

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第8期

Vol.36 No.8

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于16S rRNA 基因测序法分析北京霾污染过程中 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 细菌群落特征..... 王步英,郎继东,张丽娜,方剑火,曹晨,郝吉明,朱昕,田埂,蒋靖坤 (2727)

北京城区冬季降尘微量元素分布特征及来源分析 熊秋林,赵文吉,郭道宇,陈凡涛,束同同,郑晓霞,赵文慧 (2735)

北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征 程婧晨,崔彤,何万清,聂磊,王军玲,潘涛 (2743)

基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征 樊守彬,田灵娣,张东旭,曲松 (2750)

夏季珠江三角洲地区 PM_{2.5} 化学组分特征及其对大气能见度的影响 杨毅红,瞿群,刘随心,李雄,钟佩仪,陶俊 (2758)

隧道工人的 PM₁₀ 职业暴露特征调查分析及其健康风险评价 向华丽,杨俊,仇珍珍,雷万雄,曾婷婷,兰志财 (2768)

基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征 张英杰,孔少飞,汤莉莉,赵天良,韩永翔,于红霞 (2775)

柴达木盆地东部降水氢氧同位素特征与水汽来源 朱建佳,陈辉,巩国丽 (2784)

长江口-浙闽沿岸沉积色素的分布特征及其指示意义 李栋,姚鹏,赵彬,王金鹏,潘慧慧 (2791)

“引江济太”过程中中江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究 潘晓雪,马迎群,秦延文,邹华 (2800)

重庆市典型城镇区地表径流污染特征 王龙涛,段丙政,赵建伟,华玉妹,朱端卫 (2809)

调水调沙对黄河下游颗粒有机碳运输的影响 张婷婷,姚鹏,王金鹏,潘慧慧,高立蒙,赵彬,李栋 (2817)

青藏高原冰川区可溶性有机碳含量和来源研究 严芳萍,康世昌,陈鹏飞,柏建坤,李洋,胡召富,李潮流 (2827)

岩溶区地下水补给型水库表层无机碳时空变化特征及影响因素 李建涛,蒲俊兵,袁道先,刘文,肖琼,于爽,张陶,莫雪,孙平安,潘谋成 (2833)

室内模拟不同因子对岩溶作用与碳循环的影响 赵瑞一,吕现福,段逸凡 (2843)

新乡市地表水体 HCHs 和 DDTs 的分布特征及生态风险评价 冯精兰,余浩,刘书卉,刘梦琳,孙剑辉 (2849)

青木关地下河系统中不同含水介质下正构烷烃对比研究 梁作兵,孙玉川,王尊波,江泽利,廖昱,谢正兰,张媚 (2857)

三峡库区长寿湖水体不同形态汞的空间分布特征 白薇扬,张成,赵锋,唐振亚,王定勇 (2863)

燃煤电厂周围渔业养殖行为对水生生态环境中汞形态变化的影响 梁鹏,王远娜,尤琼智,高云飞,何杉杉 (2870)

运用硫同位素、氮同位素示踪里湖地下河硫酸盐、硝酸盐来源 李瑞,肖琼,刘文,郭芳,潘谋成,于爽 (2877)

藻华聚集的生态效应:对凤眼莲叶绿素和光合作用的影响 刘国锋,何俊,杨轶中,韩士群 (2887)

DOM 对被动采样技术的影响与应用 于尚云,周岩梅 (2895)

蛋白质对 PVDF 超滤膜污染行为的界面微观作用力解析 王旭东,周森,孟晓荣,王磊,黄丹曦,夏四清 (2900)

水环境中碳纳米管对沙丁胺醇光降解的影响 汪祺,韩佳芮,魏博凡,周磊,张亚,杨曦 (2906)

β -In₂S₃ 的制备及其太阳光下降解土霉素 艾翠玲,周丹丹,张嵘嵘,邵享文,雷英杰 (2911)

排水管道沉淀物氮释放特性的研究 陈红,卓琼芳,许振成,王劲松,魏清伟 (2918)

生物膜 CANON 反应器中沉积物影响及其成因分析 付昆明,王会芳,左早荣,仇付国 (2926)

ABR-MBR 一体化工艺节能降耗措施优化研究 吴鹏,陆爽君,徐乐中,刘捷,沈耀良 (2934)

两个 CANON 污水处理系统中氨氧化古菌的丰度和多样性研究 高景峰,李婷,张树军,樊晓燕,潘凯玲,马谦,袁亚林 (2939)

ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥形成机制及其除污效能研究 巫恺澄,吴鹏,徐乐中,李月寒,沈耀良 (2947)

珠江三角洲地区土壤有机氯农药分布特征及风险评价 窦磊,杨国义 (2954)

广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价 吴洋,杨军,周小勇,雷梅,高定,乔鹏炜,杜国栋 (2964)

开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险 段海静,蔡晓强,阮心玲,全致琦,马建华 (2972)

我国西南地区氮饱和马尾松林土壤和植物¹⁵N自然丰度对长期氮施加的响应 刘文静,康荣华,张婷,朱婧,段雷 (2981)

黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征 李婷,邓强,袁志友,焦峰 (2988)

开顶式气室原位研究水稻稻富集对大气汞浓度升高的响应 陈剑,王章玮,张晓山,秦普丰,陆海军 (2997)

接种丛枝菌根真菌对蜈蚣草吸收砷的影响 郑文君,王明元 (3004)

水稻种植对黑土微生物生物量和碳源代谢功能的影响 赵志瑞,崔丙健,侯彦林,刘上千,王岩 (3011)

固定化菌剂载体材料腐解产物对污染土壤中砷解吸的影响 全冬丽,双生晴,李晓军,邓万荣,赵然然,贾春云,巩宗强 (3018)

