

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2019

Vol.40 No.4

第40卷 第4期

目次

南京江北新区大气单颗粒来源解析及混合状态	于兴娜, 时政, 马佳, 李梅, 龚克坚 (1521)
西安市 PM _{2.5} 中碳质气溶胶污染特征	牟臻, 陈庆彩, 王羽琴, 沈振兴, 华晓羽, 张梓萌, 孙浩堯, 王玛敏, 张立欣 (1529)
太原市冬季 PM _{2.5} 化学组分特征与来源解析	刘素, 马彤, 杨艳, 高健, 彭林, 曹力媛, 逢妮妮, 张浩杰 (1537)
郑州市大气细颗粒物中水溶性离子季节性变化特征及其源解析	闫广轩, 张靖雯, 雷豪杰, 黄海燕, 唐明双, 曹治国, 李云蓓, 樊静, 王跃思, 李怀刚 (1545)
珠海市郊区大气 PM _{2.5} 中元素特征及重金属健康风险评价	杨毅红, 贾燕, 卞国建, 于晓巍, 钟昌琴, 全鼎余 (1553)
一次沙尘事件对沿海及海洋大气气溶胶中金属粒径分布的影响	金同俊, 祁建华, 郝梓延, 林学辉 (1562)
基于 SOA 转化机制的沧州市重点企业秋冬季大气污染模拟	高爽, 伯鑫, 马岩, 雷团团, 王刚, 李时蓓, 陆朝阳, 毛娜, 郝明亮, 黄向峰 (1575)
京津冀大气污染变化规律及其与植被指数相关性分析	孙爽, 李令军, 赵文吉, 齐梦溪, 田欣, 李珊珊 (1585)
2015~2017年北京及近周边平房燃煤散烧及其污染排放遥感测算	赵文慧, 李令军, 鹿海峰, 姜磊, 张立坤, 王新辉, 邱昀 (1594)
基于地基遥感的杭州地区气溶胶光学特性	齐冰, 车慧正, 徐婷婷, 杜荣光, 胡德云, 梁卓然, 马千里, 姚杰 (1604)
四川省人为源挥发性有机物组分清单及其臭氧生成潜势	周子航, 邓也, 谭钦文, 吴柯颖, 宋丹林, 黄凤霞, 周小玲 (1613)
餐饮源挥发性有机物组成及排放特征	高雅琴, 王红丽, 许睿哲, 景盛翱, 刘跃辉, 彭亚荣 (1627)
广州番禺大气成分站一次典型光化学污染过程 PAN 和 O ₃ 分析	邹宇, 邓雪娇, 李菲, 殷长泰 (1634)
北京市典型道路扬尘化学组分特征及年际变化	胡月琪, 李萌, 颜旭, 张超 (1645)
南昌市扬尘 PM _{2.5} 中多环芳烃的来源解析及健康风险评价	于瑞莲, 郑权, 刘贤荣, 王珊珊, 赵莉斯, 胡恭任 (1656)
道路扬尘排放因子建立方法与应用	樊守彬, 杨涛, 王凯, 李雪峰 (1664)
现实工况下挖掘机电尾气排放特征分析	马帅, 张凯山, 王帆, 庞凯莉, 朱怡静, 李臻, 毛红梅, 胡宝梅, 杨锦锦, 王斌 (1670)
雾-霾天人体平均呼吸高度处不同粒径气溶胶的微生物特性	杨唐, 韩云平, 李琳, 刘俊新 (1680)
霾天能见度参数化方案改进及预报效果评估	赵秀娟, 李梓铭, 徐敬 (1688)
支持向量机回归在臭氧预报中的应用	苏筱倩, 安俊琳, 张玉欣, 梁静舒, 刘静达, 王鑫 (1697)
基于中国电网结构及一线典型城市车辆出行特征的 PHEV 二氧化碳排放分析	郝旭, 王贺武, 李伟峰, 欧阳明高 (1705)
岩溶槽谷区地下河硝酸盐来源及其环境效应: 以重庆龙凤槽谷地下河系统为例	段世辉, 蒋勇军, 张远瞩, 曾泽, 王正雄, 吴韦, 彭学义, 刘九缠 (1715)
胶州湾表层水体中邻苯二甲酸酯的污染特征和生态风险	刘成, 孙翠竹, 张智, 唐燎, 邹亚丹, 徐擎擎, 李锋民 (1726)
湛江湾沉积物中六六六 (HCHs)、滴滴涕 (DDTs) 有机氯农药的分布特征与风险评估	彭诗云, 彭平安, 孔德明, 陈法锦, 于赤灵, 李嘉诚, 梁宇钊, 宋建中 (1734)
生态净化系统中 DOM 光学特性及影响因素分析: 以盐龙湖春季为例	马睿, 李璇, 王莲, 王家新, 马卫星, 丁成, 吴向阳 (1742)
溶解性有机物 (DOM) 与区域土地利用的关系: 基于三维荧光-平行因子分析 (EEM-PARAFAC)	李昀, 魏鸿杰, 王侃, 张招招, 于旭彪 (1751)
汉丰湖流域农业面源污染氮磷排放特征分析	谢经朝, 赵秀兰, 何丙辉, 李章安 (1760)
基于 RZWQM 模型模拟太行山低山丘陵区农田土壤硝态氮迁移及淋溶规律	郑文波, 王仕琴, 刘丙霞, 雷玉平, 曹建生 (1770)
澜沧江流域梯级水库建设下水体营养盐和叶绿素 a 的空间分布特征	程豹, 望雪, 马金川, 杨正健, 刘德富, 马骏 (1779)
福州地区海湾和河口潮汐沼泽湿地秋季上覆水营养盐分布特征	何露露, 杨平, 谭立山, 仝川, 黄佳芳 (1788)
尾水受纳河流中 PhACs 在传统水相中的分布及环境风险	王硕, 刘建超, 郑超亚, 张吉琛, 许嘉诚, 徐莹莹, 陆光华 (1797)
绿色屋顶雨洪调控能力与效益评价	李俊生, 尹海伟, 孔繁花, 陈佳宇, 邓金玲 (1803)
超声活化过硫酸盐降解水中典型臭味	孙昕, 孙杰, 李鹏飞, 汤加刚, 杨晴, 唐晓 (1811)
金属有机框架 MIL-53 (Fe) 可见光催化还原水中 U (VI)	闫增元, 习海玲, 袁立永 (1819)
覆盖材料对洱海不同湖区沉积物溶解态有机磷和无机磷释放影响及差异	龚佳健, 倪兆奎, 肖尚斌, 赵海超, 席银, 王圣瑞 (1826)
氢氧化铜改性介孔稻壳生物炭除磷性能	许润, 石程好, 唐倩, 石稳民, 康建雄, 任拥政 (1834)
改性污泥基生物炭的性质与重金属吸附效果	陈坦, 周泽宇, 孟瑞红, 王洪廷, 陆文静, 金军, 刘颖 (1842)
纳米磁性磷酸二氢钙对 Cd 的吸附、回收与再生	李玉娇, 杨志敏, 陈玉成, 黄磊, 唐海燕 (1849)
赤铁矿抑制硫酸盐废水厌氧消化产甲烷过程中硫化氢形成与机制	黄绍福, 叶捷, 周顺桂 (1857)
微藻膜反应器处理海水养殖废水性能及膜污染特性	马航, 李之鹏, 柳峰, 徐仲, 尤宏, 王芳, 陈其伟 (1865)
生活污水预沉淀-SNAD 颗粒污泥工艺小试	李冬, 崔雅倩, 赵世勋, 刘志诚, 张杰 (1871)
生活污水与人工配水对好氧颗粒污泥系统的影响	李冬, 王樱桥, 李帅, 张杰, 王玉刚 (1878)
硫磺/硫铁矿自养反硝化系统脱氮性能	周娅, 买文宁, 梁家伟, 代吉华, 牛颖, 李伟利, 唐启 (1885)
异养硝化细菌 <i>Pseudomonas putida</i> YH 的脱氮特性及降解动力学	汪旭晖, 杨垒, 任勇翔, 陈宁, 肖倩, 崔坤, 鄯丹 (1892)
污泥龄及 pH 值对反硝化除磷工艺效能的影响	韦佳敏, 黄慧敏, 程诚, 蒋志云, 刘文如, 沈耀良 (1900)
盐度条件下 ANAMMOX-EGSB 反应器颗粒污泥微生物群落	王晗, 李瀚翔, 陈猷鹏, 郭劲松, 晏鹏, 方芳 (1906)
内源碳 PHA 的贮存对混合菌耐低温特性的影响	杨建鹏, 张健, 田晴, 朱艳彬, 李方, Wolfgang Sand (1914)
中国市政污泥中磷的含量与形态分布	王超, 刘清伟, 耿音, 程柳, 王宁, 李彩丹, 毛宇翔 (1922)
广州市售水产品中全氟烷基化合物的污染特征和安全风险评价	王旭峰, 王强, 黎智广, 黄珂, 李刘冬, 赵东豪 (1931)
长江上游典型农业源溪流溶存氧化亚氮 (N ₂ O) 浓度特征及影响因素	田琳琳, 王正, 胡磊, 任光前, 朱波 (1939)
内蒙古河套灌区不同盐碱程度土壤 CH ₄ 吸收规律	杨文柱, 焦燕, 杨铭德, 温慧洋 (1950)
水稻光合碳在植株-土壤系统中分配与稳定对施磷的响应	王莹莹, 肖谋良, 张昀, 袁红朝, 祝贞科, 葛体达, 吴金水, 张广才, 高晓丹 (1957)
土壤水分和温度对西南喀斯特棕色石灰土无机碳释放的影响	徐学池, 黄媛, 何寻阳, 王桂红, 苏以荣 (1965)
黄土丘陵区侵蚀坡面土壤微生物量碳时空动态及影响因素	覃乾, 朱世硕, 夏彬, 赵允格, 许明祥 (1973)
农用地土壤抗生素组成特征与积累规律	孔晨晨, 张世文, 聂超甲, 胡青青 (1981)
生物发酵制药 VOCs 与臭味治理技术研究与进展	王东升, 朱新梦, 杨晓芳, 焦茹媛, 赵珊, 宋荣娜, 吕明哈, 杨敏 (1990)
《环境科学》征订启事 (1612)	《环境科学》征稿简则 (1787)
信息 (1663, 1796, 1833)	

