 9.52% 的沉积物样品属于清洁水平(沉积物 TN 含量低于 $1.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 38.10% 的沉积物样品属于轻污染水平(沉积物 TN 含量介于 $1.0 \sim 2.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 而 52.38% 的沉积物样品则属于重污染水平(沉积物 TN 含量大于 $2.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$); 而夏季分别有 4.76%、33.33% 和 61.90% 的样品属于清洁、轻污染和重污染水平. 总体来说,镇江市河湖沉积物 TN 污染状况较为严重.

进一步,将湖泊和河流沉积物氮素含量分别做

统计分析,结果见图 5 所示. 金山湖冬季表层沉积物 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 Org-N 含量平均值分别为 2124.13、16.49、2.13 和 2017.92 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 夏季沉积物 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 Org-N 含量平均值分别为 1779.01、8.48、1.47 和 1690.06 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 湖泊沉积物中各形态氮含量的大小顺序为: Org-N > $\text{NH}_4^+\text{-N}$ > $\text{NO}_3^-\text{-N}$. 冬夏两季,金山湖沉积物 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 占 TN 的比例分别为 0.50% ~ 1.91% 和 0.27% ~ 0.93%, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 占 TN 的比例则分别为 0.06% ~ 0.17% 和 0.03% ~ 0.21%,沉积物中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度约为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的 3 ~ 20 倍. 以上结果表明有机氮是表层沉积物氮营养盐的主要存在形式,而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是沉积物无机氮的主要赋存形式. 从季节来看,湖泊沉积物 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 Org-N 含量均表现为冬季 > 夏季,这与上覆水的研究结果一致. 有研究表明,沉积物 Org-N 一方面来自内源污染物,即水体中浮游植物残体碎屑、水生动物代谢产物、水生高等植物残体等分解产物;另一方面为外源输入,即通过陆源性排放物质组成的有机氮^[23]. 对于金山湖而言,L1 和 L2 点



(a) 冬季-湖泊, (b) 冬季-河流, (c) 夏季-湖泊, (d) 夏季-河流; 圆圈中数字表示相关系数, 颜色越深相关性越强; 向右偏的椭圆 (蓝色) 表示正相关, 向左偏的椭圆 (橘色) 表示负相关; 颜色越深且越趋于直线表明相关性越强

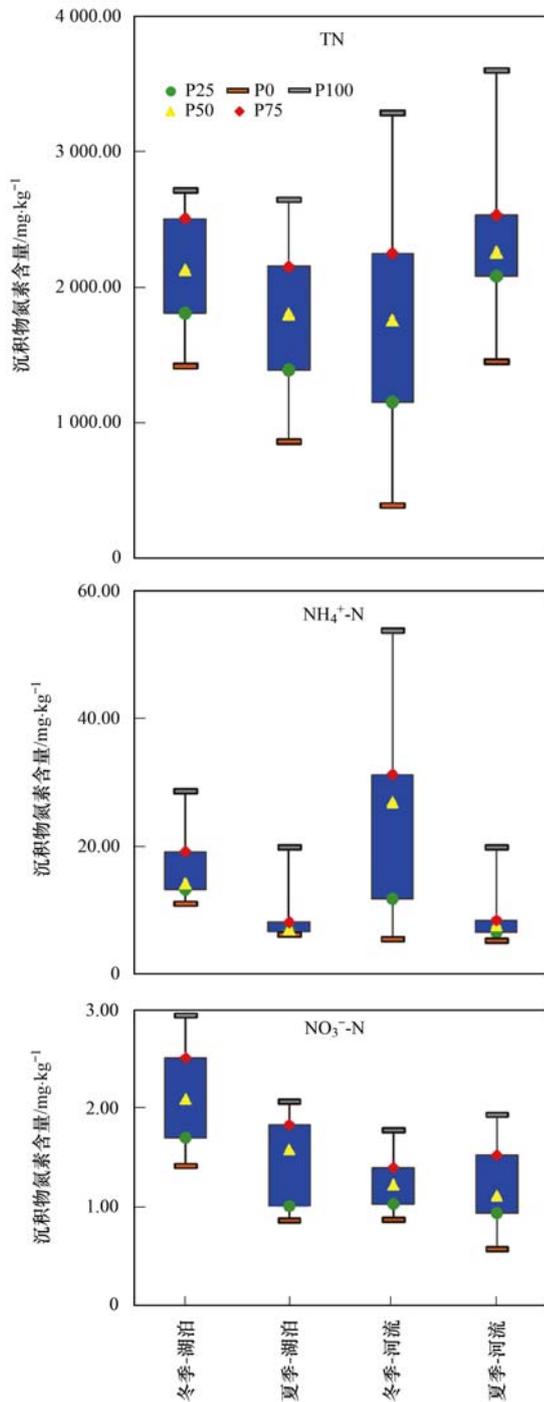
图 4 上覆水体营养盐相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of nutrient salt in overlying water

位有水生植物的繁茂生长, 而其余样点所在湖区水深超过 6 m, 无水生植物的生长, 因此沉积物 Org-N 可能主要以外源输入性为主. 此外, 采用 R 语言对金山湖上覆水体及沉积物营养盐做相关性分析, 结果见图 6 所示. 其中, 冬季金山湖沉积物 TN 与水体 NH_4^+ -N 间存在显著负相关关系 ($P < 0.05, n = 20$), 而沉积物 NO_3^- -N 与 NH_4^+ -N 则与上覆水体理化及氮素浓度之间均无显著相关关系 ($P > 0.05, n = 20$); 此外, 水体 DO 浓度则受到沉积物有机质含量的相关影响, 二者间存在显著负相关关系 ($P < 0.05, n = 20$), 表明沉积物有机质含量的高低将影响水体 DO 水平. 对于夏季湖泊而言, 沉积物与上覆水 NO_3^- -N 浓度间存在显著负相关关系 ($P < 0.05, n = 20$).

