

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜巨昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岫璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOCs)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

HPSEC-UV-TOC 联用技术测定有机物相对分子质量分布

张 晗¹, 董秉直²

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 采用在线高效凝胶色谱仪 (HPSEC) 和紫外检测器以及 TOC 检测仪联用测定有机物相对分子质量分布。通过同步测定样品中大范围相对分子质量区间的 UV_{254} 和 TOC, 更深入和准确地了解有机物的结构特性, 特别是一些不含共轭双键和芳香度的有机物。结果显示, TOC 检测仪能够简单快捷地检测出水中所有有机物的相对分子质量分布, 包括蔗糖、海藻酸钠等对紫外响应较低的亲水性有机物; 样品进样量与 TOC 响应线性正相关, 进样量越大, 响应越强; 离子强度从 0 升至 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 峰面积仅减小 1.2%, 离子强度对有机物相对分子质量分布测定影响较小; 样品 pH 值在中性或酸性时不影响测定结果, pH 值为碱性时, TOC 响应异常; 采用流动相配定的样品较超纯水配定的样品, 相对分子质量分布曲线中干扰峰明显减小, 出峰效果更好; 该联用技术可以很好地表征湘江原水及其 4 种亲疏水性组分的相对分子质量分布。

关键词: 高效凝胶色谱; 紫外检测器; TOC 检测仪; 天然有机物; 相对分子质量分布

中图分类号: X132 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-3144-08

Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors

ZHANG Han¹, DONG Bing-zhi²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: An on-line high pressure size exclusion chromatography (HPSEC) with UV and TOC detectors was adapted to examine the distribution of relative molecular mass of natural organic matter (NOM). Through synchronous determination of UV_{254} and TOC responses in a wide range of relative molecular mass, it was possible to accurately characterize the structure of NOM, especially for some non-aromatic and non-conjugated double bond organics which have low response to UV. It was found that, TOC detector was capable of detecting all kinds of organic matters, including sucrose, sodium alginate and other hydrophilic organic compounds. The sample volume had a positively linear correlation with the TOC response, indicating that the larger volume would produce stronger responses. The effect of ion strength was relatively low, shown by the small decrease of peak area (1.2%) from none to $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl. The pH value of tested samples should be adjusted to neutral or acidic because when the samples were alkaline, the results might be inaccurate. Compared to the sample solvents adopted as ultrapure water, the samples prepared by mobile phase solvents had less interference to salt boundary peak. The on-line HPSEC-UV-TOC can be used accurately to characterize the distribution of relative molecular mass and its four fractions in River Xiang.

Key words: high pressure size exclusion chromatography (HPSEC); UV detector; TOC detector; natural organic matter (NOM); distribution of relative molecular mass

天然水体中的有机物相对分子质量分布极为广泛, 从几十的溶解性有机物到 10^7 以上的胶体物质。这些水中天然有机物 (natural organic matter, NOM) 的物化性质各不相同, 近些年的水处理研究表明, NOM 的某些性质, 如有机物的相对分子质量和亲疏水性, 在去除水中有机污染物和评价工艺处理效果的过程中至关重要^[1~3]。常见的用于测定水中有机物相对分子质量的手段有 2 种, 一种为超滤膜法 (ultrafiltration, UF)^[4], 它采用不同孔径的超滤膜依次截留原水中的有机成分, 通过几何加減得到特定分子量区间的有机物含量, 从而确定样品中的有机

物在各分子量区间的比例大小。另一种为凝胶色谱法 (gel permeation chromatography, GPC)^[5], 它采用填塞一定孔径的多孔凝胶颗粒的色谱柱, 按照尺寸排阻理论, 原水中不同大小的有机分子通过色谱柱的时间不同, 从而实现分离水中不同相对分子质量有机物的目的。

虽然这 2 种方法都得到了较广泛的应用, 但均存在某些不足。一方面, 超滤膜方法通过几何加減

收稿日期: 2011-10-30; 修订日期: 2012-03-16

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目 (2009A090100047)

作者简介: 张晗 (1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水处理, E-mail: zgh6178@163.com

得到不同分子质量区间的有机物浓度,所得到的相对分子质量分布不连续,并且膜滤法受溶液初始浓度、pH 值、离子强度等诸多因素影响^[6,7],其截留机理除单纯的尺寸筛分外,还可能存在吸附、电荷作用^[8~10]。另一方面,传统的凝胶色谱法采用紫外检测器,以 UV 值表征不同分子质量有机物的浓度,紫外波长只能被含有特定官能团结构,如共轭双键和芳香结构的化合物吸收,而无法检测到一些含碳单键的亲水性有机分子和无苯环类的化合物,因此导致测定结果的偏差^[11]。