胶州湾表层水体中邻苯二甲酸酯的污染特征和生态风险

刘成, 孙翠竹, 张弢, 唐燎, 邹亚丹, 徐擎擎, 李锋民*

(中国海洋大学环境科学与工程学院, 近海环境污染控制研究所, 海洋环境与生态教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要:以胶州湾为研究区域, 选取15种常用邻苯二甲酸酯(phthalate esters, PAEs)作为检测目标, 采用搅拌棒吸附萃取-气相色谱质谱联用的方法, 于2015年8月和11月以及2016年1月对胶州湾开展3次大面积调查, 检测分析了胶州湾表层水体中PAEs的含量、组成、空间分布和季节变化, 同时对胶州湾水体中PAEs进行了风险评价。结果表明:①2015年8月和11月、2016年1月胶州湾表层海水中PAEs的总浓度范围分别为3.63~21.20、2.24~12.60和0.01~4.15 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均浓度分别为11.10、5.26和0.80 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。②受入海径流和洋流影响, 胶州湾表层水体中PAEs浓度表现出近岸高, 远岸低, 且总体东岸浓度高于西岸。与国内外其他研究相比, 胶州湾表层水体中PAEs含量处于中等水平, 但在海洋中属于污染较严重的海域。③3个季节PAEs浓度分布差异较大, 受降雨量等因素影响整体呈现夏季>秋季>冬季的趋势, 3个季节主要检出种类均为DBP、BBP和DEHP。④生态风险评估结果表明, 胶州湾各站位DBP的风险商值(RQ)均大于1, 即生态风险较大, 其他PAEs(RQ<1)风险较小。PAEs已成为胶州湾中一类具有潜在威胁的有机污染物, 其在环境中的行为和生态危害仍需进一步研究。

关键词:胶州湾; 邻苯二甲酸酯(PAEs); 空间分布; 季节变化; 生态风险评价

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)04-1726-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201808217

Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Phthalate Esters (PAEs) in the Surface Water of Jiaozhou Bay

LIU Cheng, SUN Cui-zhu, ZHANG Ge, TANG Liao, ZOU Ya-dan, XU Qing-qing, LI Feng-min*

(Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ministry of Education, Institute of Coastal Environmental Pollution Control, College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: In order to better understand phthalate esters (PAEs) pollution in Jiaozhou Bay, surface water samples were collected for content analysis in August and November 2015 and January 2016. Fifteen kinds of PAEs were detected by stir bar sorptive extraction and gas chromatography-mass spectrometry. The content, composition, spatial distribution, seasonal variation, and ecological risk assessment of the PAEs in the surface waters were examined and analyzed. The results showed that: ① The total concentrations of PAEs in the surface seawater in August and November 2015 and January 2016 were 3.63-21.20 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 2.24-12.60 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, and 0.01-4.15 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively, and the average concentrations were 11.10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 5.26 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, and 0.80 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. ② Influenced by runoff and ocean currents, the concentration of PAEs in the surface water of Jiaozhou Bay is higher near the shore and lower in the middle, and the total concentration of the east coast is higher than that of the west coast. Compared with surveys of other rivers and oceans, the PAEs content in the surface water of Jiaozhou Bay is moderate, but it is heavily polluted compared with other oceans. ③ Considering the rainfall and other factors, the distribution of PAEs in the three seasons followed the order summer > autumn > winter. The main PAEs detected were DBP, BBP, and DEHP. ④ The results of the ecological risk assessment showed that the risk quotient (RQ) of DBP at each station in Jiaozhou Bay was greater than 1; that is, the ecological risk was relatively large, while the risk of the other PAEs (RQ < 1) was small. PAEs have become a potentially threatening organic pollutant in Jiaozhou Bay. Their behavior and the ecological hazards that they present to the environment still require further study.

Key words: Jiaozhou Bay; phthalate esters (PAEs); spatial distribution; seasonal variation; ecological risk assessment

邻苯二甲酸酯(PAEs)是海洋中最常检测到的内分泌干扰物(EDCs)之一, 被广泛添加到玩具, 化妆品, 食品包装和医疗器械等产品中以增强塑料制品的可塑性和强度^[1, 2]。全球每年的PAEs产量从1975年的180万t迅速增加到2011年的800多万t^[3]。中国每年生产的PAEs超过 4.50×10^6 t, 消费量高达 2.20×10^6 t^[4]。由于PAEs与塑料制品(例如聚氯乙烯, 聚丙烯)之间是以范德华力或氢键链接, 因而PAEs易脱离塑料制品释放到周围环境中,

并在大气, 水, 土壤中广泛存在^[1]。目前在世界各海域中均检测出不同浓度的PAEs^[3, 5, 6]。作为一种环境激素, PAEs对水生生物具有致癌、致畸、致突变效应, 并能通过食物链传递对人类的健康造成威

收稿日期: 2018-08-27; 修订日期: 2018-11-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51378480, U1606404); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2015CB453301)

作者简介: 刘成(1991~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为海洋生态学, E-mail: 1327091051@qq.com

* 通信作者, E-mail: lifengmin@ouc.edu.cn

肪^[1,3]. 因此, 美国环保局 (US EPA) 已将 6 种 PAEs 列入 129 种优先控制的污染物名单中, 包括邻苯二甲酸二甲酯 (DMP)、邻苯二甲酸二乙酯 (DEP)、邻苯二甲酸二正丁酯 (DBP)、邻苯二甲酸二正辛酯 (DNOP)、邻苯二甲酸丁苄酯 (BBP) 和邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯 (DEHP). 同时, 我国也将 DMP、DBP 和 DNOP 列为优先控制污染物. PAEs 污染的广泛性、严重性已经引发了国内外研究学者和管理者的广泛关注.

胶州湾是位于青岛的一个半封闭性的浅水海湾, 与海泊河、李村河和大沽河等多条河流相连^[7], 湾内水体自净能力较差. 山东半岛蓝色经济区的快速发展, 使环胶州湾地区的工农业生产、港口运营、水产养殖、城市旅游和居民生活等过程中产生的生活污水更多地随入海河流进入胶州湾, 使胶州湾成为城市污水的排放沟渠, 对胶州湾产生了严重的环境压力. 目前已有许多研究对胶州湾内的重金属^[7]、多环芳烃^[8,9]、多溴联苯醚^[10]、壬基酚^[11]等的污染现状进行了调查, 但对于胶州湾表层水体中 PAEs 的污染现状和分布特征却鲜见报道. 如张道来等^[12]仅研究了青岛近岸表层沉积物中 PAEs 的分布特征, 发现数个样品中 PAEs 污染严重且未对水体中 PAEs 的浓度情况进行检测, 缺乏对胶州湾整个海区水环境中 PAEs 的分布特征及季节差异的研究, 因此本研究以 2015 年 8 月、2015 年 11 月和 2016 年 1 月采集的胶州湾 21 个站点内表层水体样品为研究对象, 重点分析了 PAEs 的含量组成、空间分布、季节变化和生态风险, 以期对胶州湾水环境保护提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 胶州湾表层水体采样点空间分布

为了解胶州湾表层水体中 PAEs 浓度分布的空间特征和季节变化, 本研究分 3 个航次分别于 2015 年 8 月 (夏季, 共计 19 个站位)、2015 年 11 月 (秋季, 共计 14 个站位) 和 2016 年 1 月 (冬季, 共计 14 个站位) 对胶州湾表层水体进行采样, 各采样点的经纬度与其他信息如图 1.