零价铁和碱激发矿渣稳定/固定化处理铬渣研究 陈忠林,李金春子,王斌远,樊磊涛,沈吉敏 (3026)

Fe³⁺ 负载凹凸棒土 (Fe/ATP) 结构表征及其稳定化修复镉 (Cd) 机制研究 杨蓉,李鸿博,周永莉,陈静,王琳玲,陆晓华 (3032)

原位生物修复提高多环芳烃污染土壤农作安全性 焦海华,潘建刚,徐圣君,白志辉,王栋,黄占斌 (3038)

镉-八氯代二苯并呋喃复合污染土壤中紫茉莉对镉的修复能力 张杏丽,邹威,周启星 (3045)

不同水分条件对蜈蚣草修复砷污染土壤的影响 刘秋辛,阎秀兰,廖晓勇,林龙勇,杨静 (3056)

磷矿粉和腐熟水稻秸秆对土壤铅污染的钝化 汤帆,胡红青,苏小娟,付庆灵,朱俊 (3062)

洛克沙肿在青菜及土壤中的残留及降解特性 邵婷,姚春霞,沈源源,张玉洁,苏楠楠,周守标 (3068)

3 种典型有机污染物对 2 种水生生物的急性毒性及安全评价 杨扬,李雅洁,崔益斌,李梅 (3074)

石油污染物对海底微生物燃料电池性能的影响及加速降解效应 孟瑶,付玉彬,梁生康,陈伟,柳昭慧 (3080)

Cu-Mn-Ce/分子筛催化剂吸附甲苯后的微波原位再生及床层温度分布探究 虎雪姣,卜龙利,梁欣欣,孟海龙 (3086)

热处理对猪粪高固厌氧消化产甲烷能力的影响 胡玉瑛,吴静,王士峰,曹知平,王凯军,左剑恶 (3094)

磷石膏对麦田 CO₂ 排放和小麦产量的影响及其经济环境效益分析 李季,吴洪生,高志球,尚小厦,郑培慧,印进,Kakpa Didier,任迁琪, Ogou Katchele Faustin,陈素云,徐亚,姚童言,李炜,钱景珊,马世杰 (3099)

全氟和多氟烷基化合物的环境风险评估研究现状、不确定性与趋势分析 郝薛文,李力,王杰,曹燕,刘建国 (3106)

《环境科学》征订启事 (2757) 《环境科学》征稿简则 (2767) 信息 (2734,2783,3073,3079)

DOM 对被动采样技术的影响与应用

于尚云,周岩梅*

(北京交通大学土木建筑工程学院,北京 100044)

摘要: 主要研究了不同浓度的天然溶解性有机物(DOM)对单片膜被动采样技术的影响. 结果表明,DOM 的存在会影响膜吸附有机污染物的能力:当 $\lg K_{ow}$ 为 3~5 时,DOM 对膜吸附有机物的影响较小;当 $\lg K_{ow} > 5.5$ 时,DOM 会显著增强膜的吸附能力. 同时,通过低密度聚乙烯膜(LDPE)被动采样技术对太子河流域 3 个表层沉积物的孔隙水进行多环芳烃类(PAHs)和邻苯二甲酸酯类(PAEs)监测. 结果表明,所选取的几种目标污染物在各监测点均有不同程度的检出. 最后,利用商值法对太子河流域的 PAHs 和 PAEs 进行生态风险评价. 结果表明,荧蒽超过水生生态基准值,其生态风险较大.

关键词: 多环芳烃; 邻苯二甲酸酯; 溶解性有机物; 被动采样; 风险评价

中图分类号: X131.2; X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)08-2895-05 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.08.022

Influence of Natural Dissolved Organic Matter on the Passive Sampling Technique and Its Application

YU Shang-yun, ZHOU Yan-mei*

(School of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper studied the effects of different concentrations of natural dissolved organic matter (DOM) on the passive sampling technique. The results showed that the presence of DOM affected the organic pollutant adsorption ability of the membrane. For $\lg K_{ow}$ 3-5, DOM had less impact on the adsorption of organic matter by the membrane; for $\lg K_{ow} > 5.5$, DOM significantly increased the adsorption capacity of the membrane. Meanwhile, LDPE passive sampling technique was applied to monitor PAHs and PAEs in pore water of three surface sediments in Taizi River. All of the target pollutants were detected in varying degrees at each sampling point. Finally, the quotient method was used to assess the ecological risks of PAHs and PAEs. The results showed that fluoranthene exceeded the reference value of the aquatic ecosystem, meaning there was a big ecological risk.

Key words: PAHs; PAEs; dissolved organic matter; passive sampling; risk assessment

PAHs 是一类具有致癌、致畸、致突变效应的持久性有机污染物,其浓度分布及生态风险越来越受到人们的广泛关注^[1~4]. PAEs 作为一种环境激素,它对人体的危害主要体现在对生殖和发育的影响,严重干扰动物体的神经系统和免疫系统,尤以对生殖系统的影响最为显著^[5~7].

近年,被动采样技术^[8]已全面应用于地表水中有机污染物(尤其是疏水性有机物)的测定,其中主要包括 LDPE、POM(聚甲醛膜)被动采样技术和固相微萃取技术等.而在单片膜被动采样法富集有机污染物的过程中,溶解有机质、悬浮颗粒等对富集过程均存在不同程度的影响,其中 DOM 的影响最为突出. Haitzer 等^[9]和 Akkanen 等^[10]研究结果表明,很多持久性有机污染物(POPs)易与有机质结合,进而降低其在水中的自由溶解浓度. Hassett 等^[11]实验研究表明,DOM 的存在会影响 POPs 在各相中的浓度.而 DOM 的存在对膜富集有机物的影响鲜有报道.本研究的主要目的为探讨不同浓度 DOM 对 PE 膜被动采样技术富集有机污染物 PAEs

和 PAHs 的影响,并应用 LDPE 被动采样技术监测辽河流域太子河中 PAEs 和 PAHs 的浓度,最后利用商值法评价其潜在生态风险.