对于河流而言 (图 5), 冬季表层沉积物 TN、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和 Org-N 含量分别介于 394.61 ~ 3288.09、5.51 ~ 53.56、0.87 ~ 1.78 和 374.88 ~ 3123.68 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间. 夏季 TN、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和

Org-N 含量分别介于 1455.50 ~ 3598.04、5.29 ~ 19.95、0.64 ~ 1.94 和 1382.73 ~ 3418.14 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间. 本研究发现, 古运河 TN 含量普遍高于 2012 年古运河上游河道沉积物 TN 调查值^[7], 也高于古运河河岸沉积物 TN 含量^[8], 表明沉积物氮素含量有明显增加. 本研究发现, 河流沉积物中各形态氮含量的大小顺序同样表现为: Org-N > NH_4^+ -N > NO_3^- -N. 河流冬夏两季表层沉积物 NH_4^+ -N 占 TN 的比例分别为 0.24% ~ 4.17% 和 0.17% ~ 0.56%; NO_3^- -N 占 TN 的比例分别为 0.04% ~ 0.32% 和 0.02% ~ 0.11%. 此外, 河流沉积物氮素含量在季节上的分布无明显规律, TN 平均含量为冬季 < 夏季, 而 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 则表现为冬季 > 夏季. 采用 R 语言对河流上覆水体及沉积物营养盐做相关性分析后发现, 夏季河流沉积物 NH_4^+ -N 含量与温度因子之间存在显著正相关关系 ($P < 0.05, n = 22$), 而湖泊和河流沉积物其他氮素含量与温度之间均不存在显著



P0:最小值; P25:下四分位数; P50:中位数;

P75:上四分位数; P100:最大值

图5 河湖沉积物氮素含量统计

Fig. 5 Statistics of nitrogen content in sediment in rivers and lakes

相关关系 ($P > 0.05, n = 22$), 表明温度并非直接影响沉积物氮素形态转化的关键因子 (图 7). 除了温度以外, 冬季上覆水 NO_3^- -N 与沉积物 TN 和有机质含量间存在显著正相关关系 ($P < 0.05, n = 22$), 而夏季沉积物 TN、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 与上覆水体氮素间均无显著相关关系 ($P > 0.05, n = 22$).

与上覆水体不同, 河流与湖泊沉积物氮素含量在空间分布上变化较为复杂 (图 6 和图 8). 其中,

NO_3^- -N 含量在冬夏两季均表现为湖泊 $>$ 河流, 而沉积物 NH_4^+ -N 含量则表现为湖泊 $<$ 河流. 对 TN 和 Org-N 而言, 冬季湖泊沉积物大于河流, 而夏季则反之. 从方差分析统计结果可知, 湖泊和河流沉积物 TN、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和 Org-N 在空间分布上均具有显著的差异性 ($P < 0.01$), 表明氮素在湖泊和河流各点位的含量具有较大的变化. 对于湖泊而言, 沉积物 TN 最高值出现在 L8 点位, 该样点位于镇江市著名旅游景点焦山山脚下, 区域内水流较为缓慢, 且受到游船和人为活动的影响较频繁. 而河流沉积物总氮 TN 峰值则出现在 R2 点位 (与上覆水 TN 峰值为同一点位), 该样点该点位位于古运河的支流——玉带河, 该河水流缓慢, 水动力不足, 且周边有生活污水和生活垃圾排入, 导致玉带河河流沉积物污染最为严重. 这一结果与周裔文等^[8]针对古运河河岸沉积物的研究结果一致, 其在研究中发现玉带河河岸沉积物同样是古运河 6 个点位中污染最为严重的一个点位.

2.3 有机质分布特征分析

沉积物有机质主要包括沉积物中的腐殖质等, 与氮、磷和重金属等污染物质发生吸附、分配和络合等作用. 有机质含量是反映沉积物有机污染程度的重要标志^[23-25].

镇江市主要河湖沉积物有机质含量 (质量分数) 变化特征见图 9 所示. 冬夏两季沉积物有机质含量变化范围分别为 0.61% ~ 4.63% 和 0.44% ~ 2.82%, 平均值为 1.72% 和 1.53%, 变异系数分别为 68.78% 和 39.38%. 湖泊沉积物有机质含量平均值为冬季 $>$ 夏季, 而河流沉积物则表现为冬季 $<$ 夏季. 此外, 冬夏两季湖泊和河流沉积物有机质含量在空间上均具有显著差异 ($P < 0.01$), L1 和 L2 点位存在大量水生植物生长的点位, 点位区域分布有大量沉水植物, 季末水生植物衰亡后的残体在以上点位大量堆积导致有机质含量升高, 冬季沉积物有机质含量明显高于金山湖其他点位. 对于河流而言, R2、R5 和 R8 点位有机质含量则高于其他点位. 相关性分析结果表明, 冬季湖泊沉积物有机质含量主要与水体 NO_3^- -N 和 DO 含量间呈负相关关系 ($P < 0.05, n = 20$), 而夏季湖泊沉积物有机质含量则与上覆水 TN 间存在显著负相关关系 ($P < 0.05, n = 20$). 对于河流而言, 沉积物有机质含量与水体 NO_3^- -N 及 pH 值间有显著关系 ($P < 0.05, n = 22$), 而夏季沉积物有机质则主要受水体 NH_4^+ -N 的影响 ($P < 0.05, n = 22$).

前人研究表明, 沉积物有机质的来源主要是水体自养生物合成 (内源有机质) 和陆源输入 (外源有机质)^[26]. C/N 能够表征蛋白质含量, 有机质来源不同, 蛋白质含量则不同^[27]. 因此, 沉积物 C/N 可以