水样采集方法: 用 5 L 的不锈钢桶经润洗后采集表层水样 (水深 0 ~ 1 m 之间), 装入润洗后的 1 L 的玻璃烧杯中. 用孔径 0.7 μm , 直径 47 mm 的 GF/F 玻璃纤维膜 (450 $^{\circ}\text{C}$, 灼烧 5 h) 过滤, 去除水中的颗粒物, 取 250 mL 抽滤后的水样装入棕色玻璃样品瓶中, 加入 0.5 mL 50 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的叠氮化钠固定, 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱内避光保存. 记录采样时间、采样地点、样品站位号与编号.

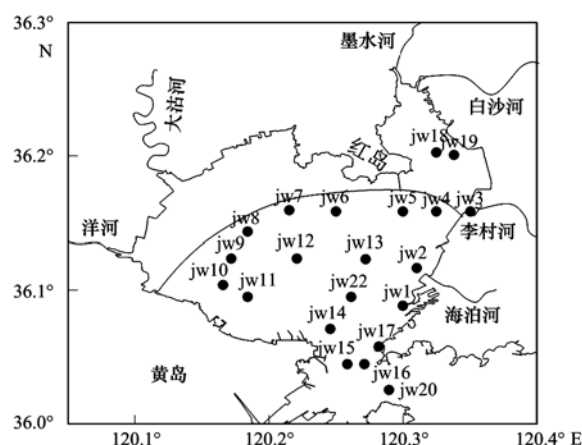


图 1 胶州湾海域采样站位示意

Fig. 1 Sampling stations of Jiaozhou Bay

1.2 供试试剂与仪器

(1) 标准品 15 种 PAEs 的混合标准品 (DMP、DEP、DIBP、DBP、DMEP、DMPP、DEEP、DPP、DHXP、BBP、DBEP、DCHP、DEHP、DPhP 和 DNOP) 和内标物苯甲酸苄酯 (benzyl benzoate, BBZ) 浓度均为 1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 纯度 99.5%, 均购自德国 Dr. Ehrenstorfer.

(2) 实验试剂 甲醇 (德国 Merck 公司), 乙腈 (天津科密欧公司), 正己烷 (意大利 Sigma 公司), 二氯甲烷 (天津科密欧公司); 氯化钠 (NaCl), 购自国药集团化学试剂有限公司.

(3) 主要仪器 安捷伦 7890-5975C 气相色谱质谱联用仪 (美国, 安捷伦), HB-5MS 毛细管柱色谱柱 (30 m $\times$ 0.25 μm $\times$ 0.25 μm), 多点加热磁力搅拌器 (德国, IKA), 超声波清洗器 KQ-3200B (昆山), 微量进样器 (上海高鸽), 吸附磁力搅拌棒, 聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 涂层厚度 1 mm, 长度 10 mm.

1.3 胶州湾表层海水中 PAEs 检测方法^[13]

量取 100 mL 超纯水, 加入 10 mL 的甲醇和 100 μL 内标 BBZ 使水样中内标物的浓度为 1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. 混匀后, 移取 30 mL 水样于 30 mL 的玻璃瓶中, 加入 0.57 g NaCl (调节样品海水盐度至 5%), 加入吸附萃取搅拌棒, 立即拧紧盖子, 每组样品 3 个平行. 在室温条件下, 以 360 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的转速进行搅拌萃取, 萃取时间 2 h. 萃取完成后, 用镊子夹出搅拌棒放入内插管中, 加入 200 μL 甲醇和 50 μL 乙腈作解析溶剂, 在超声条件下进行解析 50 min, 解析溶液供 GC-MS 分析. 将萃取搅拌棒置于色谱进样瓶中, 加满甲醇超声清洗, 单次超声 30 min 后更换新的甲醇, 重复 3 次, 以备下次使用.

1.4 色谱条件

本实验测定 PAEs 采用 GC-MS 进行分析, 色

谱柱类型为 DB-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)毛细管柱,色谱条件是:进样口温度 300℃;柱箱起始温度 70℃,保持 2 min;以 25℃·min⁻¹升至 150℃;以 3℃·min⁻¹升至 170℃;以 30℃·min⁻¹升至 185℃;以 3℃·min⁻¹升至 195℃;以 60℃·min⁻¹升至 225℃;以 8℃·min⁻¹升至 228℃,保持 10 min. 氦气作为运载气体,流速为 1 mL·min⁻¹. 传输线温度为 280℃,离子源温度为 230℃. 选择离子扫描(SIM)模式,不分流进样 1 μL,溶剂延迟 6 min.

1.5 质量控制与质量保证

实验过程中全部使用玻璃或不锈钢金属器材,所有玻璃器皿需先 20% 硫酸酸缸中浸泡 24 h,冲洗烘干后,450℃于马弗炉中灼烧 5 h. 玻璃纤维膜和铝箔使用前均 450℃于马弗炉中灼烧 5 h,贮存在不锈钢铁盒中,每组样品均设 3 个平行样. 水体中 15 种 PAEs 检出限为 0.25 ng·L⁻¹(DBP)~489 ng·L⁻¹

(DMEP),回收率为 80%~113%.

1.6 数据分析

采用软件 Excel 2010、Spss Statistics 19.0、Surfer 2012 和 Origin 9.1 对实验数据进行处理及分析.

2 结果与讨论

2.1 胶州湾表层水体中 PAEs 的含量、组成

3 个航次各站点检出的 13 种 PAEs 浓度的分析结果如表 1. 2015 年 8 月胶州湾所有站点的水样中检出 12 种 PAEs,其总浓度为 3.63~21.20 μg·L⁻¹,平均值为 11.10 μg·L⁻¹. 2015 年 11 月共检出 8 种 PAEs,总浓度为 2.24~12.60 μg·L⁻¹,平均值为 5.26 μg·L⁻¹. 2016 年 1 月胶州湾共检出 8 种 PAEs,总浓度为 0.01~4.15 μg·L⁻¹,平均值为 0.80 μg·L⁻¹. 其中 DBP、BBP 和 DEHP 的检出率在 3 个航次中均达到 100%.

表 1 胶州湾表层海水中 13 种 PAEs 的浓度分布¹⁾/μg·L⁻¹

Table 1 Concentration of the 13 PAEs in the surface water in Jiaozhou Bay/μg·L⁻¹

项目	2015-08		2015-11		2016-01	
	浓度范围	平均值	浓度范围	平均值	浓度范围	平均值
DMP	n. d. ~8.34	0.97±2.07	n. d.	n. d.	n. d. ~1.56	0.36±0.47
DEP	n. d. ~14.80	2.46±4.99	n. d.	n. d.	n. d. ~0.18	0.08±0.08
DIBP	n. d. ~1.81	0.35±0.52	n. d. ~0.71	0.24±0.22	n. d. ~0.81	0.19±0.22
DBP	0.04~11.20	2.67±2.31	0.65~1.38	0.98±0.22	0.01~0.09	0.03±0.03
BBP	1.11~5.69	2.24±1.24	1.09~1.10	1.09±0.00	0.28~0.09	0.01±0.02
DMPP	n. d. ~1.16	0.37±0.55	n. d. ~1.87	1.28±0.36	0.00~0.02	0.01±0.01
DPP	n. d. ~1.01	0.42±0.50	n. d.	n. d.	n. d. ~0.01	0.00±0.00
DHXP	n. d. ~1.14	0.54±0.31	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
DEHP	0.44~1.06	0.61±0.18	0.22~0.33	0.28±0.04	0.00~1.58	0.35±0.45
DEEP	n. d. ~1.69	0.18±0.53	n. d. ~2.16	1.42±0.49	n. d.	n. d.
DNOP	n. d.	n. d.	n. d. ~2.41	1.16±1.17	n. d.	n. d.
DBEP	n. d. ~1.22	0.06±0.28	n. d. ~3.38	2.83±0.32	n. d.	n. d.
DCHP	n. d. ~1.23	0.32±0.56	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
∑ PAEs	3.63~21.20	11.10±5.44	2.24~12.60	5.26±2.73	0.01~4.15	0.80±1.10