本研究探讨一种新型高效凝胶色谱法与紫外检测器、TOC 检测仪联用测定有机物相对分子质量分布的检测技术,对其运行条件进行优化,并应用到湘江天然原水的相对分子质量分布测定中。该联用技术不仅检测过程简单快速,有机物相对分子质量分布连续,并且能够检测出所有结构的有机物。UV 和 TOC 这 2 种不同的浓度表征值还可以提供一些重要信息,如 SUVA 等,进而能够更真实地反映 NOM 的结构特征和物化性质。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验试剂包括:腐殖酸(humic acid, HA),相

对分子质量从几百到几万不等^[12],广泛存在于天然水体中,本身含有多官能团,具有较多芳香环,组分上不均一并且分子质量分布较分散,是一个十分复杂的混合物;海藻酸钠(sodium alginate, SA),化学式为 $(C_6H_7NaO_6)_x$,是一种聚阴离子亲水性多糖的钠盐,广泛应用于食品业和制药业,无芳香度,相对分子质量几万到几十万,分布非常分散;单宁酸(tannic acid, TA),化学式为 $C_{76}H_{52}O_{46}$,多应用在印染、制革、制药和食品制造等工业,广泛存在于各类水体中,是一种疏水性中性有机物^[13],分子结构中含糖类和芳香酸等多种基团,相对分子质量几百到几千,分布分散;蔗糖(sucrose, SUC),化学式为 $C_{12}H_{22}O_{11}$,相对分子质量较小且分布相对集中,属亲水性有机物,无芳香度。SA、TA 和 SUC 分子结构如图 1 所示。实验中还测定了湘江原水及其原水分离后的 4 种亲疏水性组分(强疏水性组分、弱疏水性组分、极性亲水性组分和中性亲水性组分)。所用试剂均为国产分析纯,超纯水为 Milli-Q plus 超纯水机制备。

1.2 实验仪器

采用 Waters e2695 型号高效凝胶色谱仪; Waters 2489 型号紫外检测器; Sievers 900 Turbo 模式 TOC 检测器以及 Empower Pro 色谱工作站。

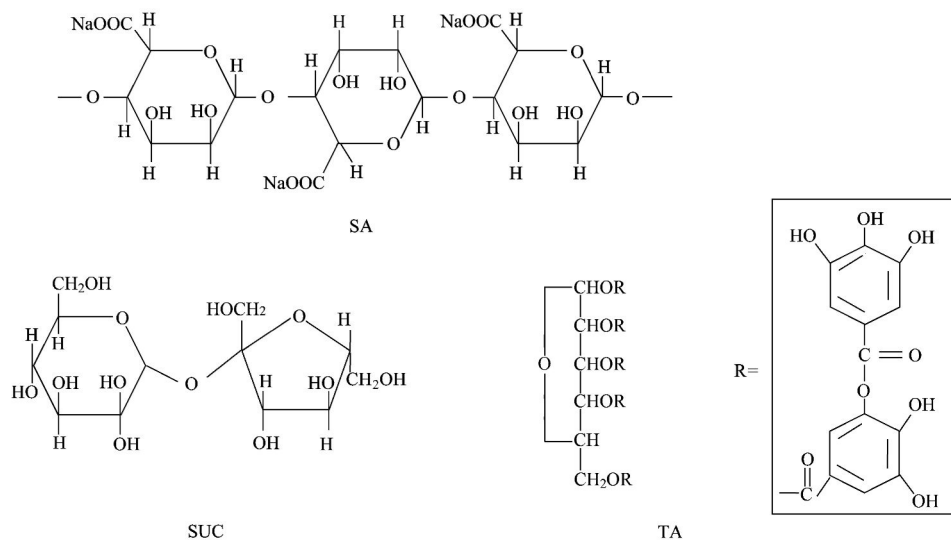


图 1 SA、TA 和 SUC 分子结构示意图

Fig. 1 Molecular structures of SA, TA and SUC

1.3 色谱条件

色谱柱采用 TSKgelG3000PW_{XL}, 尺寸为 7.8 mm × 30 cm, 材料为甲基丙烯酸酯共聚物。保护柱采用 TSK-GEL TSK guard column PW_{XL}, 尺寸为 6.0 mm × 4.0 cm。

流动相采用 0.02 mol·L⁻¹ NaSO₄, 0.05 mol·L⁻¹ KH₂PO₄ 和 0.03 mol·L⁻¹ NaOH 的混合溶液。

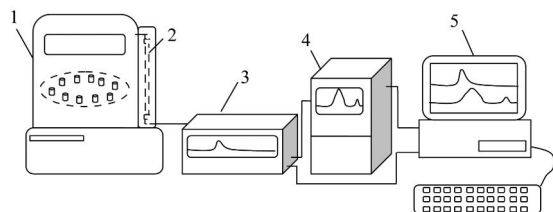
检测器温度和柱温设定 40℃; 流速设定 0.5 mL·min⁻¹; 紫外检测波长设定 254 nm; 在没有特别注明进样量和溶剂的情况下, 均采用 100 μL 进样,

Milli-Q 超纯水配制; 测量时间为 35 min.

