

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O ₃ 生成潜势	曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)
利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态	牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)
沈阳市降水化学成分及来源分析	张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)
秦皇岛大气污染物浓度变化特征	刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)
笼养鸡生长过程 NH ₃ 、N ₂ O、CH ₄ 和 CO ₂ 的排放	周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)
碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能	王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)
生物滴滤塔净化多组分废气的研究	张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)
在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气	金圣, 黄立维, 李国平 (2121)
模拟大气 CO ₂ 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响	赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)
一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法	华祖林, 汪靛 (2134)
HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究	李燕, 李兆富, 席庆 (2139)
基于非点源污染的水质监测方案研究	吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)
不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究	陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)
春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征	李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)
三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布	张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)
湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性	冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)
刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响	侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)
反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换	李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)
三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征	李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)
UV 和 H ₂ O ₂ 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究	张一清, 周玲玲, 张永吉 (2205)
臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素	于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)
硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响	毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)
快雌醇氯化反应的动力学和机制研究	王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆勇鹤 (2225)
金属离子对 δ-MnO ₂ 去除对叔辛基酚抑制作用的研究	李非里, 牟华倩 (2232)
核-壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除	刘建明, 李红, 熊振湖 (2240)
有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究	闫梦玥, 庞志华, 李小明, 退建宇, 罗隽 (2249)
纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征	于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 咎逢宇, 张靖天 (2256)
改性水凝胶的制备及其对 Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 吸附性能研究	吴宁梅, 李正魁 (2263)
直接大红 4BE 的磷钨酸均相光催化还原脱色	魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)
基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究	张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)
Fenton 法处理竹制品废水生化出水出水的研究	郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)
二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响	李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)
进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究	陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)
接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究	刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)
聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究	杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)
体积溶氧传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析	李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)
我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价	汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)
麦穗鱼物种敏感性评价	王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)
不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究	雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)
桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究	钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)
直流电场处理后降线藻趋光性对 Cu ²⁺ 和 Hg ²⁺ 的响应	王飞祥, 袁玲, 黄建国 (2350)
UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响	宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)
7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聘聘 (2361)
溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析	于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)
不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp TM 方法	陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)
典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究	韩建刚, 曹雪 (2383)
三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究	刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙昊 (2390)
北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征	陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永峰, 田青 (2399)
季节变化对贵阳市不同功能区地表灰土重金属的影响	李晓燕 (2407)
东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征	王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)
模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响	段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)
甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究	孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)
胶质芽孢杆菌对印度芥菜根际土壤镉含量及土壤酶活性影响	杨榕, 李博文, 刘微 (2436)
长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征	吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)
有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究	张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)
北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析	王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)
氨对垃圾焚烧灰渣浸出特性的影响及地球化学模拟	官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)
焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究	朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛義典 (2473)
富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能	李坤彬, 李辉, 郑正, 张雨轩 (2479)
生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估	姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)
基于物质流分析的钾素流动与循环研究	白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)
《环境科学》征订启事 (2115) 《环境科学》征稿简则 (2224) 信息 (2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知 (2478)	

2008~2010年北京城区大气BTEX的浓度水平及其O₃生成潜势

曹函玉¹, 潘月鹏², 王辉¹, 谭吉华³, 王跃思^{1,2*}

(1. 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070; 2. 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029; 3. 中国科学院大学地球科学学院, 北京 100049)

摘要: 苯、甲苯、乙苯及二甲苯是典型的人为排放有机物, 不仅危害人体健康还参与对流层的光化学反应, 生成O₃和二次有机气溶胶。为认知北京大气中BTEX的浓度水平, 评估其O₃生成潜势, 于2007年12月~2010年11月使用被动采样和化学分析相结合的方法对BTEX和O₃浓度进行了连续3 a的同步观测。结果表明, 北京城区大气BTEX中甲苯的浓度高达 $(8.7 \pm 3.1) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 其次为苯、乙苯和间对二甲苯, 浓度分别为 (7.1 ± 3.3) 、 (4.2 ± 1.4) 和 $(3.4 \pm 1.5) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。BTEX总浓度在春、夏、秋和冬季的平均值分别为 (16.8 ± 1.4) 、 (24.7 ± 2.8) 、 (25.9 ± 4.9) 和 $(26.8 \pm 12.1) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 冬季苯的浓度全年最高, 而夏季甲苯浓度高于冬季。采用最大增量反应活性方法计算了北京城区大气BTEX夏季O₃生成潜势, 发现间对二甲苯的贡献最大。北京2008、2009和2010年夏季BTEX的O₃生成潜势分别为65.2、60.2和75.7 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 与O₃实际浓度的年际变化趋势一致(同期浓度分别为80.5、65.0和101.9 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。机动车尾气和溶剂挥发是北京城区大气BTEX的主要来源, 冬季苯的浓度可能受取暖燃煤的影响, 夏季溶剂挥发对BTEX影响更大, 并对O₃的生成有一定贡献。

