

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第8期

Vol.38 No.8

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

用于滤膜称重的饱和氯化镁溶液恒湿系统搭建与评估	李晓晓, 张强, 邓建国, 蒋靖坤, 郝吉明 (3095)
钢铁工业排放颗粒物中碳组分的特征	张进生, 吴建会, 马威, 冯银厂 (3102)
常州市大气 PM _{2.5} 中 PAHs 污染特征及来源解析	顾爱军, 刘佳澍, 罗世鹏, 毕承路, 苏亚兰, 叶招莲, 盖鑫磊 (3110)
兰州河谷盆地大气多环芳烃干沉降通量及来源	尉媛丽, 刘攀亮, 于周锁, 高宏, 毛潇萱, 马建民, 黄韬 (3120)
株洲市大气降尘中元素特征及来源分析	王世豪, 张凯, 柴发合, 钟学才, 周广柱, 杨晴, 柯馨妹 (3130)
传统北京烤鸭烤制过程中大气污染物的排放特征	徐敏, 何万清, 聂磊, 韩力慧, 潘涛, 石爱军 (3139)
基于车载测试的重型柴油车尾气典型烷烃排放特征	史纯珍, 郝雪薇, 申现宝, 曹鑫悦, 张伟, 吴辉, 姚志良 (3146)
基于 wavelet-SVM 的 PM ₁₀ 浓度时序数据预测	王平, 张红, 秦作栋, 姚清晨, 耿红 (3153)
广州港船舶停泊工况排放因子实测及排放量初步估算	黄学良, 张洲, 杨威强, 李晟, 朱明, 方华, 何俊杰, 陈俊文, 万承浩, 张艳利, 刘国光, 黄祖照, 王宇骏, 王新明 (3162)
沙尘天气对生物气溶胶中总微生物浓度及粒径分布的影响	李鸿涛, 祁建华, 董立杰, 高冬梅 (3169)
典型生活垃圾处理设施恶臭排放特征及污染评价	芦会杰 (3178)
杭州地区城区降雪中全氟化合物的污染特征	张明, 唐访良, 俞雅雲, 徐建芬, 陈金汉, 余波, 周姗, 张伟 (3185)
黄浦江流域典型污水中不同粒径胶体的三维荧光光谱特征	聂明华, 晏彩霞, 杨毅, 周俊良, 刘敏 (3192)
漓江地表水体有机碳来源	赵海娟, 肖琼, 吴夏, 刘凡, 苗迎, 蒋勇军 (3200)
夏季热分层效应对典型岩溶水库水化学及溶解无机碳的影响	吴飞红, 蒲俊兵, 李建鸿, 张陶, 李丽, 黄思宇 (3209)
城市不同功能区地表水重金属污染特性比较: 以宁波为例	徐美娟, 童桂华, 孙丹, 李建新, 虞效益 (3218)
地下水主要组分水化学异常识别方法对比: 以柳江盆地为例	张小文, 何江涛, 彭聪, 张昌延, 倪泽华 (3225)
人为扰动背景下城郊溪流底质磷的生物-非生物吸收潜力分析	李如忠, 叶舟, 高苏蒂, 郑悦 (3235)
长江口低氧区沉积物中磷的形态及其环境意义	刘军, 臧家业, 冉祥滨, 赵晨英, 刘季花, 王小静 (3243)
三峡库区小流域不同土地利用类型“土壤-水体”氮磷含量特征及其相互关系	陈成龙, 高明, 木志坚, 倪九派, 祁乐 (3254)
黄土高原降雨驱动下流域碳输移特征及其碳流失评估: 以羊圈沟坝系流域为例	鄂馨卉, 汪亚峰, 高扬, 陈利顶, 陈世博, 陈维梁 (3264)
新型溴代苯酚类消毒副产物的氯化降解机制	李欢, 李正魁, 李爱民, 周庆, 王莹, 潘咏 (3273)
藻形态及混凝剂组成对混凝-超滤过程的影响	张大为, 徐慧, 王希, 门彬, 王东升, 段晋明 (3281)
汝溪河浮游硅藻功能群特征及其与环境因子相关性分析	向蓉, 李巧玉, 喻焱, 张洪波, 董聪聪, 施军琼, 吴忠兴 (3290)
石岩水库叶绿素 a 时空分布及其影响因子分析	宋云龙, 张金松, 郭小雅, 朱佳, 王丽, 陶益, 张丽 (3302)
不同湿地模型中根系微生物的多样性	王林, 李冰, 余家辉, 朱加宾, 朱健 (3312)
北海湖微生物群落结构随季节变化特征	张雅洁, 李珂, 朱浩然, 张洪勋 (3319)
基于高通量测序的流化床生物滤器细菌群落结构分析	张海耿, 宋红桥, 顾川川, 单建军, 张宇雷, 倪琦 (3330)
高效反硝化菌和包埋填料性能及微生物群落分析	孟婷, 杨宏 (3339)
基于城市污水资源化的微藻筛选与污水预处理	韩松芳, 金文标, 涂仁杰, 陈洪一 (3347)
生物膜贴壁培养小球藻净化猪粪沼液废水的效果	王愿珠, 程鹏飞, 刘德富, 刘天中 (3354)
微气泡臭氧催化氧化-生化耦合工艺深度处理煤化工废水	刘春, 周洪政, 张静, 陈晓轩, 张磊, 郭延凯 (3362)
pH 冲击对海洋厌氧氨氧化菌处理含海水污水脱氮效能的影响	于德爽, 周同, 李津, 王晓霞, 吴国栋, 王骁静 (3369)
酒精废水部分亚硝化-厌氧氨氧化脱氮的可行性	周正, 林兴, 王凡, 顾澄伟, 沈婧, 袁砚, 金润 (3377)
模拟废水中钼的微生物回收及其对亚甲基蓝的催化特性	康乃馨, 朱能武, 郭雯颖, 何志心 (3385)
采用颜色空间表征 ANAMMOX 启动与冲击过程	王利君, 李志华, 韩冬, 张天宇, 杨成建 (3393)
CSTR 和 MBR 反应器的短程硝化快速启动	张婷, 吴鹏, 沈耀良, 闫刚, 徐乐中, Samwine Thomas (3399)
硫酸盐还原氨氧化体系中基质转化途径	完颜德卿, 黄勇, 毕贞, 刘忻, 姚鹏程, 张文静 (3406)
不同 TOC/NH ₄ ⁺ -N 对厌氧氨氧化脱氮效能的影响	王凡, 刘凯, 林兴, 周正, 李祥, 黄勇 (3415)
盐度对 EGSB 反应器的运行及厌氧颗粒污泥的影响	谭潇, 黄靛, 杨平, 涂奔州 (3422)
CANON 颗粒污泥工艺的启动与负荷提高策略	孙延芳, 韩晓宇, 张树军, 李星, 曹相生 (3429)
胞外聚合物对活性污泥吸附去除全氟辛酸磺酸 (PFOS) 的影响	刘鑫彤, 尹华, 彭辉, 李浩榕, 杨萍萍, 曹雅娟 (3435)
不同施肥方式下紫色土 N ₂ O 与 NO _x 的排放特征	胡磊, 刘韵, 朱波 (3442)
地膜覆盖对蔬菜地甲烷排放的影响	张凯莉, 郝庆菊, 冯迪, 石将来, 石孝均, 江长胜 (3451)
模拟的增温增雨对内蒙古温带草原土壤氨氧化微生物的影响	张翠景, 沈菊培, 孙翼飞, 王军涛, 杨中领, 韩红艳, 张丽梅, 万师强, 贺正 (3463)
长期施肥酸性旱地土壤硝化活性及自养硝化微生物特征	徐白璐, 钟文辉, 黄欠如, 秦红益, 邓欢, 韩成 (3473)
施加碳酸钙对酸性土壤微生物氮循环的影响	郭安宁, 段桂兰, 赵中秋, 唐仲, 王杨扬, 王伯勋 (3483)
水稻不同生育期根际与非根际土壤胞外酶对施氮的响应	魏亮, 汤珍珠, 祝贞科, 蔡观, 葛体达, 王久荣, 吴金水 (3489)
凋落物呼吸温度敏感性的变化特征及其影响因素	张彦军 (3497)
西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义	王新, 夏敦胜, 王博, 陈红, 刘浩 (3507)
小麦秸秆驱动菱铁矿热解制备磁性生物炭及其吸附 Cd ²⁺ 活性	张如玉, 刘海波, 邹雪华, 庆承松, 李梦雪, 陈冬, 陈天虎 (3519)
交通污染暴露对 DNA 甲基化的影响	汪婷, 丁锐, 黄丹妮, 祝子逸, 章军, 叶怀庄, 徐迎春, 金永堂 (3529)
外接菌种对污泥堆肥效能及堆体细菌群落的影响	杨萍萍, 尹华, 彭辉, 唐少宇, 卢妙, 刘皓 (3536)
中国电动自行车动力铅酸蓄电池生命周期评价	刘巍, 田金平, 陈吕军 (3544)
《环境科学》征稿简则 (3280) 《环境科学》征订启事 (3301) 信息 (3353, 3472, 3535)	

