

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.11.008

十五里河水体中DOM三维荧光特征及其来源解析

程雨涵, 宋雨佩

(安徽新宇环保科技股份有限公司, 安徽 合肥 230051)

摘要: 利用三维荧光平行因子分析(EEMs-PARAFAC)模型研究十五里河水体溶解性有机物(DOM)的组分、荧光强度和可能来源,并探究DOM与COD、N、P浓度之间的相关性。结果表明,十五里河水体中的DOM主要有3种组分,分别为陆生源类腐殖质C1(240、320 nm/405 nm)、自生源类腐殖质C2(225、265 nm/325、385、450 nm)和类色氨酸蛋白质C3(230、250 nm/250、340、410 nm),类腐殖质的占比最大,为67%,且C2和C3组分具有同源性。类腐殖质组分从上游至下游呈先上升后下降再上升趋势。结合荧光指数(FI)、自生源指数(BIX)、腐殖化指数(HIX)及新鲜度指数($\beta:\alpha$)等各项荧光指标的分析发现,DOM浓度主要受陆生源影响,对DOM的影响高达40%。由DOM各荧光组分与营养物质的相关性分析结果可知,C1和C3组分与N、P等营养物质均呈正相关($p<0.05$),说明DOM可以在一定程度上指示十五里河水体富营养化水平。此外,十五里河水体DOM各荧光组分与COD均具有正相关性($p<0.05$),能通过DOM特征推演出COD浓度。

关键词: 十五里河; 溶解性有机物; 三维荧光分析; 平行因子分析

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)11-0059-07

Three-dimensional Fluorescence Characteristics and Source Analysis of DOM in Water Body of Shiwuli River

CHENG Yuhan, SONG Yupei

(Anhui Xinyu Environmental Protection Technology Co. Ltd., Hefei 230051, China)

Abstract: Three-dimensional fluorescence parallel factor analysis (EEMs-PARAFAC) model was used to investigate the components, fluorescence intensity, and possible sources of dissolved organic matter (DOM) in the water body of Shiwuli River, and to explore the correlations between DOM and the concentrations of COD, N, and P. The results showed that DOM in the Shiwuli River water body mainly consisted of three components: allochthonous humic-like substance C1 (240 nm, 320 nm/405 nm), autochthonous humic-like substance C2 (225 nm, 265 nm/325 nm, 385 nm, 450 nm), and tryptophan-like protein C3 (230 nm, 250 nm/250 nm, 340 nm, 410 nm). Humic-like substance accounted for the largest proportion (67%), and C2 and C3 components were homologous. The humic-like component showed an increasing-decreasing-increasing trend from upstream to downstream. Combined with the analysis of fluorescence indices such as fluorescence index (FI), biological index (BIX), humification index (HIX), and freshness index ($\beta:\alpha$), the DOM concentration was mainly influenced by allochthonous sources, with its contributing as much as 40%. Correlation analysis between DOM fluorescence components and nutrients revealed that C1 and C3 components were positively correlated with N, P, and other nutrients ($p<$

基金项目: 安徽省住房城乡建设科学技术计划项目(2024-YF083)

通信作者: 宋雨佩 E-mail: 1273028041@qq.com

0.05), indicating that DOM could reflect the eutrophication level of the Shiwuli River water body to a certain extent. In addition, each fluorescence component of DOM in the Shiwuli River water body was positively correlated with COD ($p<0.05$), suggesting that the COD concentration can be inferred from DOM characteristics.

Keywords: Shiwuli River; dissolved organic matter; three-dimensional fluorescence analysis; parallel factor analysis

溶解性有机物(DOM)是自然界水环境中一个重要组成部分,主要包括类色氨酸、类氨基酸、类腐殖质及碳水化合物等,是水环境中连接生命形态碳和无机碳的关键纽带^[1-3]。河流DOM主要来源于生物活动和地表径流输入,富含大量的碳、氮、磷等生源要素,易导致水体富营养化^[4-5]。因此,了解河流中DOM的光学特性及变化趋势对河流水体富营养化治理和河流健康治理评价具有重要意义。