关键词: 大气污染; 被动采样法; 苯系物; O₃生成潜势; 北京

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2065-06

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China

CAO Han-yu¹, PAN Yue-peng², WANG Hui¹, TAN Ji-hua³, WANG Yue-si^{1,2}

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. College of Earth Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Benzene, toluene, ethylbenzene and dimethylbenzene are typical anthropogenic emitted organics in the atmosphere, which not only endanger human health but also actively participate in photochemical reactions, generating O₃ and secondary organic aerosols. In order to investigate the pollution level and its ozone formation potentials, concentrations of BTEX and O₃ were parallel measured by the passive sampler and analyzed using GC-MS and ICS-90 during 2008-2010 in urban Beijing. The results show that toluene was the most abundant compound ($8.7 \pm 3.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), followed by benzene, ethylbenzene and *m/p*-xylene, with concentrations of (7.1 ± 3.3) , (4.2 ± 1.4) and $(3.4 \pm 1.5) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, respectively. Concentrations of BTEX peaked in winter, followed by autumn, summer, and spring, with values of (26.8 ± 12.1) , (25.9 ± 4.9) , (24.7 ± 2.8) and $(16.8 \pm 1.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, respectively. Benzene concentrations were the highest in winter, while for toluene, the concentration was higher in summer than that in winter. Based on the maximum incremental reactivity scale, *m/p*-xylene was found to be the dominant contributor to ozone formation among BTEX. The ozone formation potentials of BTEX in Beijing were 65.2, 60.2, and 75.7 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in 2008, 2009, and 2010, respectively, which were consistent with the measured values of 80.5, 65.0, and 101.9 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ during the corresponding period. Vehicular emission and solvent evaporation were the major sources of BTEX. Concentrations of benzene were affected by coal heating in winter, whereas BTEX concentration was more influenced by solvent evaporation in summer, which had an important contribution to the formation of O₃ in urban Beijing.

Key words: atmospheric pollution; passive sampling; BTEX; ozone formation potentials; Beijing

苯系物, 包括苯、甲苯、乙苯、邻/间/对二甲苯, 合称BTEX, 是挥发性有机物(VOCs)的重要组成部分, 在城市大气VOCs中占有重要份额; 其来源主要包括机动车排放、石油化工生产过程和燃煤^[1]。大气中BTEX危害人体健康, 其中苯是致癌性物质, 甲苯、乙苯及二甲苯具有致突变和致畸作用。即使

在浓度较低条件下, 它们也会对人体和动物的肺和

收稿日期: 2012-09-11; 修订日期: 2012-12-04

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05100100); 国家自然科学基金项目(41230642, 41021004)

作者简介: 曹函玉(1984~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持与荒漠化防治, E-mail: caohy@dq.cern.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: wys@mail.iap.ac.cn

肾脏造成损害^[2]。据世界卫生组织估计,城市人口终生暴露在苯浓度为 $1.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的情况下,会导致十万分之一患白血病的几率^[3]。目前欧盟规定了大气中苯的年均值浓度小于 $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,我国还没有明确的限值。BTEX 还具有较高的光化学反应活性,能与大气中的 OH、HO₂ 及 NO₃ 等自由基发生光化学反应,不仅生成大气中重要的光化学污染物 O₃,还导致二次有机气溶胶(SOA)的形成^[4],进一步造成环境污染和影响气候变化。因此,BTEX 在大气中的浓度水平及变化规律引起了科学家和公众的普遍重视。发达国家的研究结果一般表明机动车尾气排放是城区 BTEX 的主要来源^[3,5~7]。国内对大气苯系物的研究主要集中在珠江三角洲、长江三角洲以及京津冀地区^[2,8,9],研究结果普遍认为我国 BTEX 来源更加复杂,除了汽车尾气,清洗喷涂、建筑装修和石油化工等行业均会有大量 BTEX 排放。