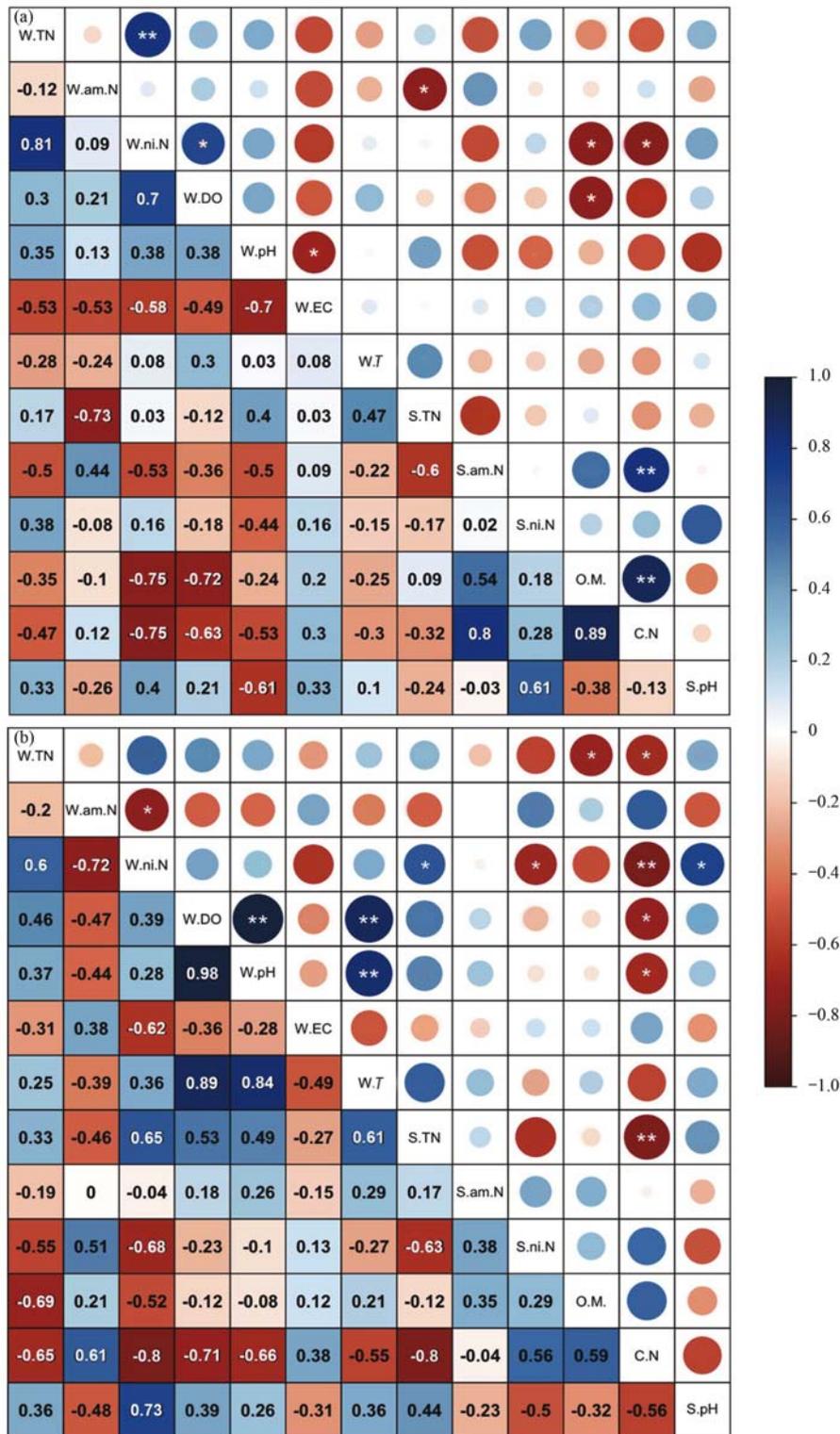


图 6 金山湖上覆水体及沉积物营养盐相关性分析

Fig. 6 Correlation analysis of nutrient salt in overlying water and sediment of Jinshan Lake

用来判断有机质的来源^[28]. Prahl 等^[29]的研究表明, 对于湖泊沉积物而言, C/N 小于 8 显示有机质来源于湖泊自身, 大于 12 则显示有机质来源于陆源输入. 也有学者认为来源于陆源高等植物的有机质

C/N 比一般介于 20 ~ 30, 来源于内源藻类的有机质 C/N 一般介于 4 ~ 10^[17]. 还有研究表明, 有机质来源于高等水生植物的 C/N 比介于 14 ~ 23, 来源于底栖动物的 C/N 比介于 2.8 ~ 3.4, 来源于浮游动植物的

