

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

PM_{2.5}污染对我国健康负担和经济损失的影响

李勇, 廖琴, 赵秀阁, 白云, 陶燕

PM_{2.5}

• 中风

PM_{2.5}控制目标
健康经济效益

• 冠心病

• 呼吸系统疾病

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年4月

第42卷 第4期
Vol.42 No.4

目次

京津冀及周边地区秋冬季大气污染物排放变化因素解析	唐倩, 郑博, 薛文博, 张强, 雷宇, 贺克斌 (1591)
珠江三角洲大气光化学氧化剂(O_3)与 $PM_{2.5}$ 复合超标污染特征及气象影响因素	颜丰华, 陈伟华, 常鸣, 王伟文, 刘永林, 钟部卿, 毛敬英, 杨士士, 王雪梅, 刘焯芳 (1600)
广州市臭氧污染溯源:基于拉格朗日光化学轨迹模型的案例分析	裴成磊, 牟江山, 张英南, 申恒青, 陈玉茹, 黄杰生, 丁浩然, 李成柳 (1615)
运城秋冬季大气细粒子化学组成特征及来源解析	赵清, 李杏茹, 王国选, 张兰, 杨阳, 刘永桥, 孙宁宁, 黄禹, 雷文凯, 刘新罡 (1626)
降雪后24 h内大气中多环芳烃的变化规律	范慧泽, 祝富杰, 胡鹏持, 马万里 (1636)
道路扬尘中 $PM_{2.5}$ 粒度乘数的测定方法及特征	李冬, 陈建华, 张月帆, 高忠阳, 高健, 张凯, 竹双 (1642)
铸造行业挥发性有机物排放成分谱及影响	高爽, 李时蓓, 伯鑫, 李厚宇, 舒木水, 谈默, 屈加豹, 雷团团 (1649)
燃煤电厂和垃圾焚烧电厂燃烧产物中卤代多环芳烃的赋存特征和毒性风险	倪秀峰, 王儒威, 蔡飞旋, 蔡家伟 (1660)
兰州市春季微生物气溶胶浓度、粒径及细菌群落结构分布特性	赵炜, 李杰, 谢慧娜, 张莉红, 王亚娥 (1668)
大气污染排放格局优化方法及案例	李敏辉, 廖程浩, 常树诚, 张永波, 杨柳林, 曾武涛 (1679)
$PM_{2.5}$ 污染对我国健康负担和经济损失的影响	李勇, 廖琴, 赵秀阁, 白云, 陶燕 (1688)
基于多同位素的不同土地利用区域水体硝酸盐源解析	金赞芳, 胡晶, 吴爱静, 李光耀, 张文辽, 李非里 (1696)
新疆叶尔羌河流域地表水水化学特征及控制因素	张杰, 周金龙, 曾妍妍, 涂治, 纪媛媛, 孙英, 雷米 (1706)
漓江流域水体中重金属污染特征及健康风险评价	黄宏伟, 肖河, 王敦球, 席北斗, 孙晓杰, 李洁月, 李向奎 (1714)
近20年来鄱阳湖流域泛滥平原沉积物微量元素含量与污染变化	李括, 杨柯, 彭敏, 刘飞, 杨峥, 赵传冬, 成杭新 (1724)
汾河流域浅层地下水水化学和氢氧稳定同位素特征及其指示意义	刘鑫, 向伟, 司炳成 (1739)
会仙岩溶湿地地下水主要离子特征及成因分析	李军, 邹胜章, 赵一, 赵瑞科, 党志文, 潘民强, 朱丹尼, 周长松 (1750)
贵州威宁草海流域地下水水化学特征及无机碳通量估算	曹星星, 吴攀, 杨诗笛, 刘闪, 廖家豪 (1761)
辽宁典型海域表层海水中在用化学农药浓度水平与潜在生态风险	杜静, 胡超魁, 解怀君, 田甲申, 李爱, 谢晴, 吴金浩, 宋伦 (1772)
辽河流域土壤中微(中)塑料的丰度、特征及潜在来源	韩丽花, 徐笠, 李巧玲, 陆安祥, 殷敬伟, 田佳宇 (1781)
津冀辽地区典型湖库沉积物PAHs污染特征及来源解析	吴鹏, 鲁逸人, 李慧, 郑天娇子, 程云轩, 焦立新 (1791)
环太湖河流及湖体中有有机磷酸酯的污染特征和风险评价	张文萍, 张振飞, 郭昌胜, 吕佳佩, 邓洋慧, 张恒, 徐建 (1801)
太湖表层水体典型抗生素时空分布和生态风险评价	丁剑楠, 刘舒娇, 邹杰明, 石溪哲, 邹华, 史红星 (1811)
淮河流域南四湖可挥发性有机物污染特征及风险评价	程云轩, 高秋生, 李捷, 李慧, 吴鹏, 焦立新 (1820)
三亚河沉积物PAHs和PCBs的分布、来源及风险评价	詹咏, 韦婷婷, 叶汇彬, 董滨, 张领军, 黄远东 (1830)
三峡库区非点源污染氮磷负荷时空变化及其来源解析	李明龙, 贾梦丹, 孙天成, 褚琳, 李朝霞 (1839)
反硝化细菌、硝酸钙和锆改性沸石联用对底泥中氮磷迁移转化的影响及硝态氮释放风险评估	辛慧敏, 李建伟, 詹艳慧 (1847)
锁磷剂联合好氧反硝化菌修复富营养化水体	李炳堂, 周志勤, Ravi Naidu, 胡智泉, 郭大滨, 陈嘉鑫 (1861)
太湖蓝藻胞内有机质的微生物降解	张巧颖, 孙伟, 杜瑛珣, 巩小丽 (1870)
青藏高原拉萨河流域附石藻类群落结构特征及其驱动因子分析	魏俊伟, 李鸿然, 汪兴中, 齐文华, 汪洋, 赵彬洁, 谭香, 张全发 (1879)
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	何杰, 朱学惠, 魏彬, 李学艳, 汤如涛, 林欣, 周飞, 司壮壮 (1889)
老化前后轮胎磨损微粒与聚氯乙烯微粒对抗生素的吸附-解吸行为	范秀磊, 邹峰峰, 刘加强, 李莹, 刘强, 侯俊 (1901)
磁性铁基改性生物炭去除水中氨氮	王芳君, 桑倩倩, 邓颖, 赵元添, 杨娅, 陈永志, 马娟 (1913)
城市污水处理厂进水氨氧化菌对活性污泥系统的季节性影响	于莉芳, 汪宇, 滑思思, 李韧, 张兴秀, 惠晓飞 (1923)
基于粒径分化的厌氧氨氧化污泥性能与微生物多样性分析	王晓瞳, 杨宏 (1930)
ClO_2 消毒工艺对污水处理厂出水超级耐药基因的影响	程春燕, 李海北, 梁永兵, 师丹阳, 陈郑珊, 杨栋, 焦巧瑞, 邵一帆, 李君文, 金敏 (1939)
微塑料PES与2,4-DCP复合污染对厌氧污泥胞外聚合物与微生物群落的影响	林旭萌, 宿程远, 吴淑敏, 黄嫒, 邓雪, 林香凤, 黄尊, 魏佳林 (1946)
城镇污水处理厂污泥泥质监测及资源化风险评价	李娟, 李金香, 杨妍妍 (1956)
气候变暖对冻结期黑土碳氮循环关键过程及指标的影响	王子龙, 刘传兴, 姜秋香, 李世强, 柴迅 (1967)
沼液秸秆联用对滨海围垦田土壤重金属迁移及形态变化的影响	王伟, 周珺楠, 汤逸帆, 申建华, 韩建刚 (1979)
地块尺度城市土地质量地球化学调查方法:以雄安新区起步区为例	周亚龙, 郭志娟, 刘飞, 韩伟, 孔牧, 赵传冬, 刘爱涛, 彭敏, 王乔林, 王成文 (1989)
雄安新区农田土壤-农作物系统重金属潜在生态风险评估及其源解析	周亚龙, 杨志斌, 王乔林, 王成文, 刘飞, 宋云涛, 郭志娟 (2003)
地质背景农田土壤下不同水稻品种对Cd的累积特征及影响因素	代子雯, 方成, 孙斌, 魏志敏, 胡锋, 李辉信, 徐莉 (2016)
不同外源硒对镉污染土壤中小白菜生长及镉吸收的影响	刘杨, 齐明星, 王敏, 刘娜娜, Pornpimol Kleawsampanjai, 周菲, 翟辉, 王梦柯, 任蕊, 梁东丽 (2024)
影响不同农作物镉富集系数的土壤因素	陈洁, 王娟, 王怡雯, 姚启星, 苏德纯 (2031)
Cd胁迫下不同外源植物激素对水稻幼苗抗氧化系统及Cd吸收积累的影响	张盛楠, 黄益宗, 李颜, 保琼莉, 黄永春 (2040)
不同有机物料对水稻根表铁膜及砷镉吸收转运的影响	李开叶, 赵婷婷, 陈佳, 赵秀兰 (2047)
铜尾矿坝及其周边土壤真菌群落结构与功能多样性	陈建文, 张红, 李君剑, 刘勇 (2056)
微生物群落驱动AM真菌、生物炭及联合改良沙化土壤作用潜力	张哲超, 杨久扬, 郝百惠, 郝利君, 罗俊清, 李雪, 刁风伟, 张璟霞, 郭伟 (2066)
动物粪便施肥措施促进耐药基因在粪便-土壤-蔬菜之间的散播	张红娜, 董梦洁, 周玉法, 孙佳欣, 常美洁, 翟真真 (2080)
区域水生态文明建设绩效评价及障碍诊断模型的建立与应用	万炳彤, 鲍学英, 赵建昌, 李爱春 (2089)
《环境科学》征订启事(1738) 《环境科学》征稿简则(1790) 信息(1860, 1878, 1900)	

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

何杰^{1,2}, 朱学惠³, 魏彬⁴, 李学艳^{1,2*}, 汤如涛^{1,2}, 林欣^{1,2}, 周飞^{1,2}, 司壮壮^{1,2}

(1. 苏州科技大学环境科学与工程学院, 苏州 215009; 2. 苏州科技大学环境生物技术研究, 苏州 215009; 3. 江苏省优联检测技术服务有限公司, 苏州 215300; 4. 苏州市宏宇环境科技股份有限公司, 苏州 215011)