黄浦江流域典型污水中不同粒径胶体的三维荧光光谱特征

聂明华¹, 晏彩霞^{1,2*}, 杨毅^{2,3}, 周俊良², 刘敏³

(1. 江西师范大学地理与环境学院, 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022; 2. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; 3. 华东师范大学地理科学学院, 教育部地理信息科学重点实验室, 上海 200241)

摘要: 基于切向流超滤系统及三维荧光光谱技术, 对黄浦江流域典型污水(即生活污水及农业污水)中的胶体进行粒径分级及三维荧光光谱特性分析. 结果表明, 所选水样的胶体质量浓度及胶体态有机碳质量浓度分别为 $9.60 \sim 32.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.03 \sim 6.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 二者均随粒径的增加而呈递增趋势. 不同粒径分级胶体的三维荧光图谱表现为类蛋白荧光峰(峰 D 和峰 T)及类腐殖质荧光峰(峰 C 和峰 A)这 4 个荧光峰, 其中类蛋白荧光峰主要存在于 $M_r 1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 分级胶体中, 类腐殖质荧光峰主要存在于 $M_r 10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 分级胶体中. 同时, 通过表征胶体荧光光谱特性的荧光指数, 包括 FI 值、腐殖化指数 HIX 及生源指数 BIX, 分析了所选胶体的来源及光谱特性. 结果表明, 小粒径胶体主要为陆源来源, 芳香性及腐殖化程度较高; 而大粒径胶体自生源比重大, 类蛋白质物质是其主要成分.

关键词: 污水; 胶体; 粒径分级; 三维荧光光谱; 黄浦江

中图分类号: X131.2; X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)08-3192-08 DOI: 10.13227/j.hjks.201612204

Fluorescence Characterization of Fractionated Colloids in Wastewaters Received by Huangpu River

NIE Ming-hua¹, YAN Cai-xia^{1,2*}, YANG Yi^{2,3}, ZHOU Jun-liang², LIU Min³

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, School of Geographical Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The spectral characteristics of fractionated colloids in wastewaters from Huangpu River were isolated and investigated via cross flow ultrafiltration systems with different molecular mass of membranes and three-dimensional excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy. The results showed that the colloidal concentration (CC) and colloidal organic carbon content (COC) of all size fractions in all samples were in the ranges $9.60 \sim 32.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.03 \sim 6.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. Moreover, both CC and COC values increased as the colloidal size increased. The protein- (i.e., peaks D and T) and humic-like (peaks C and A) materials were present in all the size fractions (except for the $M_r 300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ size fraction of the influent sample), of which protein- and humic-like materials were mainly in the $M_r 1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ and $M_r 10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ size fractions, respectively. In addition, fluorescence indices (including the fluorescence index (FI), humification index (HIX), and the index of recent autochthonous contribution (BIX)) were introduced to determine the source and spectral characteristic of the selected colloids. These indices indicated that the relatively small colloids with high aromaticity and hydrophobicity mainly originated from terrestrial sources, whereas the relatively large colloids were predominantly from the recent autochthonous organic matter and the protein-like components.

Key words: wastewaters; colloids; fractionation; fluorescence; Huangpu River

天然胶体(colloids)指的是至少一维粒径介于 $1 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$ 之间的固态物质^[1,2]. 水环境中的胶体可源于火山爆发、岩石风化等自然过程,也可源于人类活动,如烟卤粉尘、污水排放等. 值得注意的是,随着纳米技术的发展及纳米材料的大量使用,这些纳米颗粒不可避免地进入水环境中,并成为天然胶体的重要组成部分. 胶体广泛存在于水环境中,具有化学异质性,其粒径小、比表面积大、表面活性基团丰富,因此易与水环境中的多种污染物相结

合^[3~6],进而影响这些污染物在水环境中的赋存、分配、迁移转化和生态效应等一系列环境行为.

收稿日期: 2016-12-23; 修订日期: 2017-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(41601523, 41601521, 41271473); 江西省自然科学基金项目(20161BAB213079, 20161BAB213077); 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室开放基金项目(PK2015006, PK2016006); 江西省教育厅科技计划项目(GJJ150307, GJJ160320); 江西师范大学博士启动基金项目

作者简介: 聂明华(1986~),男,博士,讲师,主要研究方向为污染物环境地球化学, E-mail: brightchina@163.com

* 通信作者, E-mail: wysyex@foxmail.com

天然胶体的粒径分布差异较大,不同粒径胶体所含的物质组成不尽相同^[1],并且胶体的粒径大小能够决定其理化特性,进而影响其对水环境中污染物的去向和归宿。例如,研究发现垃圾渗滤液中 $M_r > 100 \times 10^3$ 的溶解性有机质(DOM)降解最快,而邻苯二甲酸酯(PAEs)主要被 $M_r 1 \times 10^3 \sim 100 \times 10^3$ 组分所吸附^[7];土壤中 $M_r > 14 \times 10^3$ 的DOM对扑草净的迁移作用比其他分级组分大,这与该分级DOM中较多的芳香组分及不饱和结构有关^[8];同大粒径DOM相比($M_r 3.5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$),小粒径DOM($M_r < 3.5 \times 10^3$)对甲基汞的降解有促进作用^[9]。然而,当前有关天然胶体理化性质表征的研究还主要集中于胶体整体方面(即不区分胶体粒径或组分),对不同粒径胶体中的物质组成、形态结构等知之甚少。因此,亟需开展水环境中不同粒径天然胶体的理化性质研究,这是了解不同粒径胶体与污染物环境行为之间相互关系及作用机制的前提和关键。同时,天然胶体的来源复杂,因此需要综合应用多种技术来更好地表征其复杂性、异质性和多分散性^[10,11]。随着胶体分离及分析技术的发展,切向流超滤技术(cross-flow ultrafiltration, CFUF)和三维荧光光谱技术(3D EEM)能够有效结合,目前已被广泛用于不同粒径胶体的分离、组分鉴定及来源辨析^[12~15]。

黄浦江是上海的重要水道,流域内人口稠密、经济发达,上游农业污水及中下游城市生活污水、工业废水的排放成为流域内胶体及众多污染物的重要来源。胶体是水环境中污染物的重要载体,研究流域内典型污水中胶体、尤其是不同粒径胶体的理化性质,对于深入认识水环境中胶体及其所负载污染物的环境归趋均具有重要意义。因此,本研究选取黄浦江上游两处受养殖区废水排放影响河流(代表农业污水)及上海市区内的一处污水处理厂进出水(代表生活污水),采用CFUF技术对采集的水样进行粒径分级,利用3D EEM重点分析黄浦江流域典型污水中不同粒径胶体的三维荧光光谱特性,以期水环境中天然胶体的环境行为以及对痕量污染物的环境归趋作用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