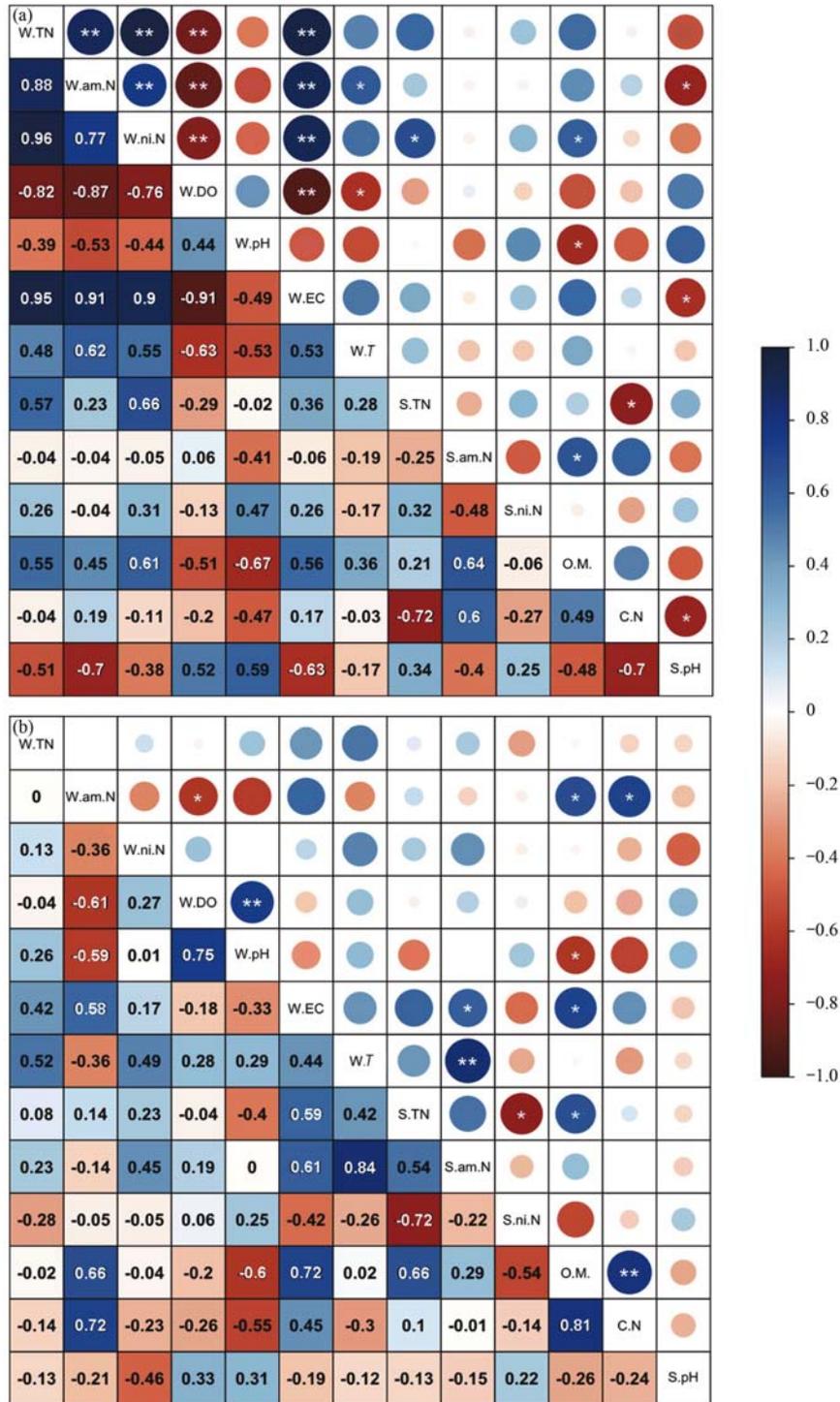


图 7 古运河上覆水体及沉积物营养盐相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis of nutrient salt in overlying water and sediment of the ancient canal

C/N 比平均值约为 6.0 ~ 6.3, 来源于藻类的 C/N 比介于 5 ~ 14^[17].

本研究中, 镇江市冬夏两季河湖沉积物 C/N 比分别介于 1.24 ~ 12.29 和 1.53 ~ 17.64, 平均值分别为 4.64 和 5.89, 变异系数分别为 71.15% 和 50.54%. 从空间分布上来看, 冬季沉积物除了 L2 和 R2 点位以外, 其余样点沉积物 C/N 均小于 10; 而夏季沉积物仅 L1 样点 C/N 值为 12.29, 其余点位均

小于 10, 表明研究区域沉积物有机质主要来源于内源污染, 并且可以判断大部分点位有机质主要来源于浮游动物和浮游植物. C/N 比大于 10 的点位, 其点位附近河岸周围分布有少量高等水生植物, 水生植物的衰亡等可能引起该局部区域碳元素含量的升高. 前期针对古运河的研究则表明老城区古运河有机质以内源为主^[7], 而古运河河岸则表现为外源输入为主^[8].

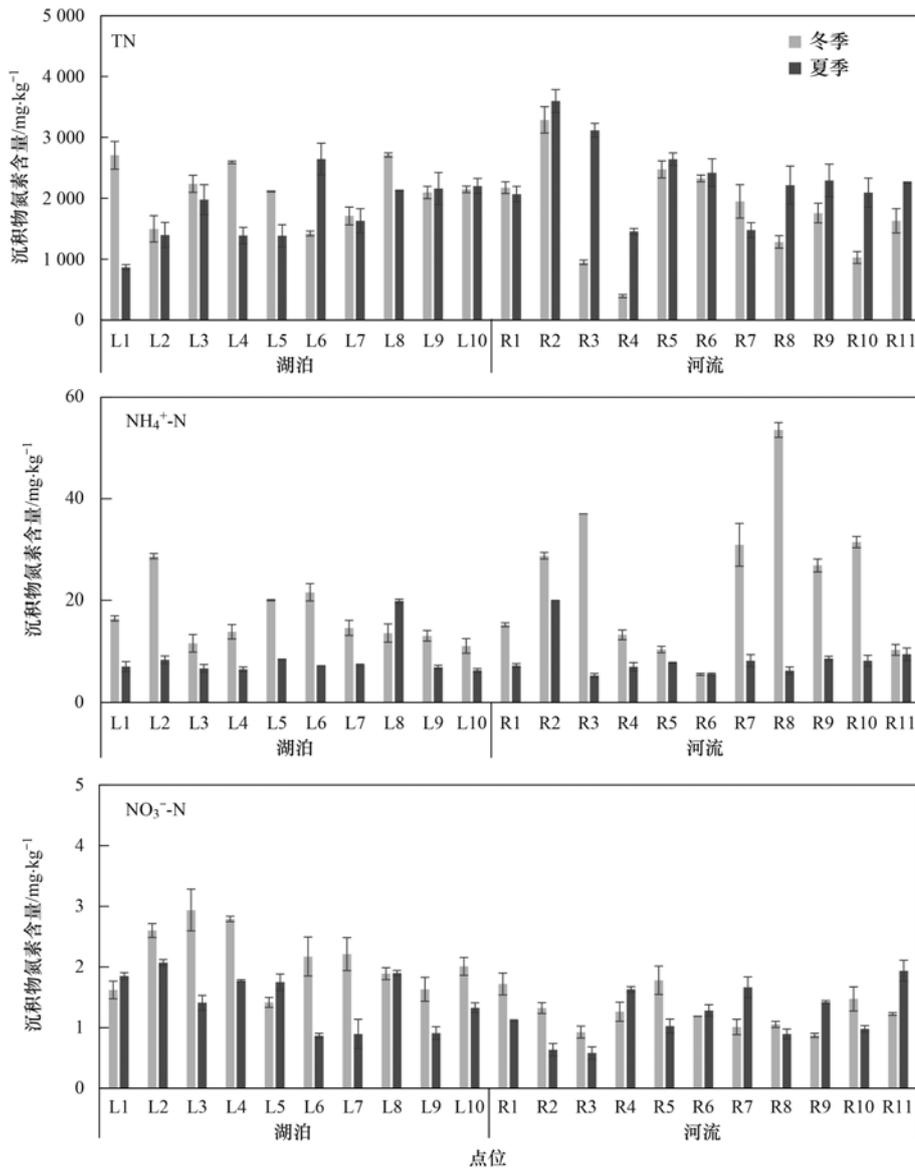
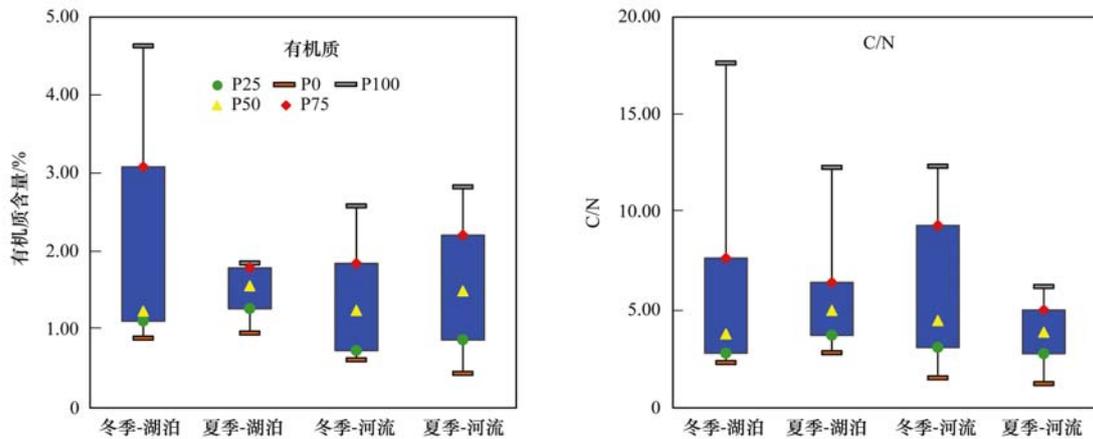


