

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

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

区域空气质量模拟中查表法的应用研究 谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮(1409)

长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用 苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健(1418)

北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究 徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋(1425)

上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究 张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红(1431)

青岛市大气PM_{2.5}元素组成及来源研究 李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军(1438)

冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究 王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅(1446)

再悬浮装置在大气PM_{2.5}源谱分析中的应用 段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲(1452)

黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究 魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵(1457)

三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探 蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静(1463)

香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析 王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰(1471)

臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响 陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅(1476)

托木尔峰青冰滩72号冰川径流水化学特征初步研究 赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰(1484)

五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究 张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林(1491)

7条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律 卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷(1497)

巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性 李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠(1503)

北运河系地表水近10年来水质变化及影响因素分析 郭婧,荆红卫,李金香,李令军(1511)

东莞运河排涝对东江河水水质影响分析 孙磊,毛献忠,黄旻旻(1519)

北京平原区地下水污染源识别与危害性分级 陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(1526)

地下水曝气修复过程的三维数值模拟 李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌(1532)

垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究 邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永(1540)

新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究 高明瑜,谢慧君,王文兴(1550)

营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响 齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋(1556)

水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究 傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成(1564)

酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征 迟杰,杨青(1570)

电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究 刘书宇,吴明红,姜钦鹏(1575)

青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析 李强坤,胡亚伟,罗良国(1579)

四溴双酚A的辐照降解研究 李杰,徐殿斗,马玲玲,吴明红(1587)

污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究 王红娟,齐飞,封莉,张立秋(1591)

高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响 李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰(1597)

城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成NDMA的影响因素研究 尚晓玲,李咏梅(1604)

利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究 沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙(1609)

好氧污泥颗粒化过程中Zeta电位与EPS的变化特性 王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓娟,竺建荣(1614)

活性污泥对病毒的生物吸附特性 周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪(1621)

阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律 邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松(1625)

两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征 李婷,孟昭福,张斌(1632)

表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响 张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州(1639)

南京市4个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析 葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军(1646)

焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能 陈春,李文英,吴静文,李静(1652)

Xanthobacter flavus DT8降解二噁英的特性研究 金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟(1657)

未开发油气田地表烃氧化菌空间定量分布 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(1663)

矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究 赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才(1670)

长江中游干流及22条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险 李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红(1676)

典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险 吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红(1682)

闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究 陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛(1687)

三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价 王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩(1693)

典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险 邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许玫英(1700)

密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价 高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,季宏兵(1707)

湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性 杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰(1718)

基于GIS的某训练场土壤重金属污染评价 刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军(1725)

土壤质地和湿度对SVE技术修复苯污染土壤的影响 刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野(1731)

蒙脱土、高岭土和针铁矿对DNA吸附与解吸特征 王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰(1736)

LNAPL在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究 潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙(1744)

亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征 董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷(1753)

蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究 任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥(1760)

固定化微生物技术修复PAHs污染土壤的研究进展 钱林波,元妙新,陈宝梁(1767)

《环境科学》征订启事(1483) 《环境科学》征稿简则(1620) 信息(1490,1496,1586,1743)

冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究

王夫美^{1,2}, 陈丽^{1,2}, 焦姣^{1,2}, 张雷波^{1,2}, 姬亚芹^{1,2*}, 白志鹏^{1,2}, 张利文³, 孙增荣³, 张星梅⁴

(1. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071; 2. 国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室, 天津 300071; 3. 天津医科大学公共卫生学院, 天津 300070; 4. 石家庄第一中学地理组, 石家庄 050011)

摘要: 为了解我国家庭住宅室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯的污染程度, 采集天津市 13 户家庭住宅冬季室内空气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 样品, 采用 GC/MS 分析了 DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP、DOP 等 6 种邻苯二甲酸酯。结果表明, 室内空气颗粒物中 DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP 这 5 种邻苯二甲酸酯在所有家庭均被检出, DOP 在部分家庭检出。其中, DBP 和 DEHP 为主要污染物。PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中的 6 种物质占 \sum PAEs 颗粒相的比例规律相同, DBP 和 DEHP 较大, 分别为 13.92% ~ 91.50%、5.56% ~ 85.08% 和 20.88% ~ 93.95%、5.53% ~ 75.90%; 其次是 DMP、DEP 和 BBP, DOP 最小。不同粒径颗粒物上 PAEs 的分布显示, 大多数 PAEs 易吸附在粒径较小的细粒子 PM_{2.5} 上; 结合调查问卷分析表明, 冬季室内空气颗粒物上 PAEs 污染主要来源于室内, 受房间的装修时间、装修特点、生活习惯、吸烟、烹饪、塑料制品使用量、室内清洁度和温度等因素的影响。