1) n. d. 表示该项未检出,下同

10 种主要 PAEs 浓度分布情况如图 2,分析发现 2015 年 8 月胶州湾中 PAEs 主要由 DBP 和 BBP 贡献,2015 年 11 月 DMPP、DEEP、DBP 和 BBP 是 PAEs 的主要贡献者,2016 年 1 月各类 PAEs 的含量相当,其中 DMP、DBP 和 DEHP 贡献量较大. 其中 DEP 和 DBP 被广泛应用于化妆品中^[1, 2, 14]. DEHP 主要来源于塑料和重化工产业^[15]. 此外, DMP、DEP、DBP 和 DEHP 也是生活垃圾(例如玩具、塑料包装等)中的主要 PAEs^[3]. 可见,胶州湾表层水体中 PAEs 主要来源于塑料和重化工工业,以及生活垃圾. 不同季节 PAEs 组成的差别主要源自 PAEs

自身性质的差异和降雨量的影响. 研究发现由于冬季降水量小,烷基链较长的 DBP、BBP、DEHP,辛醇-水分配系数($\lg K_{ow}$)较大,更易吸附在颗粒物或者死亡藻细胞表面沉降到沉积物中^[3],因而烷基链较短的 DMP 在冬季贡献量偏高.

与已报道的其他河流、湖泊和海洋相比(表 2),胶州湾表层水体中 PAEs 含量处于中等水平,但在海洋中属于污染较严重的海域. 导致胶州湾地区 PAEs 污染严重的原因一是由于胶州湾属于典型的半封闭的富营养化高危型海湾^[16],水交换能力弱,水交换时间为 80 d,而湾顶部及西部部分区域

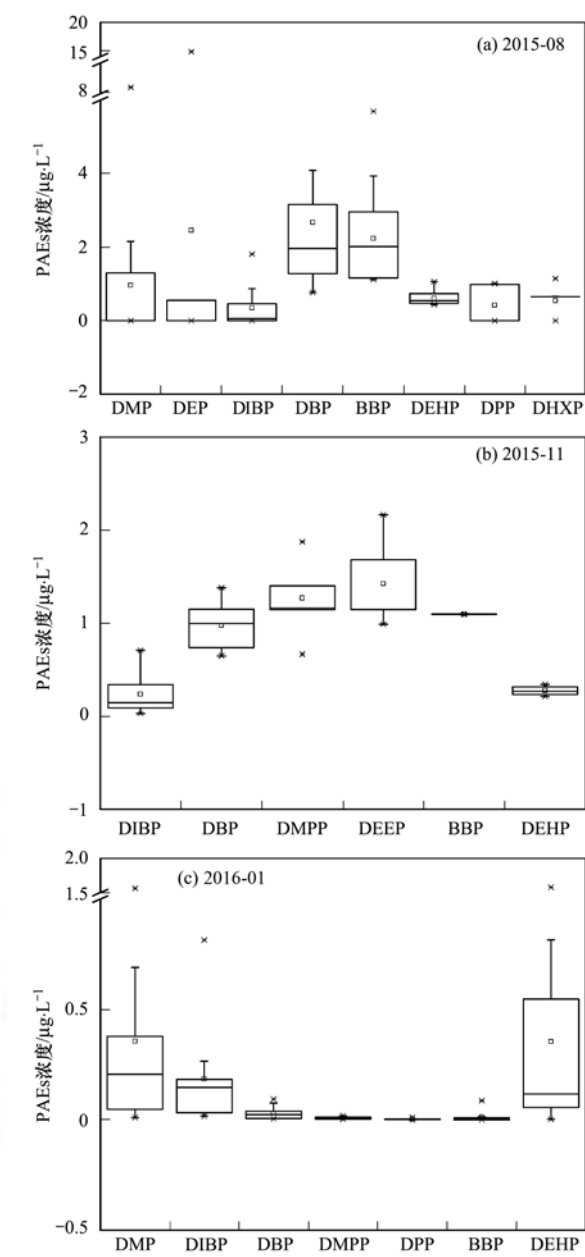


图2 胶州湾主要PAEs箱式分布

Fig. 2 Box plot of the main PAEs in Jiaozhou Bay

水交换时间可达 120 d^[17], 沿岸山东半岛蓝色经济区发展迅速, 众多入海河流携带大量污染物进入胶州湾, 沿岸污水处理厂污水的排放以及海上航运、跨海大桥等污染源连续输入都增加了胶州湾中 PAEs 污染. 此外, 沿岸污水处理厂废水即使均达标排放, 由于很多有机污染物如 PAEs 并没有列入污水处理标准中, 污水处理厂的处理装置对 PAEs 的去除率仅能达到 18%^[18, 19], 进一步加剧了胶州湾中 PAEs 污染.

2.2 胶州湾表层海水中 PAEs 的空间分布特征

胶州湾表层水体中 PAEs 的空间分布如图 3、4 所示. 2015 年 8 月各个站位 PAEs 浓度普遍较高, 其中胶州湾东北部的李村河、娄山河、墨水河和白沙河入海口附近的 jw3、jw4、jw6、jw19 和湾口的 jw15、jw16 和 jw17 站位的 PAEs 总浓度均高于 10 μg·L⁻¹. 2015 年 11 月东北部李村河入海口附近的 jw4 和洋河、大沽河入海口附近的 jw9、jw10 和 jw11 站位的 PAEs 含量均高于 6 μg·L⁻¹, 而 2016 年 1 月除海泊河入海口附近的 jw1 外, 含量均低于 2 μg·L⁻¹.

总体来看, 胶州湾表层水体中 PAEs 的空间分布表现为近岸浓度较高, 中部浓度较低, 且总体东岸浓度高于西岸. 夏季东北部高浓度 PAEs 产生是受胶州湾入海径流输入的影响, 青岛市工业区主要分布在东岸, 且李村河, 海泊河等入海河流基本无自身径流^[7], 携带大量有机污染物进入胶州湾, 另有团岛污水处理厂和海泊河污水处理厂的污水均直接排入胶州湾, 给胶州湾东岸海水带来巨大的环境压力, 此外, 鱼虾贝类的养殖场很多分布在东北部的红岛、李沧附近海域, 加重了该地区的 PAEs 污染^[10]. 夏季湾口处(站位 jw20)浓度也很高, 湾口处是胶州湾与外海交换的关键点, 夏季该地区主要

表2 世界不同水域中邻苯二甲酸酯类浓度比较/μg·L⁻¹

Table 2 Comparison of PAEs concentrations in different basins of the world/μg·L⁻¹

地点	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	文献
Marseille 湾, 法国	0.00 ~ 0.01	0.00 ~ 0.03	0.01 ~ 0.32	0.00 ~ 4.90	0.04 ~ 0.80	[6]
Orge 河, 法国	n. d. ~ 0.09	n. d. ~ 1.43	0.04 ~ 0.20	n. d. ~ 0.14	n. d. ~ 2.08	[20]
Rhone River, 法国	0.01	0.03	0.04	0.01	0.41	[21]
Mediterranean Sea, 法国	0.00	0.01	0.09	0.00	0.10	
Dutch 河, 荷兰	0.00 ~ 0.19	0.07 ~ 2.30	0.07 ~ 3.10	n. d.	0.90 ~ 5.00	[22]
Pretoria, 南非	n. d.	n. d.	0.18 ~ 0.34	n. d.	0.06 ~ 0.24	[23]
Cape Town, 南非	n. d.	n. d.	0.23 ~ 0.63	n. d.	0.06 ~ 3.42	
地中海	0.00 ~ 0.14	0.02 ~ 0.05	n. d.	n. d.	0.03 ~ 0.62	[24]
北京什刹海, 中国	0.05 ~ 0.14	0.01 ~ 0.01	0.01 ~ 0.16	n. d. ~ 0.51	0.14 ~ 0.52	[25]
长江武汉段, 中国	n. d. ~ 0.30	n. d. ~ 0.37	n. d. ~ 35.60	n. d.	0.01 ~ 54.73	[26]
长江重庆段, 中国	0.13 ~ 6.44	0.21 ~ 4.16	0.21 ~ 60.70	n. d.	0.70 ~ 26.30	[27]
台湾, 中国	n. d.	n. d. ~ 2.50	1.00 ~ 13.50	n. d.	1.00 ~ 18.50	[28]
珠江口, 中国	0.04 ~ 0.14	n. d. ~ 0.95	0.06 ~ 2.04	0.79 ~ 5.32	1.08 ~ 8.84	[29]
胶州湾, 中国	n. d. ~ 2.15	n. d. ~ 14.90	0.04 ~ 11.20	1.11 ~ 5.70	0.44 ~ 1.07	本研究