图 8 不同点位沉积物氮素含量的变化特征

Fig. 8 Variation characteristics of nitrogen content in sediments from different sampling sites



P0:最小值; P25:下四分位数; P50:中位数; P75:上四分位数; P100:最大值

图 9 镇江市主要河湖沉积物有机质含量变化特征

Fig. 9 Variation characteristics of sedimentary organic matter content in main rivers and lakes in Zhenjiang City

2.4 沉积物营养元素污染状况评价

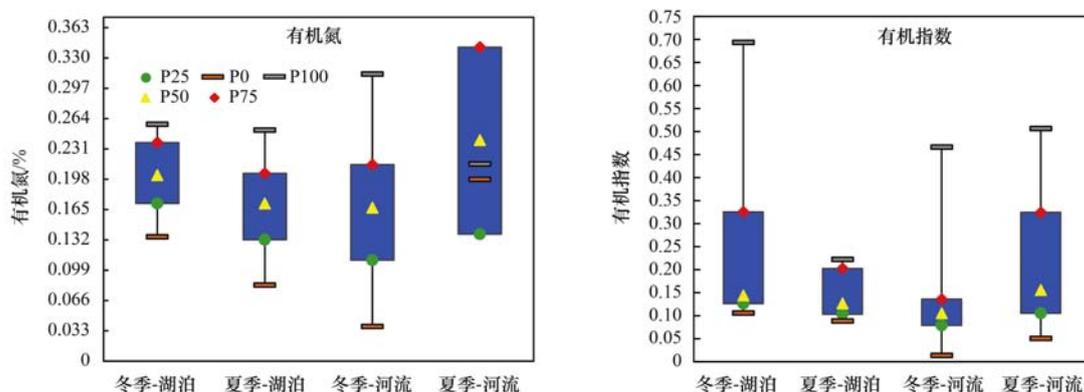
湖泊沉积物有机氮平均值分别为 0.20% 和

0.17%, 河流沉积物有机氮则介于 0.04% ~ 0.31% 和 0.14% ~ 0.34% 之间(图 10). 与有机氮分类标准

对比后发现,冬季湖泊沉积物和夏季河流沉积物样品全部属于有机氮污染IV水平. 夏季湖泊沉积物样品中,40%点位有机氮属于Ⅲ类等级,即尚清洁水平,而60%点位则为IV水平,即有机氮污染. 对于冬季河流沉积物样品而言,分别有9.10%、27.27%和63.64%的点位属于有机氮污染Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类,表示了9.10%、27.27%和63.64%的研究区域的分别处于较清洁、尚清洁和有机氮污染状态.

沉积物有机指数在冬夏两季分别介于0.01~0.69和0.05~0.51,平均值为0.19和0.18,变异

系数分别达89.56%和65.82%,表明河湖沉积物有机指数在空间分布上具有较大的差异. 其中,湖泊沉积物冬季样品中分别有70%、10%和20%点位属于有机指数Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ等级,表明70%、10%和20%的研究区域其有机指数属于较清洁、尚清洁和有机污染水平,而夏季样品则处于较清洁(70%)和尚清洁水平(30%). 河流沉积物有72.73%的点位在冬季表现为较清洁状况,夏季则有54.55%的点位表现为较清洁状况,河流沉积物有机指数总体表现为较清洁.



P0:最小值; P25,下四分位数; P50:中位数; P75:上四分位数; P100:最大值

图10 沉积物污染状况评价统计结果

Fig. 10 Statistical results of sediment nutrient pollution evaluation

3 结论

(1)镇江市河湖水体总氮污染较严重. 河流水体氮素污染程度高于金山湖水体.

(2)镇江市河湖沉积物表现为较严重的氮素污染状态. 各形态氮含量的大小顺序表现为:Org-N > $\text{NH}_4^+\text{-N}$ > $\text{NO}_3^-\text{-N}$. 从季节来看,湖泊沉积物TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和Org-N含量均表现为冬季 > 夏季,而河流沉积物氮素含量在季节上的分布无明显规律. 冬季湖泊沉积物TN和Org-N含量大于河流,而夏季则反之.

(3)湖泊沉积物OM含量平均值为冬季 > 夏季,而河流沉积物则表现为冬季 < 夏季,沉积物C/N平均值分别为5.89和4.64,以内源污染为主;

(4)湖泊和河流沉积物超过60%点位属于有机氮污染IV水平,表明本研究区域沉积物存在较为严重的有机氮污染. 湖泊沉积物70%的点位属于有机指数Ⅱ等级,表明70%的研究区域其有机指数属于较清洁水平. 河流沉积物在冬夏两季分别有72.73%以及54.55%的点位属于有机指数Ⅱ等级,表示了较清洁状况.

参考文献:

[1] 汪敬忠,刘卓,魏浩,等. 白洋淀表层沉积物元素的空间特征、

风险评价及来源分析[J]. 环境科学, 2020, 41(1): 224-231.

Wang J Z, Liu Z, Wei H, et al. Spatial characteristics, risk assessment, and source analysis of elements in surface sediments from the Baiyangdian Lake[J]. Environmental Science, 2020, 41(1): 224-231.

[2] 季鹏飞,许海,詹旭,等. 长江中下游湖泊水体氮磷比时空变化特征及其影响因素[J]. 环境科学, 2020, 41(9): 4030-4041.

Ji P F, Xu H, Zhan X, et al. Spatial-temporal variations and driving of nitrogen and phosphorus ratios in lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River[J]. Environmental Science, 2020, 41(9): 4030-4041.