关键词: 室内空气颗粒物; PM₁₀; PM_{2.5}; 邻苯二甲酸酯; GC/MS

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1446-06

Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter

WANG Fu-mei^{1,2}, CHEN Li^{1,2}, JIAO Jiao^{1,2}, ZHANG Lei-bo^{1,2}, JI Ya-qin^{1,2}, BAI Zhi-peng^{1,2}, ZHANG Li-wen³, SUN Zeng-rong³, ZHANG Xing-mei⁴

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Urban Ambient Air Particulate Matter Pollution Prevention and Control, Tianjin 300071, China; 3. School of Public Health, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China; 4. Geography Group of Shijiazhuang No. 1 High School, Shijiazhuang 050011)

Abstract: To investigate the pollution of phthalate esters in household indoor air, PM₁₀ and PM_{2.5} were sampled from 13 houses in Dec. 2010 in Tianjin. Gas chromatograph-mass spectrometry (GC-MS) method was applied to analyze DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DOP. The results showed that DMP, DEP, DBP, BBP and DEHP were detected in all samples while DOP was determined in part of samples. DBP, DEHP were the main pollutants. The ratios for the concentrations of each pollutant to \sum PAEs in PM₁₀ and PM_{2.5} were calculated. The values for DBP (13.92% - 91.50%, 20.88% - 93.95%) and DEHP (5.56% - 85.08%, 5.53% - 75.90%) were higher, and then came DMP, DEP, BBP and DOP. The distributions of six PAEs in different diameter air particles indicated, most PAEs were concentrated in PM_{2.5}. Based on the questionnaire, concentrations of PAEs in indoor air particle mainly were not only affected by time and characteristics of decoration, living habit, smoking, cooking and plastic products used and so on, but also influenced by indoor cleanness and temperature.

Key words: indoor air particles; PM₁₀; PM_{2.5}; phthalate esters; GC/MS

邻苯二甲酸酯 (phthalate esters, PAEs) 是重要的塑料增塑剂, 广泛存在于人们的日常消费品 (如装修材料、家具、衣物、化妆品、上光剂、个人护理品等) 中, 是普遍存在的一类环境污染物^[1]。由于其应用面广、生产量大、在环境中普遍存在, 人类对 PAEs 的暴露风险也逐渐升高。PAEs 具有类雌激素作用, 是一种内分泌干扰物, 能干扰血液中激素正常水平的维持, 导致内分泌紊乱、生殖机能失常等, 从而影响生殖、发育和行为, 在体内长期累积还会导致畸形、癌变、突变等。PAEs 可通过呼吸道、消化道等途径进入人体, 在人体尿液、乳汁和血液中已检测出一

定浓度的 PAEs 及其代谢产物^[2,3]。美国环保局 (US EPA) 已将邻苯二甲酸二甲酯 (DMP)、邻苯二甲酸二乙酯 (DEP)、邻苯二甲酸二丁酯 (DBP)、邻苯二甲酸丁基苄基酯 (BBP)、邻苯二甲酸 (2-乙基己基) 酯 (DEHP) 和邻苯二甲酸二辛酯 (DOP) 等 6 种 PAEs 类化合物列入 129 种重点控制的污染物名单中。我

收稿日期: 2011-07-17; 修订日期: 2011-10-28

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目 (09ZCGYSF01700); 天津医科大学项目 (2010ky13)

作者简介: 王夫美 (1986 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气颗粒物污染防治理论与技术, E-mail: fenglingl_2006@126.com