1 材料与方法

1.1 实验仪器及材料

仪器:恒温振荡摇床,冷冻干燥机,pH 计,玻璃纤维膜过滤器,TOC 总有机碳分析仪,RE 型旋转蒸发仪,DC-12 型氮吹仪器,安捷伦 6890N 型气相色谱-质谱联用仪.

材料:LDPE 膜(76 μm)购于香港华强包装有限公司,17 种 PAHs 标准品[萘、1-甲基萘、苊烯、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并(a)蒽、䓛、苯并(b)荧蒽、苯并(j)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(e)芘、苯并(a)芘和二苯并(a,h)蒽],7 种 PAEs 标准品[邻苯

收稿日期: 2015-01-30; 修订日期: 2015-03-19

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07202-002); 国家自然科学基金项目(20977006)

作者简介: 于尚云(1990~),女,硕士研究生,主要研究方向为被动采样技术,E-mail:12121292@bjtu.edu.cn

* 通讯联系人,E-mail:zym721101@163.com

二甲酸二异丁酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二戊酯、邻苯二甲酸二环己酯、邻苯二甲酸二己酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯和邻苯二甲酸二壬酯], 苊-d8 和 蒽-d10 标准品均购于 J&K Chemical Ltd(美国), 丙酮、正己烷为色谱纯, 叠氮化钠、氯化钙为化学纯, 腐殖酸(Humic Acid)购于 Sigma-Aldrich(美国).

1.2 DOM 对 LDPE 膜被动采样技术的影响实验

取 PE 膜置于 1 L 样品瓶中, 加入丙酮和正己烷混合溶剂 500 mL(体积比为 1:1), 置于摇床振荡 24 h, 更换溶剂, 清洗膜 3 次, 然后于通风厨中风干. 配置 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$ 和 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaN}_3$ 混合液为背景溶液, 用背景溶液配置腐殖酸储备液(滴加少量 NaOH 溶液促进 DOM 溶解^[12]), 测定储备液浓度为 $64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (应用总有机碳分析仪测定, 以 C 含量计). 用背景溶液稀释 DOM 储备液, 配置浓度分别为 0、16、32 和 $64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 DOM 溶液各 200 mL, 在此溶液中分别用微量进样器加入浓度为 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 PAHs 和 PAEs 标准液(1~200 μL), 使最终的 PAHs 和 PAEs 浓度分别为 6 个梯度(1000、500、100、50、10 和 $5 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$), 再加入上述清洗干净并称重的 PE 膜(0.1 g 左右), 置于摇床振荡 30 d. 将 PE 膜取出, 先用去离子水冲洗, 再用擦镜纸擦干, 置于 10 mL 样品瓶中, 并加入 10 mL 正己烷和丙酮混合液(体积比 1:1), 加入 60 μL 替代物($1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 苊-d8), 置于摇床上, 提取 24 h 后, 更换提取液, 重复提取 3 次, 合并提取液, 氮吹至 1 mL, 加入内标 50 μL ($1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 蒽-d10)待测.

1.3 太子河沉积物样品采集及测定

于 2013 年 11 月在太子河流域运用铁锹采集 3 个沉积物样品(见图 1), 将每处所采取的 3 个平行样置于铁饭盒中, 带回实验室并于 4℃ 冷藏保存, 测

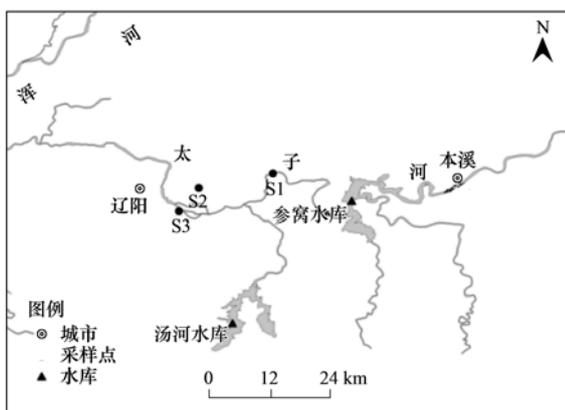


图 1 太子河流域采样点示意

Fig. 1 Sampling points of Taizi River

样前冷冻干燥, 研磨, 过 200 目筛.

准确称取上述沉积物样品 10 g, 分别加于 100 mL 和 500 mL 去离子水中, 并加入上述清洗干净并称重的 PE 膜(0.1 g 左右), 置于摇床上振荡 30 d, 然后将膜取出, 按 1.2 节的步骤进行提取, 浓缩, 待测. 此泥水混合物的上清液静置 24 h 后, 过玻璃纤维膜, 用总有机碳分析仪测定滤液中 DOC 含量.

1.4 GC-MS 测定条件

色谱条件: 色谱柱为 Agilent DB-5 MS(30 m × 0.25 mm × 0.25 mm), 载气为高纯氮气, 不分流进样, 进样口温度 320℃, 检测器温度 250℃. 采用全离子扫描模式, 初始柱温 80℃, 稳定 1 min, 以 $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 程序升温到 200℃, 恒温 5 min, 再以 $2.5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 程序升温到 310℃, 恒温 8 min.

质谱条件: 质谱采用 EI 离子源, 离子源温度 230℃, 四极杆温度 150℃, EI 电压 70 eV.

1.5 数据处理

本研究中的分析测定均采用 3 个平行样同时测定, 替代物显示回收率为 $89\% \pm 5\%$. 本研究数据均采用 Excel 计算, 采用 OriginLab 8.5 作图.

