

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业VOCs排放特征及管控对策

孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金

VOCs



制药



喷涂



橡胶

京津冀 •

• 长三角

珠三角 •

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年3月

第42卷 第3期
Vol.42 No.3

目次

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业 VOCs 排放特征及管控对策	孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金 (1023)
长江经济带湖北省人为源 VOCs 排放清单及变化特征	代伶文, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 黄利宏 (1039)
经济快速发展区六氯丁二烯的来源与分布特征	陶誉铭, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 郭立新 (1053)
近 20 年中国表层土壤中多环芳烃时空分布特征及源解析	马妍, 程芦, 阮子渊, 史鹏飞, 路超君, 运晓彤, 李璐嫣, 徐雁秋, 史怡 (1065)
电子废物拆解区微塑料与周围土壤环境之间的关系	柴炳文, 尹华, 魏强, 卢桂宁, 党志 (1073)
焦化场地内外土壤重金属空间分布及驱动因子差异分析	顾高铨, 万小铭, 曾伟斌, 雷梅 (1081)
典型石化工业城市土壤重金属源解析及空间分布模拟	孙雪菲, 张丽霞, 董玉龙, 朱林宇, 王政, 吕建树 (1093)
多功能区工业园土壤和地表灰尘重金属污染及生态风险差异分析	曾伟斌, 顾高铨, 万小铭, 雷梅 (1105)
龙岩市某铁锰矿区土壤重金属地球化学空间分布特征与来源分析	王蕊, 陈楠, 张二喜, 李小赛 (1114)
基于全周期场地概念模型的场地环境精准调查应用案例	李培中, 吴乃瑾, 王海见, 张骥, 荣立明, 李翔, 魏文侠, 宋云 (1123)
造纸厂土壤中短链和中链氯化石蜡的污染特征和风险评估	张佩萱, 高丽荣, 宋世杰, 乔林, 徐驰, 黄帝, 王爽, 蒋思静, 郝明辉 (1131)
典型再生铜冶炼厂周边土壤中 PCDD/Fs、PCBs 和 PCNs 的污染特征及健康风险评估	胡吉成, 郭静, 许晨阳, 金军 (1141)
柠檬酸与磷共存对土壤吸附铅的影响	宋子腾, 左继超, 胡红青 (1152)
两种能源草田间条件下对镉和锌的吸收累积	郑瑞伦, 石东, 刘文菊, 孙国新, 侯新村, 胡艳霞, 朱毅, 武菊英 (1158)
钒钛磁铁矿尾矿库复垦土地及周边土壤-玉米重金属迁移富集特征	孙厚云, 卫晓峰, 孙晓明, 贾凤超, 李多杰, 李健 (1166)
盐胁迫下八宝景天不同生态型对土壤中 Cd 积累特征	郭俊梅, 杨俊兴, 杨军, 万小铭, 孟晓飞, 陈同斌, 何孟轲, 周小勇, 徐铁兵 (1177)
水分条件对生物炭钝化水稻土铅镉复合污染的影响	汤家庆, 张绪, 黄国勇, 胡红青 (1185)
壳聚糖改性生物炭对水稻土甲基汞生成及其稻米积累的影响	杨雪玲, 王明星, 徐国敏, 王定勇 (1191)
铬污染对土壤细菌群落结构及其构建机制的影响	于皓, 安益君, 金德才, 靳拓, 王兴润 (1197)
研究报告	
COVID-19 疫情期间京津冀大气污染物变化及影响因素分析	赵雪, 沈楠驰, 李令军, 武高峰, 陶静, 赵文吉 (1205)
2020 年初疫情管控对山东省空气质量影响的模拟	刘厚凤, 徐薇, 魏敏, 隋潇, 许鹏举, 李明燕, 张美根 (1215)
南京北郊 PM _{2.5} 中有机组分的吸光性质及来源	尚玥, 余欢, 茅宇豪, 王成, 谢鸣捷 (1228)
西安市大气棕碳污染特性及发色团种类	陈前, 陈庆彩 (1236)
淄博市道路尘细粒子携带金属元素的来源与健康风险评价	郭清源, 白雯宇, 赵雪艳, 郭丽瑶, 王敬华, 耿春梅, 王晓丽, 王静, 杨文, 白志鹏 (1245)
北京市控制 PM _{2.5} 污染的健康效益评估	杜沛, 王建州 (1255)
西宁市大气污染来源和输送季节特征	刘娜, 余晔, 马学谦 (1268)
青岛近海不同污染过程下大气颗粒态氮磷浓度分布特征	袁刚, 祁建华, 丁雪 (1280)
基于走航监测的长三角工业园区周边大气挥发性有机物污染特征	王红丽, 高雅琴, 景盛翱, 楼晟荣, 胡馨遥, 安静宇, 吴宇航, 高伟, 朱亮, 黄成 (1298)
山地型城市冬季大气重污染过程特征及成因分析	刘伟诚, 牛月圆, 吴婧, 闫雨龙, 胡冬梅, 邱雄辉, 彭林 (1306)
兰-白城市群主要大气污染物网格化排放清单及来源贡献	王文鹏, 王占祥, 李继祥, 高宏, 黄韬, 毛蒲萱, 马建民 (1315)
2012~2019 年北京市储油库 VOCs 去除及排放水平变化监测分析	华岚英, 崔彤, 李金香, 邹本东, 杨妍妍, 程刚 (1328)
生活垃圾无害化处理大气污染物排放清单	马占云, 姜昱聪, 任佳雪, 张阳, 冯鹏, 高庆先, 孟丹 (1333)
长江口邻近海域表层沉积物中的细菌霍多醇及对低氧区的响应判别	尹美玲, 段丽琴, 宋金明, 张乃星 (1343)
鄱阳湖流域水体和水产品中苯酚的暴露特征及人体健康风险评估	徐倩云, 艾舜豪, 高祥云, 王晓南, 刘征涛, 赵师晴, 葛刚, 李霖 (1354)
衡水湖湿地水环境质量时空变化特征及污染源分析	刘魏魏, 郭子良, 王太安, 张曼胤, 张余广 (1361)
丹江口水库及其入库支流水体中微塑料组成与分布特征	潘雄, 林莉, 张胜, 翟文亮, 陶晶祥, 李丹文 (1372)
金盆水库暴雨径流时空演变过程及水质评价	黄诚, 黄廷林, 李扬, 李楠, 齐允之, 司凡, 华逢耀, 赵凌云 (1380)
汛期暴雨径流对饮用水水库溶解性有机质 (DOM) 光谱特征的影响	李程遥, 黄廷林, 温成成, 梁伟光, 林子深, 杨尚业, 李凯, 蔡晓春 (1391)
苏州古城区河道碳氮磷类污染物的分布特征	白冬锐, 张涛, 陈坦, 王洪涛, 金曦, 郑凯旋, 李忠磊, 杨婷, 金军 (1403)
娘子关泉群水化学特征及成因	唐春雷, 赵春红, 申豪勇, 梁永平, 王志恒 (1416)
过氧化钙重塑底泥对水中磷酸盐的吸附作用	徐楚天, 李大鹏, 王子良, 吴宇涵, 许鑫澎, 黄勇 (1424)
亚热带丘陵区绿狐尾藻人工湿地处理养猪废水氮磷去向	王丽莎, 李希, 李裕元, 张满谔, 吴金水 (1433)
紫外/亚硫酸盐高级还原工艺加速降解水中难降解含碘造影剂	刘子奇, 仇付国, 赖曼婷, 李津, 董慧岭, 强志民 (1443)
太阳能热活化过硫酸盐降解染料罗丹明 B 的效能	马萌, 许路, 金鑫, 金鹏康 (1451)
一步法 La@MgFe ₂ O ₄ 的制备及其吸附水中磷的性能	白润英, 宋博文, 张戎, 郝俊峰, 刘建明, 刘宇红 (1461)
工程规模长填龄渗滤液膜生物-纳滤组合设施各单元污染物去除效能	邵立明, 邓樱桃, 仇俊杰, 吕凡, 章骅, 何品品 (1469)
ANAMMOX 培养物中硫酸盐型氨氧化生物转化机制	毕贞, 董石语, 黄勇 (1477)
不同季节城市污水处理厂微生物群落特性	贺赞, 李魁晓, 王佳伟, 王慰, 樊鹏超, 陈行行, 王军静 (1488)
麻黄碱在斑马鱼体内的器官特异性蓄积及毒代动力学	殷行行, 郭昌胜, 邓洋慧, 邱紫雯, 张艳, 滕彦国, 徐建 (1496)
内蒙古白云鄂博矿区土壤稀土元素污染特征及评价	王哲, 赵莹晨, 骆逸飞, 郑春丽, 卞园, 张光宇 (1503)
广西典型岩溶区农田土壤-作物系统 Cd 迁移富集影响因素	马宏宏, 彭敏, 郭飞, 刘飞, 唐世琪, 杨峰, 张富贵, 周亚龙, 杨柯, 李括, 刘秀金 (1514)
超顺磁性纳米材料对镉污染稻田土壤微生物和酶的影响	方丹丹, 张立志, 王强 (1523)
水分管理与施硅对水稻根表铁膜及砷镉吸收的影响	陈佳, 赵秀兰 (1535)
四环素类抗生素对土壤-生菜系统的生物效应及其迁移降解特性	王卫中, 迟苏琳, 徐卫兰 (1545)
地膜覆盖对菜地垄沟 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	熊维霞, 江长胜, 赵仲婧, 曾唯, 胡曼利, 涂婷婷, 陈俊江, 郝庆菊 (1559)
对比研究生物炭和秸秆对麦玉米轮作系统 N ₂ O 排放的影响	唐占明, 刘杏认, 张晴雯, 李贵春 (1569)
流域生态空间管控下生境监测方法概述	阴琨, 刘海江, 王光, 金小伟 (1581)
《环境科学》征订启事 (1151) 《环境科学》征稿简则 (1342) 信息 (1402, 1415, 1580)	

苏州古城区域河道碳氮磷类污染物的分布特征

白冬锐¹, 张涛¹, 陈坦^{1*}, 王洪涛^{2*}, 金曦², 郑凯旋², 李忠磊², 杨婷¹, 金军¹

(1. 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要: 苏州是水质型缺水城市, 节水、减排、控源和截污等工程实施后, 水质问题依然严峻。为了解苏州古城区域河道中碳氮磷类污染物的总量及分布特征, 提出河道疏浚决策依据, 于2019年春季在苏州古城区域采集了20个代表性断面的河道底泥和水体样品, 测定了河道底泥的深度, 分析了河道底泥和水体样品中碳氮磷类污染指标的浓度, 评价了河道底泥和水体的污染程度, 并预测了换水、引水、降雨和疏浚情境下水质的变化。结果表明, 苏州古城区域河道底泥深度在22~1 025 mm之间(均值为266 mm), 底泥总质量约为 5.2×10^5 t。底泥中总有机碳、总氮、氨氮、总磷和有效磷平均含量分别为3.4%、2 074 mg·kg⁻¹、140.2 mg·kg⁻¹、1 765 mg·kg⁻¹和57.2 mg·kg⁻¹, 属中度污染, 总磷含量超标点超过90%, 环城河污染程度最高, 建议优先疏浚。水体中总有机碳、生化需氧量、化学需氧量、总氮、氨氮、凯氏氮、总磷和磷酸盐平均浓度分别为7.8、0.6、13.1、2.5、0.643、1.3、0.18和0.09 mg·L⁻¹, 属重度污染, 为劣V类地表水, 总氮浓度严重超标。基于沿程碳氮磷类污染物总量的分布情况, 苏州古城区域河道疏浚推荐顺序为环城河、古城北部河道、干将河和古城南部河道。降雨情景下, 初期径流污染物浓度高, 将导致河道水质急剧下降; 换水和引水情境下水中总氮总量均减少0.2 t, 完全疏浚后水中总氮总量分别进一步减少4.58 t和2.19 t。底泥磷以外源输入为主, 可容纳部分水体中的磷, 故疏浚后, 水体中总磷总量可能增加。

