

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

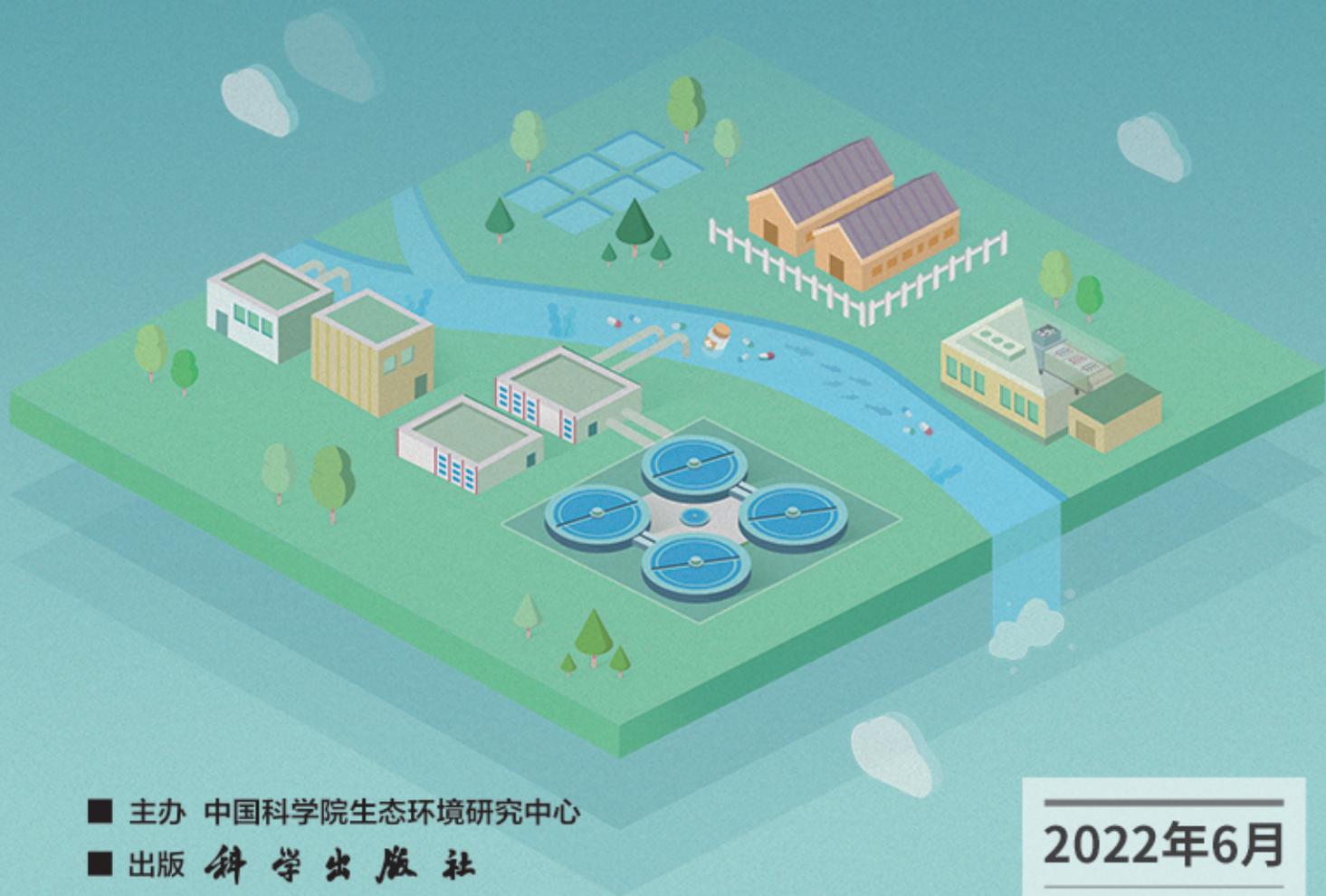
ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

长江中游典型饮用水水源中药物的时空分布及风险评价

武俊梅, 魏琳, 彭晶倩, 何鹏, 施鸿媛, 汤冬梅, 吴振斌



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年6月

第43卷 第6期

Vol.43 No.6

目次

COVID-19 管控期间气象条件变化对京津冀 PM_{2.5} 浓度影响 邱雨露, 陈磊, 朱佳, 马志强, 李梓铭, 郭恒, 唐颖潇 (2831)

新冠疫情管控措施对郑州市 PM_{2.5} 浓度、粒径分布、组分和来源的影响 黄兵, 王申博, 和兵, 薛若雨, 高更宇, 张瑞芹 (2840)

COVID-19 管控期间苏州市 PM_{2.5} 中金属元素浓度变化及来源解析 缪青, 杨倩, 吴也正, 魏恒, 周民锋, 张晓华, 邹强 (2851)

2015 ~ 2019 年南京北郊碳质气溶胶组成变化 谢添, 曹芳, 章炎麟, 林煜棋, 范美益, 宋文怀, 鲍孟盈, 项妍琨, 赵祝钰, 杨笑影, 谢锋, 张煜炯, 俞浩然, 张子金, 邢佳莉 (2858)

基于受体和化学传输的综合模型解析重庆 PM_{2.5} 来源 彭超, 李振亮, 曹云攀, 蒲茜, 方维凯, 王晓宸, 汪凌韬 (2867)

保定市冬季 PM_{2.5} 的氧化潜势特征及其影响来源分析 吴继炎, 杨池, 张春燕, 范美益, 吴爱坪, 章炎麟 (2878)

南京江北新区 PM_{2.5} 中水溶性有机氮的污染特征及其来源 关璐, 丁铖, 张毓秀, 胡建林, 于兴娜 (2888)

广西十万大山背景点 PM_{2.5} 中非极性有机气溶胶组成及来源解析 邢佳莉, 曹芳, 王谦, 张煜炯, 章炎麟 (2895)

大气多环芳烃区域迁移转化模型比较与关键影响因素: 以京津冀地区为例 张馨露, 刘世杰, 韩美丽, 苏超, 张志鹏, 马琳琳, 李洋, 程苗苗 (2906)

基于过程分析的京津冀区域典型城市臭氧成因 唐颖潇, 姚青, 蔡子颖, 丁净, 樊文雁, 杨旭, 韩素芹 (2917)

天津市 PM_{2.5}-O₃ 复合污染特征及气象影响分析 肖致美, 李源, 孔君, 李鹏, 蔡子颖, 高璟, 徐虹, 戴运峰, 邓小文 (2928)

2016 ~ 2020 年山东省空气质量时空分布特征及影响因素分析 周梦鸽, 杨依, 孙媛, 张凤英, 李永华 (2937)

河南省臭氧污染趋势特征及敏感性变化 晏洋洋, 尹沙沙, 何秦, 秦凯, 张瑞芹 (2947)

热带气旋对珠三角秋季臭氧污染的影响 赵伟, 吕梦瑶, 卢清, 高博, 梁小明, 刘明, 孙家仁, 陈来国, 范绍佳 (2957)

武汉市夏季大气挥发性有机物实时组成及来源 苏维峰, 孔少飞, 郑煌, 陈楠, 祝波, 全继宏, 祁士华 (2966)

运城市区夏季大气挥发性有机物污染特征及来源解析 温肖宇, 赵文婷, 罗淑贞, 张强, 王姝涛, 马俊杰, 刘新罡 (2979)

我国地表水新烟碱类杀虫剂对水生生物安全的威胁 范丹丹, 刘红玲, 杨柳燕 (2987)

长江中游典型饮用水水源中药物的时空分布及风险评价 武俊梅, 魏琳, 彭晶倩, 何鹏, 施鸿媛, 汤冬梅, 吴振斌 (2996)

内蒙古东北部地区地下水-地表饮用水源多环芳烃污染特征与风险 张坤峰, 昌盛, 付青, 樊月婷, 王思璐, 孙兴滨, 王山军 (3005)

不同尺度土地利用方式对地表水环境质量的影响及驱动机制 宋静雯, 张学霞, 姜东旸, 赵丞豪, 李鹏飞 (3016)

高原湖泊周边浅层地下水: 氮素时空分布及驱动因素 李桂芳, 杨恒, 叶远行, 陈清飞, 崔景阳, 陈安强, 张丹 (3027)

青海湖沉积物重金属分布及其潜在生态风险分析 张雅然, 车霏霏, 付正辉, 许野, 李薇 (3037)

东江湖表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评价 赵晓亮, 李响, 卢洪斌, 卢少勇, 王涛, 张森霖, 国晓春, 张静, 弥启欣, 刘晓贺, 宋书峰 (3048)

湖泊沉积物有机磷释放动力学特征及水质风险 刘哲哲, 倪兆奎, 刘思儒, 李晓秀, 王圣瑞 (3058)

长三角一体化示范区青浦区水体表层沉积物有机质分布特征、来源解析及污染评价 张智博, 段艳平, 涂耀仁, 罗鹏程, 高峻 (3066)

香溪河流域微塑料的分布特征及其迁移规律分析 陈圣盛, 李卫明, 张坤, 熊伟唯, 张续同, 刘子健 (3077)

城市水体微塑料垂向分布下附着细菌群落结构和功能响应 陈玉芳, 闫振华, 张燕, 赵海洲 (3088)

2015 ~ 2020 年洪泽湖浮游植物群落结构及其环境影响因子 屈宁, 邓建明, 张祯, 蔡永久, 龚志军, 李明 (3097)

嘉兴南湖不同湖区浮游植物群落结构特征与环境因子关系 王雅雯, 李迎鹤, 张博, 郭云艳, 陈俊伊, 韩松 (3106)

近 20 年来广东省农业面源污染负荷时空变化与来源分析 葛小君, 黄斌, 袁再健, 王栋栋, 王泉泉, 陈佳村, 谢真越 (3118)

长江上游平原丘陵区农业非点源污染输出特征和驱动机制 谭少军, 刘洋, 朱小婕, 刘荷, 邵景安, 邓华 (3128)

高分辨率数据驱动的流域非点源污染输出风险评估方法 顾晶晶, 冶涛涛, 董甲平, 蒋钟钟, 曹引, 赵红莉 (3140)

不同面源强度影响下城市河流溶解性有机质光谱特征变化 陈旭东, 高良敏 (3149)

生态沟渠-生物滞留池组合控制农村径流污染 石雷, 杨小丽, 吴青宇, 王亦铭, 徐佳莹 (3160)

不同水力扰动强度对老化 PSMPs 在泥水两相间迁移的影响 吴香香, 艾萍, 李大鹏 (3168)

北京市中心城区屋面径流污染特征及来源分析 席玥, 郭婧, 陶蕾, 田颖, 陈吉吉, 吴悦, 徐苏士, 荆红卫, 刘保献 (3177)

不同植被绿色屋顶径流水质年际变化特征 章孙逊, 张守红, 葛德, 闫婧, 杨航, 王任重远, 魏良怡, 张成玉 (3187)