2 结果与讨论

2.1 DOM 对 LDPE 膜-水分配系数的影响

有机物在水相和被动采样膜上的分配属于简单的线性分配, 类似于液-液萃取, 膜-水分配系数 K_{PE} 定义为:

$$K_{PE} = \frac{c_{PE}}{c_W} \quad (1)$$

式中, c_{PE} 、 c_W 分别为有机污染物在膜上($\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$)和水中($\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$)的浓度.

泥-水混合体系中, 必然存在有 DOM, DOM 会吸附一定量的有机物, 通常认为此种吸附也类似于液-液萃取, 分配系数 K_{DOM} 的定义如下所示:

$$K_{DOM} = \frac{c_{DOM}}{c_W} \quad (2)$$

式中, c_{DOM} 为有机污染物在 DOM 上的浓度($\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$).

分配系数 K_{DOM} 与有机物的辛醇-水分配系数(K_{OW})有密切关系^[13]:

$$\lg K_{DOM} = 0.544 \lg K_{OW} + 1.377 \quad (3)$$

根据质量守恒定律, 可得:

$$c_W = \frac{M_T - M_{PE}}{M_{DOM} \cdot K_{DOM} \times 10^{-3} + V_W} \quad (4)$$

式中, M_T 为有机物的总质量(ng); M_{PE} 为 PE 膜富

集上有机物的质量 (ng); M_{DOM} 为水中 DOM 的质量 (以 C 计, mg); V_w 为水溶液的体积 (mL).

在以往国内外研究中^[14~17], 测定膜-水分配系数时应用纯水, 然后用加入有机物的总量减去膜富集量得出纯水中有机物的量, 根据公式(1)计算出 K_{PE} , 应用于实际样品测定. 可是, 实际样品 (无论是实际环境水样还是沉积物样) 必然存在有腐殖酸. 不考虑腐殖酸的影响, 将导致测定误差. 本研究应用公式(3)计算出 K_{DOM} , 再应用公式(4)计算出 c_w , 最后依据公式(1)计算出纯水和 3 种 DOM 浓度条件下, PAHs 和 PAEs 在 PE 膜上的 K_{PE} 值, 并研究 K_{PE} 与 DOM 浓度之间的关系, 其中应用 PE 膜被动采样技术测定 PAEs 在国内外研究中鲜有报道.

图 2 给出实验所测定的 4 种 DOM 浓度不同时

的 $\lg K_{PE}$. 从中可知, 实验中在 $DOM = 0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时所测定 PAHs 类的 $\lg K_{PE}$ 与文献^[18] 数据均处在同一数量级, 且 $\lg K_{PE}$ 与 $\lg K_{OW}$ 均呈现良好地线性关系. 由图 3 可知, 对大多数的 PAEs 和 PAHs 而言, 随着 DOM 浓度的增加, 其 K_{PE} 值逐渐增大. 其可能的原因是 DOM 对于辛醇-水分配系数较低的有机物吸附能力有限, 例如: 当有机物 $\lg K_{OW}$ 为 3 ~ 5 时, $\lg K_{PE}$ 的差距在 1 个数量级之内, 此时, DOM 并未改变原平衡体系, 所以水溶液中腐殖酸的存在对 K_{PE} 的影响不大. 但是, 当有机物 $\lg K_{OW} > 5.5$, $\lg K_{PE}$ 的差距大 1 个数量级以上. 由于竞争的存在, DOM 吸附一定量的有机物的同时, 会增强 PE 膜的富集量, 从而降低水相中有机物的浓度 (c_w), 此时表现为 K_{PE} 值增大 [依据公式(1)]. 因此, 对于 $\lg K_{OW}$ 较大的有机物, DOM 对 K_{PE} 的影响可能越大.

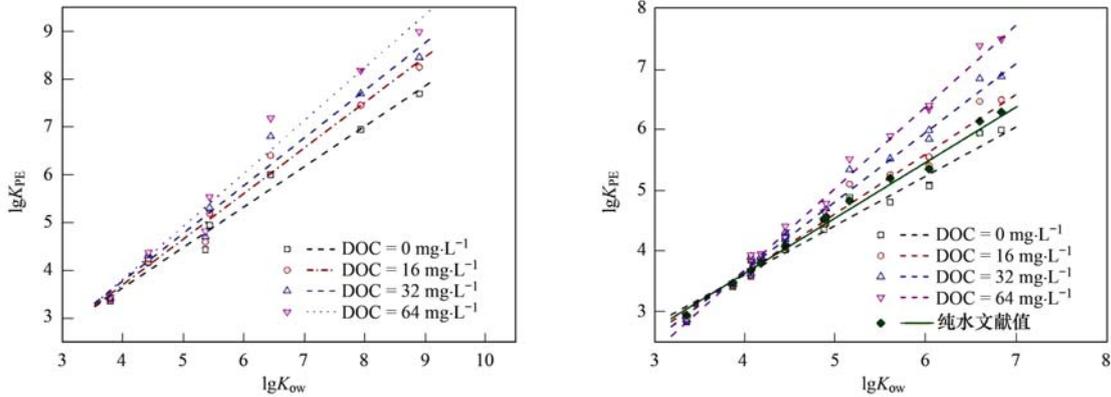


图 2 $\lg K_{PE}$ 与 $\lg K_{OW}$ 的关系

Fig. 2 Relationship between $\lg K_{PE}$ and $\lg K_{OW}$

2.2 太子河沉积物孔隙水中 PAEs 和 PAHs 浓度的分析

由上述研究可知, 不同沉积物样品, 含水量不同, DOM 含量不同, 对膜-水分配系数的影响不同. 本研究应用总有机碳分析仪测定不同浓度沉积物的

DOC 含量 (表 1), 利用图 2 和 3 中 K_{PE} 与 DOC 的关系式, 计算出不同 DOC 含量下 LDPE 膜的 K_{PE} , 并将此结果应用于沉积物孔隙水中 PAHs 和 PAEs 浓度的测定, 并与不考虑腐殖酸影响的结果进行对比 (如图 4).