摘要: 为探究汛期连续强降雨对苏州景观河道中溶解性有机物的影响, 应用三维荧光光谱 (EEMs) 结合平行因子分析 (PARAFAC) 和紫外-可见吸收光谱 (UV-vis) 技术, 分析了汛期不同时期苏州景观河道中溶解性有机物的光谱特性和来源。结果表明, 整个汛期时期水体中共有 4 种溶解性有机物 (DOM) 荧光组分, 包括 2 种腐殖质组分 (C1 和 C4) 和 2 种蛋白质组分 (C2 和 C3), 相关性分析表明荧光组分 C2、C3 和 C4 之间存在显著相关性。汛期初期时受初期雨水影响, 河道中 DOM 的总荧光强度较强, 而在汛期中期和后期, DOM 的荧光强度显著降低。荧光特征参数表明, 在汛期初期时 DOM 的内源性特征显著, 到中期时陆源性显著, 到后期又以内源占主导。整个汛期 $SUVA_{254}$ 、 $SUVA_{260}$ 和 E2/E3 都呈现相同趋势, 先降低而后升高。受汛期连续强降雨的影响, 河道中氮磷营养盐含量增加, 但在汛期较强的水动力条件下, 藻类并未大量增殖, 直到汛期结束后藻类开始大量增殖。荧光组分 C2、C3 和 C4 与特征参数 (FI、HIX、BIX 和 β/α) 有显著相关性 ($P < 0.01$), 所有荧光组分与 DOC 均有显著相关性 ($P < 0.05$), 荧光组分 C1 与叶绿素 a (Chla) 有显著相关性。主成分 (PCA) 分析表明汛期不同时期河道中 DOM 组分差异显著, 汛期连续强降雨对水体中 C2、C3 和 C4 组分含量影响显著。

关键词: 溶解性有机物 (DOM); 汛期; 三维荧光光谱 (EEMs); 平行因子分析; 紫外-可见光谱

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)04-1889-12 DOI: 10.13227/j.hjxx.202009087

Spectral Characteristics and Sources of Dissolved Organic Matter from Landscape River During Flood Season in Suzhou Based on EEMs and UV-vis

HE Jie^{1,2}, ZHU Xue-hui³, WEI Bin⁴, LI Xue-yan^{1,2*}, TANG Ru-tao^{1,2}, LIN Xin^{1,2}, ZHOU Fei^{1,2}, SHI Zhuang-zhuang^{1,2}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 2. Environment Biotechnology Research Institute, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 3. Jiangsu Universum Testing Technology Service Co. Ltd., Suzhou 215300, China; 4. Suzhou Hongyu Environmental Technology Co. Ltd., Suzhou 215011, China)

Abstract: Based on excitation emission matrix spectroscopy (EEMs) technology combined with the parallel factor analysis (PARAFAC) and UV-vis spectra, the spectral characteristics and sources of dissolved organic matter (DOM) from a landscape river were analyzed during different periods of the flood season in Suzhou. Four fluorescent components were identified using the PARAFAC model, including two humus-like components (C1, C4) and two protein-like components (C2, C3), with a significant correlation coefficient ($P < 0.01$) in C2 and C3/C4 and C3 and C4, respectively. During the early flood season, the total fluorescence intensity of the DOM in the river was relatively higher due to the influence of initial rainwater but reduced significantly towards the middle and late flood season. The fluorescence characteristic parameters indicated that the autochthonous contribution of DOM were substantial during the early stages of the flood season. On the contrary, there were increased levels of DOM largely from terrestrial origins during the middle flooding period. During the entire flood season, $SUVA_{254}$, $SUVA_{260}$, and E2/E3 exhibited the same trend, that is, decreasing first and then increasing. As a result of the continuous heavy rainfall during the flood season, the nitrogen and phosphorus nutrient content in the channel increased. The algae population did not proliferate in large quantities because of the strong hydrodynamic conditions experienced throughout the flood season. The fluorescence components C2, C3, and C4 exhibited a significant correlation coefficient ($P < 0.01$) with the characteristic parameters (FI, HIX, BIX, and β/α). All the fluorescence components had a high correlation ($P < 0.05$) with DOC. There was a considerable correlation between fluorescence component C1 and Chla. The principal component analysis revealed that the DOM components in the landscape river during different periods of the flood season exhibited notable differences, and the continuous heavy rainfall during the flood season has a substantial influence on the content of C2, C3, and C4 components in the water body.

Key words: dissolved organic matter (DOM); flood season; excitation emission matrix spectroscopy (EEMs); parallel factor analysis; UV-vis spectrum

收稿日期: 2020-09-09; 修订日期: 2020-10-09

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2017ZX07205003)

作者简介: 何杰 (1995 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为地表水污染修复技术, E-mail: hj1216756742@163.com

* 通信作者, E-mail: lxyhit@sina.com

证对模型进行检验^[13]。

1.3 紫外可见吸收光谱的测定

紫外可见光谱采用 UVmini-1280 紫外可见分光光度计进行测定,使用 Milli-Q 超纯水作为空白样,使用 1cm 的石英比色皿在 200 ~ 800 nm 范围内进行光谱扫描,测定样品的吸光度。具体的吸收系数按下式计算^[20]:

$$a_{\lambda} = 2.303 \text{Abs}_{\lambda} / L$$

式中, L 为比色皿的光路通径,取值 1 cm。 a_{λ} 为吸收系数值, m^{-1} , Abs_{λ} 为吸光度的值,通常为了消除仪器的噪声,扣除 700 ~ 800 nm 之间吸光度的均值。

1.4 其他指标的测定

氨氮和总磷根据水和废水监测分析方法进行测定^[21]。Chla 利用藻类荧光测定仪进行测定。总有机碳(DOC)和溶解性总氮(DTN)则利用 Multi NC3100 型 TOC 测定仪进行测定。

1.5 数据分析

利用 SPSS(24.0) 软件对数据进行统计分析,对 DOM 的各荧光组分与荧光指标、吸光指标及环境因子进行皮尔逊相关性分析和主成分分析,并利用成对均值 t 检验分析汛期不同时期样品中 DOM 的差异。利用 Origin 2020b 软件对相关图形进行绘制。

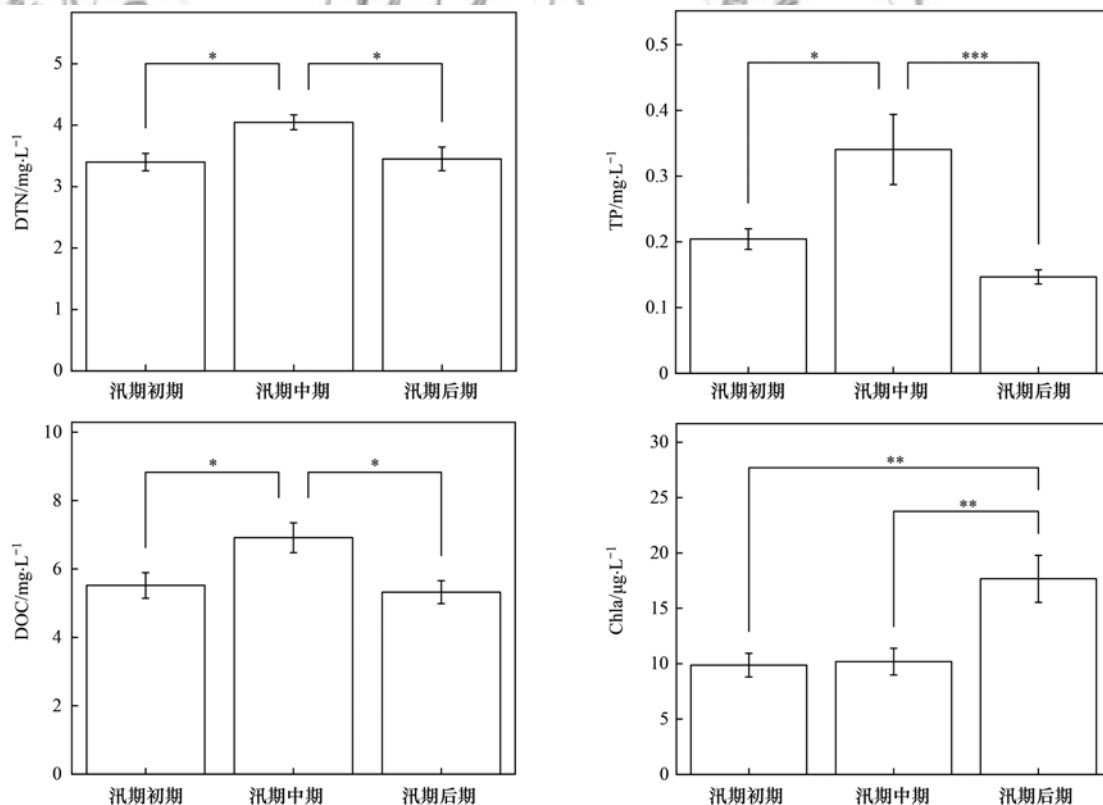
2 结果与讨论

2.1 水质分析

对汛期不同时期的常规水质指标进行分析,结果如图 2 所示。在 DOC、TP 和 DTN 指标上,汛期初期和后期的值与汛期中期的数值有着显著的差异 ($P < 0.05$),都呈现着在中期时数值增高,到后期再降低的趋势。而 Chla 的变化趋势却是在汛期初期和中期时没有显著差异,但在汛期后期 Chla 的值与初期和中期有了显著差异 ($P < 0.01$),中期时 Chla 的值为 $(10.185 \pm 1.19) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,在后期时上升到 $(17.66 \pm 2.12) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,而氮磷营养盐含量在后期时显著减少。中期氮磷营养盐含量相对较高,但中期 Chla 却没有显著增加,可能是受汛期时水动力强的缘故。Acuña 等^[22] 在研究南美河流时也指出,水流流速缓慢能促进藻类繁殖生长,而流速高会抑制悬浮藻类生长。汛期后期 Chla 显著增加可能是汛期后期降雨量减小,河流水动力条件减弱,使水中藻类繁殖增长。

