

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第2期

Vol.39 No.2

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

特别策划:挥发性有机污染物(VOCs)排放特征、减排控制、环境政策研究专辑(III)

序 郝郑平(477)

我国机动车排放VOCs及其大气环境影响 陈天增,葛艳丽,刘永春,贺泓(478)

基于PMF量化工业排放对大气挥发性有机物(VOCs)的影响:以南京市江北工业区为例 胡崑,王鸣,郑军,王红丽,卢兴东,景盛翱,陈超(493)

南京工业区挥发性有机物来源解析及其对臭氧贡献评估 张玉欣,安俊琳,王俊秀,师远哲,刘静达,梁静舒(502)

某工业园区VOCs臭氧生成潜势及优控物种 武蕾丹,王秀艳,杨文,郭凤艳,刘锦(511)

某石油化工园区秋季VOCs污染特征及来源解析 胡天鹏,李刚,毛瑶,郑煌,秦世斌,闵洋,张家泉,邢新丽,祁士华(517)

某典型石油化工园区冬季大气中VOCs污染特征 毛瑶,李刚,胡天鹏,郑煌,安艺伟,闵洋,邢新丽,祁士华(525)

杭州市工业源VOCs排放清单及排放特征 卢滨,黄成,卢清,杨强,井宝莉,夏阳,唐伟,顾泽平(533)

秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征 虎啸宇,刘航,王乃玉,王灿,揣莹(543)

浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数 杨忠平,王浙明,何志桥,徐志荣,滕富华,张华岳(551)

汽车制造企业恶臭来源及影响分析 石田立,张伟霞,陈小方,张嘉妮,梁小明,范丽雅,叶代启(557)

典型酿造业厂界无组织排放VOCs污染特征与风险评价 高占啟,胡冠九,王荃,朱冰清,陈素兰(567)

成都市大气环境VOCs污染特征及其健康风险评价 李友平,唐娅,范忠雨,蒲敏,章金莲,杨铮铮,吴大磊(576)

上海地区住宅儿童卧室室内甲醛和苯系物浓度的现场检测分析 蒋巧云,刘平平,王雪颖,路荣春,刘炜,周华元,龚莹莹,周亚欣,黄晨(585)

江苏省人为源VOCs排放清单及其对臭氧生成贡献 夏思佳,刘倩,赵秋月(592)

江门市人为源挥发性有机物排放清单 陈小方,张伟霞,陈柄旭,张嘉妮,范丽雅,叶代启(600)

长江三角洲2014年天然源BVOCs排放、组成及时空分布 刘岩,李莉,安静宇,张伟,严茹莎,黄凌,黄成,王红丽,王卿,王敏(608)

北京城市副中心(通州区)加油站VOCs排放清单 黄玉虎,胡玮,李贝贝,纪旋,肖宇,任碧琪,秦建平(618)

公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及VOCs成分谱 胡志远,林骠骑,黄成,王红丽,景盛翱,楼狄明(626)

生物滴滤塔净化甲基叔丁基醚废气的研究 褚其英,姚露露,吕雄标,叶杰旭,叶虹霓,潘梁柱,陈建孟,陈东之(633)

低温等离子体-生物耦合系统对复合CVOCs的降解 郭海倩,缪晶晶,姜理英,张迪(640)

水质异味期间钱塘江杭州段表层水体中挥发性和半挥发性有机物污染特征及健康风险评价 陈峰,唐访良,徐建芬,王奕奕,阮东德,张伟,周姗(648)

城市自来水管网中挥发性有机物的空间分布特征 许美佳,王海亮,李春梅,徐雄,王东红(655)

不同通勤模式暴露于VOCs的健康风险评价 佟瑞鹏,张磊(663)

家具制造过程中VOCs的来源分析及环境健康风险评价 佟瑞鹏,张磊,杨校毅,朱旭波,任传耕(672)

研究报告

北京市PM_{2.5}时空分布特征及其与PM₁₀关系的时空变异特征 杨文涛,姚诗琪,邓敏,王艳军(684)

小型池塘水-气界面CH₄冒泡通量的观测 张秀芳,肖薇,张弥,王伟,赵佳玉,胡勇博,谢成玉,张圳,谢燕红,黄文晶(691)

中国七大流域全氟烷基酸污染水平与饮水暴露风险 王鑫璇,张鸿,王艳萍,罗骥(703)

铁岭市河流氮素时空分布及源解析 杨丽标,雷坤,乔飞,孟伟(711)

基于三维荧光及平行因子分析的川西高原河流水体CDOM特征 刘堰杨,秦纪洪,刘琛,孙辉,唐翔宇,范诗雨(720)

宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价 徐美娟,鲍波,陈春燕,王永川,高夫燕,虞效益(729)

巢湖水体可溶态重金属时空分布及污染评价 吴蕾,刘桂建,周春财,刘荣琼(738)

广西龙江沉积物重金属污染现状及生物有效性 蓝小龙,宁增平,肖青相,黄正玉,刘意章,肖唐付,赵彦龙,吴世良(748)

内电解人工湿地冬季低温尾水强化脱氮机制 郑晓英,朱星,王菊,周翔,徐亚东,韦诚,高雅洁,周徽(758)

河道型水库支流库湾营养盐动态补给过程 徐雅倩,徐飘,杨正健,刘德富,马骏(765)

降雨对蓝藻水华消退影响及其机制分析 刘心愿,宋林旭,纪道斌,刘德富,崔玉洁,黄佳维,赵冲,唐咏春,平明明(774)

城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系 梁晓东,余杨,张敏,段龙飞,彭文启(783)

三峡库区兰陵溪小流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征 张林,黄志霖,肖文发,曾立雄,宋文梅(792)

基于污染评价的地下水中优控污染物筛选 赵鹏,何江涛,王曼丽,黄德亮,王磊,梁雨(800)

硫和石英砂比对自养填充床反应器去除高浓度高氯酸盐的影响 陶华强,邵冬海,张超,宋圆圆,逯彩彩,郭建博(811)

活性炭/高分子复合水凝胶对水中亚甲基蓝和Cu(II)的去除性能 孔岩,庄媛,石宝友,韩志勇,郝昊天,韩昆,于建伟(819)

三维网状HZO@SGH对水中氟离子的吸附作用和机制 马福臻,周少奇,刘泽璐,支亮亮,周璇(828)

MgO/活性炭催化臭氧氧化降解有机物的作用机制 许珊珊,林存旺,丁亚磊,童少平(838)

污水厂二级出水中难凝聚有机物的臭氧化特性 侯瑞,金鑫,金鹏康,苟邦耀,王晓昌(844)

染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测 孟晓荣,王隽,王磊,王旭东,乔茹凯,任婷婷,唐卫婷(852)

污水处理厂厌氧氨氧化工艺小试 李冬,赵世勋,王俊安,朱金凤,关宏伟,张杰(859)