污水处理厂污水及养殖区污水分别于2013年1月及4月采集回实验室,采样点分布如图1所示。养殖区采样点分别为大盈(种畜场)及天恩桥(养猪

场)。由于水深较浅(1.0~1.5 m左右),因而选取各采样点表层(30 cm以内)水体作为研究水样。污水处理厂位于上海市区内、黄浦江下游,水样分别采自污水厂进、出水口处。采样时,使用洗净后的50 L不锈钢桶进行储存、运输。



图1 黄浦江流域典型污水采样点分布示意

Fig. 1 Sampling sites along Huangpu River

1.2 水样的过滤与超滤

水样带回实验室后立即用孔径为1 μm 的玻璃纤维滤膜(PAUL, USA)进行过滤,因此过滤所得的水样为粒径 $< 1 \mu\text{m}$ 的过滤水。本研究采用CFUF(Pellicon System, Millipore)装置对水中胶体进行分离,超滤方法参照作者前期工作中所述方法^[6],超滤器内置不同规格的超滤膜(regenerated cellulose, Pellicon 2 PLAC, Millipore)。本研究所使用的超滤膜规格包括 $M_r 1 \times 10^3$ (0.5 m^2) 及 $M_r 5 \times 10^3$ 、 10×10^3 、 300×10^3 ($5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$) 等,根据超滤膜孔径的不同可以分离得到不同粒径的胶体浓缩液,粒径范围(M_r)分别为 $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 、 $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 、 $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 、 $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 。整个分离过程的回收率为72.5%~108.0%。

1.3 三维荧光光谱分析

三维荧光光谱分析采用日立(Hitachi)F-4500荧光分光光度计进行测定。三维荧光光谱的扫描波长分别为:激发波长 $E_x = 200 \sim 400 \text{ nm}$,发射波长 $E_m = 250 \sim 500 \text{ nm}$,激发波长和发射波长的增量均为3 nm。扫描模式为3D扫描,PMT电压为700 V,扫描速率为2400 $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$,响应时间为2 s,狭缝宽度为5 nm。所有样品测试前均依据各自的胶体质量浓度进行不同程度的稀释以去除内滤效应对分析结果的影响。利用Origin 9.0软件进行三维荧光光谱图(EEMs)的绘制及相关数据处理(所绘EEMs均为经过扣除Mili-Q超纯水后的矫正结果,以减少仪器条

件和拉曼散射对荧光光谱的影响). 根据 Coble 的研究^[16], 天然胶体的荧光峰可分为类蛋白物质及类腐殖质两类特征峰, 其中类蛋白荧光峰包括峰 D ($E_x = 210 \sim 230 \text{ nm}$, $E_m = 340 \sim 360 \text{ nm}$) 和峰 T ($E_x = 270 \sim 280 \text{ nm}$, $E_m = 330 \sim 370 \text{ nm}$), 类腐殖质荧光峰包括峰 A ($E_x = 210 \sim 250 \text{ nm}$, $E_m = 400 \sim 460 \text{ nm}$) 和峰 C ($E_x = 300 \sim 340 \text{ nm}$, $E_m = 400 \sim 460 \text{ nm}$).

为了进一步研究不同粒径分级胶体荧光组分的差异, 本研究引入荧光指数 FI 值、腐殖化指数 (humification index, HIX) 及生源指数 (the index of recent autochthonous contribution, BIX) 这 3 个表征胶体组分来源及特性的指标^[17]. FI 定义为 $E_x = 370 \text{ nm}$ 时, E_m 在 450 nm 和 500 nm 下的荧光强度的比值. 当 FI 接近 1.9 时, 表明荧光组分主要为内源来源; 当 FI 接近 1.4 时, 荧光组分主要为陆源来源^[18]. HIX 最早由 Zsolnay 等^[19] 在评价土壤中溶解性有机质的成熟度时引入. HIX 定义为 $E_x = 254 \text{ nm}$ 时, E_m 为 $435 \sim 480 \text{ nm}$ 与 $300 \sim 345 \text{ nm}$ 条件下峰值面积的比值. 当 HIX 为 $10 \sim 16$ 时, 表示荧光组分的腐殖化程度较高、主要为陆源来源, 当 $\text{HIX} < 4$ 时, 则主要为自生源有机质^[20]. BIX 主要指示的是微生物来源有机质与外源有机质的比例, 用以衡量自生源的贡献率, 定义为 $E_x = 310 \text{ nm}$ 时, E_m 为 380 nm 和 430 nm 时的荧光强度比值. 因此随着 BIX 增加, 荧光组分中的自生源贡献率随之增加. 当 $\text{BIX} > 1$ 时, 认为该有机质主要为新近产生的自生源有机质; 当 BIX 为 $0.6 \sim 0.7$ 时, 认为自生源的有机质较少.

1.4 胶体质量浓度、胶体态有机碳质量浓度测定

胶体质量浓度采用称量法进行测定. 即: 准确量取 10 mL 的胶体浓缩液置于表面皿中, 并用扎有小孔的铝箔将表面皿包裹, 60°C 烘箱烘干后, 利用公式(1)计算出胶体质量浓度 (CC, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$):

$$\text{CC} = (M - M_0) / (V \times \text{cf}) \quad (1)$$

式中, M_0 及 M 分别为烘干前、后表面皿的重量, cf 为胶体浓缩倍数 (40), V 为量取的胶体浓缩液体积.

过滤水、超滤水、胶体浓缩液中的有机碳质量浓度通过 TOC 分析仪测定 (liquiTOC II, Elementar, Germany), 胶体态有机碳质量浓度 (COC, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 则通过公式(2)计算获得:

$$\text{COC} = (C_r - C_p) / \text{cf} \quad (2)$$

式中, C_r 及 C_p 分别为胶体浓缩液及超滤水中有机碳质量浓度.

2 结果与讨论

2.1 不同粒径分级胶体的胶体质量浓度 (CC) 及胶体态有机碳质量浓度 (COC)

不同粒径 (M_r) 分级胶体 CC 及 COC 值如表 1 及图 2 所示. 4 种水样 $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 、 $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 、 $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 、 $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体 CC 分别为 $9.60 \sim 21.90$ 、 $12.05 \sim 22.70$ 、 $11.15 \sim 19.90$ 和 $13.40 \sim 32.50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 不同粒径分级胶体 CC 随粒径增加呈递增趋势 [图 2(a)], 但该趋势在污水厂出水中表现得最不明显, 而其他 3 种污水的 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级 CC 明显高于其他分级, 说明污水厂出水中小颗粒胶体的比重较大, 而其他 3 种污水以大颗粒胶体的比重较大. 此外, 养殖区污水 CC 大于污水厂进、出水, 其中污水厂出水中各分级 CC 最低, 并且除 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级以污水厂进水稍高, 其他分级的 CC 值均以养殖区污水较高. 说明养殖污水中的胶体质量浓度普遍高于生活污水, 且主要集中在 $M_r < 300 \times 10^3$ 的范围内. 从各粒径分级 CC 占全粒径 (即 M_r $1 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$) 胶体的比值看, $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 、 $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 、 $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 和 $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 胶体占全粒径 (M_r) 胶体的百分比分别为 $16.4\% \sim 23.5\%$ 、 $19.0\% \sim 26.1\%$ 、 $19.8\% \sim 24.1\%$ 和 $29.0\% \sim 44.9\%$. 其中, 污水厂进水以 $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 粒径分级胶体占主导 (44.9%), 其他 3 个分级 (即 $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 、 $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 和 $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$) CC 占全粒径 (M_r) 胶体比例均为 4 种水样中最低; 污水厂出水的 $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 、 $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 和 $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 所占比例均为 4 种水样中最高, 说明污水处理厂对大颗粒胶体 (即 $> 300 \times 10^3$) 的去除效果较显著.