* 通讯联系人, E-mail: jiyaqin@nankai.edu.cn

国环境优先污染物黑名单中包括 DMP、DBP 和 DOP 等 3 种 PAEs 类化合物^[4]。

通常,平均每人每天 80% 以上的时间在室内度过。所以,研究室内环境空气中 PAEs 污染显得尤为重要。大气颗粒物在人体呼吸器官中的穿透作用和沉积作用主要取决于颗粒物的粒径大小,其对人体的毒害作用与附着在颗粒物上的化学组分密切相关。目前,基于实测获得室内空气颗粒物上 PAEs 的浓度的研究还很少,仅美国有研究^[5],国内尚未见报道。因此,本文针对家庭住宅室内环境空气中不同粒径的颗粒物上载带的 PAEs 开展研究,采集天津市 13 户普通家庭住宅室内空气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 样品,分析 DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP、DOP 等 6 种 PAEs 的污染特征,探讨家庭住宅室内环境空气中 PAEs 的分布特征、污染程度及主要污染来源,以期改善室内环境空气质量提供依据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集时间与地点

采集时间:2010 年 12 月 19 ~ 22 日(包括 3 个工作日和 1 个休息日),采集室内空气颗粒物 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 样品。其中 PM₁₀ 每个样品连续采集(24 ± 1) h,每个采样点共采集 4 个样品;PM_{2.5} 每个样品连续采集(48 ± 1) h,每个采样点采集 2 个样品。

采样地点:选取天津市 4 个普通居住小区共 13 户家庭住宅,分别为南开大学西南村(学校家属院,简称西南村)、咸阳路海洋小区(新建及新装修小区,简称海洋小区)、天骄源小区(普通居民小区)、海光寺天赐园小区(普通居民小区,简称天赐园),且 4 个小区附近均没有大型工业污染源;考虑室外大气中 PAEs 在垂直方向上的分布特点及其对室内浓度的可能影响,采样点布设在每个小区的低层(1、2 楼)、中层(3、4、5 楼)、高层(9 楼、11 楼)。

采样要求:采样器放置在住宅客厅中间位置,采样高度为 1.5 m 左右,即人体呼吸带高度。采样期间进行问卷调查,内容主要涉及家庭住宅的一般情况(房龄及装修年份)、室内装修材质(地板和墙壁)、日常化妆品和洗漱用品的使用情况、日常塑料制品的使用量及居民区的环境质量和暴露条件,同时记录采样期间每日温度、湿度、通风量、烹调方式。

1.2 采样仪器和滤膜

使用小流量采样器采集颗粒物样品,流速设定为 4 L·min⁻¹;13 个点同时采集 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 样品,每个小区每天加采一个空白滤膜样品,共采集 94 个滤膜

样品。采样滤膜选用石英膜,采样后于 7 d 内分析。

1.3 分析方法

1.3.1 仪器与试剂

仪器:KQ-300DE 型数控超声波清洗器(昆山舒美公司)、N-EVAP111 氮吹仪(杭州奥盛公司)、Millipore Express 超纯水系统(美国 Millipore 公司)、Agilent6890N/5975B 气相色谱-质谱仪(美国 Agilent 公司)。

试剂:色谱纯二氯甲烷(天津科威公司)、2 000 mg·L⁻¹(溶于异辛烷)的 6 种 PAEs 混标(德国 Dr. Ehrenstorfer 公司)、5 000 mg·L⁻¹(溶于正己烷)的苯甲酸苄酯作为内标溶液(德国 Dr. Ehrenstorfer 公司)。

1.3.2 标准溶液的配制

内标储备液:取 5 000 mg·L⁻¹的内标液 100 μL 于 10 mL 的容量瓶中,用二氯甲烷定容,配成浓度为 50 mg·L⁻¹的内标储备液。

混标储备液:取 2 000 mg·L⁻¹的混合标样 50 μL 于 100 mL 的容量瓶中,用二氯甲烷定容,配成 1 mg·L⁻¹的混合标液储备液。

实验过程中严格控制塑料制品的使用,均使用玻璃仪器,且所有的玻璃制品均先于重铬酸钾与浓硫酸配制的洗液中浸泡 12 h,然后分别用自来水、超纯水冲洗干净,再于马弗炉中 400℃ 下烘 12 h,降至室温后用铝箔纸密封好,使用之前用二氯甲烷清洗。

1.3.3 样品前处理

将滤膜剪成碎条于离心管中,加入 10 mL 二氯甲烷,超声提取 15 min,提取液经过滤后收集,重复以上步骤一次,合并提取液,氮吹至 5 mL 左右,转移至浓缩管中继续吹至 2 mL 以下,加入内标,用二氯甲烷定容,转移至自动进样瓶中进行 GC/MS 分析。