间歇曝气模式下曝气量对短程硝化恢复的影响 刘宏,南彦斌,李慧,王翔,彭永臻,陈永志(865)

好氧/除磷颗粒对亚硝化颗粒污泥启动的影响 李冬,郭跃洲,曹美忠,张泽文,李帅,张杰(872)

处理垃圾渗滤液的SBR中微生物种群与污泥比阻 蔡丽云,黄泽彬,须子唯,江志斌,林莉莉,黄宇(880)

基于城镇化进程表层土壤多环芳烃来源解析及风险评价 姚宏,张士超,刘明丽,王静,鲁垠涛,于晓华(889)

西江流域土壤砷含量空间变异与污染评价 刘畅,宋波,张云霞,雷梅,田美玲,余元元,庞瑞(899)

开封城市土壤磷素组成特征及流失风险 白秀玲,马建华,孙艳丽,刘德新(909)

电子垃圾拆解区土壤-水稻系统重金属分布特征及健康风险评价 尹伊梦,赵委托,黄庭,程胜高,赵珍丽,余葱葱(916)

上海市稻米中有机氯农药残留水平及健康风险评价 孟媛,刘翠翠,仇雁翎,周轶慧,朱志良(927)

四环素类抗生素对不同蔬菜生长的影响及其富集转运特征 迟菘琳,王卫中,徐卫红,李桃,李彦华,张春来(935)

硅肥耦合水分管理对复合污染稻田土壤As-Cd生物有效性及稻米累积阻控 李园星露,叶长城,刘玉玲,李丹阳,刘寿涛,罗海艳,刘孝利,铁柏清,孙健(944)

电子垃圾拆解工人的肝功能和肾功能健康状况及影响因素分析:以清远市龙塘镇为例 严晓,李淑圆,王美欢,许榕发,郑晶,任明忠(953)

《环境科学》征稿简则(584) 《环境科学》征订启事(683) 信息(799,908,934)

染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测

孟晓荣^{1,2,3}, 王隽桢^{1,3}, 王磊^{1,3}, 王旭东^{1,3}, 乔茹凯^{1,3}, 任婷婷^{2,3}, 唐卫婷^{1,3}

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学理学院, 西安 710055; 3. 陕西省膜分离重点实验室, 西安 710055)

摘要: 分别以刚果红和中性红为染料探针, 建立了牛血清蛋白质(BSA)和海藻酸多糖(SA)含量与共振光散射(RLS)发射光谱强度间的线性关系; 以甲苯胺蓝为染料探针, 建立了腐殖酸(HA)含量与紫外吸光度间的线性关系; 优化了3种标准物质的检测浓度范围及溶液pH值条件; 考察了染料探针分析方法对标准物的二元和三元混合样品中的回收率. 结果表明在适宜的浓度范围内, BSA、HA、SA浓度与染料探针光谱强度间的线性相关系数 $R > 0.98$, 3种标准物在混合样品中的回收率不小于95%, 标准误差低于0.11%. 以紫外光谱和3D-EEM光谱特征作为城市污水二级出水样品中蛋白质、多糖和腐殖酸的定性依据, 确认了4种二级出水样品中的优势污染物. 通过染料-探针技术与国标法测得的多糖和蛋白质质量浓度的相对偏差在1.2%~0.04%之间.

关键词: 染料探针; 共振光散射; 紫外分光光度法; 二级出水; 标准有机污染物

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0852-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.201705052

Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology

MENG Xiao-rong^{1,2,3}, WANG Cong-hui^{1,3}, WANG Lei^{1,3}, WANG Xu-dong^{1,3}, QIAO Ru-kai^{1,3}, REN Ting-ting^{2,3}, TANG Wei-ting^{1,3}

(1. School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. School of Science, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3. Key Laboratory of Membrane Separation of Shanxi Province, Xi'an 710055, China)

Abstract: The linear relationship between the concentration of either bovine serum albumin (BSA) or sodium alginate (SA) and the intensity of a resonance light scattering (RLS) spectrum was established by using Congo red and neutral red as the dye probes, respectively. Moreover, the linear relationship between the concentration of humic acids (HA) and UV absorbance was determined by using toluidine blue (TB) as the dye probe. The detection of concentration range and the pH value of three kinds of standard substances were optimized. The recovery rate of bi- and tri-element samples of the standard objects was investigated by means of the dye probe analysis method. The results show that, in the appropriate concentration range, the linear correlation coefficients between the concentration of BSA, HA, or SA and the intensity of its corresponding dye probe spectrum were all high, at 0.98. The recovery rates of the three kinds of standard objects in mixed samples were all greater than 95%, and the standard errors were all less than 0.11%. Based on qualitative analysis of the proteins, polysaccharides, and humic acids in the secondary water discharge samples of urban sewage obtained via UV and RLS spectra, the dominant pollutants were confirmed in the four kinds of secondary effluent. The relative deviations of the concentration of polysaccharides and proteins measured using the dye probe technique and the national standard method ranged were from 1.2% to 0.04%.

Key words: dye probes; resonance light scattering; UV spectrophotometry; secondary effluent; standard organics pollutants

污水再生技术是水资源可持续发展的重要组成部分, 但膜污染制约了污水再生回用的推广和应用. 城市污水经二级生化处理后剩余的难降解有机物 (effluent organic matter, EfOM), 是超滤过程中膜污染产生的重要原因^[1,2]. EfOM 来源复杂, 大量的研究事实证明, 多糖、蛋白质、腐殖酸类等是 EfOM 的主要构成物质^[3~6], 但它们物理化学性质相近, 分离区分困难, 导致了对 EfOM 的理化特征与膜污染行为间的相互关系尚未明确. 如: 多数研究认为大分子蛋白质类、多糖是膜污染的主要贡献者, 糖

类在任何材质的超滤膜界面都最易形成膜污染^[3]. 但也有研究认为腐殖酸类是控制超滤过程中膜污染速率和程度的主要物质^[7]. Shen 等^[8] 认为在亲水化改性的聚偏氟乙烯 (PVDF) 微滤膜上, 亲水性污染物引起的通量下降最快. 但也有大量的研究认为

收稿日期: 2017-05-07; 修订日期: 2017-08-22

基金项目: 西安建筑科技大学创新团队项目; 陕西省科技创新团队 (2017KCT-19-01); 陕西省科技统筹创新工程项目 (2017ZDCXL-GY-07-03)

作者简介: 孟晓荣 (1966~), 女, 教授, 主要研究方向为聚合物材料改性及膜分离, E-mail: mxr5@163.com

疏水性膜上形成的吸附污染远大于亲水性膜^[9,10]. 这些不确定的研究结果,对二级出水超滤再生的抗污染改性膜的选择、生产及设计造成了困惑. 因此,准确检测城市污水二级出水的优势污染物及其分布,对明确二级出水超滤膜污染的形成过程和机制,有效干预和防范膜污染的形成有重要的意义.