三维荧光光谱技术因其低成本、高效率、耗样少等优点^[6]被广泛用于DOM的研究^[7-8]。尽管当前的研究在一定程度上揭示了湖泊、近海岸和水库等水体中DOM组成、来源及分布规律,但分析焦点大多集中于上述水体,而对于连接陆地与湖泊的动态河流系统DOM的研究却鲜有报道。

本研究利用三维荧光平行因子分析(EEMs-PARAFAC)模型阐述十五里河DOM的组分、来源及分布,并探究其与COD、N和P浓度的关系,揭示DOM在十五里河中的环境行为,旨在为十五里河的水环境管理提供基础数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与样品采集

十五里河发源于大蜀山东麓,自西北流向东南,是合肥市西南部主要行洪通道之一。十五里河总流域面积为111.25 km²,是巢湖一级入湖支流,在天鹅湖下游采用溢流坝蓄水,从天鹅湖以下至入巢湖口长度为24.74 km,河道平均坡降为0.72‰。

水样采集于2024年7月,在十五里河流域采用GPS定位系统精准定位采样点,共设置36个水样采集点,如图1所示。采样点基本涵盖了十五里河上游水库、闸坝上下游、密集社区和农田等不同类型的水域。利用2 L有机玻璃采样器采集水样,经0.45 μm玻璃纤维滤膜过滤后进行三维荧光光谱扫描。同时测定采集水样中的TN、TP、NH₄⁺-N、COD浓度,测定方法参考文献[9]。每个样品均做3次平

行检测,记录平均值(误差范围为3%~5%)。



图1 十五里河采样点分布

Fig.1 Locations of sampling sites in Shiwuli River

1.2 三维荧光光谱测定

三维荧光光谱(EEMs)采用荧光分光光度计测定。测定条件如下:激发波长 λ_{ex} 为220~600 nm,发射波长 λ_{em} 为230~650 nm,步长为5 nm,PMT电压为700 V,狭缝宽度为2 nm,扫描速度为12 000 nm/min。使用MATLAB的DOMFlour工具将三维荧光光谱数据进行平行因子分析。荧光光谱参数主要包括荧光指数(FI)、腐殖化指数(HIX)、自生源指数(BIX)和新鲜度指数($\beta:\alpha$),可反映DOM的不同特性。FI用于判断DOM的来源和降解程度,FI ≥ 1.8 时,DOM以自生源为主;1.2 $\leq$ FI < 1.8 时,DOM既有自生源也有陆生源;FI < 1.2 时,DOM以陆生源为主。HIX可以反映有机物的腐殖化程度,HIX < 4 时,DOM主要由生物活动产生,腐殖化程度较弱;4 $\leq$ HIX < 6 时,DOM符合弱腐殖质特征和较强自生源特征;HIX ≥ 6 时,DOM符合强腐殖质特征,陆生源贡献较大。BIX用于分析DOM中自生来源贡献的程度,0.6 $\leq$ BIX < 0.8 时,DOM以陆生源为主;0.8 $\leq$ BIX ≤ 1.0 时,DOM的来源为自生源与陆生源;BIX > 1.0 时,DOM以自生源为主。 $\beta:\alpha$ 反映了新生DOM在整体DOM中所占的比例,是评估水体生物活性的重要依

据, $\beta:\alpha > 0.8$ 时, 新生 DOM 占比高, 浮游生物活性强; $0.6 \leq \beta:\alpha \leq 0.8$ 时, DOM 来源为自生源与陆生源; $\beta:\alpha < 0.6$ 时, 以老化 DOM 为主, 陆生源贡献较大。

