

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

**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

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放 ..... 何吉成(1)

北京上甸子站气相色谱法大气 CH<sub>4</sub> 和 CO 在线观测方法研究 ..... 汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)

2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 ..... 朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)

广东东江流域多氯萘的大气沉降研究 ..... 王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)

塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征 ..... 段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)

紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究 ..... 王灿,席劲瑛,胡洪管,姚远(32)

春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征 ..... 丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)

春季胶州湾海水汞的形态研究 ..... 许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)

丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素 ..... 蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)

塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化 ..... 陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)

某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟 ..... 马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)

北京市城市降雨径流水质评价研究 ..... 侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)

重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 ..... 张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)

沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究 ..... 陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)

Pd/TiO<sub>2</sub> 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究 ..... 张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)

pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响 ..... 冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)

给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究 ..... 陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)

安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 ..... 宋大平,庄大方,陈巍(110)

染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析 ..... 曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)

间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究 ..... 谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)

pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响 ..... 庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)

硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究 ..... 吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)

农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用 ..... 徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)

高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究 ..... 廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)

活性污泥对四环素的吸附性能研究 ..... 陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)

加油站油类污染物自然衰减现场试验研究 ..... 贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)

生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法 ..... 宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)

利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数 ..... 王晓玲,尹军,高尚(175)

数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响 ..... 董峰,张捍民,杨凤林(181)

不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响 ..... 刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)

间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究 ..... 曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)

鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究 ..... 陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)

北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估 ..... 陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)

外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究 ..... 杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)

赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建 ..... 朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究 ..... 别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)

纳米 TiO<sub>2</sub> 对短裸甲藻的毒性效应 ..... 李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)

苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险 ..... 李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)

电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析 ..... 王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)

洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险 ..... 刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)

湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价 ..... 刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)

广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律 ..... 项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)

缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究 ..... 吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)

可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复 ..... 付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)

胡敏酸对汞还原能力的测定和表征 ..... 江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)

Zn(II)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响 ..... 黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)

油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究 ..... 张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)

利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地表微生物群落结构 ..... 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)

黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究 ..... 封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)

鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析 ..... 张健,关连珠,颜丽(323)

杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响 ..... 赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

《环境科学》征稿简则(7) 《环境科学》征订启事(19) 信息(47,70,202,304)

# 苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险

李洋<sup>1</sup>, 胡雪峰<sup>1\*</sup>, 王效举<sup>2</sup>, 茂木守<sup>2</sup>, 大塚宜寿<sup>2</sup>, 细野繁雄<sup>2</sup>, 杜艳<sup>1</sup>, 姜琪<sup>1</sup>, 李珊<sup>1</sup>, 冯建伟<sup>1</sup>

(1. 上海大学环境与化学工程学院环境科学与工程系, 上海 200444; 2. 日本埼玉县环境科学国际中心, 日本埼玉 347-0115)

**摘要:** 应用气相色谱质谱联用方法对苏州河及其支流底泥中3种环境内分泌干扰物壬基酚(NP)、辛基酚(4-t-OP)和双酚A(BPA)的含量进行检测和调查, 结果表明, 这3种物质在河流底泥中的浓度变幅分别为 $<1.0 \sim 5\,800$ 、 $<0.10 \sim 39$ 和 $0.90 \sim 180 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 空间分异显著. 总体上看, 底泥污染物浓度与河流周边人为活动密集程度有关; 在苏州河上海市区段底泥的含量显著地高于上海远郊和江苏省内河段底泥含量; 苏州河支流底泥中的含量显著高于苏州河干流底泥含量. 苏州河及其支流底泥中这3种内分泌干扰物两两之间, 存在显著正相关, 说明其有相似的物源. 以含量较高的壬基酚为例, 进行底泥环境内分泌干扰物的风险评估, 结果表明, 除苏州河江苏省内吴家港桥段外, 其它河段均存在潜在的生态毒害风险, 需采取相应的防范措施.

**关键词:** 苏州河; 底泥; 内分泌干扰物; 壬基酚; 辛基酚; 双酚A; 环境风险

**中图分类号:** X131 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)01-0239-08

## Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks

LI Yang<sup>1</sup>, HU Xue-feng<sup>1</sup>, OH Kokyo<sup>2</sup>, MOTEGI Mamoru<sup>2</sup>, OHTSUKA Nobutoshi<sup>2</sup>, HOSONO Shigeo<sup>2</sup>, DU Yan<sup>1</sup>, JIANG Qi<sup>1</sup>, LI Shan<sup>1</sup>, FENG Jian-wei<sup>1</sup>

(1. Department of Environmental Science and Engineering, School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. Center for Environmental Science in Saitama, Saitama 347-0115, Japan)

**Abstract:** Three environmental endocrine disrupting chemicals (EDCs), named nonylphenol (NP), octylphenol (4-t-OP) and bisphenol A (BPA), in sediments of the Suzhou Creek and its branches were detected using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) method. The results showed that the concentration of three chemicals varied greatly from site to site, which ranged from  $<1.0 \sim 5\,800$ ,  $<0.10 \sim 39$  and  $0.90 \sim 180 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively. In general, the accumulation of pollutants in sediments closely related to the intensity of anthropogenic activities; the concentration of three chemicals in sediments of municipal section of the creek are significantly higher than those in the sections of suburb of Shanghai city and Jiangsu province; the chemical concentrations in sediments of branches are significantly higher than those of the main stream of the creek. Significant correlations between each two of the three chemicals in sediments were observed, implying their similar source provenance. Taking nonylphenol as an example, the environmental risks of the EDCs in sediments were assessed. The result indicated that this chemical in the entire creek except the Wujiagang Bridge point had posed potential toxic risks to ecological system. Therefore, more countermeasures should be taken to prevent EDCs from entering the creek.

**Key words:** Suzhou Creek; sediment; endocrine disrupting chemicals(EDCs); nonylphenol; octylphenol; bisphenol A; environmental risks

环境内分泌干扰物由于可对人类和动物的内分泌和生殖系统等产生不良影响, 近几年来倍受关注. 壬基酚(nonylphenol, NP)、辛基酚(4-t-octylphenol, 4-t-OP)和双酚A(bisphenol A, BPA)是已经被证实的具有雌激素活性的环境内分泌干扰物质, 能通过与其细胞内雌激素受体结合, 产生拟雌激素或抗雌激素作用, 干扰内分泌和生殖系统, 对生物体产生严重影响<sup>[1-6]</sup>.