快速的经济发展和城市化进程使得北京大气污染呈现复合型大气污染特征^[10]。据统计,北京机动车保有量从 1991 年的 50 万增加到 2011 年的 500 万^[3],由于油品、道路和老旧机动车存在诸多问题,使得北京机动车尾气中 BTEX 浓度较高;当冬季来临,取暖仍主要依赖于燃煤的北京,大气中 BTEX 会出现显著增高^[6,11]。北京地区现有文献报道的 BTEX 数据主要来源于罐采样-深冷浓缩-GC/MS 分析,每周 1~2 次采样,或是每个季节连续 1 个月采样^[6,11],其优点是快捷方便,监测的化学物种多;缺点是时间间隔长、时空代表性差、成本也较高。本研究使用被动采样法,成本低、容易操作。累积式被动采样具有较强的季节代表性,适用于多点联网采样、季节变化分析和源解析研究。本研究报道了笔者连续 3 a(2008~2010 年)对北京大气 BTEX 的采样分析结果,探讨其浓度水平和 O₃ 生成潜势,以为北京市大气污染防治提供部分科学参考。

1 材料与方法

1.1 采样点布设

观测站设在中国科学院大气物理研究所铁塔分部院内(39°58'N,116°22'E),位于北京市北三环和北四环之间,南距三环路约 1 km,东向 200 m 处为南北走向的八达岭高速公路,北向 100 m 处为东西走向的北土城西路。采样点设在院内中国生态系统研究网络(CERN)大气分中心办公楼(二层)的楼顶,距离地面高度 8 m。

1.2 采样方法及样品测定

利用意大利“分析家”(Analyst)个体被动采样器收集 BTEX 和 O₃,2007 年 12 月~2010 年 11 月 3 a 间每月采样一次,获得有效样品数 138 组。有关被动采样器的采样原理和样品分析方法见文献[12,13]。每月月初更换新的被动采样膜片,累积采样一个月后,将装有膜片的采样器小瓶冷藏保存至分析。分析前,先将样品恢复至室温,然后向被动采样器小瓶内注入 3 mL CS₂(或 CH₂Cl₂)萃取剂,静置萃取 6 h 后,用移液枪转移 1.5 mL 萃取液至样品瓶中封存,然后用微量注射器取 1~2 μL 萃取液,注射到气相色谱(GC/FID)或气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行 BTEX 定量分析。

2008~2009 年样品采用的是 GC/FID 分析方法,条件如下:GC/FID,型号 DSQ II;分离柱为极性毛细管色谱柱,型号为 CPWAX(30 m×0.53 mm×1.0 μm);不分流模式,200℃,载气为氮气,流速 $1.7 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,柱箱程序升温:50℃稳定 5 min,以 $15^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温到 160℃稳定 5 min,以 $6^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温到 280℃稳定 2 min;FID 检测器,空气流量 $350 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,氢气流量为 $35 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,氮气流量为 $10 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$;外标曲线定量,该气相色谱仪的检测限验证参见文献[14]。

为了兼顾对样品中其它组分的测试,2010 年样品分析改用 GC/MS 法,条件如下:GC/MS,型号 Agilent5972;色谱柱 HP-5(50 m×0.25 mm×5.0 μm),色谱条件:不分流模式,250℃,柱箱程序升温:35℃稳定 4 min,20℃·min⁻¹升温到 80℃稳定 2 min,8℃·min⁻¹升温到 120℃稳定 1 min,15℃·min⁻¹升温至 250℃稳定 1 min,氮作为载气,恒压模式,柱前压 35 psi。质谱条件:离子源 200℃,EI 方式,电离能为 70 eV,电子倍增器电压 1 200 V(自调),45~200 u 全扫描,外标曲线定量。经测试,500 cm³ 的 25×BTEX 的标准气体捕集浓缩进样量,仪器信噪比可达 5:1;标准品 12 次平行进样,平均相对偏差 <5%。本观测研究大气中 BTEX 含量一般可达到 10⁻⁹(体积分数),被动膜片累计采集气体远远大于 500 cm³,仪器系统的灵敏度和稳定性完全符合观测要求。两种方法采用同一批标准试剂测试,5 组样品测试相对偏差(CV 值)小于 5%。两种方法测定同一组数据融合性很好,无显著性差异。