可见光促有机物诱导铁还原的多相类芬顿体系强化效能与机制 曹丝雨, 许路, 付权超, 金鑫, 石炬, 金鹏康 (3195)

4 种典型抗生素在反硝化体系中的去除特性 唐佳, 陈茜, 覃牧川, 唐溪, 唐崇俭 (3204)

农业废弃物基生物炭对水溶液中镉的吸附效果与机制 龚沛云, 孙丽娟, 宋科, 孙雅菲, 秦秦, 周斌, 薛永 (3211)

腐殖酸-重金属对 ANAMMOX 菌脱氮性能的影响及其动力学分析 李芸, 崔楠, 熊星星, 黄志远, 李泽兵, 王东亮, 李朝明, 许丹, 李军 (3221)

2000 ~ 2020 年西南地区植被 NDVI 对气候变化和人类活动响应特征 徐勇, 黄雯婷, 窦世卿, 郭振东, 李欣怡, 郑志威, 靖娟利 (3230)

黄河三角洲湿地不同植被类型下土壤营养元素空间分布及其生态化学计量学特征 孙德斌, 栗云召, 于君宝, 杨继松, 杜朝红, 孙丹丹, 凌越, 马元庆, 周迪, 王雪宏, 赵佳怡 (3241)

青藏高原东北部地区表层土壤中全氟化合物的分布特征及来源解析 温祥洁, 陈朝辉, 徐维新, 吴小娟, 郝云庆, 刘伟, 印红玲, 方淑红 (3253)

西南典型“退耕还林”区土地利用/覆被变化对土壤中硒及重金属含量的影响 刘永林, 刘属灵, 吴梅, 田兴鑫, 刘双燕 (3262)

贵州普定喀斯特关键带土壤重金属形态特征及风险评价 张倩, 韩贵琳 (3269)

南丹盆地东部山区土壤锆分布特征及其影响因素分析 董秋瑶, 赖书雅, 宋超, 温皓天, 严明疆, 杨振京 (3278)

神农架川金丝猴栖息地重金属污染特征及风险评价 严佳莉, 于紫玲, 余辉亮, 向明灯, 王传华 (3288)

石灰海泡石钝化后两种轮作模式对重度镉污染农田土壤的利用及修复 许璐, 周春海, 刘梅, 孔辉, 李元, 黄志红 (3299)

水稻磷盈亏对镉吸收转运的影响 谭文韬, 霍洋, 周航, 仇银燕, 曾鹏, 辜娇峰, 廖柏寒 (3308)

改良剂调控下水稻镉累积和土壤溶解性有机质光谱特征的响应 罗会龙, 陈娟, 张云慧, 袁贝, 杨宾, 张昊, 杜平 (3315)

土壤真菌群落对五台山亚高山草甸退化的响应 罗正明, 赫磊, 刘晋仙, 胡砚秋, 周妍英, 郑庆荣, 柴宝峰 (3328)

小麦与不同作物多样化轮作对土壤真菌群落的影响 靳海洋, 岳俊芹, 闫雅倩, 张德奇, 杨程, 张素瑜, 李向东, 邵运辉, 方保停, 王汉芳, 秦峰 (3338)

重庆农田土壤有机碳稳定性同位素空间分布特征 廖宇琴, 龙娟, 木志坚, 文首鑫, 李翠莲, 杨志敏, 赵秀兰 (3348)

长江三角洲 2018 年土壤 NO 排放特征 廖加强, 薛金, 王文锦, 朱永慧, 朱安生, 黄凌, 王杨君, 李莉 (3357)

基于多源数据的城市扩张中热环境演变及响应 梁建设, 白永平, 杨雪菡, 高祖桥, 李玲蔚, 张春悦, 王倩 (3365)

《环境科学》征订启事 (3004) 《环境科学》征稿简则 (3047) 信息 (3252, 3298, 3327)

长三角一体化示范区青浦区水体表层沉积物有机质分布特征、来源解析及污染评价

张智博¹, 段艳平^{1,2*}, 涂耀仁^{1,2}, 罗鹏程¹, 高峻^{1,2}

(1. 上海师范大学环境与地理科学学院, 上海 200234; 2. 上海长三角城市湿地生态系统国家野外科学观测研究站, 上海 200234)

摘要: 采集了长三角一体化示范区青浦区 25 个采样点的表层沉积物, 分析了样品中总有机碳 (TOC)、总氮 (TN)、有机碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 和氮同位素 ($\delta^{15}\text{N}$), 探讨了研究区域表层沉积物中有机碳的分布特征和潜在来源, 并进行了有机污染指数评价。结果表明, 青浦区 31 个采样点表层沉积物中 $\omega(\text{TOC})$ 为 0.21%~3.55%, 平均值为 1.18%; $\omega(\text{TN})$ 范围为 0.02%~0.23%, 平均值为 0.09%; $\delta^{13}\text{C}$ 范围为 -28.04‰ ~ -10.80‰ , 平均值为 -22.28‰ ; $\delta^{15}\text{N}$ 范围为 2.28‰~11.19‰, 平均值为 5.76‰; 且 TOC 含量与 TN 含量显著相关; 来源分析表明, 研究区域表层沉积物中有机质主要受土壤有机质、污水有机质和陆生植物的影响; 基于 IsoSource 软件的贡献率计算结果表明, 土壤有机质相对贡献率较高 (0.3%~96.8%), 且生活污水对多数采样点有机质来源均有一定的贡献; 此外所选端元物质对不同土地利用类型样品中有机质来源贡献具有一定差异性; 研究区域表层沉积物中有机污染评价指数范围为 0.006~0.745, 平均值为 0.163, 总体处于轻度污染状态, 其中金泽水库周边地区采样点污染状况相较于其他地区较为严重, 有潜在富营养化风险, 需引起一定的重视。

关键词: 长三角一体化示范区; 沉积物; 有机质; 碳氮同位素; 来源解析; 污染评价

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)06-3066-11 DOI: 10.13227/j.hjkk.202107175

Distribution Characteristics, Source Analysis, and Pollution Evaluation of Organic Matter in Surface Sediments of Qingpu District, Yangtze River Delta Integration Demonstration Area

ZHANG Zhi-bo¹, DUAN Yan-ping^{1,2*}, TU Yao-jen^{1,2}, LUO Peng-cheng¹, GAO Jun^{1,2}

(1. School of Environmental Geographical Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 2. Yangtze River Delta Urban Wetland Ecosystem National Field Observation and Research Station, Shanghai 200234, China)

Abstract: The surface sediments were collected from 25 sampling points in the Qingpu District of the Yangtze River Delta integration demonstration area, and the total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), organic carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$), and nitrogen isotope ($\delta^{15}\text{N}$) content in the samples were analyzed. The distribution characteristics and potential sources of organic matter in the surface sediments were discussed in detail, and the organic pollution index was also evaluated. The results showed that the $\omega(\text{TOC})$ in the surface sediments of 31 sampling points in Qingpu District was 0.21%~3.55%, with an average value of 1.18%; $\omega(\text{TN})$ ranged from 0.02% to 0.23%, with an average value of 0.09%. The $\delta^{13}\text{C}$ ranged from -28.04‰ to -10.80‰ , with an average of -22.28‰ , and the $\delta^{15}\text{N}$ ranged from 2.28‰ to 11.19‰, with an average of 5.76‰. The TOC content was significantly correlated with the TN content. Source analysis showed that the organic matter in the surface sediments of the study area was mainly affected by soil organic matter, sewage organic matter, and terrestrial plants. The calculation results of the contribution rate based on IsoSource software showed that the relative contribution rate of soil organic matter was relatively high (0.3%~96.8%), and domestic sewage had a certain contribution to the organic matter source of most sampling points. In addition, the selected end-member substances had certain differences in the contribution of organic matter sources in samples of different land use types. The evaluation index of organic pollution in the surface sediments of the study area ranged from 0.006~0.745, with an average value of 0.163, indicating that the organic pollution of the study area was considered lightly polluted. Among them, the pollution of sampling points around the Jinze Reservoir was more serious than that in other areas, indicating that there was a potential risk of eutrophication in this area, which requires certain attention.

Key words: Yangtze River Delta integration demonstration area; surface sediments; organic matter; carbon and nitrogen isotope; source analysis; pollution assessment

沉积物作为重要的碳汇,对调节全球气候变化具有重要作用.沉积物中有机碳的存储是有机碳从生物圈向地圈迁移的主要途径,有助于调节全球生态系统的碳循环.沉积物环境中有机质的分布及来源的探究对于了解全球生物地球化学的碳循环至关重要^[1].同时,碳循环在调节养分循环及生态系统中起着重要作用,而 N(氮)和 P(磷)的迁移转化通常以有机质为重要载体,通过水环境初级生产和有机物降解紧密耦合^[2].因此,对环境中碳循环的全面认识有助于阐明 C、N 和 P 生物地球化学循环的

耦合机制及相关的生态环境效应,从而为水体富营养化的防治提供科学指导.

稳定的碳和氮同位素 ($\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$) 和总有机碳 (TOC) 与总氮 (TN) 的比率 (通常表示为 C/N), 被

收稿日期: 2021-07-21; 修订日期: 2021-10-31

基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (17ZDA058); 国家自然科学基金项目 (42077175, 41601514); 上海市自然科学基金项目 (19ZR1459300); 上海市国际合作项目 (21230712100)

作者简介: 张智博 (1996~), 男, 硕士, 主要研究方向为污染物环境行为、风险评价和污染控制, E-mail: 1048398362@qq.com

* 通信作者, E-mail: duanyanping@shnu.edu.cn

广泛用作在水生环境中阐明有机质来源的判断指标^[3,4]。陆地有机物的 C/N 比率在 12 ~ 400 之间变化,而浮游植物的 C/N 比则变化较小(约 6 ~ 8)^[5,6],陆生植物和浮游生物之间碳同位素含量通常受到光合作用机制和碳源的不同而表现出一定的差异性^[7]。氮同位素通常用于区分硝酸盐的天然和人为来源,例如人工合成肥料 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 $-3\text{‰} \sim 3\text{‰}$ 之间^[8],浮游生物 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 5 ~ 8 之间^[9],污水有机质 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 7 ~ 25 之间^[3],大气沉降 NO_3^- 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 0.2‰ ~ 0.8‰ 之间^[10]。

过去 10 年来,中国长三角区域经济的快速发展和城市化对其环境,特别是对长三角核心城市上海地区的环境产生了重大影响。青浦区作为长三角生态绿色一体化发展示范区(示范区)的先行启动区,地处江苏、浙江和上海两省一市交界,近一半位于上海市饮用水源保护地内,周边地区污染输入较为严重,主要包括农业种植废弃物、生活污水、水产养殖废水和工业废物等的排放^[11]。然而目前,青浦区水体沉积物有机质分布特征及来源相关研究较为有限,主要集中在相关流域水质变化趋势^[12,13]、浮游植物^[14,15]、植被^[16]和重金属污染^[17,18]等研究。因此对该区域沉积物中有机质分布特征及来源的研究有助于揭示该地区的环境状况,也为环境保护和治理提供指导。