2.2 三维荧光光谱图分析

在 22 个采样点中选出 3 个河道,分别为沧浪亭桥、华阳桥和中市桥。分析其在汛期不同时期河道中 DOM 的荧光特性。根据 He 等^[23] 提出的 ACSTDB 三



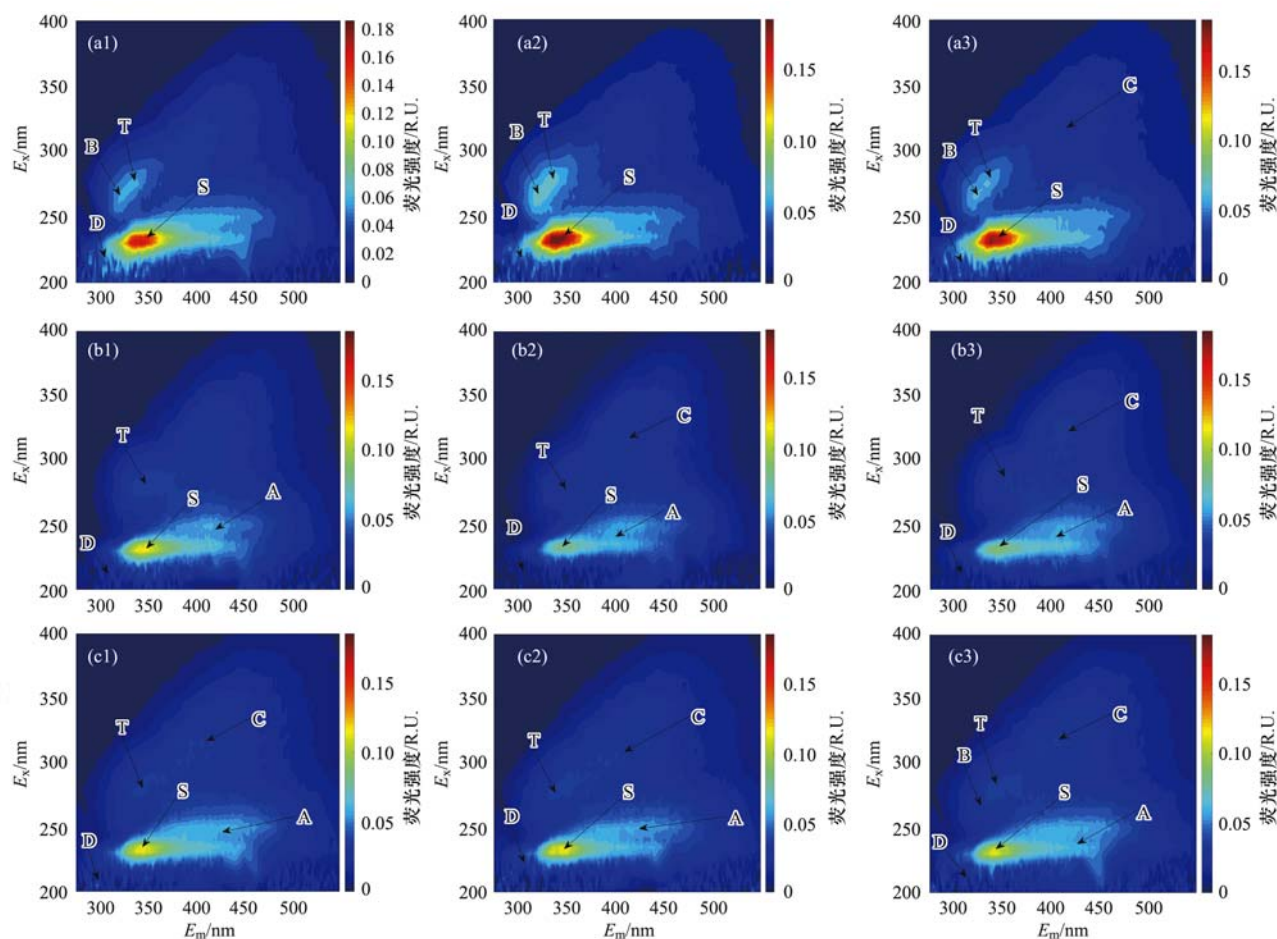
* 表示为 $P < 0.05$, ** 表示为 $P < 0.01$, *** 表示为 $P < 0.001$

图 2 汛期不同时间段景观河道的水质特性

Fig. 2 Water quality characteristics of landscape channel in different periods of flood season

维荧光峰对河道 DOM 三维荧光光谱图进行识峰,如图 3(a) 为汛期初期时河道中 DOM 的三维荧光光谱图,其中低激发色氨酸 S 有较弱的荧光峰,高激发酪氨酸 B 和高激发色氨酸 T 均有明显的荧光峰,而在富里酸类区域内没有明显的荧光 A 峰,但是有着较强的次强峰和荧光肩峰. 图 3(b) 和图 3(c) 为汛期中期和后期时河道中 DOM 的荧光光谱图,可以看出

在汛期雨水冲刷的影响下,相对于初期,河道中 DOM 的含量降低,高激发类酪氨酸 B 峰消失, S、T 和 D 峰的荧光强度均有了明显的降低,而类腐殖质的荧光峰 A 和 C 的荧光强度变化程度较小. 而在图 3(b) 和图 3(c) 的比较中发现,汛期后期各荧光峰的荧光强度相对于中期均有所增加,以 S 峰和 A 峰较为明显.



(a1) 汛期初-沧浪亭桥, (a2) 汛期初-华阳桥, (a3) 汛期初-中市桥, (b1) 汛期中-沧浪亭桥, (b2) 汛期中-华阳桥, (b3) 汛期中-中市桥, (c1) 汛期后-沧浪亭桥, (c2) 汛期后-华阳桥, (c3) 汛期后-中市桥

图 3 典型河道在不同时期 DOM 的三维荧光光谱图

Fig. 3 Three-dimensional fluorescence spectra of DOM in a typical channel during different times

2.3 汛期不同时期 DOM 的荧光组分分析

利用 PARAFAC 分析方法对汛期不同时期河道中 DOM 的荧光数据进行深入分析,通过 PARAFAC 分析后会得到组分数量不同的多个模型,为了使得出的模型组分更好地反映真实谱图,通常需要进行平方误差和与核心一致检验. 如图 4,当组分数从 3 增加到 4 时残差已大幅度降低,而且随着组分数增多,残差变化不大. 在核心一致性比较中,组分数增加到 5 时,核心一致性由 70.21% 降为 31.97%,模型与真实数据相差较大. 综合考虑 4 组分模型最为合适.

汛期不同时期河道水体中 DOM 的荧光组分

如图 5 所示,4 种组分中,有两种类蛋白质组分 (C2 和 C3) 和两种类腐殖质组分 (C1 和 C4). 本研究中的组分和其他研究中组分对比及组分性质见表 1. 组分 C1 最大激发、发射波长为 235 (315) nm/399 nm,陆源类腐殖质,具有较强生物不稳定性. 而组分 C2 最大激发、发射波长为 230 (280) nm/343 nm,低激发类色氨酸类物质,可能来源于藻华和污水,组分 C3 最大激发、发射波长为 230 (275) nm/319 nm,酪氨酸类物质 (B、D 峰),易发生光降解. 组分 C4 最大激发、发射波长为 240 (350) nm/459 nm, UVA 类腐殖质,广泛存在于各种环境中.

表 1 景观河道 DOM 中 4 个荧光组分特征

Table 1 Characteristics of four fluorescence components DOM in the landscape river			
组分	本研究中比值(E_x/E_m)/nm	其他研究中比值(E_x/E_m)/nm	组分描述
C1	235(315)/399	241(307)/398 ^[24] ; 307/415 ^[25]	陆源类腐殖质
C2	230(280)/343	230(280)/343 ^[26] ; 282/338 ^[27]	自源类色氨酸类物质
C3	230(275)/319	231(280)/339 ^[24] ; 278/316 ^[25]	酪氨酸类, D、B 峰
C4	240(350)/459	240(346)/456 ^[24] ; 341/463 ^[28]	UVA 类腐殖质, 陆源

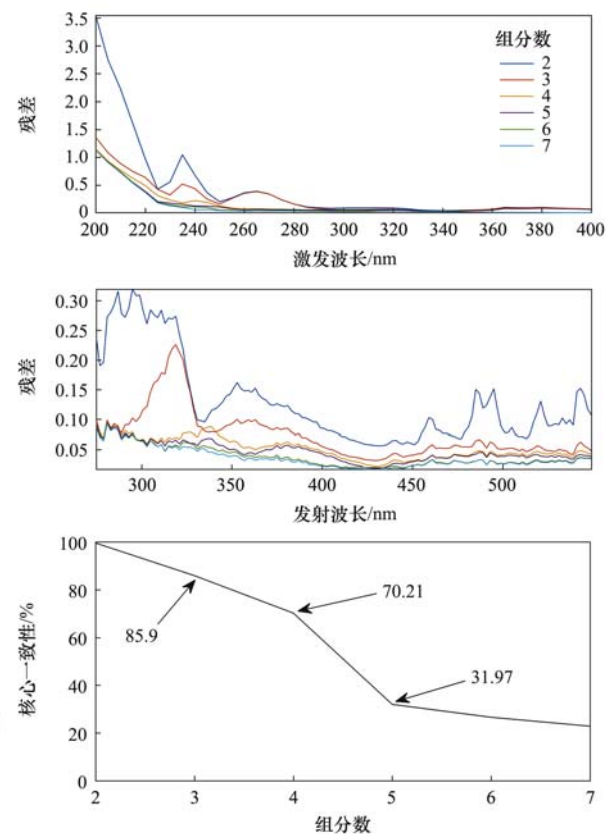


图 4 汛期不同时期 DOM 荧光组分提取的核心一致性检验与平方误差

Fig. 4 Core consistency test and square error sum for extraction of fluorescent components of DOM in different periods of flood season

2.4 DOM 的荧光含量与百分占比分析

汛期不同时期 DOM 的荧光组分的荧光强度与百分含量占比如图 6 所示,在汛期初期,DOM 的总荧光强度为(0.38±0.16) R. U.,荧光强度较高;而随着汛期降雨的持续,河道中 DOM 的荧光强度发生了显著地降低,汛期中期时,DOM 的总荧光强度为(0.20±0.052) R. U.,到汛期后期时,降雨强度减弱,逐渐停止,此时 DOM 的总荧光强度为(0.21±0.022) R. U.,DOM 的荧光强度相对于中期有稍微增加,但不显著.可能受初期雨水径流的影响,初期雨水会将城市管网中的沉积物冲刷进水体,而管网沉积物中含有大量类蛋白类 DOM,能为异养微生物提供大量能源^[29],所以初期时 DOM 的荧光强度高.对比水质分析图 2,DOC 中期时含量显著高于初期和后期,可此时 DOM 的蛋白类荧光峰 S 的荧光强度

与初期相比显著降低,可能是由于初期带入河道中的 DOM 在长期降雨作用下被稀释和随水流迁移,而河道周边土壤中的 DOM 在降雨作用下随地下径流进入水体,相对于地表径流,地下径流 DOC 峰值会出现滞后,而且土壤中 DOM 组分主要为类腐殖质^[30].