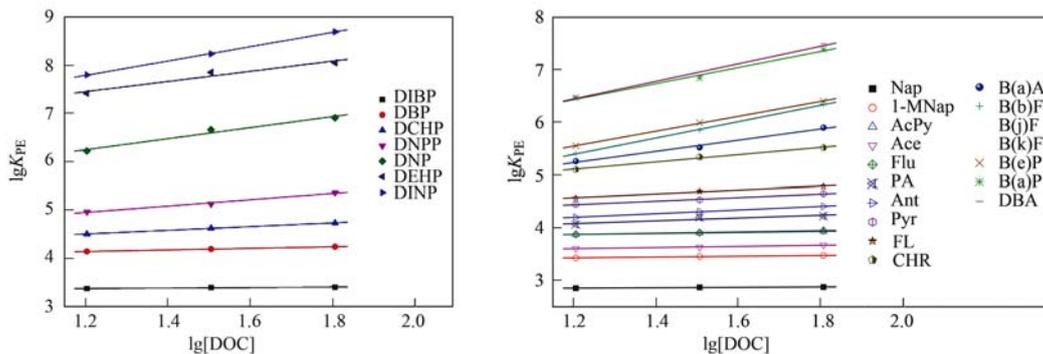


图 3 $\lg K_{PE}$ 与 DOM 浓度的关系

Fig. 3 Relationship between $\lg K_{PE}$ and the concentration of DOM

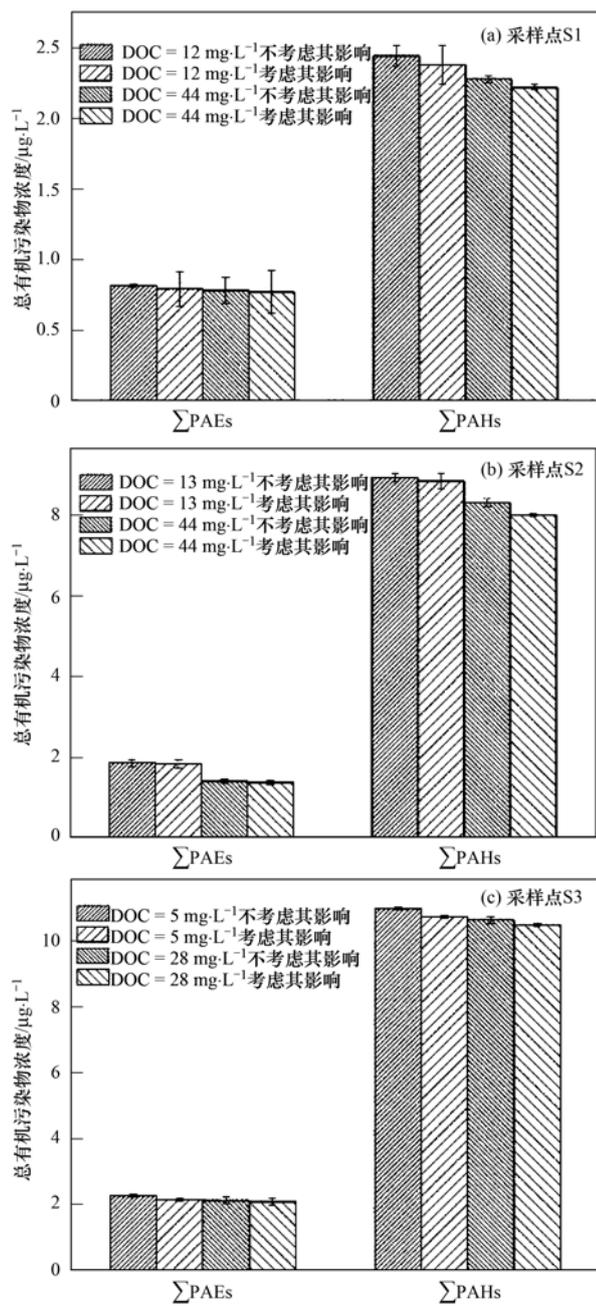


图4 各采样点有机污染物总浓度

Fig. 4 Total concentration of pollutants at each sampling point

由图4可知,在所测定的3个采样点孔隙水中, S3处有机污染物浓度最高,其中PAEs的总浓度达 $2.29 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, PAHs的总浓度达 $11.03 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. S2

处采样点次之,其中PAHs的总浓度达 $8.92 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, PAEs的总浓度达 $1.87 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. S1处有机污染物浓度最低, PAEs和PAHs的总浓度分别为 $0.28 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2.50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. 其原因是在S2和S3处有较多化工厂存在^[19-21], 导致该采样点处孔隙水中有机污染物浓度较高. 由图4进一步可知,在孔隙水中DOM浓度相同时,考虑其影响的情况下,其测定结果偏低; 当其浓度不同时, DOM的浓度越大,测定结果越小.

表1 各采样点中孔隙水的DOC/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Table 1 DOC in pore water of sampling points/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

加水/mL	采样点		
	S1	S2	S3
100	44.1	43.0	28.2
500	12.0	12.8	4.9

3 生态风险评价

商值法^[22](Q)又称比率法,是使用最普遍、最广泛的风险表征方法. 商值法的基本做法是把实验中的环境有害污染物的浓度(暴露浓度)与表征该物质危害的指标值生态基准值(TRV)相比较,计算式如下:

$$Q = \frac{\text{暴露浓度}}{\text{TRV}} \quad (5)$$

比值大于1,则说明该污染物存在着潜在的生态风险,比值越大其潜在的风险越大; 比值小于1,则说明该污染物的潜在生态风险相对较小. 参考文献[23~25]和国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)获取PAHs和PAEs在淡水水体中的生态基准值.

