

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

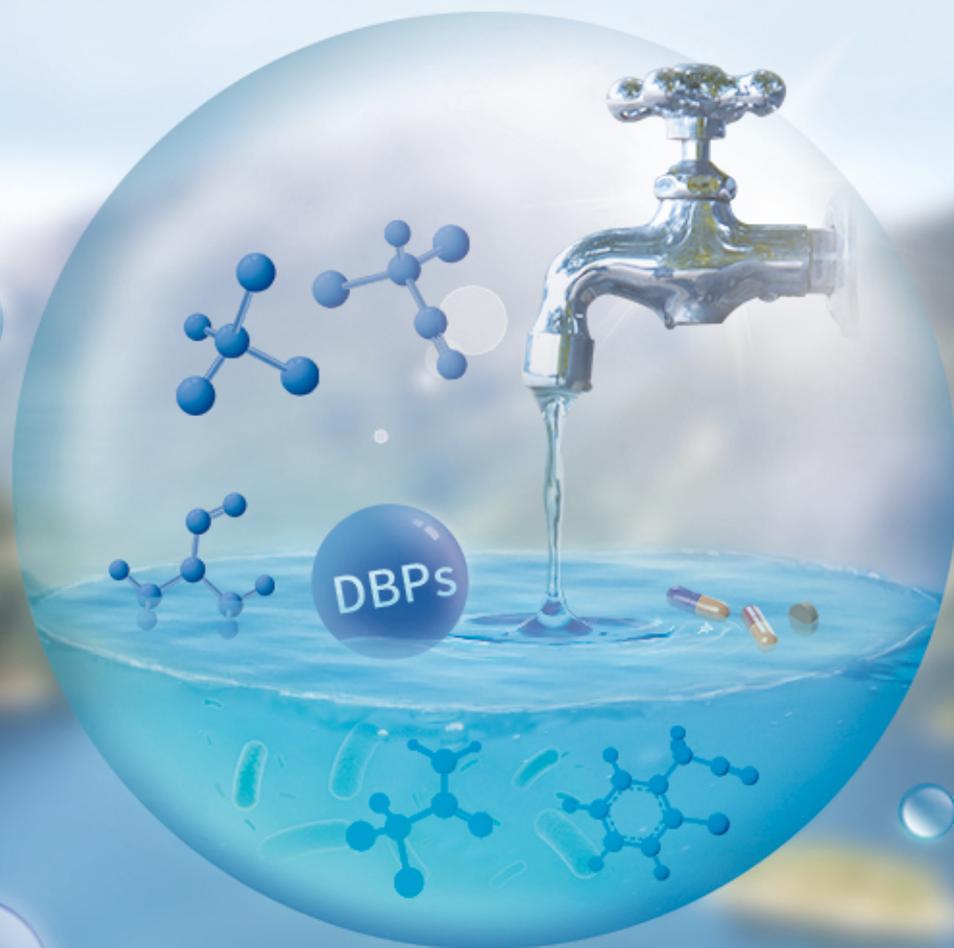
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

饮用水中的消毒副产物及其控制策略

楚文海, 肖融, 丁顺克, 张瑞华



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年11月

第42卷 第11期
Vol.42 No.11

目次

综述与专论

饮用水中的消毒副产物及其控制策略 楚文海, 肖融, 丁顺克, 张瑞华(5059)

生物炭吸附硫化氢机制与影响因素研究进展 徐期勇, 梁铭坤, 许文君, 黄丹丹(5086)

研究报告

1998~2016 中国八大经济区植被覆盖对 PM_{2.5} 浓度时空分布的影响 杨玉莲, 杨昆, 罗毅, 喻臻钰, 孟超, 李岑(5100)

COVID-19 疫情期间北京市两次重霾污染过程大气污染物演变特征及潜在源区分析 赵德龙, 田平, 周崑, 肖伟, 盛久江, 王飞, 杜远谋, 黄梦宇, 何晖, 丁德平(5109)

汾渭平原临汾市 2019 年春节期间大气污染特征与来源解析 刘威杰, 胡天鹏, 毛瑶, 许安, 苏业旺, 李星谕, 程铖, 石明明, 梁莉莉, 邢新丽, 张家泉, 祁士华(5122)

石家庄市大气污染物的季节性时空特征及潜在源区 聂赛赛, 王帅, 崔建升, 刘大喜, 陈静, 田亮, 贺博文, 沈梦宇(5131)

天津市冬季空气湿度对 PM_{2.5} 和能见度的影响 丁净, 唐颖潇, 郝天依, 姚青, 蔡子颖, 张裕芬, 韩素芹(5143)

承德市 PM_{2.5} 中碳质组分的季节分布特征及来源解析 贺博文, 聂赛赛, 王帅, 冯亚平, 姚波, 崔建升(5152)

中国生活源挥发性有机物排放清单 梁小明, 陈来国, 沈国锋, 卢清, 刘明, 陆海涛, 任璐, 孙西勃, 林奎, 梁明易, 叶代启, 陶澍(5162)

2011~2019 年中国工业源挥发性有机物排放特征 刘锐源, 钟美芳, 赵晓雅, 卢诗文, 田俊泰, 李银松, 侯墨, 梁小明, 黄皓旻, 范丽雅, 叶代启(5169)

基于 LHS-MC 青岛市工业源 VOCs 排放清单及不确定性 徐琬莹, 付飞, 吕建华, 李瑞凡, 邵蕊, 和慧, 李淑芬, 左华(5180)

典型橡胶制品业 VOCs 排放特征及对周边环境的影响 王海林, 辛国兴, 朱立敏, 薛松, 聂磊, 郝润(5193)

沈阳市不同功能区挥发性有机物分布特征及臭氧生成潜势 库盈盈, 任万辉, 苏枫棋, 于兴娜(5201)

天津城区夏冬季典型污染过程中 BTEX 变化特征及其健康风险评估 韩婷婷, 李颖若, 蒲维维, 姚青, 刘敬乐, 吴进, 张楠楠, 李梓铭, 马志强(5210)

郑州市大气氨排放清单及驱动力分析 计尧, 王琛, 卢轩, 张欢, 尹沙沙(5220)

基于 GAMs 模型分析成都市气象因子交互作用对 O₃ 浓度变化的影响 张莹, 倪长健, 冯鑫媛, 王式功, 张小玲, 张家熙, 李运超(5228)

长江干流表层水体悬浮物的空间变化特征及遥感反演 李建鸿, 黄昌春, 查勇, 王川, 尚娜娜, 郝维月(5239)

河北省夏季降雨溶解性有机物光谱特征的空间分布、来源解析及氮素响应 张紫薇, 周石磊, 陈召莹, 张甜娜, 董宛佳, 甄瑞晗, 张馨童, 姚波, 崔建升(5250)

城镇与城郊污染河道中 DOM 成分分布与影响因素 朱奔, 陈浩, 丁国平, 孙晓楠, 刘辉, 叶建锋(5264)

北京城市河流水和沉积物中微塑料的组成与分布 胡嘉敏, 左剑恶, 李頔, 谢珍雯, 陈磊(5275)

太湖西岸地表水中中性有机污染物非靶向筛查与生态风险评估 卢昕妍, 王菲, 张丽敏, 任晓鸣, 于南洋, 韦斯(5284)

河水-地下水交互带沉积物中抗生素和代谢产物提取方法优化及其分布特征 李玉琼, 童蕾, 严涵, 尤悦, 卢钰茜, 刘慧(5294)

白洋淀清淤示范区沉积物中抗生素和多环芳烃的分布特征与风险评估 王同飞, 张伟军, 李立青, 张美一, 廖桂英, 王东升(5303)

雄安新区唐河污水库残留污染物对地下水水化学动态的作用机制 张志雄, 王仕琴, 张依章, 冯文钊(5312)

基于时间序列模型的饮用水源地重金属健康风险分析与预测 姬超, 侯大伟, 谢丽, 孙华, 李发志, 周宇, 邓爱萍, 沈红军, 包广静, 王逸南(5322)

千河下游水体-沉积物重金属空间分布、风险及影响因素 高煜, 王国兰, 金梓函, 张军, 耿雅妮(5333)

巢湖流域丰水期可溶态重金属空间分布及污染评价 何苗, 刘桂建, 吴蕾, 齐翠翠(5346)

洪泽湖围栏养殖对表层沉积物重金属含量影响与生态风险评估 訾鑫源, 张鸣, 谷孝鸿, 阚可聪, 毛志刚, 陈辉辉, 曾庆飞(5355)

成都市地表水天然水化学变化特征及影响因素 许秋瑾, 赖承钺, 丁瑶, 王照丽, 程中华, 于涛(5364)

雷州半岛地下水化学特征及控制因素分析 彭红霞, 侯清芹, 曾敏, 黄长生, 师环环, 皮鹏程, 潘羽杰(5375)

粤港澳大湾区陆源氮污染源结构与空间分布 董斯齐, 黄翀(5384)

红壤丘陵区小流域典型土地利用的面源氮磷输出特征 房志达, 苏静君, 赵洪涛, 胡炼, 李叙勇(5394)

减氮条件下不同施肥模式对稻田氮素淋溶流失的影响 姜海斌, 张克强, 邹洪涛, 马璞骏, 渠清博, 谷艳茹, 沈仕洲(5405)

互花米草入侵对胶州湾湿地土壤磷赋存形态的影响 沙梦乔, 柴娜, 赵洪涛, 刘春井, 丁文超, 谢文霞(5414)

基于 16S rRNA 高通量测序的北运河水体及沉积物微生物群落组成对比分析 彭柯, 董志, 邸琰蓉, 郭道宇(5424)

硅改性花生壳生物炭对水中磷的吸附特性 赵敏, 张小平, 王梁嵘(5433)

高锰酸钾改性桉木生物炭对 Pb(II) 的吸附特性 莫贞林, 曾鸿鹤, 林华, Asfandiyar Shahab, 石清亮, 张华(5440)

混合金属氧化物/碳复合材料的制备及其对 Pb(II) 的吸附性能 卢予沈, 宗莉, 于惠, 牟斌, 王爱勤(5450)

负载型钛凝胶的制备及其吸附去除三价砷的性能 孙晔洋, 周畅, 甘永海, 吴兵党, 张淑娟(5460)

一体式短程硝化-厌氧氨氧化工艺启动过程的亚硝酸盐调控 左富民, 郑蕊, 隋倩雯, 钟慧, 陈彦霖, 魏源送(5472)