典型污染源水体中超滤水的有机碳质量浓度 (UOC) 为 $4.62 \sim 6.78 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 其中 M_r $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 、 M_r $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 、 M_r $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 和 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 胶体的 COC 依次为 $0.03 \sim 0.43$ 、 $0.24 \sim 1.47$ 、 $0.40 \sim 2.22$ 和 $2.12 \sim 6.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. UOC 及各粒径分级胶体 COC 占水体总有机碳的比例分别为 $46.7\% \sim 60.4\%$ ($M_r < 1 \times 10^3$)、 $0.3\% \sim 1.6\%$ (M_r $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$)、 $2.3\% \sim 6.9\%$ (M_r $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$)、 $3.7\% \sim 8.5\%$ (M_r $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$)、 $23.9\% \sim 39.3\%$ (M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$). 从图 2(b) 可以看出, 各粒径分级胶体的 COC

随胶体粒径的增加而增加,其中污水厂进水 COC 最高,养殖区污水 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级 COC 明显高于其他 3 个分级,而污水厂出水各粒径分级 COC 相差最小. 相关分析结果表明,各粒径分级胶体 CC 与其 COC 之间存在显著正相关关系 ($R = 0.77, P < 0.001$),结合前文分析可知单位体积典型污水中大尺寸胶体的质量浓度大、胶体态有机碳的质量浓度较高. 计算结果发现, M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 粒径胶体 COC 大约是 M_r $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 粒径胶体的 13 ~ 137 倍,说明污水厂及养殖区水体中的有机碳主要集中在大尺寸的胶体上. 换言之,能够去除这一粒径分级的胶体对于控制污水中的有机碳浓度具有重要意义. 就污水厂进、出水的 COC 而言,各粒径分级中有机碳的去除效率基本一致,在 60% ~ 70% 之间.

2.2 不同分级胶体样品的三维荧光光谱特性

4 种污水样品不同粒径分级胶体的EEMs如图

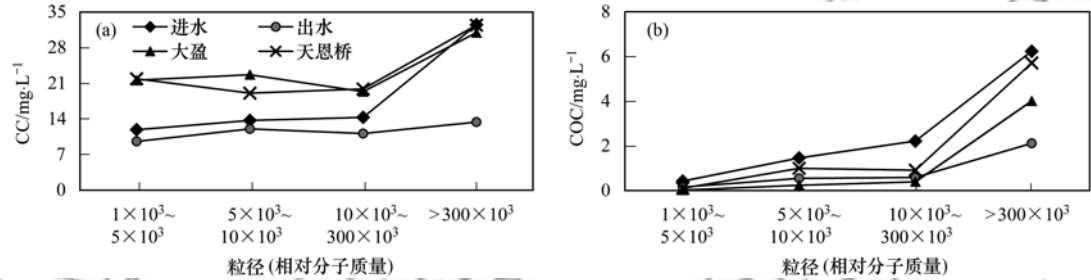


图2 不同粒径分级胶体的质量浓度 (CC) 及胶体态有机碳质量浓度 (COC)

Fig. 2 Colloidal concentration and colloidal organic carbon content of the different colloidal size fractions

3 所示. 根据 Coble^[16]对荧光峰的分类,本研究中除进水 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体 (无峰 D) 外,4 种荧光团均存在,其荧光峰荧光强度最大值位置分别为 $E_x/E_m = 230/352 \sim 361 \text{ nm}$ (峰 D)、 $E_x/E_m = 281/331 \sim 370 \text{ nm}$ (峰 T)、 $E_x/E_m = 239 \sim 251/400 \sim 460 \text{ nm}$ (峰 A)、 $E_x/E_m = 311 \sim 341/400 \sim 451 \text{ nm}$ (峰 C). 一般而言,类腐殖质荧光峰与腐殖质结构中的羰基和羧基有关^[21~23],且其强度通常都比较大. 但受到人类活动污染后,河流中胶体的类蛋白荧光峰强度会明显增强. 类蛋白荧光峰通常与胶体中的芳环氨基酸结构有关^[24~26],其主要来源于生物活动和人为活动的干扰,其强度可指示水体中的微生物活动及受污染的程度^[27]. 本研究中 4 种污水中荧光强度变化趋势为大盈 > 进水 > 出水 ≈ 天恩桥 [图 4 (a)],并且可以看出,峰 C 为进水、出水及天恩桥污水的主要荧光峰,峰 T 为大盈水样的主要荧光峰. 以上结果说明污水厂进水经处理后胶体荧光强度有明显降低,并且不同来源污水的主导荧光峰差异较大,比如对于不同的农业污水,其主导荧光峰也

表 1 不同粒径分级胶体的理化性质
Table 1 Physicochemical properties of the different colloidal size fractions

样点	粒径(M_r)分级	FI	HIX	BIX
进水	$1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$	1.40	7.50	0.73
	$5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$	1.30	12.14	0.64
	$10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$	1.43	5.28	0.77
	$300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$	1.76	1.34	1.84
出水	$1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$	1.34	7.55	0.79
	$5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$	1.31	12.12	0.64
	$10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$	1.28	11.73	0.66
	$300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$	1.25	11.26	0.63
大盈	$1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$	1.25	1.75	1.20
	$5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$	1.18	2.56	1.15
	$10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$	1.18	2.50	1.20
	$300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$	1.65	2.32	1.66
天恩桥	$1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$	1.30	4.77	0.73
	$5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$	1.15	7.71	0.60
	$10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$	1.18	6.89	0.62
	$300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$	1.46	4.76	0.84

有所不同. 此外,4 种水样均呈现出较高的类蛋白荧光峰,表明这些水体受到了人类活动的强烈干扰,其中大盈水样受干扰的情况最为严重.

此外,分析 4 种荧光峰的最大荧光强度发现 [图 4 (b)],随胶体粒径的增加所有污水样品中峰 D 和峰 A 的荧光强度总体呈减小趋势,峰 C 的荧光强度呈增加趋势;但对于峰 T,随胶体粒径增加,进水及出水样品中呈增加趋势,大盈及天恩桥水样中呈减小趋势. 结合前人研究,推测本研究中 $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 分级胶体主要为类腐殖质荧光峰,类蛋白荧光峰主要存在于 M_r $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 分级胶体中^[28,29]. 而 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体中的荧光峰较少,这与黄文丹等研究发现长江口水体中 $M_r > 500 \times 10^3$ 胶体中的荧光组分较少结论一致^[12]. 相关分析还发现,峰 D、峰 T、峰 A 两两间存在显著正相关关系,相关系数分别为 0.84 ($P < 0.001$, 峰 D 与峰 T)、0.93 ($P < 0.001$, 峰 D 与峰 A)、0.77 ($P < 0.001$, 峰 T 与峰 A),说明水体受人类活动干扰加剧的同时,类蛋白荧光物质及腐殖酸亦随之增加,其来源主要为