本研究以长三角一体化示范区青浦区为研究区域,通过量化青浦区表层沉积物中有机质和碳氮同位素成分,了解研究区域有机碳和氮的分布特征,阐明沉积物有机质的主要来源,并采用有机污染指数进行了综合评价,以期为一体示范区生态保护和水质污染治理提供参考,同时为非点源污染负荷的估算与控制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

青浦区位于上海郊区,太湖下游,黄浦江上游,东经 $120^{\circ}53' \sim 121^{\circ}17'$,北纬 $30^{\circ}59' \sim 31^{\circ}16'$ 之间,总面积 676 km^2 ,水域面积 124 km^2 ,全区共计有 1 945 条河流。年降雨量 1 056 mm,平均温度 15.5°C 。其中,太浦河作为跨界河流,流经江苏吴江区、浙江嘉善县和上海青浦区,连接太湖和黄浦江;金泽水库是上海市四大饮用水水源地之一,也是上海唯一地处长三角一体化示范区内的水源地;青西郊野公园以大莲湖为核心,位于淀山湖下游,是淀山湖水经由拦路港注入黄浦江的枢纽通道。

1.2 样品采集与前处理

本研究共设采样点 25 个,具体采样点位置如

图 1 所示,采样点具体信息见表 1。于 2020 年 11 月分别采集了金泽水库周边(J1、J2、J3、J4、J5、J6、J7、J8)、青西郊野公园(Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6、Q7、Q8、Q9)和太浦河流域(T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7、T8)的表层沉积物样品。

使用活塞式柱状沉积物采样器(北京新地标土壤设备有限公司)于采样点上游和下游收集 3 个表层(0 ~ 5 cm)沉积物混合样,重复采集 3 次,混合后的样品置于塑封袋中,4℃ 冷藏保存,样品采集完成后立即运回实验室进行前处理。样品经冷冻干燥、研磨后过 100 目筛,密封保存,以用于随后的 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分析。

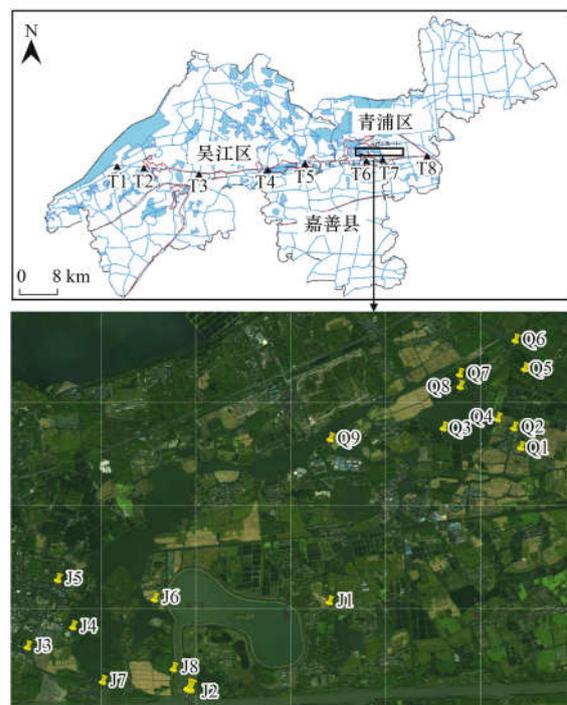


图 1 研究区域采样点示意

Fig. 1 Sampling sites map of the study area

1.3 分析方法

用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸对前处理后的沉积物样品进行预处理 24 h,反复用去离子水洗涤离心,直至上清液为中性,然后将样品烘干,使用德国耶拿 multic N/C 3100 测定样品中 TOC 含量; TN 含量采样过硫酸钾氧化法测定^[19]。

使用稳定同位素比值质谱仪(TC/EA-Thermo Fisher MAT 253)测量有机碳($\delta^{13}\text{C}$)和氮($\delta^{15}\text{N}$)的同位素组成。实验中的 $\delta^{13}\text{C}$ 数据以美国南卡罗来纳州白垩系 PDB 为标准品, $\delta^{15}\text{N}$ 数据以大气中的 N_2 为标准品,计算公式为:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \times 1000$$

$$R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$$

表 1 研究区域采样点经纬度和土地利用类型

Table 1 Latitude and longitude of sampling points in the study area and land use types

采样点	经度/(°)	纬度/(°)	土地利用类型 ¹⁾	说明
Q1	121.006 777	31.058 128	农业用地	蛙稻田种植基地
Q2	121.005 605	31.061 276	居民区	谢庄港
Q3	120.993 222	31.061 311	林地	大莲湖西侧岸堤
Q4	121.002 76	31.062 732	林地	大莲湖东侧岸堤游船码头
Q5	121.007 499	31.070 82	林地	水上森林园区
Q6	121.005 824	31.075 468	林地	大莲湖拦路港入水口
Q7	120.995 639	31.069 435	农业用地	淡水养殖厂
Q8	120.996 186	31.067 991	林地	大莲湖北侧岸堤
Q9	120.973 35	31.059 502	林地	大莲湖北横港入水口
J1	120.973 131	31.033 179	农业用地	农田和菜地
J2	120.948 315	31.018 626	林地	金泽水库入口
J3	120.920 078	31.025 941	农业用地	水稻田种植地
J4	120.928 076	31.029 117	工业用地	沙场码头
J5	120.925 478	31.036 806	居民区	农贸市场附近
J6	120.942 435	31.033 621	林地	樟树林、水面有大量芦竹
J7	120.933 303	31.020 337	居民区	金泽镇徐李村居民区
J8	120.945 809	31.022 346	农业用地	黄豆种植地
T1	120.486 4	31.008 71	林地	太浦河入水口
T2	120.536 9	31.005 21	工业用地	吴江精细化工厂附近
T3	120.641 1	30.994 11	工业用地	太浦河与京杭大运河交汇处
T4	120.771 2	31.002 35	工业用地	中石化加油站附近
T5	120.841 5	31.014 31	居民区	芦墟镇居民生活中心
T6	120.957 7	31.018 89	林地	丁栅港、樟树林
T7	120.988 3	31.021 61	林地	莲盛竖河、樟树林
T8	121.072 1	31.028 3	林地	太浦河拦路港出水口

1) 根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017) 划分

$$\delta^{13}\text{N}(\text{‰}) = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \times 1000$$

$$R = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$$

式中, R_{sample} 为实际样品同位素比值, R_{standard} 为标准物同位素比值.

1.4 质量控制和数据分析

TOC 分析测定前,以碳酸钙为标样建立标准曲线,分析误差在 5% 以内时进样,每个样品分析 3 次,取平均值. 每个采样点的 TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 含量均测定 3 次,取平均值,相对误差需小于 5%. 本研究使用 Excel 2019 对青浦区表层沉积物中 TN、TOC、C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 进行分析和处理;使用 SPSS 16.0 软件进行 Pearson 相关性分析,以研究参数之间的相关性;使用 IsoSource 软件计算了不同端元物质对研究区域目标采样点贡献率;所有数据图均通过 Origin 2021 软件绘制,且采样点图使用 ArcGIS 10.5 结合现场采样具体情况绘制完成.

2 结果与讨论

2.1 TN、TOC、C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的空间分布特征

研究区域表层沉积物中 $\omega(\text{TOC})$ 和 $\omega(\text{TN})$ 范围分别为 0.21% ~ 3.55% (平均值为 1.18%) 和

0.02% ~ 0.23% (平均值为 0.09%), $\omega(\text{TOC})$ 排前 3 的采样点依次为 J6 (3.55%)、J8 (3.34%) 和 J5 (3.07%). 其中, J6 采样点为林地,陆生植物及水生植物生长繁盛,根据采样现场周边环境观察,岸上主要以陆生植物垂柳树和樟树为主,同时水面有大量水生植物芦竹和野菱,其残骸腐烂分解之后使得沉积物中有机质和总氮含量增加; J8 和 J5 采样点分别为农业用地和农贸市场附近,人类活动行为较为复杂,由图 2 也可看出上述 3 个采样点表层沉积物中 TN 含量相对于其他采样点较高 (>0.18%),这可能是因为沉积物环境中养分含量容易受人类活动(例如生活污水排放、化肥使用和淡水养殖)的影响^[20]. 此外,除了来源方式和人类活动影响外,不同采样点之间 TOC 的差异性也可能受沉积物颗粒大小的影响,有研究表明颗粒越小,比表面积越大,越容易吸附有机质^[21]. 与其他研究区域相比(表 2),本研究区域中表层沉积物中 $\omega(\text{TOC})$ 低于^[4] 骆马湖 (0.55% ~ 3.76%, 平均值为 1.62%), 高于长江口区域^[22] (0.17% ~ 1.16%, 平均值为 0.52%) 与鄱阳湖^[23] (0.63% ~ 1.86%, 平均值为 1.15%) 相当, $\omega(\text{TN})$ 与鄱阳湖 (0.063% ~ 0.16%, 平均值为 0.1%) 和黄河口^[24] (0.01% ~ 0.11%) 相当, 低于骆

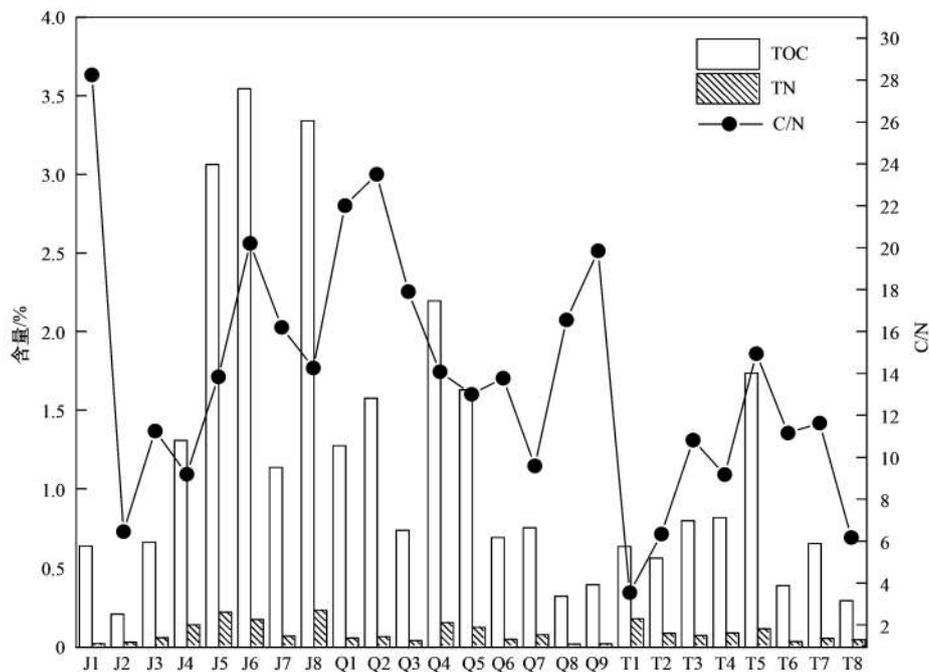


图2 表层沉积物中 TOC、TN 和 C/N 空间分布特征

Fig. 2 Spatial distribution characteristics of TOC, TN, and C/N in surface sediments