对实验中可能产生生态风险的有机物进行计算. 由图4可知,在3个采样点处,所监测到的DBP和DEHP的总浓度均不超过 $3 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 小于其相对应的生态基准值(DBP的生态基准值为 $3 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, DEHP为 $8 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$),所以该流域的PAEs类不存在潜在的生态风险. 而在S2和S3处,只有荧蒽可能存在生态风险. 由表2进一步计算可知,当不考虑DOM的影响时,荧蒽的危害商值大于1,表征为存在生态风险. 而在考虑DOM对吸附的影响时,荧蒽

表2 荧蒽的生态风险计算¹⁾

Table 2 Ecological risk calculation of fluoranthene

项目	S2				S3			
	DOM = $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$		DOM = $44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$		DOM = $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$		DOM = $28 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	6.178	6.158	6.164	6.114	6.184	6.183	6.165	6.144
Q	1.003	0.994	1.001	0.993	1.004	1.004	1.001	0.997

1) 荧蒽 TRV = $6.16 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; NC 为不考虑 DOM 影响; C 为考虑 DOM 影响

均不表现出生态风险。因此,在运用被动采样技术监测孔隙水中有机污染物的浓度时,应考虑 DOM 对膜富集能力的影响,否则会使数据结果出现偏差。

4 结论

(1)通过配置不同浓度腐殖酸溶液的实验研究表明,DOM 的存在会一定程度上影响 PE 膜吸附有机污染物的能力。对于 $\lg K_{OW}$ 较小的有机物,DOM 的影响并不显著。而对于 $\lg K_{OW}$ 大于 5.5 以上的有机物,DOM 会很大程度上影响 PE 膜的吸附能力,表现为 K_{PE} 的增大。因此,在运用 LDPE 膜监测孔隙水中有机污染物浓度时,必须考虑 DOM 的影响。

(2)利用 LDPE 膜被动采样技术监测太子河流域 3 个采样点,其孔隙水中共监测到 3 种 PAEs 和 17 种 PAHs。最后通过对多环芳烃类和邻苯二甲酸酯类的生态风险评价,结果表明,该流域的邻苯二甲酸酯类不会对人体健康构成危险。但在不考虑 DOM 的影响时,荧蒽存在较大的生态风险,应引起相关部门的重视,必要时应采取相应的措施。

致谢:本研究获得中国科学院生态环境研究中心王东升课题组的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 杜娟. 重庆主城两江水体与沉积物中邻苯二甲酸酯和多环芳烃污染水平及特征[D]. 重庆:重庆大学,2012. 17-22.
- [2] Hu N J, Huang P, Liu J H, *et al.* Characterization and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments in the Yellow River Estuary, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, **71**(2): 873-883.
- [3] Sawulski P, Clipson N, Doyle E, *et al.* Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on microbial community structure and PAH ring hydroxylating dioxygenase gene abundance in soil [J]. *Biodegradation*, 2014, **25**(6): 835-847.
- [4] 李恭臣, 夏星辉, 王然, 等. 黄河中下游水体中多环芳烃的分布与来源[J]. *环境科学*, 2006, **27**(9): 1738-1743.
- [5] Zhou J, Cai Z H, Xing K Z. Potential mechanisms of phthalate ester embryotoxicity in the abalone *Haliotis diversicolor supertexta* [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(5): 1114-1122.
- [6] 李伟, 赵晶, 余健, 等. 模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(3): 943-949.
- [7] 申艳艳, 许茜, 殷雪琰, 等. 玄武湖中邻苯二甲酸酯的测定及分布特征[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2010, **40**(6): 1337-1341.
- [8] 李雅婷. 低密度聚乙烯被动采样装置对水和沉积物中自由溶解态多环芳烃的测定[D]. 长春:吉林大学,2012. 12-15.
- [9] Haitzer M, Hoss S, Traunspurger W, *et al.* Effects of dissolved organic matter (DOM) on the bioconcentration of organic chemicals in aquatic organisms—a review [J]. *Chemosphere*, 1998, **37**(7): 1335-1362.
- [10] Akkanen J, Kukkonen J V K. Measuring the bioavailability of two hydrophobic organic compounds in the presence of dissolved organic matter [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, **22**(3): 518-524.
- [11] Hassett J P, Anderson M A. Effects of dissolved organic matter on adsorption of hydrophobic organic compounds by river- and sewage-borne particles [J]. *Water Research*, 1982, **16**(5): 681-686.
- [12] Ke R H, Luo J P, Sun L W, *et al.* Predicting bioavailability and accumulation of organochlorine pesticides by Japanese medaka in the presence of humic acid and natural organic matter using passive sampling membranes [J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, **41**(19): 6698-6703.
- [13] Lyman W J, Reehl W F, Rosenblatt D H. Handbook of chemical property estimation methods: Environmental behaviour of organic compounds [M]. Washington DC: An American Chemical Society Publication, 1990. 400.
- [14] 冯伟昊, 鲍恋君, 曾永平. 甲醇对多氯联苯在低密度聚乙烯膜上解吸动力学的影响[J]. *环境化学*, 2014, **33**(1): 108-114.
- [15] Fernandez L A, Harvey C F, Gschwend P M. Using performance reference compounds in polyethylene passive samplers to deduce sediment porewater concentrations for numerous target chemicals [J]. *Environmental Science and Technology*, 2009, **43**(23): 8888-8894.
- [16] Lohmann R. Critical review of low-density polyethylene's partitioning and diffusion coefficients for trace organic contaminants and implications for its use as a passive sampler [J]. *Environmental Science and Technology*, 2012, **46**(2): 606-618.
- [17] Bao L J, Xu S P, Liang Y, *et al.* Development of a low-density polyethylene-containing passive sampler for measuring dissolved hydrophobic organic compounds in open waters [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2012, **31**(5): 1012-1018.
- [18] Smedes F, Geertsma R W, van der Zande T, *et al.* Polymer-water partition coefficients of hydrophobic compounds for passive sampling: Application of cosolvent models for validation [J]. *Environmental Science and Technology*, 2009, **43**(18): 7047-7054.
- [19] 郑磊, 张依章, 张远, 等. 太子河流域莠去津的空间分布及风险评价[J]. *环境科学*, 2014, **35**(4): 1263-1270.
- [20] 罗倩. 辽宁太子河流域非点源污染模拟研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2013. 28-34.
- [21] Wan J, Bu H H, Zhang Y, *et al.* Classification of rivers based on water quality assessment using factor analysis in Taizi River basin, northeast China [J]. *Environment Earth Sciences*, 2013, **69**(3): 909-919.
- [22] 冯承莲, 雷炳莉, 王子健. 中国主要河流中多环芳烃生态风险的初步评价[J]. *中国环境科学*, 2009, **29**(6): 583-588.
- [23] Smith S L, MacDonald D D, Keenleyside K A, *et al.* A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 1996, **22**(3): 624-638.
- [24] 沈登辉. 巢湖水体中多环芳烃类化合物(PAHs)污染调查和生态风险评价[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2014. 35.
- [25] MacDonald D D, Ingersoll C G, Berger T A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, **39**(1): 20-31.