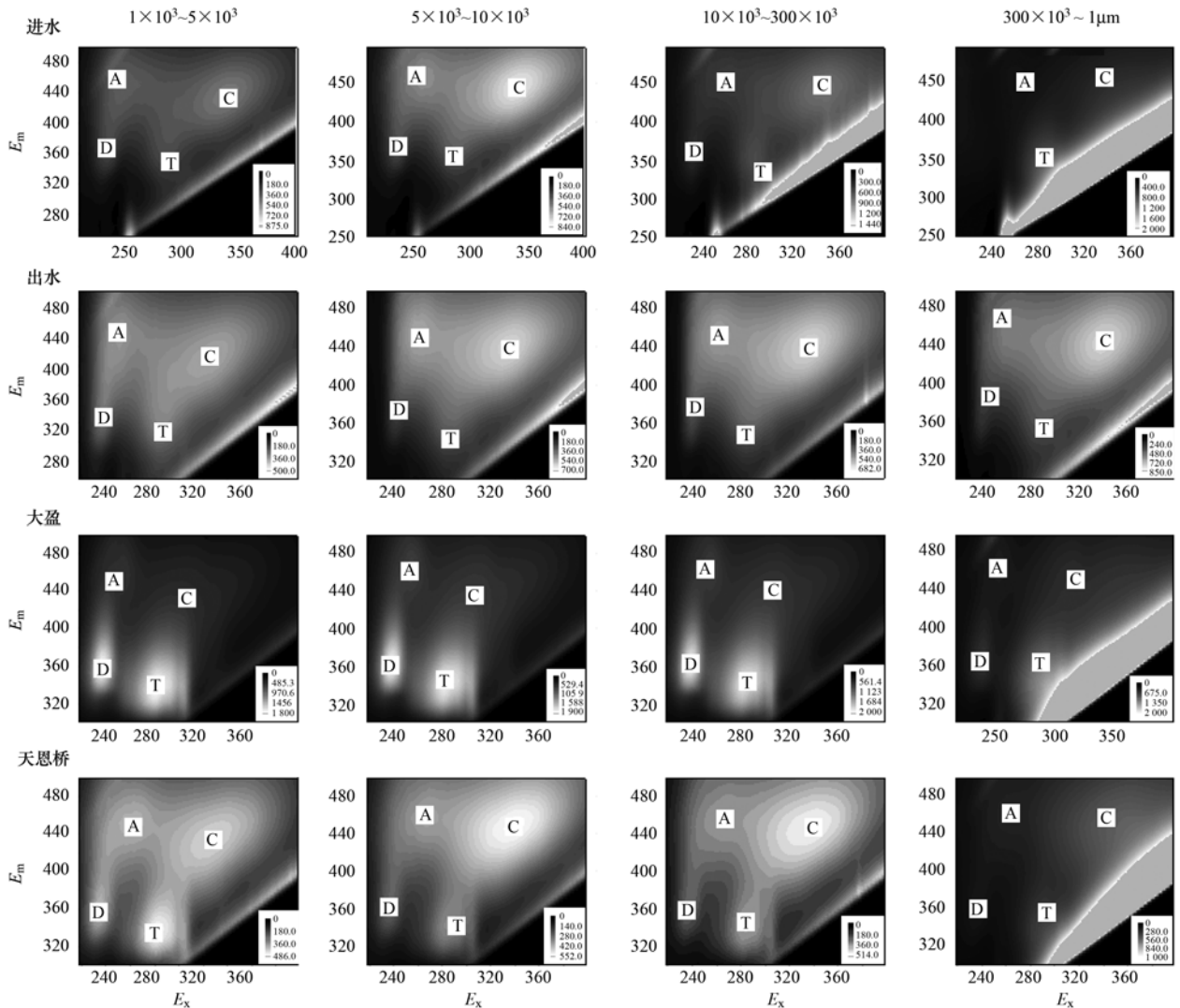


图3 不同来源水体中不同粒径分级胶体的 EEMs

Fig. 3 Fluorescence EEM plots and fluorescence peak positions of the different colloidal fractionations from the different sources

外源输入,并且这3种荧光组分存在同源性。

胶体各荧光指数值如表1所示(包括FI、HIX、BIX)。4种污水的FI值为1.15~1.76,表明所选胶体既有陆源又有内源类荧光物质存在。并且, M_r $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 、 $5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 和 $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 分级胶体的FI值较接近1.4(表1),而 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体(除出水水样外)的FI值较接近1.9,说明小粒径胶体的荧光物质主要为陆源来源,而大粒径胶体多来源于生物分解的内源来源。此结论与天然水体中不同粒径分级的胶体分析结果一致^[30],即天然水体中的胶体($1 \sim 100 \times 10^3$)主要为陆源来源。由此看出,典型污水与天然水体不同分级胶体的判源方法相似,但当胶体粒径较大时(如 $M_r > 300 \times 10^3$),该分析方法并不适用,这可能与大粒径胶体中较高的脂肪碳有关。此外,一般而言,荧光指数FI值越低,荧光物质的芳香性越

高^[31]。因此,从进、出水的FI对比值看,出水中 M_r $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 及 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体的FI值明显降低,说明污水处理厂对进水中大粒径胶体($M_r > 100 \times 10^3$)的非芳香性组分进行了较好的处理,从而使得出水中这些粒径分级胶体的芳香性明显提高。从污水厂和养殖区污水的FI对比值看,养殖区污水较低,说明养殖区污水中胶体的芳香性较高。

本研究中HIX值为1.34~12.14,说明所分级胶体的腐殖化程度差异较大,来源上既有陆源又有内源类荧光物质存在(HIX > 16代表DOM具有强腐殖化特征,以陆源输入为主; $6 < \text{HIX} < 10$ 代表较强腐殖化特征,且有较弱自生源特征; $4 < \text{HIX} < 6$ 代表弱腐殖化特征,及较强自生源特征; < 4 表示自生源为主^[32]),该结论与FI值的分析结果较吻合。相关分析表明,二者呈显著负相关关系($R =$