[3] 齐冉,徐菲菲,杨帆,等. 木沥河流域氮素污染及其污染源解析[J]. 环境科学, 2020, 41(7): 3165-3174.

Qi R, Xu F F, Yang F, et al. Analysis of nitrogen pollution and its pollution sources in the Muli River Basin[J]. Environmental Science, 2020, 41(7): 3165-3174.

[4] 储茵,朱江,夏守先,等. 巢湖典型支流柘皋河水质污染时空变化特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 243-248.

Chu Y, Zhu J, Xia S X, et al. Temporal and spatial variation of water pollution in Zhegao River of Chao Lake Basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(4): 243-248.

[5] 冉桂花,葛继稳,苗文杰,等. 三峡库区古夫河水质时空分异特征[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5385-5396.

Ran G H, Ge J W, Miao W J, et al. Spatial-temporal differentiation of water quality in Gufu River of Three Gorges Reservoir[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5385-5396.

[6] 杨斌,方怀义,许丽莉,等. 钦州湾水质污染时空变化特征及驱动因素[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(6): 877-883.

Yang B, Fang H Y, Xu L L, et al. Spatio-temporal variation

- characteristics and driving factors of water pollution in Qinzhou bay [J]. *Marine Environmental Science*, 2017, **36**(6): 877-883.
- [7] 周晓红, 李义敏, 周艺, 等. 镇江老城区古运河沉积物氮及有机质垂向分布及污染评价[J]. *环境科学*, 2014, **35**(6): 2148-2155.
Zhou X H, Li Y M, Zhou Y, *et al.* Nitrogen and organic matter vertical distribution characteristics and evaluation in ancient canal sediments of Zhenjiang old town [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(6): 2148-2155.
- [8] 周裔文, 周晓红, 任琪琪, 等. 镇江市古运河河岸沉积物氮及有机质分布特征[J]. *水土保持研究*, 2017, **24**(6): 313-318, 326.
Zhou Y W, Zhou X H, Ren Q Q, *et al.* Distribution characteristics of nitrogen and organic matter in riverside surface sediments of the ancient canal in Zhenjiang City [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, **24**(6): 313-318, 326.
- [9] 储金宇, 张金萍, 周晓红, 等. 镇江市古运河河岸沉积物重金属分布特征及潜在生态风险评价[J]. *环境化学*, 2015, **34**(4): 763-771.
Chu J Y, Zhang J P, Zhou X H, *et al.* Distribution characteristics and ecological risk evaluation of heavy metals in riverside sediments of Zhenjiang canal [J]. *Environmental Chemistry*, 2015, **34**(4): 763-771.
- [10] 周晓红, 刘龙梅, 陈曦, 等. 金山湖闸坝型水体表层沉积物重金属分布特征及生态风险评价[J]. *环境科学*, 2014, **35**(11): 4127-4134.
Zhou X H, Liu L M, Chen X, *et al.* Heavy metals distribution characteristics and ecological risk evaluation in surface sediments of dammed Jinshan Lake [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(11): 4127-4134.
- [11] Zhou X H, Li Y M, Zhang J P, *et al.* Diversity, abundance and community structure of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in riparian sediment of Zhenjiang ancient canal [J]. *Ecological Engineering*, 2016, **90**: 447-458.
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [13] 黎文, 白英臣, 王立英, 等. 淡水湖泊水体中溶解有机氮测定方法的对比[J]. *湖泊科学*, 2006, **18**(1): 63-68.
Li W, Bai Y C, Wang L Y, *et al.* Determination of dissolved organic nitrogen in fresh lake water: method comparison [J]. *Journal of Lake Science*, 2006, **18**(1): 63-68.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [16] 张文斌, 余辉. 洪泽湖沉积物中营养盐和重金属的垂向分布特征研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(2): 399-406.
Zhang W B, Yu H. Vertical distribution characteristics of nutrients and heavy metals in sediments of Lake Hongze [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(2): 399-406.
- [17] 方家琪, 祁闯, 张新厚, 等. 太湖竺山湾沉积物碳氮磷分布特征与污染评价[J]. *环境科学*, 2019, **40**(12): 5367-5374.
Fang J Q, Qi C, Zhang X H, *et al.* Spatial distribution and pollution evaluation of carbon, nitrogen, and phosphorus in sediments of Zhushan Bay at Taihu Lake [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(12): 5367-5374.
- [18] 王书锦, 刘云根, 王妍, 等. 洱海入湖河口湿地干湿季沉积物氮、磷、有机质垂向分布特征及污染风险差异性[J]. *环境科学*, 2016, **37**(12): 4615-4625.
Wang S J, Liu Y G, Wang Y, *et al.* Vertical distribution and pollution risk assessment of nitrogen, phosphorus, and organic matter in sediment of inflowing rivers of Erhai Lake estuarine wetland in wet and dry seasons [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(12): 4615-4625.
- [19] 赵丽, 陈俊伊, 姜霞, 等. 岱海水体氮、磷时空分布特征及其差异性分析[J]. *环境科学*, 2020, **41**(4): 1676-1683.
Zhao L, Chen J Y, Jiang X, *et al.* Temporal and spatial distribution characteristics and difference analysis of nitrogen and phosphorus in Daihai Lake [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(4): 1676-1683.
- [20] Tanner C C, Kadlec R H, Gibbs M M, *et al.* Nitrogen processing gradients in subsurface-flow treatment wetlands-influence of wastewater characteristics [J]. *Ecological Engineering*, 2002, **18**(4): 499-520.
- [21] Wu J, Zhang J, Jia W L, *et al.* Impact of COD/N ratio on nitrous oxide emission from microcosm wetlands and their performance in removing nitrogen from wastewater [J]. *Bioresource Technology*, 2009, **100**(12): 2910-2917.
- [22] Tallec G, Garnier J, Billen G, *et al.* Nitrous oxide emissions from denitrifying activated sludge of urban wastewater treatment plants, under anoxia and low oxygenation [J]. *Bioresource Technology*, 2008, **99**(7): 2200-2209.
- [23] 卢少勇, 许梦爽, 金相灿, 等. 长寿湖表层沉积物氮磷和有机质污染特征及评价[J]. *环境科学*, 2012, **33**(2): 393-398.
Lu S Y, Xu M S, Jin X S, *et al.* Pollution characteristics and evaluation of nitrogen, phosphorus and organic matter in surface sediments of Lake Changshouhu in Chongqing, China [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(2): 393-398.
- [24] 余辉, 张文斌, 卢少勇, 等. 洪泽湖表层底质营养盐的形态分布特征与评价[J]. *环境科学*, 2010, **31**(4): 961-968.
Yu H, Zhang W B, Lu S Y, *et al.* Spatial distribution characteristics of surface sediments nutrients in Lake Hongze and their Pollution status evaluation [J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(4): 961-968.
- [25] 赵力, 蒋慧, 董艳, 等. 南通市区河流底泥营养物质污染特征及环境风险分析[J]. *中国环境监测*, 2014, **30**(4): 16-20.
Zhao L, Jiang H, Dong Y, *et al.* The research of nutrients contamination characteristics in sediments in Nantong urban rivers and assessment of environmental risks [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2014, **30**(4): 16-20.
- [26] 任凌霄, 王沛芳, 王超, 等. 望虞河表层沉积物中氮的分布与形态变化特征[J]. *环境工程学报*, 2015, **9**(3): 1201-1208.
Ren L X, Wang P F, Wang C, *et al.* Characteristics of distribution and variation of nitrogen species in surface sediments of Wangyu River [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2015, **9**(3): 1201-1208.
- [27] 张远, 张彦, 于涛. 太湖典型湖区沉积物外源有机质贡献率研究[J]. *环境科学研究*, 2011, **24**(3): 251-258.
Zhang Y, Zhang Y, Yu T. Contribution rate of exogenous organic matter in sediments from typical areas of Taihu Lake [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2011, **24**(3): 251-258.
- [28] 于宇, 宋金明, 李学刚, 等. 沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义[J]. *生态学报*, 2012, **32**(5): 1623-1632.
Yu Y, Song J M, Li X G, *et al.* Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**(5): 1623-1632.
- [29] Prahf F G, Bennett J T, Carpenter R. The early diagenesis of aliphatic hydrocarbons and organic matter in sedimentary particulates from Dabob Bay, Washington [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, **44**(12): 1967-1976.