表2 长三角及中国其他研究区域表层沉积物中有机质研究比较¹⁾

Table 2 Comparison of research on organic matter in surface sediments of the Yangtze River Delta and other research regions in China

研究区域	采样日期(年-月)	$\omega(\text{TOC})/\%$	$\omega(\text{TN})/\%$	C/N	文献
青浦区	2020-11	0.21 ~ 3.55 (1.18)	0.02 ~ 0.23 (0.09)	3.54 ~ 28.2 (13.75)	本研究
骆马湖	2018-09	0.55 ~ 3.76 (1.62)	0.04 ~ 0.46 (0.19)	7.82 ~ 12.63 (9.21)	[4]
鄱阳湖	2011-11	0.63 ~ 1.86 (1.15)	0.063 ~ 0.16 (0.1)	—	[23]
北京河流	2012-07 ~ 2013-05	0.63 ~ 10.83 (3.53)	—	7.53 ~ 25.97 (12.99)	[3]
黄河口	2011	0.08 ~ 0.91	0.01 ~ 0.11	5.8 ~ 11.7	[24]
抚仙湖	2011-04	—	—	11.13 ~ 29.85	[32]
长沙南岳流域	2019-08	—	—	12.53	[33]
长江口	2002-07 和 2003-02	0.095 ~ 1.43	0.031 ~ 0.14	—	[29]
阳澄湖	2020-02	0.49 ~ 5.22 (1.90)	0.018 ~ 0.63 (0.11)	—	[34]
镇江	2019-01	0.35 ~ 2.69 (1.00)	0.04 ~ 0.33 (0.19)	1.53 ~ 17.64 (5.89)	[35]
太湖	2009-09	0.83 ~ 1.44 (1.15)	0.076 ~ 0.21 (0.14)	7.46 ~ 13.30 (9.91)	[36]
研究区域	采样日期(年-月)	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	文献	
青浦区	2020-11	-28.04 ~ -10.80 (-22.28)	2.28 ~ 11.19 (5.76)	本研究	
骆马湖	2018-09	-27.32 ~ -8.36 (-14.98)	-1.92 ~ -10.17 (7.72)	[4]	
鄱阳湖	2011-11	-25.66 ~ -12.556 (-22.48)	3.51 ~ 6.27 (4.71)	[23]	
北京河流	2012-07 ~ 2013-05	-27.2 ~ -24.9 (-25.9)	-2.2 ~ 10.9 (3.0)	[3]	
黄河口	2011	-23.9 ~ -20.8	4.01 ~ 7.28	[24]	
抚仙湖	2011-04	-26.36 ~ -24.02	2.82 ~ 4.12	[32]	
长沙南岳流域	2019-08	-22.60	4.37	[33]	
长江口	2002-07 和 2003-02	-29.8 ~ -26.0	1.6 ~ 5.5	[29]	
阳澄湖	2020-02	—	—	[34]	
镇江	2019-01	—	—	[35]	
太湖	2009-09	-27.72 ~ -22.24 (-15.30)	4.75 ~ 6.37 (5.40)	[36]	

1) 括号外表示范围, 括号内表示平均值; “—”表示文献中没有相关数据

马湖(0.04%~0.46%, 平均值为0.19)。Pearson 相关性结果(图3和表3)显示 TOC 与 TN 呈显著正相关($R^2=0.69426$, $P<0.05$), 表明 TOC 与 TN 具有相似来源, 这与刘倩等^[4]和 Sui 等^[25]的研究结果相一致。

有研究表明沉积物 C/N 值可用于指示环境中主要有机物的来源^[26,27], 当 C/N 值在 10~20 之间时, 指示来源为沉水植物、浮游植物或者是混有一定量的陆生植物; 当 C/N 值在 6.6~13 之间时, 指示来源为污水有机质^[3]; 当 C/N 值在 10~16 之间

时,指示来源为土壤有机质^[3],且 C/N 值越高,则反映了较高的陆源输入比例. 研究区域表层沉积物中 C/N 值范围为 3.54 ~ 28.2,平均值为 13.75,这表明研究区域表层沉积物中有机质主要来源为土壤有机质、陆生植物和污水,其中 J1 点位 C/N 值最高 (C/N = 28.25),除了来自陆地来源输入的影响外,较高的 C/N 比率也可能归因于人为活动的影响^[28],如广泛使用有机化学品.

一般而言,水生生态系统中有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 分布范围较广,陆生 C3 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 一般为 $-30\text{‰} \sim -26\text{‰}$,海洋浮游植物有机碳范围一般为 $-22\text{‰} \sim -18\text{‰}$ ^[29]. 研究区域表层沉积物中 $\delta^{13}\text{C}$ 范围为 $-28.04\text{‰} \sim -10.80\text{‰}$,平均值为 -22.28‰ (图 4),其中含量最高值和最低值分别位于 J6 和 Q9,相较于其他研究区域而言 (表 2),低于骆马湖表层沉积物 ($-27.32\text{‰} \sim -8.36\text{‰}$,平均值为 -14.98‰),高于北京地区河流表层沉积物 ($-27.2\text{‰} \sim -24.9\text{‰}$,平均值为 -25.9‰). 研究区域中 $\delta^{13}\text{C}$ 与 C/N 呈显著正相关 ($P < 0.05$,表 3),表明这两个参数可用于确定研究区域有机物的来源.

氮的动态循环受动力学同位素分馏作用的影

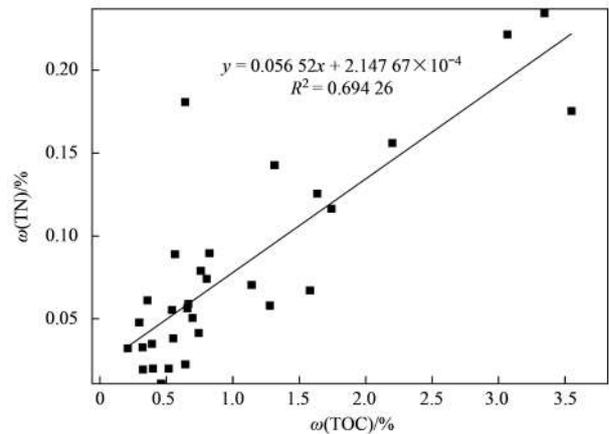


图 3 研究区域表层沉积物 TOC 与 TN 含量之间的关系

Fig. 3 Relationship between TOC and TN contents of surface sediments in the study area

响,特别是在溶解和颗粒状氮化合物的生物转化和再循环过程中^[30, 31]. 一般而言,沉积物中 $\delta^{15}\text{N}$ 范围在 $-1\text{‰} \sim 18\text{‰}$ 之间^[3],变化范围较大. 研究区域表层沉积物中 $\delta^{15}\text{N}$ 范围为 $2.28\text{‰} \sim 11.19\text{‰}$,平均值为 5.76‰ (图 4),且与 C/N 值无明显相关性,这可能是由于有机物自身的分解 (如自溶、浸出、微生物矿化) 和人为活动的干扰^[8].

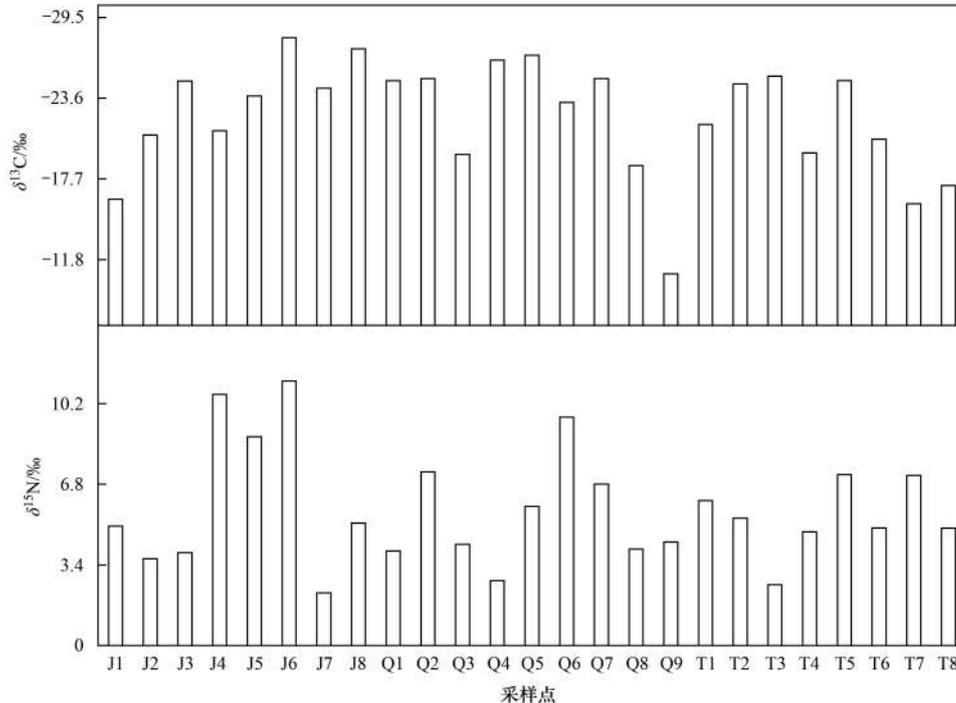


图 4 表层沉积物中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution characteristics of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in surface sediments

2.2 来源解析

河流沉积物中有机质的来源主要分为自然来源和人为来源^[37]. 自然来源包括陆地土壤的侵蚀、陆生植物的凋落物和浮游植物;人为来源主要为生活污水和地表径流. 有研究表明无机氮的矿化、氧化

和含量较高会影响 C/N 值,因此 C/N 值作为单一源指示指标具有一定的局限性^[24],故本研究采用 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 相结合对研究区域表层沉积物有机质潜在来源进行分析.

Gu 等^[38]的研究利用 C/N 比值和 $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$ 比值

表 3 研究区域表层沉积物 TOC、TN、C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的相关关系¹⁾Table 3 Pearson correlations between TOC, TN, C/N, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ of surface sediments in the study area

	TOC	TN	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
TOC	1	0.839 *	0.115	0.282	-0.575 *
TN	0.839 *	1	-0.279	0.227	-0.582 *
C/N	0.115	-0.279	1	0.209	0.380 *
$\delta^{15}\text{N}$	0.282	0.227	0.209	1	0.047
$\delta^{13}\text{C}$	-0.575 *	-0.582 *	0.380 *	0.047	1

1) * 表示在 0.05 的水平下相关性显著

发现华南粤东沿海最大海水养殖区表层沉积物中有机碳主要来自海洋有机质; Liu 等^[24]在对黄河口渤海地区表层沉积物中有机质来源的研究中发现,海洋有机碳在沉积物中占主导地位,而陆源有机碳仅占 10%~20%.