各采样点周边环境状况存在差异,其河道水体中 DOM 荧光强度标准偏差较大,自由村附近的居民较少,但存在工业企业,农业用地情况.而古城区范围内人口密集,主要为居住区.不同样点水体中 DOM 荧光强度的差异可能与周边土地利用状况不同有关,土地利用状况不同会对水体水质产生显著影响,对水体中 DOM 的结构变化会起到推动作用^[31].而在汛期中期及后期荧光强度的标准偏差显著变小,可能是由于连续降雨,促进了景观河道的水动力条件,使河道中的有机物易于发生迁移混合.

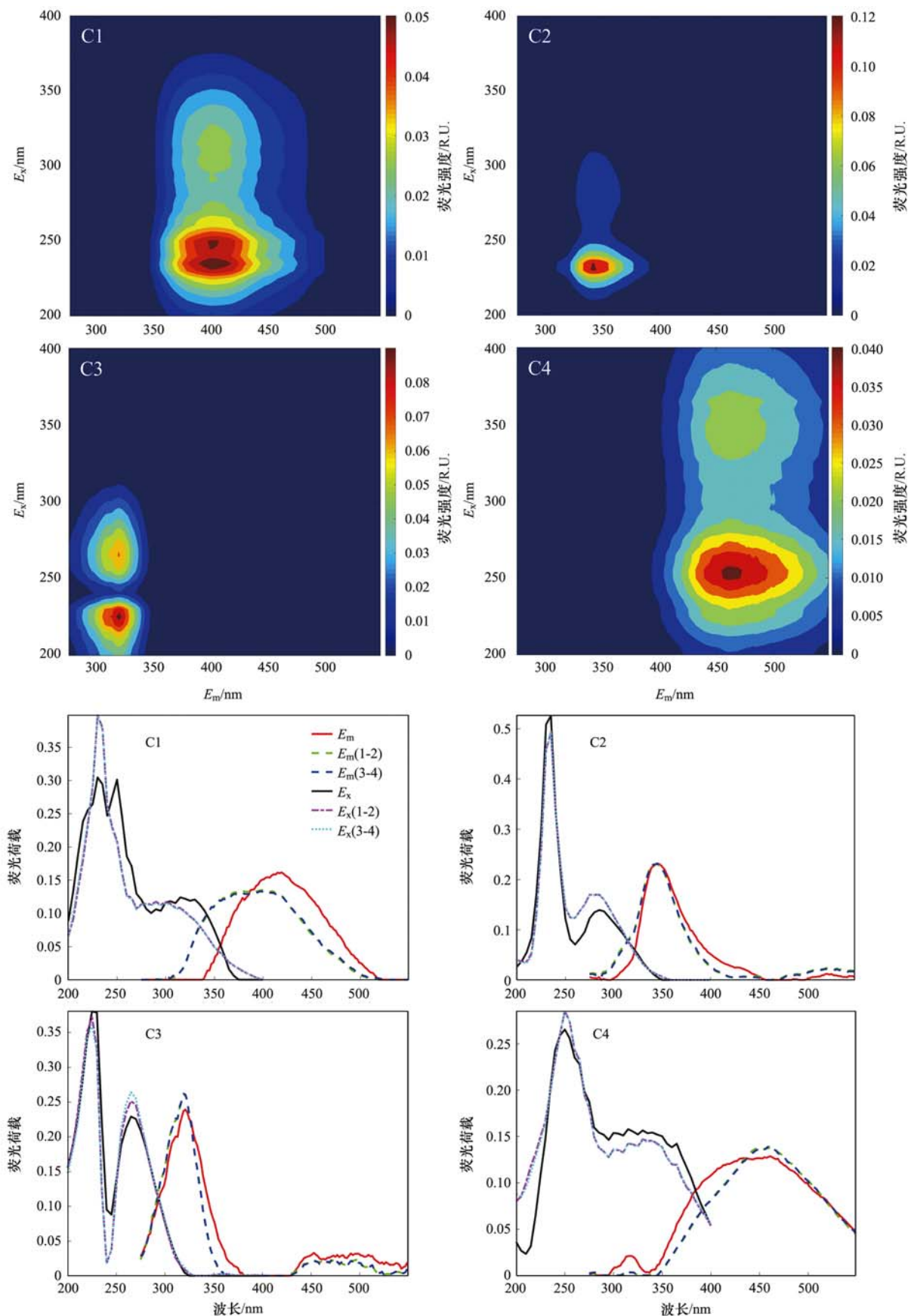
由于连续降雨,汛期不同时期各荧光组分的百分占比发生变化.在汛期初期,河道 DOM 中类腐殖质组分 C1 + C4 的百分占比为 27.97% ± 3.52%,类蛋白组分 C2 + C3 占比为 72.02% ± 3.51%.而到汛期中期时,类腐殖质组分占比显著提升,达到 43.3% ± 3.71%,类蛋白质占比为 56.69% ± 3.71%,两者之间的占比接近 50%.而到汛期后期,类蛋白质类物质的占比又逐渐回升,达到 57.74% ± 5.16%,类腐殖质占比为 42.25% ± 5.16%.

通过对整个汛期时期河道水体中 DOM 的荧光组分进行相关性分析,研究各组分之间的相互关系.如表 2 所示,皮尔逊相关性分析表明,类色氨酸类 C2、类酪氨酸 C3 和 UVA 类腐殖质 C4 这 3 个组分之间相互存在显著相关性($P < 0.01$),说明汛期时期这些荧光组组分有着相似的来源.类腐殖质 C1 与其他组分不相关,可能与其他组分有着不同的来源.

表 2 DOM 的 4 个荧光组分的相关性分析¹⁾

Table 2 Correlation analysis of four fluorescence components of DOM				
	C1	C2	C3	C4
C1	1	-0.139	-0.131	-0.165
C2		1	0.948 **	0.485 **
C3			1	0.560 **
C4				1

1) *表示在 0.05 级别显著相关(双尾), **在 0.01 级别显著相关(双尾),相关性显著,下同



其中 1-2 和 3-4 为随机的两次分半验证

图 5 PARAFAC 解析出的 4 种荧光组分及其分半验证

Fig. 5 Four fluorescence components extracted by PARAFAC and their half-proof diagrams

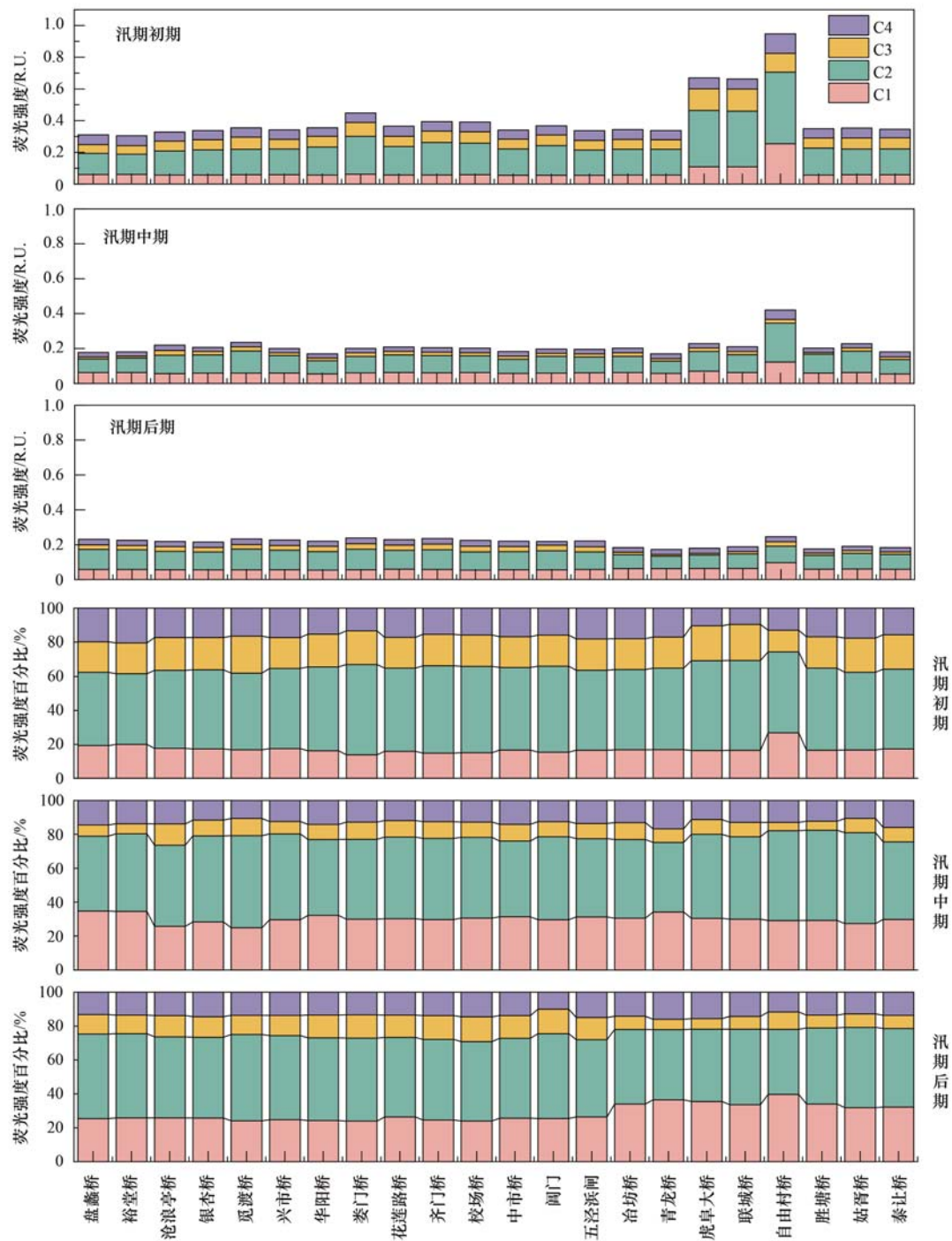


图 6 汛期不同时期 22 个采样点 DOM 的荧光组分强度及百分比

Fig. 6 Fluorescence component intensity and percentage of DOM at 22 sampling points in different periods of flood season