1.3.4 GC/MS 分析条件

HP-5MS 色谱柱:30 m × 0.25 mm × 0.25 μm,升温程序:100℃,保持 1 min,以 8℃·min⁻¹升至 300℃,保持 3 min,进样口温度:250℃,传输线温度:280℃,四级杆温度:150℃,分流进样,分流比为 5:1, EI 电离电压:70 eV,进样量:1 μL,载气:氮,载气流速:1.0 mL·min⁻¹,SIM 方式检测。根据标准溶液中各物质的保留时间及扫描离子定性,根据内标法定量。在初始校准后每 12 h 选用校准曲线的中间点作为连续校准(CC)分析一次^[6]。

2 结果与分析

2.1 家庭住宅室内空气颗粒物中 PAEs 污染物浓度特征分析

13 户住宅室内空气颗粒物中 6 种 PAEs 的浓度如表 1 所示. DMP、DEP、DBP、BBP 和 DEHP 这 5 种物质均被检出, DOP 在部分样品中未检出. PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中 6 种物质占 \sum PAEs 颗粒相的比例规律相同, DBP 和 DEHP 较大, 分别为 13.92% ~ 91.50%、5.56% ~ 85.08% 和 20.88% ~ 93.95%、5.53% ~ 75.90%; 其次是 DMP、DEP 和 BBP, DOP 最小. 可知, DBP 和 DEHP 是构成 PAEs 污染的 2 种主要污染物. 这是因为 DBP 和 DEHP 是我国应用最广泛的 2 种增塑剂. 因此, DBP 和 DEHP 含量普遍较其他 4 种 PAEs 高. 与其他地区比较, 不同国家和地区室内

PAEs 污染主要污染物不同. 德国^[7], 公寓室内空气以 DBP、DEP、DMP 污染为主; 美国室内空气颗粒物 PM_5 以 DEP、DBP 污染为主^[5], 室内空气以 DEP、DBP 污染为主^[8]; 日本^[9]室内空气以 DBP 污染为主. 中国北京家庭室内空气 PAEs 以 DBP 和 DEHP 为主^[10], 印春生等研究表明卧室室内空气以 DBP 污染为主^[11]; 而刘玲玲等^[12]、朱媛媛等^[13]对天津市大气 PAEs 污染研究表明天津市大气颗粒物中 DBP 和 DEHP 污染最严重, 和本研究结论一致. 造成不同地区主要 PAEs 污染物不同的原因, 与当地的主要产业、消费品和消费水平等有关.

表 1 家庭住宅室内空气颗粒物 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 上载带的 PAEs 浓度¹⁾

Table 1 Concentrations of PAEs in PM_{10} and $PM_{2.5}$ in household indoor air particles

污染物	$PM_{10}/ng \cdot m^{-3}$					$PM_{2.5}/ng \cdot m^{-3}$					$PM_{2.5}/PM_{10}$ /%
	最小值	中位值	P_{95}	最大值	占 \sum PAEs 颗粒相的比例/%	最小值	中位值	P_{95}	最大值	占 \sum PAEs 颗粒相的比例/%	
DMP	0.250	0.857	3.448	14.602	0.03 ~ 16.07	0.114	0.258	1.106	1.206	0.02 ~ 4.97	4.7 ~ 56.9
DEP	0.083	0.577	1.902	2.714	0.13 ~ 10.71	0.005	0.156	0.807	0.865	0.04 ~ 3.01	0.4 ~ 85.7
DBP	7.315	25.187	83.875	328.209	13.92 ~ 91.50	5.774	23.303	116.410	125.519	20.88 ~ 93.95	8.7 ~ 64.4
BBP	0.006	0.031	0.651	1.783	0.00 ~ 2.23	0.009	0.025	0.665	0.669	0.00 ~ 2.36	18.7 ~ 93.0
DEHP	2.616	7.221	240.320	304.896	5.56 ~ 85.08	0.867	7.015	76.499	79.678	5.53 ~ 75.90	4.2 ~ 88.6
DOP	nd	0.015	0.084	0.097	0.00* ~ 0.42	nd	0.019	0.091	0.096	0.00* ~ 0.29	0.0* ~ 90.5
\sum PAEs	7.406	37.700	314.400	381.600	100	7.266	34.410	139.700	190.500	100	19.6 ~ 96.2

1) nd 表示未检出, * 表示未检出的用 1/3 的检测限计算, $LOD_{DOP} = 0.003 ng \cdot m^{-3}$

2.2 家庭住宅室内空气颗粒物 PM_{10} 中 PAEs 浓度特征分析

由表 1 可知, PM_{10} 上载带的 \sum PAEs 浓度范围为 7.406 ~ 381.600 $ng \cdot m^{-3}$, 其中 DBP 最大值为 328.209 $ng \cdot m^{-3}$, DEHP 最大值为 304.896 $ng \cdot m^{-3}$.