2.2.1 表层沉积物中有机质来源的定性分析

沉积物中有机质来源受到水和沉积的理化性质、初级生产力、流域水文特征和人类活动的影响^[3,20,39]. 结合前人研究以及研究区域潜在污染源,最终选择污水有机质、陆生 C3 植物、陆生 C4 植物、浮游植物和土壤有机质为本研究中端元物质,各端元物质 C/N、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的分布见

表 4 典型沉积物端元物质的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 和 C/N 值的分布^[3,4,9,10,40]Table 4 Distribution of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and C/N values of typical sources of sedimentary organic matter

类型	C/N	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
陆生 C3 植物	> 18	-22 ~ -33 (-28.9 ± 0.5)	-5 ~ 18 (4.5 ± 0.7)
陆生 C4 植物	> 15	-9 ~ -16 (-15.3 ± 4.2)	3 ~ 6 (5.8 ± 2.4)
土壤有机质	10 ~ 16	-25 ~ -18.9	2 ~ 4
浮游植物	5 ~ 8	-32 ~ -23	5 ~ 8
污水有机质	6.6 ~ 13 (12.5 ± 0.8)	-28.5 ~ -16.61	7 ~ 25

1) 括号外表示范围,括号内表示平均值

2.2.2 表层沉积物中有机质来源的定量分析

根据沉积物样本的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值,利用 IsoSource 模型评估了不同有机质来源对研究区域表层沉积物中有机质的相对贡献(图 6).

总体而言土壤有机质对研究区域表层沉积物中有机质贡献率相对较高,在所有 25 个采样点中,土壤有机质来源占比分布范围为 5%~96.8%,平均值为 31.5%,其中 J7 采样点土壤有机质来源贡献率达到 96.8%;其次是陆生 C4 植物(范围为 0%~89.1%,平均值为 25.63%)和陆生 C3 植物(范围为 0%~75.8%,平均值为 22.58%).

值得注意的是,除 J7、Q3 和 Q4 采样点以外,其余采样点均受到污水有机质来源的影响(贡献率范围为 1%~53.5%),这表明除自然过程以外,人为活动对研究区域沉积物中有机质的形成具有重要的作用,另一方面,截止 2019 年,全区生活污水集中纳管处理占 42.2%,其余均就地排放进入河道^[41],且处理设施

表 4.

图 5 中约有 6~10 个采样点不在所选端元物质范围内,这可能是由于一方面 C/N 与 $\delta^{13}\text{C}$ 或 $\delta^{15}\text{N}$ 比值法可能受限于所选端元物质数量不够^[3],另一方面这可能意味着采样点受到多种混合源的影响作用^[25]. 从中可知,研究区域表层沉积物中有机质主要来源为污水有机质、陆生植物和土壤有机质.此外,对于不同土地利用类型背景下研究区域表层沉积物有机质来源分析表明,工业用地和农业用地分别主要受到污水有机质和陆生 C4 植物的影响,林地和居民区用地背景下的采样点受到多种端元物质影响.

不完善及早期处理工艺不达标问题较为突出^[42].

有研究表明土地利用方式对环境中有机质的空间分布具有重要影响作用^[43~45]. 土地利用类型的变化直接影响土壤物理化学特性、生物多样性和相关的生物地球化学周期,导致土壤环境条件的改变,从而影响碳生物地球化学循环及其相关平衡^[46]. 此外,有研究表明土壤 TC、TN 和 $\delta^{15}\text{N}$ 在不同森林类型下变化显著,主要影响因素有土壤 C/N 比值以及土壤水分含量^[28].

图 7 为不同土地利用类型背景中,所选端元物质对研究区域沉积物中有机质来源的贡献率分布情况.从图 7 可以看出由于工业用地人为活动较复杂,且紧邻航道太浦河,来往船只活动频繁,故工业用地受多种端元物质影响,且来源分布相对均衡;就生活污水来源而言,居民区(16.45%)环境中有机质来源受生活污水影响较大,其次为工业用地(9.50%),农业用地(5.19%)和林地(5.35%)受污

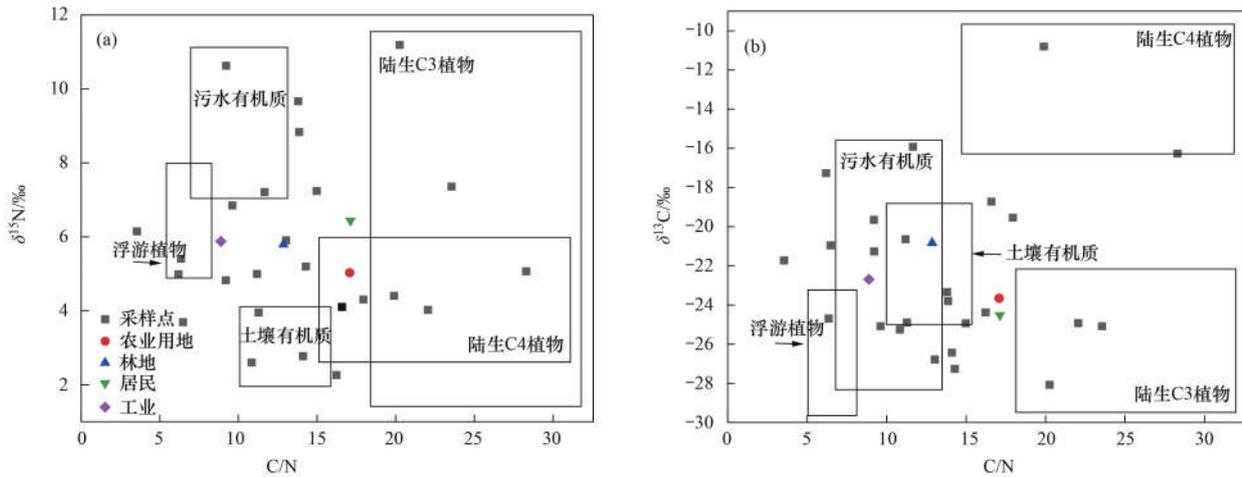


图 5 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 C/N 比值对研究区域表层沉积物的有机质来源定性识别结果

Fig. 5 Qualitative identification results of $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, and C/N ratio on the source of organic matter in the surface sediments of the study area

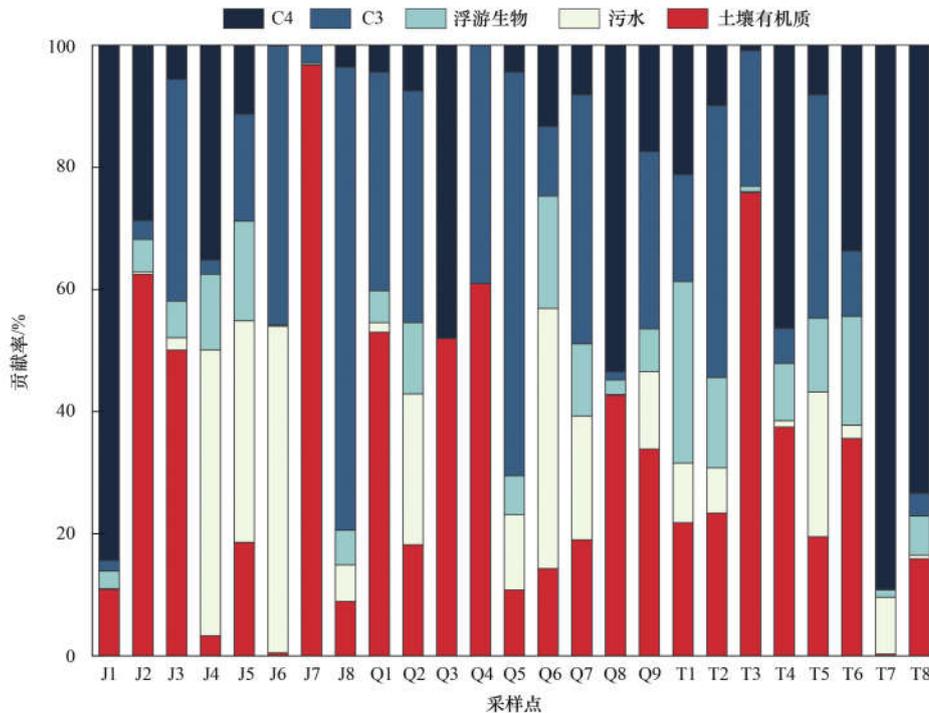


图 6 不同端元物质对研究区域表层沉积物中有机质的贡献率

Fig. 6 Contribution rate of different end member materials to the organic matter in the surface sediments of the study area

水有机质影响最低. 此外, 土壤有机质的输入对各土地利用类型中有机质的来源均有较高的影响作用 (平均值均 > 20.51%), 这表明研究区域河流沉积物中有机质受土壤有机质自然来源影响较为广泛, 这可能是因为近年来, 随着工业郊区化进程的发展, 工业建设用地面积增加, 大大降低了植被覆盖率, 地表土壤遭到破坏, 最终导致沉积物中陆地成分的有机质和氮负荷增.

在农业用地环境中, 土壤有机质 (平均值为 34.86%) 和陆生 C3 植物 (平均值为 32.03%) 的贡献较明显, 陆生 C3 植物主要包括水稻、大豆、马铃薯和菠菜等, 2020 年青浦区的蛙稻田 (以蛙代替农

药化肥) 种植面积达到 5.79 km² (约为 579 hm²), 其中 2.13 km² (约为 213 hm²) 在青西郊野公园. 肥料的 $\delta^{15}\text{N}$ 范围为 -2‰ ~ 4‰^[47], 而本研究农业用地表层沉积物中 $\delta^{15}\text{N}$ 介于 3.97‰ ~ 6.86‰, 这进一步验证了来源分析结果的准确性.

综上所述, 研究区域表层沉积物中有机质主要受到外源物质的影响, 如土壤有机质、陆生 C4 植物和污水有机质, 且主要受人为活动影响.

2.3 污染指数评价

利用有机指数和有机氮评价来评估研究区域表层沉积物中有机质污染程度, 评价公式如下^[48]:

$$\text{ON} = \text{TN} \times 95\%$$

$$OI = TOC \times ON$$

式中, ON 为沉积物中有机氮含量(%), TN 为沉积物中总氮含量(%), OI 为有机污染指数, TOC 为沉积物中有机碳含量(%), 评价标准如表 5 所示.