壬基酚聚氧乙烯醚(nonylphenyl polyethoxylates, NPEs)和辛基酚聚氧乙烯醚(octylphenyl polyethoxylates, OPEs)是目前市场上2种最主要

的烷基酚聚氧乙烯醚(alkylphenyl polyethoxylates, APEs)类表面活性剂<sup>[7]</sup>, 广泛地应用于家庭及工农业生产中<sup>[8]</sup>. 但它们在水环境中不稳定, 易通过生物和光解作用降解, 其主要的降解产物即是壬基酚和辛基酚<sup>[9]</sup>. 双酚A主要用于生产聚碳酸酯和环氧树脂等多种高分子材料, 是重要的有机

收稿日期: 2011-01-13; 修订日期: 2011-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971126, 40771093); 上海市白玉兰科技人才基金项目; 上海市重点学科项目(S30109)

作者简介: 李洋(1985~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为河流底泥中环境内分泌干扰物, E-mail: flyaiflee@shu.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: xfh@shu.edu.cn

化工基本原料之一<sup>[10]</sup>. 壬基酚、辛基酚和双酚 A 在底泥中易被吸附而累积, 比水体中的含量更能反映区域的污染水平<sup>[11]</sup>. 比如, 珠江三角洲及其邻近的南海北部底泥中壬基酚和双酚 A 的含量, 与当地经济发展状况密切相关<sup>[12]</sup>; 厦门湾底泥环境内分泌干扰物的累积, 与城市污水排放有关<sup>[13]</sup>; 黄河兰州段底泥中壬基酚的时空变化, 与悬浮颗粒的沉降有一定关系<sup>[14]</sup>; 而日本长良川-揖斐川河口大坝的筑建, 使得这 3 种物质在底泥的累积量增加<sup>[15]</sup>.

苏州河发源于太湖瓜泾口, 在上海市区外白渡桥附近汇入黄浦江, 全长 125 km. 近十几年来, 为了恢复苏州河的生态功能, 市政府实施了一些大型的污水截留工程, 使得苏州河的黑臭现象得到了根本的改观. 对苏州河底泥中氮磷、有机氯农药、二噁英类物质和多环麝香等污染物的累积及分布情况已有

研究<sup>[16~19]</sup>, 但鲜见对底泥中环境内分泌干扰物的研究报道. 本研究拟对苏州河及其支流底泥中壬基酚、辛基酚和双酚 A 的含量进行检测, 揭示这 3 种环境内分泌干扰物在不同河段的空间分布及环境风险, 以为苏州河进一步的生态整治和重建提供理论指导.

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点设置与样品采集

2009 年 11 月 18 ~ 21 日, 共采集 26 个底泥样品, 其中苏州河干流 20 个 (包括苏州河入黄浦江的河口处一点), 苏州河支流 6 个. 样点的空间分布和样品描述见图 1 和表 1. 采用厢式采泥器在各个采样点桥梁的左、中、右 (S20 为轮渡口的左、中、右) 共采集 3 次并混匀, 去除杂物后放入棕色玻璃瓶中密封编号并冷冻 (-20℃) 保存至分析.

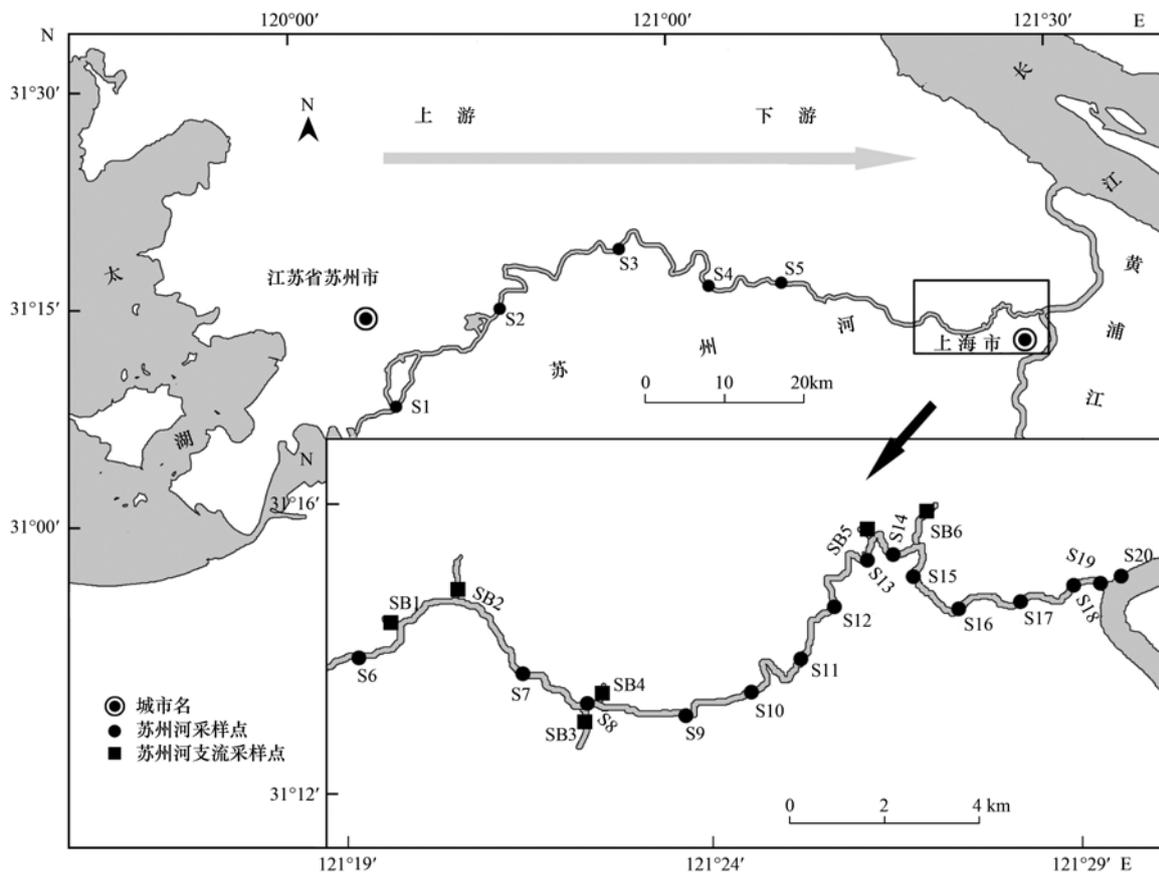


图 1 苏州河及其支流采样点的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of sampling sites of the Suzhou Creek and its branches