关键词: 苏州古城区域河道; 底泥; 水体; 碳氮磷类污染物; 分布特征

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)03-1403-13 DOI: 10.13227/j.hjxx.202008109

Distribution Characteristics of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Bearing Pollutants in the Ancient Town Rivers of Suzhou

BAI Dong-rui¹, ZHANG Tao¹, CHEN Tan^{1*}, WANG Hong-tao^{2*}, JIN Xi², ZHENG Kai-xuan², LI Zhong-lei², YANG Ting¹, JIN Jun¹

(1. College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Suzhou is a water-deficient city with water quality issues. Despite water conservation measures, emission reductions, source control, and pollution interception, water quality remains poor. To understand the total mass and distribution characteristics of carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants and inform decisions regarding river dredging, sediment and water samples were collected from 20 representative sections in the town's rivers during the spring of 2019. The depths of the sediments were measured along with the concentrations of carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants in the sediments and water, and the pollution degree was evaluated. Variations in various parameters were predicted for change water, diversion water, rainfall, and dredging. The results show that the sediment depths ranged between 22 and 1 025 mm (average = 266 mm), and the total mass of sediment was approximately 5.2×10^5 t in the ancient town rivers of Suzhou. The average proportions and concentrations of TOC, TN, NH₄⁺-N, TP, and AP in the sediments were 3.4%, 2 074 mg·kg⁻¹, 140.2 mg·kg⁻¹, 1 765 mg·kg⁻¹, and 57.2 mg·kg⁻¹, respectively, indicating a moderate level of pollution. The concentration of TP in the sediments at 90% of the sampling points exceeds the national standard. Huancheng River was found to have the highest concentration of TP, suggesting that dredging should be targeted here first. In the water samples, the average concentrations of TOC, BOD₅, COD, TN, NH₄⁺-N, Kjeldahl nitrogen, TP, and PO₄³⁻-P were 7.8, 0.6, 13.1, 2.5, 0.643, 1.3, 0.18, and 0.09 mg·L⁻¹, respectively, indicating a severe level of pollution. Overall, water quality in these rivers falls below Class V surface water, and the concentration of TN seriously exceeds the national standard. Based on the patterns of total carbon mass and nitrogen and phosphorus bearing pollutants, the recommended order of dredging in Suzhou is the Huancheng River, the northern rivers of the ancient town, Ganjiang River, and the southern rivers of the ancient town. Under the rainfall scenario, the initial concentrations of pollutants in runoff were high, which leads to a decline in water quality. The total mass of TN in the water was reduced by 0.2 t under the change water and diversion water scenarios, and was further reduced by 4.58 t and 2.19 t, respectively, after dredging. Phosphorus bearing pollutants in the sediment were mainly imported from other sources, meaning that the total mass of TP in the water may increase following dredging activities.

Key words: ancient town rivers of Suzhou; sediments; water; carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants; distribution characteristics

收稿日期: 2020-08-10; 修订日期: 2020-08-28

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07205001); 国家重点研发计划项目(2018YFC1903000); 国家自然科学基金项目(41877188)

作者简介: 白冬锐(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为固体废物处理与资源化, E-mail: bdraxyj@163.com

* 通信作者, E-mail: chentan05@tsinghua.org.cn; htwang@tsinghua.edu.cn

随着我国城市化进程的加快,城市河道污染问题日渐突出,严重制约了城市的社会经济发展和生态环境建设^[1].大量外源碳氮磷类污染物的输入,远超过河道自净能力,将引发水体黑臭和富营养化,水体中累积的污染物可沉积为河道底泥的重要组成部分^[2,3].水环境中的碳氮磷类污染物通常由人类活动排放,如农业生产、农副产品加工、生活污水和某些工业过程等^[4~6].当水体水质变化时,底泥既有可能作为“汇”接纳水体中的污染物^[7],也有可能成为“源”释放污染物,显著影响水体水质^[5,8~10].分析底泥中碳氮磷类污染物的分布特征,不仅可以间接反映水体污染状况^[11],还能预测不同情景下水质的变化,对保障河道水环境质量具有重要意义^[12].

湖泊、海洋和江河入海口等水环境中污染物分布特征的相关研究已取得系统进展^[13~15].如巢湖东部近城市湖湾底泥总氮(TN)和总磷(TP)含量水平整体较高,平均含量分别达到 $3245.36\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $535.29\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,且底泥氨氮和磷酸盐释放能力较强,已成为水体氮磷营养盐的污染源^[16];珠江口水域底泥中营养盐含量分布表现为由口门向口外递减,且氨氮、硝态氮和磷酸盐由底泥向水体释放,而亚硝态氮由水体向底泥迁移^[17,18].城市河道有别于天然水体,由于水量补给受人工控制,往往流速缓慢,自净能力较差,兼顾雨水受纳,水质与底泥的关系更密切^[19,20].2012年重庆梁滩河底泥TN含量范围为 $2\sim5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[21];经截污治理和人工湿地处理后,2014年底泥TN含量范围在 $2.63\sim8.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间^[22],治理效果不明显.城市河道往往水量受控,环境容量有限,要想改善水质,应该协同考虑河道底泥,尤其是底泥污染物总量.

苏州地处长江下游平原,河网纵横交错,水域面积约占总面积的42%,古城区域水域面积也占其总面积的16.9%,是我国水域面积比例最大的城市之一.苏州城市发展迅速,人均水资源占有量少,列入国家水质型缺水城市^[23],虽然近年来实施了节水、减排、控源和截污等系列工程,水环境质量逐步改善,但总体上水质状况依然严峻^[24].古城区域主要分布环城河和主流系统,河道周边建筑密集,水流缓慢.在外源输入(包括城市点源污染和降雨径流非点源污染^[25])和内源释放的共同作用下,碳氮磷类污染物负荷高,蓝藻水华和水体黑臭现象频发,主干河道也大多数为V类水质^[26],古城区域水体治理仍需加强.

本研究于2019年春季在苏州古城区域20个代表性断面现场采样并测量了泥深,分析了河道底泥和水体中碳氮磷类污染物的含量和总量分布特征,

评价了苏州古城区域水环境污染现状,预测了换水、引水、降雨和疏浚情景下水质的变化,以全面揭示苏州古城区域河道底泥和水质的污染状况,以期为苏州古城区域河道水环境污染的控制和治理提供理论技术参考.

1 材料与方法

1.1 研究区域与样品采集

苏州地势平坦,地处长江三角洲中部,是典型的平原河网城市,四季分明,属亚热带季风海洋气候^[27],雨量充沛,年平均降雨约 $1\,100\sim1\,400\text{ mm}$,年平均降水日约 130 d ^[28].本研究选取的古城区域位于苏州市中心区,占地面积约 14.2 km^2 ,河道总长度约 48.65 km ,平均水深约 3.5 m ^[29],水流路径为北进南出,东进西出,干将河为中间河流^[20,29].

在苏州古城区域内,每年春季气温回升,蓝藻开始暴发,结合水文条件、河道情况、周边布局及支流汇水等实际情况,选取20个代表性断面(图1).环城河点位包括S1、S2、S3、S4、S5和S6;古城北部河道点位包括S7、S8、S9、S10和S11;干将河点位包括S12、S13和S14;古城南部河道点位包括S15、S16、S17、S18、S19和S20.利用标杆标记测量河道底泥深度.

以多点混合法采样,同一个采样点采集5~6个平行样,现场混匀为1个样品,每个采样点的范围约为 $2\text{ m}\times2\text{ m}$.水样(水面下约 20 cm)采集使用1 L聚乙烯瓶,取样前润洗3~4次.底泥样品采集利用活塞式柱状底泥采样器采集河道底部 $0\sim20\text{ cm}$ 的泥样,放入聚乙烯密封袋中现场混匀,冰袋低温保存.



图1 苏州古城区域河道代表性断面位置示意

Fig. 1 Location representative sections in the ancient town rivers of Suzhou

1.2 分析方法

样品采集后冷藏运输,依照相应标准分析方法检测各指标,底泥样品在(105±5)℃烘干至恒重后1~5℃冷藏备用,水样以0.45 μm 滤膜过滤后1~5℃冷藏保存待检.底泥监测指标包括:总有机碳(TOC,GB/T 19145-2003)、TN(LY/T 1228-2015)、氨氮(HJ 634-2012)、TP(HJ 632-2011)及有效磷(NY/T 1121.7-2006).水体监测指标包括:TOC(GB/T 19145-2003)、生化需氧量(BOD₅,HJ 505-2009)、化学需氧量(COD,HJ 828-2017)、TN(HJ 636-2012)、氨氮(HJ 536-2009)、凯氏氮(GB 11891-89)、TP(GB11893-89)及磷酸盐[GB/T 5750.5-2006(7)].

1.3 污染物总量

根据20个采样点的底泥深度,结合地图标识的河长和河宽,估算苏州古城区域河道底泥总体积.进一步测量各采样点河道底泥的密度,综合污染物含量,即可估算苏州古城区域河道底泥总质量和污染物总量.

根据苏州古城区域平均水深3.5 m^[29],估算苏州古城区域河道水体总体积,结合污染物含量,可估算苏州古城区域河道水体中的污染物总量.

1.4 底泥污染和水质状况评价方法

1.4.1 底泥污染

采用单因子指数法和内梅罗污染指数法评价底泥污染状况.单因子指数法一般以标准限值作为参比值,方法表达式参考文献[30].鉴于我国尚未颁布河流底泥污染物评价标准,本文参考加拿大安大略省环境和能源部(1992年)制定的环境质量评价指南标准^[31]中安全级的营养水平,TOC、TN和TP含量限值分别为10 000、550和600 mg·kg⁻¹.内梅罗污染指数法可以较全面地反映各种污染物的综合污染状况,计算方法参考文献[30],评价等级见表1.

1.4.2 河道水质

采用综合污染指数法评价河道水质,计算公式参考文献[32].根据文献[33]和[34],以地表水Ⅲ类水质标准为基准,BOD₅、COD、TN和TP的浓度限值分别为4、20、1.0和0.2 mg·L⁻¹,评价等级见表1.