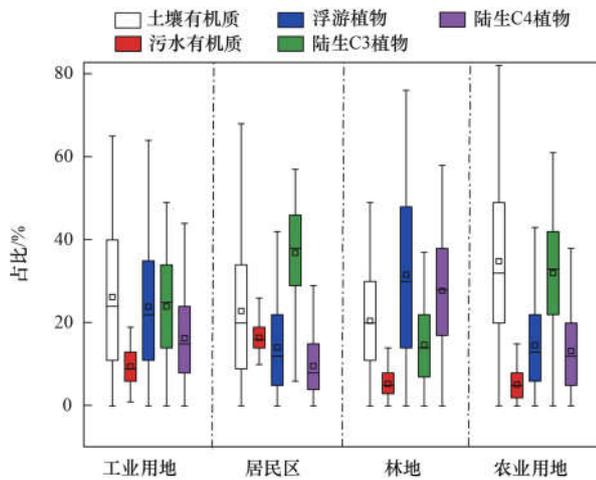


图 7 不同土地利用类型下各端元物质的贡献率

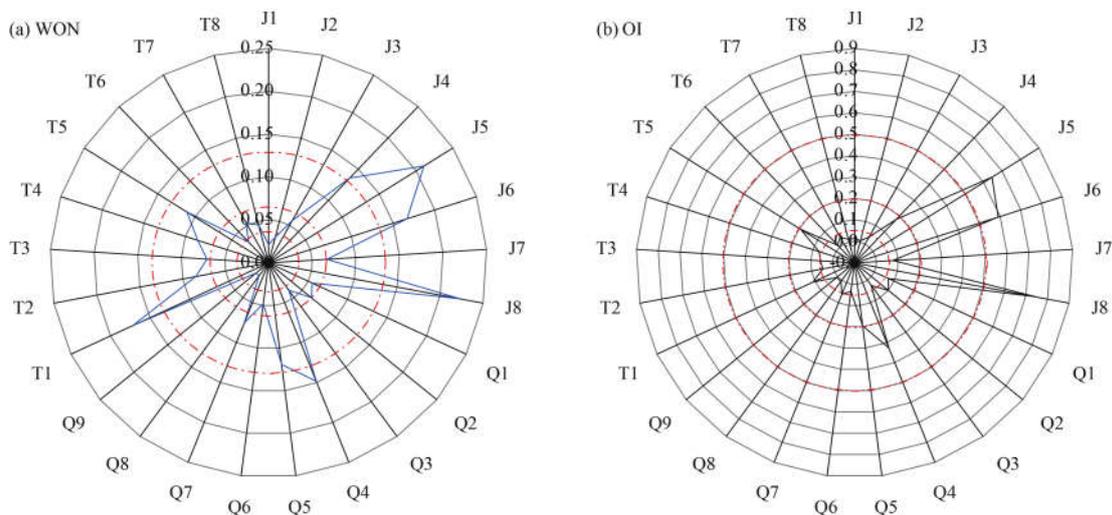
Fig. 7 Contribution rate of each end-member material under different land use types

表 5 沉积物有机污染指数评价标准

OI	ON	评价等级	污染等级
$OI < 0.05$	$ON < 0.033$	I	清洁
$0.05 \leq OI < 0.20$	$0.033 \leq ON < 0.066$	II	轻度污染
$0.20 \leq OI \leq 0.5$	$0.066 \leq ON < 0.133$	III	中度污染
$0.50 \leq OI$	$0.133 \leq ON$	IV	重度污染

研究区域表层沉积物中有机质指数评价结果如图 8 所示, 有机污染指数范围为 0.006 ~ 0.745, 平均值为 0.163, 总体处于轻度污染状态; 有机氮含量变化范围为 0.019% ~ 0.223%, 平均值为 0.089%, 整体处于中度污染状态. 总体而言研究区域表层沉积物中有机污染状态与太湖胥口湾^[49]表层沉积物相当, 相较于云南洱海罗时江河口湿地^[50]中表层沉积物的污染程度较低.

在所有采样点的有机指数评价中, 有 44.00% 采样点处于清洁状态, 40.00% 采样点处于轻度污染状态, 4.00% 的采样点处于中度污染状态, 12.00% 的采样点处于重度污染状态. 其中金泽地区 (J5、J6 和 J8) 有机污染指数相较于研究区域其他采样点明显偏高 (重度污染), 这是因为金泽地区采样点均属于火泽荡水系, 且金泽镇居民生活区位于火泽荡周边, 环境中有机质的分布主要受人为活动的影响, 而同属于金泽地区的采样点 J4 和 J7 属于轻度污染水平, 这主要是因为上述两个采样点位于航道, 来往船只频繁使得水文条件较为复杂, 动力作用下, 一方面沉积物中吸附的有机质会再悬浮, 另一方面, 氧化还原条件的变化也会对有机质的分解产生一定影响, 在其他环境中同样发现有机质的分布及降解受到空间变异性 (环境条件、河流水文条件和人类活动干预等) 的影响^[51], 例如沿海湿地^[52]和港口^[37].



红色虚线表示有机污染指数评价临界值

图 8 研究区域表层沉积物有机污染指数评价结果

Fig. 8 Evaluation results of organic pollution index of surface sediments in the study area

3 结论

本文探究了长三角示范区青浦区表层沉积物中 TOC、TN 及其同位素的含量和空间分布特征. 青浦区表层沉积物中 ω (TOC) 和 ω (TN) 范围分别为

0.21% ~ 3.55% (平均值为 1.18%) 和 0.02% ~ 0.23% (平均值为 0.09%); 有机污染评价指数显示研究区域总体处于轻度污染水平, 其中金泽水库周边地区有机污染呈重度污染状态, 有潜在富营养化风险; 此外, 研究区域表层沉积物中 $\delta^{13}C$ 范围为

-28.04‰ ~ -10.80‰, $\delta^{15}\text{N}$ 范围为 2.28‰ ~ 11.19‰, 来源分析表明, 研究区域沉积物中有机质主要受土壤有机质、污水有机质和陆生动植物的影响, 且土壤有机质贡献率最大, 污水有机质对研究区域有机质来源贡献同样不可忽视。因此, 应当采取一定措施防止水土流失及生活污水排放行为等对研究区域生态系统造成的负面影响。

参考文献:

- [1] Xu G, Liu J, Hu G, *et al.* Distribution and source of organic matter in surface sediment from the muddy deposit along the Zhejiang coast, East China Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, **123**(1-2): 395-399.
- [2] Chen J G, Yang H Q, Zeng Y, *et al.* Combined use of radiocarbon and stable carbon isotope to constrain the sources and cycling of particulate organic carbon in a large freshwater lake, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **625**: 27-38.
- [3] Guo Q J, Wang C Y, Wei R F, *et al.* Qualitative and quantitative analysis of source for organic carbon and nitrogen in sediments of rivers and lakes based on stable isotopes [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, **195**, doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110436.
- [4] 刘倩, 庞燕, 项颂, 等. 骆马湖表层沉积物有机质分布特征及来源解析[J]. *中国环境科学*, 2021, **41**(10): 4850-4856.
- Liu Q, Pang Y, Xiang S, *et al.* Distribution characteristics and source analysis of organic matter in surface sediments of Luoma Lake[J]. *China Environmental Science*, 2021, **41**(10): 4850-4856.
- [5] Jennerjahn T C, Ittekkot V, Klöpffer S, *et al.* Biogeochemistry of a tropical river affected by human activities in its catchment: brantas River estuary and coastal waters of Madura Strait, Java, Indonesia[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, **60**(3): 503-514.
- [6] Wu Y, Zhang J, Liu S M, *et al.* Sources and distribution of carbon within the Yangtze River system[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, **71**(1-2): 13-25.
- [7] Stevenson M A, McGowan S, Pearson E J, *et al.* Anthropocene climate warming enhances autochthonous carbon cycling in an upland Arctic Lake, Disko Island, West Greenland [J]. *Biogeosciences*, 2021, **18**(8): 2465-2485.
- [8] Gao X L, Yang Y W, Wang C Y. Geochemistry of organic carbon and nitrogen in surface sediments of coastal Bohai Bay inferred from their ratios and stable isotopic signatures [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, **64**(6): 1148-1155.
- [9] Shao L, Wu D S, Zhang D, *et al.* Using isotopes to identify the sources of organic carbon and nitrogen in surface sediment in shallow lakes alongside Poyang Lake[J]. *Wetlands*, 2019, **39**(S1): 25-33.
- [10] 倪兆奎, 李跃进, 王圣瑞, 等. 太湖沉积物有机碳与氮的来源[J]. *生态学报*, 2011, **31**(16): 4661-4670.
- Ni Z K, Li Y J, Wang S R, *et al.* The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(16): 4661-4670.
- [11] 田多松. 城市水源地环境风险源综合评价体系及管理对策研究——以太浦河为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [12] 房振南, 金科, 王雪姣, 等. 长三角一体化生态绿色发展示范区河湖水质变化趋势分析[J]. *水利水电快报*, 2021, **42**(4): 68-74.
- Fang Z N, Jin K, Wang X J, *et al.* Analysis on water quality variation trend of main rivers and lakes in integrated demonstration area on ecologically friendly development in Yangtze River Delta[J]. *Express Water Resources & Hydropower Information*, 2021, **42**(4): 68-74.
- [13] 张舒, 黄慧慧. 上海淀浦河多年水质演变趋势分析[J]. *黑龙江水利科技*, 2017, **45**(7): 37-38, 144.
- [14] 杨丽, 张玮, 尚光霞, 等. 淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2018, **39**(7): 3158-3167.
- Yang L, Zhang W, Shang G X, *et al.* Succession characteristics of phytoplankton functional groups and their relationships with environmental factors in Dianshan Lake, Shanghai [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(7): 3158-3167.
- [15] 王霞, 郭凯娟, 李晓旭, 等. 淀山湖浮游植物生物完整性指数的构建及水生态健康评价[J]. *上海师范大学学报(自然科学版)*, 2021, **50**(1): 39-49.
- Wang X, Guo K J, Li X X, *et al.* Construction of phytoplanktonic index of biotic integrity and evaluation of water ecological health in Dianshan Lake, China [J]. *Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences)*, 2021, **50**(1): 39-49.
- [16] 刘焱焱, 曾鹏, 张然, 等. 基于GEE和BRT的1984-2019年长三角生态绿色一体化发展示范区植被覆盖度变化[J]. *应用生态学报*, 2021, **32**(3): 1033-1044.
- Liu Y Y, Zeng P, Zhang R, *et al.* Vegetation coverage change of the demonstration area of ecologically friendly development in the Yangtze River Delta, China based on GEE and BRT during 1984-2019[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, **32**(3): 1033-1044.
- [17] 王漫漫, 陆昊, 李慧明, 等. 太湖流域典型河流重金属污染和生态风险评估[J]. *环境化学*, 2016, **35**(10): 2025-2035.
- Wang M M, Lu H, Li H M, *et al.* Pollution level and ecological risk assessment of heavy metals in typical rivers of Taihu basin [J]. *Environmental Chemistry*, 2016, **35**(10): 2025-2035.
- [18] 王亚楠, 杨再福, 汪涛, 等. 太浦河流域土壤重金属污染状况分析及风险评估[J]. *环境工程*, 2019, **37**(1): 18-22.
- Wang Y N, Yang Z F, Wang T, *et al.* Analysis and risk assessment of heavy metals in soils of Taihu River basin [J]. *Environmental Engineering*, 2019, **37**(1): 18-22.
- [19] 雷明丹, 王朝晖, 江涛. 青岛近岸海域表层沉积物生源要素分布及污染状况评价[J]. *海洋环境科学*, 2021, **40**(1): 93-100.
- Lei M D, Wang Z H, Jiang T. Distribution and pollution assessment of biogenic elements in surface sediments from Qingdao coastal area[J]. *Marine Environmental Science*, 2021, **40**(1): 93-100.
- [20] Zhou Z K, Wang Y P, Yang H, *et al.* Sedimentary record of nutrients and sources of organic matter in the Shuanglong reservoir, Dianchi watershed, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**(14): 17763-17774.
- [21] Yuan H W, Chen J F, Ye Y, *et al.* Sources and distribution of sedimentary organic matter along the Andong salt marsh, Hangzhou Bay[J]. *Journal of Marine Systems*, 2017, **174**: 78-88.
- [22] 吴丹丹, 葛晨东, 高抒, 等. 长江口沉积物碳氮元素地球化学特征及有机质来源分析[J]. *地球化学*, 2012, **41**(3): 207-215.
- Wu D D, Ge C D, Gao S, *et al.* Carbon, nitrogen geochemical character and source analyses in Changjiang estuarine sediments