### 1.2 化学药品与试剂

待测物质标准品: 壬基酚标准品、辛基酚标准品、双酚 A 标准品 (购于关东化学公司); 回收率指

示物:  $^{13}\text{C}_6\text{-n-NP}$ 、 $^{13}\text{C}_{12}\text{-BPA}$  [购于 Cambridge Isotope Laboratories (CIL) 公司]; 内标物: 萘- $\text{d}_{10}$  (acenaphthene- $\text{d}_{10}$ , 购于 Dr. Ehrenstorfer 公司)、

表 1 苏州河及其支流采样信息和样品理化性质

Table 1 Sampling information and sample physicochemical properties of the Suzhou Creek and its branches

样品号	采样时间	样点位置	样点所在区域	样品颜色	样品味道	pH	TOC/%
S1	2009-11-21	吴家港桥	苏州河江苏省段	灰色	无臭	7.75	0.79
S2	2009-11-21	吴淞路车坊大桥	苏州河江苏省段	黑灰色	下水道臭	7.76	0.98
S3	2009-11-21	江浦路吴淞江大桥	苏州河江苏省段	浅灰色	无臭	7.54	0.88
S4	2009-11-21	苏机场桥	苏州河江苏省段	浅灰色	无臭	7.55	0.82
S5	2009-11-21	吴淞港桥	苏州河上海远郊段	浅灰色	无臭	7.96	0.51
S6	2009-11-18	华江路桥	苏州河上海市区段	灰色	轻泥臭	7.84	0.33
S7	2009-11-18	祁连山南路桥	苏州河上海市区段	灰色	轻泥臭	7.65	0.53
S8	2009-11-18	真北路桥	苏州河上海市区段	灰色	无臭	7.79	0.68
S9	2009-11-18	古北路桥	苏州河上海市区段	灰色	无臭	8.19	0.60
S10	2009-11-18	凯旋路桥	苏州河上海市区段	灰色	无臭	8.03	0.69
S11	2009-11-18	曹阳路桥	苏州河上海市区段	灰色	焦油臭	7.85	0.62
S12	2009-11-18	叶家宅桥	苏州河上海市区段	灰色	油臭	7.57	0.57
S13	2009-11-20	江宁路桥	苏州河上海市区段	灰色	无臭	7.63	0.58
S14	2009-11-20	昌化路桥	苏州河上海市区段	灰黑色	微臭	7.67	0.68
S15	2009-11-20	长寿路桥	苏州河上海市区段	灰色	油臭	7.77	0.61
S16	2009-11-20	恒丰路桥	苏州河上海市区段	灰色	油臭	7.51	0.65
S17	2009-11-20	西藏路桥	苏州河上海市区段	灰色	油臭	7.67	0.83
S18	2009-11-20	四川路桥	苏州河上海市区段	灰色	油臭	7.62	0.81
S19	2009-11-20	外白渡桥	苏州河上海市区段	灰色	油臭	7.85	0.71
S20	2009-11-20	上海轮渡码头	苏州河汇入黄浦江处	浅灰色	油臭	7.62	0.99
SB1	2009-11-18	沙河水闸	S6、S7 间支流	深灰色	废油臭	7.48	1.09
SB2	2009-11-18	金沙江西路桥	S6、S7 间支流	灰色	轻泥臭	7.72	0.89
SB3	2009-11-18	北翟路一号桥	S7、S8 间支流	灰色	下水道臭	7.63	0.61
SB4	2009-11-18	云岭东路桥	S8、S9 间支流	灰色	无臭	8.04	0.38
SB5	2009-11-20	远景路桥	S13、S14 间支流	黑色	油臭	7.43	3.91
SB6	2009-11-20	沪太路桥	S14、S15 间支流	灰色	微臭	7.84	1.01

菲- $d_{10}$  (phenanthrene- $d_{10}$ , 购于 CIL 公司)、荧蒽- $d_{10}$  (fluoranthene- $d_{10}$ , 购于 CIL 公司); 其它试剂: 甲醇、正己烷、二氯甲烷、乙醇和乙醚均为色谱纯, 无水硫酸钠、氯化钠和氢氧化钾均为特纯品、硫酸乙酯为优级纯(购于关东化学公司)。

### 1.3 样品的制备

#### 1.3.1 样品的前处理

称取 10 g 湿式底泥样品, 离心去除上清液. 加入 30 mL 甲醇, 充分混匀, 超声提取 10 min, 以 2 500  $r \cdot \min^{-1}$  的转速离心分离 12 min, 将甲醇部分转移, 再加入 30 mL 甲醇重复提取 1 次, 合并 2 次的提取液, 于 40°C 先后经过旋转蒸发和氮气浓缩. 加入回收率指示物 ( $^{13}C_6$ -n-NP、 $^{13}C_{12}$ -BPA 各 100 ng), 用甲醇饱和的正己烷溶液洗涤, 并用 5% 的氯化钠水溶液稀释. 之后用 50 mL 的二氯甲烷振荡提取 10 min, 分离后再用二氯甲烷提取 1 次, 将 2 次的提取液合并经无水硫酸钠脱水, 再次于 40°C 下经旋转蒸发和氮气浓缩.

#### 1.3.2 衍生化

浓缩后的样品加入 0.5 mL 1 mol·L<sup>-1</sup> 的氢氧

化钾-乙醇溶液和 0.2 mL 硫酸乙酯, 在室温下静置 10 min. 再次加入 4.3 mL 1 mol·L<sup>-1</sup> 的氢氧化钾-乙醇溶液, 密塞后 70°C 水浴加热 1 h. 水浴后的样品冷却至室温后, 加入 3 mL 蒸馏水使固体物质全部溶解, 加入 2 mL 正己烷进行溶脱, 并通过无水硫酸钠脱水, 重复溶脱一次, 将溶脱液吹氮气至近干.

#### 1.3.3 净化

经上述处理的样品中加入 1 mL 4% 乙醚-正己烷溶解, 经过预先活化的弗罗里硅土柱 (购于 Waters 公司) 净化, 并用 8 mL 4% 乙醚-正己烷淋洗弗罗里硅土柱, 最先收集的 8 mL 样品于 40°C 吹氮气浓缩至 1 mL, 加入内标物质 (萘- $d_{10}$ 、菲- $d_{10}$ 、荧蒽- $d_{10}$  各 100 ng), 用 GC-MS 进行分析.

#### 1.4 样品的测定与定量

分析仪器为美国 ThermoQuest 公司生产的 TRACE GC 2000-TRACE MS 气相色谱-质谱仪.