2 结果与讨论

2.1 十五里河常规水质指标特征

十五里河 36 个采样点的常规水质指标检测结果如图 2 所示。

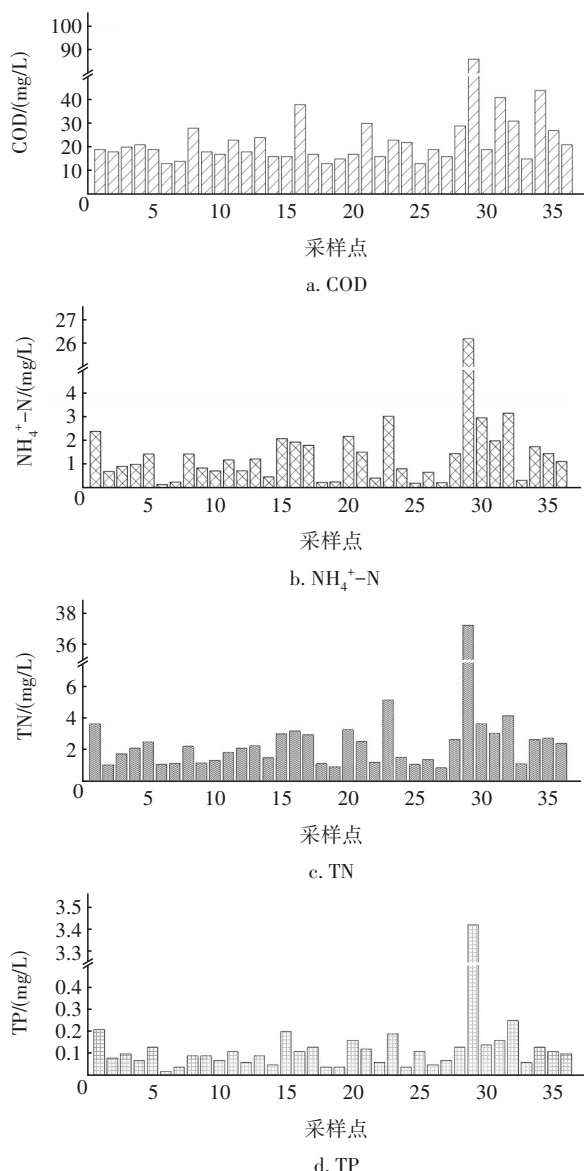


图2 十五里河水体中碳、氮、磷的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of C, N and P concentrations in the Shiuli River water body

从图 2(a) 可知, 大部分采样点的 COD 浓度在 13~44 mg/L 范围内波动, 均值为 21.33 mg/L, 表现出显著的空间差异性。特别地, 采样点 29 的 COD 浓度高达 86 mg/L, 是《地表水环境质量标准》(GB 3838—

2002) 中Ⅲ类水标准的 4.3 倍, 为劣 V 类水质。采样点 29 位于河道弯折处且紧邻人口密集区——嘉和苑小区, 易造成污染物聚集沉降, 从而显著提高了该区域的 COD 浓度。总体来看, COD 浓度以采样点 29 为界, 上游水质明显优于下游, 反映出人口密集区生活污水排放对水质造成的负面影响, 与李佳璐等^[9]的研究相吻合, 即水域沿岸人口密集的区域会导致水体污染物浓度迅速增大, 并影响下游水质。此外, 7 月为十五里河汛期, 地表径流携带的有机质及上游蓄水坝站集中下泄的污水, 进一步加剧了下游水质恶化。TN 与 NH_4^+-N 浓度分别为 0.84~37.20 和 0.16~26.20 mg/L, 均值分别为 3.13 和 1.93 mg/L。分析结果显示, TN 与 NH_4^+-N 之间存在显著正相关关系 ($p < 0.01$), 表明氮素污染在该流域内呈现出同步性和协同性。TN 与 NH_4^+-N 浓度的变化趋势与 COD 浓度相似, 均以采样点 29 为分水岭, 上游水质优于下游。值得注意的是, 采样点 29 下游区域以农业用地为主, 农污及养殖废水的排放导致下游水体氮浓度尤其是氨氮浓度显著增加。此外, 人口聚集区域服务业的污水直排也增加了氮污染负荷。对于 TP, 其平均浓度为 0.20 mg/L, 最高浓度值同样出现在采样点 29, 达到 3.42 mg/L。上游区域工业废水与生活污水的混合输入, 导致磷浓度出现短暂上升, 但随后在水体自净作用下逐渐降低。然而, 在下游地区, 由于人类活动强度的增加, 磷浓度再次累积, 出现回升, 这体现了磷污染的持续性与复杂性。