- [J]. *Geochimica*, 2012, **41**(3): 207-215.
- [23] 王毛兰, 赖建平, 胡珂图, 等. 鄱阳湖表层沉积物有机碳、氮同位素特征及其来源分析[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(4): 1019-1025.
Wang M L, Lai J P, Hu K T, *et al.* Compositions and sources of stable organic carbon and nitrogen isotopes in surface sediments of Poyang Lake[J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(4): 1019-1025.
- [24] Liu D Y, Li X, Emeis K C, *et al.* Distribution and sources of organic matter in surface sediments of Bohai Sea near the Yellow River Estuary, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, **165**: 128-136.
- [25] Sui J, Zhang J H, Ren S J, *et al.* Organic carbon in the surface sediments from the intensive mariculture zone of Sanggou Bay: distribution, seasonal variations and sources [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2019, **18**(4): 985-996.
- [26] Ramaswamy V, Gaye B, Shirodkar P V, *et al.* Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopic signatures in sediments from the Ayeyarwady (Irrawaddy) continental shelf, northern Andaman Sea[J]. *Marine Chemistry*, 2008, **111**(3): 137-150.
- [27] Smits A P, Currinder B, Framsted N, *et al.* Watershed and lake attributes dictate landscape patterns of resource flows in mountain lakes[J]. *Water Resources Research*, 2021, **57**(4), doi: 10.1029/2020WR027673.
- [28] Farooq T H, Chen X Y, Shakoor A, *et al.* Unraveling the influence of land-use change on $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and soil nutritional status in coniferous, broadleaved, and mixed forests in Southern China: a field investigation[J]. *Plants*, 2021, **10**(8), doi: 10.3390/plants10081499.
- [29] Liu M, Hou L J, Xu S Y, *et al.* Organic carbon and nitrogen stable isotopes in the intertidal sediments from the Yangtze Estuary, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, **52**(12): 1625-1633.
- [30] Jiang H, Zhang Q Q, Liu W J, *et al.* Climatic and anthropogenic driving forces of the nitrogen cycling in a subtropical river basin [J]. *Environmental Research*, 2021, **194**, doi: 10.1016/j.envres.2021.110721.
- [31] Wang X, Wu X Y, Chen M, *et al.* Isotopic constraint on the sources and biogeochemical cycling of nitrate in the Jiulong River Estuary[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2021, **126**(3), doi: 10.1029/2020JG005850.
- [32] Chen X C, Feng M H, Ke F, *et al.* Source and Biogeochemical Distribution of Organic Matter in Surface Sediment in the Deep Oligotrophic Lake Fuxian, China [J]. *Aquatic Geochemistry*, 2018, **24**(1): 55-77.
- [33] 陈旋, 李玉娥, 万运帆, 等. 基于 ^{13}C 、 ^{15}N 和C/N识别南岳小流域沉积有机质的来源[J]. *应用生态学报*, 2021, **32**(6): 1998-2006.
Chen X, Li Y E, Wan Y F, *et al.* Tracing the sources of sedimentary organic matter in Nanyue small watershed based on ^{13}C , ^{15}N and C/N[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, **32**(6): 1998-2006.
- [34] 王欣, 陈欣瑶, 邹云, 等. 阳澄湖沉积物中氮、磷及有机质空间分布特征与污染评价[J]. *环境监测与预警*, 2021, **13**(3): 44-49.
Wang X, Chen X Y, Zou Y, *et al.* Spatial distribution characteristics and pollution assessment of nitrogen, phosphorus and organic matter in sediments of Yangcheng Lake [J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2021, **13**(3): 44-49.
- [35] 原璐彬, 邢书语, 刘鑫, 等. 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[J]. *环境科学*, 2021, **42**(7): 3186-3197.
Yuan L B, Xing S Y, Liu X, *et al.* Distribution characteristics and pollution evaluation of nitrogen and organic matter in overlying water and sediment of Guyun River and Jinshan Lake in Zhenjiang City [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(7): 3186-3197.
- [36] 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.
- [37] Zander F, Heimovaara T, Gebert J. Spatial variability of organic matter degradability in tidal Elbe sediments[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2020, **20**(6): 2573-2587.
- [38] Gu Y G, Ouyang J, Ning J J, *et al.* Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in surface sediments from the largest mariculture zone of the eastern Guangdong coast, South China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, **120**(1-2): 286-291.
- [39] Ausín B, Bruni E, Haghpor N, *et al.* Controls on the abundance, provenance and age of organic carbon buried in continental margin sediments [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2021, **558**, doi: 10.1016/j.epsl.2021.116759.
- [40] Amir M, Paul D, Samal R N. Sources of organic matter in Chilika lagoon, India inferred from stable C and N isotopic compositions of particulates and sediments[J]. *Journal of Marine Systems*, 2019, **194**: 81-90.
- [41] 曹德佳. 农村生活污水提质增效策略研究——以上海市青浦区为例[J]. *城市道桥与防洪*, 2020, (6): 111-113, 120.
Cao S J. Study on strategies for improving quality and efficiency of rural domestic sewage [J]. *Urban Roads Bridges & Flood Control*, 2020, (6): 111-113, 120.
- [42] 季永兴, 韩非非, 施震余, 等. 长三角一体化示范区水生态环境治理思考[J]. *水资源保护*, 2021, **37**(1): 103-109.
Ji Y X, Han F F, Shi Z Y, *et al.* Thinking on water eco-environment management in regional integration demonstration area of Yangtze River Delta [J]. *Water Resources Protection*, 2021, **37**(1): 103-109.
- [43] Chen M L, Zeng C, Zhang F, *et al.* Characteristics of dissolved organic matter from a transboundary himalayan watershed: relationships with land use, elevation, and hydrology [J]. *ACS Earth and Space Chemistry*, 2020, **4**(3): 449-456.
- [44] Liu C, Li Z W, Hu B X, *et al.* Identifying eroded organic matter sources in sediments at fluvial system using multiple tracers on the Loess Plateau of China[J]. *CATENA*, 2020, **193**, doi: 10.1016/j.catena.2020.104623.
- [45] 马小亮, 吴晓东, 叶琳琳, 等. 青藏高原腹地不同植被下河流溶解性有机碳特征[J]. *环境科学与技术*, 2018, **41**(9): 79-84, 89.
Ma X L, Wu X D, Ye L L, *et al.* Research of rivers in the Qinghai-Tibet Plateau with different types of vegetation regarding DOC content [J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, **41**(9): 79-84, 89.
- [46] Wu X, Nguyen-Sy T, Sun Z, *et al.* Soil organic matter dynamics as affected by land use change from rice paddy to wetland [J]. *Wetlands*, 2020, **40**(6): 2199-2207.
- [47] Zhang Y, Lu X Q, Liu H L, *et al.* Identifying the sources of organic matter in marine and riverine sediments of Bohai Bay and its catchment using carbon and nitrogen stable isotopes [J].

- Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015, **33**(1): 204-209.
- [48] 隋桂荣. 太湖表层沉积物中 OM、TN、TP 的现状与评价[J]. 湖泊科学, 1996, (4): 319-324.
Sui G R. Statement and evaluation of organic matter, total nitrogen and total phosphate in surface layer sediments in Taihu Lake[J]. Journal of Lake Sciences, 1996, (4): 319-324.
- [49] 张杰, 汪院生, 郭西亚, 等. 草型湖区沉积物营养盐分布与污染评价[J]. 环境科学, 2019, **40**(10): 4497-4504.
Zhang J, Wang Y S, Guo X Y, *et al.* Distribution and pollution assessment of nutrients in the surface sediments of a macrophyte-dominated Zone in lake Taihu [J]. Environmental Science, 2019, **40**(10): 4497-4504.
- [50] 王书锦, 刘云根, 张超, 等. 洱海流域入湖河口湿地沉积物氮、磷、有机质分布及污染风险评价? [J]. 湖泊科学, 2017, **29**(1): 69-77.
Wang S J, Liu Y G, Zhang C, *et al.* Distribution and pollution risk assessment of nitrogen, phosphorus and organic matter in inlet rivers of Erhai Basin[J]. Journal of Lake Sciences, 2017, **29**(1): 69-77.
- [51] Bao R, Blattmann T M, McIntyre C, *et al.* Relationships between grain size and organic carbon ¹⁴C heterogeneity in continental margin sediments[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2019, **505**: 76-85.
- [52] Lalimi F Y, Silvestri S, D'Alpaos A, *et al.* The spatial variability of organic matter and decomposition processes at the marsh scale [J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2018, **123**(12): 3713-3727.