气相色谱使用 DB-5MS (30 m × 0.25 mm i. d.,  $df = 0.25 \mu m$ ) 毛细管色谱柱, 载气为氦气 (1.0 mL·min<sup>-1</sup>), 样品采用无分流进样, 进样口温度为

280℃,进样量为 1 μL,色谱柱升温程序为初始温度为 60℃,保持 2 min,以 15℃·min<sup>-1</sup>升温至 280℃,恒温 5 min;质谱离子源为正电子轰击源(EI<sup>+</sup>),离子源温度为 250℃,传输线温度为 270℃,电离电压为 70 eV,采用选择离子监测(SIM)模式测定,NP 和 4-t-OP 的定量用<sup>13</sup>C<sub>6</sub>-n-NP, BPA 的定量用<sup>13</sup>C<sub>12</sub>-BPA (特征离子分别为 NP: 177; 4-t-OP: 163; BPA: 269; <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-n-NP: 141; <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-BPA: 281; 萘-d<sub>10</sub>: 164; 菲-d<sub>10</sub>: 188; 荧蒽-d<sub>10</sub>: 212). 底泥样品中壬基酚、辛基酚和双酚 A 的检测限(LOD)分别为 1.0、0.10 和 0.10 μg·kg<sup>-1</sup>. <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-n-NP 和 <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-BPA 的平均回收率分别

为 103% 和 83%.

## 2 结果与讨论

### 2.1 3 种环境内分泌物在底泥中的含量

苏州河干流及支流底泥中壬基酚、辛基酚和双酚 A 的含量(干重)分别见图 2~4. 这 3 种物质在底泥中含量的变幅很大,空间分异显著:壬基酚含量在 <1.0~5 800 μg·kg<sup>-1</sup>之间,平均值为 750 μg·kg<sup>-1</sup>;辛基酚含量在 <0.10~39 μg·kg<sup>-1</sup>之间,平均值为 4.9 μg·kg<sup>-1</sup>;双酚 A 含量在 0.90~180 μg·kg<sup>-1</sup>之间,平均值为 35 μg·kg<sup>-1</sup>.

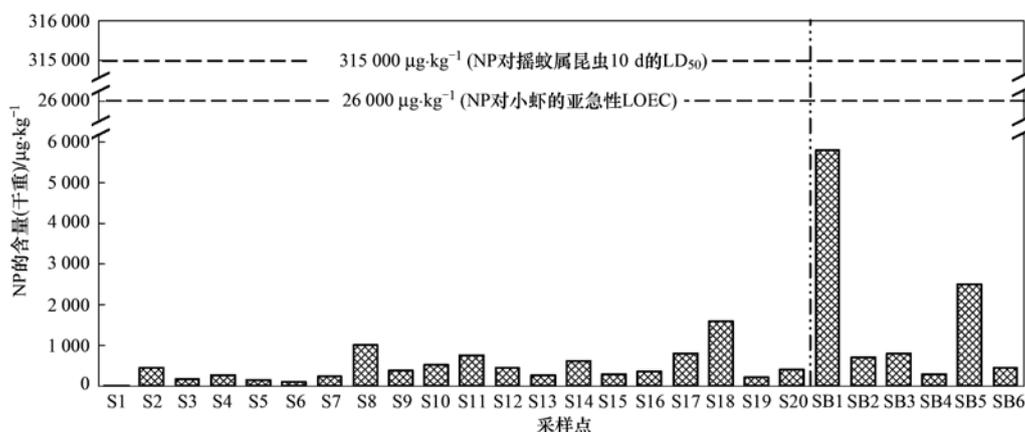


图 2 苏州河及其支流底泥中壬基酚的分布

Fig. 2 Distribution of NP in sediments of the Suzhou Creek and its branches

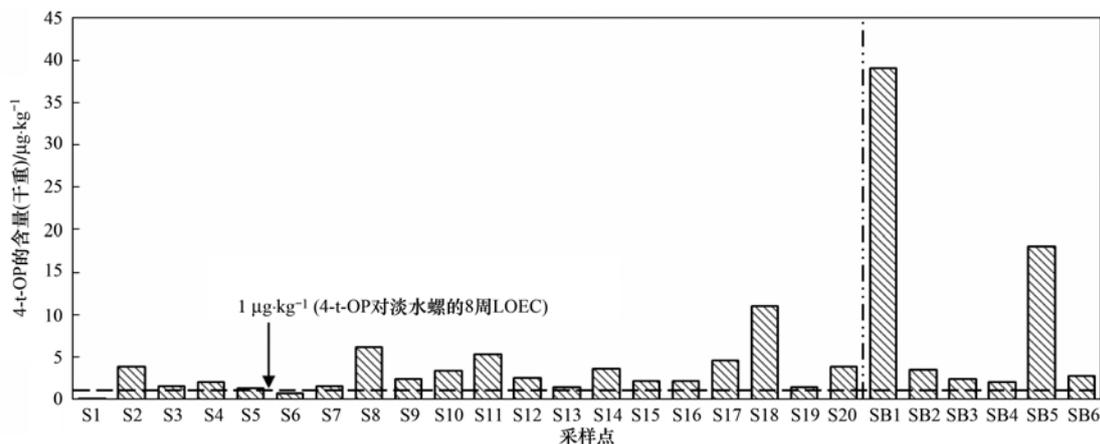


图 3 苏州河及其支流底泥中辛基酚的分布

Fig. 3 Distribution of 4-t-OP in sediments of the Suzhou Creek and its branches

苏州河及支流监测河段,按分布区域和受人为影响程度,区分为上海市区段(共 21 个样点)和上海远郊和江苏省内段(共 5 个样点). 结果表明,上海市区段底泥壬基酚、辛基酚和双酚 A 的含量显著地高于远郊和外省段(*t*-检验,3 种物质的 *P* 值均小于 0.05). 比如,市区四川路桥河段样点(S18)底泥

中壬基酚和辛基酚的含量分别为 1 600 μg·kg<sup>-1</sup> 和 11 μg·kg<sup>-1</sup>,是苏州河干流段底泥污染最重的,该点交通流量很大,作为汽油添加剂主要成分的烷基酚在汽油燃烧时得到释放,沉降到地表,随径流入河流,可能是烷基酚含量较高的主要因素;市区真北路路桥河段(S8)底泥双酚 A 为 99 μg·kg<sup>-1</sup>,是干流底