表1 底泥和水体污染程度等级
Table 1 Pollution level of sediment and water

等级	底泥		等级	水体	
	内梅罗指数	污染等级		综合污染指数	污染等级
1	$P_N \leq 0.7$	清洁(安全)	1	$\bar{P} < 0.2$	清洁
2	$0.7 < P_N \leq 1.0$	尚清洁(警戒线)	2	$0.2 \leq \bar{P} < 0.4$	尚清洁
3	$1.0 < P_N \leq 2.0$	轻度污染	3	$0.4 \leq \bar{P} < 0.7$	轻度污染
4	$2.0 < P_N \leq 3.0$	中度污染	4	$0.7 \leq \bar{P} < 1.0$	中度污染
5	$P_N > 3.0$	重度污染	5	$1.0 \leq \bar{P} < 2.0$	重度污染
			6	$\bar{P} \geq 2.0$	严重污染

1.5 换水、引水、降雨和疏浚情景下水体TN和TP浓度变化的预测方法

污染物在固液两相的分配系数反映了污染物在两相间的迁移能力,是描述污染物在水环境中行为的重要参数,直接计算天然水体条件下污染物的固液分配系数更能反映实际迁移能力^[35].同一时间内采于同一河流的底泥和水体污染物分配系数可估算为一段时间内该条河流的质量基准^[36].根据同一采样点底泥和水体中TN和TP含量,计算底泥-水的氮磷分配系数,视为该河段的常量,从而预测换水、引水、降雨和疏浚情境下底泥氮磷释放后水质的变化.设定不同情景下水中氮磷浓度的初始值(见2.7节),通过底泥-水分配系数估算出底泥释放后水中的氮磷含量.

2 结果与讨论

2.1 底泥总量

苏州古城区域河道底泥深度在22~1 025 mm

之间,平均值为266 mm;密度范围为1.206~1.759 g·mL⁻¹,平均为1.431 g·mL⁻¹;含水率在24%~80%之间,均值为51%(图2).苏州古城区域河道底泥总质量约为5.2×10⁵ t,河道沿程底泥质量约为1.1×10⁴ t·km⁻¹.苏州古城区域河道底泥含水率高于太湖底泥(均值44.3%)^[37],可能是苏州古城区域河道底泥有机物含量大于太湖底泥.S16的含水率最高,该点位底泥的TOC含量也相对较高(7%).古城区域南部河道底泥深度明显高于北部,南部河道较宽,水流缓慢.深度最大值在S2,位于干将河和东环城河交叉口,可能与入河口河道变宽有关,水流变缓,大量有机碎屑沉积,该点底泥的有机物含量也是最高的.深度最小值出现在S3,河水流至该点附近河宽变窄,流速加快,悬浮物不易沉积.

2.2 底泥和水体中碳氮磷类污染物分布特征及相关性分析

2.2.1 底泥中碳氮磷类污染物的分布特征

底泥是复杂的多介质多界面系统,有机物过量

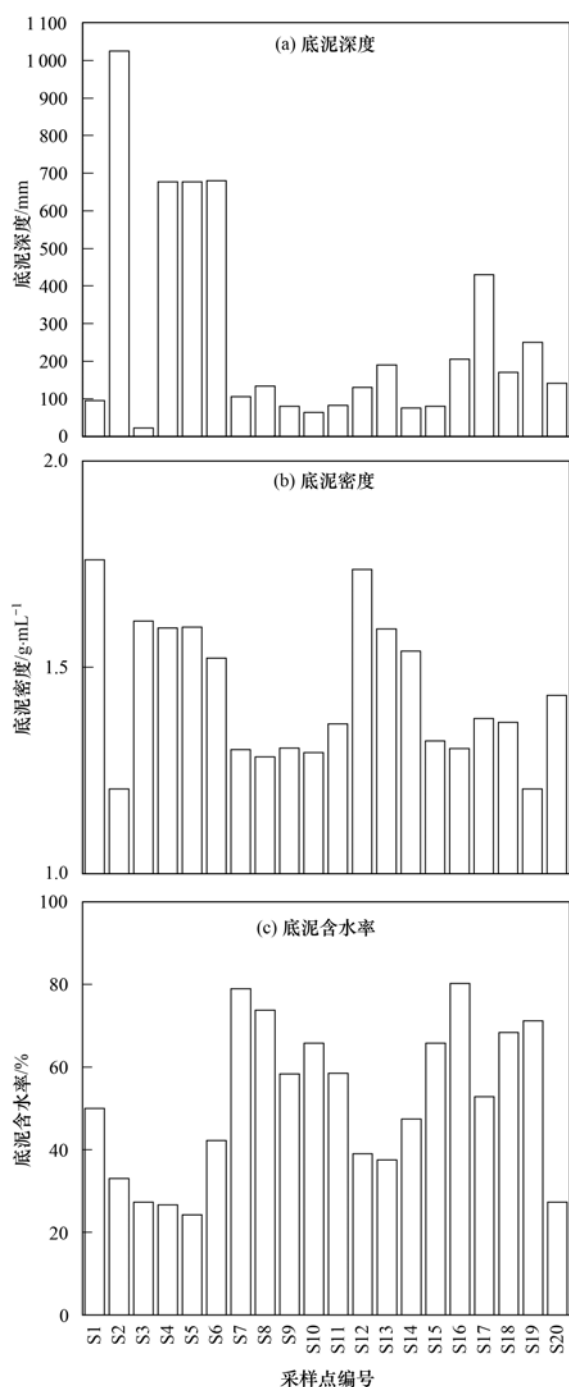


图2 苏州古城区域河道底泥的深度、密度和含水率

Fig. 2 Depth, density, and moisture content of the sediments in the ancient town rivers of Suzhou

会造成水体黑臭,也会影响氮磷等污染物的吸附解吸过程^[38]. 有机物含量高,不仅会造成底泥中污染物进一步富集,一旦环境条件变化还利于微生物生长繁殖,分解有机物,使其他污染物的释放速度加快^[38,39]. 苏州古城区域河道底泥 TOC 所占质量分数在 0.4%~10.6% 之间,均值为 3.4% (表 2),远远超过加拿大安大略省环境和能源部(1992 年)制定的安全级营养水平(1%)^[31],整体从上游向下游递减[图 3(a)]. 相比于四川邛海底泥 TOC 含量范围 1 479 ~ 15 197 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均 8 725 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (所占质量分数约

8.7%)^[40],和北京北运河底泥 TOC 在 1.2%~7.8% 之间,均值 4.1%^[41],苏州古城区域河道底泥 TOC 含量范围较广,空间差异性更大(差异系数为 74%),若能及时提供疏浚顺序,可以更好地治理水环境. TOC 浓度最高值出现在 S2,也是底泥最深点,入水口河道变宽,河流流速降低,大量有机碎屑逐渐沉降堆积. 此外, S17 位于公园下游,公园内分布大量树木草丛,枯落物可能随地表径流汇入河道,导致底泥有机质含量较高. TOC 浓度最低值出现在 S4 和 S5,均位于南环城河,河道相对变窄,河流流速增加,有机碎屑不易沉降,因而有机质含量相对较低.

氮是底泥中主要的营养元素之一,能够反映河道营养状况及受污染程度. 苏州古城区域河道底泥 TN 含量在 437 ~ 4 690 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,均值 2 074 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,是环太湖 7 条主要河流底泥 TN 平均含量(约 1303.49 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的 1.5 倍^[42]. TN 含量分布规律与 TOC 相似[图 3(b)],呈现上游向下游递减趋势. 根据美国环境保护署(USEPA)提出的底泥 TN 污染评价标准^[43],有 8 个点为重度污染,分别是 S2、S7、S8、S10、S15、S16、S18 和 S19. S2、S8 和 S16 处在环城河和主干河道,河面相对较宽,水流流速降低,污染物易沉积. 剩余 5 个点位于支流河道, S7、S10、S15 和 S19 均临近住宅小区,不排除周围有排污口的可能性,也可能有雨水排放口,降水初期径流中的污染物在附近沉积. S18 位于近静止河段,水流停滞,污染严重. 底泥氨氮含量范围为 15.8 ~ 325.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均 140 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 2). 氨氮是判定水体是否黑臭的重要指标,底泥离子交换态氮对水体影响最大,是可转化态氮中最易释放的氮形态,且该形态氨氮占比较高^[44]. 苏州古城区域河道底泥氨氮约占 TN 的 3%~18%,占比相对较低,但考虑到总量,仍有引起水体黑臭和富营养化的可能性.

底泥中有机质的来源不同, C/N 值(TOC/TN)会有明显差异,因此常用 C/N 判断有机质的类型及来源. 一般认为,当 C/N > 10 时,河道底泥中的有机质以外源输入为主;当 C/N < 10 时,以内源有机质为主; C/N $\approx$ 10 时,内源与外源有机质大体平衡^[45]. 苏州古城区域河道底泥 C/N 在 0.68 ~ 4.02 之间波动,均小于 10,平均值为 1.75,说明底泥有机质以内源贡献为主,可能是过去长期外源输入使底泥积累的营养物质较多所致.

磷是导致水体富营养化的重要营养物质之一^[46],苏州古城区域河道底泥 TP 含量范围在 523 ~ 3 560 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,均值 1 765 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 2),略高于成都市内数条河道底泥 TP 含量的均值(1 132.41 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[47]. 相比 USEPA 底泥污染评价标准^[43],

90% 以上采样点的底泥样品属于重度污染, 居民区附近支流河道的 TP 含量尤其高, 说明生活污水有可能经过排污口直接排放至河道, 导致含磷污染物沉积. 有效磷是指可被植物吸收利用的磷的总称, 包括容易被某些化学试剂提取的磷及溶液中的磷酸盐^[48]. 底泥有效磷主要以易被藻类吸收利用的磷为主, 与河水中磷酸盐含量相关. 苏州古城区域河道底泥有效磷含量范围为 17.4 ~ 95.3 mg·kg⁻¹, 均值 57.2 mg·kg⁻¹ (表 2), 有效磷[图 3(e)] 和 TP[图 3(d)] 的分布规律相似, 但与底泥中碳氮类污染物含

量分布没有明显相似性.

苏州古城区域底泥 N/P 值 (TN/TP) 为 0.18 ~ 3.22, 远小于 N/P = 16 (Redfield 比, C: N: P = 106: 16: 1^[49]), 说明磷主要来源于周边环境外源的输入. 结合采样点周边情况, 磷的来源可能是居民生活污染物和地表径流的汇入. 与巢湖及其入湖河流底泥 N/P 值 (0.7 ~ 3.17) 相似, 底泥中的磷也受外源输入的影响, 主要是周边磷矿区及含磷地层的开采, 植被的破坏及地表径流的冲刷也会带入大量外源含磷污染物^[50].

表 2 苏州古城区域河道底泥中碳氮磷类污染物的含量

Table 2 Concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants in the sediments of the ancient town rivers of Suzhou							
参数	TOC /%	TN /mg·kg ⁻¹	氨氮 /mg·kg ⁻¹	TP /mg·kg ⁻¹	有效磷 /mg·kg ⁻¹	C/N	N/P
最大值	10.6	4 690	325	3 560	95.3	4.02	3.22
最小值	0.4	437	16	523	17.4	0.68	0.18
均值	3.4	2 074	140	1 765	57.2	1.75	1.25
中位值	1.7	1 760	99	1 845	56.6	1.35	1.06
标准差	2.6	1 305	100	720	22.2	0.94	0.78
差异系数/%	74	63	71	41	39	54	63
清洁 ¹⁾		< 1 000		< 420			
轻度污染		1 000 ~ 2 000		420 ~ 650			
重度污染		> 2 000		> 650			

1) USEPA 底泥污染评价标准^[43]

2.2.2 水体中碳氮磷类污染物的分布特征

苏州古城区域河道水体 TOC 浓度在 4.1 ~ 11.2 mg·L⁻¹ 之间, 均值为 7.8 mg·L⁻¹; COD 浓度在 9 ~ 22 mg·L⁻¹ 之间, 均值为 13 mg·L⁻¹; BOD₅ 浓度在 nd (未检出) ~ 5.3 mg·L⁻¹ 之间, 均值为 0.6 mg·L⁻¹ (表 3). 95% 水样中 COD 和 BOD₅ 浓度达到地表水Ⅲ类水质标准 (GB 3838-2002).