CONTENTS

Characterizing Beijing's Airborne Bacterial Communities in PM _{2.5} and PM ₁₀ Samples During Haze Pollution Episodes Using 16S rRNA Gene Analysis Method	WANG Bu-ying, LANG Ji-dong, ZHANG Li-na, <i>et al.</i> (2727)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Dustfall Trace Elements During Winter in Beijing	XIONG Qiu-lin, ZHAO Wen-ji, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (2735)
Pollution Characteristics of Aldehydes and Ketones Compounds in the Exhaust of Beijing Typical Restaurants	CHENG Jing-chen, CUI Tong, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (2743)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Beijing Based on Actual Traffic Flow Information	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2750)
Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Visibility in Summer in Pearl River Delta, China	YANG Yi-hong, QU Qun, LIU Sui-xin, <i>et al.</i> (2758)
Health Risk Assessment of Tunnel Workers Based on the Investigation and Analysis of Occupational Exposure to PM ₁₀	XIANG Hua-li, YANG Jun, QIU Zhen-zhen, <i>et al.</i> (2768)
Analysis on Emission Inventory and Temporal-Spatial Characteristics of Pollutants from Key Coal-Fired Stationary Sources in Jiangsu Province by On-Line Monitoring Data	ZHANG Ying-jie, KONG Shao-fei, TANG Li-li, <i>et al.</i> (2775)
Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions of Precipitation and Its Water Vapor Sources in Eastern Qaidam Basin	ZHU Jian-jia, CHEN Hui, GONG Guo-li (2784)
Distribution Characteristics of Sedimentary Pigments in the Changjiang Estuary and Zhe-Min Coast and Its Implications	LI Dong, YAO Peng, ZHAO Bin, <i>et al.</i> (2791)
Nutrients Input Characteristics of the Yangtze River and Wanguyu River During the "Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River"	PAN Xiao-xue, MA Ying-qun, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (2800)
Pollution Characteristics of Surface Runoff of Typical Town in Chongqing City	WANG Long-tao, DUAN Bing-zheng, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (2809)
Effect of Water and Sediment Regulation on the Transport of Particulate Organic Carbon in the Lower Yellow River	ZHANG Ting-ting, YAO Peng, WANG Jin-peng, <i>et al.</i> (2817)
Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau	YAN Fang-ping, KANG Shi-chang, CHEN Peng-fei, <i>et al.</i> (2827)
Variations of Inorganic Carbon and Its Impact Factors in Surface-Layer Waters in a Groundwater-Fed Reservoir in Karst Area, SW China	LI Jian-hong, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2833)
Modeling the Influencing Factors of Karstification and Karst Carbon Cycle in Laboratory	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, DUAN Yi-fan (2843)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of HCHs and DDTs in Surface Water Bodies in Xinxiang	FENG Jing-lan, YU Hao, LIU Shu-hui, <i>et al.</i> (2849)
Comparison Study of the Alkanes in Different Aquifer Medium Under Qingmuguan Underground System	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (2857)
Spatial Distribution Characteristics of Different Species Mercury in Water Body of Changshou Lake in Three Gorges Reservoir Region	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2863)
Influence of Marine Aquaculture Around Coal Power Plant on Mercury Species Change in Aquatic Ecological Environment	LIANG Peng, WANG Yuan-na, YOU Qiong-zhi, <i>et al.</i> (2870)
Using $\delta^{34}\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ to Trace the Sources of Sulfur and Nitrate in Lihu Lake Underground Water, Guangxi, China	LI Rui, XIAO Qiong, LIU Wen, <i>et al.</i> (2877)
Ecological Effects of Algae Blooms Cluster; The Impact on Chlorophyll and Photosynthesis of the Water Hyacinth	LIU Guo-feng, HE Jun, YANG Yi-zhong, <i>et al.</i> (2887)
Influence of Natural Dissolved Organic Matter on the Passive Sampling Technique and Its Application	YU Shang-yun, ZHOU Yan-mei (2895)
Adhesion Force Analysis of Protein Fouling of PVDF Ultrafiltration Membrane Using Atomic Force Microscope	WANG Xu-dong, ZHOU Miao, MENG Xiao-rong, <i>et al.</i> (2900)
Influence of CNTs on Photodegradation of Salbutamol in Water Environment	WANG Qi, HAN Jia-ru, WEI Bo-fan, <i>et al.</i> (2906)
Preparation of $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ and Catalytic Degradation of Oxytetracycline Under Solar Light Irradiation	AI Cui-ling, ZHOU Dan-dan, ZHANG Rong-rong, <i>et al.</i> (2911)
Nitrogen Release Performance of Sediments in Drainage Pipeline	CHEN Hong, ZHUO Qiong-fang, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (2918)