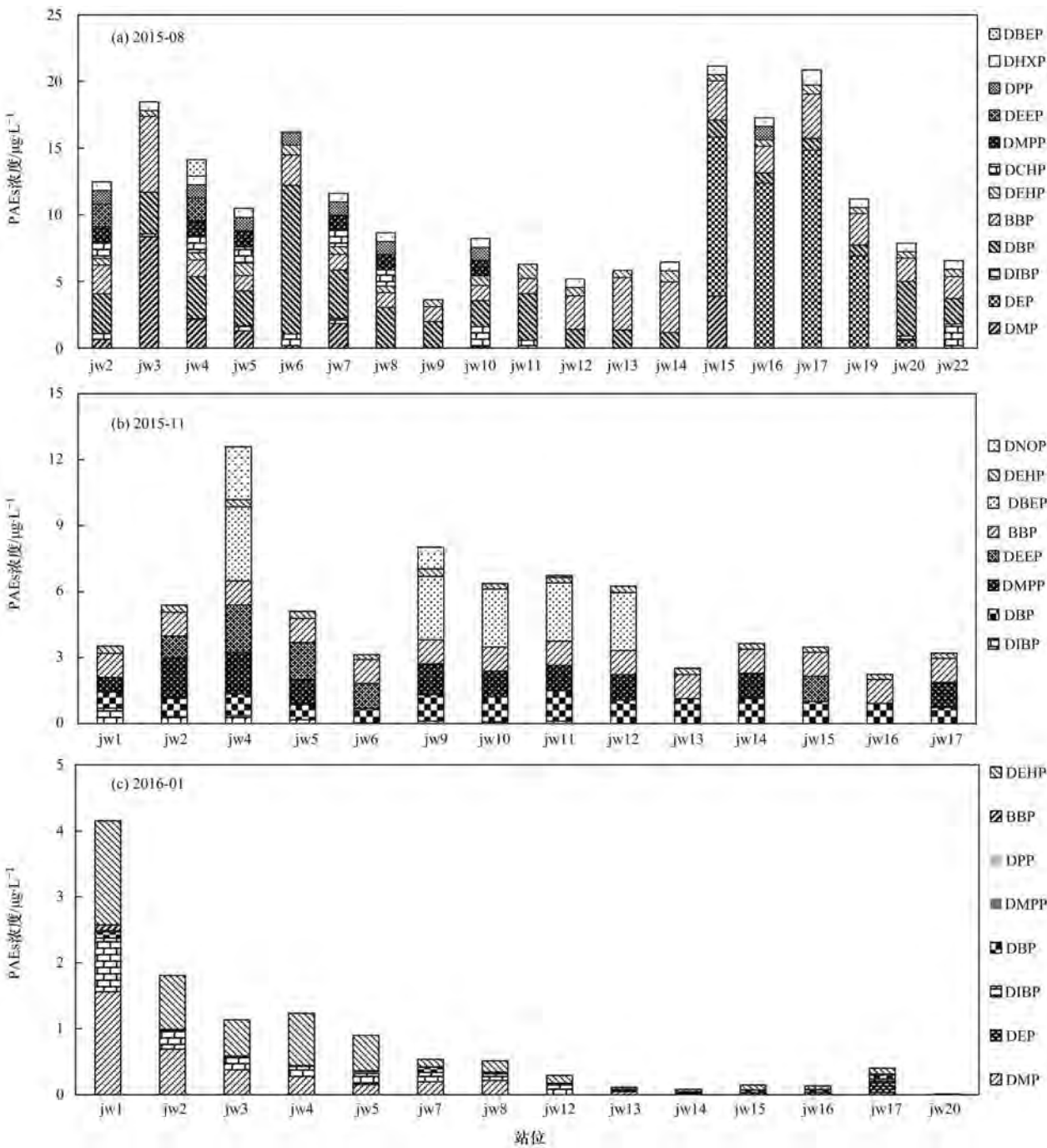


图3 胶州湾各站位表层水体中 PAEs 含量组成

Fig. 3 Concentration and distribution of PAEs in the surface water of Jiaozhou Bay

是东南季风,影响了胶州湾与黄海的水交换,导致了湾口高浓度的出现.另外,沿跨海大桥分布的 jw4 ~ jw7 这 4 个站位含量偏高可能是受到跨海大桥交通污染物排放的影响.秋季胶州湾西北部 jw9 ~ jw12 的高浓度 PAEs 主要源自大沽河和洋河の入海径流,大沽河是青岛最大的河流,沿岸常住人口达 241.9 万人^[16],对大沽河水质产生很大压力.

2.3 胶州湾表层海水中 PAEs 的季节性变化

如表 1 和图 4 所示,胶州湾夏季、秋季和冬季 PAEs 的总含量均值分别为 11.10、5.26 和 0.80 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.结果表明 PAEs 的总含量呈现夏季(2015

年 8 月) > 秋季(2015 年 11 月) > 冬季(2016 年 1 月)的趋势,且主要检出种类相似, DBP、BBP、DEHP 含量最高,但秋季和冬季检出的 PAEs 种类(8 种)和单种 PAE 的浓度较夏季(12 种)均有所减少.

季风气候、水文条件和 PAEs 自身的理化性质是半封闭的胶州湾 PAEs 含量季节差异最重要的因素^[16, 30].胶州湾地区为典型的温带季风气候,夏季受东南季风影响产生的风生流会使污染物向北部堆积^[31],而冬季西北季风又会加速湾内污染物向湾外运输,导致夏季胶州湾内 PAEs 含量普遍偏高,

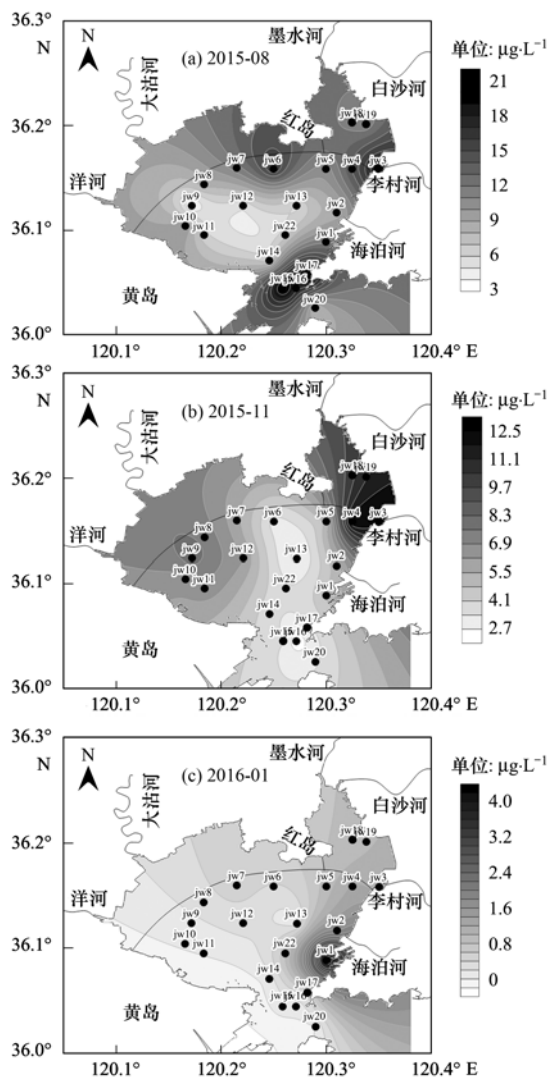


图4 胶州湾表层水体中PAEs浓度的季节分布
Fig. 4 Seasonal variation of the PAEs content
in the surface water of Jiaozhou Bay

且最高浓度出现在东北部, 秋冬季节 PAEs 浓度下降显著. 胶州湾入海径流多为季风雨源型河流, 受季节降雨量影响很大, 如大沽河 6~9 月汛期径流量是全年总量的 78.3%^[16]. 夏季降雨量大, 雨水将大量污水和固体废物带入河流, 通过地表径流再

汇入胶州湾, 使湾内 PAEs 总量迅速增加, 而胶州湾自身自净能力较差, 与外海的海水交换能力弱, 进一步导致夏季湾内 PAEs 含量远高于降雨量较少的秋冬季节. 以大沽河为例, 夏季随径流入海的污染物对胶州湾的影响甚至可以达到湾口^[32]. 因此湾口处 jw20 秋冬季较夏季浓度显著下降. PAEs 本身的理化性质也会影响其含量和分布. 有研究发现 PAEs 烷基链长, 辛醇-水分配系数($\lg K_{ow}$)越大, 脂溶性越高, 越不易通过光解、水解和生物降解等过程去除^[3], 因而烷基链较长的 DBP、BBP、DEHP 在海水中含量相对较高, 此外, 脂溶性越高的 PAEs 更容易被生物体富集, 从而对水生生物产生更大的潜在威胁^[33].