苏州古城区域河道水体 TN 浓度范围为 1.6 ~ 3.4 mg·L⁻¹, 均值 2.5 mg·L⁻¹ (表 3), 根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002), 所有采样点的 TP 浓度均属劣 V 类水平, 可能因为苏州古城区域是苏州市餐饮旅游的主要集中区域, 不排除有偷排现象, 且河道水源补给少、流速慢, 又兼顾接纳排污功能. 水体氨氮浓度范围在 0.204 ~ 1.530 mg·L⁻¹ 之间, 均值 0.643 mg·L⁻¹ (表 3), 处于地表水Ⅲ类水平, 约占 TN 的 13% ~ 48%. 水体中凯氏氮的浓度可视为氨氮和有机氮的总和, 苏州古城区域凯氏氮浓度范围在 0.8 ~ 3.0 mg·L⁻¹ 之间, 均值 1.3 mg·L⁻¹ (表 3), 约占 TN 的 28% ~ 97%, 有机氮含量很高. 然而, 有机物和氨氮浓度过高会造成水体富营养化, 导致水中溶解氧下降, 致使水生生物大量死亡, 还会造成水体黑臭现象, 严重影响环境和居民身体健康^[51]. S4 的凯氏氮占比最高 (97%), 位于 3 个居民区的水流交汇处, 且处在南

环城河, 河面宽, 水流慢. 古城区域居民区老旧, 可能不具备充足的雨水管道, 导致污染物浓度高的初期径流直接混入河水^[25].

苏州古城区域河道水体 TP 浓度范围为 0.10 ~ 0.38 mg·L⁻¹, 均值为 0.18 mg·L⁻¹ (表 3), 根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002), 70% 的采样点属地表Ⅲ类水质. 磷酸盐浓度范围为 0.03 ~ 0.26 mg·L⁻¹, 均值为 0.09 mg·L⁻¹, 占 TP 的 19% ~ 72% (表 3). 磷酸盐浓度最高点仍为 S18, 因为附近河道水流极其缓慢接近静止. S7 和 S16 的磷酸盐占比也超过了 50%, 均位于居民区附近. 苏州古城区域内的居民区普遍老旧, 房屋建设年代久远, 布局密集、凌乱, 居民生活污水未接纳管网, 直接排入河道, 污染源分散^[25,52].

2.2.3 底泥和水体中碳氮磷类污染物总量

根据污染物含量, 估算底泥中 TOC、TN、氨氮、TP 和有效磷的总量分别约为 25706、791、90、531 和 17 t, 沿程总量分别约为 528.4、16.3、1.8、10.9 和 0.3 t·km⁻¹; 水中 TOC、BOD₅、COD、TN、氨氮、凯氏氮、TP 和磷酸盐的总量分别约为 26.1、1.9、52.9、8.7、1.9、5.6、0.6 和 0.2 t, 沿程总量分别约为 0.5、39.1、1.1、0.2、39.1、0.2、12.3 和 4.1 kg·km⁻¹. 巢湖近年来一直处于较高的富营养水平, 全湖底泥 TP 储量为 0.98 × 10⁵ t, 单位体积 TP 储量

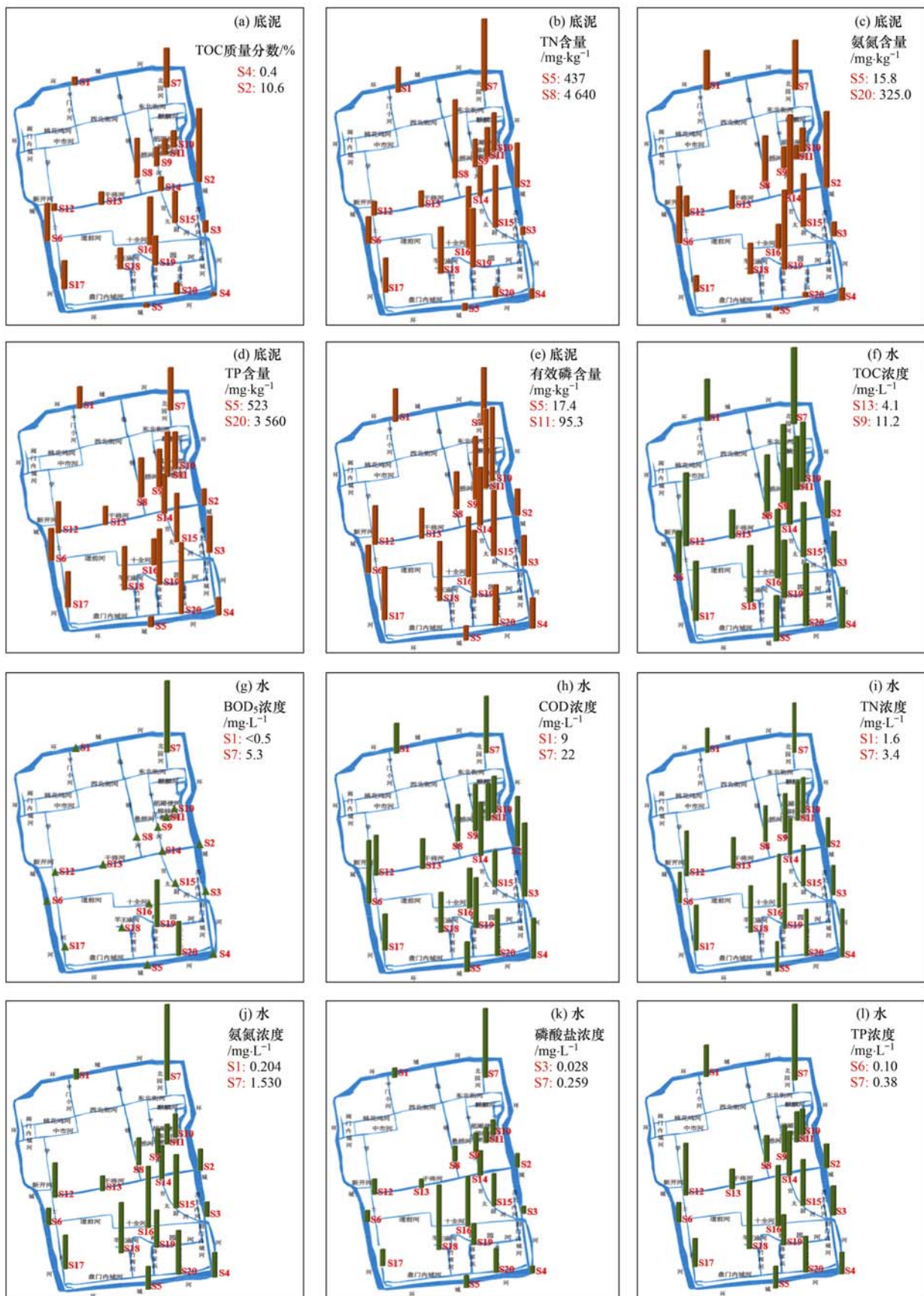


图3 苏州古城区域河道底泥和水中碳氮磷类污染物含量分布

Fig. 3 Concentration distribution of carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants of the sediments and waters of the ancient town rivers of Suzhou

约是苏州古城区域河道底泥的0.8~1倍,说明河道底泥污染较严重^[53]. 无锡薛家浜疏浚约1.5 m泥深

后,TN 和 TP 含量分别消减了 46% 和 36% (约 32.6 kg·km⁻¹和 6 kg·km⁻¹)^[54],疏浚对改善水环境作用明显,苏州古城区域河道治理应该考虑疏浚.底泥中污染物总量约为水中污染物总量的 85~985 倍,即使底泥作为“汇”吸附水体中的污染物,仍不排除环境条件(如 pH、温度和溶解氧等)变化对水环境造成巨大威胁的情况,故疏浚底泥对改善水环境质量具有重要的现实意义.

表 3 苏州古城区域河道水体中碳氮磷类污染物浓度/mg·L⁻¹

Table 3 Concentrations of carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants in the waters of the ancient town rivers of Suzhou/mg·L ⁻¹								
参数	TOC	BOD ₅	COD	TN	氨氮	凯氏氮	TP	磷酸盐
最大值	11.2	5.3	22	3.4	1.530	3.0	0.38	0.26
最小值	4.1	nd	9	1.6	0.204	0.8	0.10	0.03
平均值	7.8	0.6	13	2.5	0.643	1.3	0.18	0.09
中位数	8.2	—	12	2.5	0.521	1.1	0.15	0.06
标准差	2.0	1.5	3	0.5	0.340	0.6	0.08	0.07
差异系数/%	26	257	26	21	53	47	46	79

底泥和水体中 TOC、TN 和 TP 总量的空间分布如图 4 所示,相对古城区域内河道,环城河沿程碳氮磷类污染物总量更高.苏州古城区域河道底泥和水中碳氮磷类污染物沿程平均负荷量的计算结果见表 4,环城河碳氮磷类污染物平均负荷量最高,其次为古城区域北部和干将河,古城区域南部河道碳氮磷类污染物的平均负荷量最小,水环境综合治理推荐顺序为:环城河、古城区域北部、干将河和古城区域南部.