1.4 方法原理

高效凝胶色谱法 (high pressure size exclusion chromatography, HPSEC) 的主要分离原理是将水样通过色谱柱中的不同孔径通道, 有机物按照相对分子质量大小的先后次序流出色谱柱, 从而得出样品的不同分子尺寸随保留时间变化的曲线。

通过凝胶色谱仪按尺寸大小分离后的样品依次经过 UV 检测器和 TOC 检测仪, 在 Empower Pro 色谱工作站上每 0.4 s 采集一个模拟信号, 同步绘制出 UV 响应和 TOC 响应随样品采集时间变化的关系曲线。实验装置示意图如图 2 所示。



1. Waters e2695 凝胶色谱仪; 2. TSKgelG3000 PW XL 色谱柱;
3. Waters 2489 紫外检测器; 4. Sievers 900 TOC 检测器; 5. 电脑

图 2 HPSEC-UV-TOC 联用示意

Fig. 2 Schematic of HPSEC-UV-TOC

2 结果与讨论

2.1 标准曲线

2.1.1 校正曲线

在高效凝胶色谱中, 为了把原始色谱图数据转换成各种平均分子量或相对分子质量分布值, 必须进行校正。通过采用合适的标准样品和校正方法, 对应几种不同相对分子质量的保留时间, 以 $\lg M_w$ 对时间 t 作图, 即可得到标准曲线。本研究采用宽分布标样校正法。一些研究表明标准样品聚苯乙烯磺酸钠 (sodium polystyrene sulfonate, PSS) 能很好地代表天然水中腐殖酸一类的有机物特性^[14], 因此本实验选用上海西宝生物科技有限公司提供的相对分子质量为 3.61×10^3 、 6.8×10^3 、 15.45×10^3 和 31×10^3 PSS 标样。由于 PSS 标样没有低分子质量, 因此补充选用相对分子质量为 200 和 1 400 这 2 个聚乙二醇 (polyethylene glycols, PEGs) 标准样品。所得表观相对分子质量的对数值 $\lg M_w$ 和峰值保留时间 t 的校正曲线如图 3 所示。求作三阶方程分别得到 UV_{254} [式(1)] 和 TOC [式(2)] 对应的表观相对分子质量与时间的关系:

$$AMW_{UV} = 10^{(S-2.25t+0.0907t^2-0.0012t^3)} \quad (1)$$

$$R^2 = 0.9998$$

$$AMW_{TOC} = 10^{(S-1.58t+0.047t^2-0.00048t^3)} \quad (2)$$

$$R^2 = 0.9989$$

式中, AMW_{UV} 为 UV_{254} 响应对应的相对分子质量; AMW_{TOC} 为 TOC 响应对应的相对分子质量; t 为峰值保留时间, min; S 为常数。

由图 3 可以看出, UV_{254} 的标准曲线线性拟合很好, 相关系数 R^2 达 0.9998。由于样品是依次流经紫外检测器和 TOC 检测仪, 同一标样的出峰时间 TOC 较 UV_{254} 略有偏后, TOC 线性拟合同样较好, R^2 为 0.9989。

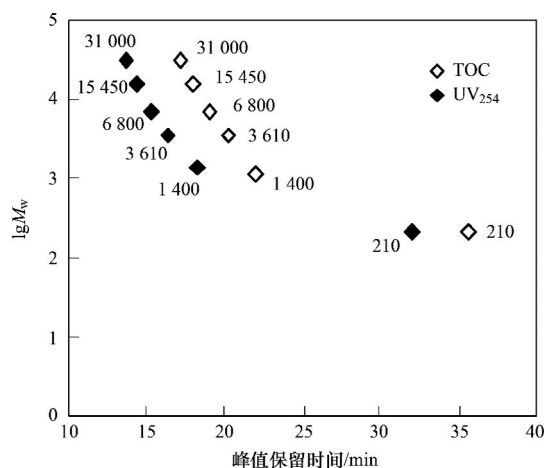


图 3 $\lg M_w$ 与峰值保留时间 t 的关系曲线

Fig. 3 UV and TOC curves of $\lg M_w$ and peak time

2.1.2 TOC 响应值与浓度关系

由于 Empower Pro 色谱工作站不能自动将接收到的 TOC 检测仪发出的电信号转换为浓度, 实验将 TOC 检测仪每 4 s 测出的浓度值与色谱工作站采集的电信号数据进行线性拟合, 如图 4。实验表明, 这种方法可以很好地得到较好的线性拟合结果 (R^2 为 0.9999), 说明采集的电信号与有机物 TOC 实际浓度显著相关。