直接光谱学分析手段不能适用于类似 EfOM 等的复杂混合体系中特定污染物的定量检测. 双缩脲法、苯酚法、层析法等国标方法,对蛋白质、多糖和腐殖酸的检测过程复杂,且灵敏度低、准确度不高^[11]. 染料探针-光谱技术是利用在特定的 pH 下,荷电大分子有机物通过静电作用力与染料结合形成复合物,导致染料的光谱学特征吸收发生较为敏感的变化结果(增敏作用),根据这种增敏作用与大分子物质含量间的相关性关系,而建立的对复杂体系中的大分子有机物含量进行检测的一种方法. 如:多糖与蛋白质均为复杂结构的多官能团结构的大分子物质,可以与染料通过静电力结合、富集并形成复合物,使其染料浓度远高于溶液中的游离浓度,散射粒子相应体积增大,可以观察到染料的共振光散射强度增强^[12,13]. 染料甲苯胺蓝(TB)可被 HA 有效包覆,使 TB 的紫外光谱吸收降低^[14]. 染料探针-光谱分析技术操作过程简单、实时快速,近年来引起了国内外学者的关注^[15]. 但染料探针-光谱技术,并未在二级出水中大分子有机污染物的检测中得到明确的应用.

牛血清蛋白(BSA)、海藻酸多糖(SA)和腐殖酸(HA),常被作为废水中三类典型污染物蛋白质、多糖和腐殖酸的代表性标准物质^[16]. 本文以刚果红(CR)、中性红(NR)和 TB 分别作为 BSA、SA 及 HA 的染料探针,开发通过染料探针-光谱学分析技术,对二级出水中的优势污染物含量进行快速检测的方法,旨在为城市污水二级出水的污染物去除及超滤再生处理过程中的膜污染干预和防范提供理论参考依据.

1 材料与方法

1.1 试剂

腐殖酸(HA)和海藻酸钠(SA)均来自 Sigma 公司,分析纯;牛血清蛋白(BSA)来自上海蓝季,AR, MW 67000;刚果红(CR)、中性红(NR)、甲苯胺蓝(TB)、氢氧化钠,天津科密欧,分析纯;盐酸(HCl,西安三浦,分析纯);去离子水(西安交通大学水工作室).

二级出水样品来自西安市第四、第五、第八污水处理厂生化处理过程的二级出水,(分别标记样品为 S1~S4),其水质指标如表 1 所示,其中 pH 由精密 pH 酸度计(pHS-3S,上海)测得,COD、总氮、SS 分别按高锰酸钾(标准号:GB/T 15456-2008)^[17]、纳氏试剂分光光度法(标准号:HJ 535-2009)^[18]、重量法(标准号:GB/T 11901-1989)^[19]等国标测定.水样经 0.45 μm 滤膜过滤处理储藏于 4℃ 冰箱中备用.

表 1 各污水厂样品水质指标

样品	pH	COD /mg·L ⁻¹	总氮 /mg·L ⁻¹	SS /mg·L ⁻¹
S1	6.9~7.4	24.2~49.6	12~14.1	5~13
S2	6.8~7.5	24~49.6	12.2~14	5~13
S3	6.9~7.4	30~50	15~20	6~12
S4	6.8~7.9	24~49	12~15	7~12

1.2 溶液配制

标准液配制:分别将标准样品 BSA、SA、HA 溶于去离子水中,室温搅拌 12h,0.45 μm 滤膜过滤,配制成浓度为 1 g·L⁻¹ 的溶液为贮备液,储备在 4℃ 冰箱中备用.

二级出水水样配制:以 COD 和吸光度为浓度参照,对二级出水样品稀释.

共振光谱实验中以 B-R 缓冲溶液调节 pH,紫外光谱实验中以柠檬酸钠-磷酸为缓冲液调节 pH. 加样顺序:缓冲液→大分子溶液→染料溶液^[11].

1.3 EfOM 优势污染物及其分布

1.3.1 EfOM 标准污染物代表物的染料探针-光谱法定量

蛋白质:以 BSA 为蛋白质代表物,CR 为 BSA 染料探针,以 CR-BSA 的 RLS 光谱特征吸收($\lambda = 364$ nm)为检测波长.以 B-R 缓冲溶液调节 pH,考察溶液 pH 对 RLS 强度的影响,在最佳 pH 下,作 BSA 标准曲线^[11].

多糖:以 SA 为多糖代表物,NR 为 SA 染料探针,以 NR-SA 的 RLS 光谱最大特征吸收($\lambda = 292.6$ nm)为检测波长.以 B-R 缓冲溶液调节 pH,考察溶液 pH 对 RLS 强度的影响,于最佳 pH 下,做 SA 标准曲线^[11].

腐殖酸:以 TB 为 HA 的染料探针,以 TB-HA 的紫外光谱特征最大吸收波长($\lambda = 630$ nm),用柠檬酸钠-磷酸缓冲溶液调节 pH 值,考察溶液 pH 对紫外吸收强度的影响,在最佳 pH 下,做 HA 标准曲线^[15].

1.3.2 二级出水样品的优势污染物定性

以紫外光谱仪 (THERMOE、UV-2100, 操作参数: λ 为 200 ~ 700 nm)、三维荧光光谱仪 (3D-EEM, HITACHI 公司, F-7000 型, 分析参数: E_x 为 300 ~ 500 nm, E_m 为 300 ~ 500 nm), 检测二级出水样品的特征谱图. 对比二级出水水样与 BSA、HA、SA 这 3 种标准样品间的特征吸收光谱, 确认二级出水样品中的优势污染物.

1.3.3 二级出水样品优势污染物定量分析

染料探针法: 根据 2.3.1 节的定性分析结果, 结合 2.3.2 节分析测试条件, 以 COD 为依据, 以缓冲溶液将二级出水稀释至适宜的浓度. 以染料探针法测定二级出水样品中蛋白质、多糖及腐殖酸含量及分布.

国标法: 参照国标《出口乳、蛋、豆类食品中蛋白质含量的测定 考马斯亮蓝法》(编号: SN)^[20], 测定样品中的蛋白质, 参照国标《出口植物源食品中粗多糖的测定 苯酚-硫酸法》(编号: SN)^[21], 测定样品中的多糖含量. 对比验证染料探针-光谱分析结果.