CONTENTS

Transmission of Coronavirus via Aerosols and Influence of Environmental Conditions on Its Transmission	LI Xue, JIANG Jing-kun, WANG Dong-bin, <i>et al.</i> (3091)
Impacts of Meteorology and Emission Variations on PM _{2.5} Concentration Throughout the Country During the 2020 Epidemic Period	LU Shi-ze, SHI Xu-rong, XUE Wen-bo, <i>et al.</i> (3099)
Factors and Their Interaction Effects on the Distribution of PM _{2.5} in the Yangtze River Delta Based on Grids	HUANG Xiao-gang, ZHAO Jing-bo, XIN Wei-dong (3107)
Application of ARIMA Model for Mid- and Long-term Forecasting of Ozone Concentration	LI Ying-ruo, HAN Ting-ting, WANG Jun-xia, <i>et al.</i> (3118)
Pollution Characteristics and Sources of Wintertime Atmospheric Brown Carbon at a Background Site of the Yangtze River Delta Region in China	ZHAO Yu, WU Can, WANG Yi-qian, <i>et al.</i> (3127)
Spatio-temporal Variation Characteristics Monitored by Remotely Sensed Technique of PM _{2.5} Concentration and Its Influencing Factor Analysis in Sichuan Basin, China	LI Meng-zhen, ZHANG Ting-bin, YI Gui-hua, <i>et al.</i> (3136)
Construction of Continuous Dynamic Model for River Networks and Its Application in Simulation of Spatiotemporal Migration of Typical Biocides	XING Cheng, ZHANG Qian-qian, CAI Ya-ya, <i>et al.</i> (3147)
Response of Riverine Nitrogen Exports to Land Use Pattern and Hydrological Regime in the Jiulong River Watershed	HUANG Ya-ling, HUANG Jin-liang (3156)
Correlation Between Microplastics Pollution and Eutrophication in the Near Shore Waters of Dianchi Lake	YUAN Hai-ying, HOU Lei, LIANG Qi-bin, <i>et al.</i> (3166)
Analysis of Water Quality and Exchange Flux of Interstitial Water-Overlying Water in Sediments of Baiyangdian Entrance Area in Summer	ZHANG Tian-na, ZHOU Shi-lei, CHEN Zhao-ying, <i>et al.</i> (3176)
Distribution Characteristics and Pollution Evaluation of Nitrogen and Organic Matter in Overlying Water and Sediment of Guyun River and Jinshan Lake in Zhenjiang City	YUAN Lu-bin, XING Shu-yu, LIU Xin, <i>et al.</i> (3186)
Spatial Distribution Characteristics of Phosphorus Fractions and Release Risk in Sediments of Honghu International Importance Wetland	LIU Yong-jiu, HUANG Su-zhen, ZHANG Lu, <i>et al.</i> (3198)
Pollution Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in River Sediments from the Ancient Town of Suzhou	BAI Dong-rui, ZHANG Tao, BAO Jun-song, <i>et al.</i> (3206)
Spatio-temporal Distribution Characteristic and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils Around Centralized Drinking Water Sources in Wuhan	ZHU Jing, HOU Yao-zong, ZOU Shu-cheng, <i>et al.</i> (3215)
Hydro-chemical Characteristics and Ion Origin Analysis of Surface Groundwater at the Shengjin Lake and Yangtze River Interface	CUI Yu-huan, WANG Jie, LIU You-cun, <i>et al.</i> (3223)
Identifying the Sources of Groundwater NO ₃ ⁻ -N in Agricultural Region of Qingdao	KOU Xin-yue, DING Jun-jun, LI Yu-zhong, <i>et al.</i> (3232)
Analysis of Phytoplankton Community Stability and Influencing Factors in a Tributary of the Three Gorges Reservoir	HE Shu-han, OUYANG Tian, ZHAO Lu, <i>et al.</i> (3242)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Phytoplankton Community in Harbin Urban River Network During Wet Season	LU Feng, LI Lei, QI Qing-song, <i>et al.</i> (3253)
Response of Microbial Community to Natural Organic Matter Input in Lake Sediments	JU Qi, ZHANG Qi, CAO Chi-cheng, <i>et al.</i> (3263)
Effects of Water Supply Quality and Social Activity on the Microbial Community in Baiyangdian Wetland	ZHAO Zhi-rui, WU Hui-qing, BI Yu-fang, <i>et al.</i> (3272)
Characteristics of Dissolved Organic Matter in Overlying Water During Algal Bloom Decay	LI Xiang, LI Zhi-chun, WANG Xuan, <i>et al.</i> (3281)
Water Pollution Characteristics and Source Apportionment in Rapid Urbanization Region of the Lower Yangtze River: Considering the Qinhuai River Catchment	MA Xiao-xue, GONG Chang, GUO Jia-xun, <i>et al.</i> (3291)
Contamination Characteristics of Surface Runoff in Densely Populated Areas in Downstream Yangtze River, China	GUO Wen-jing, ZHANG Zhi-yong, WEN Xue-zheng, <i>et al.</i> (3304)
Characteristics of Pollutant Dynamics Under Rainfall-Runoff Events in the Chaohe River Watershed	BAO Xin, JIANG Yan, HU Yu-cong (3316)
Influence of Impervious Surface Roughness on Accumulation and Erosion of Urban Non-Point Source Particles	SHAN Xi-huan, XIE Wen-xia, LIAO Yun-jie, <i>et al.</i> (3328)