2.5 DOM 的荧光光谱指标分析

为了进一步分析汛期河道水体中 DOM 的光谱特性,本研究对 DOM 的荧光指标进行分析,具体的分析情况如图 7 所示.生物源指标 BIX 是 $E_x = 310$ nm 时, E_m 为 380 与 430 nm 处的荧光强度比值,当 BIX 的值在 0.6 ~ 0.8 之间时,表示 DOM 的内源贡献较少,陆源贡献较多,当值为 0.8 ~ 1.0 时,说明 DOM 的来源介于内外源之间,而当值大于 1 时,表明 DOM 主要为内源贡献^[32].如图 7(a),在本研究中汛期初期 BIX 较高,其值为 1.03 ± 0.055 ,DOM 主

要是内源贡献,而到了中期时降低到了 0.95 ± 0.045 ,DOM 受内外源双重影响,在汛期后,BIX 值又发生回升,其值为 1.03 ± 0.06 ,此时 DOM 的内源影响再次占据主导.

荧光指数 FI 是激发波长 $E_x = 370$ nm 时,发射波长 E_m 为 450 与 500 nm 处的荧光强度比值,用以表示 DOM 中腐殖质的来源情况^[33].当 $FI < 1.2$ 时,说明以外源输入为主, $1.2 < FI < 1.8$ 时,说明受到内外源双重影响, $FI > 1.8$ 时,主要以内源为主.如图 7(b),汛期初期时,FI 值 1.44 ± 0.06 ,受内外源

影响,更偏向于外源,而到了汛期中期时,FI 值为 1.74 ± 0.087 ,此时内源的影响更大,到汛期后期时 FI 值降到 1.54 ± 0.133 ,受内外源双重影响,而且各采样点之间偏差相对较大。

腐殖化指数 HIX 可以用来反映 DOM 的腐殖化程度,当 HIX 值小于 3 时,表明水体的腐殖化程度较弱,自生源特征明显^[34]。如图 7(b),在本研究中汛期初期、中期和后期的 HIX 值分别为 1.3 ± 0.64 、 2.99 ± 0.56 和 2.45 ± 0.58 。总的来看,各个时期的 HIX 值均较小,河道水体的腐殖化程度较弱,汛期初期时相对其他时期腐殖化程度更弱一些。新鲜度指数($\beta:\alpha$)所反映的是新产生的 DOM 在整体 DOM 中

所占的比例^[33]。如图 7(c),汛期初期时 $\beta:\alpha$ 最大,达到 0.97 ± 0.07 ,汛期中期时 $\beta:\alpha$ 最小,为 0.88 ± 0.03 ,到汛期后期后, $\beta:\alpha$ 值回升到 0.96 ± 0.05 。中期时新产生的 DOM 比例相对较低。

综上,在汛期初期时,受初期雨水影响,陆源 DOM 随雨水径流进入河道,而其中易生物降解部分 DOM 被微生物利用,微生物活动加剧,使河道中内源 DOM 增多,新产生的 DOM 比例增大。而到中期后,由于连续强降雨的稀释作用和较强的水动力条件,DOM 的内源输入减弱。到后期时,降雨逐渐停止,藻类开始大量增殖,由浮游植物产生的内源 DOM 输入增强。

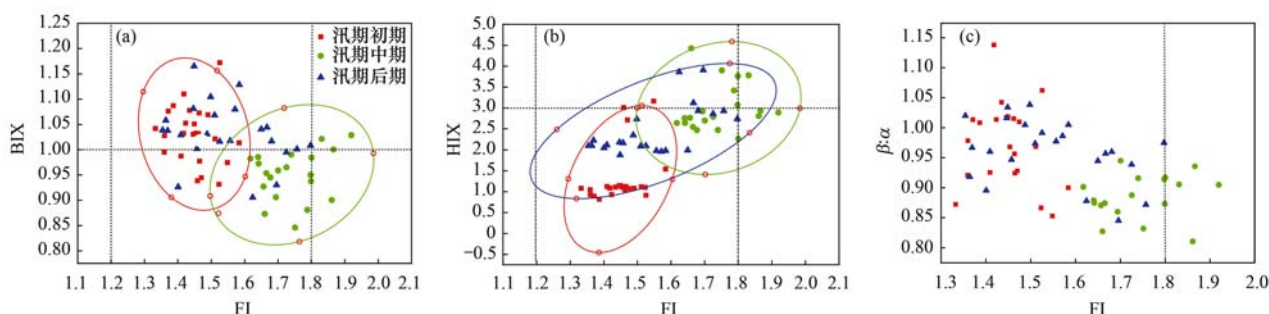


图 7 汛期时期景观河道 DOM 的 FI-BIX、FI-HIX 和 FI- $\beta:\alpha$ 分布

Fig. 7 FI-BIX, FI-HIX, and FI- $\beta:\alpha$ distributions of DOM in the landscape river during flood season

2.6 DOM 的紫外可见吸收光谱分析

DOM 是含有共轭体系的一系列有机混合物,其水溶液在吸收光谱紫外区有着较强的吸收信号。本研究中以吸收系数 a_{254} 表示 DOM 的相对含量。如图 8(a) 和图 8(b) 所示,汛期不同时期 a_{254} 没有显著差异,而在汛期后期 a_{254} 值相对较高,DOM 中不饱和共轭组分增多。SUVA₂₅₄ (a_{254}/DOC) 和 SUVA₂₆₀ (a_{260}/DOC) 分别用来表示 DOM 芳香性的强弱和 DOM 中疏水性组分的含量^[35,36]。SUVA₂₅₄ 和 SUVA₂₆₀ 在整个汛期过程中均是先降低然后升高,有着相同的变化趋势,而在汛期后期 SUVA₂₅₄ 值与汛期初期和后期有着显著的差异 ($P < 0.001$),在汛期连续降雨结束后 DOM 的芳香性显著增强。但 DOM 的疏水性组分含量在不同时期没有显著的差异性。E2/E3 表示的是在 254 nm 和 365 nm 处吸光度的比值,当 E2/E3 小于 3.5 时,DOM 中的成分以相对分子质量较大的有机质为主,胡敏素的含量高于富里酸的含量;而当 E2/E3 > 3.5 时,DOM 中的成分以相对分子质量较小的有机质为主,富里酸的含量大于胡敏素的含量^[37]。图 8(c) 所示,汛期中期的 E2/E3 相对较低,与初期和后期 E2/E3 相比有显著差异 ($P < 0.01$),但各个时期的 E2/E3 值均较大,河道中 DOM 主要以分子量较小的物质为主。 S_r 可以用来表示 DOM 来源情况, $S_r > 1$,说明主要为生物源, $S_r < 1$,说明较

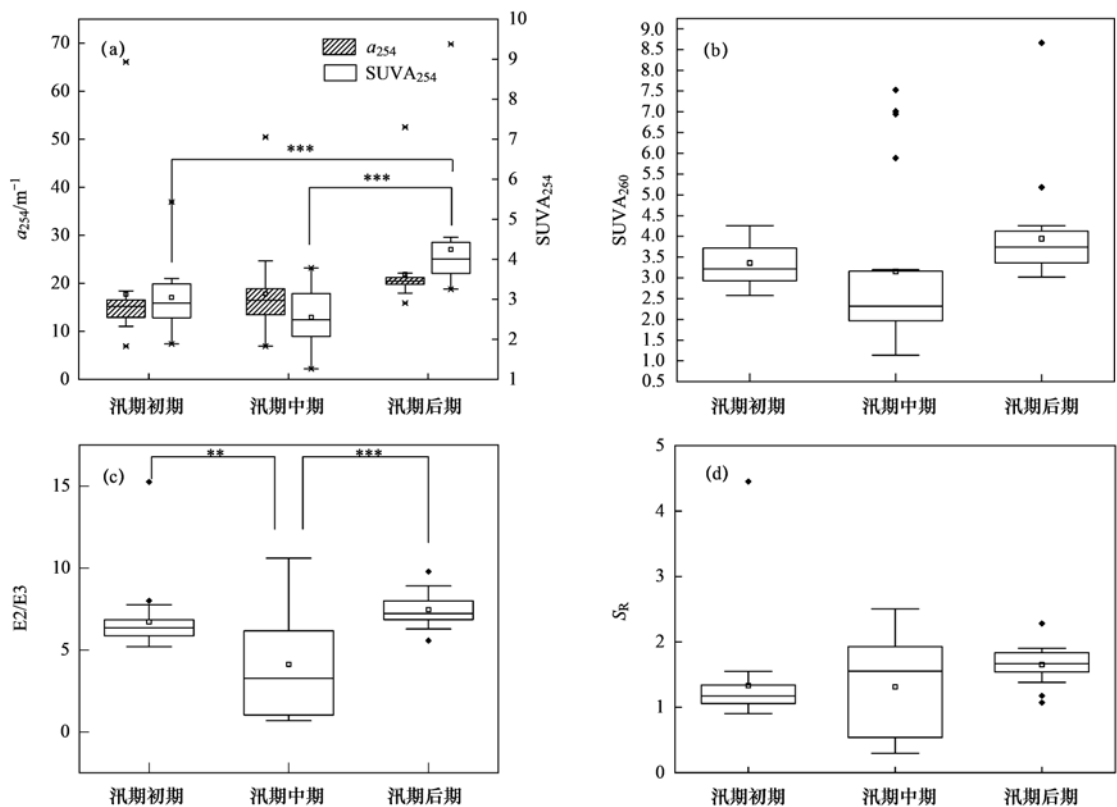
多高分子量、芳香性强的维管类陆源 DOM 输入^[38]。图 8(d) 中,汛期初期和后期 S_r 都大于 1,DOM 主要为生物源输入,汛期中期 S_r 为 1.31 ± 0.69 ,DOM 输入中既有陆源也有生物源影响,其相对偏差较大,可能是受到连续强降雨带入土壤中高分子量的陆源腐殖质的影响, S_r 反映的结果与荧光指标 BIX 反映的结果一致。