表 4 苏州古城区域河道底泥和水中碳氮磷类污染物的平均负荷量/t·km⁻¹

Table 4 Average loads of carbon, nitrogen, and phosphorus in the sediments and waters of the ancient town rivers of Suzhou/t·km ⁻¹						
区域	底泥			水		
	TOC	TN	TP	TOC	TN	TP
环城河	1 667.7	49.7	31.6	1.2	0.41	0.025
古城区域北部	36.2	2.0	3.8	0.3	0.08	0.006
干将河	14.1	0.9	1.2	0.2	0.06	0.005
古城区域南部	8.7	0.7	0.5	0.2	0.06	0.005

2.2.4 底泥和水体中碳氮磷污染物相关性分析

底泥和水体中碳氮磷类污染物含量的相关性分析(表 5)可以反映碳氮磷类污染物在两种介质中的分配关系.底泥 TOC 含量与底泥 TN、氨氮显著正相关,且分布规律相似,说明底泥碳氮类污染物同源,以内源输入为主,可能是过去长期外源输入使底泥

表 5 苏州古城区域底泥和水中碳氮磷类污染物含量相关性分析¹⁾

Table 5 Correlation analysis for the concentrations of carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants in the sediments and waters of the ancient town rivers of Suzhou															
参数	深度	底泥					水体								
		TOC	TN	氨氮	TP	有效磷	TOC	BOD ₅	COD	TN	氨氮	凯氏氮	TP	磷酸盐	
底泥	深度	1													
	TOC	0.385	1												
	TN	-0.165	0.692 *	1											
	氨氮	0.154	0.584 *	0.557 *	1										
	TP	-0.541 *	-0.015	0.275	0.116	1									
	有效磷	-0.564 *	0.090	0.481 *	0.150	0.572 *	1								
水体	TOC	-0.430	0.079	0.397	-0.023	0.472 *	0.602 *	1							
	BOD ₅	-0.158	0.149	0.360	0.247	0.495 *	0.215	0.399	1						
	COD	0.031	0.243	-0.011	0.336	0.279	-0.060	-0.003	0.312	1					
	TN	-0.185	0.076	0.331	-0.136	0.432	0.494 *	0.668 *	0.434	-0.021	1				
	氨氮	-0.249	0.315	0.595 *	0.350	0.424	0.446 *	0.668 *	0.596 *	0.073	0.790 *	1			
	凯氏氮	0.193	-0.035	0.028	-0.209	-0.195	0.111	0.068	0.317	-0.070	0.361	0.265	1		
	TP	-0.410	0.159	0.452 *	0.115	0.294	0.400	0.604 *	0.421	0.108	0.617 *	0.888 *	0.156	1	
	磷酸盐	-0.267	0.320	0.589 *	0.157	0.317	0.447 *	0.560 *	0.488 *	0.090	0.632 *	0.898 *	0.225	0.915 *	1

1) * 表示在置信度 <0.05 时,相关性显著

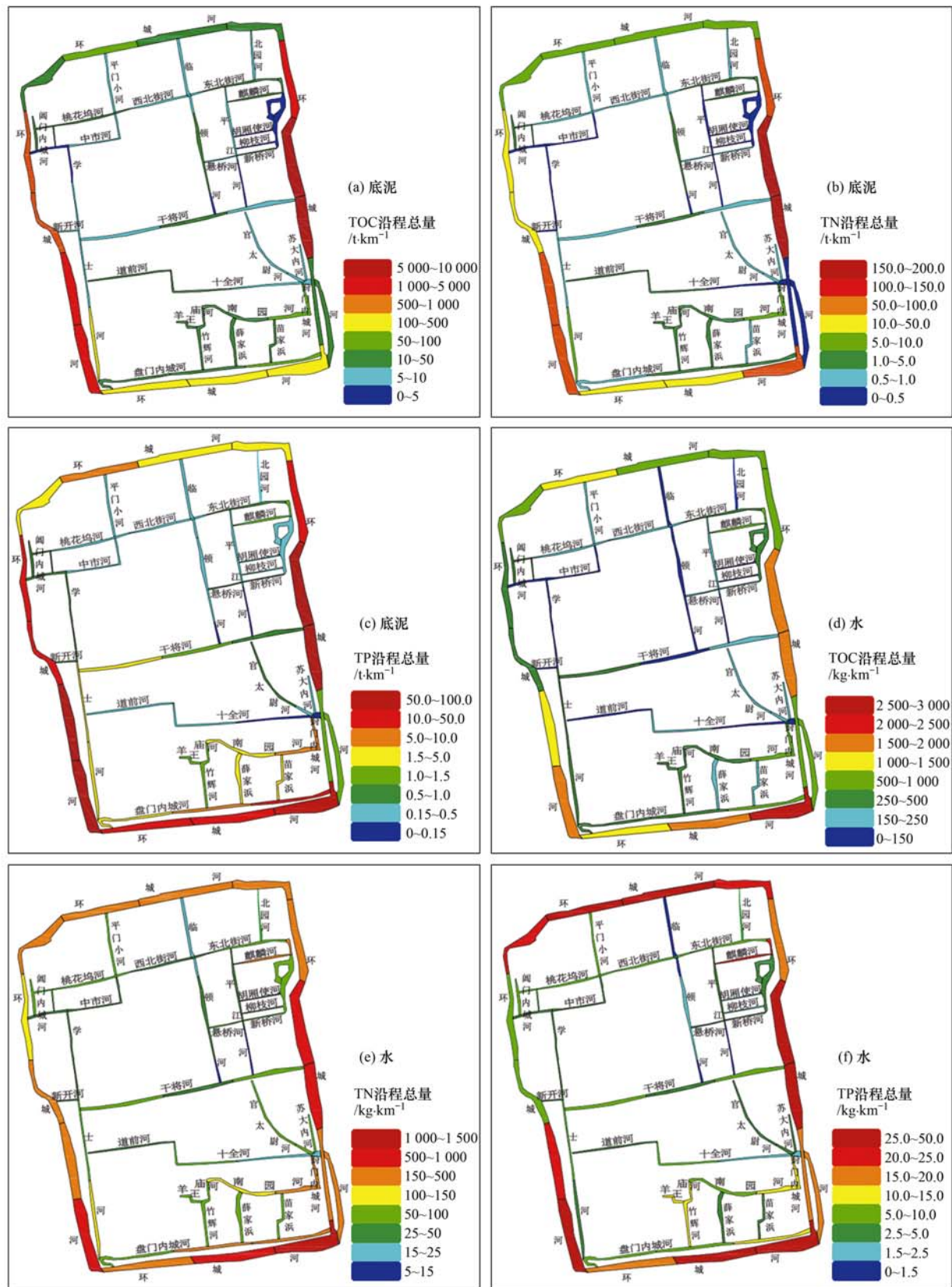


图4 苏州古城区域河道底泥和水中碳氮磷类污染物的沿程总量分布

Fig. 4 Distribution of total carbon, nitrogen, and phosphorus bearing pollutants of the sediments and waters of the ancient town rivers of Suzhou

积累的污染物较多所致. 底泥 TN 含量和氨氮呈显著正相关, 底泥氨氮占比很低, 可能淤积底泥的有机碎屑中有机氮含量较高. 底泥 TP 含量和有效磷也

呈显著正相关, 但与底泥深度呈显著负相关, 说明表层底泥含磷污染物可能以外源输入为主, 表层底泥可能是含磷污染物的“汇”.

水体 TOC 浓度与水体中氮磷类污染物呈显著正相关,说明有机物直接影响氮磷类污染物的吸附解吸过程^[38],且水体中碳氮磷类污染物同源. 水体 TN 浓度和氨氮呈显著正相关,水体 TP 浓度和磷酸盐也呈显著正相关.

底泥 TP 含量与水体 BOD₅ 和 COD 呈显著正相关,底泥有效磷与水体 TOC、TN、氨氮和磷酸盐也呈显著正相关,且底泥含磷类污染物与水中碳氮磷类污染物分布规律相似,表明底泥和水中含磷类污染物同源,以外源输入为主.

2.3 底泥污染和水质状况评价

底泥内梅罗污染指数评价结果显示[图 5(a)],苏州古城区域河道底泥相对于加拿大安全略

省环境和能源部(1992 年)制定的环境质量评价指南标准中安全级的营养水平^[31],内梅罗污染指数介于 0.3~2.6 之间,没有点处于重污染状态,70% 采样点处于轻度污染和重度污染,15% 的点处在尚清洁的警戒状态,亟待治理.

水质综合污染指数评价结果显示[图 5(b)],苏州古城区域河道水质相对于地表水Ⅲ类水质标准(GB 3838-2002),综合污染指数介于 0.7~1.8 之间,所有采样点均处于污染状态,甚至 50% 处于重度污染,说明苏州古城区域河道水质污染普遍严重. 相比于 2013 年苏州古城区域水质标准被确定为地表水Ⅳ类水标准^[26],水质进一步恶化.

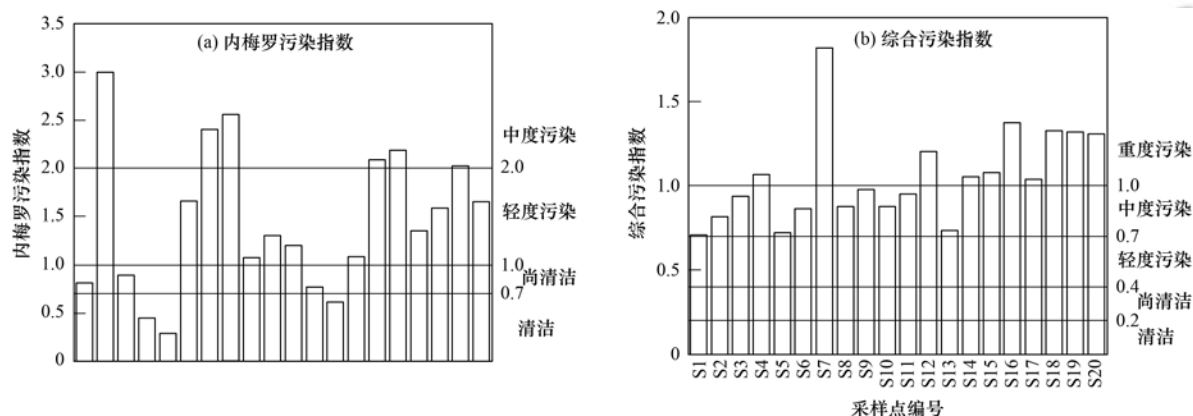


图5 苏州古城区域河道污染等级评价结果

Fig. 5 Evaluation results of pollutants in the ancient town rivers of Suzhou

2.4 不同情境下底泥氮磷的释放预测

各河段底泥-水的氮磷分配系数见图 6(a). 模拟不同情境下,底泥 TN 和 TP 向水体中的释放情况,原苏州古城区域河道水体 TN 浓度为 1.6~3.4 mg·L⁻¹,TP 浓度 0.10~0.38 mg·L⁻¹. 情景①模拟将苏州古城区域河道全部置换成地表水Ⅲ类水(TN = 1.0 mg·L⁻¹和 TP = 0.2 mg·L⁻¹),可以短时间改变水质,经过长时间底泥释放污染物后,TN 和 TP 浓度降低,但仍处于地表水Ⅴ类水质标准[泥水平衡状态时水质状况如图 6(b)所示]. 情景②模拟将长江水引入苏州古城区域河道(以长江水置换苏州古城区域河水的一半,长江水 TN = 1.6 mg·L⁻¹和 TP = 0.10 mg·L⁻¹^[55]),计算泥水平衡后水体污染物浓度发现[图 6(b)],在河道水量不变,流速依然缓慢的条件下,引水对河道水质的改善效果不明显. 情景③模拟降雨时,降雨径流与苏州古城区域河水混合(以初期径流置换苏州古城区域河水的一半),由于苏州城区降雨径流的污染物浓度高(TN = 3 mg·L⁻¹和 TP = 1 mg·L⁻¹^[56]),会导致降雨后河道水质急剧恶化,TN 浓度范围为 1.73~3.46 mg·L⁻¹,

TP 浓度仍为 0.10~0.38 mg·L⁻¹. 当降雨初期河道水体污染物浓度突然增加时,底泥作为“汇”会适当接纳部分污染物,具有一定环境容量. 在不同情境下预测的苏州古城区域河道水质情况,与采样水质相比,TN 浓度稍有起伏,TP 几乎不变.