2.4 胶州湾表层海水中 PAEs 的生态风险评估
为了解胶州湾表层水体中 PAEs 的生态风险情况, 对 3 个季节各采样站位中 4 种主要 PAEs 的生态风险进行了评估, 采用了欧盟适用于现有化学物质与新化学物质的风险评价技术指南 (technical guidance document, TGD) 中的商值风险评估方法, 对 4 种 PAEs 的风险商值 (risk quotient, RQ) 进行分析:

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC}$$

式中, MEC 为环境中 PAEs 的测量浓度, PNEC 为预测的无效应浓度, DMP、DEP、DBP 和 DEHP 的 PNEC 值分别为 96、96、0.50 和 1.54^[30,34], 结果如表 3. 2015 年 8 月各个站位 DMP、DEP、DBP 和 DEHP 的 RQ 平均值为 0.03、0.08、5.35 和 0.40, 即 4 种 PAEs 的生态风险大小为: DBP > DEHP > DEP > DMP. 2015 年 11 月 DBP 和 DEHP 的 RQ 平均值为 1.95 和 0.18, 生态风险大小为: DBP > DEHP. 2016 年 1 月 DMP、DEP、DBP 和 DEHP 的 RQ 平均值为 0.00、0.00、0.06 和 0.23, 4 种 PAEs 的生态风险大小为: DEHP > DBP

表3 胶州湾表层水体中主要PAEs生态风险评估结果

Table 3 Ecological risk assessment results for the PAEs in the surface water of Jiaozhou Bay				
日期 (年-月)	PAEs	水体浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	RQ	RQ 平均值
2015-08	DMP	0~2.15	0~0.09	0.03
	DEP	0~14.80	0~0.16	0.08
	DBP	0.04~11.20	1.53~22.30	5.35
	DEHP	0.46~1.06	0.28~0.69	0.40
2015-11	DBP	0.65~1.38	1.30~2.70	1.95
	DEHP	0.22~0.33	0.14~0.20	0.18
2016-1	DMP	0~1.56	0~0.02	0.00
	DEP	0~0.18	0~0.00	0.00
	DBP	0.01~0.09	0.01~0.19	0.06
	DEHP	0.00~1.58	0.00~1.02	0.23

> DMP > DEP. 胶州湾表层水体中只有 8 月和 11 月的所有站位中 DBP 的 RQ > 1, 表明夏季和秋季胶州湾表层水体中 DBP 存在较大的生态风险, 但在冬季 1 月的结果中 DBP 生态风险较小. 此外, 3 个季节中各个站位的 DMP、DEP、DEHP 计算所得 RQ 值均小于 1, 表明 DMP、DEP、DEHP 的生态风险在可接受范围. 此外, 4 种 PAEs 在 3 个不同季节的 RQ 值均表现为夏季 > 秋季 > 冬季, 与 PAEs 总体的季节分布规律一致.

3 结论

胶州湾表层水体中 PAEs 的污染已相当普遍, 15 种被监测的 PAEs 中有 13 种被检出, 其中 DBP、BBP、DEHP 含量较高. 总体来说, 胶州湾表层水体中 PAEs 浓度表现出近岸高, 中部低, 且总体东岸浓度高于西岸. 受降雨量和 PAEs 自身理化性质等因素影响, 水体中 PAEs 浓度表现出夏季 > 秋季 > 冬季的趋势. 与其他河流海洋相比, 本研究中胶州湾表层水体中 PAEs 含量处于中等水平, 但在海洋中属于污染较严重的海域. 夏季和秋季胶州湾表层水体中 DBP 具有潜在的生态风险, DMP、DEP 和 DEHP 的生态风险在可接受范围内. 因此需加强胶州湾中 PAEs 尤其是 DBP 的监控.

参考文献:

- [1] Giulivo M, de Alda M L, Capri E, *et al.* Human exposure to endocrine disrupting compounds: Their role in reproductive systems, metabolic syndrome and breast cancer. A review[J]. *Environmental Research*, 2016, **151**: 251-264.
- [2] Katsikantami I, Sifakis S, Tzatzarakis M N, *et al.* A global assessment of phthalates burden and related links to health effects[J]. *Environment International*, 2016, **97**: 212-236.
- [3] Gao D W, Wen Z D. Phthalate esters in the environment: a critical review of their occurrence, biodegradation, and removal during wastewater treatment processes[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **541**: 986-1001.
- [4] 钱伯章. 我国高档增塑剂发展趋势分析(二)[J]. *上海化工*, 2016, **41**(4): 36-41.
- [5] Gu S R, Zheng H, Xu Q Q, *et al.* Comparative toxicity of the plasticizer dibutyl phthalate to two freshwater algae[J]. *Aquatic Toxicology*, 2017, **191**: 122-130.
- [6] Paluselli A, Fauvelle V, Schmidt N, *et al.* Distribution of phthalates in Marseille Bay (NW Mediterranean Sea) [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **621**: 578-587.
- [7] 刘兆庆, 徐方建, 田旭, 等. 胶州湾潮间带表层沉积物重金属污染评价[J]. *中国环境科学*, 2017, **37**(6): 2239-2247.
- [8] 李先国, 邓伟, 周晓, 等. 青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析[J]. *环境科学*, 2012, **33**(3): 741-745.
- [9] 王江涛, 谭丽菊, 张文浩, 等. 青岛近海沉积物中多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药的含量和分布特征[J]. *环境科学*, 2010, **31**(11): 2713-2722.
- [10] 鞠婷, 葛蔚, 柴超. 胶州湾沉积物中多溴联苯醚的污染特征及风险评价[J]. *环境化学*, 2017, **36**(4): 839-848.
- [11] 李正炎, 傅明珠, 卫东. 胶州湾及其邻近河流中壬基酚等有机污染物的分布特征[J]. *海洋与湖沼*, 2008, **39**(6): 599-603.
- [12] 张道来, 刘娜, 朱志刚, 等. 青岛市典型海岸带表层沉积物中邻苯二甲酸酯的组成、分布特征及生态风险评价[J]. *海洋环境科学*, 2016, **35**(5): 652-657.
- [13] 高晨晨, 李锋民, 卢伦, 等. 搅拌棒吸附萃取-气相色谱-质谱联用测定海水中邻苯二甲酸酯[J]. *环境科学*, 2015, **36**(10): 3906-3912.
- [14] Koniecki D, Wang R, Moody R P, *et al.* Phthalates in cosmetic and personal care products: concentrations and possible dermal exposure[J]. *Environmental Research*, 2011, **111**(3): 329-336.
- [15] Simoneit B R T, Medeiros P M, Didyk B M. Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(18): 6961-6970.
- [16] 邹涛. 夏季胶州湾入海污染物总量控制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [17] Liu Z, Wei H, Liu G S, *et al.* Simulation of water exchange in Jiaozhou Bay by average residence time approach[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, **61**(1): 25-35.
- [18] Gani K M, Kazmi A A. Comparative assessment of phthalate removal and risk in biological wastewater treatment systems of developing countries and small communities[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **569-570**: 661-671.
- [19] Zhang Z M, Zhang H H, Zhang J, *et al.* Occurrence, distribution, and ecological risks of phthalate esters in the seawater and sediment of Changjiang River Estuary and its adjacent area[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **619-620**: 93-102.
- [20] Valton A S, Serre-Dargnat C, Blanchard M, *et al.* Determination of PAHs in surface seawater of Qingdao coast area and their preliminary apportionment[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(3): 741-745.
- [21] Wang J T, Tan L J, Zhang W H, *et al.* Concentrations and distribution characteristic of PAHs, PCBs and OCPs in the surface sediments of Qingdao coastal area [J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(11): 2713-2722.
- [22] Ju T, Ge W, Chai C. Pollution and ecological risk assessment of polybrominated diphenyl ethers in the sediments of Jiaozhou Bay [J]. *Environmental Chemistry*, 2017, **36**(4): 839-848.
- [23] Li Z Y, Fu M Z, Wei D. Distribution of nonylphenol in Jiaozhou Bay and its adjacent rivers [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, **39**(6): 599-603.
- [24] Zhang D L, Liu N, Zhu Z G, *et al.* Distribution, chemical composition and ecological risk assessment of phthalic acid esters in surface sediments from typical coastal zones of Qingdao City [J]. *Marine Environmental Science*, 2016, **35**(5): 652-657.
- [25] Gao C C, Li F M, Lu L, *et al.* Application of stir bar sorptive extraction and Gas Chromatograph Mass Spectrometer to the phthalic acid esters analysis in seawater [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(10): 3906-3912.
- [26] Zou T. Study on the total water pollutant loads allocation and control in Jiaozhou Bay in summer [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [27] Liu Z, Wei H, Liu G S, *et al.* Simulation of water exchange in Jiaozhou Bay by average residence time approach[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, **61**(1): 25-35.
- [28] Gani K M, Kazmi A A. Comparative assessment of phthalate removal and risk in biological wastewater treatment systems of developing countries and small communities[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **569-570**: 661-671.
- [29] Zhang Z M, Zhang H H, Zhang J, *et al.* Occurrence, distribution, and ecological risks of phthalate esters in the seawater and sediment of Changjiang River Estuary and its adjacent area[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **619-620**: 93-102.
- [30] Valton A S, Serre-Dargnat C, Blanchard M, *et al.* Determination of PAHs in surface seawater of Qingdao coast area and their preliminary apportionment[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(3): 741-745.