本研究数据分析时季节划分如下:每年 3、4、5 月为春季,6、7、8 月为夏季;9、10、11 月为秋季;12、1、2 月为冬季。观测时间是 2007 年 12 月开始,2010 年 11 月结束。为方便统计,将 2007-12~2008-

11 定义为 2008 年、2009 和 2010 年依次类推。

2 结果与讨论

2.1 北京城区大气 BTEX 浓度水平

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 浓度的逐月变化特征如图 1 所示。从中可以看出, 甲苯通常是 BTEX 中浓度最高的组分, 占 BTEX 总量的 39%, 其浓度变化范围是 3.8 ~ 17.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 观测期间的平均浓度是 8.7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。苯的浓度水平仅次于甲苯, 约占 BTEX 总浓度的 30%, 其浓度变化范围是 2.9 ~ 18.0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 观测期间的平均浓度是 7.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。乙苯约占 BTEX 总浓度的 17%, 其浓度变化范围为 2.5 ~ 8.5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 观测期间的平均浓度为 4.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。间对二甲苯的浓度最低, 其浓度变化范围为 1.2 ~ 8.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 观测期间的平均浓度为 3.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。BTEX 的平均浓度由高到低的顺序为: 甲苯 > 苯 > 乙苯 > 间对二甲苯。

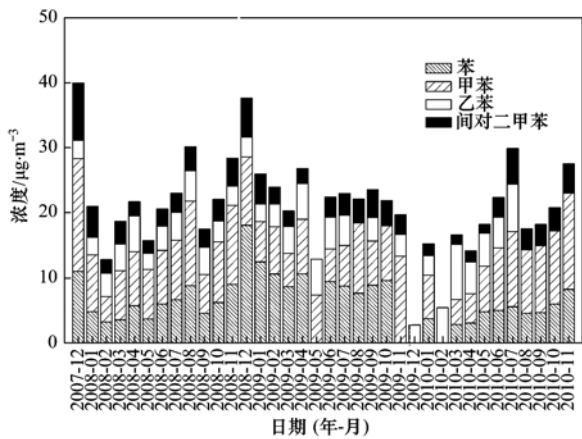


图 1 北京 2008 ~ 2010 年 BTEX 的逐月浓度变化特征
Fig. 1 Seasonal variations of BTEX during 2008-2010 in Beijing

表 1 北京 2008 ~ 2010 年 BTEX 浓度水平的季节变化/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 1 Average concentrations of BTEX during 2008-2010 in Beijing/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$					
季节	苯	甲苯	乙苯	间对二甲苯	BTEX
冬季	9.5 ± 4.4	8.9 ± 4.4	3.9 ± 0.8	4.5 ± 2.6	26.8 ± 12.1
春季	5.3 ± 1.1	6.6 ± 1.0	2.9 ± 0.2	2.0 ± 0.4	16.8 ± 1.4
夏季	6.9 ± 0.1	9.3 ± 1.8	5.0 ± 0.7	3.5 ± 0.3	24.7 ± 2.8
秋季	7.3 ± 1.3	10.2 ± 2.9	4.7 ± 0.6	3.6 ± 0.3	25.9 ± 4.9

2.3 和其它城市研究结果的比较

表 2 列出了北京与国内外其它城市大气环境中 BTEX 浓度水平。虽然表中各城市在气候、采样点环境、采样时间以及分析方法等方面存在差异, 但本研究结果和其它城市仍然具有一定可比性。由表 2 可见, 本研究中北京大气 BTEX 浓度(2009 年苯除外)没有明显的年际差异, 年均浓度和北京其它文

2.2 北京城区大气 BTEX 浓度的季节变化

由图 1 可以看出北京城区大气 2008 ~ 2010 年 BTEX 浓度有明显的季节变化。受气象条件演化、季节更替和排放源变化的影响, 2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度具有一定的季节波动性, 表现为冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季(表 1), 其浓度分别为(26.8 ± 12.1)、(25.9 ± 4.9)、(24.7 ± 2.8)和(16.8 ± 1.4) $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。这与 2008 年 9 月 ~ 2010 年 8 月在北四环和北五环之间观测到的北京大气 BTEX 的季节变化特征基本一致, 冬、秋、春和夏季平均浓度分别为 31.9、27.2、23.2 和 19.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ [15]。