2.7 DOM 与环境因子的相关分析

本研究通过对汛期不同时期的河道水体样本进行相关性分析和主成分分析,探究 DOM 组分与环境因子的关系。

如表 3 所示,组分 C1 与 DOC 和 Chla 显著相关 ($P < 0.01$),说明组分 C1 可能对水体藻类的增殖有重要的影响,组分 C2 和 C3 与 DOC 和 DTN 显著负相关 ($P < 0.05$),而组分 C4 与 DOC 和氨氮显著负相关 ($P < 0.05$)。C2 和 C3 组分被微生物降解释放出营养盐,DOC 含量减少,C1 组分因为降雨随陆源持续输入,因此跟 DOC 呈正相关。所以出现图 2 中氮磷营养盐中期含量高,而在图 3 中汛期中期 DOM 荧光强度显著降低的现象。组分 C2、C3 和 C4 与 FI 和 HIX 呈显著负相关 ($P < 0.01$),与 BIX 和 $\beta:\alpha$ 呈显著正相关 ($P < 0.01$)。组分 C4 与 SUVA₂₅₄ 呈显著正相关 ($P < 0.05$)。

表 4 是汛期时期苏州景观河道中 DOM 组分与



* 表示为 $P < 0.05$, ** 表示为 $P < 0.01$, *** 表示为 $P < 0.001$

图 8 汛期不同时期 DOM 的紫外可见吸收光谱指标

Fig. 8 UV-vis absorption spectrum of DOM in different periods of flood season

表 3 DOM 组分与特征参数及水质指标的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of DOM components, characteristic parameters, and water quality indicators

组分	FI	HIX	BIX	$\beta^{\circ}\alpha$	SUVA ₂₅₄	DOC	DTN	TP	Chla	氨氮
C1	0.066	0.229	0.019	0.034	0.118	0.499 **	0.094	-0.070	-0.525 **	0.058
C2	-0.664 **	-0.895 **	0.438 **	0.513 **	-0.247	-0.263 *	-0.272 *	-0.128	-0.216	-0.162
C3	-0.689 **	-0.892 **	0.459 **	0.550 **	-0.199	-0.284 *	-0.330 **	-0.127	-0.185	-0.151
C4	-0.666 **	-0.558 **	0.300 *	0.387 **	0.262 *	-0.312 *	-0.144	-0.168	0.089	-0.346 **

表 4 DOM 组分与特征参数及水质的多元线性回归分析

Table 4 Multiple linear regression analysis of DOM components, characteristic parameters and water quality indicators

组分	回归方程	样品个数	回归系数
C1	$C1 = 0.037 + 0.002 \times \text{DOC} - 0.001 \times \text{Chla}$	66	0.736 *
C2	$C2 = 0.316 - 0.045 \times \text{FI} - 0.032 \times \text{HIX} - 0.01 \times \text{SUVA}_{254} - 0.007 \times \text{DTN}$	66	0.922 *
C3	$C3 = 0.137 - 0.032 \times \text{FI} - 0.017 \times \text{HIX} - 0.005 \times \text{SUVA}_{254} - 0.007 \times \text{DTN}$	66	0.922 *
C4	$C4 = 0.05 - 0.008 \times \text{FI} - 0.002 \times \text{HIX} + 0.001 \times \text{SUVA}_{254} + 0.01 \times \text{DTN} + 0.004 \times \text{TP} - 0.001 \times \text{氨氮}$	66	0.798 *
总和	$\text{总和} = 0.539 - 0.086 \times \text{FI} - 0.05 \times \text{HIX} - 0.013 \times \text{SUVA}_{254} - 0.013 \times \text{DTN}$	66	0.92 *

特征参数和水质的多元线性回归分析, C1 与 DOC 和 Chla 显著相关 ($P < 0.05$), C2、C3 和 C4 与 FI、HIX、SUVA₂₅₄ 和 DTN 有着显著相关性 ($P < 0.05$), 除此之外 C4 还与 TP 和氨氮有着显著相关. 通过对回归方程的拟合, 有利于了解连续强降雨时期河道水体 DOM 的特征, 方便后期管理调控.

图 9 表示的是汛期不同时期水体的主成分 (PCA) 分析, 景观河道 DOM 的 PCA 分析总共解析出了 2 个主成分, 总共解释了 84% 的变量, 在 PC1

(59.9%) 水平上, C2、C3 和 C4 组分得分较高, 说明这 3 个组分之间有相似的性质, 而 C1 组分在 PC2 (24.1%) 水平上有更高的得分, 与 4 组分的相关性分析结果一致. PC1 组分的解释的变量更高, 说明组分 C2、C3 和 C4 对汛期不同时期 DOM 的特性更具影响. 主成分得分图中显示了汛期不同时期水体样本的 PCA 得分, 可以看出同一时期之间样品相对集中, 不同时期的样品有明显的差异. 在样品点得分上, 主要是 PC1 的得分有显著差异, 汛期初期 PC1

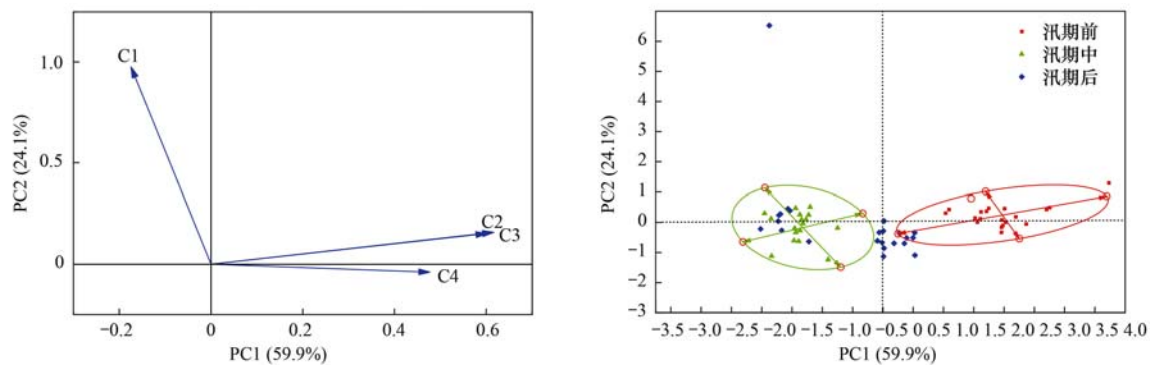


图9 汛期时期 DOM 的主成分分析

Fig. 9 Principal component analysis of DOM in flood season

得分为正,到中期时得分为负,而到末期得分接近零,有向着初期的得分恢复的趋势,与光谱参数的变化一致。

3 结论

(1)汛期不同时期景观河道中的 DOM 总共解析出了 4 种组分,2 种类腐殖质(C1 和 C4)和两类蛋白质组分(C2 和 C3)。组分 C2、C3 和 C4 之间存在显著相关性($P < 0.05$),C1 组分与其他组分之间不存在相关性。汛期初期 DOM 的荧光强度最高,与中期和后期 DOM 荧光强度有显著差异,而汛期中期和后期 DOM 荧光强度差异不显著。

(2)景观河道水体受初期雨水影响,较多的陆源类 DOM 输入到水体,到中期时进入河道的 DOM 经微生物分解释放氮磷营养盐,周边河道因地下径流带入土壤中的 DOM,河道水体腐殖化程度加大。因为汛期较强的水动力条件,抑制了水体中藻类的增值,在汛期后期,水动力条件减弱后,藻类开始利用水体中的氮磷营养盐开始大量增殖。

(3)组分 C1、C2、C3 和 C4 均与 DOC 有着相关性,4 组分中只有组分 C1 与 Chla 有着相关性,组分 C1 对水体中藻类的增殖有着重要的影响。组分 C2、C3 和 C4 与特征参数(FI、BIX、HIX 和 $\beta:\alpha$)均有显著相关性,C4 与 $SUVA_{254}$ 有着显著相关性,而组分 C1 与特征参数都没有显著相关性。而且在主成分分析中,汛期不同时期样品点在 PC1 上得分差异明显,说明汛期的连续强降雨对组分 C2、C3 和 C4 的含量有较大影响。

参考文献:

- [1] 何伟,白泽琳,李一龙,等. 溶解性有机质特性分析与来源解析的研究进展[J]. 环境科学学报, 2016, **36**(2): 359-372.
He W, Bai Z L, Li Y L, *et al.* Advances in the characteristics analysis and source identification of the dissolved organic matter [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, **36**(2): 359-372.
- [2] Singh S, Inamdar S, Scott D. Comparison of two PARAFAC