2.2 4 种物质的 UV_{254} 、TOC 响应

HPSEC-UV-TOC 系统测试了包括 TA、HA、SA 和 SUC 这 4 种有机物, 以研究紫外检测器和 TOC 检测仪检测不同结构有机物的相对分子质量分布差异。为了便于研究, 4 种物质均在进样前用超纯水配定到 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。图 5 为 4 种有机物的瞬时 TOC 和 UV_{254} 随相对分子质量变化的曲线。从图 5(a) 可以看出, 与预期相符, 根据相对分子质量从大到小依次出峰的是 SA、HA、TA 和 SUC, SA 相对分子质量从 30 000 到 1 000 000, 分布分散。HA 在相对分子质

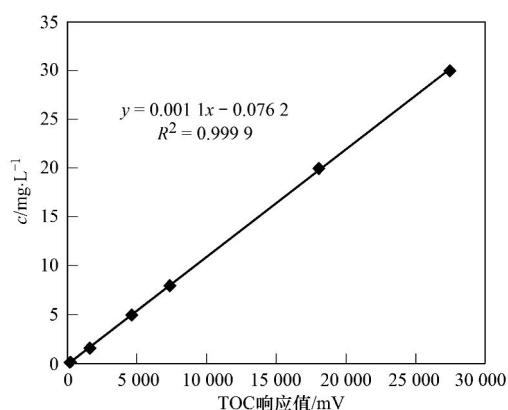


图4 TOC 浓度与响应值关系曲线

Fig. 4 Relation between TOC concentration and TOC response

量4 000左右达到峰顶,由于组分不均一,所以峰形对称性较差. TA 相对分子质量跨度从300~3 000,出现3个峰形与以往研究结果相符^[15]. 3个峰可能是由于单宁酸存在水解现象,并且由于水解导致理论浓度与实际浓度有差异. SUC最后出峰,对应了其最小的分子质量. 由图5(b)可以看出,由于含有较多的碳双键和芳香结构,HA和TA保持了较高的响应值,

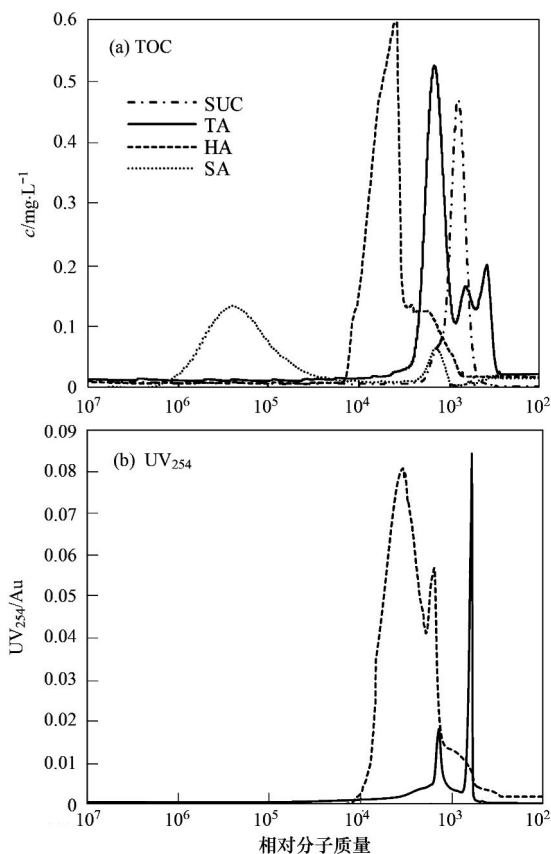


图5 4种物质 TOC,UV 响应随相对分子质量变化

Fig. 5 Comparison of four compounds on TOC and UV detector responses

而SA和SUC基本没有响应,即使浓度已高达30 mg·L⁻¹,表明如SA、SUC等一类无共轭双键和芳香结构的亲水类有机物无法被传统的HPSEC-UV检测到,而这类有机物在膜处理中被认为是造成膜污染的主要成分^[16].

在图5(a)中,4种物质在相对分子质量1540左右处均有峰出现,之后的实验可知该峰为干扰峰,并不是样品中有机物的出峰. 但TA该处峰面积非常大,很可能是本身在相对分子质量1540左右处有较大响应.

2.3 不同操作条件对相对分子质量分布的影响

2.3.1 进样量的影响

样品的进样量对于HPSEC-TOC的测定有着重要影响. 进样量过小,TOC响应可能偏低,出峰不明显,会造成结果较大偏差. 进样量过大,容易使样品溶液和色谱柱之间产生相互作用,并且影响色谱柱使用寿命. 由于SUC的TOC响应峰形最好,按照色谱柱的要求在允许的范围内选择进样量20、40、60、80和100 μL对SUC在10 mg·L⁻¹浓度下进行测定,结果如图6所示.