环 境 科 学

CONTENTS

Impacts of Changes in Meteorological Conditions During COVID-19 Lockdown on PM _{2.5} Concentrations over the Jing-Jin-Ji Region	QIU Yu-lu, CHEN Lei, ZHU Jia, <i>et al.</i> (2831)
Influence of COVID-19 Prevention and Control Measures on PM _{2.5} Concentration, Particle Size Distribution, Chemical Composition, and Source in Zhengzhou, China	HUANG Bing-yi, WANG Shen-bo, HE Bing, <i>et al.</i> (2840)
Concentration Variation and Source Analysis of Metal Elements in PM _{2.5} During COVID-19 Control in Suzhou	MIAO Qing, YANG Qian, WU Ye-zheng, <i>et al.</i> (2851)
Changes in Carbonaceous Aerosol in the Northern Suburbs of Nanjing from 2015 to 2019	XIE Tian, CAO Fang, ZHANG Yan-lin, <i>et al.</i> (2858)
Source Apportionment of PM _{2.5} Based on Hybrid Chemical Transport and Receptor Model in Chongqing	PENG Chao, LI Zhen-liang, CAO Yun-qing, <i>et al.</i> (2867)
Analysis on the Characteristics of Oxidation Potential and Influence Sources of PM _{2.5} in Baoding City in Winter	WU Ji-yan, YANG Chi, ZAHNG Chun-yan, <i>et al.</i> (2878)
Pollution Characteristics and Sources of Water-soluble Organic Nitrogen in PM _{2.5} in Jiangbei New Area, Nanjing	GUAN Lu, DING Cheng, ZHANG Yu-xiu, <i>et al.</i> (2888)
Organic Aerosols and Source Analysis of Fine Particles in the Background of Shiwanda Mountain, Guangxi	XING Jia-li, CAO Fang, WANG Qian, <i>et al.</i> (2895)
Comparison of Regional Transport and Transformation Models of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Research on Key Influencing Factors: Take the Beijing-Tianjin-Hebei Region as Example	ZHANG Xin-lu, LIU Shi-jie, HAN Mei-li, <i>et al.</i> (2906)
Exploring Formation of Ozone in Typical Cities in Beijing-Tianjin-Hebei Region Using Process Analysis	TANG Ying-xiao, YAO Qing, CAI Zi-ying, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics and Meteorological Factors of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Tianjin	XIAO Zhi-mei, LI Yuan, KONG Jun, <i>et al.</i> (2928)
Spatio-temporal Characteristics of Air Quality and Influencing Factors in Shandong Province from 2016 to 2020	ZHOU Meng-ge, YANG Yi, SUN Yuan, <i>et al.</i> (2937)
Trend Changes in Ozone Pollution and Sensitivity Analysis of Ozone in Henan Province	YAN Yang-yang, YIN Sha-sha, HE Qin, <i>et al.</i> (2947)
Effects of Tropical Cyclones on Ozone Pollution in the Pearl River Delta in Autumn	ZHAO Wei, LÜ Meng-yao, LU Qing, <i>et al.</i> (2957)
Real-time Composition and Sources of VOCs in Summer in Wuhan	SU Wei-feng, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i> (2966)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Summer in Yuncheng City	WEN Xiao-yu, ZHAO Wen-ting, LUO Shu-zhen, <i>et al.</i> (2979)
Neonicotinoid Insecticides Threaten Surface Waters at the National Scale in China	FAN Dan-dan, LIU Hong-ling, YANG Liu-yan (2987)
Spatiotemporal Distribution and Risk Assessment of Pharmaceuticals in Typical Drinking Water Sources in the Middle Reaches of the Yangtze River	WU Jun-mei, WEI Lin, PENG Jing-qian, <i>et al.</i> (2996)
Pollution Characteristics and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Underground and Surface Drinking Water Sources in Northeast Inner Mongolia	ZHANG Kun-feng, CHANG Sheng, FU Qing, <i>et al.</i> (3005)
Impact of Land Use Types at Different Scales on Surface Water Environment Quality and Its Driving Mechanism	SONG Jing-wen, ZHANG Xue-xia, JIANG Dong-yang, <i>et al.</i> (3016)
Shallow Groundwater Around Plateau Lakes: Spatiotemporal Distribution of Nitrogen and Its Driving Factors	LI Gui-fang, YANG Heng, YE Yuan-hang, <i>et al.</i> (3027)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Lake Qinghai	ZHANG Ya-ran, CHE Fei-fei, FU Zheng-hui, <i>et al.</i> (3037)
Analysis of Heavy Metal Pollution Characteristics and Potential Ecological Risks of Surface Sediments in Dongjiang Lake	ZHAO Xiao-liang, LI Xiang, LU Hong-bin, <i>et al.</i> (3048)
Kinetic Release Characteristics of Organic Phosphorus of Sediment-water and Water Quality Risks	LIU Zhe-zhe, NI Zhao-kui, LIU Si-ru, <i>et al.</i> (3058)
Distribution Characteristics, Source Analysis, and Pollution Evaluation of Organic Matter in Surface Sediments of Qingpu District, Yangtze River Delta Integration Demonstration Area	ZHANG Zhi-bo, DUAN Yan-ping, TU Yao-ji, <i>et al.</i> (3066)
Distribution Characteristics of Microplastics and Their Migration Patterns in Xiangxi River Basin	CHEN Sheng-sheng, LI Wei-ming, ZHANG Kun, <i>et al.</i> (3077)
Community Structure and Microbial Function Responses of Biofilms Colonizing on Microplastics with Vertical Distribution in Urban Water	CHEN Yu-fang, YAN Zhen-hua, ZHANG Yan, <i>et al.</i> (3088)
Community Structure of Phytoplankton and Environmental Impact Factors in Lake Hongze from 2015 to 2020	QU Ning, DENG Jian-ming, ZHANG Zhen, <i>et al.</i> (3097)
Structural Characteristics of Zooplankton and Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in Different Regions of Nanhu Lake in Jiaxing City	WANG Ya-wen, LI Ying-he, ZHANG Bo, <i>et al.</i> (3106)
Temporal and Spatial Variation Characteristics and Source Analysis of Agricultural Non-point Source Pollution Load in Guangdong During the Past 20 Years	GE Xiao-jun, HUANG Bin, YUAN Zai-jian, <i>et al.</i> (3118)
Output Characteristics and Driving Mechanism of Agricultural Non-point Source (AGNPS) Pollutant in Plain and Valley Region of Upper Yangtze River, China	TAN Shao-jun, LIU Yang, ZHU Xiao-jie, <i>et al.</i> (3128)
Risk Assessment Method of Non-point Source Pollution Output for Watershed Using High Resolution Data	GU Jing-jing, YE Yun-tao, DONG Jia-ping, <i>et al.</i> (3140)
Spectral Characteristics Change in Dissolved Organic Matter in Urban River Under the Influences of Different Intensities of Non-point Source Pollution	CHEN Xu-dong, GAO Liang-min (3149)
Combination of Ecological Ditch and Bioretention Pond to Control Rural Runoff Pollution	SHI Lei, YANG Xiao-li, WU Qing-yu, <i>et al.</i> (3160)
Influence of Different Hydraulic Disturbance Intensities on the Migration of Aged PSMPs Between Sediment and Water	WU Xiang-xiang, AI Ping, LI Da-peng (3168)
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of Rainfall Runoff from Roofs in the Central District of Beijing	XI Yue, GUO Jing, TAO Lei, TIAN Ying, <i>et al.</i> (3177)
Inter-annual Changes in Runoff Quality from Green Roofs with Different Vegetation	ZHANG Sun-xun, ZHANG Shou-hong, GE De, <i>et al.</i> (3187)
Effectivity of Multiphase Fenton-like System of Iron Reduction Induced by Bisphenol A Autochthonic Photoelectron	CAO Si-yu, XU Lu, FU Quan-chao, <i>et al.</i> (3195)
Removal Characteristics of Four Typical Antibiotics in Denitrification System	TANG Jia, CHEN Xi, QIN Mu-chuan, <i>et al.</i> (3204)
Adsorption Capacity and Mechanism of Biochar Derived from Typical Agricultural Wastes for Cadmium in Aqueous Solutions	GONG Pei-yun, SUN Li-juan, SONG Ke, <i>et al.</i> (3211)
Effect of Humic Acid-Heavy Metals on the Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX Bacteria and Its Kinetic Analysis	LI Yun, CUI Nan, XIONG Xing-xing, <i>et al.</i> (3221)
Responding Mechanism of Vegetation Cover to Climate Change and Human Activities in Southwest China from 2000 to 2020	XU Yong, HUANG Wen-ting, DOU Shi-qing, <i>et al.</i> (3230)
Spatial Distribution and Eco-stoichiometric Characteristics of Soil Nutrient Elements Under Different Vegetation Types in the Yellow River Delta Wetland	SUN De-bin, LI Yun-zhao, YU Jun-bao, <i>et al.</i> (3241)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Perfluoroalkyl Substances in Surface Soils of the Northeast Tibetan Plateau	WEN Xiang-jie, CHEN Zhao-hui, XU Wei-xin, <i>et al.</i> (3253)
Effect of Land Use/Land Cover Change on the Concentration of Se and Heavy Metals in Soils from a "Return Cropland to Forest" Area, Southwest China	LIU Yong-lin, LIU Shu-ling, WU Mei, <i>et al.</i> (3262)
Speciation Characteristics and Risk Assessment of Soil Heavy Metals from Puding Karst Critical Zone, Guizhou Province	ZHANG Qian, HAH Gui-lin (3269)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Germanium in Soil in the Eastern Mountainous Area of the Nanyang Basin	DONG Qiu-yao, LAI Shu-ya, SONG Chao, <i>et al.</i> (3278)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Risk Assessment of Golden Snub-nosed Monkey (<i>Rhinopithecus roxellana</i>) Habitat in Shennongjia Mountains	YAN Jia-li, YU Zi-ling, YU Hui-liang, <i>et al.</i> (3288)
Utilization and Remediation of Heavily Cadmium-Contaminated Agricultural Soils by Two Crop Rotation Patterns After Lime and Sepiolite Passivation	XU Lu, ZHOU Chun-hai, LIU Mei, <i>et al.</i> (3299)
Effects of Phosphorus Sufficiency and Deficiency on Cadmium Uptake and Transportation by Rice	TAN Wen-tao, HUO Yang, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (3308)
Responses of Cd Accumulation in Rice and Spectral Characteristics of Soil Dissolved Organic Matter Regulated by Soil Amendments	LUO Hui-long, CHEN Juan, ZHANG Yun-hui, <i>et al.</i> (3315)
Responses of Soil Fungal Communities to Subalpine Meadow Degradation in Mount Wutai	LUO Zheng-ming, HE Lei, LIU Jin-xian, <i>et al.</i> (3328)
Response of Soil Fungal Communities in Diversified Rotations of Wheat and Different Crops	JIN Hai-yang, YUE Jun-qin, YAN Ya-qian, <i>et al.</i> (3338)
Spatial Characterization of Stable Isotope Composition of Organic Carbon from Farmland Soils in Chongqing	LIAO Yu-qin, LONG Juan, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (3348)
Characteristics of Soil NO Emissions in the Yangtze River Delta Region for Year 2018	LIAO Jia-qiang, XUE Jin, WANG Wen-jin, <i>et al.</i> (3357)
Thermal Environment Evolution and Response Mechanism of Urban Sprawl Based on Multi-source Data	LIANG Jian-she, BAI Yong-ping, YANG Xue-di, <i>et al.</i> (3365)