表 2 不同地区住宅室内空气颗粒物中 PAEs 污染浓度列表¹⁾

Table 2 Concentrations of PAEs in household indoor air particles in different areas

地名	n	粒径	污染物/ $ng \cdot m^{-3}$						文献
			DBP	DEHP	DMP	DEP	BBP	DOP	
美国鲤鱼岬	120	PM_5	220	77	—	590	—	—	[5]
中国天津	13	PM_{10}	25.187	7.221	0.857	0.577	0.031	0.015	本研究
		$PM_{2.5}$	23.303	7.015	0.258	0.156	0.025	0.019	

1) — 表示没有可用数据; 表中数据均为中位值

现在 9 号家庭, 调查显示 9 号家庭中塑料制品并不多, 但是 9 号家庭吸烟较多 (平均 10 支 $\cdot d^{-1}$), 采用烹调方式做饭多, 日用护理品较多 (如洗手液、沐浴露、洗发露等) 且使用频繁等. 因此, 多方面因素综合作用可能导致 9 号家庭污染较严重. 这与 Weschler 等^[14] 研究认为 PAEs 存在室内污染, 主要来源于室内吸烟、烹饪和燃料的使用等的结论相似.

另外, BBP 最大值也出现在 9 号家庭, 最大浓度 1.783 $ng \cdot m^{-3}$, 含量远超过其他家庭. BBP 主要用作

与美国^[5] 室内空气颗粒物 PM_5 中 PAEs 污染比较表明, 美国 DBP (220 $ng \cdot m^{-3}$)、DEHP (77 $ng \cdot m^{-3}$) 和 DEP (590 $ng \cdot m^{-3}$) 的浓度较高, 分别约是天津 PM_{10} 上其浓度的 8.7、10.7 和 1022.5 倍 (表 2).

其中, PM_{10} 中 PAEs 总体污染较严重的情况出

人造革、PVC、地板砖等的添加剂^[15]. 瑞典的研究^[16] 也表明室内降尘中高浓度的 BBP 与 PVC 地板和墙体材料有关. 调查发现 9 号家庭铺设地板砖, 并且客厅内装修壁纸. 另外, 由于 9 号家中正整修电话线路, 有部分墙壁附着的乳胶漆涂料的细粉屑飘入空气中, 也可能造成污染, 导致 9 号家庭空气中 PAEs 浓度总体偏高.

2.3 家庭住宅室内空气颗粒物 $PM_{2.5}$ 中 PAEs 浓度特征分析

表 1 表明, $PM_{2.5}$ 中 DBP 浓度中位值最高, 为 $23.303 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 其次 DEHP, 为 $7.015 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 分别高出其他 4 种物质 1~3 个数量级. 与美国室内空气颗粒物 PM_5 中 PAEs 污染研究结果相比(表 2)可知, 美国 PM_5 ^[5] 研究结果约是本研究的 9.4~3 782 倍. 说明本研究中家庭住宅室内空气颗粒物 $PM_{2.5}$ 中 PAEs 污染较轻.