Probabilistic Risk Assessment of Arsenic Exposure Through Drinking Water Intake in Chinese Residents	QIN Ning, LIU Yun-wei, HOU Rong, <i>et al.</i> (3338)
Removal Behavior of Protein-like Dissolved Organic Matter During Different Water Treatment Processes in Full-Scale Drinking Water Treatment Plants	LI Meng-ya, SONG Yu-ying, ZHANG Xiao-lan, <i>et al.</i> (3348)
Distribution of Heavy Metals and Their Corresponding Nanoparticles in Different Treatment Unit Processes in the Sewage Treatment Plant	WANG Du-jia, HE Shuai, ZHOU Xiao-xia (3358)
Metagenomic Analysis of Resistance Genes in Membrane Cleaning Sludge	DU Cai-li, LI Zhong-hong, LI Xiao-guang, <i>et al.</i> (3366)
Distribution and Removal of Antibiotic-Resistant Bacteria and Antibiotic Resistance Genes in Petrochemical Wastewater Treatment Plants	TANG Zhen-ping, XIAO Sha-sha, DUAN Yi, <i>et al.</i> (3375)
Treatment of Medium Ammonium Wastewater by Single-stage Partial Nitrification-ANAMMOX SMBBR	LÜ Kai, SHAO Xian-ming, WANG Kang-zhou, <i>et al.</i> (3385)
Two-Stage Denitrification Process Performance with Solid Slow-Release Carbon Source	TANG Yi, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (3392)
Effect of Ozone Dosage on Sludge Settleability and Biological Nutrient Removal in SBR System	LÜ Yong-tao, ZHU Chuan-shou, ZHANG Xu-yang, <i>et al.</i> (3400)
First Extended Anaerobic Phase Enhanced Nitrogen and Phosphorus Removal by Aerobic Granular Sludge Under Intermittent Gradient Aeration	ZHANG Yu-jun, LI Dong, WANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3405)
Effect of Rate of Salinity Increase on the Performance and Microbial Community Structure of Sequencing Batch Reactors	GU Bai-ming, JIN Chun-ji, WEN Chun, <i>et al.</i> (3413)
Effects of Cold Acclimation on the Activity of Autotrophic Nitrogen Removal in Granular Sludge and Its Bacterial Population Structure	QIAN Fei-yue, LIU Yu-xin, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3422)
Stabilization of Heavy Metals in Municipal Sludge Using a Slag-Based Modifying Agent	ZHANG Fa-wen, DONG Ming-kun, CHEN Chen-hui, <i>et al.</i> (3430)
Role of Land Use Changes on Ammonia Emissions from Agricultural Ecosystems in the Yangtze River Delta Region from 2000 to 2018	WANG Wen-jin, WANG Qing, ZHU An-sheng, <i>et al.</i> (3442)
Effects of Wheat Straw Hydrochar and Its Modified Product on Rice Yield and Ammonia Volatilization from Paddy Fields	HAN Chen, HOU Peng-fu, XUE Li-hong, <i>et al.</i> (3451)
Effects of Water and Fertilization Management on CH ₄ and N ₂ O Emissions in Double-rice Paddy Fields in Tropical Regions	LI Jin-qiu, SHAO Xiao-hui, GOU Guang-lin, <i>et al.</i> (3458)
Community Characteristics of Methanogens and Methanogenic Pathways in Salt-tolerant Rice Soil	YANG Yu-hong, HE Hui, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (3472)
Effect of Ferric-carbon Micro-electrolysis on Greenhouse Gas Emissions from Constructed Wetlands	ZHAO Zhong-jing, HAO Qing-ju, TU Ting-ting, <i>et al.</i> (3482)
Screening and Evaluation of Methods for Determining Available Lead (Pb) and Cadmium (Cd) in Farmland Soil	CHEN Ying, LIU Han-yi, LIU Na, <i>et al.</i> (3494)
Spatial Distribution Trends and Influencing Factors of Typical Heavy Metals in Subtropical Alpine Forest Soils: A Case Study from Ailao Mountain in Yunnan Province	LIU Xu, WANG Xun, WANG Ding-yong (3507)
Environmental Background Values of Heavy Metals and Physicochemical Properties in Different Soils in Shenzhen	LIN Ting, ZHAO Shu-hua, XI Xiu-ping, <i>et al.</i> (3518)
Screening of Amendments for Simultaneous Cd and As Immobilization in Soil	ZHOU Si-jiang, LIU Zhen-yan, XIONG Shuang-lian, <i>et al.</i> (3527)
Simultaneous Immobilization of Arsenic, Lead, and Cadmium in Paddy Soils Using Two Iron-based Materials	YUAN Feng, TANG Xian-jin, WU Ji-zi, <i>et al.</i> (3535)
Pollution Characteristics of Organophosphate Esters in Frozen Soil on the Eastern Edge of Qinghai-Tibet Plateau	LIU Li-ya, YIN Hong-ling, JIAN Lin-jie, <i>et al.</i> (3549)
Analysis of Spatial Distribution and Influencing Factors of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Application Intensity in Chengdu Plain	LIU Qi-xin, WANG Chang-quan, LI Bing, <i>et al.</i> (3555)
Different Responses of Soil Dissolved Organic Matter to Different Types of Compost	XI Bei-dou, WANG Yan, TAN Wen-bing, <i>et al.</i> (3565)