生物炭和秸秆还田对紫色土旱坡地土壤团聚体与有机碳的影响 邓华, 高明, 龙翼, 赖佳鑫, 王莹燕, 王子芳(5481)

紫色土旱坡地不同坡位土壤有机碳组含量对施肥管理的响应 徐曼, 余添, 王富华, 王丹, 王莹燕, 杨文娜, 高明, 王子芳(5491)

南阳盆地东部山区土壤重金属分布特征及生态风险评估 赖书雅, 董秋瑶, 宋超, 杨振京(5500)

城郊农田土壤多环芳烃污染特征及风险评估 张秀秀, 卢晓丽, 魏宇宸, 朱昌达, 潘剑君(5510)

我国东部沿海地区蔬菜中重金属累积分布特征及居民膳食暴露评估 孙帅, 耿柠波, 郭崔崔, 张保琴, 卢宪波, 张海军, 陈吉平(5519)

典型矿区周边农业用地农产品安全风险及影响因素 霍彦慧, 王美娥, 谢天, 姜蓉, 陈卫平(5526)

稻田土壤 Cd 污染与安全种植分区, 以重庆市某区为例 曹淑珍, 母悦, 崔敬鑫, 刘安迪, 程先, 符远航, 魏世强, 张进忠(5535)

镉污染大田条件下不同品种水稻镉积累的特征及影响因素 王宇豪, 杨力, 康愉晨, 陈小红, 耿杰, 李佳欣, 陈文清(5545)

纳米膜覆盖对畜禽粪便好氧堆肥进程及恶臭气体排放的影响 李永双, 孙波, 陈菊红, 彭霞薇, 白志辉, 庄绪亮(5554)

《环境科学》征订启事(5108) 《环境科学》征稿简则(5151) 信息(5249, 5263, 5283)

城镇与城郊污染河道中 DOM 成分分布与影响因素

朱羿¹, 陈浩², 丁国平³, 孙晓楠³, 刘辉², 叶建锋^{2*}

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 3. 上海第二工业大学工学部, 上海 201209)

摘要: 河道水环境的溶解性有机物(dissolved organic matter, DOM)是全球碳循环的重要环节. 在国内当前城镇河道污染治理攻坚的紧迫形势下, 探究河道 DOM 受不同类型的外源污染、内源次生污染及天气模式等因素的影响, 是明晰关键污染成因的前提. 为了解析受生活污水污染的城镇河道与受水产养殖业、种植业及畜禽养殖业污染的城郊河道中 DOM 成分与当量的差异, 以某大型城市作为研究区域, 以城镇河道、城郊河道与水源共 21 个点位的表层水与沉积物为研究对象, 应用了三维荧光光谱-平行因子分析(excitation-emission matrix-parallel factor analysis, EEM-PARAFAC). 结果表明: ①城镇与城郊河道水体 DOM 成分都以蛋白质类成分为主(酪氨酸类与色氨酸类成分), 含有少量腐殖酸类成分, 但城镇河道水体存在人为腐殖酸类成分; ②城镇河道与市郊河道 DOM 成分的形成原因截然不同, 城镇河道主要受生活污水污染与内源次生污染, 导致人为腐殖酸类成分增多. 城郊河道主要受富含 N、P 的农业废水污染, 促进自养细菌的内源代谢使蛋白质类成分增多, 这可能是形成其现有 DOM 特征的关键原因; ③降雨产生的雨水径流与城市溢流将外源污染物输送到河道中, 同时水力搅动等水动力学因素通过稀释等物理作用影响了表层水与沉积物中的 DOM 成分分布.

关键词: 溶解性有机物(DOM); 三维荧光耦合平行因子分析(EEM-PARAFAC); 城镇河道; 城郊河道; 生活污水污染; 农业废水污染

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)11-5264-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.202104041

Distribution and Influencing Factors of DOM Components in Urban and Suburban Polluted Rivers

ZHU Yi¹, CHEN Hao², DING Guo-ping³, SUN Xiao-nan³, LIU Hui², YE Jian-feng^{2*}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 3. College of Engineering, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

Abstract: Dissolved organic matter(DOM) in water environments is an important component of the global carbon cycle. Under the current urgency to control the pollution of urban rivers in China, exploring the influence of different exogenous and endogenous secondary pollution and weather patterns on river DOM is the premise to better understand the causes of the pollution. In this study, a large city in China was established as the research area, and the underlying water and sediments from 21 sites along urban and suburban rivers, and other water sources were evaluated. The excitation-emission matrix-parallel factor analysis(EEM-PARAFAC) was used to analyze the difference in DOM composition and equivalent in urban rivers polluted by domestic sewage and suburban rivers polluted by aquaculture, agriculture, and livestock breeding. The results showed that: ① DOM components in urban and suburban river waters were mainly protein compounds(tyrosine-and tryptophan-like), containing a small amount of humic acid. Humic acid components of anthropogenic origin were found in urban river water; ② The reasons for the formation of DOM components in urban and suburban rivers were completely different. Urban rivers are mainly polluted by domestic sewage and endogenous secondary pollution, resulting in an increase in anthropogenic humic acid components. Suburban rivers are mainly polluted by agricultural wastewater rich in N and P, which promotes endogenous metabolism of autotrophic bacteria and increases protein components, which may be related to the formation of existing DOM characteristics. ③ Rainfall runoff and urban overflow transported exogenous pollutants into rivers, while hydrodynamic factors such as hydraulic agitation affect the distribution of DOM components in underlying water and sediments through physical effects such as dilution.

Key words: dissolved organic matter(DOM); excitation-emission matrix-parallel factor analysis(EEM-PARAFAC); urban rivers; suburban rivers; sewage pollution; agricultural wastewater pollution

溶解性有机物(dissolved organic matter, DOM)在碳氮的生物地球化学循环中扮演了至关重要的角色^[1]. 作为水环境有机碳的主要存在形式^[2], 其为水生微生物的生长代谢提供了基本的物质和能量, 从而构成全球生物链的重要基础^[3]. 此外, DOM 可与众多包括金属离子和持久性有机污染物(POPs)等在内的无机或有机污染物发生配位作用, 导致 DOM 构象发生巨大变化, 并对这些污染物的运输、转化与生物利用产生深远影响^[4]. 当前的研究已表明, 进一步展开对 DOM 的研究将是明晰当前水环

境可能污染成因, 并理解全球变暖背景下水体碳氮转化与输出机制改变的关键.

河道水体 DOM 的组成与浓度受外源污染输入

收稿日期: 2021-04-05; 修订日期: 2021-04-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51908355); 国家重点研发计划项目(2017YFE0135500, 2018YFD1100502-02); 上海市自然科学基金项目(19ZR1443800, 19ZR1443700); 上海市科研计划项目(19DZ1204500); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07207001-02); 上海市生态环境局科研项目(HHK 2019-6, HHK 2018-1)

作者简介: 朱羿(1997~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为河道水体污染控制, E-mail: zhuyi_0507@163.com

* 通信作者, E-mail: yejf99@gmail.com

及内源次生污染发生的叠加影响。崔兵等^[5]的研究表明,外源污染通过传输外源 DOM 来直接改变河道 DOM,也能通过提高内源 DOM 的产量间接改变河道 DOM。自然河道的 DOM 构成以腐殖酸类成分为主,这是由动植物死亡后的遗骸经微生物分解和转化等过程产生并积累的有机物^[5]。相比之下,当前我国城市建成区河道水体多受点源污染,如生活污水和工业废水等,这些污染源往往输入存在大量蛋白质类成分与人为腐殖酸类成分的高负荷污水。其携带的 DOM 通常具备高可生物降解性的特点^[6]。孙永利等^[7]对生活污水的研究表明其中 COD 与 BOD₅ 浓度极高,平均达到 549 mg·L⁻¹ 与 259 mg·L⁻¹,并含有一定量的氮和磷。这些 DOM 的持续输入导致了河道水环境平衡被破坏,自净能力降低。长期受到点源污染及治理措施不到位是导致我国城市水体频繁出现水体生态退化等内源性次生污染,甚至出现黑臭的根本原因^[8,9]。此外,城郊河道往往受到大范围农业面源污染,尤其是在上海为代表的平原河网地区。Tang 等^[10]的研究显示,农业地区有机肥和农药的残留会通过径流进入河流导致营养物质富集,甚至造成富营养化。考虑到城镇建成区受生活污水污染河道及城郊受农业面源污染河道仍然是我国水污染防治计划及地方“水十条”治理的重点,理解其水体表层水及沉积物 DOM 在内外源污染现状下的组成状态及可能的变化,将是进一步实现污染有效治理的重要前提。

此外,值得注意的是,天气模式将通过水文水力作用进一步改变水体 DOM 的组成与浓度现状。在自然条件下,水文水力的传输作用是构成湖泊 DOM 累积并塑造其多样性特征的关键因素^[11]。在以城市为代表的高度人类活动影响流域,雨水径流与溢流可能会冲刷并进一步溶解上游不透水区的大量污染物以及生活污水等进入河道,对河道水环境造成巨大影响^[12]。迄今为止,天气模式如何影响城镇及城郊河道 DOM 的变化尚不清楚。

本研究基于三维荧光光谱-平行因子分析(excitation-emission matrix-parallel factor analysis, EEM-PARAFAC)方法,探究不同污染状态的城镇及城郊河道水体的 DOM 浓度与成分特征,并通过相关性统计分析解析了环境因素在 DOM 成分变化中的作用。其中,城郊河道按照受污染种类分为 3 类,分别为种植业、畜禽养殖业和水产养殖业污染。考虑到城市溢流是我国城镇河道污染的主要来源,并具有明显天气性排放模式,故城镇河道分为雨天与旱天两组。本研究通过城镇、城郊河道与水源地之间相互比较得到 DOM 成分的差异,并进一步讨论

不同类型的外源污染、降雨和内源污染这 3 种因素影响下对 DOM 的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区域与样品采集

自 2015 年国务院正式发布“水十条”至今,主要的水体污染源为点源与面源污染。本研究从上海市金山区的地表水环境市级考核不达标断面中选取 5 个城镇河道点位,并分为雨天(A,其同时表示雨天表层水,AS 表示雨天沉积物,命名方式以此类推)与旱天(B)两组。城郊河道点位从上海市不同区域选取。城郊用地主要用于农业,如水产养殖业(C)、种植业(D)、畜禽养殖业(E)。这 3 类为农业面源污染的主要污染源,因此选取受该 3 类污染的河道点位 15 个。另选取上海市淀山湖(F)作为 1 个水源地点位。采样时间为 2019 ~ 2021 年,所有类型的点位共 21 个,地理位置如图 1 所示。