3 讨论

3.1 不同粒径颗粒物中 PAEs 浓度相关性分析

室内空气不同粒径的颗粒上 PAEs 污染分析比较, 结果显示 PM_{10} 颗粒上 PAEs 浓度要略高于 $PM_{2.5}$ 颗粒上 PAEs 的浓度. 表 1 表明, 6 种物质最大值均出现在 PM_{10} 上; 而最小值除 BBP 外均出现在 $PM_{2.5}$ 上, BBP 最小值出现在 PM_{10} 上与 BBP 本身的含量较低及分析误差等原因有关. 采用 SPSS 18 统计分析软件中的非参数检验(由于本研究样本量较少, 不能确定总体的分布类型, 因此以下检验均采用非参数检验)中威尔科克森符号秩检验(Wilcoxon Signed-Rank test)研究 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 上载带的 PAEs 浓度之间的差异是否显著. 结果表明, DMP ($P = 0.002$)、DEP ($P = 0.001$) 和 DBP ($P = 0.009$) 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), BBP ($P = 0.507$)、DEHP ($P = 0.173$) 和 DOP ($P = 0.807$) 差异无统计学意义 ($P > 0.05$). 说明前 3 种物质在 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 上浓度差异显著, PM_{10} 上 PAEs 的浓度大于 $PM_{2.5}$ 的; 后 3 种物质在 2 种粒径上的浓度差异不显著.

从 $PM_{2.5}$ 上载带的 PAEs 的浓度占 PM_{10} 上 PAEs 的百分含量(表 1 中 $PM_{2.5}/PM_{10}$) 来看, DMP、DBP 比值略小, 分别为 4.7%~56.9% 和 8.7%~64.4%, DEP、BBP、DEHP、DOP 比值最大值均达到 80% 以上, 其中相对分子质量较大的 BBP、DEHP、DOP 最大比值均接近甚至超过 90.0%, 这说明相对分子质量越大越易吸附在 $PM_{2.5}$ 上. 赵振华等^[17] 研究了焦炉大气不同粒径颗粒物上 PAEs 的分布, 证明它们大多数都吸附在小粒径的可吸入尘上, 其中 PM_3 颗粒物上 DBP 和 DEHP 的含量占 PM_{15} 颗粒物的比例, TA 焦炉均为 81%, SH 焦炉则分别为 62% 和 72%. 全青等^[18] 对呼和浩特市大气的研究也表明有 72.5%~91.2% 的 PM_{10} 上的 PAEs 存在于对人体可直接产生危害的粒径范围 $< 7.0 \mu\text{m}$ 颗粒中. 这些研究结果表明, 大多数 PAEs 易吸附在粒径较小的空气颗粒物上, 因此, 致力于研究小粒径的可吸入颗粒物上的 PAEs 污染尤为重要.

3.2 时间变化对 PAEs 浓度影响分析

对休息日和工作日 PM_{10} 样品比较, 结果显示, 休息日样品中污染物浓度值通常略大于工作日. 通过对采样家庭休息日和工作日样品中 PAEs 浓度进行威尔科克森符号秩检验(Wilcoxon Signed-Rank test), 结果显示周末 DMP、DEP、DBP、DEHP(4 种污染物的 P 值均为 $0.028 < 0.05$) 浓度显著高于工作日, 差异有统计学意义, 这可能是休息日家庭成员在室内活动比工作日频繁, 将地面降尘再次扬起进入空气中, 导致休息日样品上污染物浓度值大, 这一特征在一般清洁家庭(打扫频率一周 2~3 次)和较清洁家庭(2 d 一次)中的表现比清洁家庭(至少 1 d 一次)明显; 而 BBP ($P = 0.293$)、DOP ($P = 0.116$) 差异没有统计学意义, 可能与这 2 种物质含量较低有关. 保加利亚对室内降尘的一项研究也表明室内邻苯二甲酸酯浓度与清洁度有关^[19]. 因此, 保持室内清洁可以降低室内 PAEs 的污染.

3.3 区域分布特征对家庭住宅室内空气颗粒物 PAEs 浓度影响

3.3.1 水平分布对 PAEs 浓度影响

室内环境中 PAEs 的来源主要与房间的装修特点、生活习惯以及工作环境等有关^[20]. 对 4 个居住小区比较, 结果显示, 海洋小区 6、7、9、10 号样品总体数据比其他家庭样品数值略微偏大, 而海洋小区家庭均为新建新装修住宅, 装修时间在 1 a 之内, 其余 8 户家庭装修均在 6 a 以上. 印春生等^[11] 对室内空气中邻苯二甲酸酯分析证明, 涂料是新装修房间空气中邻苯二甲酸酯的主要贡献源, 新购置的家具和塑料制品也可能是重要的污染源. Otake 等^[9] 对日本东京 27 所家庭 PAEs 研究显示, 室内空气中 DBP 污染最大值出现在 1 所新住宅家庭, 浓度达到 $6.18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 所以, 室内 PAEs 浓度与装修时间有一定关系.