Analysis of Precipitation Formation in Biofilm CANON Reactor and Its Effect on Nitrogen Removal	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (2926)
Optimization of Energy Saving Measures with ABR-MBR Integrated Process	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2934)
Abundance and Community Composition of Ammonia-Oxidizing Archaea in Two Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Systems	GAO Jing-feng, LI Ting, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (2939)
Formation Mechanism of Aerobic Granular Sludge and Removal Efficiencies in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2947)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Soil of Pearl River Delta Economic Zone	DOU Lei, YANG Guo-yi (2954)
Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil in Du'an Autonomous County of Guangxi Zhuang Autonomous Region, China	WU Yang, YANG Jun, ZHOU Xiao-yong, <i>et al.</i> (2964)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Its Health Risk of Surface Dusts from Parks of Kaifeng, China	DUAN Hai-jing, CAI Xiao-qiang, RUAN Xin-ling, <i>et al.</i> (2972)
Responses of Soil and Plant ^{15}N Natural Abundance to Long-term N Addition in an N-Saturated <i>Pinus massoniana</i> Forest in Southwest China	LIU Wen-jing, KANG Rong-hua, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (2981)
Latitudinal Changes in Plant Stoichiometric and Soil C, N, P Stoichiometry in Loess Plateau	LI Ting, DENG Qiang, YUAN Zhi-You, <i>et al.</i> (2988)
Open-top Chamber for <i>in situ</i> Research on Response of Mercury Enrichment in Rice to the Rising Gaseous Elemental Mercury in the Atmosphere	CHEN Jian, WANG Zhang-wei, ZHANG Xiao-shan, <i>et al.</i> (2997)
Influence of Uranium in <i>Pteris vittata</i> L. Inoculated by Arbuscular Mycorrhizal Fungus	ZHENG Wen-jun, WANG Ming-yuan (3004)
Impact on the Microbial Biomass and Metabolic Function of Carbon Source by Black Soil During Rice Cultivation	ZHAO Zhi-rui, CUI Bing-jian, HOU Yan-lin, <i>et al.</i> (3011)
Effect of Decomposing Products of Immobilized Carriers on Desorption of Pyrene in Contaminated Soil	TONG Dong-li, SHUANG Sheng-qing, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3018)
Solidification/Stabilization of Chromite Ore Processing Residue (COPR) Using Zero-Valent Iron and Lime-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag	CHEN Zhong-lin, LI Jin-chunzi, WANG Bin-yuan, <i>et al.</i> (3026)
Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Ferric Ion Modified Attapulgite (Fe/ATP): Characterizations and Stabilization Mechanism	YANG Rong, LI Hong-bo, ZHOU Yong-li, <i>et al.</i> (3032)
Improving Agricultural Safety of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by In Situ Bioremediation	JIAO Hai-hua, PAN Jian-gang, XU Sheng-jun, <i>et al.</i> (3038)
Competence of Cd Phytoremediation in Cd-OCDF Co-contaminated Soil Using <i>Mirabilis jalapa</i> L.	ZHANG Xing-li, ZOU Wei, ZHOU Qi-xing (3045)
Effects of Soil Moisture on Phytoremediation of As-Contaminated Soils Using As-Hyperaccumulator <i>Pteris vittata</i> L.	LIU Qiu-xin, YAN Xiu-lan, LIAO Xiao-yun, <i>et al.</i> (3056)
Effects of Phosphate Rock and Decomposed Rice Straw Application on Lead Immobilization in a Contaminated Soil	TANG Fan, HU Hong-qing, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3062)
Residue and Degradation of Roxarsone in the System of Soil-Vegetable	SHAO Ting, YAO Chun-xia, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (3068)
Acute Toxicity and Safety Assessment of Three Typical Organic Pollutants to Two Aquatic Organisms	YANG Yang, LI Ya-jie, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (3074)
Effects of Oil Pollutants on the Performance of Marine Benthonic Microbial Fuel Cells and Its Acceleration of Degradation	MENG Yao, FU Yu-bin, LIANG Sheng-kang, <i>et al.</i> (3080)
Microwave In-situ Regeneration of Cu-Mn-Ce/ZSM Catalyst Adsorbed Toluene and Distribution of Bed Temperature	HU Xue-jiao, BO Long-li, LIANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3086)
Impact of Thermal Treatment on Biogas Production by Anaerobic Digestion of High-solid-content Swine Manure	HU Yu-ying, WU Jing, WANG Shi-feng, <i>et al.</i> (3094)
Impact of Phosphogypsum Wastes on the Wheat Growth and CO ₂ Emissions and Evaluation of Economic-environmental Benefit	LI Ji, WU Hong-sheng, GAO Zhi-qiu, <i>et al.</i> (3099)
Status Quo, Uncertainties and Trends Analysis of Environmental Risk Assessment for PFASs	HAO Xue-wen, LI Li, WANG Jie, <i>et al.</i> (3106)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年8月15日 第36卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 8 Aug. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行