2 结果与讨论

2.1 染料探针光谱对 BSA、SA 和 HA 的定量分析

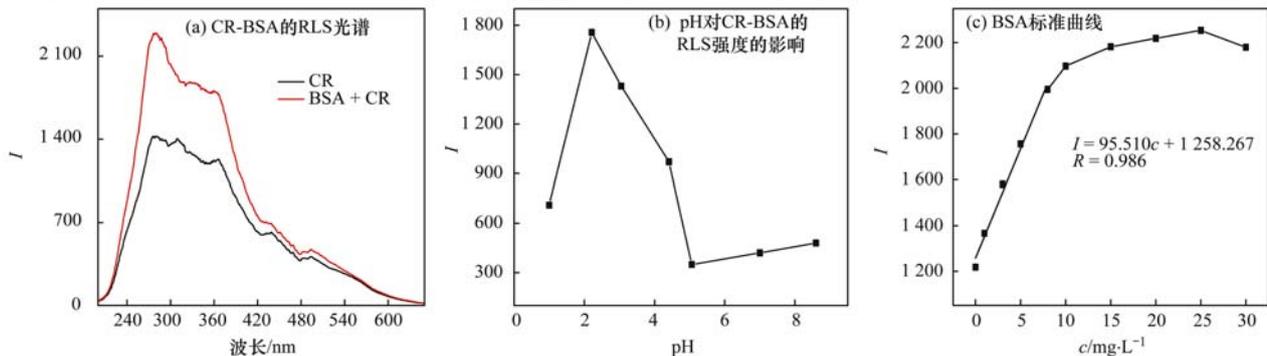
2.1.1 BSA 的定量分析

在静电作用下, 生物大分子表面吸附阴离子染

料, 导致生色团聚集, 致使 CR 的 RLS 强度大幅增强^[11]. 图 1(a) 为 CR 和 CR-BSA 溶液 (pH = 2.25) 于 200 ~ 650 nm 下的 RLS 谱图. 从中可知, 加入大分子 BSA 后 CR 的共振光强度大幅增强, 是由于荷负电 CR 与荷正电 BSA 间形成了 CR-BSA 络合物所致. 且 CR-BSA 的谱图特征与 CR 完全相似, 最大吸收峰值均为 364 nm.

pH 对 CR-BSA 络合物体系的共振光散射强度 (I) 的影响如图 1(b) 所示. 在 pH 为 1 ~ 9 范围内, CR-BSA 络合物的 I 值, 在等电点 pH = 4.7 时最小. 与等电点时, 静电荷为 0, BSA 与 CR 间吸附能力最弱有关^[22]. 而在等电点 pH = 4.7 前, CR-BSA 的 I 值高于等电点的 I 值, 并在 pH = 2.25 时最大, 这与双偶氮阴离子染料 CR^[23] 在等电点前因质子化而与荷正电的 BSA 间的吸附能力有关. 高于等电点后, BSA 去质子化而荷负电, 并在 pH = 2.25 时, CR 与 BSA 间因二者间电离平衡的协同作用而有最大程度的吸附效应. 因此, 选择 pH = 2.25 为 BSA 测定的优选条件.

在最优条件下考察了 BSA 浓度对 I 值的影响, 如图 1(c) 所示. BSA 浓度在 0 ~ 8 mg·L⁻¹ 间, BSA 溶液浓度与 I 间的线性关系较好, $R = 0.986$. 之后, 吸光度随浓度变化平缓. 因此, BSA 测量浓度范围定为 8 mg·L⁻¹ 以下.



BSA: 5 mg·L⁻¹, CR: 3.0 × 10⁻⁵ mol·L⁻¹, pH: 2.25

图1 CR-BSA 的 RLS 谱图及 pH 对 RLS 强度的影响

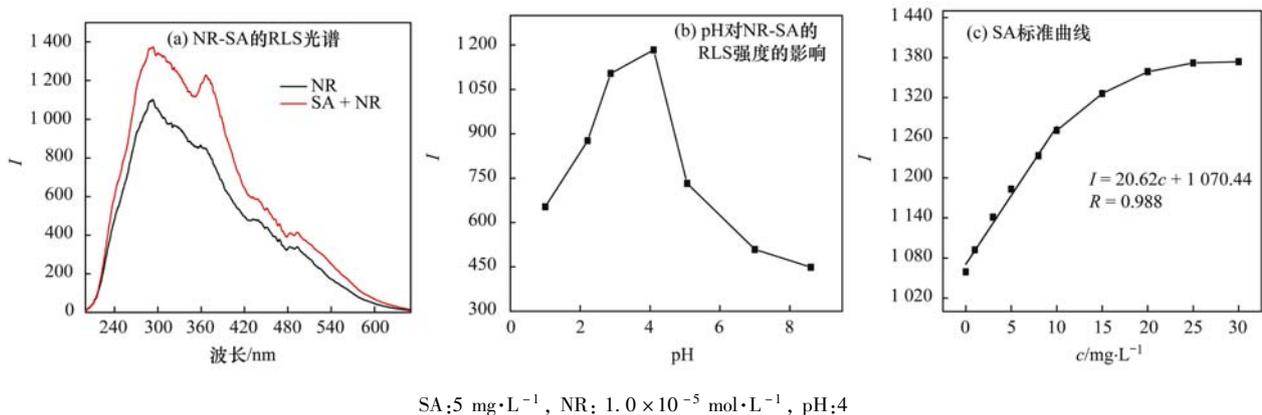
Fig. 1 RLS spectra of CR-BSA and the influence of pH on RLS intensity

2.1.2 SA 的定量分析

图 2(a) 为 pH = 4 时 NR-SA 的 RLS 光谱, 从中可以看出, 在 NR 溶液中加入大分子 SA 样品后, 共振光散射强度大大增强, 这与 CR-BSA 的共振光散射光谱规律一致. 选择 NR-SA 络合物的 I 值最大时的吸收波长 292.6 nm 为 SA 的检测实验波长, 考察 pH 值对 NR-SA 体系的 I 值的影响. 如图 2(b) 所示: 在 pH = 4 时, 带正电 NR 与荷负电

的 SA 间产生较强的吸附作用^[24], NR-SA 络合物的 I 值最大. 随着 pH 的增大, NR 荷负电性逐渐增强而与 SA 间的吸附能力降低^[11], 导致 NR-SA 的 I 值降低.

当 pH = 4 时, 考察了 SA 浓度与 I 值间的线性相关性. 如图 2(c) 所示: 在最优实验条件下, SA 浓度在 0 ~ 10 mg·L⁻¹ 范围内, NR-SA 与 I 值间的线性相关系数为 $R = 0.988$.



SA: $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, NR: $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH: 4

图2 NR-SA的RLS谱图及pH对RLS强度的影响

Fig. 2 RLS spectra of NR-SA and the influence of pH on RLS intensity

2.1.3 HA的定量分析

在 $\text{pH} = 7$ 时, TB 和 TB-HA 紫外分光图如图 3 (a) 所示: HA 的引入导致了 TB 溶液的紫外吸收值锐减, 是因为含有复杂官能团的 HA, 会对 TB 小分子产生强烈的包覆作用, 减弱了 TB 的紫外吸收作用^[15]. 以 TB-HA 的紫外最大吸收波长 630 nm 为实验波长, 对 HA 进行定量分析, 考察 pH 对 TB-HA 体系紫外吸收强度的影响. 如图 3 (b) 显示, 在 $\text{pH} = 7$ 时, 能获得 TB-HA 复合物的最大紫外吸收强度, 这说明中性环境中, 弱碱性 TB 与弱酸性 HA 间能产生最强的吸附效应. 并在 $\text{pH} = 7$ 时, HA 浓度低于 $20.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 吸光度值 ΔA 与 HA 浓度成反比, 有良好的线性相关性, $R = 0.999$ [见图 3 (c)].