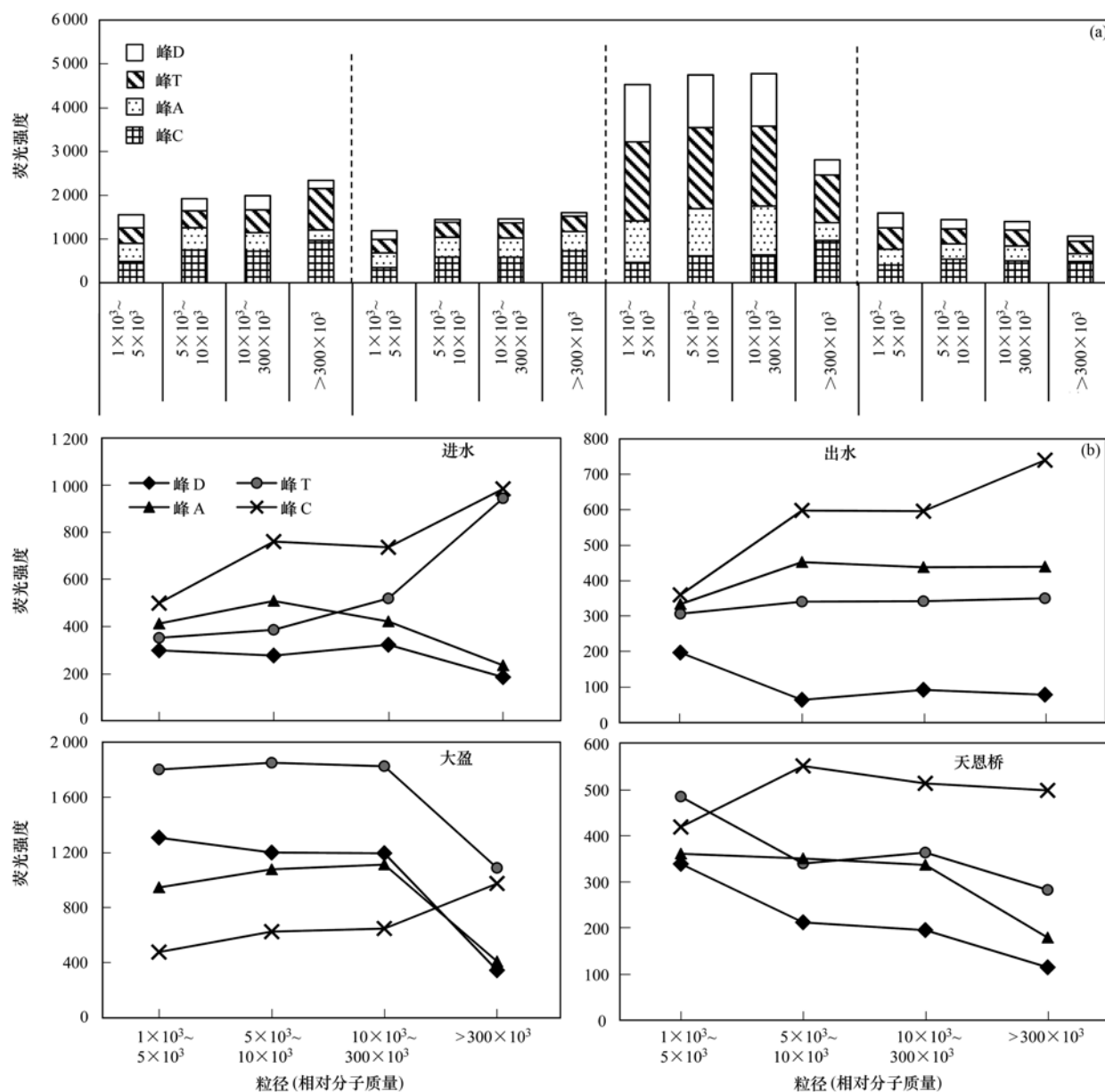


图4 不同粒径分级胶体4种荧光团的峰值荧光强度

Fig. 4 Fluorescence intensities of peak positions of four selected fluorophores

-0.48, $P=0.032$). 从粒径分级的变化趋势上看, $M_r 5 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ 和 $M_r 10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 分级胶体的 HIX 值相对较高, 表明这两个分级胶体的腐殖化程度相对较高, 该结论与这两个分级胶体中峰 A 较高的荧光强度值相一致[图4(b)], 但本研究并未发现 HIX 值与峰 A 的最大荧光强度间存在显著相关关系。

4种污水的 BIX 值为 0.60 ~ 1.84。可以看出, 除大盈污水及进水的 $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体外, 其它水样大部分分级胶体的 BIX 值均接近 0.6 ~ 0.7, 说明这些分级胶体自生源的比率低, 该结论与 FI 值的分析结果一致。从粒径分级的变化趋势上

看, $M_r 300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体的 BIX 值与其他粒径分级胶体相比有明显增加的趋势(除出水外), 说明大粒径胶体为新近产生的自生源有机质的可能性大。大粒径胶体 BIX 值较高的原因在于: 大粒径胶体所受自然降解过程相较于小粒径胶体弱, 结构中易降解组分所占比重大, 尤其是类蛋白组分。因此, 本研究中出水的 BIX 值明显低于进水; 生活污水的 BIX 值稍低于农业污水。

3 结论

(1) 黄浦江流域典型污水的 CC 及 COC 值均随胶体粒径的增加而呈递增趋势, 其中污水处理厂出

水 M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级的 CC 与 COC 值明显下降,说明污水处理厂对大颗粒胶体(即 $M_r > 300 \times 10^3$)的去除效果较显著,这对于控制出水中的有机碳浓度具有重要意义。

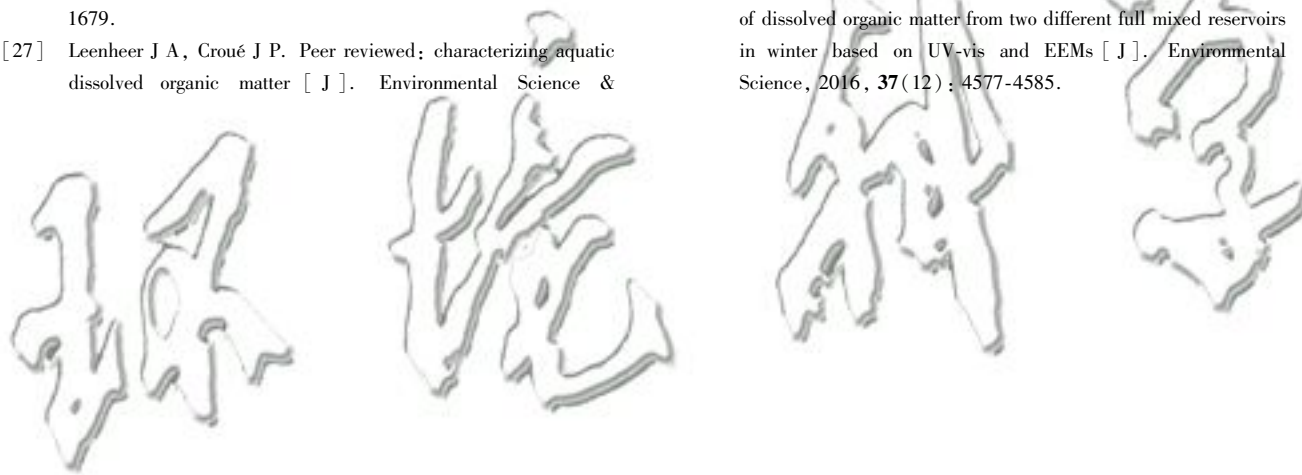
(2) 黄浦江典型污水不同粒径分级胶体的 EEMs 表现为类蛋白荧光峰(峰 D 和峰 T)及类腐殖质荧光峰(峰 C 和峰 A),其中污水厂进水、出水及天恩桥污水以峰 C 为主要荧光峰,大盈水样以峰 T 为主要荧光峰;不同荧光峰随胶体粒径的变化呈现不同规律,类腐殖质荧光峰主要存在于 M_r $10 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ 分级胶体中,类蛋白荧光峰主要存在于 M_r $1 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ 分级胶体中, M_r $300 \times 10^3 \sim 1 \mu\text{m}$ 分级胶体中的荧光峰较少。

(3) 光谱分析结果表明,小粒径胶体陆源来源可能性更大、芳香性及腐殖化程度更高。

参考文献:

- [1] Lead J R, Wilkinson K J. Aquatic colloids and nanoparticles: current knowledge and future trends [J]. *Environmental Chemistry*, 2006, **3**(3): 159-171.
- [2] Guo L D, Santschi P H. Ultrafiltration and its applications to sampling and characterisation of aquatic colloids [A]. In: Wilkinson K J, Lead J R (Eds.). *Environmental Colloids and Particles: Behaviour, Separation and Characterisation* [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 159-222.
- [3] Kalmykova Y, Björklund K, Strömvall A M, et al. Partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons, alkylphenols, bisphenol A and phthalates in landfill leachates and stormwater [J]. *Water Research*, 2013, **47**(3): 1317-1328.
- [4] Ngueleu S K, Grathwohl P, Cirpka O A. Effect of natural particles on the transport of lindane in saturated porous media: laboratory experiments and model-based analysis [J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2013, **149**: 13-26.
- [5] Nie M H, Yang Y, Liu M, et al. Environmental estrogens in a drinking water reservoir area in Shanghai: occurrence, colloidal contribution and risk assessment [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **487**: 785-791.
- [6] Yan C X, Yang Y, Zhou J L, et al. Selected emerging organic contaminants in the Yangtze Estuary, China: a comprehensive treatment of their association with aquatic colloids [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2015, **283**: 14-23.
- [7] Zheng Z, Zhang H, He P J, et al. Co-removal of phthalic acid esters with dissolved organic matter from landfill leachate by coagulation and flocculation process [J]. *Chemosphere*, 2009, **75**(2): 180-186.
- [8] Chen G, Lin C, Chen L, et al. Effect of size-fractionation dissolved organic matter on the mobility of prometryne in soil [J]. *Chemosphere*, 2010, **79**(11): 1046-1055.
- [9] Kim M K, Won A Y, Zoh K D. Effects of molecular size fraction of DOM on photodegradation of aqueous methylmercury [J]. *Chemosphere*, 2017, **174**: 739-746.
- [10] Lapworth D J, Stolpe B, Williams P J, et al. Characterization of suboxic groundwater colloids using a multi-method approach [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(6): 2554-2561.
- [11] Yang Y, Colman B P, Bernhardt E S, et al. Importance of a nanoscience approach in the understanding of major aqueous contamination scenarios: case study from a recent coal ash spill [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, **49**(6): 3375-3382.
- [12] 黄文丹, 周立旻, 郑祥民, 等. 长江河口不同分子量溶解有机质的三维荧光光谱特征 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, **33**(4): 1000-1004.
Huang W D, Zhou L M, Zheng X M, et al. Spectroscopic characteristics of different molecular weight dissolved organic matter in water from Yangtze River Estuary [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, **33**(4): 1000-1004.
- [13] 付佳露, 杨毅, 彭欢, 等. 长江口水环境中纳米颗粒物初探 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(7): 1924-1931.
Fu J L, Yang Y, Peng H, et al. Study on nanoparticles in Yangtze estuary [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(7): 1924-1931.
- [14] 刘瑞霞, 李斌, 刘娜娜, 等. 辽河流域与英国中部河湖水体中溶解有机质的荧光特性 [J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(9): 2321-2328.
Liu R X, Li B, Liu N N, et al. Fluorescence characteristics of dissolved organic matter in freshwaters from Liaohe Basin and Midland of UK [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(9): 2321-2328.
- [15] Yan C X, Nie M H, Lead J R, et al. Application of a multi-method approach in characterization of natural aquatic colloids from different sources along Huangpu River in Shanghai, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **554-555**: 228-236.
- [16] Coble P G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy [J]. *Marine Chemistry*, 1996, **51**(4): 325-346.
- [17] Huguet A, Vacher L, Saubusse S, et al. New insights into the size distribution of fluorescent dissolved organic matter in estuarine waters [J]. *Organic Geochemistry*, 2010, **41**(6): 595-610.
- [18] McKnight D M, Boyer E W, Westerhoff P K, et al. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity [J]. *Limnology and Oceanography*, 2001, **46**(1): 38-48.
- [19] Zsolnay A, Baigar E, Jimenez M, et al. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying [J]. *Chemosphere*, 1999, **38**(1): 45-50.
- [20] Huguet A, Vacher L, Relexans S, et al. Properties of fluorescent dissolved organic matter in the Gironde Estuary [J]. *Organic Geochemistry*, 2009, **40**(6): 706-719.
- [21] Wu F C, Tanoue E. Isolation and partial characterization of dissolved copper-complexing ligands in streamwaters [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, **35**(18): 3646-3652.
- [22] 傅平青, 刘丛强, 尹祚莹, 等. 腐殖酸三维荧光光谱特性研究 [J]. *地球化学*, 2004, **33**(3): 301-308.
Fu P Q, Liu C Q, Yin Z Y, et al. Characterization of humic acid by three-dimensional excitation emission matrix fluorescence