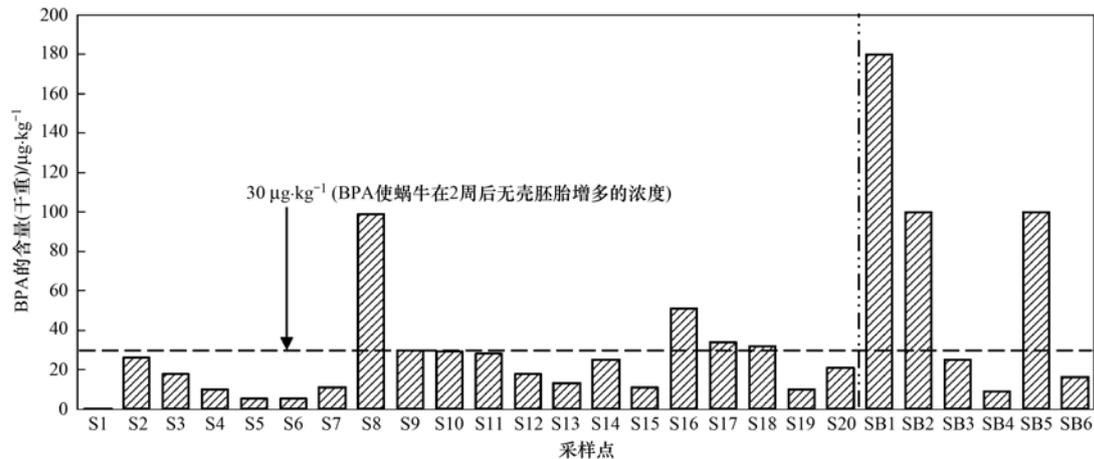


图4 苏州河及其支流底泥中双酚 A 的分布

Fig. 4 Distribution of BPA in sediments of the Suzhou Creek and its branches

泥双酚 A 污染最重的,该点附近有 2 家塑料制品厂,可能是双酚 A 偏高的主要原因.而苏州河远郊江苏省内段吴家港桥样点(S1)底泥中的 3 种污染物的含量是所有样点最低的:壬基酚,  $< 1.0 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 辛基酚,  $< 0.10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 双酚 A,  $0.90 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ .上海市区内苏州河河面窄,沿岸交通流量大,人口密度高,有些河段四周工厂、商业和住宅区密集.相比之下,苏州河上海郊区和江苏省内段,河面宽阔,流经区域人居密度低,农田多,河边坡地常有植被,河流自净能力强.因此,受人为活动影响程度的差异,可能是不同区域河流底泥污染物含量显著差异的重要原因.

对苏州河干流和支流底泥 3 种内分泌干扰物的含量进行比较,结果表明,壬基酚、辛基酚和双酚 A 的 20 个干流底泥的平均含量为 480、3.2 和  $24 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 6 个支流底泥的平均含量为 1 800、11 和  $72 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 壬基酚、辛基酚和双酚 A 在苏州河支流的含量显著地高于干流( $t$ -检验,  $P$  值均小于 0.05). 比如,支流段沙河水闸样点(SB1)的污染最重(如图 2~4),壬基酚、辛基酚和双酚 A 的含量分别高达 5 800、39 和  $180 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 而干流段具代表性的叶家宅桥样点(S12)底泥中这 3 种物质的含量分别为 440、2.5 和  $18 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 明显较低.苏州河众多支流通道窄,水体流动缓慢,河流的自净能力较弱;但人居较密,生活污水和工业废水的排入量较大.如污染最重的支流段沙河水闸样点(SB1),可能与样点邻近水闸,河面窄,水流速度低有关;而支流段远景路桥样点(SB5)污染较重,可能与生活污水的大量排入有关.另外,苏州河整治过程中,支流的治理力度相对较弱,可能也是其中一个原因.

国内有关河流和海湾底泥中烷基酚和双酚 A 的含量,有很多报道.珠江三角洲及其邻近的南海北部地区底泥中壬基酚的含量为  $59 \sim 7\,808 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 辛基酚为  $1 \sim 93 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ [12], 明显高于本次苏州河底泥的监测值.厦门湾底泥中壬基酚( $12.90 \sim 1\,159.99 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、辛基酚( $n. d. \sim 24.11 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )和双酚 A ( $1.66 \sim 121.92 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )的含量与苏州河底泥中的含量相比则较低[13]; 胶州湾底泥中烷基酚和双酚 A 的含量(壬基酚,  $3.6 \sim 299 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、辛基酚,  $< 0.7 \sim 3.6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、双酚 A,  $0.7 \sim 20.3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )[20], 黄河兰州段底泥中壬基酚的含量( $38.4 \sim 86.3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )[14]均低于苏州河底泥中的含量.由此推测,这 3 种典型内分泌干扰物质在河流或海湾底泥中的含量,与流域人口密度、工农业生产发展和经济发达程度有一定关系.国外对这 3 种污染物在底泥的含量,也有类似报道. Funakoshi 等[15]调查了日本长良川-揖斐川中的底泥,其中壬基酚、辛基酚和双酚 A 的含量分别为  $5.8 \sim 64.0$ 、 $0.2 \sim 3.0$  和  $1.5 \sim 50.1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; Kawahata 等[11]报道的日本冲绳和石垣两岛附近底泥中壬基酚和双酚 A 的含量范围分别为  $n. d. \sim 13 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $n. d. \sim 44 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 两者结果都比苏州河底泥低,一方面可能与日本在 1970 年颁布《水污染控制法》,强制对工业污水的排放进行了限制有关[21]; 另一方面也可能与调查地点的工业分布较少、人口密度较低有一定关系.韩国迎日湾底泥中壬基酚的含量  $< 1 \sim 1\,430 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 双酚 A 的含量  $< 1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 除一点为  $191 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ [22], 比本次监测低很多.但德国境内易北河底泥中,除壬基酚的含量( $27 \sim 428 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )低于本次监测外,双酚 A ( $10 \sim 379 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )和辛基

酚( $4 \sim 62 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )的含量<sup>[23]</sup>都明显高于本次苏州河底泥的监测值。

## 2.2 3种环境内分泌干扰物相互之间的关系

苏州河底泥中3种环境内分泌干扰物含量的比较发现(图5),壬基酚的含量最高,双酚A次之,辛基酚最低。其中壬基酚的含量比辛基酚的含量约高2个数量级。全球烷基酚聚氧乙烯醚用量中,壬基酚聚氧乙烯醚和辛基酚聚氧乙烯醚分别约占80%和20%,但在本研究苏州河及其支流底泥中壬基酚与辛基酚的比值明显高于2种聚氧乙烯醚用量的比值,与国内大部分地区结果相类似<sup>[24, 25]</sup>。这可能与