2.2 十五里河 DOM 荧光组分特征

不同的 $\lambda_{\text{ex}}/\lambda_{\text{em}}$ 对应着不同的有机组分, 可以通过识别对应的光谱峰位置实现对荧光组分的定性分析。酪氨酸类蛋白质的激发波长为 220~250 nm、发射波长为 280~330 nm, 属于氨基酸类物质, 通常指示降解程度较高的色氨酸; 色氨酸类蛋白质的激发波长为 220~250 nm、发射波长为 330~380 nm, 属于氨基酸类物质, 可表征降解程度较低的色氨酸; 富里酸类腐殖质的激发波长为 220~250 nm、发射波长为 380~480 nm, 常见于农业废水和工业污水中; 含苯环蛋白质的激发波长为 250~360 nm、发射波长为 280~380 nm, 常见于海洋、河流中; 溶解性微生物代谢物的激发波长为 250~420 nm、发射波长为 380~520 nm, 归属于氨基酸类, 其荧光特征与色氨酸类物质较为接近。

图3展示了十五里河流域不同区域代表性水样的三维荧光光谱。可知,十五里河水样DOM的荧光峰主要有3类(A峰、B峰和C峰)。A峰、B峰和C峰的荧光强度及位置存在差异,表明十五里河流域DOM的来源具有多样性。

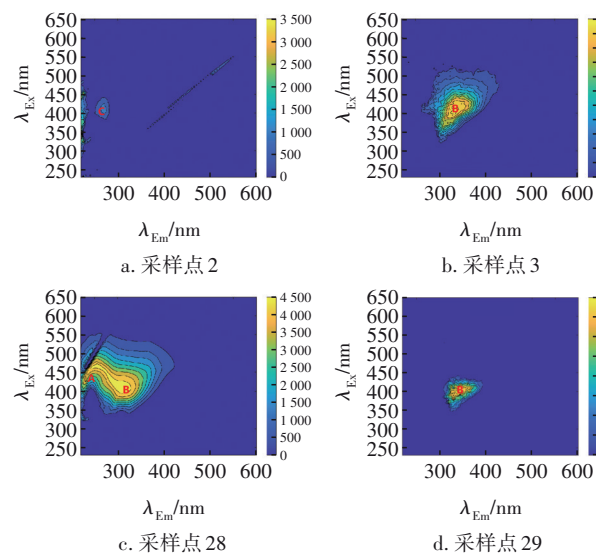


图3 典型4个采样点DOM的三维荧光光谱

Fig.3 Three-dimensional fluorescence spectra of DOM at four typical sampling sites

本研究采用PARAFAC模型对十五里河流域36个水样的三维荧光光谱矩阵进行解析,得到3种有效组分,分别为C1(240、320 nm/405 nm)、C2(225、265 nm/325、385、450 nm)和C3(230、250 nm/250、340、410 nm),如图4所示。C1在240和320 nm处均有1个激发波长(λ_{Ex})极值,在405 nm处存在1个发射波长(λ_{Em})极值,与农业源腐殖质或陆地衍生的再加工材料荧光峰的特征相似,通常被认为是陆生源类腐殖质中的富里酸和胡敏酸物质^[9];C2在225、265 nm/325、385、450 nm处存在 $\lambda_{Ex}/\lambda_{Em}$ 的极值,与海洋河流中DOM的荧光峰特征相似,大部分源自水中微生物及藻类降解或人类活动产生的生物代谢产物^[9]。C1和C2均为类腐殖质^[10],是DOM的重要组分。且相较于C2,C1的发射波长较短,呈现为可见类富里酸腐殖质特征。C3在250 nm处有1个明显激发波长极值,并在410和340 nm附近达到最大发射波长,且表现为类蛋白质荧光组分的特性,其荧光位置与类色氨酸单体荧光峰相似,为类色氨酸。类色氨酸在一定程度上可以反映河流水体中人为排放的污水水情况^[9]。根据各组分最大荧光