采集时将不锈钢桶润洗后采集河道表层水 1 L,保存于聚乙烯采样瓶中。沉积物则用柱状采样器插入河道底部进行采集,保存 1 L 沉积物于聚乙烯桶中。表层水与沉积物样品在采集后迅速转运至实验室,并于 4℃ 避光保存。

1.2 表层水及沉积物样品的化学分析与 EEM-PARAFAC 分析

表层水与沉积物样品的化学指标包括了化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)、溶解性有机碳(DOC)和三维荧光光谱(excitation-emission matrix)。表层水样品需过 0.45 μm 混合纤维素(MCE)滤膜后进行测定。沉积物样品需在 2800 g 离心 10 min,取其上清液(即间隙水),过 0.45 μm MCE 滤膜后再进行测定,即测定沉积物间隙水的指标。

COD(GB 11914-89)、TN(GB 11894-89)和 TP(GB 11893-89)用国家标准方法测定。DOC 用 TOC-L(Shimadzu)测定。EEM 通过荧光光谱仪(F-7100, Hitachi)进行测定,荧光强度单位为 Arbitrary Unit(A. U.),样品通过 0.45 μm 混合纤维滤膜后上机测定,为消除散射峰的干扰,计算修正 EEM,并引入平行因子分析(parallel factor analysis)计算 DOM 组分^[13]。

EEM 衍生指标包括了腐殖化指数、生物指数和荧光指数。腐殖化指数(HIX)是激发波长为 254 nm 时,发射波长从 435 ~ 480 nm 的峰值面积与 300 ~ 345 nm 的荧光峰值面积的比值,用来表征有机质腐殖化的程度或成熟度,当 HIX 小于 4 时,CDOM 主要由生物活动产生,腐殖化程度较弱^[14]。生物源

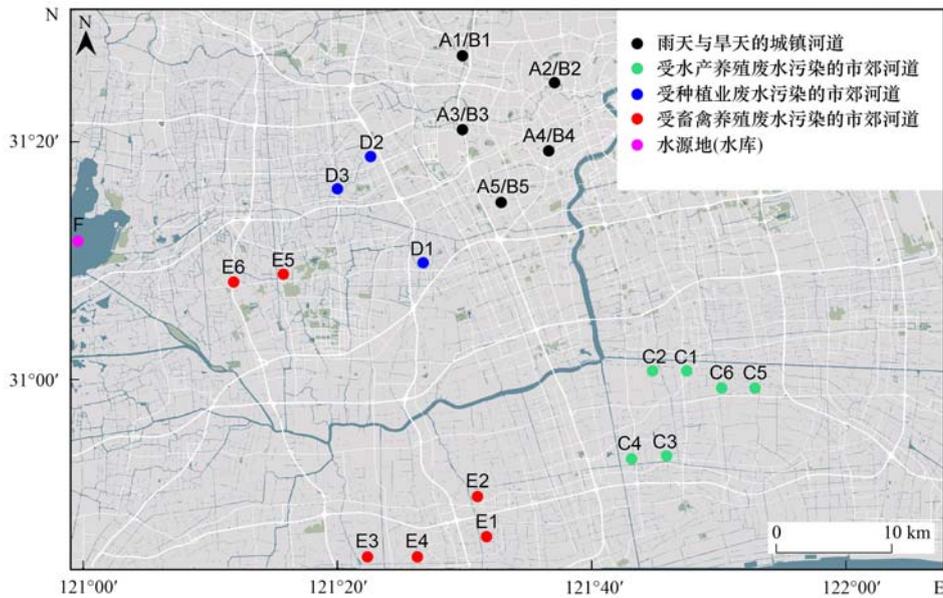


图 1 采样点位示意

Fig. 1 Position diagram of sampling sites

指数(BIX)是310 nm 激发波长下380 nm 发射波长处荧光强度与420~435 nm 区间内最大荧光强度的比值,用来表征新产生的DOM在整体DOM中所占的比例,BIX越高,说明新近自生源组分的比例越高^[15]. 荧光指数(FI)是在370 nm 激发波长处,470 nm 与520 nm 发射波长下的荧光强度比值,用来表征DOM中腐殖质的来源,大于1.9说明主要来源于微生物代谢等过程,小于1.4说明陆源占主要贡献^[14].

采用SPSS(statistics 24, IBM)进行多组间差异方差分析(ANOVA),以 $P < 0.05$ 为显著性标准.通过OriginPro 2020(OriginLab)进行主成分分析(PCA)与斯皮尔曼相关性计算,表现DOM成分间以及与COD和DOC等水质参数的相关性.

2 结果与分析

2.1 城镇与城郊河道表层水及沉积物的化学指标

图2显示了城镇河道与城郊河道的基础水质参数.城镇河道中COD浓度最大值达到 $187.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP、TN和DOC浓度的最大值分别为11.80、14.20和 $58.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.而城郊河道的COD和TN浓度更低,TP和DOC浓度更高.其中COD浓度最高的为水产养殖业与畜禽养殖业(最大值达到 $60.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 与 $66.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),TN和TP浓度最高的为种植业(最大值达到 $2.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 与 $15.434 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),DOC浓度最高的为种植业与畜禽养殖业(最大值达到 $79.66 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 与 $63.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),符合受农业污染较严重流域的DOC浓度更高的特征^[16].

雨天与旱天城镇河道表层水的化学指标显示降雨导致的显著差异.雨天表层水中的COD和DOC的浓度显著高于旱天;雨天沉积物中的COD、TP、TN和DOC浓度均显著低于旱天.其中污染程度最严重的为A1点位,雨天时表层水COD为 $23.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,DOC为 $13.85 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,沉积物间隙水的COD达到 $134.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP为 $10.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TN为 $6.70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,DOC为 $32.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.旱天时表层水TP高达 $1.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,沉积物间隙水COD高达 $182.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP为 $10.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TN为 $12.70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,DOC为 $58.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

2.2 城镇河道与城郊河道表层水及沉积物DOM特征

2.2.1 DOM成分特征

基于EEM-PARAFAC分析,城镇及城郊河道表层水与沉积物DOM共存在4种荧光成分:C1为酪氨酸类成分,C2为色氨酸类成分,C3为腐殖酸类成分,C4为人为腐殖酸类成分^[6].C1($E_x/E_m = 270 \sim 275 \text{ nm}/320 \sim 330 \text{ nm}$):酪氨酸类成分;C2($E_x/E_m = 280 \sim 290 \text{ nm}/340 \sim 350 \text{ nm}$):新生的色氨酸类成分;C3($E_x/E_m = 250 \sim 255, 370 \text{ nm}/400 \sim 420, 440 \sim 450 \text{ nm}$):普遍存在的腐殖酸类成分;C4($E_x/E_m = 250 \sim 255 \text{ nm}/390 \sim 400 \text{ nm}$):人为源腐殖酸类成分,来源于废水中^[6].

图3和图4显示城镇河道与城郊河道表层水和沉积物中DOM修正EEM的差异.城镇河道的荧光强度雨天普遍低于旱天,而沉积物中荧光强度普遍高于表层水.而不同样品不同基团的发射波长存在轻微的红移(发射波长增加)或蓝移(发射波长降低)造成荧光峰位置的差异.城郊河道的荧光峰位

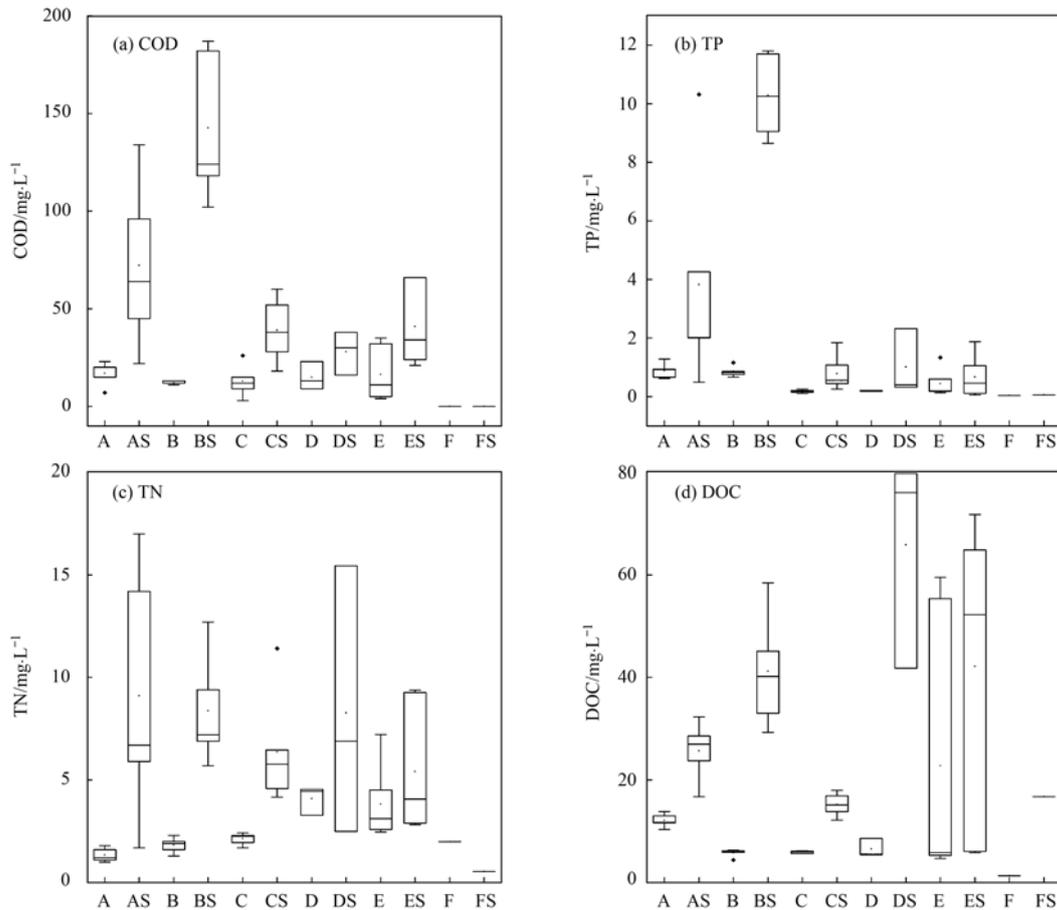


图2 城镇河道与城郊河道表层水及沉积物间隙水的化学指标

Fig. 2 Chemical indicators of overlying water and sediment pore water in urban and suburban rivers

置相似度较高,而沉积物中荧光强度普遍低于表层水.城镇河道中主要的 DOM 为蛋白质类物质,腐殖质类的荧光峰值也相对较高,尤其在沉积物中更明显.城郊河道中大部分为蛋白质类物质,腐殖质类的荧光峰值较低.水源地表层水中的蛋白质类与腐殖质类荧光峰峰值比较接近,水平都很低,沉积物中则主要为蛋白质类物质.