- of phthalates and their by-products in tissues of roach (*Rutilus rutilus*) from the Orge River (France) [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, **21**(22): 12723-12730.
- [21] Paluselli A, Aminot Y, Galgani F, *et al.* Occurrence of phthalate acid esters (PAEs) in the northwestern Mediterranean Sea and the Rhone River[J]. Progress in Oceanography, 2018, **163**: 221-231.
- [22] Vethaak A D, Lahr J, Schrap S M, *et al.* An integrated assessment of estrogenic contamination and biological effects in the aquatic environment of the Netherlands [J]. Chemosphere, 2005, **59**(4): 511-524.
- [23] Van Zijl M C, Aneek-Hahn N H, Swart P, *et al.* Estrogenic activity, chemical levels and health risk assessment of municipal distribution point water from Pretoria and Cape Town, South Africa[J]. Chemosphere, 2017, **186**: 305-313.
- [24] Sánchez-Avila J, Tauler R, Lacorte S. Organic micropollutants in coastal waters from NW Mediterranean Sea: sources distribution and potential risk [J]. Environment International, 2012, **46**: 50-62.
- [25] Zheng X X, Zhang B T, Teng Y G. Distribution of phthalate acid esters in lakes of Beijing and its relationship with anthropogenic activities[J]. Science of the Total Environment, 2014, **476-477**: 107-113.
- [26] Wang F, Xia X H, Sha Y J. Distribution of phthalic acid esters in Wuhan section of the Yangtze River, China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, **154**(1-3): 317-324.
- [27] 罗固源, 梁艳, 许晓毅, 等. 长江嘉陵江重庆段邻苯二甲酸酯污染及评价[J]. 三峡环境与生态, 2009, **2**(3): 43-48.
- Luo G Y, Liang Y, Xu X Y, *et al.* Pollution and assessment of phthalic acid esters of the Yangtze River and Jialing River in Chongqing[J]. Environment and Ecology in the Three Gorges, 2009, **2**(3): 43-48, 55.
- [28] Yuan S Y, Liu C, Liao C S, *et al.* Occurrence and microbial degradation of phthalate esters in Taiwan river sediments[J]. Chemosphere, 2002, **49**(10): 1295-1299.
- [29] Li X H, Yin P H, Zhao L. Phthalate esters in water and surface sediments of the Pearl River Estuary: distribution, ecological, and human health risks[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, **23**(19): 19341-19349.
- [30] Li R L, Liang J, Gong Z B, *et al.* Occurrence, spatial distribution, historical trend and ecological risk of phthalate esters in the Jiulong River, Southeast China[J]. Science of the Total Environment, 2017, **580**: 388-397.
- [31] Chen C S, Ji R B, Zheng L Y, *et al.* Influences of physical processes on the ecosystem in Jiaozhou Bay: a coupled physical and biological model experiment [J]. Journal of Geophysical Research, 1999, **104**(C12): 29925-29949.
- [32] 浦祥. 大沽河流域非点源氮输出及其对胶州湾水质影响的数值研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- Pu X. Numerical research for export of non-point nitrogen of Dagou Watershed and its impact on water quality of Jiaozhou Bay [D]. Qingdao: Ocean of China, 2011.
- [33] Dordio A V, Belo M, Teixeira D M, *et al.* Evaluation of carbamazepine uptake and metabolism by *Typha* spp., a plant with potential use in phytotreatment [J]. Bioresource Technology, 2011, **102**(17): 7827-7834.
- [34] 韩文辉, 赵颖, 党晋华, 等. 汾河流域邻苯二甲酸酯的分布特征及生态风险评价[J]. 环境化学, 2017, **36**(6): 1377-1387.
- Han W H, Zhao Y, Dang J H, *et al.* Distribution and ecological risk evaluation of phthalate esters in Fenhe River Basin[J]. Environmental Chemistry, 2017, **36**(6): 1377-1387.