强度($C3>C2>C1$)推断,十五里河水体中色氨酸类蛋白质峰最为显著,表明十五里河水质变化主要受人为因素的影响。

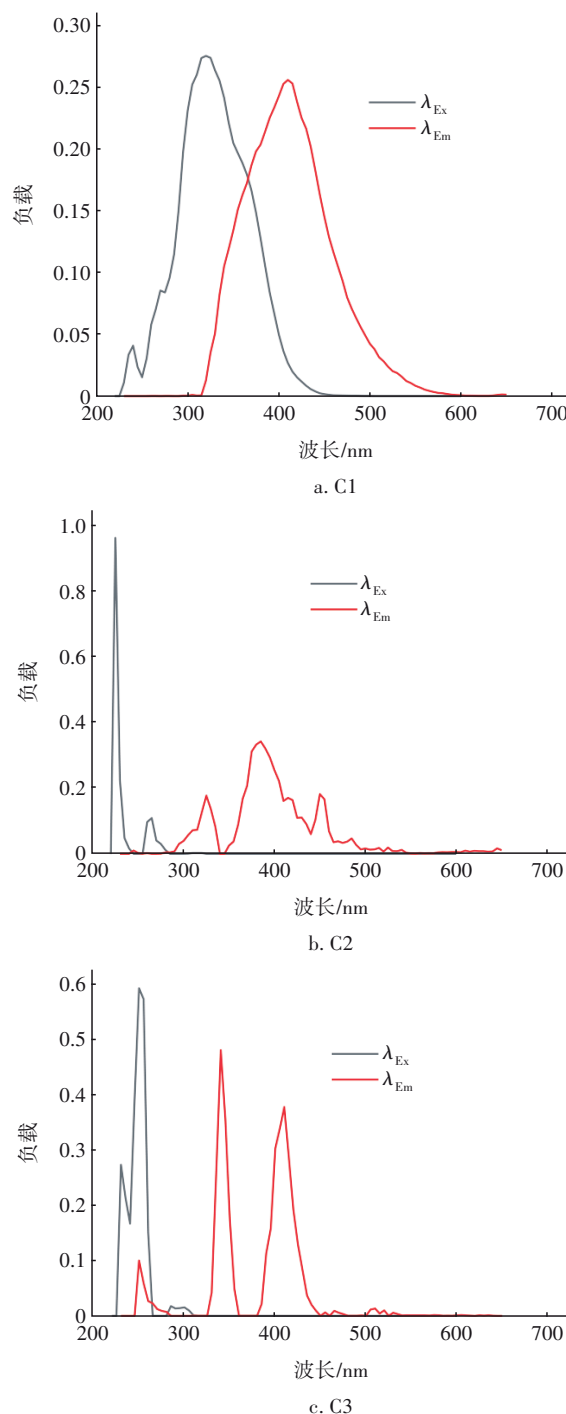


图4 十五里河中DOM最大激发/发射波长分布

Fig.4 Maximum excitation/emission wavelength distribution of DOM in Shiwuli River

2.3 十五里河DOM各组分荧光强度特征

通常情况下,荧光强度可以作为表征DOM浓度

的一个关键指标。十五里河3种荧光组分荧光强度空间分布特征如图5所示。可知,DOM的3种组分在十五里河流域具有明显的差异性。C1~C3的荧光强度分别在0~1 297.63、0~3 040.92、0~1 894.04 a. u. 之间,平均值分别为229.21、609.01和374.56 a. u.。对于荧光强度而言,不同采样点的水质存在差距,且各水样DOM的主导组分不同。例如,采样点16和17的三维荧光光谱均未表现出明显的荧光强度特征。就各组分所占比例而言,DOM的3种组分在十五里河水域的占比均值在27%~40%之间,代表类腐殖质的C1和C2组分在各采样点占据主导地位,占比为67%。代表陆生源类腐殖质的C1组分占比最大,为11%~100%,均值为40%;C2组分次之,占比在11%~100%之间,均值为27%;而C3组分占比最低,均值为27%。