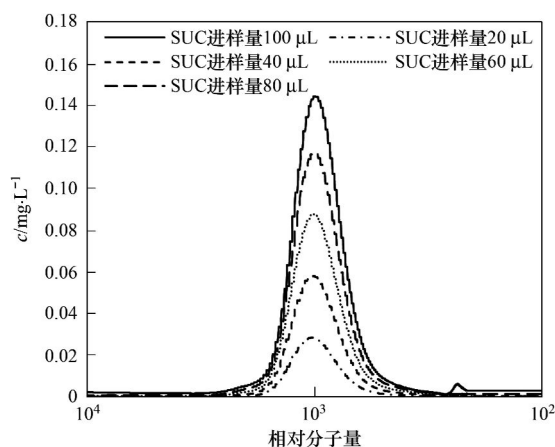


图6 不同进样量对TOC响应的影响

Fig. 6 Effects of sample volume on TOC detector responses

由图6可以看出,随着进样量的增大,峰宽基本保持一致,而峰高成倍增大,从20~100 μL,峰高从低到高依次为0.0284、0.0579、0.0871、0.1163和0.1427 mg·L⁻¹,进样量与峰高线性拟合很好($R^2 = 0.999$),说明TOC响应值与样品进样量线性相关. 不同进样量和对应的峰面积值见表1所示, R^2 达到0.999,同样显示峰面积与进样量有很好的线性关系. 在色谱柱的测量范围内,为了便于测定,得到较明显的TOC响应,故选择100 μL作为今后实验的进样量.

表 1 进样量与响应的峰面积值

Table 1 Peak areas with different sample volumes					
进样量/ μL	20	40	60	80	100
峰面积/ $\text{mg}\cdot\text{s}\cdot\text{L}^{-1}$	2.923	5.946	8.826	11.706	14.576

2.3.2 离子强度的影响

为了测定样品中离子强度对 TOC 响应结果的影响,在色谱柱的允许范围内,采用 NaCl 为 0.05 、 0.1 和 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 对 SUC $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 进行测定,并与离子强度为零时进行对比,所得结果如图 7 所示。

可以看出,随着离子强度的升高,峰面积(即响应)略有减小,从离子强度为零到离子强度 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$,峰面积减小仅 1.2% ,峰高降低 19.5% 。本实验中出峰时间并未有明显改变,如表 2 所示。表明离子强度对测定有机物相对分子质量分布影响较小。值得注意的是,图 7 中相对分子质量 1540 处的干扰峰响应随着 NaCl 溶液浓度的增加而增大,可能是由于 Cl^- 干扰了流动相的缓冲平衡作用,并且和 TOC 检测仪中的 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 氧化剂发生了化学反应[见式(3)和式(4)]^[17],导致干扰峰变大。

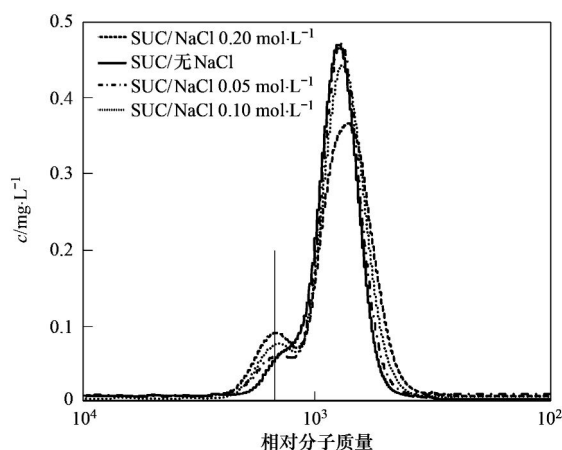
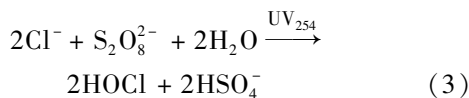


图 7 不同离子强度对 TOC 响应的影响

Fig. 7 Effects of ionic strength on TOC detector responses

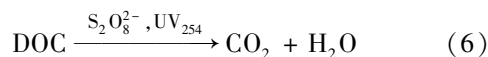
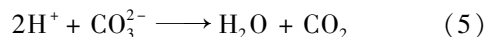
表 2 不同离子强度对应的出峰时间

Table 2 Elution time of SUC at different ionic strengths				
离子强度(NaCl)/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0	0.05	0.1	0.2
出峰时间/min	23.486	23.468	23.498	23.689

2.3.3 pH 值的影响

将 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 SUC 溶液分别调节其 pH 值为 2、4、7、10、12,以考察 pH 值对 TOC 响应的影响,结果如图 8 所示。SUC 在 pH 为 2、4、7 时的峰宽一

致,峰面积大约相等,而在 pH 为 10、12 的峰宽明显增大,并且响应高出 10 倍之多,见表 3,说明 pH 值对 TOC 测定的影响较大。究其原因,TOC 检测仪中可自动投加 H_3PO_4 ,用以酸化样品总碳中的无机碳,反应方程见式(5)。无机碳产生的 CO_2 通过特定装置排出后,系统投加氧化剂 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 氧化有机碳,反应方程见式(6)。