- models of dissolved organic matter fluorescence for a mid-atlantic forested watershed in the USA[J]. Journal of Ecosystems, 2013, doi: 10.1155/2013/532424.
- [3] Fellman J B, Petrone K C. Source, biogeochemical cycling, and fluorescence characteristics of dissolved organic matter in an agro-urban estuary[J]. Limnology and Oceanography, 2011, **56**(1): 243-256.
- [4] Yang L Y, Hong H S, Chen C T A. Chromophoric dissolved organic matter in the estuaries of populated and mountainous Taiwan[J]. Marine Chemistry, 2013, **157**: 12-23.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Trubetskaya O E, Richard C, Patsaeva S V, *et al.* Evaluation of aliphatic/aromatic compounds and fluorophores in dissolved organic matter of contrasting natural waters by SEC-HPLC with multi-wavelength absorbance and fluorescence detections [J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2020, **238**, doi: 10.1016/j.saa.2020.118450.
- [8] 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.
- [9] Li Z W, Peng H, Xie B G, *et al.* Dissolved organic matter in surface runoff in the Loess Plateau of China: the role of rainfall events and land-use[J]. Hydrological Processes, 2020, **34**(6): 1446-1459.
- [10] 陈梦瑶,杜晓丽,于振亚,等. 北京市道路雨水径流溶解性有机物化学组分特性[J]. 环境科学, 2020, **41**(4): 1709-1715.
Chen M Y, Du X L, Yu Z Y, *et al.* Characteristics of chemical fractions of dissolved organic matter in road runoff in Beijing[J]. Environmental Science, 2020, **41**(4): 1709-1715.
- [11] Dupouy C, Röttgers R, Tedetti M, *et al.* Impact of contrasted weather conditions on CDOM absorption/fluorescence and

- biogeochemistry in the eastern lagoon of New Caledonia [J]. *Frontiers in Earth Science*, 2020, **8**, doi: 10.3389/feart.2020.00054.
- [12] 苏州气象局. 汛情升级 防线牢筑——江苏气象部门全力应对汛期大考[EB/OL]. http://js.cma.gov.cn/dsjwz/szs/xwzx_4647/mtjj_4651/202007/t20200720_1891494.html, 2020-07-20.
- [13] Stedmon C A, Bro R. Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial [J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2008, **6** (11): 572-679.
- [14] 姜德刚, 李建华, 徐金燕, 等. 崇明岛富营养化河道溶解有机质的三维荧光光谱特征[J]. *水生态学杂志*, 2019, **40** (3): 33-40.
Jiang D G, Li J H, Xu J Y, *et al.* Three-dimensional fluorescence spectra of dissolved organic matter in a eutrophic river on Chongming Island[J]. *Journal of Hydroecology*, 2019, **40** (3): 33-40.
- [15] Kim J, Kim T H, Park S R, *et al.* Factors controlling the distributions of dissolved organic matter in the East China Sea during summer[J]. *Scientific Reports*, 2020, **10** (1), doi: 10.1038/s41598-020-68863-w.
- [16] Yang L Y, Chen W, Zhuang W E, *et al.* Characterization and bioavailability of rainwater dissolved organic matter at the southeast coast of China using absorption spectroscopy and fluorescence EEM-PARAFAC[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2019, **217**: 45-55.
- [17] 王迪, 张飞, 张兆永, 等. 新疆艾比湖流域枯、丰水期三维荧光光谱特性及其与水质的关系[J]. *湖泊科学*, 2020, **32** (2): 483-495.
Wang D, Zhang F, Zhang Z Y, *et al.* Characteristics of three-dimensional fluorescence spectra and its correlation with water quality of surface water during dry and wet seasons in Lake Ebinur Watershed, Xinjiang [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32** (2): 483-495.
- [18] Zepp R G, Sheldon W M, Moran M A. Dissolved organic fluorophores in southeastern US coastal waters: Correction method for eliminating Rayleigh and Raman scattering peaks in excitation-emission matrices[J]. *Marine Chemistry*, 2004, **89** (1-4): 15-36.
- [19] Lawaetz A J, Stedmon C A. Fluorescence intensity calibration using the Raman scatter peak of water [J]. *Applied Spectroscopy*, 2009, **63** (8): 936-940.
- [20] 黄廷林, 方开凯, 张春华, 等. 荧光光谱结合平行因子分析研究夏季周村水库溶解性有机物的分布与来源[J]. *环境科学*, 2016, **37** (9): 3394-3401.
Huang T L, Fang K K, Zhang C H, *et al.* Analysis of distribution characteristics and source of dissolved organic matter from Zhoucun Reservoir in summer based on fluorescence spectroscopy and PARAFAC[J]. *Environmental Science*, 2016, **37** (9): 3394-3401.
- [21] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [22] Acuña V, Vilches C, Giorgi A. As productive and slow as a stream can be—the metabolism of a Pampean stream[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2011, **30** (1): 71-83.
- [23] He W, Hur J. Conservative behavior of fluorescence EEM-PARAFAC components in resin fractionation processes and its applicability for characterizing dissolved organic matter [J]. *Water Research*, 2015, **83**: 217-226.
- [24] Holbrook R D, Stefan P C D, Leigh S D, *et al.* Excitation-Emission Matrix fluorescence spectroscopy for natural organic matter characterization: a quantitative evaluation of calibration and spectral correction procedures [J]. *Applied Spectroscopy*, 2006, **60** (7): 791-799.
- [25] Stedmon C A, Thomas D N, Granskog M, *et al.* Characteristics of dissolved organic matter in baltic coastal sea ice: allochthonous or autochthonous origins [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **41** (21): 7273-7279.
- [26] Massicotte P, Frenette J J. Spatial connectivity in a large river system: resolving the sources and fate of dissolved organic matter [J]. *Ecological Applications*, 2011, **21** (7): 2600-2617.
- [27] Lapierre J F, Frenette J J. Effects of macrophytes and terrestrial inputs on fluorescent dissolved organic matter in a large river system[J]. *Aquatic Sciences*, 2009, **71**: 15-24.
- [28] Chen M L, Price R M, Yamashita Y, *et al.* Comparative study of dissolved organic matter from groundwater and surface water in the Florida coastal everglades using multi-dimensional spectrofluorometry combined with multivariate statistics [J]. *Applied Geochemistry*, 2010, **25** (6): 872-880.
- [29] 李昆, 李海燕. 城市雨水管网沉积物不同分子量溶解性有机质空间分布及光谱特征[J]. *中国环境监测*, 2016, **32** (2): 109-115.
Li K, Li H Y. Spatial distribution and spectral characteristics of dissolved organic matter with different molecular weight in urban rainwater sewer sediment [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2016, **32** (2): 109-115.
- [30] Xian Q S, Li P H, Liu C, *et al.* Concentration and spectroscopic characteristics of DOM in surface runoff and fracture flow in a cropland plot of a loamy soil [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **622-623**: 385-393.
- [31] Shi Y, Zhang L Q, Li Y P, *et al.* Influence of land use and rainfall on the optical properties of dissolved organic matter in a key drinking water reservoir in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **699**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134301.
- [32] 洪志强, 熊瑛, 李艳, 等. 白洋淀沉水植物腐解释放溶解性有机物光谱特性[J]. *生态学报*, 2016, **36** (19): 6308-6317.
Hong Z Q, Xiong Y, Li Y, *et al.* The spectra characterization on dissolved organic matter of submerged plant decomposition in Lake Baiyangdian [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36** (19): 6308-6317.
- [33] Fellman J B, Hood E, Spencer R G M. Fluorescence spectroscopy opens new windows into dissolved organic matter dynamics in freshwater ecosystems: a review[J]. *Limnology and Oceanography*, 2010, **55** (6): 2452-2462.
- [34] 吕晶晶, 龚为进, 窦艳艳, 等. PARAFAC 和 FRI 解析 ISI 中 DOM 分布[J]. *中国环境科学*, 2019, **39** (5): 2039-2047.
Lv J J, Gong W J, Dou Y Y, *et al.* The distribution of DOM in aeration pretreatment improved soil infiltration system based on FRI and PARAFAC [J]. *China Environmental Science*, 2019, **39** (5): 2039-2047.
- [35] 言宗聘, 高红杰, 郭旭晶, 等. 蘑菇湖沉积物间隙水溶解性有机质紫外可见光谱研究[J]. *环境工程技术学报*, 2019, **9** (6): 685-691.
Yan Z C, Gao H J, Guo X J, *et al.* Study on UV-vis spectra of dissolved organic matter from sediment interstitial water in Moguhu Lake [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2019, **9** (6): 685-691.
- [36] 周石磊, 孙悦, 黄廷林, 等. 周村水库四季变化过程中水体溶解性有机物的分布与光谱特征[J]. *环境科学学报*, 2019,

39(10): 3492-3502.

Zhou S L, Sun Y, Huang T L, *et al.* Impact of seasonal variations on distribution and spectral characteristics of dissolved organic matter in Zhoucun Reservoir [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39**(10): 3492-3502.

- [37] 周石磊, 孙悦, 张艺冉, 等. 雄安新区-白洋淀冬季冰封期水体溶解性有机物的空间分布、光谱特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2020, **41**(1): 213-223.

Zhou S L, Sun Y, Zhang Y R, *et al.* Spatial distribution,

spectral characteristics, and sources analysis of dissolved organic matter from Baiyangdian Lake in Xiong'an New District during the winter freezing period [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(1): 213-223.

- [38] Spencer R G M, Butler K D, Aiken G R. Dissolved organic carbon and chromophoric dissolved organic matter properties of rivers in the USA [J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2012, **117** (G3), doi: 10. 1029/2011JG001928.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2020 年 12 月 29 日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了 2019 年度中国科技论文统计结果. 统计结果显示《环境科学》2019 年度总被引频次12 057,影响因子 2. 256,多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.