根据苏州古城区域河道碳氮磷类污染物的平均负荷量,设计底泥疏浚顺序为环城河、古城北部河道、干将河、古城南部河道,假定各河段依次彻底疏浚. 相比原河道,换水情境水体 TN 总量减少 0.2 t,TP 总量增加 0.1 t,按照上述顺序疏浚后,水体 TN 总量分别减少 3.21、4.14、4.23 和 4.78 t,TP 总量分别增加 0.24、0.24、0.24 和 0.26 t[图 6(c)]. 相比原河道,引水情景水体 TN 总量减少 0.1 t,TP 总量减少 0.01 t,按顺序疏浚后,水体 TN 总量分别减少 1.6、2.07、5.12 和 2.39 t,TP 总量分别增加 0.11、0.11、0.11 和 0.10 t[图 6(d)]. 底泥氮以内源污染为主,故疏浚会大幅度降低水环境中的 TN 总量;然而底泥磷以外源输入为主,在泥水体系中起接纳作用,故疏浚后,水环境中的 TP 总量增加.

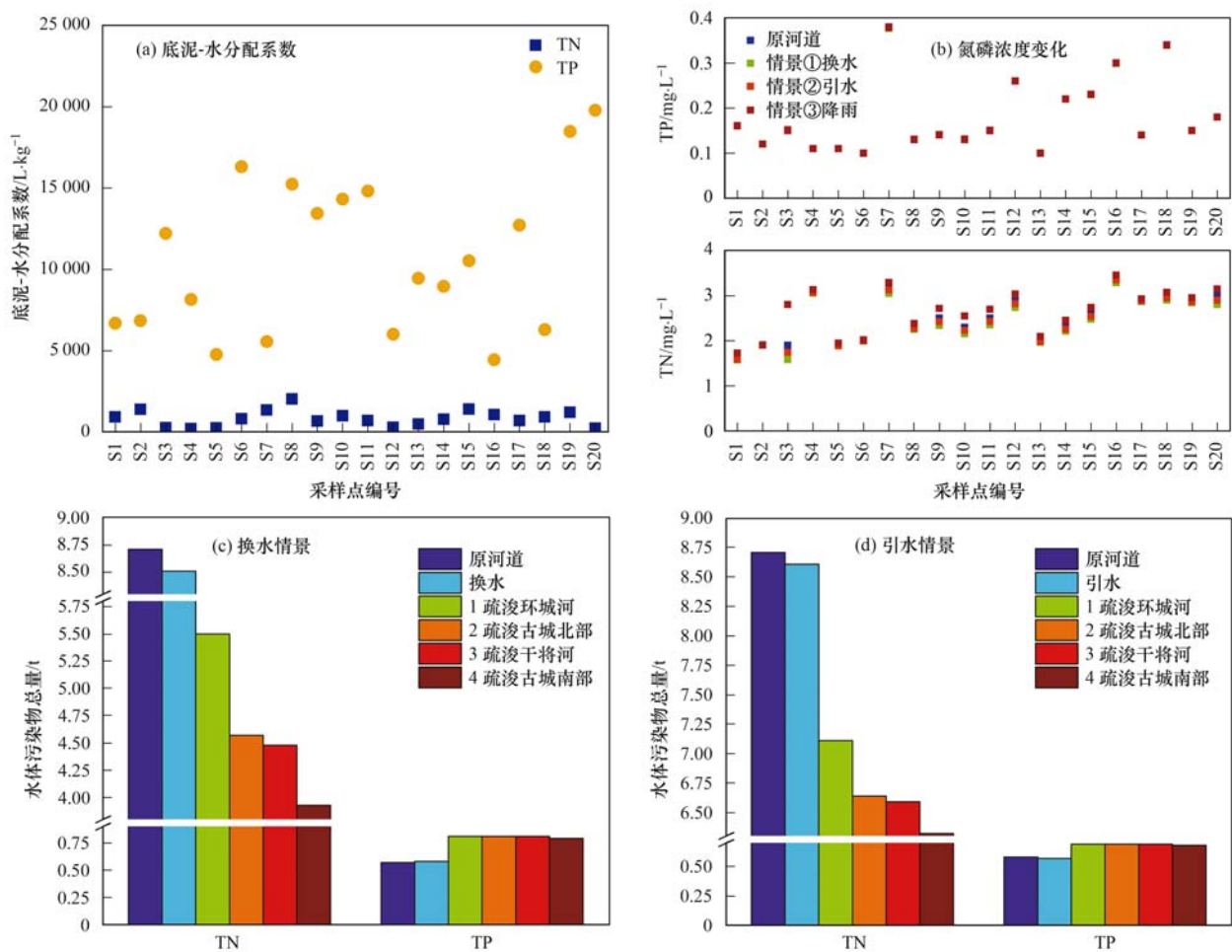


图6 不同情境下苏州古城区水质特征

Fig. 6 Water parameters for the ancient town rivers of Suzhou under different scenarios

3 结论

(1) 苏州古城区河道底泥 TOC、TN 和氨氮的平均含量分别为 3.4%、 $2\,074\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $140.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 以内源输入为主. TP 和有效磷的平均含量为 $1\,765\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $57.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 以外源输入为主. 根据内梅罗污染指数评价法, 70% 采样点的底泥属轻度污染和中度污染.

(2) 苏州古城区河道属地表水劣 V 类水质, TN 为主要污染物. 水体 TOC、 BOD_5 、COD、TN、氨氮、凯氏氮、TP 和磷酸盐的平均浓度分别为 7.8、0.6、13.1、2.5、0.643、1.3、0.18 和 $0.09\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 水中含磷污染物浓度分布规律与底泥磷相似, 且呈正相关, 说明具有相同的排放源且均为外源输入. 根据综合污染指数评价法, 50% 采样点的水体属重度污染.

(3) 苏州古城区河道底泥总量约为 $5.2 \times 10^5\text{ t}$, 沿程平均约 $1.1 \times 10^4\text{ t}\cdot\text{km}^{-1}$. 底泥 TOC、TN、氨氮、TP 和有效磷的总量分别约为 25 706、791、90、531 和 17 t; 水中 TOC、 BOD_5 、COD、TN、氨氮、凯氏氮、TP 和磷酸盐的总量分别约为 26.1、1.9、

52.9、8.7、1.9、5.6、0.6 和 0.2 t. 结合苏州古城区河道碳氮磷类污染物的平均负荷量, 推荐疏浚顺序为: 环城河、古城北部河道、干将河、古城南部河道.

(4) 降雨径流会使水质显著恶化, 换水和引水情境下水中 TN 总量均减少 0.2 t, 完全疏浚后水中 TN 总量分别进一步减少 4.58 和 2.19 t. 底泥磷以外源输入为主, 可接纳部分水体中的磷, 故疏浚后, 水体中的 TP 总量可能增加.

参考文献:

- [1] 张家泉, 胡天鹏, 邢新丽, 等. 大冶湖表层沉积物-水中多环芳烃的分布、来源及风险评价[J]. 环境科学, 2017, **38**(1): 170-179.
Zhang J Q, Hu T P, Xing X L, *et al.* Distribution, sources and risk assessment of the PAHs in the surface sediments and water from the Daye Lake[J]. Environmental Science, 2017, **38**(1): 170-179.
- [2] Carreira R S, Wagener A L R, Readman J W, *et al.* Changes in the sedimentary organic carbon pool of a fertilized tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach[J]. Marine Chemistry, 2002, **79**(3-4): 207-227.
- [3] Hupfer M, Lewandowski J. Retention and early diagenetic transformation of phosphorus in Lake Arendsee (Germany)-

- consequences for management strategies [J]. *Archiv Für Hydrobiologie*, 2005, **164**(2): 143-167.
- [4] Carpenter S R, Caraco N F, Correll D L, *et al.* Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen [J]. *Ecological Applications*, 1998, **8**(3): 559-568.
- [5] Liu S M, Zhang J, Chen H T, *et al.* Nutrients in the Changjiang and its tributaries [J]. *Biogeochemistry*, 2003, **62**(1): 1-18.
- [6] Bowes M J, Hilton J, Irons G P, *et al.* The relative contribution of sewage and diffuse phosphorus sources in the River Avon catchment, southern England: implications for nutrient management [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **344**(1-3): 67-81.
- [7] Furumai H, Kondo T, Ohgaki S. Phosphorus exchange kinetics and exchangeable phosphorus forms in sediments [J]. *Water Research*, 1989, **23**(6): 685-691.
- [8] Wang S R, Jin X C, Zhao H C, *et al.* Phosphorus fractions and its release in the sediments from the shallow lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River area in China [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2006, **273**(1-3): 109-116.
- [9] Wetzel R G. *Limnology: lake and river ecosystems* (3rd ed.) [M]. San Diego: Academic Press, 2001.
- [10] 胡昕怡, 高冰丽, 陈坦, 等. 截污调水后滇池表层沉积物中 16 种 PAHs 的分布特征 [J]. *环境科学*, 2019, **40**(8): 3501-3508.
- [11] Hu X Y, Gao B L, Chen T, *et al.* Distribution of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in Dianchi Lake surface sediments after the integrated water environment control project [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(8): 3501-3508.
- [11] 张嘉雯, 魏健, 刘利, 等. 衡水湖沉积物营养盐形态分布特征及污染评价 [J]. *环境科学*, 2020, **41**(12): 5389-5399.
- [11] Zhang J W, Wei J, Liu L, *et al.* Distribution characteristics and pollution assessment of nutrients in sediments of Hengshui Lake [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(12): 5389-5399.
- [12] Kim L H, Choi E, Stenstrom M K. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments [J]. *Chemosphere*, 2003, **50**(1): 53-61.
- [13] Gonsiorczyk T, Casper P, Koschel R. Phosphorus-binding forms in the sediment of an oligotrophic and an eutrophic hardwater lake of the Baltic Lake District (Germany) [J]. *Water Science and Technology*, 1998, **37**(3): 51-58.
- [14] Havens K E, Fukushima T, Xie P, *et al.* Nutrient dynamics and the eutrophication of shallow lakes Kasumigaura (Japan), Donghu (PR China), and Okeechobee (USA) [J]. *Environmental Pollution*, 2001, **111**(2): 263-272.
- [15] Kaiserli A, Voutsas D, Samara C. Phosphorus fractionation in lake sediments-Lakes Volvi and Koronia, N. Greece [J]. *Chemosphere*, 2002, **46**(8): 1147-1155.
- [16] 李运奔, 匡帅, 王臻宇, 等. 东巢湖沉积物水界面氮、磷、氧迁移特征及意义 [J]. *湖泊科学*, 2020, **32**(3): 688-700.
- [16] Li Y B, Kuang S, Wang Z Y, *et al.* Characteristics and significance of nitrogen, phosphorus and oxygen transportation at the sediment-water interface in east Lake Chaohu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(3): 688-700.
- [17] 施玉珍, 陈树鸿, 赵辉, 等. 珠江口海域沉积物-水界面营养盐释放特征研究 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2020, **39**(3): 517-524.
- [17] Shi Y Z, Chen S H, Zhao H, *et al.* Release characteristics of nutrients at the sediment-water interface of the Pearl River Estuary [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2020, **39**(3): 517-524.
- [18] 曾丹娜, 牛丽霞, 陶伟, 等. 夏季珠江口水域营养盐分布特征及其富营养化评价 [J]. *广东海洋大学学报*, 2020, **40**(3): 73-82.
- [18] Zeng D N, Niu L X, Tao W, *et al.* Nutrient dynamics in Pearl River estuary and their eutrophication evaluation [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2020, **40**(3): 73-82.
- [19] Gershenfeld N, Krikorian R, Cohen D. The internet of things [J]. *Scientific American*, 2004, **291**(4): 76-81.
- [20] 廖铁鹏, 周钰林, 范子武, 等. 夏季引流条件下苏州古城区域河网水质变化研究 [J]. *水利水电工程学报*, 2019, (5): 18-26.
- [20] Liao Y P, Zhou Y L, Fan Z W, *et al.* Study on water quality changes of river work in Suzhou ancient city under summer drainage conditions [J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2019, (5): 18-26.
- [21] 宋厚燃, 马利民, 闵真真. 梁滩河沉积物中氮磷垂直分布研究 [J]. *环境污染与防治*, 2012, **34**(6): 42-45, 50.
- [21] Song H R, Ma L M, Min Z Z. Study on the vertical distribution of nitrogen and phosphorus in the sediments of Liangtanhe River [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2012, **34**(6): 42-45, 50.
- [22] 刘欢, 孔维苇, 王晓锋, 等. 重庆梁滩河表层沉积物氮形态时空特征及影响因素 [J]. *水土保持学报*, 2019, **33**(6): 332-341.
- [22] Liu H, Kong W W, Wang X F, *et al.* Temporal and spatial characteristics and influencing factors of nitrogen morphology in surface sediments of Liangtan River, Chongqing [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, **33**(6): 332-341.
- [23] 官剑颖. 苏州水资源可持续利用初探 [J]. *水利建设与管理*, 2010, **30**(5): 76-77.
- [24] 季永兴, 刘水芹. 苏州河水环境治理 20 年回顾与展望 [J]. *水资源保护*, 2020, **36**(1): 25-30, 51.
- [24] Ji Y X, Liu S Q. Review and prospect of Suzhou Creek water environment treatment in 20 years [J]. *Water Resources Protection*, 2020, **36**(1): 25-30, 51.
- [25] 李义禄, 张玉虎, 贾海峰, 等. 苏州古城水体污染时空异特征及污染源解析 [J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(4): 1032-1044.
- [25] Li Y L, Zhang Y H, Jia H F, *et al.* Spatio-temporal characteristics and source identification of water pollutants in ancient town of Suzhou [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(4): 1032-1044.
- [26] 付江波, 赵文信, 胡红勇, 等. 苏州市古城河道水质时空变化分析与评价 [J]. *水利科技与经济*, 2019, **25**(2): 22-27.
- [26] Fu J B, Zhao W X, Hu H Y, *et al.* Spatiotemporal variation and assessment of water quality in rivers of Suzhou ancient city [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2019, **25**(2): 22-27.
- [27] 李淮, 吴玮, 田永静, 等. 苏州市古城降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 [J]. *环境科学*, 2016, **37**(2): 565-572.
- [27] Li H, Wu W, Tian Y J, *et al.* Particle size distribution and pollutant speciation analyses of stormwater runoff in the ancient town of Suzhou [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(2): 565-572.
- [28] 王旭婷, 吴玮, 李淮. 苏州古城各功能区路面降雨径流分析 [J]. *江苏水利*, 2019, (7): 9-14.
- [28] Wang X T, Wu W, Li H. Analysis of pavement rainfall runoff in various functional areas of Suzhou Ancient City [J]. *Jiangsu Water Resources*, 2019, (7): 9-14.