通过测定这部分有机碳产生的 CO_2 确定样品 TOC 浓度。当 pH 值为中性或酸性时,式(5)的反应完全,无机碳被彻底去除,当 pH 值为碱性时,阻碍了式(5)中酸化无机碳的过程,导致最终测得的 CO_2 增多,TOC 响应失真。因此今后待测样品测定前均应先调节 pH 值至中性或酸性以保证检测的准确度。

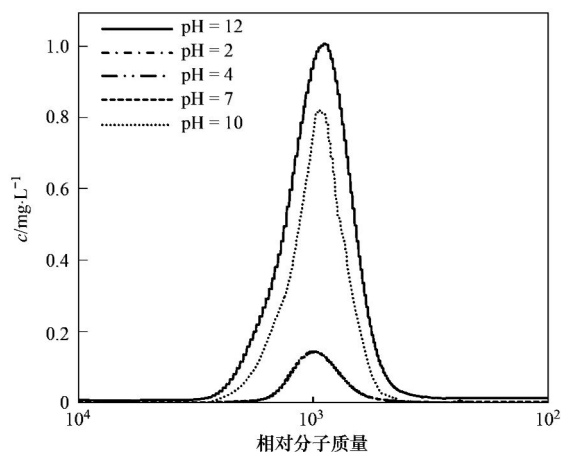


图 8 不同 pH 值对 TOC 响应的影响

Fig. 8 Effects of pH on TOC detector responses

表 3 不同 pH 值对应的峰面积

Table 3 Peak areas with different pH values					
pH 值	2	4	7	10	12
峰面积/ $\text{mg}\cdot\text{s}\cdot\text{L}^{-1}$	12.935	13.780	14.576	99.753	133.286

2.3.4 测试样配置溶液的影响

图 9 分别为 $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 SUC 和 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 SA 溶于超纯水和流动相后测定的 TOC 响应结果,用超纯水配定的 SUC 和 SA 均出现 2 个峰,其中相对分子质量 1540 处属于干扰峰,当样品溶于流动相后该峰完全消失(SUC)或明显减小(SA),出峰效果明显好于用超纯水配定的溶液,说明待测样品测定前为了减小样品溶液和色谱柱填料之间的相互作用,应采取一定的预处理,使样品离子强度与流动相相近。

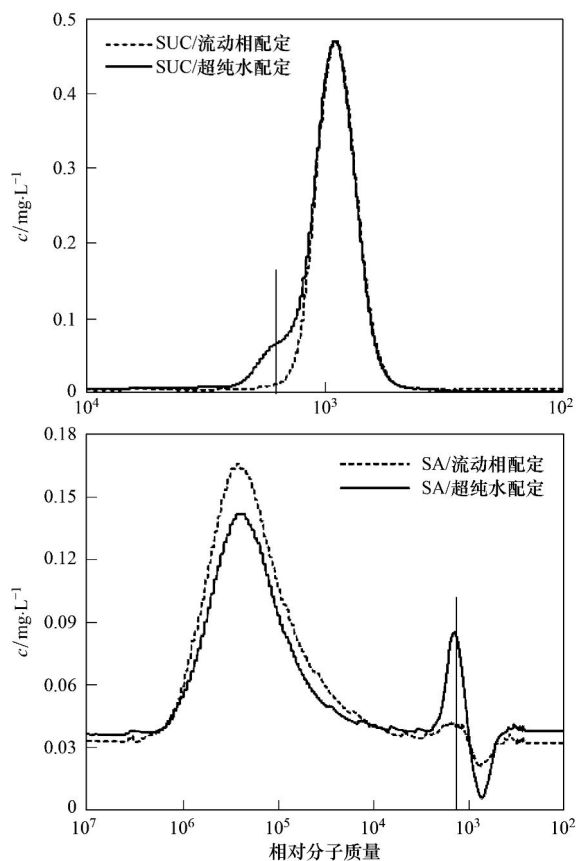


图9 SUC 和 SA 分别溶于超纯水和流动相后的 TOC 响应

Fig. 9 TOC peaks of SUC and SA isolate diluted in MQ and eluent

2.4 天然原水的测定

湘江浓缩原水经树脂分离得到强疏、弱疏、极亲和中亲组分,将 5 种水样经 $0.45\ \mu\text{m}$ 膜过滤后用超纯水稀释至 DOC 为 $5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,调节 pH 值至中性,调节电导率至相同. 采用 HPSEC-UV-TOC 系统测定各组分有机物相对分子质量分布. 图 10 为 5 种水样的 TOC 和 UV_{254} 随相对分子质量变化曲线. 可以看出,同样浓度情况下,5 种水样的峰面积不尽相同,从大到小依次为极亲 > 原水 > 弱疏 > 强疏 > 中亲. 弱疏和极亲组分主要分布在 $5\ 000 \sim 1\ 000$ (大部分为腐殖酸)、 $950 \sim 450$ (可能为黄腐酸等多元有机酸)、 $400 \sim 320$ (可能为一元有机酸或其他小分子有机化合物) 3 个区间,原水、强疏和中亲水样的相对分子质量除以上 3 个区间外,在 $50\ 000 \sim 1\ 500\ 000$ 的大分子区间也出现小峰. 说明原水、强疏和中亲水样中含有大分子有机物,虽然这部分有机物量较少,却可能是造成膜通量下降的主要部分.