图 5 和图 6 显示城镇河道与城郊河道表层水和沉积物中 DOM 成分.城镇河道中含有 C1 ~ C4 全部 4 种荧光成分,且 C4 为其特殊成分.城镇河道雨天 C1 和 C4 的荧光峰位置与旱天相比 E_m 更大, C2 和 C3 的峰位置与旱天相比 E_m 更小,且城镇河道表层水与沉积物中的腐殖质类成分峰强普遍高于旱天,其中图 5(b) 的 C3 和 C4 荧光峰强相对较大,与其他点位相比较为特殊.城郊河道与水源地中的荧光成分主要为 C1 ~ C3,不含有 C4,且 C1 和 C2 的荧光峰位置相同, C3 峰位置有轻微差异.城郊河道中 C3 相对较少,大部分为蛋白质类成分(C1 和 C2).

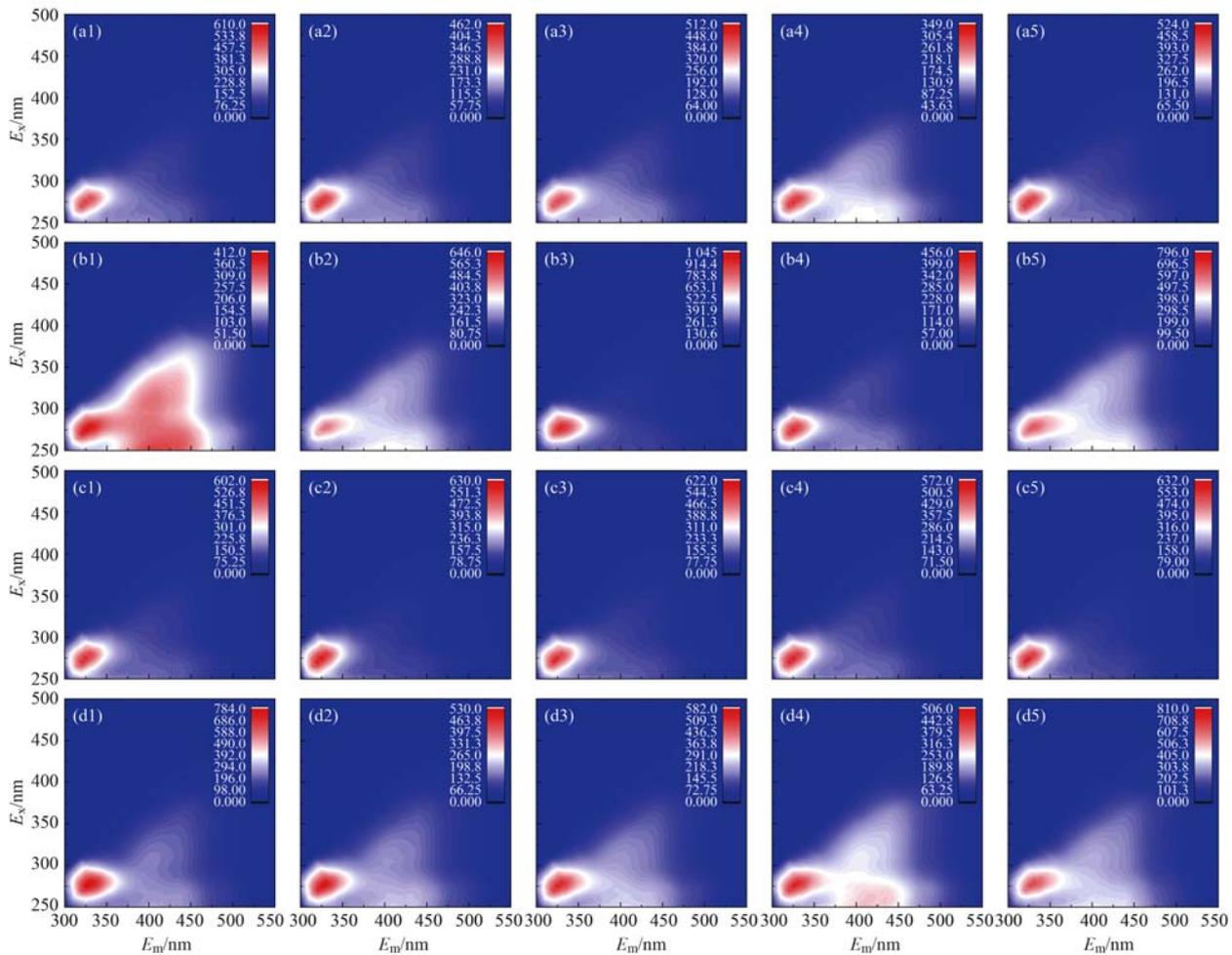
2.2.2 DOM 的成分分布占比

图 7(a) 显示了各组河道表层水与沉积物中 DOM 成分的平均占比情况,水源地表层水中, C3 成分所占比例最高(37%), C1 与 C2 成分各占 30%

与 34%; 沉积物中 C2 占 45% 最高,其次是 C1 (42%) 与 C3 (14%).

除水源地外,各类河道中表层水的 C1 占比均比沉积物中高,而 C2、C3 和 C4 的成分占比则大多数河道中都为表层水略低于沉积物.对比城镇河道与城郊河道,二者存在显著差异.城镇河道表层水中的 C1 和 C2 占比更低, C3 占比更高,分别为 48%、29% 和 11%,而城郊河道表层水中 C1 和 C2 最低为 55%、34%, C3 最高为 9%.同时,城镇河道水体中拥有特殊的 C4 成分(15%~20%).城郊河道的荧光成分以 C1 为主(55%~62%),其次为 C2 (34%~37%),以及少量的 C3 (3%~9%).

图 7(b) 和 7(c) 显示了每条河道表层水与沉积物中 DOM 成分的分布情况.从中可知,雨天与旱天时城镇河道中 DOM 成分有显著差异,雨天表层水中 C2 和 C3 占比更高, C1 和 C4 更低,沉积物中也有差异,但规律不明显,不同的点位有不同的差异,最显著的为 A3 与 B3,雨天 C1 和 C2 占比均显著高于旱天, C3 和 C4 则显著低于旱天.对于城郊河道来说,各个污染类型的河道之间 DOM 成分分布差异不大,只有个别点位显示出较大差异,分别为受种植业污染的 D1S 与受畜禽养殖业污染的 E6S,两者



(a) 雨天表层水, (b) 雨天沉积物, (c) 旱天表层水, (d) 旱天沉积物; 1~5 对应采样点; 颜色映射表示荧光强度, 红色 > 白色 > 蓝色, 荧光强度单位为 A. U.

图 3 城镇河道表层水与沉积物 DOM 的修正 EEM

Fig. 3 Modified EEM of overlying water and sediment pore water's DOM in urban rivers

都为沉积物样品,均表现出 C3 成分占比远大于其他点的现象。

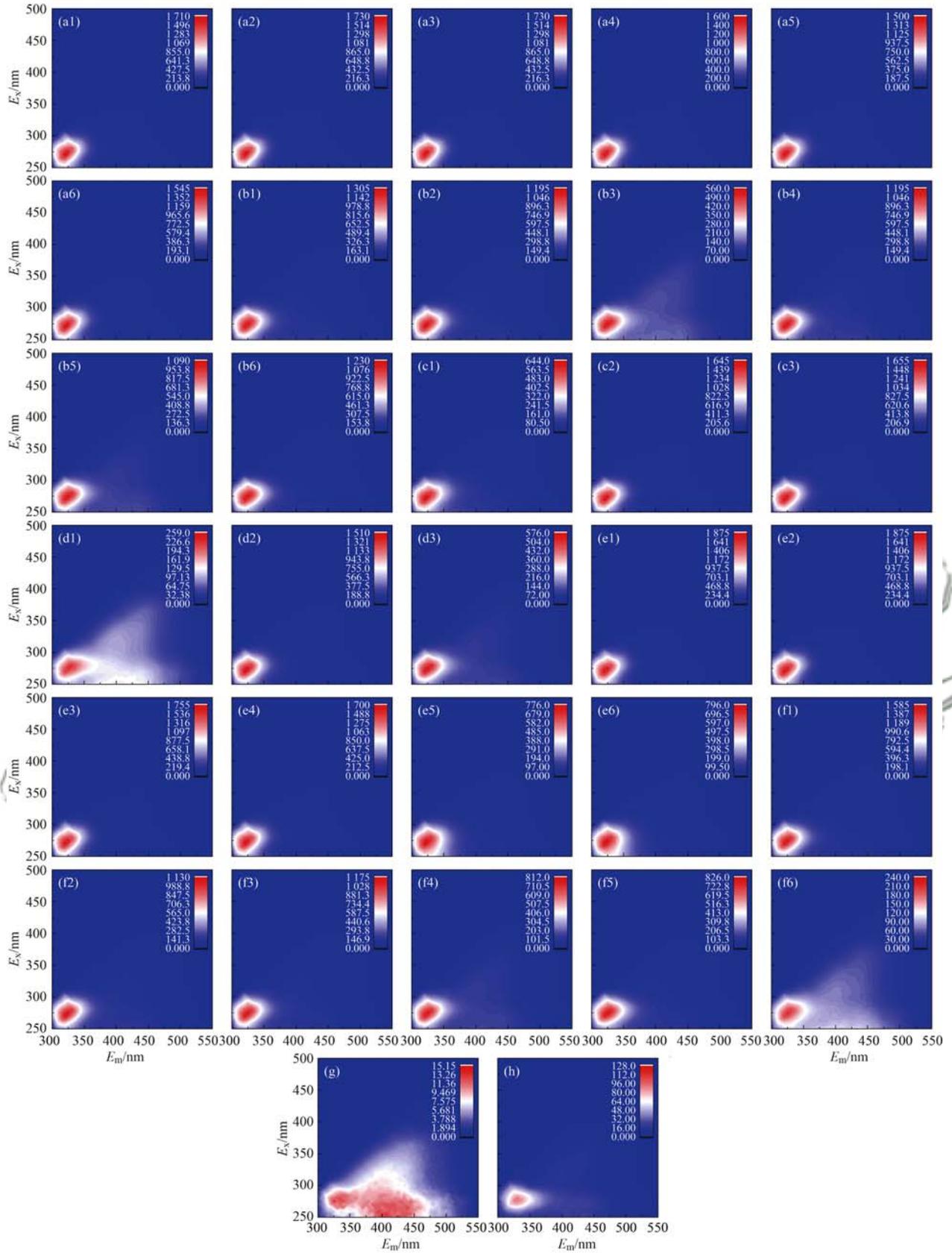
2.3 表层水与沉积物 DOM 成分及化学指标的相关性分析

PCA 分析显示了各类河道表层水与沉积物 DOM 成分及化学指标的相关性. 如图 8(a) 显示, 第一个分量 (PC1) 占总方差的 59.7%, 第二个分量 (PC2) 占总方差的 30.8%, 两者共同解释数据集总方差的 90.5%. C1 和 C2 可以用 PC1 较好地表征, 呈正相关; 而 C4 与 PC1 呈负相关. C3 则与 PC2 呈高度正相关。