- spectroscopy[J]. *Geochimica*, 2004, **33**(3): 301-308.
- [23] 宋晓娜, 于涛, 张远, 等. 利用三维荧光技术分析太湖水体溶解性有机质的分布特征及来源[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(11): 2321-2331.
- Song X N, Yu T, Zhang Y, *et al.* Distribution characterization and source analysis of dissolved organic matters in Taihu Lake using three dimensional fluorescence excitation-emission matrix [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, **30**(11): 2321-2331.
- [24] Baker A. Fluorescence excitation-emission matrix characterization of river waters impacted by a tissue mill effluent [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(7): 1377-1382.
- [25] 傅平青, 刘丛强, 吴丰昌. 溶解有机质的三维荧光光谱特征研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2005, **25**(12): 2024-2028.
- Fu P Q, Liu C Q, Wu F C. Three-dimensional excitation emission matrix fluorescence spectroscopic characterization of dissolved organic matter [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2005, **25**(12): 2024-2028.
- [26] Fu P Q, Wu F C, Liu C Q, *et al.* Fluorescence characterization of dissolved organic matter in an urban river and its complexation with Hg(II) [J]. *Applied Geochemistry*, 2007, **22**(8): 1668-1679.
- [27] Leenheer J A, Croué J P. Peer reviewed: characterizing aquatic dissolved organic matter [J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, **37**(1): 18A-26A.
- [28] Thurman E M. *Organic geochemistry of natural waters* [M]. Netherlands: Springer, 1985.
- [29] Boehme J, Wells M. Fluorescence variability of marine and terrestrial colloids: examining size fractions of chromophoric dissolved organic matter in the Damariscotta River estuary [J]. *Marine Chemistry*, 2006, **101**(1-2): 95-103.
- [30] 刘娜娜, 李斌, 刘瑞霞, 等. 浑太水系水体中不同粒径有机胶体荧光光谱特性[J]. *环境科学*, 2014, **35**(11): 4103-4110.
- Liu N N, Li B, Liu R X, *et al.* Fluorescence characteristics of fractionated colloidal organic matter in freshwater from Hunhe and Taizhe watersheds [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(11): 4103-4110.
- [31] Batchelli S, Muller F L L, Baalousha M, *et al.* Size fractionation and optical properties of colloids in an organic-rich estuary (Thurso, UK) [J]. *Marine Chemistry*, 2009, **113**(3-4): 227-237.
- [32] 黄廷林, 方开凯, 张春华, 等. 利用 UV-vis 及 EEMs 对比冬季完全混合下两个不同特征水库溶解性有机物的光学特性[J]. *环境科学*, 2016, **37**(12): 4577-4585.
- Huang T L, Fang K K, Zhang C H, *et al.* Optical characteristics of dissolved organic matter from two different full mixed reservoirs in winter based on UV-vis and EEMs [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(12): 4577-4585.