从图 10(b) 可以看出,由于大分子区间有机物紫外响应偏小,紫外检测器几乎检测不到大分子区

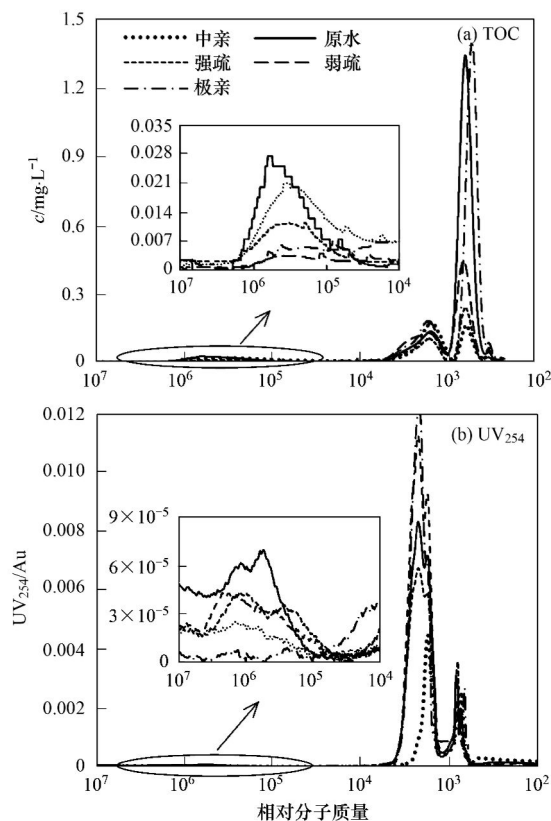


图10 5 种水样 TOC,UV 响应随相对分子质量变化

Fig. 10 Comparison of five samples on TOC and UV detector responses

间的有机物,特别是中亲组分. 强疏、弱疏和极亲水样中含有苯环、羟基、醇羟基和共轭双键的不饱和有机化合物偏多,导致在紫外光范围有明显吸收. 而中亲水样中多为含碳单键和芳香结构较少的蛋白质、氨基酸等,所以紫外吸收很弱,不能真实反映其实际相对分子质量分布. 如图 11 所示,为了更好地表征有机物芳香程度,实验引入相对特征紫外吸光

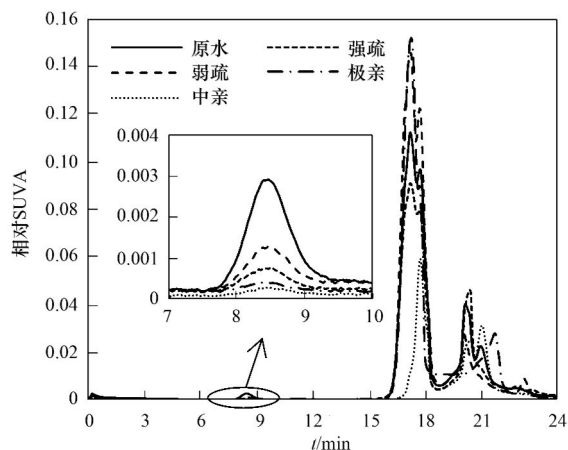


图11 5 种水样相对 SUVA 与时间关系

Fig. 11 Relative SUVA of five samples

度(SUVA),可以看出,中亲水样的SUVA响应最小.近些年来,一些研究显示膜污染与SUVA值和水中NOM浓度关系不大^[18,19],而与中亲组分中的大分子有机物有密切关系.因此,能够检测到不同相对分子质量区间有机物TOC浓度的手段就显得十分重要.

3 结论

(1)通过检测TA、HA、SA和SUC这4种不同物化性质的有机物,显示出传统紫外检测器的局限,虽然对于如TA、HA等含芳香族和共轭双键结构的有机物UV响应很好,但如SA、SUC一类仅含碳单键或无芳香结构的亲水类有机物却无法被紫外检测器检出.而续接TOC检测仪可有效检测出所有类型有机物.

(2)进样量对HPSEC-TOC的检测结果有重要影响,随着进样量的增大,峰宽基本保持一致,而峰高成倍增大,峰面积与进样量有较好的线性关系.最后选定100 μ L作为今后实验的进样量.

(3)离子强度对相对分子质量分布及TOC响应影响较小,离子强度从0到0.2 mol $\cdot$ L⁻¹,峰面积减小仅1.2%,但干扰峰可能随着Cl⁻浓度的增加而变大.