天赐园小区 12、13 号家庭中 DMP、DEP 含量整体偏高, 最大值出现在 12 号家庭. 问卷调查显示, 天赐园小区家庭温度在 30°C 左右, 其余小区家庭温度在 $19\sim 23^\circ\text{C}$, 因此, 12、13 号家庭室内空气颗粒物上 DMP、DEP 含量偏大可能与温度较高 PAEs 释放加快有关. Weschler^[14]、赵振华^[21]、曾鸣^[22] 等有研究结果显示, 空气颗粒物中 PAEs 的浓度与气温有关, 温度高使塑料中的 PAEs 更容易释放挥发, 导致吸附在颗粒上的 PAEs 含量增加. 对于相对分子质量较小的 DMP 和 DEP, 饱和蒸气压较高, 在空气中主要以蒸气态形式存在; 当污染源暴露在空气中,

随气温升高蒸气压较高的 DMP、DEP 气化与水分子一起蒸发,相当量的蒸气逸入空气中,这些蒸气将冷凝在空气细颗粒物上.对于 12 号家庭室内空气中 DMP、DEP 含量较大,还可能与客厅新摆设一棵塑料圣诞树有关.

3.3.2 垂直分布对 PAE 浓度的影响

Wang 等^[23]对南京大气中 PAEs 污染研究发现,PAEs 集中在近地面层(1.5 ~ 30 m),近地面层浓度高于上层浓度.为了研究低中高层不同楼层家庭住宅内 PAEs 的差异是否显著,进行了多组独立样本的非参数检验(检验方法 Kruskal-Wallis H).结果表明,除 DMP($P = 0.016 < 0.05$)有显著性差异以外,DEP($P = 0.520$)、DBP($P = 0.135$)、BBP($P = 0.236$)、DEHP($P = 0.330$)和 DOP($P = 0.906$)差异均无统计学意义.也就是说,除 DMP 外,其他 5 种物质低中高层家庭浓度差异不显著,而 DMP 在高层家庭中浓度较高.原因可能是,DMP 污染主要来源于燃煤^[18],采样期间为冬季采暖期,采样区域内实行集中供暖,集中供暖锅炉作为大点源其排放口高度较高,排放的燃煤烟尘中含有的 DMP 飘散在大气中,对高层产生的影响较大.

根据采样期间调查记录显示,采样家庭在冬季几乎没有通风,室内外气流交换较少.因此,冬季室外污染对室内影响较小,而家庭之间 PAEs 污染程度差异较大则说明室内空气颗粒物上的 PAEs 主要来源于家庭内部环境.日本^[9]研究结果显示室内空气中 PAEs 的浓度约是室外大气的 100 ~ 1 000 倍,并认为室内 PAEs 主要来源于室内污染源.因此,应该重视对室内 PAEs 污染源的研究.

4 结 论

(1)天津市冬季家庭住宅室内空气颗粒物上 PAEs 污染以 DBP、DEHP 为主,DMP、DEP、BBP、DOP 污染较轻.其中,PM₁₀和 PM_{2.5}中 DBP、DEHP 浓度中位值分别为 25.187 ng·m⁻³、7.221 ng·m⁻³和 23.303 ng·m⁻³、7.015 ng·m⁻³.总体上,本研究中家庭住宅室内空气颗粒物中 PAEs 污染程度较轻,但 DBP、DEHP 污染应引起重视.

(2)不同家庭住宅室内空气颗粒物上 PAEs 污染程度差异较大,室内环境中 PAEs 来源复杂,主要与房间的装修时间、装修特点、生活习惯、吸烟、烹饪、塑料制品使用、室内清洁度和温度等有关.

(3)PAEs 更易吸附在粒径较小的颗粒物上.因此,研究小粒径颗粒物上的 PAEs 污染尤为重

要,建议在以后的研究中加强对小粒径粒子污染的研究.