将数据点按照样品类型分为 5 组, 图 8(a) 表明, 城镇河道中的成分组成与城郊河道有显著差异, 均有其独特的成分组成. 城镇河道的两组数据点均与 C1 和 C2 呈负相关, 均与 C4 呈正相关, 大部分与 C3 为正相关, 且两组数据点在 PC1 上的负荷相似, 这也解释了这两组数据与 C4 有显著正相关且与 C1 和 C2 负相关的原因. 水产养殖业、种

植业、畜禽养殖业的数据点大部分与 C1 和 C2 呈正相关, 与 C3 呈负相关, 但有小部分数据点位置在 1、2 组内. 这说明城镇河道与城郊河道的 DOM 成分差异性较大, 但在一定程度上具有轻微相似性。

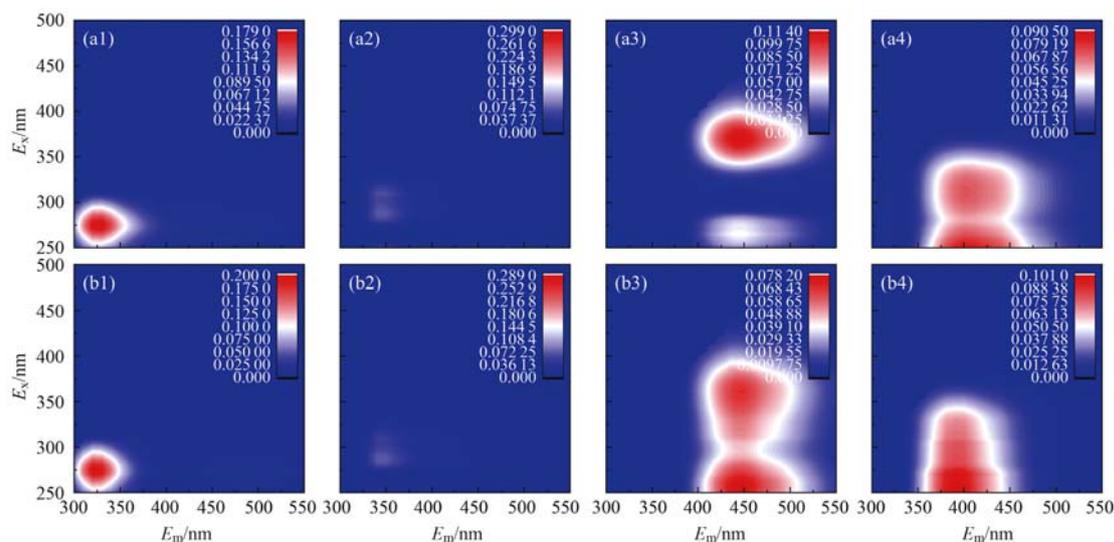
图 8(b)、8(c) 和 8(d) 显示各类河道中 DOM 成分与水质指标间的相关性. 城镇河道中 C2、C3 和 C4 与 DOC、TN、TP 和 COD 呈显著正相关, C3、C4 与 BIX 显著负相关, 与 HIX 显著正相关. 城郊河道中, C 和 C2 与 COD、DOC 和 HIX 呈显著负相关, 与 FI 和 BIX 显著正相关, C3 与 COD、TP 和 TN 正相关. 综合所有样本, C1 与 TP、DOC 和 HIX 呈显著负相关, 与 FI 和 BIX 显著正相关; C2 与 TP 和 HIX 显著负相关, 与 FI 和 BIX 显著正相关; C3 与 COD、TP、TN 和 DOC 显著正相关, 与 BIX 显著负相关; C4 与 COD、TP 和 HIX 显著正相关, 与 BIX 显著负相关. 说明城镇与城郊河道 DOM 来源有较大差异, 可能与内源污染程度及外源输入不同有关。



(a) 受水产养殖业污染河道的表层水, (b) 受水产养殖业污染河道的沉积物, (c) 受种植业污染河道的表层水, (d) 受种植业污染河道的沉积物, (e) 受畜禽养殖业污染河道的表层水, (f) 受畜禽养殖业污染河道的沉积物, (g) 水源地表层水, (h) 水源地沉积物, (g) ~ (h) 对应采样点; 颜色映射表示荧光强度, 红色 > 白色 > 蓝色, 荧光强度单位为 A. U.

图 4 城郊河道表层水与沉积物 DOM 的修正 EEM

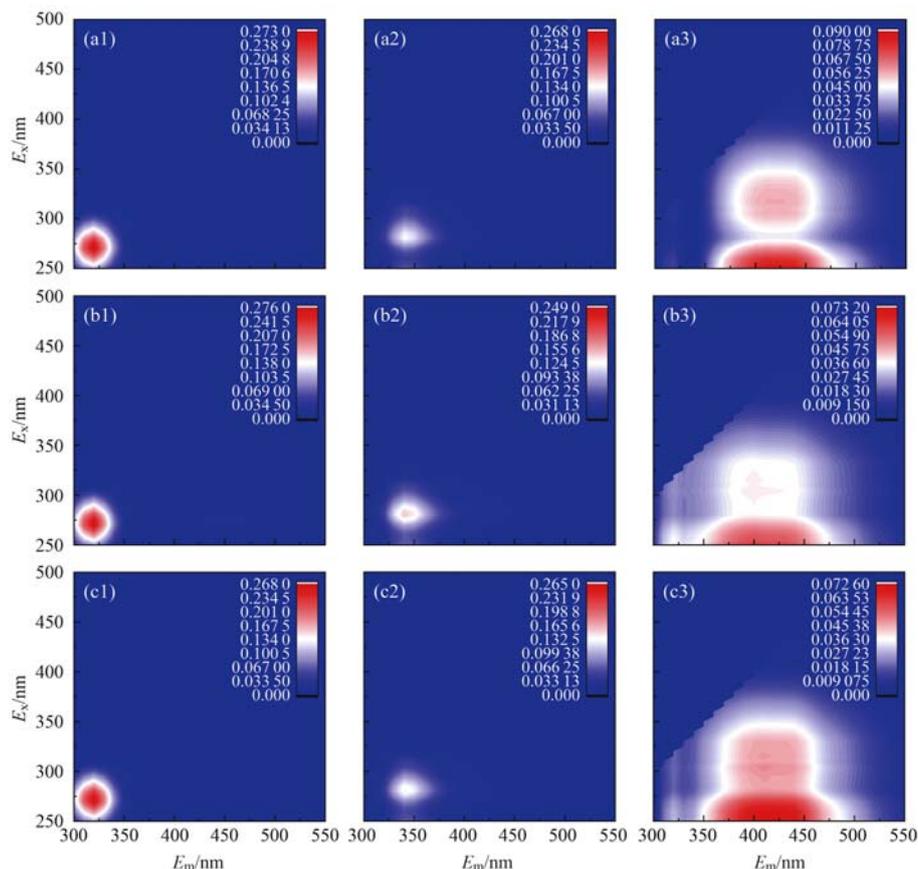
Fig. 4 Modified EEM of overlying water and sediment pore water's DOM in suburban rivers



(a) 雨天, (b) 旱天, 1~4 分别对应 C1 ~ C4 组分; 颜色映射表示荧光强度, 红色 > 白色 > 蓝色, 荧光强度单位为 A. U.

图 5 城镇河道表层水与沉积物 DOM 的 EEM-PARAFAC 分析

Fig. 5 EEM-PARAFAC analysis of overlying water and sediment pore water's DOM in urban rivers



(a) 受水产养殖业污染河道, (b) 受种植业污染河道, (c) 受畜禽养殖业污染河道, 1~3 分别对应 C1 ~ C3 组分;

颜色映射表示荧光强度, 红色 > 白色 > 蓝色, 荧光强度单位为 A. U.