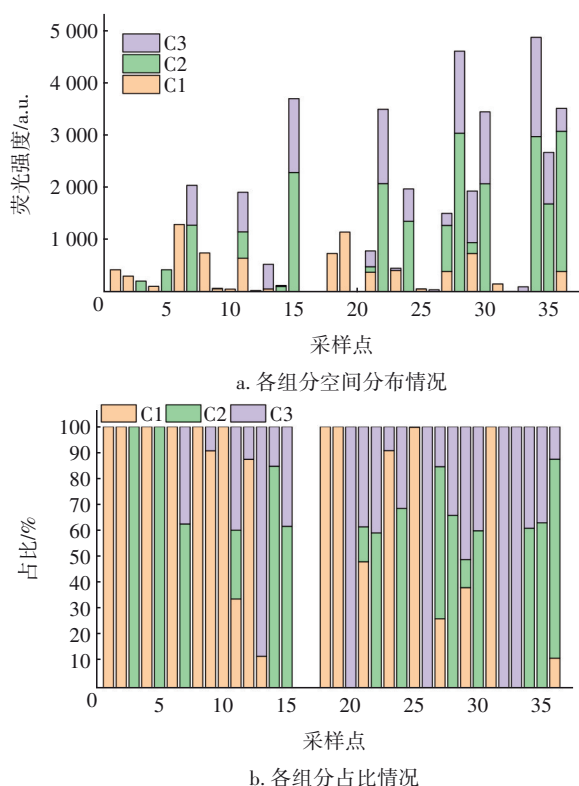


图5 十五里河3种荧光组分荧光强度空间分布特征

Fig.5 Spatial distribution characteristics of fluorescence intensity of three fluorescent components in Shiwuli River

从河流上游至下游,类腐殖质组分(C1、C2)的荧光强度呈现先升后降再升的趋势。这一现象归因于两方面因素:首先,十五里河的支流或入河排口向水体输入DOM;其次,水生生物释放的DOM在微生物分解作用下转化为腐殖质,从而导致类腐

质组分含量增加。然而,在从上游向中游的过渡过程中,由于水体的自净作用,部分污染物被微生物有效降解或被河底沉积物吸附,这使得腐殖质组分的相对含量有所下降。值得注意的是,在下游采样点28(紧邻嘉和苑小区)和采样点34(紧邻污水处理厂)相较于流域其他点位,C3组分相对丰度明显更高,荧光强度分别达到1 566.25和1 894.05 a. u., 远超十五里河C3组分的平均水平(374.56 a. u.)。可见,人类活动频繁且干扰强烈的区域,入河污水中类蛋白质含量显著增加。这不仅进一步揭示了类腐殖质与类蛋白质在来源上存在的显著差异,也强调了人类活动对河流DOM组分的重要影响。

2.4 十五里河DOM的荧光参数及来源分析

图6展示了十五里河水体DOM荧光参数的特征。FI是判断水体DOM来源的重要指标。十五里河的FI在0.595~0.762之间波动,均值为0.678。根据划分标准,主要为陆生源,与PARAFAC模型解析结果相吻合。此外,十五里河水样的BIX为0.615~3.188,均值为1.629。这表明,十五里河水体DOM具有显著的自生源特征,且受浮游植物和微生物活动的强烈影响。HIX在十五里河水体中的变化区间为0.343~0.776,平均值为0.525,表明DOM的腐殖化程度相对较低,并且以自生源为主。这与 $\beta:\alpha$ (0.758)表征结果一致,进一步证实了十五里河水体DOM的自生源特征。

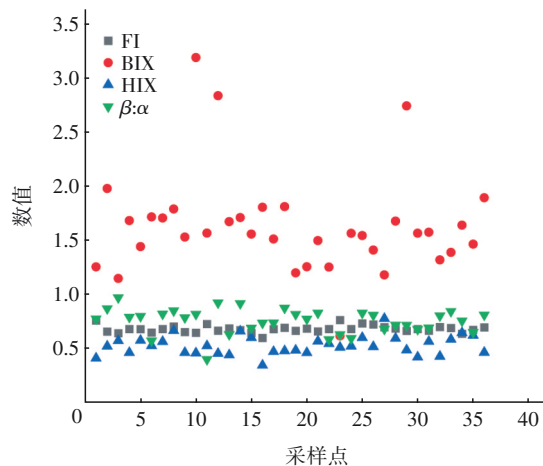


图6 十五里河DOM的4个荧光参数

Fig.6 Four fluorescence indices of DOM in Shiwuli River

2.5 十五里河DOM与营养物质的相关性

EEMs-PARAFAC解析出的3种组分与COD、N和P浓度的相关性如图7所示(*表示 $p < 0.05$, **表

示 $p<0.01$)。

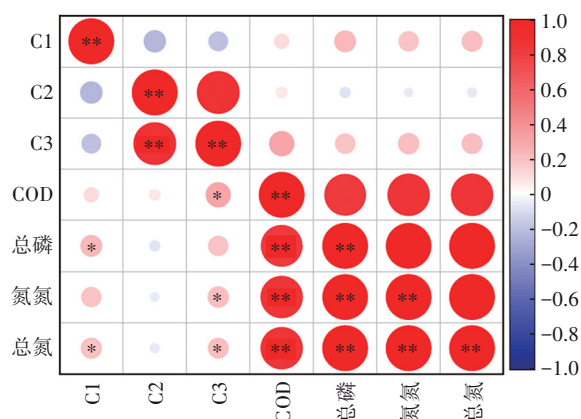


图7 3种组分荧光强度与营养物质的相关性

Fig.7 Correlation between fluorescence intensities for three components and nutrients concentration