我国烷基酚聚氧乙烯醚中壬基酚聚氧乙烯醚的使用率高于世界平均水平有关。另外,壬基酚的辛醇-水烷值( $\lg K_{ow} = 4.48$ )比辛基酚( $\lg K_{ow} = 4.12$ )<sup>[13]</sup>略高,说明壬基酚疏水性更强,易在底泥累积,这可能也是其含量高的一个重要原因。但苏州河各样点壬基酚与辛基酚含量随空间分布的不同有明显的同步变化的趋势(图5)。进一步分析(图6)表明,苏州河底泥壬基酚与辛基酚的含量呈极显著正相关( $r = 0.995, P < 0.01$ )。由此推断,苏州河底泥中壬基酚和辛基酚的物源相似,两者的主要来源很可能为大量使用的烷基酚类表面活性剂<sup>[7]</sup>。

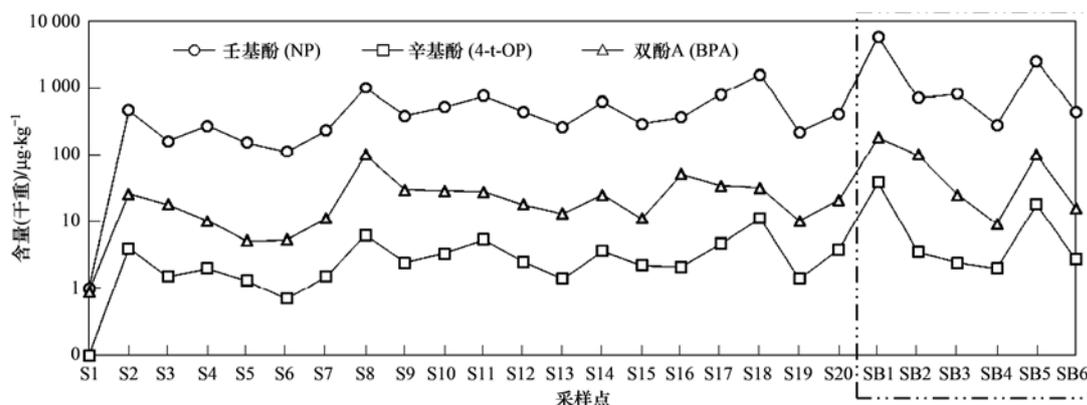


图5 苏州河及其支流底泥中3种环境内分泌干扰物的对数含量分布

Fig. 5 Concentration distribution of logarithmic values of the three environmental endocrine disruptors in sediments of the Suzhou Creek and its branches

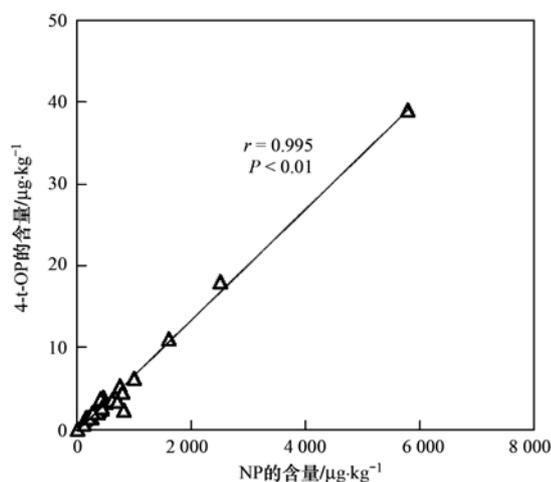


图6 壬基酚与辛基酚含量的线性关系

Fig. 6 Linear correlation between the concentration of NP and 4-t-OP

苏州河底泥中壬基酚的含量明显高于双酚A的含量,两者的比值在7.1~50.0之间。这种明显的差异可能是由于壬基酚在水中的溶解度较低,易被悬浮物吸附、沉降累积到底泥中,并且在厌氧条件下相当稳定。双酚A具有2个羟基,其化学性质更活

泼,容易发生生物和化学降解<sup>[4]</sup>;而且双酚A的辛醇-水烷值( $\lg K_{ow} = 3.40$ )明显低于壬基酚( $\lg K_{ow} = 4.21$ )<sup>[13]</sup>,说明其在水中的溶解度高于壬基酚,使得其在底泥中的累积相对减少。

通过壬基酚和辛基酚与双酚A在河流底泥中含量的相关性分析(图7)发现:壬基酚和辛基酚均与双酚A的含量呈显著正线性相关,相关系数 $r$ 分别为0.863和0.848( $P < 0.01$ ),由此推断苏州河及其支流底泥中烷基酚和双酚A的来源和影响因素也存在相似性。

## 2.3 3种环境内分泌干扰物与TOC的关系

苏州河及其支流底泥的pH呈弱碱性(7.43~8.19)(见表1),在整个河段较平稳(平均值为7.73,变异度为0.03)。底泥pH与壬基酚和辛基酚的含量达到显著负相关( $P < 0.05$ );与双酚A的含量也呈负相关,但未达显著水平(表2)。表明底泥pH升高,不利于3种物质,尤其是壬基酚和辛基酚的累积。

苏州河及其支流底泥中的TOC范围为0.33%

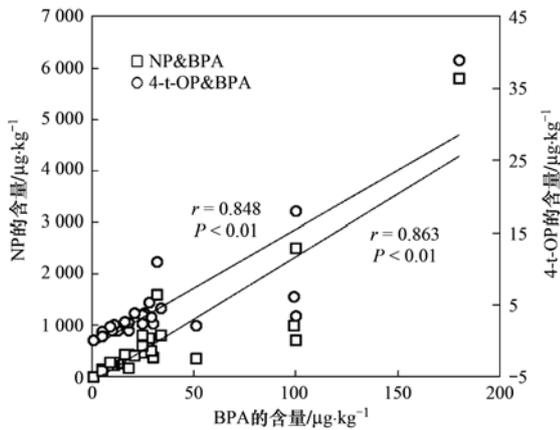


图7 壬基酚、辛基酚与双酚 A 含量的线性关系

Fig. 7 Linear correlation between the concentration of NP, 4-t-OP and BPA

~3.91% (见表 1). 相关性分析 (见表 2) 表明, 底泥 TOC 与壬基酚、辛基酚和双酚 A 的含量均达到显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 表明苏州河及其支流底泥中 3 种环境内分泌干扰物的累积, 与有机污染物总量有密切关系. 比如, 远景路桥河段 (SB5) 底泥 TOC 在所有采样点中最高, 达到 3.91%. 此底泥样品呈现黑色, 有很重的油臭味, 并包含大量塑料废弃物. 而此样点壬基酚 ( $2500 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、辛基酚 ( $18 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和双酚 A ( $100 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 含量也都呈现出较高的水平.