图 6 城郊河道表层水与沉积物 DOM 的 EEM-PARAFAC 分析

Fig. 6 EEM-PARAFAC analysis of overlying water and sediment pore water's DOM in suburban rivers

3 讨论

3.1 点源与面源污染分别对城镇及城郊河道水体 DOM 的影响

在本研究的流域尺度下, 河道水体 DOM 共存

在 4 种成分. C1 广泛存在于水体环境中, 其来源主要与原位微生物的生命活动有关, 可指示降解程度相对较高的缩氨酸, 很难再被微生物降解; C2 广泛存在于海洋和陆地水体中, 且主要来源于原位微生物的生命代谢活动, 能够指示水体中完整的蛋白质

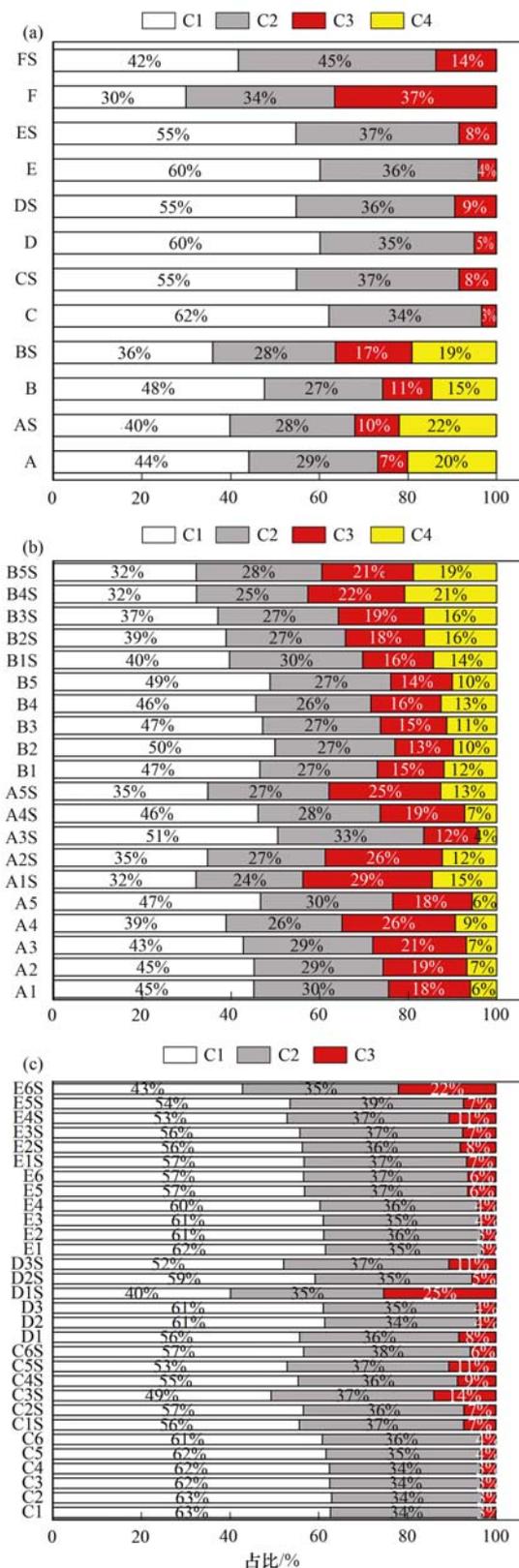


图 7 城镇河道与城郊河道水体 DOM 成分占比
Fig. 7 Distributions of DOM components in urban and suburban rivers' overlying water and sediment pore water

类物质,易被微生物降解. C3 分子量相对较小,与生物活动密切相关,但在农业环境和污水中也有发现,其主要来源于陆生性和微生物性有机物. C4 是一种人为因素产生的腐殖酸,主要存在于废水和农业用地中,与人为污染有关^[6].

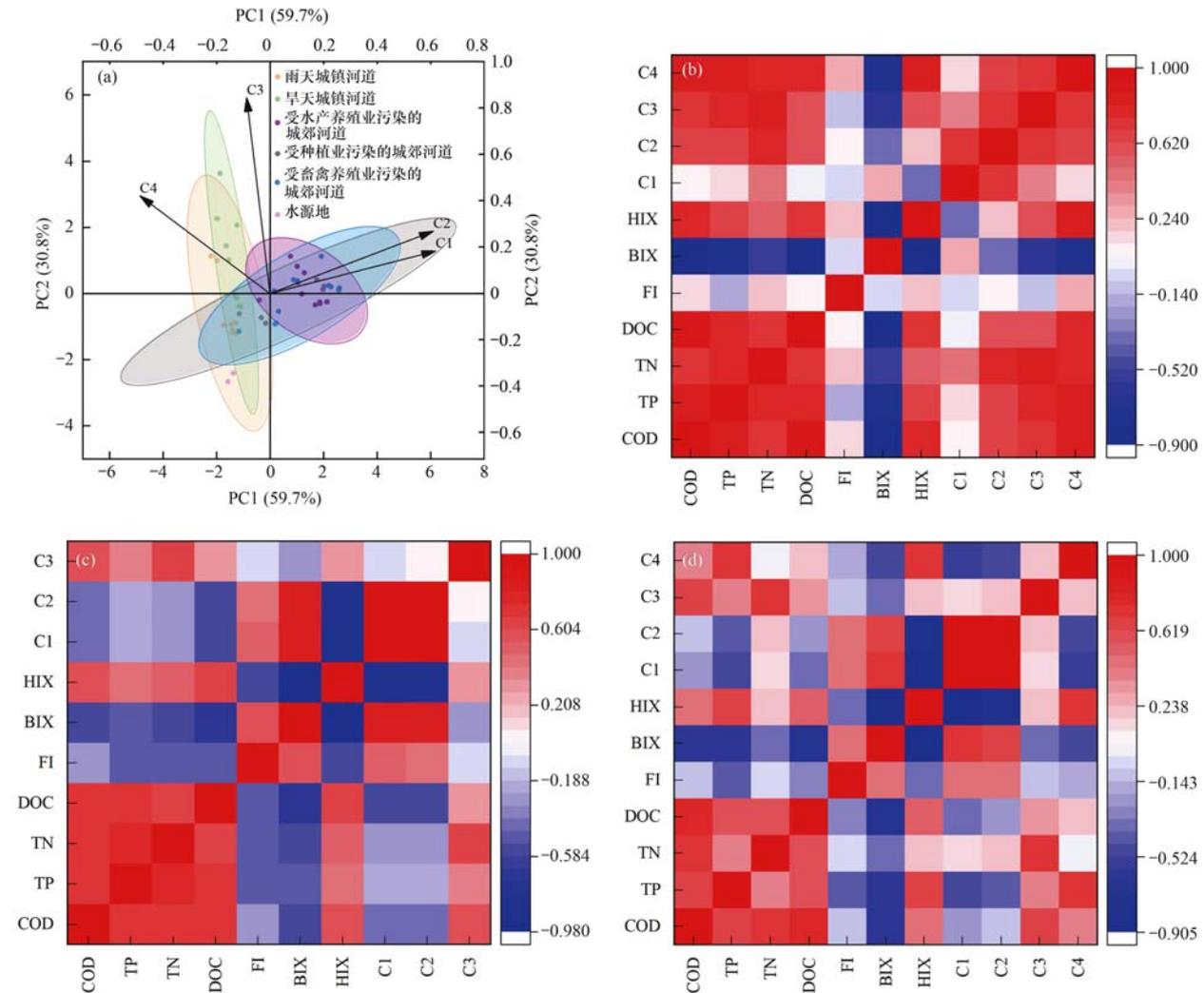
城镇河道与城郊河道的 DOM 成分差异主要是污染源不同导致的. 城镇河道主要受生活污水污染,向河道直接输入高可降解性蛋白质类有机物,加速腐化过程,消耗 DO,引起厌氧发酵甚至黑臭, DOM 以 C1 和 C2 为主,存在特殊的 C4 成分. 城郊河道主要受农业废水污染,主要向河道输入 N、P 等无机营养物质,导致富营养化. 因此城镇河道中 DOM 成分受直接影响,污染源进入后 C1、C2 和 C4 成分增加. 且 C1 和 C4 荧光峰存在较为明显的红移,可能有部分来自生活污水的酪氨酸类有机物,在水力扰动的条件下,进一步被微生物降解^[17]. 王海丽等^[18]的研究表明,异养微生物会优先降解消耗 DOM 中的碳水化合物和多肽蛋白质,并留下芳香环结构成分. 这导致进一步降解后的酪氨酸类有机物中含有更多的芳香环或共轭双键结构,最终引起 EEM 荧光峰发射波长的红移^[17]. 而城郊河道中 DOM 成分主要受间接影响,河道营养物质的富集,促进了浮游植物的生长,进一步产生蛋白质类成分^[19]. 此外,在城郊河道区域,污水处理设施不足,这可能导致周边河流未得到充分处理而接收大量废水,致使类蛋白质成分在城市周边流域中所占比例较高^[20].

城镇河道与城郊河道的 DOM 成分与化学指标的相关性不同. 这可能表明,在不同的水环境中, DOM 来源的特殊性、水体内源生化过程的不同与独特的代谢策略共同导致的复合问题造成 DOM 成分与化学指标之间的相关性不规律^[21]. 本研究中城镇河道的 C2 与 TN 呈显著正相关(相关性系数为 0.805, $P < 0.05$), Zhao 等^[22]在 2017 年的研究中同样显示了 TN 与蛋白质类成分呈正相关,但综合城镇与城郊河道所有样本,只有 C3 始终与 TN 呈显著正相关(相关性系数为 0.736, $P < 0.05$),可能是因为参数量不足以反映 PARAFAC 组分与 TN 以及其他指标的关系,或者溶解无机氮和颗粒氮对 TN 的贡献更大^[20]. 城郊河道中 C1 和 C2 与 DOC、TN、TP 和 COD 相关性较弱,可能是因为自养型细菌较多,异养型细菌少,导致对蛋白质类有机物的分解慢.

3.2 河道水体内源次生污染导致的 DOM 组成变化

进入水体中的营养物质通过物理、化学及生物作用,逐渐沉降于沉积物表层形成积累后,一方面被微生物直接摄入,参与水生生态系统的循环;另一方面,在一定的环境条件下,沉积物吸附污染物的能

或降解程度相对较低的缩氨酸,属于较新鲜的蛋白



(a) 所有河道表层水与沉积物 DOM 成分 PCA, 其中椭圆形为 95% 置信区间, (b) 城镇河道表层水和沉积物 DOM 与水质指标相关性, (c) 城郊河道表层水和沉积物 DOM 与水质指标相关性, (d) 所有河道表层水和沉积物 DOM 与水质指标相关性

图 8 表层水与沉积物 DOM 成分及化学指标的相关性

Fig. 8 Correlation between DOM components with chemical indicators in overlying water and sediment pore water

力降低, 累积的污染物从沉积物中释放出来而重新进入水中, 从而形成内源次生污染^[23]. 而内源污染物来源于外源污染、径流输入、水体内部沉积等. 其中点源污染是内源污染物的主要来源, 这些污染物通过上游河道或直接排放进入水体, 在排放口附近污染沉积最为严重.