参考文献:

- [1] Schettler T. Human exposure to phthalates via consumer products [J]. *International Journal of Andrology*, 2006, **29**(1): 134-139.
- [2] Hines E P, Calatay A M, Silva M J, *et al.* Concentrations of phthalate metabolites in milk, urine, saliva, and serum of Lactating North Carolina women [J]. *Environmental Health Perspect*, 2009, **117**(1): 86-92.
- [3] Silva M J, Samandar E, Preau J L Jr, *et al.* Automated solid-phase extraction and quantitative analysis of 14 phthalate metabolites in human serum using isotope dilution-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Analytical Toxicology*, 2005, **29**(8): 819-824.
- [4] 吕怡兵,付强,陈瑛.环境中邻苯二甲酸酯类物质的污染现状与监测方法[J].*中国环境监测*,2007,**23**(5):66-70.
- [5] Rudel R A, Camann D E, Spengler J D, *et al.* Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine-disrupting compounds in indoor air and dust [J]. *Environment Science and Technology*, 2003, **37**(20): 4543-4553.
- [6] 吴宇峰,李利荣,时庭锐,等.大气总悬浮颗粒物中半挥发性有机污染物的测定[J].*安全与环境学报*,2006,**6**(3):86-89.
- [7] Fromme H, Lahrz T, Piloty M, *et al.* Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany) [J]. *Indoor Air*, 2004, **14**(3): 188-195.
- [8] Adibi J J, Whyatt R M, Williams P L, *et al.* Characterization of phthalate exposure among pregnant women assessed by repeat air and urine samples [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2008, **116**(4): 467-473.
- [9] Otake T, Yoshinaga J, Yanagisawa Y. Exposure to phthalate esters from indoor environment [J]. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2004, **14**(7): 524-528.
- [10] 沈婷.室内空气和降尘中邻苯二甲酸酯的分析研究[D].北京:北京工业大学,2009.
- [11] 印春生,吕玉银,杨栋.SPME-GC/MS 分析室内空气中邻苯二甲酸酯[A].见:持久性有机污染物论坛.2006暨第一届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集[C].2006.65-68.
- [12] 刘玲玲,姬亚芹,王嘉璐,等.天津市1月份大气PM₁₀中酞酸酯的污染[J].*安全与环境学报*,2011,**11**(1):136-139.
- [13] 朱媛媛,田靖,时庭锐,等.天津市空气颗粒物中酞酸酯的分布特征[J].*中国环境监测*,2010,**26**(3):7-10.
- [14] Weschler C J, Nazaroff W W. Semivolatile organic compounds in indoor environments [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(40): 9018-9040.
- [15] Kavlock R, Boekelheide K, Chapin R, *et al.* NTP center for the evaluation of risks to human reproduction; phthalates expert panel report on the reproductive and developmental toxicity of butyl benzyl phthalate [J]. *Reproductive Toxicology*, 2002, **16**(5):

- 453-487.
- [16] Clausen P A, Lindeberg Bille R L, Nilsson T, *et al.* Simultaneous extraction of di (2-ethylhexyl) phthalate and nonionic surfactants from house dust concentrations in floor dust from 15 Danish schools [J]. *Journal of Chromatography A*, 2003, **986**(2): 179-190.
- [17] 赵振华, 全文熠, 田德海. 焦炉大气中不同粒径颗粒物上酞酸酯的分布[J]. *环境化学*, 1986, **5**(3): 63-67.
- [18] 仝青, 冯沈迎, 阮玉英, 等. 呼和浩特市不同粒径空气颗粒物上酞酸酯的污染[J]. *环境科学学报*, 1999, **19**(2): 159-163.
- [19] Kolarik B, Bornehag C G, Naydenov K, *et al.* The concentrations of phthalates in settled dust in Bulgarian homes in relation to building characteristic and cleaning habits in the family [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(37): 8553-8559.
- [20] Kolarik B, Naydenov K, Larsson M, *et al.* The association between phthalates in dust and allergic diseases among Bulgarian children [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2008, **116**(1): 98-103.
- [21] 赵振华, 全文熠, 田德海, 等. 北京市大气飘尘中酞酸酯的污染[J]. *环境化学*, 1987, **6**(1): 29-33.
- [22] 曾鸣, 吕喆, 解淑艳, 等. 夏季大气中酞酸酯类污染物分析及污染源探讨[J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 2006, **30**(4): 88-90.
- [23] Wang P, Wang S L, Fan C Q. Atmospheric distribution of particulate- and gas-phase phthalic esters (PAEs) in a metropolitan city, Nanjing, East China [J]. *Chemosphere*, 2008, **72**(10): 1567-1572.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qingbingtan, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorus in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiwuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DTS	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《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5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 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

国内外公开发行