2.2 标准污染物混合样品的定量分析

考察了染料探针分析方法, 对 EfOM 的 3 种代表性污染物混合样品的直接检测. 表 2 为将 3 种 EfOM 代表性污染物的二元和三元混合水样, 通过染料-光谱探针法检测所得的实验结果. 从中可知, 染料探针对不同混合样品中分析检测时, 污染物的

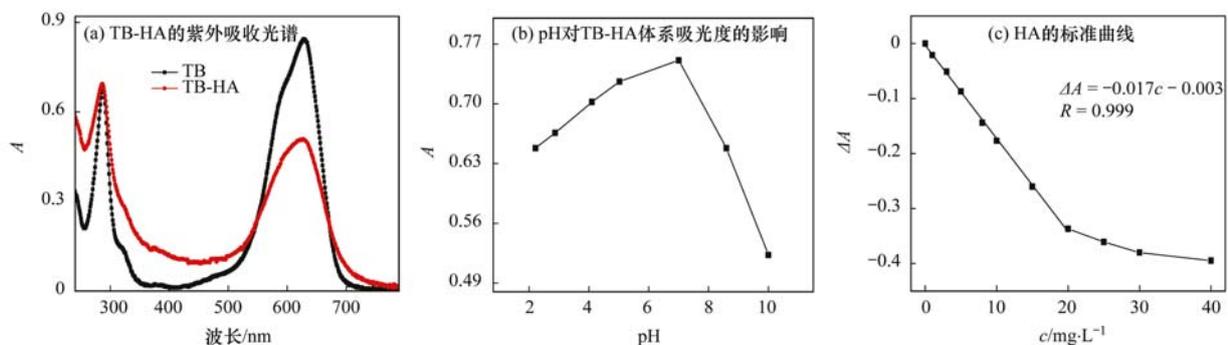
回收率均不低于 96%, 标准偏差最大不超过 0.11. 说明该方法可用于直接确定混合 EfOM 中各种优势污染物的代表性成分.

2.3 染料探针-光谱分析法对二级出水优势 EfOM 的定量检测

2.3.1 二级出水样品中优势污染物的确定(光谱学定性)

图 4 为 4 种水样的紫外吸收光谱, 其中 S1 与 S2 的紫外吸收光谱图中几乎无吸收, 但 S2 在紫外区的吸收峰值略高于 S1, 可能与 S2 中含有少量腐殖酸类物质有关. S3 在紫外区 $250 \sim 300 \text{ nm}$ 处出现了与 BSA 的芳香族氨基酸残基相类似的吸收峰. S4 与 HA 的紫外特征吸收光谱比较相似^[25]. 紫外光谱图的初步分析认为: 样品 S1 中无 BSA、HA 等含复杂官能团如腐殖类及蛋白质等污染物. 其 COD 值的贡献可能主要来自于多糖, S2 中应以多糖和少量腐殖酸类或蛋白质物质为主. 而样品 S3 中富含蛋白质, S4 中含腐殖酸类物质.

在 $\text{pH} = 11$ 下, 对二级出水样品 S3 和 S4 进行



HA: $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TB: $1.5 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, pH: 7

图3 TB-HA的UV谱图及pH对吸光度的影响

Fig. 3 UV spectra of TB-HA and the influence of pH on absorbance

表 2 染料探针法对配水中不同污染物共存时的测定

Table 2 Determination of water distribution of different pollutants via the dye probe method

BSA: SA: HA/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	测定浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	标准偏差/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	回收率/%
5:5:0	4.93:4.89:0.00	$\pm 0.08: \pm 0.05: \pm 0.01$	98.6:97.8:0
5:10:0	4.82:9.85:0.00	$\pm 0.13: \pm 0.06: \pm 0.00$	96.4:98.5:0
10:5:0	9.89:4.84:0.00	$\pm 0.09: \pm 0.05: \pm 0.00$	98.9:96.8:0
5:0:5	4.83:0.00:5.01	$\pm 0.07: \pm 0.01: \pm 0.03$	96.6:0:100.2
5:0:10	4.94:0.00:9.71	$\pm 0.08: \pm 0.00: \pm 0.04$	98.8:0:97.1
10:0:5	9.89:0.00:5.03	$\pm 0.11: \pm 0.01: \pm 0.06$	98.9:0:100.6
0:5:5	0.00:4.86:4.79	$\pm 0.00: \pm 0.04: \pm 0.08$	0:97.2:95.8
0:5:10	0.00:4.89:9.92	$\pm 0.00: \pm 0.07: \pm 0.10$	0:97.8:99.2
0:10:5	0.00:9.82:4.91	$\pm 0.00: \pm 0.08: \pm 0.05$	0:98.2:98.2
5:5:5	4.91:4.96:5.03	$\pm 0.04: \pm 0.05: \pm 0.08$	98.2:99.2:100.6
5:10:5	4.90:9.93:4.98	$\pm 0.13: \pm 0.07: \pm 0.07$	98.0:99.3:99.6
5:5:10	4.89:4.79:9.88	$\pm 0.07: \pm 0.11: \pm 0.09$	97.8:95.8:98.8
10:5:5	9.83:4.90:5.01	$\pm 0.06: \pm 0.04: \pm 0.04$	98.3:98.0:100.2

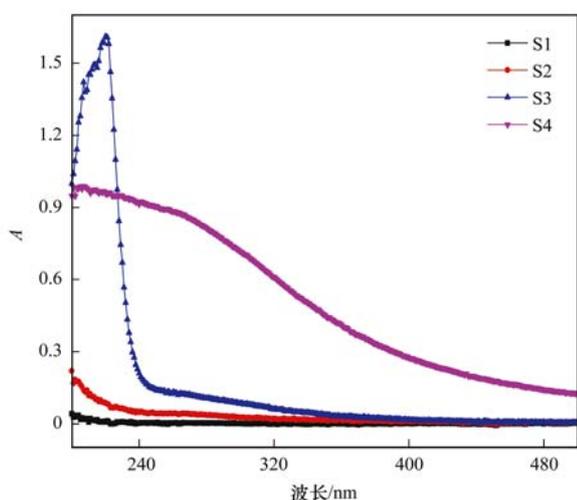


图 4 二级出水样品的紫外吸收光谱

Fig. 4 UV absorption spectra of the secondary effluent

了三维荧光光谱分析,如图 5 所示(S1 和 S2 无荧光吸收,图未显示).对比 BSA、HA 的标准谱图可知^[26],样品 S4 在 $E_x/E_m = (300 \sim 370)/(400 \sim 500)$