城镇与城郊河道中内源污染机制不同造成了两者 DOM 组成的差异. 城镇河道长期受到生活污水污染, 本身的生态性较差, 导致沉积物中积累大量污染物, 可能存在厌氧发酵反应. 赵豆豆^[24]的研究表明, 水体底部长期处于厌氧状态正是促进沉积物中污染物释放的一大因素. 异养细菌在厌氧条件下分解生活污水输入的高可降解性蛋白质, 产生内源 DOM, 主要为 C1 和 C4, 使水体中这两种 DOM 成分进一步增加. 而城郊河道接收农业废水输入后, 发生富营养化, 自养细菌在好氧条件下利用外源无机碳

源作为营养物质, 内源代谢产生以 C2 为主的蛋白质类成分, 从而改变河道 DOM 成分分布. 另一方面, 降雨扰动会将内源污染释放的污染物带至表层水中, 促进藻类生长、繁殖和死亡, 而藻类的死亡又会加速内源污染物的累积^[1,24]. 这刚好解释了本研究中城镇河道中 C2、C3 和 C4 与 DOC、TN、TP 和 COD 正相关, 雨天河道表层水中 C4 成分高于旱天的现象.

3.3 降雨对城镇河道水体 DOM 的影响

降雨通过径流输送、水动力学及水力搅动等方式对河道 DOM 造成间接影响^[4,11]. 有研究表明, 未经处理的城市雨水径流会输送复杂的有机污染物到水体中, 增加了 COD 和 DOC 等浓度, 改变了 DOM 成分, 导致其水质与生物功能的降低^[25,26]. 污水流入河道的主要途径就是雨天溢流, 因此城镇河道雨天的 DOC 和 COD 高于旱天. 由于本研究中城镇河

道上游有部分植被覆盖区域,而雨水径流可以冲刷并进一步溶解上游不透水区的大量物质^[12],因此可能带入了河道周围绿地中的腐殖酸成分以及部分新鲜蛋白质类物质,导致表层水中 C3 占比显著升高, C2 略微升高, C1 略微降低. 而降雨导致的水动力学因素对水体中的 DOM 可能起到一定的稀释作用^[11],导致 C4 占比在雨天有所降低. 对于城镇河道中沉积物的 DOM 来说,有两个点位(A3S 和 A4S)的成分分布变化较为显著,雨天的 C1 和 C2 占比升高, C3 和 C4 降低,可能是水力搅动使水体中新输入的蛋白质类物质部分进入了沉积物中,影响了 DOM 成分分布^[17].

4 结论

生活污水向河道输入大量 C1、C2 和 C4, 直接改变河道 DOM 成分,在长期持续输入下可能引起厌氧发酵甚至黑臭,异养细菌内源代谢分解蛋白质,产生 C1 和 C4. 农业废水主要输入无机营养物质,促进自养细菌内源代谢产生 C2,间接改变河道 DOM 成分. 在降雨条件下,雨水径流导致的外源污染物输入造成河道 DOM 分布变化. 同时,水动力学对水体 DOM 有一定稀释作用,并且水力扰动会改变表层水与沉积物中的 DOM 分布.

参考文献:

- [1] 何杰, 朱学惠, 魏彬, 等. 基于 EEMs 与 UV-vis 分析苏州汛期景观河道中 DOM 光谱特性与来源[J]. 环境科学, 2021, **42**(4): 1889-1900.
He J, Zhu X H, Wei B, *et al.* Spectral characteristics and sources of dissolved organic matter from landscape river during flood season in Suzhou based on EEMs and UV-vis [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(4): 1889-1900.
- [2] 陈昭宇, 李思悦. 三峡库区城镇化影响下河流 DOM 光谱特征季节变化[J]. 环境科学, 2021, **42**(1): 195-203.
Chen Z Y, Li S Y. Seasonal variation of DOM spectral characteristics of rivers with different urbanization levels in the Three Gorges reservoir area[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(1): 195-203.
- [3] 周石磊, 张艺冉, 黄廷林, 等. 基于 UV-vis 及 EEMs 解析周村水库夏秋季降雨不同相对分子质量 DOM 的光谱特征及来源[J]. 环境科学, 2019, **40**(1): 172-184.
Zhou S L, Zhang Y R, Huang T L, *et al.* Spectral characteristics and sources of dissolved organic matter with different relative molecular weight from rainwater from summer and autumn in the Zhoucun reservoir based on UV-Vis and EEMs [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(1): 172-184.
- [4] 聂云汉, 陈浩, 李磊, 等. 城市雨水径流中溶解性有机物的分子化学多样性[J]. 环境科学, 2020, **41**(5): 2272-2280.
Nie Y H, Chen H, Li L, *et al.* Molecular chemo-diversity of the dissolved organic matter occurring in urban stormwater runoff[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(5): 2272-2280.
- [5] 崔兵, 高红杰, 郑昭佩, 等. 基于三维荧光和二维相关光谱的城市河流溶解性有机质组成及其空间分异特征[J]. 生态与农村环境学报, 2021, **37**(3): 369-377.
Cui B, Gao H J, Zheng Z P, *et al.* Applying EEM coupled with 2D-COS to character structural composition of DOM and its spatial variations in an urban river[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, **37**(3): 369-377.
- [6] Hosen J D, Mcdonough O T, Febria C M, *et al.* Dissolved organic matter quality and bioavailability changes across an urbanization gradient in headwater streams[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(14): 7817-7824.
- [7] 孙永利, 张维, 郑兴灿, 等. 城镇居民人均日生活污水污染物产生量测算之产污规律[J]. 中国给水排水, 2020, **36**(6): 1-6.
Sun Y L, Zhang W, Zheng X C, *et al.* Emission regularity of daily domestic sewage pollutant production of urban residents per capita[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, **36**(6): 1-6.
- [8] 张强. 黑臭水体形成原因及治理技术分析[J]. 资源节约与环保, 2021, (2): 107-108.
- [9] 李晓洁, 高红杰, 郭冀峰, 等. 三维荧光与平行因子研究黑臭河流 DOM[J]. 中国环境科学, 2018, **38**(1): 311-319.
Li X J, Gao H J, Guo J F, *et al.* Analyzing DOM in black and odorous water bodies using excitation-emission matrix fluorescence with PARAFAC[J]. *China Environmental Science*, 2018, **38**(1): 311-319.
- [10] Tang J F, Li X H, Cao C L, *et al.* Compositional variety of dissolved organic matter and its correlation with water quality in peri-urban and urban river watersheds[J]. *Ecological Indicators*, 2019, **104**: 459-469.
- [11] 李程遥, 黄廷林, 温成成, 等. 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[J]. 环境科学, 2021, **42**(3): 1391-1402.
Li C Y, Huang T L, Wen C C, *et al.* Influence of storm runoff on the spectral characteristics of dissolved organic matter (DOM) in a drinking water reservoir during the flood season [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(3): 1391-1402.
- [12] 徐宇婕, 龚玥敏, 毕军鹏, 等. 宁波市典型城市下垫面雨水径流污染特征解析[J]. 环境科学, 2020, **41**(7): 3275-3284.
Xu Y J, Gong Y M, Bi J P, *et al.* Analysis of rainwater runoff pollution characteristics of various typical underlying surfaces in Ningbo[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(7): 3275-3284.
- [13] Chen H, Wang Z N, Liu H, *et al.* Variable sediment methane production in response to different source-associated sewer sediment types and hydrological patterns; role of the sediment microbiome[J]. *Water Research*, 2021, **190**, doi: 10.1016/j.watres.2020.116670.
- [14] Liu Y C, Ye Q H, Huang W L, *et al.* Spectroscopic and molecular-level characteristics of dissolved organic matter in the Pearl River Estuary, South China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **710**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136307.
- [15] Zhang B L, Shan C, Hao Z N, *et al.* Transformation of dissolved organic matter during full-scale treatment of integrated chemical wastewater: molecular composition correlated with spectral indexes and acute toxicity [J]. *Water Research*, 2019, **157**: 472-482.
- [16] 宋嘉, 李怀恩, 李家科, 等. 丹江流域陕西段农业非点源污染负荷估算[J]. 中国农村水利水电, 2020, (11): 67-72.
Song J, Li H E, Li J K, *et al.* Load estimation of agricultural non-point source pollution in Shaanxi section of Danjiang River Basin[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2020, (11): 67-72.

- [17] Chen H, Liao Z L, Gu X Y, *et al.* Anthropogenic influences of paved runoff and sanitary sewage on the dissolved organic matter quality of wet weather overflows: an excitation-emission matrix parallel factor analysis assessment[J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, **51**(3): 1157-1167.
- [18] 王海丽, 刁俊睿, 钱文杰, 等. 东钱湖水体异养细菌的时空分布及其与环境影响因素和有机质的关系[J]. *生态科学*, 2020, **39**(1): 85-92.
Wang H L, Diao J R, Qian W J, *et al.* The spatial and temporal distribution of heterotrophic bacteria in Dongqian Lake and its relationship with the environmental factors and the organic matter [J]. *Ecological Science*, 2020, **39**(1): 85-92.
- [19] 乔煜琦, 江海洋, 李星, 等. 蓝藻水华暴发和衰亡对太湖有色可溶性有机物的影响[J]. *湖泊科学*, 2018, **30**(4): 907-915.
Qiao Y Q, Jiang H Y, Li X, *et al.* Impacts of cyanobacterial blooms outbreak and decline on chromophoric dissolved organic matter in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, **30**(4): 907-915.
- [20] Yang X, Yu X, Cheng J, *et al.* Impacts of land-use on surface waters at the watershed scale in southeastern China: Insight from fluorescence excitation-emission matrix and PARAFAC [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **627**: 647-657.
- [21] 闫晓寒, 韩璐, 文威, 等. 辽河保护区水体溶解性有机质空间分布与来源解析[J]. *环境科学学报*, 2021, **41**(4): 1419-1427.
- Yan X H, Han L, Wen W, *et al.* Spectral characteristics and spatial distribution of DOM in surface water of Liaohe reservation zone[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2021, **41**(4): 1419-1427.
- [22] Zhao Y, Song K S, Wen Z D, *et al.* Evaluation of CDOM sources and their links with water quality in the lakes of Northeast China using fluorescence spectroscopy[J]. *Journal of Hydrology*, 2017, **550**: 80-91.
- [23] 孙健, 曾磊, 贺珊珊, 等. 国内城市黑臭水体内源污染治理技术研究进展[J]. *净水技术*, 2020, **39**(2): 77-80, 97.
Sun J, Zeng L, He S S, *et al.* Research progress on internal pollution control technology for urban black and odorous water body at home [J]. *Water Purification Technology*, 2020, **39**(2): 77-80, 97.
- [24] 赵豆豆. 城市河道内源污染特征分析与研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.
Zhao D D. Analysis and research on internal pollution characteristics of urban river[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019.
- [25] Peter K T, Tian Z Y, Wu C, *et al.* Using high-resolution mass spectrometry to identify organic contaminants linked to urban stormwater mortality syndrome in coho salmon[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, **52**(18): 10317-10327.
- [26] Blaszcak J R, Delesantro J M, Zhong Y, *et al.* Watershed urban development controls on urban streamwater chemistry variability[J]. *Biogeochemistry*, 2019, **144**(1): 61-84.