图 2 为北京 2008 ~ 2010 年气象条件和 BTEX 浓度的季节变化。从中可以看出, 冬季 BTEX 浓度高于其他季节, 其主要原因是冬季北方城市采暖燃煤排放出更多的 BTEX, 尤其是 2009 年冬季, 大气中苯的浓度几乎一直高于甲苯, 并成为年度最高值; 其次是北京冬季频繁的逆温天气, 混合层高度低, 地面污染和高架源排放的大气污染均不宜垂直扩散, 冬季愈加寒冷, 往往大气中 BTEX 浓度愈高。秋季 BTEX 的浓度略低于冬季, 一方面北京的秋季为一年中雾霾高发季节, 易出现污染物长时间积累; 另一方面秋季温度、光照显著低于夏季, 光化学汇降低。夏季高温使溶剂中的 BTEX 挥发, 造成源强度增大, 同时强烈的光照使光化学反应增强, 造成汇也增加, 平衡的结果仍造成夏季北京较高的 BTEX 浓度。从 3 a 的观测结果分析, 北京城区大气 BTEX 冬、秋、夏季平均浓度并无十分显著的差异, 但冬季的变异高于其它季节, 说明冬季排放源和气象条件存在很大的变化。春天的较高风速可能是 BTEX 浓度出现低值的重要原因。

献报道结果相当[11, 16]。和国内其他城市相比, 北京的 BTEX 污染状况优于广州、台北和香港(甲苯除外)[17~19]。广州和台北的甲苯和二甲苯显著高于本研究, 可能与这两个城市发达的工业生产有关, 而北京工业生产影响相对较小。同国外城市相比, 北京 BTEX 浓度略高于比利时安特卫普, 但低于土耳其科喀艾里(苯除外), 这和科喀艾里的工业排放密不

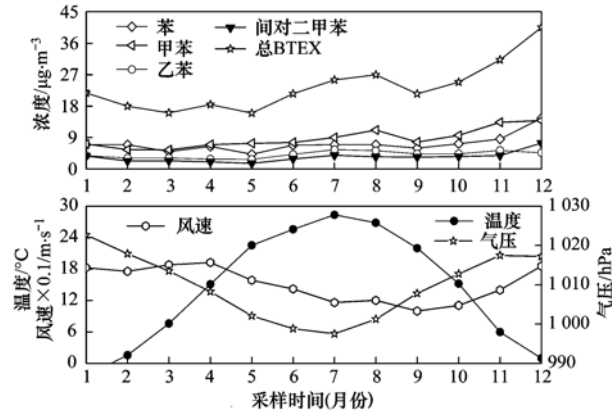


图2 北京2008~2010年BTEX季节变化浓度

Fig. 2 Seasonal variations of BTEX concentrations and associated meteorological conditions during 2008-2010 in Beijing

表2 和其它城市BTEX浓度的比较/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Comparisons of BTEX in Beijing with other cities/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

城市	采样时间	苯	甲苯	乙苯	间对二甲苯
北京(本研究)	2007-12~2008-11	6.1	9.3	3.6	3.1
北京(本研究)	2008-12~2009-11	10.5	7.9	4.1	3.6
北京(本研究)	2009-12~2010-11	4.9	8.9	4.8	2.9
北京 ^[11]	2008-10~2009-10	4.4	7.0	2.7	4.2
北京 ^[16]	2008-10~2009-10	7.3	8.1	3.1	3.4
广州 ^[17]	2005-04	8.8	37.6	8.3	13.2
台北 ^[18]	1998-08	10.3	88.1	12.3	38.5
香港 ^[19]	1999-04~2000-04	4.9	28.8	3.1	3.2
安特卫普,比利时 ^[4]	2003-06~2003-09	1.6	7.0	0.9	2.3
科喀艾里,土耳其 ^[20]	2006-07	2.3	35.5	9.7	36.9
科鲁那,西班牙 ^[8]	2000-11~2000-12	3.4	23.6	3.3	5.1
里约热内卢,巴西 ^[21]	2002-04~2003-02	1.1	4.8	3.6	10.4

来源^[2, 11],但北京大气 B/T 在冬季 1~2 月很高(>0.8),其来源主要是煤燃烧^[16]. 如表 3 所示,本研究中 2008 年和 2010 年 B/T 分别是 0.66 ± 0.11 和 0.57 ± 0.10 ,接近上述文献报道机动车来源 B/T,且苯和甲苯的相关性较好($R^2=0.9, P<0.001$),表明 2008 年和 2010 年北京大气苯系物(BTEX)主要来源于机动车尾气的排放. 然而,2009 年北京大气 B/T 较高,为 1.47 ± 0.39 ,苯和甲苯的相关性较差. 考虑到 2009 年北京大气 SO_2 的浓度略低于 2008 年^[26],燃煤排放可能不是 2009 年苯系物的主要来源,生物质燃烧、机动车尾气排放、溶剂挥发等其它源的贡献也不可忽视.