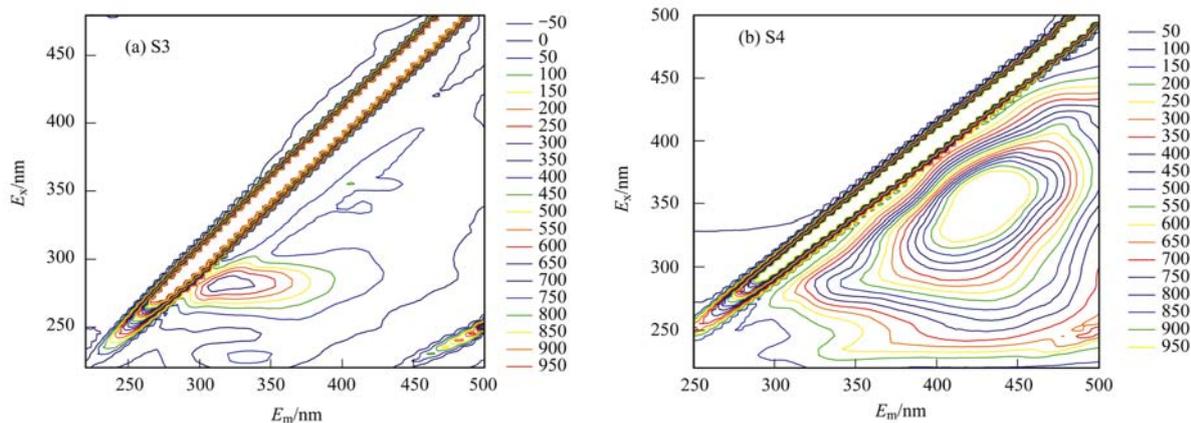


图 5 二级出水样品的三维荧光光谱图

Fig. 5 Three-dimensional fluorescence spectra of the effluent organic matter

nm 的吸收为腐殖酸类的特征峰;而样品 S3 在 $E_x/E_m = (235 \sim 240)/(340 \sim 355)$ nm 与 $E_x/E_m = (280 \sim 285)/(320 \sim 335)$ nm 为蛋白质类物质特征峰.结合两种光谱特征的初步分析认为:样品 S1 中的优势污染物为多糖, S2 的优势污染物为多糖与腐殖酸, S3 的优势污染物为蛋白质, S4 的优势污染物为腐殖酸.

2.3.2 二级出水优势污染物及其分布

依据 4 种二级出水样品的光谱学特征,分别利用染料探针-光谱分析法,并结合国标检测方法,对样品中的优势污染物成分进行了检测和对比.如表 3 所示,样品 BSA 和 SA 的浓度采用染料探针-共振光散射方法测定, HA 含量用染料探针-紫外分光光度法测定(其中蛋白质、多糖、腐殖酸浓度值根据 3.1 节的标准曲线计算所得)每个样品平行测定 3 次,所得标准偏差在 $0.002 \sim 1.62 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间.如表 3 所示, S1 与 S2 中糖类所占比例最高,而 S2 中 HA 量高于 S1. 而 S3 以蛋白质含量居多, S4 中主

表 3 二级出水中蛋白质、多糖及腐殖酸含量测定

Table 3 Determination of proteins, polysaccharides and humic acids in the secondary effluent

样品	蛋白含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		多糖含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		腐殖酸含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
	考马斯亮蓝法	染料探针-共振光散射法	苯酚硫酸法	染料探针-共振光散射法	染料探针-紫外分光光度法
S1	0.006 7	0.008 2(± 0.004)	14.987	15.024(± 0.27)	1.483(± 0.27)
S2	0.005 9	0.0054(± 0.003)	17.868	17.852(± 0.22)	3.793(± 0.25)
S3	22.917	23.721(± 0.57)	4.663	4.556(± 0.14)	5.721(± 0.19)
S4	0.002 3	0.003 1(± 0.002)	4.532	4.597(± 0.11)	22.341(± 1.62)

要含腐殖质类。

表 3 显示 RLS 结果与考马斯亮蓝法和苯酚-硫酸法测定的结果间较为一致。

3 结论

本研究探讨了染料探针技术, 在定量检测城市污水二级出水中大分子类有机污染物中的应用性。分别以 BSA、SA、HA 标准物, 代表蛋白质、多糖、腐殖酸等 EfOM 的典型污染物, 利用标准物与染料刚果红、中性红及甲苯胺蓝形成大分子络合物, 在 RLS 和紫外分光光度吸收值的增敏和衰减效应间的线性关系, 在适宜的 pH 值和浓度范围下, 建立了 3 种代表物的标准曲线。通过标准物的二元、三元混合溶液样品中的检测回收率, 考察并确认了染料探针检测方法的相对误差。以紫外和 3D-EEM 的光谱学分析为定性依据, 对 4 种二级出水样品中的优势污染物, 通过染料探针技术的定量检测, 与国标法间有良好的一致性。染料探针技术操作简便, 在城市污水二级出水优势污染物的检测中有潜在的应用性。可作为污水再生处理技术中, 膜前预处理、膜污染预测和防范及调控的指导依据。

参考文献:

- [1] 王磊, 李松山, 苗瑞, 等. Mg^{2+} 对腐殖酸在 EVOH 膜面微作用过程的影响[J]. 中国环境科学, 2017, **37**(4): 1380-1385.
Wang L, Li S S, Miao R, *et al.* The influence mechanism of Mg^{2+} to the microcosmic process of humic acid on EVOH membrane surface[J]. China Environmental Science, 2017, **37**(4): 1380-1385.
- [2] 王利颖, 石洁, 王凯伦, 等. 碳纳米管改性 PVDF 中空纤维超滤膜处理二级出水抗污染性能研究[J]. 环境科学, 2017, **38**(1): 220-228.
Wang L Y, Shi J, Wang K L, *et al.* Effect of PVDF hollow fiber ultrafiltration membranes modification with carbonnanotube on membrane fouling control during ultrafiltration of sewage effluent [J]. Environmental Science, 2017, **38**(1): 220-228.
- [3] Zhao Y, Song L F, Ong S L. Fouling of RO membranes by effluent organic matter (EfOM): relating major components of EfOM to their characteristic fouling behaviors [J]. Journal of Membrane Science, 2010, **349**(1-2): 75-82.
- [4] Kim H C, Dempsey B A. Membrane fouling due to alginate, SMP, EfOM, humic acid, and NOM[J]. Journal of Membrane Science, 2013, **428**: 190-197.
- [5] 姜家良, 王磊, 黄丹曦, 等. QCM-D 与 AFM 联用解析 EfOM 在 SiO_2 改性 PVDF 超滤膜表面的吸附机制[J]. 环境科学, 2016, **37**(12): 4712-4719.
Jiang J L, Wang L, Huang D X, *et al.* Adsorption mechanisms analysis of EfOM on PVDF ultrafiltration membranes modified by SiO_2 using QCM-D and AFM[J]. Environmental Science, 2016, **37**(12): 4712-4719.
- [6] 何晶晶, 赵有亮, 郝丽萍, 等. 模拟废水高温厌氧消化出水中 SMP 的特性研究[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(3): 315-321.
He P J, Zhao Y L, Hao L P, *et al.* Characterization of SMP in the effluent of thermophilic anaerobic digestion process treating synthetic glucose wastewater[J]. China Environmental Science, 2010, **30**(3): 315-321.
- [7] Li Q L, Xu Z H, Pinnau I. Fouling of reverse osmosis membranes by biopolymers in wastewater secondary effluent: role of membrane surface properties and initial permeate flux [J]. Journal of Membrane Science, 2007, **290**(1-2): 173-181.
- [8] Shen Y X, Zhao W T, Xiao K, *et al.* A systematic insight into fouling propensity of soluble microbial products in membrane bioreactors based on hydrophobic interaction and size exclusion [J]. Journal of Membrane Science, 2010, **346**(1): 187-193.
- [9] 黄显怀, 霍守亮. 膜污染及其控制方法研究[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 2003, **11**(1): 65-68.
Huang X H, Huo S L. Research on membrane fouling and its controlling measures [J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry, 2003, **11**(1): 65-68.
- [10] 潘婷, 李方, 杜春慧, 等. PVDF 超滤膜进行聚乙二醇甲基丙烯酸甲酯(PEGMA)紫外光照射接枝的膜面表征与抗污染分析[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(4): 1061-1066.
Pan T, Li F, Du C H, *et al.* Surface characterization and anti-fouling performance analysis of PVDF ultrafiltration membrane modified by UV-photo grafting poly (ethylene glycol) methacrylate (PEGMA) [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, **35**(4): 1061-1066.
- [11] Zhang M L, Sheng G P, Yu H Q. Determination of proteins and carbohydrates in the effluents from wastewater treatment bioreactors using resonance light-scattering method [J]. Water Research, 2008, **42**(13): 3464-3472.
- [12] Ma C J, Zhang W A, Guo Y H, *et al.* Resonance rayleigh scattering methods for the determination of chitosan with congo red as probe[J]. Luminescence; The Journal of Biological and Chemical Luminescence, 2017, doi: 10.1002/bio.3352.
- [13] Wu X, Sun S N, Guo C Y, *et al.* Resonance light scattering technique for the determination of proteins with Congo red and

- triton X-100[J]. *Luminescence: The Journal of Biological and Chemical Luminescence*, 2010, **21**(1): 56-61.
- [14] Sheng G P, Zhang M L, Yu H Q. A rapid quantitative method for humic substances determination in natural waters [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2007, **592**(2): 162-167.
- [15] Fan J, Xie Z H, Teng X X, *et al.* Determination of methylene blue by resonance light scattering method using silica nanoparticles as probe[J]. *Chinese Chemical Letters*, 2017, **28**(5): 1104-1110.
- [16] 赵飞, 许柯, 任洪强, 等. XDLVO 理论解析有机物和钙离子对纳滤膜生物污染的影响[J]. *中国环境科学*, 2015, **35**(12): 3602-3611.
- Zhao F, Xu K, Ren H Q, *et al.* Impact of organic matter and calcium on nanofiltration membrane biofouling: XDLVO approach [J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(12): 3602-3611.
- [17] GB/T 15456-2008, 工业循环冷却水中化学需氧量(COD)的测定 高锰酸钾法[S].
- [18] HJ 535-2009, 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法[S].
- [19] GB 11901-1989, 水质 悬浮物的测定 重量法[S].
- [20] SN/T 3926-2014, 出口乳、蛋、豆类食品中蛋白质含量的测定 考马斯亮蓝法[S].
- [21] SN/T 4260-2015, 出口植物源食品中粗多糖的测定 苯酚-硫酸法[S].
- [22] 高哲, 王磊, 苗瑞, 等. pH 值对有机物(BSA)膜污染的影响[J]. *中国环境科学*, 2015, **35**(12): 3640-3645.
- Gao Z, Wang L, Miao R. Effect of pH on UF membrane fouling of organic foulant (BSA) [J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(12): 3640-3645.
- [23] Wu X, Wang Y B, Wang M Q, *et al.* Determination of nucleic acids at nanogram level using resonance light scattering technique with Congo Red[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2005, **61**(3): 361-366.
- [24] Shen R, Sheng G P, Yu H Q. Determination of main components in the extracellular polymeric substances extracted from activated sludge using a spectral probing method[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2012, **94**: 151-156.
- [25] 何海军, 瞿文川, 钱君龙, 等. 湖泊沉积物中腐殖酸的紫外-可见分光光度法测定[J]. *分析测试技术与仪器*, 1996, **2**(1): 14-18.
- He H J, Qu W C, Qian J L, *et al.* Determination of humic acid in lake sediment by UV-VIS absorbance spectrophotometer [J]. *Analysis and Testing Technology and Instruments*, 1996, **2**(1): 14-18.
- [26] 薛爽, 梁雷, 赵庆良, 等. 二级处理出水中溶解性有机物的荧光特性[J]. *环境科学与技术*, 2010, **33**(7): 177-182.
- Xue S, Liang L, Zhao Q L, *et al.* Fluorescence characteristics of dissolved organic matter in secondary treated effluents [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **33**(7): 177-182.



CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (477)
VOCs Emission from Motor Vehicles in China and Its Impact on the Atmospheric Environment	CHEN Tian-zeng, GE Yan-li, LIU Yong-chun, <i>et al.</i> (478)
Quantification of the Influence of Industrial Emissions on Volatile Organic Compounds (VOCs) Using PMF Model; A Case Study of Jiangbei Industrial Zone in Nanjing .....	..... HU Kun, WANG Ming, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (493)
Source Analysis of Volatile Organic Compounds in the Nanjing Industrial Area and Evaluation of Their Contribution to Ozone	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jun-xiu, <i>et al.</i> (502)
Ozone Formation Potential and Priority Species of VOCs in an Industrial Park	WU Lei-dan, WANG Xiu-yan, YANG Wen, <i>et al.</i> (511)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of a Petrochemical Industrial Park During Autumn in China	HU Tian-peng, LI Gang, MAO Yao, <i>et al.</i> (517)
Characteristics of VOCs Pollution in the Winter Atmosphere of a Typical Petrochemical Industry Park	MAO Yao, LI Gang, HU Tian-peng, <i>et al.</i> (525)
Emission Inventory and Pollution Characteristics of Industrial VOCs in Hangzhou, China	LU Bin, HUANG Cheng, LU Qing, <i>et al.</i> (533)
Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao	HU Xiao-yu, LIU Hang, WANG Nai-yu, <i>et al.</i> (543)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province .....	..... YANG Zhong-ping, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (551)
Stench Sources and Impact Analysis in Automobile Making	SHI Tian-li, ZHANG Wei-xia, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> (557)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs Fugitively Emitted from Typical Brewers	GAO Zhan-qi, HU Guan-ju, WANG Hui, <i>et al.</i> (567)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in Chengdu	LI You-ping, TANG Ya, FAN Zhong-yu, <i>et al.</i> (576)
Indoor Formaldehyde and Benzene Series in Shanghai Residences and Their Associations with Building Characteristics and Lifestyle Behaviors .....	..... JIANG Qiao-yun, LIU Ping-ping, WANG Xue-ying, <i>et al.</i> (585)
Emission Inventory of Anthropogenically Sourced VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Jiangsu Province	XIA Si-jia, LIU Qian, ZHAO Qiu-yue (592)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City	CHEN Xiao-fang, ZHANG Wei-xia, CHEN Bing-xu, <i>et al.</i> (600)
Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014	LIU Yan, LI Li, AN Jing-yu, <i>et al.</i> (608)
VOCs Emission Inventory of Service Stations in a Subcenter (Tongzhou District) of the City of Beijing	HUANG Yu-hu, HU Wei, LI Bei-bei, <i>et al.</i> (618)
Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel	HU Zhi-yuan, LIN Biao-qi, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (626)
Treatment of the Waste Gas Containing Methyl <i>tert</i> -Butyl Ether via a Biotrickling Filter	CHU Qi-ying, YAO Lu-lu, LÜ Xiong-biao, <i>et al.</i> (633)
Composite CVOCs Removal in a Combined System of Nonthermal Plasma and a Biotrickling Filter	GUO Hai-qian, MIAO Jing-jing, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (640)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs) in Qiantang River's Hangzhou Section During a Water Odor Pollution Event	CHEN Feng, TANG Fang-liang, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (648)
Occurrence and Spatial Distribution of Volatile Organic Compounds in Urban Drinking Water Distribution Systems	XU Mei-jia, WANG Hai-liang, LI Chun-mei, <i>et al.</i> (655)
Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Different Commuting Modes .....	..... TONG Rui-peng, ZHANG Lei (663)
Source Analysis and Environmental Health Risk Assessment of VOCs in Furniture Manufacturing	TONG Rui-peng, ZHANG Lei, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> (672)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of PM _{2.5} and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM _{2.5} and PM ₁₀ in Beijing .....	..... YANG Wen-tao, YAO Shi-qi, DENG Min, <i>et al.</i> (684)
Quantification of Methane Ebullition Flux from Small Ponds Using the Inverted-Funnel Method	ZHANG Xiu-fang, XIAO Wei, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (691)
Contamination Levels and Exposure Risk via Drinking Water from Perfluoroalkyl Acids in Seven Major Drainage Basins of China .....	..... WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, WANG Yan-ping, <i>et al.</i> (703)
Spatio-temporal Distribution and Source Apportionment of Nitrogen in Rivers of Tieling	YANG Li-biao, LEI Kun, QIAO Fei, <i>et al.</i> (711)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Rivers of Western Sichuan Plateau Based on EEM-PARAFAC Analysis .....	..... LIU Yan-yang, QIN Ji-hong, LIU Chen, <i>et al.</i> (720)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk of Surface Waters in the City of Ningbo, China	XU Mei-juan, BAO Bo, CHEN Chun-yan, <i>et al.</i> (729)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaoju Lake	WU Lei, LIU Gui-jian, ZHOU Chun-cai, <i>et al.</i> (738)
Spatial Distribution, Sources and Bioavailability of Heavy Metals in the Surface Sediments of Longjiang River, Southern China .....	..... LAN Xiao-long, NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, <i>et al.</i> (748)
Mechanism on Enhanced Nitrogen Removal in Municipal Secondary Effluent via Internal-Electrolysis Constructed Wetlands at Low Temperature in Winter .....	..... ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, WANG Ju, <i>et al.</i> (758)
Dynamic Replenishment Process of Nutrients in Tributary of Channel Reservoir	XU Ya-qian, XU Piao, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (765)
Effect of the Rainfall on Extinction of Cyanobacteria Bloom and Its Mechanism Analysis	LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (774)
Relationship Between Macrophyte Communities and Macroinvertebrate Communities in an Urban Stream	QU Xiao-dong, YU Yang, ZHANG Min, <i>et al.</i> (783)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area .....	..... ZHANG Lin, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (792)
Screening Method of Priority Control Pollutants in Groundwater Based on Contamination Assessment	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, <i>et al.</i> (800)
Effect of Sulfur to Quartz Sand Ratios on the Removal of High-Concentration Perchlorate in Packed-Bed Reactors	TAO Hua-qiang, SHAO Dong-hai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (811)
Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) by Activated Carbon/Macromolecule Composite Hydrogel	KONG Yan, ZHUANG Yuan, SHI Bao-you, <i>et al.</i> (819)
Adsorption Performance and Mechanism of HZO@SGH for the Removal of Fluoride from Aqueous Solution	MA Fu-zhen, ZHOU Shao-qi, LIU Ze-jun, <i>et al.</i> (828)
Mechanism of MgO/GAC Catalyzed Ozonation of Organic Compounds	XU Shan-shan, LIN Cun-wang, DING Ya-lei, <i>et al.</i> (838)
Ozonation Characteristics of Low Coagulability Organic Matter from the Secondary Effluent of WWTPs	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, <i>et al.</i> (844)
Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology	MENG Xiao-rong, WANG Cong-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> (852)
Lab-scale ANAMMOX Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (859)
Effect of Aeration Rate on Shortcut Nitrification Recovery in Intermittent Aeration Mode	LIU Hong, NAN Yan-bin, LI Hui, <i>et al.</i> (865)
Effect of Aerobic/Phosphorus Granules on Start-up of Partial Nitrification Granular Sludge	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, <i>et al.</i> (872)
Microbial Communities and Sludge Specific Resistance in Two SBRs Treating Leachate	CAI Li-yun, HUANG Ze-bin, XU Zi-wei, <i>et al.</i> (880)
Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Urbanization Process of Topsoil	YAO Hong, ZHANG Shi-chao, LIU Ming-li, <i>et al.</i> (889)
Spatial Variability and Contamination of Arsenic in Soils of Xijiang River Basin	LIU Chang, SONG Bo, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (899)
Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss	BAI Xiu-ling, MA Jian-hua, SUN Yan-Li, <i>et al.</i> (909)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in a Soil-Rice System in an E-waste Dismantling Area	YIN Yi-meng, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i> (916)
Residue Levels and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Rice from Shanghai	MENG Yuan, LIU Cui-cui, QIU Yan-ling, <i>et al.</i> (927)
Effects of Tetracycline Antibiotics on Growth and Characteristics of Enrichment and Transformation in Two Vegetables	CHI Sun-lin, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (935)
Bioavailability of Silicon Fertilizer Coupled Water Management on Soil Bioavailability and Cumulative Control of Rice in Compound Contaminated Paddy Soils .....	..... LI Yuan-xing-lu, YE Chang-cheng, LIU Yu-ling, <i>et al.</i> (944)
Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors	YAN Xiao, LI Shu-yuan, WANG Mei-huan, <i>et al.</i> (953)