环 境 科 学

CONTENTS

Disinfection By-products in Drinking Water and Their Control Strategies; A Review	CHU Wen-hai, XIAO Rong, DING Shun-ke, <i>et al.</i>	(5059)
Advances in Mechanism and Influencing Factors Affecting Hydrogen Sulfide Adsorption by Biochar	XU Qi-yong, LIANG Ming-shen, XU Wen-jun, <i>et al.</i>	(5086)
Effect of Vegetation Coverage on the Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} Concentration in China's Eight Major Economic Regions from 1998 to 2016	YANG Yu-lian, YANG Kun, LUO Yi, <i>et al.</i>	(5100)
Evolution and Potential Source Apportionment of Atmospheric Pollutants of Two Heavy Haze Episodes During the COVID-19 Lockdown in Beijing, China	ZHAO De-long, TIAN Ping, ZHOU Wei, <i>et al.</i>	(5109)
Characteristics and Origin Analysis of Air Pollution During the Spring Festival in Linfen, Fenwei Plain	LIU Wei-jie, HU Tian-peng, MAO Yao, <i>et al.</i>	(5122)
Spatio-Temporal Characteristics and Potential Source Areas of Seasonal Atmospheric Pollution in Shijiazhuang	NIE Sai-sai, WANG Shuai, CUI Jian-sheng, <i>et al.</i>	(5131)
Impact of Air Humidity on PM _{2.5} Mass Concentration and Visibility During Winter in Tianjin	DING Jing, TANG Ying-xiao, HAO Tian-yi, <i>et al.</i>	(5143)
Seasonal Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Species in PM _{2.5} in Chengde	HE Bo-wen, NIE Sai-sai, WANG Shuai, <i>et al.</i>	(5152)
Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Inventory from Domestic Sources in China	LIANG Xiao-ming, CHEN Lai-guo, SHEN Guo-feng, <i>et al.</i>	(5162)
Characteristics of Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China from 2011 to 2019	LIU Rui-yuan, ZHONG Mei-fang, ZHAO Xiao-ya, <i>et al.</i>	(5169)
VOCs Emission Inventory and Uncertainty Analysis of Industry in Qingdao Based on Latin Hypercube Sampling and Monte Carlo Method	XU Wan-ying, FU Fei, LÜ Jian-hua, <i>et al.</i>	(5180)
Emission Characteristics and Environment Impacts of VOCs from Typical Rubber Manufacture	WANG Hai-lin, XIN Guo-xing, ZHU Li-min, <i>et al.</i>	(5193)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Different Functional Zones of Shenyang, China	KU Ying-ying, REN Wan-hui, SU Cong-cong, <i>et al.</i>	(5201)
Characteristics of BTEX and Health Risk Assessment During Typical Pollution Episodes in Summer and Winter in Tianjin Urban Area	HAN Ting-ting, LI Ying-ruo, PU Wei-wei, <i>et al.</i>	(5210)
Atmospheric NH ₃ Emission Inventory and Analysis of the Driving Force in Zhengzhou City	JI Yao, WANG Chen, LU Xuan, <i>et al.</i>	(5220)
Interactive Effects of the Influencing Factors on the Changes of O ₃ Concentrations Based on GAMs Model in Chengdu	ZHANG Ying, NI Chang-jian, FENG Xin-yuan, <i>et al.</i>	(5228)
Spatial Variation Characteristics and Remote Sensing Retrieval of Total Suspended Matter in Surface Water of the Yangtze River	LI Jian-hong, HUANG Chang-chun, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(5239)
Spatial Distribution Characteristics of the Spectrum, Source Analysis, and Nitrogen Response of Dissolved Organic Matter in Summer Rainfall in the Hebei Province	ZHANG Zi-wei, ZHOU Shi-lei, CHEN Zhao-ying, <i>et al.</i>	(5250)
Distribution and Influencing Factors of DOM Components in Urban and Suburban Polluted Rivers	ZHU Yi, CHEN Hao, DING Guo-ping, <i>et al.</i>	(5264)
Composition and Distribution of Microplastics in the Water and Sediments of Urban Rivers in Beijing	HU Jia-min, ZUO Jian-e, LI Di, <i>et al.</i>	(5275)
Nontarget Screening and Ecological Risk Assessment of Polar Organic Pollutants in Surface Water on the West Bank of Taihu Lake	LU Xin-yan, WANG Fei, ZHANG Li-min, <i>et al.</i>	(5284)
Optimization of Extraction Methods and Distribution Characteristics of Antibiotics and Metabolites in Sediments of a River Water-Groundwater Interaction Zone	LI Yu-qiong, TONG Lei, YAN Han, <i>et al.</i>	(5294)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Desilting Demonstration Area in Baiyangdian Lake	WANG Tong-fei, ZHANG Wei-jun, LI Li-qing, <i>et al.</i>	(5303)
Dynamic Mechanisms of Groundwater Quality by Residual Contaminants of the Tanghe Wastewater Reservoir in Xiong'an New Area	ZHANG Zhi-xiong, WANG Shi-qin, ZHANG Yi-zhang, <i>et al.</i>	(5312)
Analysis and Prediction of Health Risk from Heavy Metals in Drinking Water Sources Based on Time Series Model	JI Chao, HOU Da-wei, XIE Li, <i>et al.</i>	(5322)
Spatial Distribution, Risk, and Influencing Factors of River Water-Sediment Heavy Metals in the Lower Reaches of the Qianhe River	GAO Yu, WANG Guo-lan, JIN Zi-han, <i>et al.</i>	(5333)
Spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake Basin During the Wet Season	HE Miao, LIU Gui-jian, WU Lei, <i>et al.</i>	(5346)
Impact of Enclosure Culture on Heavy Metal Content in Surface Sediments of Hongze Lake and Ecological Risk Assessment	ZI Xin-yuan, ZHANG Ming, GU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(5355)
Natural Water Chemistry Change in the Surface Water of Chengdu and Impact Factors	XU Qiu-jin, LAI Cheng-yue, DING Yao, <i>et al.</i>	(5364)
Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Groundwater in the Leizhou Peninsula	PENG Hong-xia, HOU Qing-qin, ZENG Min, <i>et al.</i>	(5375)
Land-based Nitrogen Pollution Source Structure and Spatial Distribution in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	DONG Si-qi, HUANG Chong, <i>et al.</i>	(5384)
Output Characteristics of Nitrogen and Phosphorus from Non-Point Source Pollution of Typical Land Use in a Micro-Watershed in Hilly Red Soil Region	FANG Zhi-da, SU Jing-jun, ZHAO Hong-tao, <i>et al.</i>	(5394)
Effects of Different Fertilization Patterns on Nitrogen Leaching Loss from Paddy Fields Under Reduced Nitrogen	JIANG Hai-bin, ZHANG Ke-qiang, ZOU Hong-tao, <i>et al.</i>	(5405)
Effects of <i>Spartina alterniflora</i> Invasion on Soil Phosphorus Forms in the Jiaozhou Bay Wetland	SHA Meng-qiao, CHAI Na, ZHAO Hong-tao, <i>et al.</i>	(5414)
Contrasting Analysis of Microbial Community Composition in the Water and Sediments of the North Canal Based on 16S rRNA High-Throughput Sequencing	PENG Ke, DONG Zhi, DI Yan-ming, <i>et al.</i>	(5424)
Characteristics of Phosphorus Adsorption in Aqueous Solution by Si-modified Peanut Shell Biochar	ZHAO Min, ZHANG Xiao-ping, WANG Liang-rong, <i>et al.</i>	(5433)
Adsorption Characteristics of Pb(II) on Eucalyptus Biochar Modified by Potassium Permanganate	MO Zhen-lin, ZENG Hong-hu, LIN Hua, <i>et al.</i>	(5440)
Preparation of Mixed Metal Oxide/Carbon Composites and Its Adsorption Performance for Pb(II)	LU Yu-shen, ZONG Li, YU Hui, <i>et al.</i>	(5450)
Fabrication of Supported Titanium Xerogel Adsorbent and Performance Evaluation for Arsenite Removal	SUN Ye-yang, ZHOU Chang, GAN Yong-hai, <i>et al.</i>	(5460)
Nitrite Regulation During Start-up of Combined Partial Nitrification and ANAMMOX Process	ZUO Fu-min, ZHENG Rui, SUI Qian-wen, <i>et al.</i>	(5472)
Effects of Biochar and Straw Return on Soil Aggregate and Organic Carbon on Purple Soil Dry Slope Land	DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, <i>et al.</i>	(5481)
Response of Soil Organic Carbon Content in Different Slope Positions to Fertilization Management in Purple Soil Sloping Fields	XU Man, YU Luo, WANG Fu-hua, <i>et al.</i>	(5491)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in the Eastern Mountainous Area of the Nanyang Basin	LAI Shu-ya, DONG Qiu-yao, SONG Chao, <i>et al.</i>	(5500)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Suburban Farmland Soil	ZHANG Xiu-xiu, LU Xiao-li, WEI Yu-chen, <i>et al.</i>	(5510)
Accumulation Characteristics and Dietary Exposure Estimation of Heavy Metals in Vegetables from the Eastern Coastal Region of China	SUN Shuai, GENG Ning-bo, GUO Cui-cui, <i>et al.</i>	(5519)
Security Risk and Influencing Factors of Agro-Products in Farmland Soil Around a Typical Mining Smelter	HUO Yan-hui, WANG Mei-e, XIE Tian, <i>et al.</i>	(5526)
Cd Pollution and Safe Planting Zoning in Paddy Soils: A Case Study in a District of Chongqing	CAO Shu-zhen, MU Yue, CUI Jing-xin, <i>et al.</i>	(5535)
Characteristics and Influencing Factors of Cadmium Accumulation in Different Rice Varieties Under Cadmium Contaminated Field Conditions	WANG Yu-hao, YANG Li, KANG Yu-chen, <i>et al.</i>	(5545)
Effects of Nano-membrane on Aerobic Composting Process and Odor Emission of Livestock Manure	LI Yong-shuang, SUN Bo, CHEN Ju-hong, <i>et al.</i>	(5554)