表 2 NP、4-t-OP、BPA、TOC 与 pH 之间的斯皮尔曼等级相关系数矩阵<sup>1)</sup>

Table 2 Spearman's rank correlation matrix for NP, 4-t-OP, BPA, TOC and pH

	NP	4-t-OP	BPA	TOC	pH
NP	1.000				
4-t-OP	0.995 <sup>a</sup>	1.000			
BPA	0.863 <sup>a</sup>	0.848 <sup>a</sup>	1.000		
TOC	0.419 <sup>b</sup>	0.449 <sup>b</sup>	0.436 <sup>b</sup>	1.000	
pH	-0.399 <sup>b</sup>	-0.397 <sup>b</sup>	-0.356	-0.427 <sup>b</sup>	1.000

1) 上标 a 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; 上标 b 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关

## 2.4 生态风险评估

本研究中测得的苏州河及其支流底泥样品中的壬基酚含量远低于对摇蚊属昆虫 (*Chironomus riparius*) 的 10 d 半致死量 (median lethal dose,  $\text{LD}_{50}$ )  $315000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[26]</sup> 和对小虾的亚急性最低效应浓度值 (lowest observable effect concentration, LOEC)  $26000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[27]</sup> (见图 2); 但是有 24 个样点辛基酚的含量高于或等于淡水螺 (*Potamopyrgus*

*antipodarum*) 的 8 周最低效应浓度 (LOEC)  $1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[28]</sup> (见图 3); 有 30.8% 的样点底泥双酚 A 的含量高于或等于蜗牛底泥中生活 2 周后无壳胚胎便会增多的双酚 A 浓度  $30 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[29]</sup> (见图 4). 因此, 有必要对苏州河底泥中存在的生态风险进行评估, 以采取相应的措施.

本研究选用壬基酚进行风险评估, 采用 Fenner 等<sup>[30]</sup> 建立的对化学物质进行风险评估模型中的风险熵 (risk quotient, RQ) 为评价标准. 风险熵 RQ 的值为预测环境浓度 (predicted environmental concentration, PEC) 与预测无效应浓度 (predicted no effect concentration, PNEC) 的比值,  $\text{RQ} < 0.1$ , 表明目前不需要进一步的信息或试验以及新的风险降低措施;  $0.1 < \text{RQ} < 1.0$ , 表明需要对相关环境进行观察;  $\text{RQ} > 1.0$ , 表明需要采取相应的风险削减措施. 本研究以实际检测含量代替预测环境浓度, 并采用欧盟对壬基酚 (4-NP) 的风险评估报告中的 PNEC 值 ( $39 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )<sup>[31]</sup>, 计算得到苏州河及其支流各采样点底泥中壬基酚的风险熵 RQ 的范围在 0.0 ~ 148.7 之间, 其中只有吴家港桥干流段 (S1) 的风险熵  $\text{RQ} < 0.1$ , 目前不需要采取任何措施来降低环境风险, 而其它各河段的风险熵 RQ 均大于 1, 底泥中潜在的环境风险很大, 有必要采取相应的措施以降低风险. 比如河道清淤, 减少生活污水或工业废水的排放等.

## 3 结论

(1) 3 种环境内分泌干扰物——壬基酚、辛基酚和双酚 A 在苏州河及其支流底泥中的含量变幅较大, 分别为  $< 1.0 \sim 5800 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (平均  $750 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、 $< 0.10 \sim 39 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (平均  $4.9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和  $0.90 \sim 180 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (平均  $35 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). 总体上看, 三者在上海市区河段底泥中的含量明显高于上海远郊和江苏省内段底泥中的含量; 在苏州河支流底泥中的含量明显高于苏州河干流底泥中的含量.

(2) 苏州河及其支流底泥中壬基酚的含量与辛基酚的含量具有同步变化趋势并呈极显著正相关性, 其物源很可能为应用很广的烷基酚类表面活性剂; 双酚 A 与壬基酚和辛基酚的含量也呈显著正相关性, 表明其物源与 2 种烷基酚也较相似.

(3) 苏州河及其支流底泥 TOC 与 3 种环境内分泌干扰物均呈显著正相关. 这表明 3 种内分泌干扰物的累积, 与有机污染物的总负荷密切相关.

(4) 选用壬基酚对环境内分泌干扰物在苏州河

及其支流底泥中的累积进行风险评估. 结果表明, 除吴家港桥干流段外, 其它河段底泥中均存在潜在的环境风险, 需采取相应的防范措施.