从图7可知,C2和C3显著性相关($p<0.01$),而C1组分与C2、C3组分相关性不显著,说明自生源类腐殖质和类蛋白质存在共源性,而与陆生源类腐殖质在组成和来源上具有一定的异源性。C1代表的陆生源类腐殖质与COD、TN、TP和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 均呈正相关,说明C1组分与富里酸类腐殖质有相同的来源,这与朱利英等^[11]在鄱阳湖水质影响因素研究中的发现一致。流域土壤中的腐殖质是类腐殖质的重要来源,十五里河下游汇水区域以农田为主,农田土壤、肥料和农作物中的腐殖质能够通过地表径流进入河流,导致河流腐殖质浓度上升,因此陆生源类腐殖质C1与TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和TP浓度之间具有正相关性,而自生源类腐殖质C2则与这些营养物质呈负相关。此外,C3与COD、TN、TP和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 也呈现出正相关关系($p<0.05$),这表明十五里河流域有机质类蛋白物质的外源输入会导致水体N、P等营养物质浓度升高,造成水体富营养化。总体而言,类腐殖质与COD、TN、TP和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的相关系数高于类蛋白质,说明十五里河水体中DOM以腐殖质为主,同时也在一定程度上会受到人类活动的影响。十五里河水体中的类蛋白质以外源输入为主,与排入河流的生活污水和工业废水有关,而内源输入,即植物和微生物的生物活动产生的蛋白质,仅占小部分。十五里河沿线人口密度以及工业废水、生活污水排放量均较大,使得微生物活动强度较明显,导致蛋白质类污染更为严重。C1和C3与N、P等营养物质均呈正相关($p<0.05$),这表明十五里河水体中

N、P等营养物质受外界输入的影响强烈,通过分析DOM的三维荧光特性,可发现十五里河水体的营养化水平。

DOM是构成水体COD的重要因素^[12]。已有研究表明,COD与荧光强度之间存在一定的相关性,能通过荧光强度及其特征来推算水体中COD浓度^[13]。在本研究中,C1、C2和C3组分的荧光强度均与COD浓度呈正相关($p<0.05$),表明十五里河水体中DOM与COD之间存在某种定量关系,可以通过DOM预测COD浓度。

3 结论

① EEMs-PARAFAC模型解析出的十五里河水体中DOM组分主要包括陆生源类腐殖质C1、自生源类腐殖质C2和类色氨酸蛋白质C3。其中类腐殖质占比最大,为67%。

② 在DOM的3种组分中,C2与C3具有同源性。此外,类腐殖质组分荧光强度在十五里河流域内呈现先升后降再升的趋势。在人口密集区域,类蛋白质组分荧光强度显著高于河流其他区域。

③ 综合FI、BIX、HIX及 $\beta:\alpha$ 等荧光指标的分析结果推断,十五里河DOM以陆生源为主。这一结论可能与十五里河周边生活污水和农业废水输入有关。相关性分析揭示,十五里河水体中N、P成分与C1和C3组分有强相关性($p<0.05$)。同时,COD成分与C1、C2和C3三种DOM组分均呈正相关,这表明十五里河水体DOM的光谱特征在一定程度上可以反映其富营养化水平。

参考文献:

- [1] LUO J C, LI S Y. Optical properties of dissolved organic matter in a monsoonal headwater stream, China: insights for structure, source and riverine pCO_2 [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 282: 124545.
- [2] 应炎杰, 赵敏, 李勇, 等. 巢湖湖滨带沉积物间隙水溶解性有机质的光谱特征与时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(7): 924-933.
YING Y J, ZHAO M, LI Y, et al. Spectral characteristics and spatiotemporal differences of dissolved organic matter of sediment pore interstitial waters in the littoral zones of Lake Chaohu [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(7): 924-933(in Chinese).
- [3] TAO P R, JIN M, YU X B, et al. Spatiotemporal