- [29] 石莎, 范子武, 乌景秀. 苏州古城区水系演变规律及水动力改善研究[J]. 人民长江, 2017, **48**(9): 20-24.
Shi S, Fan Z W, Wu J X. Study on structure and evolution of river network in Suzhou ancient city[J]. Yangtze River, 2017, **48**(9): 20-24.
- [30] HJ/T 166-2004, 土壤环境监测技术规范[S].
HJ/T 166-2004, Technical specification for soil environmental monitoring[S].
- [31] Calmano W, Forstner U. Sediment and toxic substances: environmental effects and ecotoxicity [M]. Berlin: Springer, 1995.
- [32] 彭文启, 张祥伟. 现代水环境质量评价理论与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [33] 国务院. 水污染防治行动计划[Z]. 2015-04-02.
- [34] 江苏省人民政府. 江苏省水污染防治工作方案[Z]. 2015-12-28.
- [35] 蓝家程, 孙玉川, 肖时珍. 多环芳烃在岩溶地下河表层沉积物-水相的分配[J]. 环境科学, 2015, **36**(11): 4081-4087.
Lan J C, Sun Y C, Xiao S Z. Water-sediment partition of polycyclic aromatic hydrocarbons in karst underground river[J]. Environmental Science, 2015, **36**(11): 4081-4087.
- [36] 霍文毅, 陈静生. 我国部分河流重金属水-固分配系数及在河流质量基准研究中的应用[J]. 环境科学, 1997, **18**(4): 10-13.
Huo W Y, Chen J S. Water-solid distribution coefficient of heavy metals in some rivers in China and its application in the study of river quality datum[J]. Environmental Science, 1997, **18**(4): 10-13.
- [37] Wu T F, Qin B Q, Brookes J D, *et al.* Spatial distribution of sediment nitrogen and phosphorus in Lake Taihu from a hydrodynamics-induced transport perspective[J]. Science of the Total Environment, 2019, **650**: 1554-1565.
- [38] 赵力, 蒋慧, 董艳, 等. 南通市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.
- [39] 范成新, 杨龙元, 张路. 太湖底泥及其间隙水中氮磷垂直分布及相互关系分析[J]. 湖泊科学, 2000, **12**(4): 359-366.
Fan C X, Yang L Y, Zhang L. The vertical distributions of nitrogen and phosphorus in the sediment and interstitial water in Taihu Lake and their interrelations [J]. Journal of Lake Sciences, 2000, **12**(4): 359-366.
- [40] 郜志云, 赵翠平, 孙运海, 等. 邳海表层沉积物营养盐分布特征及污染评价[J]. 环境污染与防治, 2016, **38**(5): 95-99, 104.
Gao Z Y, Zhao C P, Sun Y H, *et al.* Distribution characteristics and pollution assessment on nutrient elements of surface sediment in Qionghai Lake [J]. Environmental Pollution and Control, 2016, **38**(5): 95-99, 104.
- [41] 张晓娇. 北运河底泥污染特征及内源污染控制技术研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2018.
Zhang X J. The characteristics of pollutants in sediment and the research of in-situ controlling in Beiyun River, China [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2018.
- [42] 卢少勇, 焦伟, 王强, 等. 环太湖河流水质时空分布特征[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(11): 1220-1225.
Lu S Y, Jiao W, Wang Q, *et al.* Spatial-temporal distribution characteristics of water quality of rivers around Taihu Lake[J]. Research of Environmental Sciences, 2011, **24**(11): 1220-1225.
- [43] 王佩, 卢少勇, 王殿武, 等. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(4): 703-709.
Wang P, Lu S Y, Wang D W, *et al.* Nitrogen, phosphorous and organic matter spatial distribution characteristics and their pollution status evaluation of sediments nutrients in lakeside zones of Taihu Lake[J]. China Environmental Science, 2012, **32**(4): 703-709.
- [44] 张亚楠, 马启敏, 岳宗恺, 等. 东昌湖表层沉积物中氮的赋存形态[J]. 环境化学, 2013, **32**(3): 459-465.
Zhang Y N, Ma Q M, Yue Z K, *et al.* Study of nitrogen forms in the sediments from Dongchang Lake [J]. Environmental Chemistry, 2013, **32**(3): 459-465.
- [45] 金鑫, 单保庆, 李思敏, 等. 北方典型干旱缺水型河流氮磷时空分布特征与富营养化评价[J]. 环境工程学报, 2016, **10**(7): 3538-3544.
Jin X, Shan B Q, Li S M, *et al.* Temporal and spatial variation of nitrogen and phosphorus and eutrophication assessment in typical arid river in northern China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, **10**(7): 3538-3544.
- [46] SanClements M D, Fernandez I J, Norton S A. Soil and sediment phosphorus fractions in a forested watershed at Acadia National Park, ME, USA [J]. Forest Ecology and Management, 2009, **258**(10): 2318-2325.
- [47] 丁瑶, 欧阳莉莉, 石清, 等. 特大城市河流表层沉积物磷形态分布及有效性: 以成都市为例[J]. 环境科学, 2019, **40**(1): 219-227.
Ding Y, Ouyang L L, Shi Q, *et al.* Distribution and bioavailability of phosphorus in surface sediments in megalopolis: a case study of Chengdu [J]. Environmental Science, 2019, **40**(1): 219-227.
- [48] 周健民, 沈仁芳. 土壤学大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Zhou J M, Shen R F. Dictionary of soil science [M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [49] Giblin A E, Hopkinson C S, Tucker J. Benthic metabolism and nutrient cycling in Boston Harbor, Massachusetts [J]. Estuaries, 1997, **20**(2): 346-364.
- [50] 苗慧, 沈峥, 蒋豫, 等. 巢湖表层沉积物氮、磷、有机质的分布及污染评价[J]. 生态环境学报, 2017, **26**(12): 2120-2125.
Miao H, Shen Z, Jiang Y, *et al.* Distribution characteristics and pollution assessment of nitrogen, phosphorus and organic matter in surface sediments of Chaohu Lake [J]. Ecology and Environment Sciences, 2017, **26**(12): 2120-2125.
- [51] Ni Z K, Wang S R, Wu Y, *et al.* Response of phosphorus fractionation in lake sediments to anthropogenic activities in China [J]. Science of the Total Environment, 2020, **699**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134242.
- [52] 姜伟, 黄明. 苏州市城区河道黑臭成因分析及对策研究[J]. 中国水运, 2012, **12**(10): 123-124.
- [53] 王艳平, 徐伟伟, 胡维平. 巢湖沉积物氮磷分布及污染评价[J]. 环境科学, 2021, **42**(2): 699-711.
Wang Y P, Xu W W, Hu W P. Distribution of nitrogen and phosphorus in Lake Chaohu sediments and pollution evaluation [J]. Environmental Science, 2021, **42**(2): 699-711.
- [54] 郭赞, 黄晓峰, 李海妮, 等. 城市河道环保疏浚与水利疏浚效果研究——以无锡市梁塘河薛家浜为例[J]. 环境工程技
术学报, 2020, **10**(3): 400-405.

- Guo Y, Huang X F, Li H N, *et al.* Study on the effect of urban river environmental dredging and hydraulic dredging; taking Xuejiabang, Liangtang River of Wuxi as an example[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2020, **10**(3): 400-405.
- [55] 彭福利, 何立环, 于洋, 等. 三峡库区长江干流及主要支流氮磷叶绿素变化趋势[J]. *中国科学: 技术科学*, 2017, **47**(8): 845-855.
- Peng F L, He L H, Yu Y, *et al.* Studies on the total nitrogen, total phosphorus and chlorophyll a variations in the mainstream and main tributaries of the Yangtze River before and after the impoundment in the Three Gorges Project area[J]. *Scientia Sinica Technologica*, 2017, **47**(8): 845-855.
- [56] 吴蓓, 汪翊, 黄玮, 等. 苏州城区不同功能区地表径流污染特征[J]. *水资源保护*, 2007, **23**(2): 57-59, 63.
- Wu B, Wang H, Huang W, *et al.* Contamination characteristics of surface runoff in different functional districts of Suzhou City[J]. *Water Resources Protection*, 2007, **23**(2): 57-59, 63.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2020 年 12 月 29 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单. 《环境科学》连续 19 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号. “百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.