#### 参考文献:

- [ 1 ] Awal M A, Kurohmaru M, Mizukami T, *et al.* Effect of bisphenol-A on the sertoli cell culture from prepubertal male wistar rats [J]. *Journal of Medical Sciences*, 2002, **2**(1): 19-23.
- [ 2 ] 张晖, 孔繁翔, 王世和, 等. 4 种环境雌激素对淡水鱼卵黄蛋白原诱导的混合物效应研究 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(7): 2005-2011.
- [ 3 ] 张洪昌, 陈良燕, 刘树深, 等. BPA 与 3 种双酚类化合物的联合作用雌激素效应 [J]. *环境科学*, 2009, **30**(1): 260-265.
- [ 4 ] Ying G G, Williams B, Kookana R. Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates-a review [J]. *Environment International*, 2002, **28**(3): 215-226.
- [ 5 ] Benotti M J, Trenholm R A, Vanderford B J, *et al.* Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in U. S. Drinking Water [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, **43**(3): 597-603.
- [ 6 ] 张长, 曾光明, 余健, 等. 双酚 A 在湘江沉积物上的吸附特征 [J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(5): 550-554.
- [ 7 ] 段青春, 陈兵, 麦碧娴, 等. 洪季珠江三角洲水系烷基酚污染状况研究 [J]. *环境科学*, 2004, **25**(3): 48-52.
- [ 8 ] Li Z Y, Li D H, Oh J R, *et al.* Seasonal and spatial distribution of nonylphenol in Shihwa Lake, Korea [J]. *Chemosphere*, 2004, **56**(6): 611-618.
- [ 9 ] 张静云, 吕剑, 何义亮, 等. 有机物与温度对壬基酚聚氧乙烯醚厌氧降解影响的研究 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(9): 2624-2627.
- [ 10 ] Oehlmann J, Schulte-Oehlmann U, Tillmann M, *et al.* Effects of endocrine disruptors on prosobranch snails (mollusca; gastropoda) in the laboratory. Part I: bisphenol A and octylphenol as xeno-estrogens [J]. *Ecotoxicology*, 2000, **9**(6): 383-397.
- [ 11 ] Kawahata H, Ohta H, Inoue M, *et al.* Endocrine disrupter nonylphenol and bisphenol A contamination in Okinawa and Ishigaki Islands, Japan-within coral reefs and adjacent river mouths [J]. *Chemosphere*, 2004, **55**(11): 1519-1527.
- [ 12 ] Chen B, Duan J C, Mai B X, *et al.* Distribution of alkylphenols in the Pearl River Delta and adjacent northern South China Sea, China [J]. *Chemosphere*, 2006, **63**(4): 652-661.
- [ 13 ] Zhang X, Li Q Z, Li G X, *et al.* Levels of estrogenic compounds in Xiamen Bay sediment, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, **58**(8): 1210-1216.
- [ 14 ] Xu J, Wang P, Guo W F, *et al.* Seasonal and spatial distribution of nonylphenol in Lanzhou Reach of Yellow River in China [J]. *Chemosphere*, 2006, **65**(9): 1445-1451.
- [ 15 ] Funakoshi G, Kasuya S. Influence of an Estuary Dam on the dynamics of bisphenol A and alkylphenols [J]. *Chemosphere*, 2009, **75**(4): 491-497.
- [ 16 ] Hu X F, Gao X J, Chen Z L, *et al.* Preliminary study on nitrogen and phosphorus releases from creek sediments in Shanghai suburbs [J]. *Pedosphere*, 2002, **12**(2): 157-164.
- [ 17 ] 胡雄星, 夏德祥, 韩中豪, 等. 苏州河水及沉积物中有机氯农药的分布与归宿 [J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(1): 124-128.
- [ 18 ] Li K, Yin H W, Zheng M H, *et al.* Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and dioxinlike biphenyls in sediments from the Suzhou Creek, China [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2007, **79**(4): 432-436.
- [ 19 ] 曾祥英, 张晓岚, 钱光人, 等. 苏州河沉积物中多环麝香分布特点的初步研究 [J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(1): 180-184.
- [ 20 ] Fu M Z, Li Z Y, Gao H W. Distribution characteristics of nonylphenol in Jiaozhou Bay of Qingdao and its adjacent rivers [J]. *Chemosphere*, 2007, **69**(7): 1009-1016.
- [ 21 ] 郝永梅, 麦碧娴, 李春雷, 等. 澳门南湾湖钻孔沉积物中烷基酚的初步研究 [J]. *环境科学*, 2004, **25**(4): 129-133.
- [ 22 ] Koh C H, Khim J S, Villeneuve D L, *et al.* Characterization of trace organic contaminants in marine sediment from Yeongil Bay, Korea: 1. Instrumental analyses [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **142**(1): 39-47.
- [ 23 ] Stachel B, Ehrhorn U, Heemken O P, *et al.* Xenoestrogens in the River Elbe and its tributaries [J]. *Environmental Pollution*, 2003, **124**(3): 497-507.
- [ 24 ] 许雷, 冉勇, 龚剑, 等. 珠江广州河段及其邻近河流表层沉积物中烷基酚的污染状况 [J]. *生态环境*, 2007, **16**(6): 1615-1619.
- [ 25 ] 沈钢, 张祖麟, 余刚, 等. 夏季海河与渤海湾中壬基酚和辛基酚污染的状况 [J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(6): 733-736.
- [ 26 ] Bettinetti R, Cuccato D, Galassi S, *et al.* Toxicity of 4-nonylphenol in spiked sediment to three populations of *Chironomus riparius* [J]. *Chemosphere*, 2002, **46**(2): 201-207.
- [ 27 ] Isobe T, Nishiyama H, Nakashima A, *et al.* Distribution and behavior of nonylphenol, octylphenol, and nonylphenol monoethoxylate in Tokyo metropolitan area; their association with aquatic particles and sedimentary distributions [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, **35**(6): 1041-1049.
- [ 28 ] Duft M, Schulte-Oehlmann U, Weltje L, *et al.* Stimulated embryo production as a parameter of estrogenic exposure via sediments in the freshwater mudsnail *Potamopyrgus antipodarum* [J]. *Aquatic Toxicology*, 2003, **64**(4): 437-449.
- [ 29 ] European Commission. Updated european risk assessment report 4, 4'-isopropylidenediphenol (Bisphenol-A) [R]. European Union; European Chemicals Bureau, 2008. 119-120.
- [ 30 ] Fenner K, Kooijman C, Scheringer M, *et al.* Including transformation products into the risk assessment for chemicals: the case of nonylphenol ethoxylate usage in Switzerland [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(6): 1147-1154.
- [ 31 ] European Commission. European Union Risk assessment report for 4-nonylphenol (branched) and nonylphenol (final report) [R]. European Union; European Chemicals Bureau, 2002. 120-131.

## CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years .....	HE Ji-cheng ( 1 )
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH <sub>4</sub> and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station .....	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> ( 8 )
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010 .....	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> ( 13 )
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province .....	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> ( 20 )
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert .....	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> ( 26 )
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene .....	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> ( 32 )
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring .....	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> ( 37 )
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring .....	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> ( 42 )
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan .....	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> ( 48 )
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River .....	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> ( 55 )
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill .....	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> ( 64 )
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff .....	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> ( 71 )
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing .....	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> ( 76 )
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration .....	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> ( 83 )
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO <sub>2</sub> .....	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> ( 88 )
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron .....	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> ( 94 )
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System .....	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> ( 104 )
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province .....	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei ( 110 )
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater .....	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> ( 117 )
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon .....	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling ( 124 )
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments .....	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> ( 129 )
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments .....	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> ( 135 )
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues .....	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> ( 142 )
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons .....	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> ( 147 )
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge .....	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> ( 156 )
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station .....	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> ( 163 )
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil .....	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> ( 169 )
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone .....	WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang ( 175 )
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter .....	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin ( 181 )
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System .....	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> ( 191 )
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter .....	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> ( 197 )
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane .....	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> ( 203 )
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing .....	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> ( 208 )
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme .....	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> ( 216 )
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection .....	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> ( 222 )
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i> .....	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> ( 228 )
Toxic Effects of Nano-TiO <sub>2</sub> on <i>Gymnodinium breve</i> .....	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 233 )
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks .....	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> ( 239 )
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area .....	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> ( 247 )
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk .....	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> ( 253 )
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin .....	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> ( 260 )
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China .....	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> ( 266 )
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions .....	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> ( 273 )
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology .....	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> ( 280 )
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury .....	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> ( 286 )
Effect of Zn ( II ) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source .....	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> ( 293 )
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil .....	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> ( 299 )
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE .....	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> ( 305 )
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China .....	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> ( 314 )
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation .....	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li ( 323 )
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions .....	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> ( 329 )

# 《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1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 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. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. 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