- variations in chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in a mixed land-use river: implications for surface water restoration [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 277:111498.
- [4] 蒋昕桐,肖启涛,李一民,等. 河流输入对博斯腾湖溶解性有机物组成的时空影响[J]. *光谱学与光谱分析*, 2023, 43(5): 1636–1644.
- JIANG X T, XIAO Q T, LI Y M, et al. Temporal and spatial effects of river input on dissolved organic matter composition in Lake Bosten [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2023, 43(5): 1636–1644 (in Chinese).
- [5] LIU S S, HOU J W, SUO C Y, et al. Molecular-level composition of dissolved organic matter in distinct trophic states in Chinese lakes: implications for eutrophic lake management and the global carbon cycle [J]. *Water Research*, 2022, 217: 118438.
- [6] 陶勇,张瑾,张亚辉,等. 临江河水体溶解性有机质荧光光谱特征解析[J]. *农业环境科学学报*, 2023, 42(12): 2711–2720.
- TAO Y, ZHANG J, ZHANG Y H, et al. Analysis of the fluorescence spectral characteristics of dissolved organic matter in the Linjiang River watershed [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023, 42(12): 2711–2720 (in Chinese).
- [7] LI L, WANG Y, ZHANG W J, et al. New advances in fluorescence excitation–emission matrix spectroscopy for the characterization of dissolved organic matter in drinking water treatment: a review [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2020, 381: 122676.
- [8] WU Y, ZHANG X, HAO R, et al. Rethinking terrestrial dissolved organic matter in dam reservoirs before mixing: linking photodegradation and biodegradation and the phenanthrene binding behavior [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 604: 166653.
- [9] 李佳璐,左其亭,冯峰,等. 沙颍河水体中CDOM光学特征及其来源解析[J]. *环境科学与技术*, 2022, 45(9): 90–97.
- LI J L, ZUO Q T, FENG F, et al. Fluorescence characteristics and sources of CDOM in Shaying River [J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 45(9): 90–97 (in Chinese).
- [10] 胡思雨,李松,宋广清,等. 晋城市农村黑臭水体成因及污染因子相关性研究[J]. *给水排水*, 2024, 50(2): 57–64.
- HU S Y, LI S, SONG G Q, et al. Analyzing the cause and pollution factor correlation of rural black and odorous water bodies in Jincheng City [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2024, 50(2): 57–64 (in Chinese).
- [11] 朱利英,郑利兵,王亚炜,等. 鄱阳湖南昌湖区典型断面总磷超标成因[J]. *中国环境科学*, 2024, 44(3): 1436–1447.
- ZHU L Y, ZHENG L B, WANG Y W, et al. Factors of high total phosphorus concentration in the Nanchang typical area of Poyang Lake [J]. *China Environmental Science*, 2024, 44(3): 1436–1447 (in Chinese).
- [12] 靳百川,蒋梦云,白文荣,等. 三维荧光光谱–平行因子法解析再生水补给人工湿地DOM的光谱特征[J]. *光谱学与光谱分析*, 2021, 41(4): 1240–1245.
- JIN B C, JIANG M Y, BAI W R, et al. Fluorescence spectra characteristics of reclaimed water to replenish constructed wetlands using EEM-PARAFAC [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2021, 41(4): 1240–1245 (in Chinese).
- [13] 王亚如,张盼月,张光明,等. 不同种类水生植物分解过程中溶解性有机物的释放特征[J]. *环境工程学报*, 2023, 17(12): 4017–4027.
- WANG Y R, ZHANG P Y, ZHANG G M, et al. Release characteristics of dissolved organic matter during decomposition of different aquatic plants [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2023, 17(12): 4017–4027 (in Chinese).

作者简介:程雨涵(1991—),女,安徽巢湖人,硕士,高级工程师,从事智慧水务研发及应用工作。

E-mail: 1282800020@qq.com

收稿日期:2025-09-05

修回日期:2025-12-16

(编辑:任莹莹)