CONTENTS

Industrial Emission Characteristics and Control Countermeasures of VOCs in Chinese Rapid Economic Development Areas	MENG Bo-wen, LI Yong-bo, MENG Jing, <i>et al.</i>	(1023)
VOCs Emission Inventory and Variation Characteristics of Artificial Sources in Hubei Province in the Yangtze River Economic Belt	DAI Ling-wen, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1039)
Sources and Distribution Characteristics of HCBd in Rapid Economic Development Areas	TAO Yu-ming, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1053)
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil of China (2000-2020): Temporal and Spatial Distribution, Influencing Factors	MA Yan, CHENG Lu, RUAN Zi-yuan, <i>et al.</i>	(1065)
Relationships Between Microplastic and Surrounding Soil in an E-Waste Zone of China	CHAI Bing-wen, YIN Hua, WEI Qiang, <i>et al.</i>	(1073)
Analysis of the Spatial Distribution of Heavy Metals in Soil from a Coking Plant and Its Driving Factors	GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, ZENG Wei-bin, <i>et al.</i>	(1081)
Source Apportionment and Spatial Distribution Simulation of Heavy Metals in a Typical Petrochemical Industrial City	SUN Xue-fei, ZHANG Li-xia, DONG Yu-long, <i>et al.</i>	(1093)
Heavy Metal Contents of Soil and Surface Dust and Its Ecological Risk Analysis in a Multifunctional Industrial Park	ZENG Wei-bin, GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1105)
Geochemical Patterns and Source Analysis of Soil Heavy Metals in an Iron and Manganese Ore Area of Longyan City	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi, <i>et al.</i>	(1114)
Application Case of Accurate Site Investigation with Life-Cycle Conceptual Site Model Development	LI Pei-zhong, WU Nai-jin, WANG Hai-jian, <i>et al.</i>	(1123)
Levels and Risk Assessment of Short and Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soil from Paper Mill Area	ZHANG Pei-xuan, GAO Li-rong, SONG Shi-jie, <i>et al.</i>	(1131)
Characterization and Health Risks of PCDD/Fs, PCBs, and PCNs in the Soil Around a Typical Secondary Copper Smelter	HU Ji-cheng, WU Jing, XU Chen-yang, <i>et al.</i>	(1141)
Effect of Citric Acid and Phosphorus Coexistence on Cadmium Adsorption by Soil	SONG Zi-teng, ZUO Ji-chao, HU Hong-qing, <i>et al.</i>	(1152)
Uptake and Accumulation of Cadmium and Zinc by Two Energy Grasses: A Field Experiment	ZHENG Rui-lun, SHI Dong, LIU Wen-ju, <i>et al.</i>	(1158)
Bioaccumulation and Translocation Characteristics of Heavy Metals in a Soil-Maize System in Reclaimed Land and Surrounding Areas of Typical Vanadium-Titanium Magnetite Tailings	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, SUN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1166)
Cd Accumulation Characteristics in Different Populations of <i>Hylotelephium spectabile</i> Under Salt Stress	GUO Jun-mei, YANG Jun-xing, YANG Jun, <i>et al.</i>	(1177)
Effect of Water Regimes on Pb and Cd Immobilization by Biochar in Contaminated Paddy Soil	TANG Jia-qing, ZHANG Xu, HUANG Guo-yong, <i>et al.</i>	(1185)
Effects of Chitosan-modified Biochar on Formation of Methylmercury in Paddy Soils and Its Accumulation in Rice	YANG Xue-ling, WANG Ming-xing, XU Guo-min, <i>et al.</i>	(1191)
Effects of Chromium Pollution on Soil Bacterial Community Structure and Assembly Processes	YU Hao, AN Yi-jun, JIN De-cai, <i>et al.</i>	(1197)
Analysis of Changes and Factors Influencing Air Pollutants in the Beijing-Tianjin-Hebei Region During the COVID-19 Pandemic	ZHAO Xue, SHEN Nan-chi, LI Ling-jun, <i>et al.</i>	(1205)
Impact of Pollutant Emission Reduction on Air Quality During the COVID-19 Pandemic Control in Early 2020 Based on RAMS-CMAQ	LIU Hou-feng, XU Wei, WEI Min, <i>et al.</i>	(1215)
Light-absorbing Properties and Sources of PM _{2.5} Organic Components at a Suburban Site in Northern Nanjing	SHANG Yue, YU Huan, MAO Yu-hao, <i>et al.</i>	(1228)
Pollution Characteristics and Chromophore Types of Brown Carbon in Xi'an	CHEN Qian, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i>	(1236)
Source and Health Risk Assessment of PM _{2.5} -Bound Metallic Elements in Road Dust in Zibo City	GUO Qing-yuan, BAI Wen-yu, ZHAO Xue-yun, <i>et al.</i>	(1245)
Health Benefit Assessment of PM _{2.5} Pollution Control in Beijing	DU Pei, WANG Jian-zhou, <i>et al.</i>	(1255)
Seasonal Characteristics of Air Pollutant Sources and Transport Pathways in Xining City	LIU Na, YU Ye, MA Xue-qian, <i>et al.</i>	(1268)
Concentrations and Patterns of Atmospheric Particulate Nitrogen and Phosphorus During Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	YUAN Gang, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i>	(1280)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Using Mobile Monitoring Around the Industrial Parks in the Yangtze River Delta Region of China	WANG Hong-li, GAO Ya-qin, JING Sheng-ao, <i>et al.</i>	(1298)
Characteristics and Cause Analysis of Heavy Air Pollution in a Mountainous City During Winter	LIU Zhuo-cheng, NIU Yue-yuan, WU Jing, <i>et al.</i>	(1306)
Gridded Emission Inventories of Major Criteria Air Pollutants and Source Contributions in Lan-Bai Metropolitan Area, Northwest China	WANG Wen-peng, WANG Zhan-xiang, LI Ji-xiang, <i>et al.</i>	(1315)
VOCs Removal and Emission Monitoring of Beijing Bulk Gasoline Terminals in 2012-2019	HUA Lan-ying, CUI Tong, LI Jin-xiang, <i>et al.</i>	(1328)
Emission Inventory of Air pollutants for the Harmless Treatment of Municipal Solid Waste	MA Zhan-yun, JIANG Yu-cong, REN Jia-xue, <i>et al.</i>	(1333)
Response of Bacteriophage Polymers to Hypoxic Conditions in the Surface Sediments of the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas	YIN Mei-ling, DUAN Li-qin, SONG Jin-ming, <i>et al.</i>	(1343)
Human Health Risk Assessment of Phenol in Poyang Lake Basin	XU Qian-yun, AI Shun-hao, GAO Xiang-yun, <i>et al.</i>	(1354)
Spatial-Temporal Variation of Water Environment Quality and Pollution Source Analysis in Hengshui Lake	LIU Wei-wei, GUO Zi-liang, WANG Da-an, <i>et al.</i>	(1361)
Composition and Distribution Characteristics of Microplastics in Danjiangkou Reservoir and Its Tributaries	PAN Xiong, LIN Li, ZHANG Sheng, <i>et al.</i>	(1372)
Temporal and Spatial Evolution of Storm Runoff and Water Quality Assessment in Jinpen Reservoir	HUANG Cheng, HUANG Ting-lin, LI Yang, <i>et al.</i>	(1380)
Influence of Storm Runoff on the Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in a Drinking Water Reservoir During the Flood Season	LI Cheng-yao, HUANG Ting-lin, WEN Cheng-cheng, <i>et al.</i>	(1391)
Distribution Characteristics of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Bearing Pollutants in the Ancient Town Rivers of Suzhou	BAI Dong-rui, ZHANG Tao, CHEN Tan, <i>et al.</i>	(1403)
Chemical Characteristics and Causes of Groups Water in Niangziguan Spring	TANG Chun-lei, ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, <i>et al.</i>	(1416)
Adsorption Behavior of Phosphate by CaO ₂ Remolded Sediment	XU Chu-tian, LI Da-peng, WANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1424)
Nitrogen and Phosphorus Removal in Surface Flow Constructed Wetland Planted with <i>Myriophyllum elatinoide</i> s Treating Swine Wastewater in Subtropical Central China	WANG Li-sha, LI Xi, LI Yu-yuan, <i>et al.</i>	(1433)
Accelerated Degradation of Aqueous Recalcitrant Iodinated Contrasting Media Using a UV/SO ₃ ²⁻ Advanced Reduction Process	LIU Zi-qi, QIU Fu-guo, LAI Man-ting, <i>et al.</i>	(1443)
Degradation of Dye Rhodamine B by Solar Thermally Activated Persulfate	MA Meng, XU Lu, JIN Xin, <i>et al.</i>	(1451)
One-step Preparation of Lanthanum-Magnesium Ferrite and Its Phosphate Adsorption Capacity in Aqueous Solutions	BAI Run-ying, SONG Bo-wen, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(1461)
Pollutant Removal Efficiency of Different Units Along a Mature Landfill Leachate Treatment Process in a Membrane Biological Reactor-Nanofiltration Combined Facility	SHAO Li-ming, DENG Ying-tao, QIU Jun-jie, <i>et al.</i>	(1469)
Biological Conversion Mechanism of Sulfate Reduction Ammonium Oxidation in ANAMMOX Consortia	BI Zhen, DONG Shi-yu, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(1477)
Microbial Community Structure of Waste Water Treatment Plants in Different Seasons	HE Yun, LI Kui-xiao, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(1488)
Organ-Specific Accumulation and Toxicokinetics of Ephedrine in Adult Zebrafish (<i>Danio rerio</i>)	YIN Xing-xing, GUO Chang-sheng, DENG Yang-hui, <i>et al.</i>	(1496)
Characteristics and Evaluation of Soil Rare Earth Element Pollution in the Bayan Obo Mining Region of Inner Mongolia	WANG Zhe, ZHAO Ying-chen, LUO Yi-fei, <i>et al.</i>	(1503)
Factors Affecting the Translocation and Accumulation of Cadmium in a Soil-Crop System in a Typical Karst Area of Guangxi Province, China	MA Hong-hong, PENG Min, GUO Fei, <i>et al.</i>	(1514)
Effects of Superparamagnetic Nanomaterials on Soil Microorganisms and Enzymes in Cadmium-Contaminated Paddy Fields	FANG Dan-dan, ZHANG Li-zhi, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(1523)
Effects of Water Management and Silicon Application on Iron Plaque Formation and Uptake of Arsenic and Cadmium by Rice	CHEN Jia, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i>	(1535)
Biological Effect of Tetracycline Antibiotics on a Soil-Lettuce System and Its Migration Degradation Characteristics	WANG Wei-zhong, CHI Sun-lin, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(1545)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from the Ridges and Furrows of a Vegetable Field	XIONG Wei-xia, JIANG Chang-sheng, ZHAO Zhong-jing, <i>et al.</i>	(1559)
Effects of Biochar and Straw on Soil N ₂ O Emission from a Wheat Maize Rotation System	TANG Zhan-ming, LIU Xing-ren, ZHANG Qing-wen, <i>et al.</i>	(1569)
Overview on Habitat Monitoring Methods Under Watershed Ecological Space Management	YIN Kun, LIU Hai-jiang, WANG Guang, <i>et al.</i>	(1581)