CONTENTS

Evaluation and Development of a Weighing Chamber by Using Saturated MgCl_2 Solution	LI Xiao-xiao, ZHANG Qiang, DENG Jian-guo, <i>et al.</i>	(3095)
Characteristics Research on Carbonaceous Component of Particulate Matter Emitted from Iron and Steel Industry	ZHANG Jin-sheng, WU Jian-hui, MA Xian, <i>et al.</i>	(3102)
Pollution Characteristics and Source Identification of PAHs in Atmospheric $\text{PM}_{2.5}$ in Changzhou City	GU Ai-jun, LIU Jia-shu, LUO Shi-peng, <i>et al.</i>	(3110)
Atmospheric Dry Deposition Fluxes and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lanzhou Valley, Northwest China	JU Yuan-li, LIU Pan-liang, YU Zhou-suo, <i>et al.</i>	(3120)
Characteristics and Sources of Elements in Atmospheric Dust Fall in Zhuzhou City, Central China	WANG Shi-hao, ZHANG Kai, CHAI Fa-he, <i>et al.</i>	(3130)
Atmospheric Pollutant Emission Characteristics from the Cooking Process of Traditional Beijing Roast Duck	XU Min, HE Wan-qing, NIE Lei, <i>et al.</i>	(3139)
Exhaust Emission Characteristics of Typical Alkanes from Heavy-Duty Diesel Vehicles Based on a Portable Emission Measurement System	SHI Chun-zhen, HAO Xue-wei, SHEN Xian-bao, <i>et al.</i>	(3146)
PM_{10} Concentration Forecasting Model Based on Wavelet-SVM	WANG Ping, ZHANG Hong, QIN Zuo-dong, <i>et al.</i>	(3153)
Emission Factors and Preliminary Emission Estimates of Air Pollutants from Ships at Berth in the Guangzhou Port	HUANG Xue-liang, ZHANG Zhou, YANG Wei-qiang, <i>et al.</i>	(3162)
Influence of Dust Events on the Concentration and Size Distribution of Microorganisms in Bioaerosols	LI Hong-tao, Qi Jian-hua, DONG Li-jie, <i>et al.</i>	(3169)
Odor Emission Characteristics and Pollution Evaluation from Typical Household Rubbish Disposal Facilities	LU Hui-jie	(3178)
Perfluorinated Compounds in Snow from Downtown Hangzhou, China	ZHANG Ming, TANG Fang-liang, YU Ya-yun, <i>et al.</i>	(3185)
Fluorescence Characterization of Fractionated Colloids in Wastewaters Received by Huangpu River	NIE Ming-hua, YAN Cai-xia, YANG Yi, <i>et al.</i>	(3192)
Sources of Organic Carbon in the Surface Water of Lijiang River	ZHAO Hai-juan, XIAO Qiong, WU Xia, <i>et al.</i>	(3200)
Impacts of Thermal Stratification on the Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon in a Typical Karst Reservoir in Summer	WU Fei-hong, PU Jun-bing, LI Jian-hong, <i>et al.</i>	(3209)
Comparison of Heavy Metal Contamination Characteristics in Surface Water in Different Functional Areas; A Case Study of Ningbo	XU Mei-juan, TONG Gui-hua, SUN Dan, <i>et al.</i>	(3218)
Comparison of Identification Methods of Main Component Hydrochemical Anomalies in Groundwater; A Case Study of Liujiang Basin	ZHANG Xiao-wen, HE Jiang-tao, PENG Cong, <i>et al.</i>	(3225)
Biotic and Abiotic Uptake of Phosphorus in Benthic Sediments of Suburban Streams Under Intense Human Disturbance Scenario	LI Ru-zhong, YE Zhou, GAO Su-di, <i>et al.</i>	(3235)
Sedimentary Phosphorus Speciation in the Coastal Hypoxic Area of Changjiang Estuary and Its Environmental Significance	LIU Jun, ZANG Jia-ye, RAN Xiang-bin, <i>et al.</i>	(3243)
Characteristics and the Relationship of Nitrogen and Phosphorus in Soil and Water of Different Land Use Types of a Small Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Cheng-long, GAO Ming, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(3254)
Characteristics of Carbon Transportation Under Rainfall Events and Associated Carbon Loss Evaluation in Loess Plateau, China; A Case Study of Yangjuangou Dam Watershed	E Xin-hui, WANG Ya-feng, GAO Yang, <i>et al.</i>	(3264)
New Bromated Phenolic Disinfection Byproducts: Mechanism of Their Decomposition During Chlorination	LI Huan, LI Zheng-kui, LI Ai-min, <i>et al.</i>	(3273)
Effects of Algal Morphology and Al Species Distribution on the Coagulation-Ultrafiltration Process	ZHANG Da-wei, XU Hui, WANG Xi, <i>et al.</i>	(3281)
Functional Group Characteristics of Planktonic Diatoms and Their Relationship with Environmental Factors in the Ruxi River	XIANG Rong, LI Qiao-yu, YU Yi, <i>et al.</i>	(3290)
Spatiotemporal Variations of Chlorophyll <i>a</i> and Its Relationship to Environmental Factors in Shiyan Reservoir	SONG Yun-long, ZHANG Jin-song, Guo Xiao-ya, <i>et al.</i>	(3302)
Rhizosphere Microbial Diversity in Different Wetland Microcosms	WANG Lin, LI Bing, YU Jia-hui, <i>et al.</i>	(3312)
Community Structure of Microorganisms and Its Seasonal Variation in Beihai Lake	ZHANG Ya-jie, LI Ke, ZHU Hao-ran, <i>et al.</i>	(3319)
Analysis of Microbial Diversity in a Fluidized-Sand Biofilter Based on High-Throughput Sequencing Technology	ZHANG Hai-geng, SONG Hong-qiao, GU Chuan-chuan, <i>et al.</i>	(3330)
Analysis of High-efficiency Denitrifying Bacteria and Embedding Filler Performance and Microflora	MENG Ting, YANG Hong	(3339)
Selection of Microalgae for Biofuel Using Municipal Wastewater as a Resource	HAN Song-fang, JIN Wen-biao, TU Ren-jie, <i>et al.</i>	(3347)
Purification Effect of Piggery Wastewater with <i>Chlorella pyrenoidosa</i> by Immobilized Biofilm-Attached Culture	WANG Yuan-zhu, CHENG Peng-fei, LIU De-fu, <i>et al.</i>	(3354)
Combination of Microbubble Catalytic Ozonation and Biological Process for Advanced Treatment of Biotreated Coal Chemical Wastewater	LIU Chun, ZHOU Hong-zheng, ZHANG Jing, <i>et al.</i>	(3362)
Effect of pH Shock on Nitrogen Removal Performance of Marine Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria Treating Saline Wastewater	YU De-shuang, ZHOU Tong, LI Jin, <i>et al.</i>	(3369)
Removal of Nitrogen from Alcohol Wastewater by PN-ANAMMOX	ZHOU Zheng, LIN Xing, WANG Fan, <i>et al.</i>	(3377)
Biorecovery of Palladium from Simulated Wastewaters and Its Catalytic Property for Methylene Blue	KANG Nai-xin, ZHU Neng-wu, GUO Wen-ying, <i>et al.</i>	(3385)
Investigation of Initiation and Shock Process of ANAMMOX Based on Color Space	WANG Li-jun, LI Zhi-hua, HAN Dong, <i>et al.</i>	(3393)
Fast Start-up of Shortcut Nitrification in a CSTR and an MBR	ZHANG Ting, WU Peng, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i>	(3399)
Conversion Pathways of Substrates in Sulfate-Reducing Ammonia Oxidation System	WANYAN De-qing, HUANG Yong, BI Zhen, <i>et al.</i>	(3406)
Effect of Different TOC to NH_4^+ -N Ratios on Nitrogen Removal Efficiency in the ANAMMOX Process	WANG Fan, LIU Kai, LIN Xing, <i>et al.</i>	(3415)
Effects of Salinity on the Operation of EGSB Reactors and the Anaerobic Granular Sludge	TAN Xiao, HUANG Liang, YANG Ping, <i>et al.</i>	(3422)
Start-up of Granule CANON Process and the Strategy for Enhancing Total Nitrogen Removal Rate	SUN Yan-fang, HAN Xiao-yu, ZHANG Shun-jun, <i>et al.</i>	(3429)
Effect of Extracellular Polymeric Substance (EPS) on the Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) onto Activated Sludge	LIU Xin-tong, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i>	(3435)
Characteristics of N_2O and NO_x Emissions from Purple Soil Under Different Fertilization Regimes	HU Lei, LIU Yun, ZHU Bo, <i>et al.</i>	(3442)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane Emission from a Vegetable Field	ZHANG Kai-li, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i>	(3451)
Responses of Soil Ammonia Oxidizers to Simulated Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe of Inner Mongolia	ZHANG Cui-jing, SHEN Ju-pei, SUN Yi-fei, <i>et al.</i>	(3463)
Nitrification Activity and Autotrophic Nitrifiers in Long-term Fertilized Acidic Upland Soils	XU Bai-lu, ZHONG Wen-hui, HUANG Qian-ru, <i>et al.</i>	(3473)
Effects of CaCO_3 Application on Soil Microbial Nitrogen Cycle in an Acid Soil	GUO An-ning, DUAN Gui-lan, ZHAO Zhong-qiu, <i>et al.</i>	(3483)
Responses of Extracellular Enzymes to Nitrogen Application in Rice of Various Ages with Rhizosphere and Bulk Soil	WEI Liang, TANG Zhen-zhu, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i>	(3489)
Variation in the Temperature Sensitivity of Surface Litter Respiration and Its Influencing Factors	ZHANG Yan-jun	(3497)
Magnetic Properties of Farmland Soils in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Implications	WANG Xin, XIA Dun-sheng, WANG Bo, <i>et al.</i>	(3507)
Preparation of Magnetic Biomass Carbon by Thermal Decomposition of Siderite Driven by Wheat Straw and Its Adsorption on Cadmium	ZHANG Ru-yu, LIU Hai-bo, ZOU Xue-hua, <i>et al.</i>	(3519)
Effects of Traffic-related Air Pollution Exposure on DNA Methylation	WANG Ting, DING Rui, HUANG Dan-ni, <i>et al.</i>	(3529)
Effects of Exogenous Microorganism Inoculation on Efficiency and Bacterial Community Structure of Sludge Composting	YANG Ping-ping, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i>	(3536)
Life Cycle Assessment of Traction Lead-acid Batteries for Electric Bikes in China	LIU Wei, TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun	(3544)