CONTENTS

Contributors to Air Pollutant Emission Changes in Autumn and Winter in Beijing-Tianjin-Hebei and Surrounding Areas	TANG Qian, ZHENG Bo, XUE Wen-bo, <i>et al.</i> (1591)
Characteristics and Meteorological Factors of Complex Nonattainment Pollution of Atmospheric Photochemical Oxidant (O_x) and $PM_{2.5}$ in the Pearl River Delta Region, China	YAN Feng-hua, CHEN Wei-hua, CHANG Ming, <i>et al.</i> (1600)
Source Apportionment of Ozone Pollution in Guangzhou; Case Study with the Application of Lagrangian Photochemical Trajectory Model	PEI Cheng-lei, MU Jiang-shan, ZHANG Ying-nan, <i>et al.</i> (1615)
Chemical Composition and Source Analysis of $PM_{2.5}$ in Yuncheng, Shanxi Province in Autumn and Winter	ZHAO Qing, LI Xing-ru, WANG Guo-xuan, <i>et al.</i> (1626)
Temporal Trend of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmosphere Within 24 Hours After Snowfall	FAN Hui-ze, ZHU Fu-jie, HU Peng-tuan, <i>et al.</i> (1636)
Determination Method and Characteristics of Particle Size Multiplier of $PM_{2.5}$ in Road Dust	LI Dong, CHEN Jian-hua, ZHANG Yue-fan, <i>et al.</i> (1642)
Source Profiles and Impact of VOCs Based on Production Processes in Foundry Industries	GAO Shuang, LI Shi-bei, BO Xin, <i>et al.</i> (1649)
Emission Characteristics and Toxicity Effects of Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Coal-Fired and Waste Incineration Power Plants	NI Xiu-feng, WANG Ru-wei, CAI Fei-xuan, <i>et al.</i> (1660)
Concentration and Particle Size Distribution Characteristics of Microbial Aerosol and Bacterial Community Structure During Spring in Lanzhou City, China	ZHAO Wei, LI Jie, XIE Hui-na, <i>et al.</i> (1668)
Optimization Method and Case Study of Air Pollution Emission Spatial Pattern	LI Min-hui, LIAO Cheng-hao, CHANG Shu-cheng, <i>et al.</i> (1679)
Influence of $PM_{2.5}$ Pollution on Health Burden and Economic Loss in China	LI Yong, LIAO Qin, ZHAO Xiu-ge, <i>et al.</i> (1688)
Identify the Nitrate Sources in Different Land Use Areas Based on Multiple Isotopes	JIN Zan-fang, HU Jing, WU Ai-jing, <i>et al.</i> (1696)
Hydrochemical Characteristic and Their Controlling Factors in the Yarkant River Basin of Xinjiang	ZHANG Jie, ZHOU Jin-long, ZENG Yan-yan, <i>et al.</i> (1706)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in the Water of Lijiang River Basin	HUANG Hong-wei, XIAO He, WANG Dun-qiu, <i>et al.</i> (1714)
Changes in Concentrations and Pollution Levels of Trace Elements of Floodplain Sediments of Poyang Lake Basin in Recent Twenty Years	LI Kuo, YANG Ke, PENG Min, <i>et al.</i> (1724)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics in the Shallow Groundwater of the Fenhe River Basin and Indicative Significance	LIU Xin, XIANG Wei, SI Bing-cheng (1739)
Major Ionic Characteristics and Factors of Karst Groundwater at Huixian Karst Wetland, China	LI Jun, ZOU Sheng-zhang, ZHAO Yi, <i>et al.</i> (1750)
Hydrochemistry Characteristics and Estimation of the Dissolved Inorganic Carbon Flux in the Caohai Lake Wetland Catchment of Guizhou Province	CAO Xing-xing, WU Pan, YANG Shi-di, <i>et al.</i> (1761)
Concentration Levels and Potential Ecological Risks of Current Use Pesticides in the Surface Seawater of Typical Liaoning Sea Areas	DU Jing, HU Chao-kui, XIE Hua-jun, <i>et al.</i> (1772)
Levels, Characteristics, and Potential Source of Micro(meso)plastic Pollution of Soil in Liaohe River Basin	HAN Li-hua, XU Li, LI Qiao-ling, <i>et al.</i> (1781)
PAHs Pollution Characteristics and Source Analysis of Typical Lake and Reservoir Sediments in Jin-Ji-Liao Area	WU Peng, LU Yi-ren, LI Hui, <i>et al.</i> (1791)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Organophosphate Esters in Rivers and Water Body Around Taihu Lake	ZHANG Wen-ping, ZHANG Zhen-fei, GUO Chang-sheng, <i>et al.</i> (1801)
Spatiotemporal Distributions and Ecological Risk Assessments of Typical Antibiotics in Surface Water of Taihu Lake	DING Jian-nan, LIU Shu-jiao, ZOU Jie-ming, <i>et al.</i> (1811)
Characteristics of Volatile Organic Compounds Pollution and Risk Assessment of Nansi Lake in Huaihe River Basin	CHENG Yun-xuan, GAO Qiu-sheng, LI Jie, <i>et al.</i> (1820)
Distribution, Source, and Ecological Risk Evaluation of the PAHs and PCBs in the Sediments from Sanya River	ZHAN Yong, WEI Ting-ting, YE Hui-bin, <i>et al.</i> (1830)
Spatiotemporal Change and Source Apportionment of Non-point Source Nitrogen and Phosphorus Pollution Loads in the Three Gorges Reservoir Area	LI Ming-long, JIA Meng-dan, SUN Tian-cheng, <i>et al.</i> (1839)
Effect of the Combined Use of Denitrifying Bacteria, Calcium Nitrate, and Zirconium-Modified Zeolite on the Mobilization of Nitrogen and Phosphorus in Sediments and Evaluation of Its Nitrate-Nitrogen Releasing Risk	XIN Hui-min, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui (1847)
Combined Remediation of Eutrophic Water by Phoslock® and Aerobic Denitrifying Bacteria	LI Bing-tang, ZHOU Zhi-qin, Ravi Naidu, <i>et al.</i> (1861)
Biodegradation of Algae-derived Organic Matter (I-DOM) from Lake Taihu	ZHANG Qiao-ying, SUN Wei, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1870)
Structure Characteristics and Driving Variables of Epilithic Algae Community in Lhasa River Basin of Qinghai-Tibet Plateau	WEI Jun-wei, LI Hong-ran, WANG Xing-zhong, <i>et al.</i> (1879)
Spectral Characteristics and Sources of Dissolved Organic Matter from Landscape River During Flood Season in Suzhou Based on EEMs and UV-vis	HE Jie, ZHU Xue-hui, WEI Bin, <i>et al.</i> (1889)
Adsorption and Desorption Behaviors of Antibiotics on TWP and PVC Particles Before and After Aging	FAN Xiu-lei, ZOU Ye-feng, LIU Jia-qiang, <i>et al.</i> (1901)
Synthesis of Magnetic Iron Modifying Biochar for Ammonia Nitrogen Removal from Water	WANG Fang-jun, SANG Qian-qian, DENG Ying, <i>et al.</i> (1913)
Seasonal Effects of Influent Ammonia Oxidizing Bacteria of Municipal Wastewater Treatment Plants on Activated Sludge System	YU Li-fang, WANG Yu, HUA Si-si, <i>et al.</i> (1923)
Analysis of Performance and Microbial Diversity of ANAMMOX Sludge Based on Particle Size Differentiation	WANG Xiao-tong, YANG Hong (1930)
Effects of Chlorine Dioxide Disinfection on the Profile of the Super Antibiotic Resistance Genes in a Wastewater Treatment Plant	CHENG Chun-yan, LI Hai-bei, LIANG Yong-bing, <i>et al.</i> (1939)
Effects of PES and 2,4-DCP on the Extracellular Polymeric Substances and Microbial Community of Anaerobic Granular Sludge	LIN Xu-meng, SU Cheng-yuan, WU Shu-min, <i>et al.</i> (1946)
Characteristics of Sludge and Associated Risk Assessment of Urban Sewage Treatment Plants	LI Juan, LI Jin-xiang, YANG Yan-yan (1956)
Effects of Climate Warming on the Key Process and Index of Black Soil Carbon and Nitrogen Cycle During Freezing Period	WANG Zi-long, LIU Chuan-xing, JIANG Qiu-xiang, <i>et al.</i> (1967)
Effects of Combined Application of Biogas Slurry and Straw on the Migration and Fractions of Soil Heavy Metals in Rice-wheat Rotation System in Coastal Reclamation Areas	WANG Wei, ZHOU Jun-nan, TANG Yi-fan, <i>et al.</i> (1979)
Geochemical Survey Method of Land Quality in Land Parcel Scale City: A Case Study of the Initial Area of the Xiong'an New District	ZHOU Ya-long, GUO Zhi-juan, LIU Fei, <i>et al.</i> (1989)
Potential Ecological Risk Assessment and Source Analysis of Heavy Metals in Soil-crop System in Xiong'an New District	ZHOU Ya-long, YANG Zhi-bin, WANG Qiao-lin, <i>et al.</i> (2003)
Cadmium Accumulation Characteristics and Impacting Factors of Different Rice Varieties Under Paddy Soils with High Geological Backgrounds	DAI Zi-wen, FANG Cheng, SUN Bin, <i>et al.</i> (2016)
Effects of Different Exogenous Selenium Species Application on Growth and Cadmium Uptake of Pak Choi in Cadmium Contaminated Soil	LIU Yang, QI Ming-xing, WANG Min, <i>et al.</i> (2024)
Influencing Factors of Cadmium Bioaccumulation Factor in Crops	CHEN Jie, WANG Juan, WANG Yi-wen, <i>et al.</i> (2031)
Effects of Different Exogenous Plant Hormones on the Antioxidant System and Cd Absorption and Accumulation of Rice Seedlings Under Cd Stress	ZHANG Sheng-nan, HUANG Yi-zong, LI Yan, <i>et al.</i> (2040)
Effects of Different Organic Materials on Absorption and Translocation of Arsenic and Cadmium in Rice	LI Kai-ye, ZHAO Ting-ting, CHEN Jia, <i>et al.</i> (2047)
Soil Fungal Community Structure and Functional Diversity in a Copper Tailing Dam and Its Surrounding Areas	CHEN Jian-wen, ZHANG Hong, LI Jun-jian, <i>et al.</i> (2056)
Potential of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Biochar, and Combined Amendment on Sandy Soil Improvement Driven by Microbial Community	ZHANG Zhe-chao, YANG Jiu-yang, HAO Bai-hui, <i>et al.</i> (2066)
Animal Manure Fertilization Promotes Antibiotic Resistance Gene Dissemination Among Manure, Soil, and Vegetables	ZHANG Hong-na, DONG Meng-jie, ZHOU Yu-fa, <i>et al.</i> (2080)
Establishment and Application of Performance Evaluation and Obstacle Diagnosis Model for Regional Water Ecological Civilization Construction	WAN Bing-tong, BAO Xue-ying, ZHAO Jian-chang, <i>et al.</i> (2089)