CONTENTS

Source Apportionment and Mixing State of Single Particles in the Nanjing Jiangbei New Area	YU Xing-na, SHI Zheng, MA Jia, <i>et al.</i> (1521)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Pollution in PM _{2.5} in Xi'an	MU Zhen, CHEN Qing-cai, WANG Yu-qin, <i>et al.</i> (1529)
Chemical Composition Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} During Winter in Taiyuan	LIU Su, MA Tong, YANG Yan, <i>et al.</i> (1537)
Seasonal Variation and Source Analysis of Water-soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter in Zhengzhou	YAN Guang-xuan, ZHANG Jing-wen, LEI Hao-jie, <i>et al.</i> (1545)
Elemental Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM _{2.5} in a Suburb of Zhuhai City	YANG Yi-hong, JIA Yan, BIAN Guo-jian, <i>et al.</i> (1553)
Impact of a Dust Event on the Size Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosols at a Coastal Region and over the Ocean	JIN Tong-jun, QI Jian-hua, XI Zi-yan, <i>et al.</i> (1562)
CALPUFF Modeling of the Influence of Typical Industrial Emissions on PM _{2.5} in an Urban Area Considering the SOA Transformation Mechanism	GAO Shuang, BO Xin, MA Yan, <i>et al.</i> (1575)
Variation in Pollutant Concentrations and Correlation Analysis with the Vegetation Index in Beijing-Tianjin-Hebei	SUN Shuang, LI Ling-jun, ZHAO Wen-ji, <i>et al.</i> (1585)
Estimation of Coal Consumption and the Emission of Related Contaminants in the Plain Area Around Beijing During 2015-2017	ZHAO Wen-hui, LI Ling-jun, LU Hai-feng, <i>et al.</i> (1594)
Column-integrated Aerosol Optical Properties Determined Using Ground-based Sun Photometry Measurements in the Hangzhou Region	QI Bing, CHE Hui-zheng, XU Ting-ting, <i>et al.</i> (1604)
Speciated VOCs Emission Inventory and Ozone Formation Potential in Sichuan Province	ZHOU Zi-hang, DENG Ye, TAN Qin-wen, <i>et al.</i> (1613)
Characterization of Volatile Organic Compounds from Cooking Emissions	GAO Ya-qin, WANG Hong-li, XU Rui-zhe, <i>et al.</i> (1627)
Analysis of Peroxyacetyl Nitrate and Ozone During a Typical Photochemical Pollution Process at the Panyu Atmospheric Composition Station	ZOU Yu, DENG Xue-jiao, LI Fei, <i>et al.</i> (1634)
Characteristics and Interannual Variation of Chemical Components in Typical Road Dust in Beijing	HU Yue-qi, LI Meng, YAN Xu, <i>et al.</i> (1645)
Sources Analysis and Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the PM _{2.5} Fraction of Fugitive Dust in Nanchang City	YU Rui-lian, ZHENG Quan, LIU Xian-rong, <i>et al.</i> (1656)
Methods and Application of Road Fugitive Dust Emission Factor Localization	FAN Shou-bin, YANG Tao, WANG Kai, <i>et al.</i> (1664)
Characterization of Tailpipe Emissions from in-use Excavators	MA Shuai, ZHANG Kai-shan, WANG Fan, <i>et al.</i> (1670)
Microbial Properties of Different Size Aerosols at Human Average Respiratory Height During Fog-haze Days	YANG Tang, HAN Yun-ping, LI Lin, <i>et al.</i> (1680)
Modification and Performance Tests of Visibility Parameterizations for Haze Days	ZHAO Xiu-juan, LI Zi-ming, XU Jing (1688)
Application of Support Vector Machine Regression in Ozone Forecasting	SU Xiao-qian, AN Jun-lin, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (1697)
Analysis of PHEV CO ₂ Emission Based on China's Grid Structure and Travelling Patterns in Mega Cities	HAO Xu, WANG He-wu, LI Wei-feng, <i>et al.</i> (1705)
Sources of Nitrate in Groundwater and Its Environmental Effects in Karst Trough Valleys: A Case Study of an Underground River System in the Longfeng Trough Valley, Chongqing	DUAN Shi-hui, JIANG Yong-jun, ZHANG Yuan-zhu, <i>et al.</i> (1715)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Phthalate Esters (PAEs) in the Surface Water of Jiaozhou Bay	LIU Cheng, SUN Cui-zhu, ZHANG Ge, <i>et al.</i> (1726)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Sediments of Zhanjiang Bay	PENG Shi-yun, PENG Ping-an, KONG De-ming, <i>et al.</i> (1734)
Analysis of the Optical Properties and Factors Influencing DOM in an Ecological Purification System: A Case Study of Yanlong Lake in Spring	MA Rui, LI Xuan, WANG Lian, <i>et al.</i> (1742)
Analysis of the Relationship Between Dissolved Organic Matter (DOM) and Watershed Land-use Based on Three-dimensional Fluorescence-Parallel Factor (EEM-PARAFAC) Analysis	LI Yun, WEI Hong-jie, WANG Kan, <i>et al.</i> (1751)
Analysis of the Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Emissions from Agricultural Non-point Sources on Hanfeng Lake Basin	XIE Jing-chao, ZHAO Xiu-lan, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (1760)
Simulation of the Migration and Leaching of Nitrate Nitrogen in the Farmland Soil Profile in a Hilly Area of Taihang Mountain with the RZWQM Model	ZHENG Wen-bo, WANG Shi-qin, LIU Bing-xia, <i>et al.</i> (1770)
Spatial Distribution Characteristics of Nutrients and Chlorophyll A in the Lancang River Basin Under Cascade Reservoirs	CHENG Bao, WANG Xue, MA Jin-chuan, <i>et al.</i> (1779)
Nutrient Distribution of Overlying Water in Tidal Marshes in Five Estuaries and Bays of the Fuzhou Region in Autumn	HE Lu-lu, YANG Ping, TAN Li-shan, <i>et al.</i> (1788)
Distribution and Environmental Risk of Pharmaceutically Active Compounds in the Traditionally Aqueous Phase of Effluent-receiving Rivers	WANG Shuo, LIU Jian-chao, ZHENG Chao-ya, <i>et al.</i> (1797)
Effects of a Green Roof on Stormwater Regulation and Cost-benefit Analysis	LI Jun-sheng, YIN Hai-wei, KONG Fan-hua, <i>et al.</i> (1803)
Ultrasonically Activated Persulfate Degrades Typical Odors in Water	SUN Xin, SUN Jie, LI Peng-fei, <i>et al.</i> (1811)
Metal Organic Framework MIL-53(Fe) as a Photocatalyst for Visible-light Catalytic Reduction of U(VI) in Aqueous Solution	YAN Zeng-yuan, XI Hai-ling, YUAN Li-yong (1819)
Effects and Differences of the Release of Dissolved Organic and Inorganic Phosphorus in Different Sediments Covered by Different Materials of Erhai Lake	GONG Jia-jian, NI Zhao-kui, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (1826)
Phosphate Removal Using Rice Husk Biochars Modified with Lanthanum Hydroxide	XU Run, SHI Cheng-hao, TANG Qian, <i>et al.</i> (1834)
Characteristics and Heavy Metal Adsorption Performance of Sewage Sludge-derived Biochar from Co-pyrolysis with Transition Metals	CHEN Tan, ZHOU Ze-yu, MENG Rui-hong, <i>et al.</i> (1842)
Adsorption, Reclaim, and Regeneration of Cd by Magnetic Calcium Dihydrogen Phosphate Nanoparticles	LI Yu-jiao, YANG Zhi-min, CHEN Yu-cheng, <i>et al.</i> (1849)
Effect of Hematite on the Inhibition of Hydrogen Sulfide Formation and Its Mechanism During Anaerobic Digestion and Methanogenesis of Sulfate Wastewater	HUANG Shao-fu, YE Jie, ZHOU Shun-gui (1857)
Pollutant Removal Performance and Membrane Fouling Characteristics in Marine Aquaculture Wastewater Treatment by a Microalgae Membrane Reactor	MA Hang, LI Zhi-peng, LIU Feng, <i>et al.</i> (1865)
Pre-precipitation of Sewage-SNAD Granular Sludge Process Test	LI Dong, CUI Ya-qian, ZHAO Shi-xun, <i>et al.</i> (1871)
Impact of Actual Domestic Sewage and Simulated Wastewater on an Aerobic Granular Sludge System	LI Dong, WANG Ying-qiao, LI Shuai, <i>et al.</i> (1878)
Nitrogen Removal Performance of a Sulfur/Pyrite Autotrophic Denitrification System	ZHOU Ya, MAI Wen-ning, LIANG Jia-wei, <i>et al.</i> (1885)
Nitrogen Removal by Heterotrophic Nitrifying Bacterium <i>Pseudomonas putida</i> YH and Its Kinetic Characteristics	WANG Xu-hui, YANG Lei, REN Yong-xiang, <i>et al.</i> (1892)
Effect of Sludge Retention Time and pH on the Denitrifying Phosphorus Removal Process	WEI Jia-min, HUANG Hui-min, CHENG Cheng, <i>et al.</i> (1900)
Microbial Community of Granular Sludge in an ANAMMOX-EGSB Reactor Under Saline Conditions	WANG Han, LI Han-xiang, CHEN You-peng, <i>et al.</i> (1906)
Effect of Intracellular Carbon Source (PHA) Storage on the Mixed Growth Microbial Community Resistance to Low Temperature	YANG Jian-peng, ZHANG Jian, TIAN Qing, <i>et al.</i> (1914)
Contents and Forms of Phosphorus in the Municipal Sewage Sludge of China	WANG Chao, LIU Qing-wei, ZHI Yin, <i>et al.</i> (1922)
Contamination Characteristics and Safety Risk Assessment of Perfluorinated Alkylated Substances in Aquatic Products from Guangzhou	WANG Xu-feng, WANG Qiang, LI Zhi-guang, <i>et al.</i> (1931)
Characteristics of the Dissolved Nitrous Oxide (N ₂ O) Concentrations and Influencing Factors in a Representative Agricultural Headwater Stream in the Upper Reach of the Yangtze River	TIAN Lin-lin, WANG Zheng, HU Lei, <i>et al.</i> (1939)
CH ₄ Uptake in Different Saline-alkaline Soils in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia	YANG Wen-zhu, JIAO Yan, YANG Ming-de, <i>et al.</i> (1950)
Allocation and Stabilization Responses of Rice Photosynthetic Carbon in the Plant-Soil System to Phosphorus Application	WANG Ying-ying, XIAO Mou-liang, ZHANG Yun, <i>et al.</i> (1957)
Effect of Soil Moisture and Temperature on the Soil Inorganic Carbon Release of Brown Limestone Soil in the Karst Region of Southwestern China	XU Xue-chi, HUANG Yuan, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (1965)
Temporal and Spatial Dynamics of Soil Microbial Biomass Carbon and Its Influencing Factors on an Eroded Slope in the Hilly Loess Plateau Region	QIN Qian, ZHU Shi-shuo, XIA Bin, <i>et al.</i> (1973)
Composition, Characteristics, and Accumulation of Antibiotics in the Soil in Agricultural Land	KONG Chen-chen, ZHANG Shi-wen, NIE Chao-jia, <i>et al.</i> (1981)
VOCs and Odors Control and Development in Pharmaceutical Fermentation Industry	WANG Dong-sheng, ZHU Xin-meng, YANG Xiao-fang, <i>et al.</i> (1990)