(4)由于TOC检测仪中氧化有机物测定的原理,样品pH值应预先调到中性或酸性,碱性样品的测定结果会极大失真,导致错误的TOC结果.

(5)溶剂为超纯水时,测定结果在相对分子质量1540处均出现干扰峰,当用流动相配制样品时干扰峰完全消失或极大减小,为了减小样品溶液和色谱柱填料之间的相互作用,应尽量以流动相预先配制样品.

(6)应用实验中HPSEC-UV-TOC联用技术显示了较高的灵敏度,并且实现了快速分析少量样品的目的.这项技术在膜工艺处理有机物不同组分的研究中尤为重要.今后相关研究应着眼于进样流速,TOC检测仪氧化剂、酸剂投加量以及TOC定量问题上,以便完善HPSEC-UV-TOC联用技术使其在环境领域研究中发挥更大的作用.

参考文献:

[1] 张立卿,王磊,王旭东,等.城市污水二级出水有机物分子量分布和亲疏水特性对纳滤膜污染的影响[J].环境科学学报,2009,29(1):75-80.

[2] 李若愚,高乃云,徐斌,等.从分子质量的变化分析有机物对GAC吸附内分泌干扰物(BPA)的影响[J].环境科学,

2006,27(12):2488-2494.

- [3] Braeken L, Ramaekers R, Zhang Y, *et al.* Influence of hydrophobicity on retention in nanofiltration of aqueous solutions containing organic compounds [J]. Journal of Membrane Science, 2005, 252(1-2): 195-203.
- [4] 董秉直,曹达文,范瑾初,等.天然原水有机物分子量分布的测定[J].给水排水,2000,26(1):30-33.
- [5] 鲁红.凝胶渗透色谱仪及其使用[J].分析仪器,2010,(3):65-69.
- [6] Aster B, Burba P, Broekaert J A C A C. Analytical fractionation of aquatic humic substances and their metal species by means of multistage ultrafiltration [J]. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 1996, 354(5-6): 722-728.
- [7] Bedrock C N, Cheshire M V, Chudek J A, *et al.* Effect of pH on precipitation of humic acid from peat and mineral soils on the distribution of phosphorus forms in humic and fulvic acid fractions [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26(9-10): 1411-1425.
- [8] Pujar N S, Zydney A L. Electrostatic effects on protein partitioning in size-exclusion chromatography and membrane ultrafiltration [J]. Journal of Chromatography A, 1998, 796(2): 229-238.
- [9] 侯娟,邵嘉慧,何义亮.荷电超滤膜对天然有机物去除及膜污染行为的影响[J].环境科学,2010,31(6):1525-1531.
- [10] Aiken G R. Evaluation of ultrafiltration for determining molecular weight of fulvic acid [J]. Environmental Science & Technology, 1984, 18(12): 978-981.
- [11] Kawasaki N, Matsushige K, Komatsu K, *et al.* Fast and precise method for HPLC-size exclusion chromatography with UV and TOC (NDIR) detection: Importance of multiple detectors to evaluate the characteristics of dissolved organic matter [J]. Water Research, 2011, 45(18): 6240-6248.
- [12] 宋海燕,尹友谊,宋建中.不同来源腐殖酸的化学组成与结构研究[J].华南师范大学学报(自然科学版),2009,(1):61-66.
- [13] Leenheer J A, Croué J P. Characterizing aquatic dissolved organic matter [J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37(1): 18A-26A.
- [14] Chin Y P, Aiken G, O'Loughlin E. Molecular weight, polydispersity, and spectroscopic properties of aquatic humic substances [J]. Environmental Science & Technology, 1994, 28(11): 1853-1858.
- [15] 刘小为.单宁酸与给水处理过程相关的若干化学行为研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [16] Speth T F, Gusses A M, Summers R S. Evaluation of nanofiltration pretreatments for flux loss control [J]. Desalination, 2000, 130(1): 31-44.
- [17] Her N, Amy G, Foss D, *et al.* Optimization of method for detecting and characterizing NOM by HPLC-size exclusion chromatography with UV and on-line DOC detection [J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(5): 1069-1076.

- [18] Cho J, Amy G, Pellegrino J. Membrane filtration of natural organic matter: initial comparison of rejection and flux decline characteristics with ultrafiltration and nanofiltration membranes [J]. Water Research, 1999, **33**(11): 2517-2526.

- [19] Fan L H, Harris J L, Roddick F A, *et al.* Influence of the characteristics of natural organic matter on the fouling of microfiltration membranes[J]. Water Research, 2001, **35**(18): 4455-4463.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjxx.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过 20 字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如 mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1, 1.1, 1.1.1 的形式,左起顶格书写,3 级以下标题可用(1), (2)……表示,后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在 3 个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市 2871 信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail:hjxx@rcees.ac.cn;网址:www.hjxx.ac.cn

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科学出版社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科学出版社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