甲苯和间对二甲苯既来源于机动车尾气也受溶剂挥发的影响,而苯通常来源于机动车尾气的排放,而非溶剂挥发. 因此,甲苯和苯(T/B)及间对二甲苯和苯($m/p\text{-xylene/B}$)的比值被用作溶剂挥发来源的重要指标^[27]. 表 4 列出了北京 2008~2010 年

可分^[4, 20]. 北京城区大气甲苯和间对二甲苯的浓度也分别低于西班牙的科鲁那和巴西的里约热内卢. 北京城区大气苯的浓度已接近或超过欧盟苯的年均值标准($5\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),建议通过能源结构改善进一步降低北京城区大气中苯的浓度.

2.4 BTEX 的来源分析

苯和甲苯(B/T)的比值可以识别 BTEX 的来源,当 B/T 约为 0.5 时表现为机动车尾气排放的特征^[2, 6, 16, 22, 23],当 B/T 高于 0.8 时可能来源于生物质及燃煤燃烧^[24, 25]. 针对中国 43 个城市挥发性有机物的研究发现 B/T 为 0.6 ± 0.2 ,表明机动车尾气是我国城市大气 BTEX 的主要来源^[23]. 北京大气夏季 B/T 约为 0.70,证实机动车尾气是苯系物的主要

T/B 及 $m/p\text{-xylene/B}$ 比值. 可以看出,夏季和秋季 T/B 及 $m/p\text{-xylene/B}$ 的比值高于春季和冬季,表明北京城区溶剂挥发在夏季和秋季对 BTEX 的影响大于春季和冬季.

表3 北京2008~2010年B/T比值及其相关性

Table 3 Ratios and correlations of benzene with toluene during 2008-2010 in Beijing

年份	回归方程	相关系数 R^2	B/T
2008	$Y_T = 1.3X_B + 1.1$	0.88	0.66 ± 0.11
2009	$Y_T = 0.3X_B + 4.8$	0.14	1.47 ± 0.39
2010	$Y_T = 2.0X_B - 1.0$	0.87	0.57 ± 0.10

表4 北京2008~2010年T/B及m/p-xylene/B季节变化

Table 4 Seasonal variations of T/B and $m/p\text{-xylene/B}$ during 2008-2010 in Beijing

季节	T/B	$m/p\text{-xylene/B}$
春季	1.26	0.38
夏季	1.33	0.50
秋季	1.40	0.50
冬季	0.93	0.47

2.5 O₃ 生成潜势

BTEX 与 OH、HO₂ 及 NO₃ 等自由基发生光氧化反应生成 O₃ 和其它氧化物,导致光化学烟雾的形成. O₃ 形成不仅与 BTEX 浓度有关,而且与其反应活性也有密切联系. 目前对大气挥发性有机物 O₃ 生成潜势的研究方法主要有等效丙烯浓度、OH 反应活性和增量反应活性等. 增量反应活性 (maximum incremental reactivity, MIR) 能够综合衡量各挥发性有机物的反应活性,使用较为广泛. 本研究采用 MIR 研究苯系物的 O₃ 生成潜势 (OFP), 并用来识别高反应活性物质^[28].

OFP 为每种 VOCs 的质量浓度 (μg·m⁻³) 和相应 MIR 系数 (单位浓度 VOCs 浓度所能生成 O₃ 的最大浓度) 的乘积^[29].

表 5 列出了北京 2008 ~ 2010 年夏季苯、甲苯、乙苯及间对二甲苯的 OFP. 从中可知,间对二甲苯对北京大气夏季 OFP 贡献最大,其次是甲苯,贡献最小的是苯,这和国外研究的 OFP 一致^[4,30]. 已有研究表明,VOCs 中对 OFP 有较大贡献的是苯系物、烷烃和烯烃,其中苯系物对北京大气夏季 OFP 贡献达 34% 以上^[15,31].

表 5 北京大气 2008 ~ 2010 年夏季 OFP/μg·m⁻³

Table 5 OFP during summer seasons of 2008-2010 in Beijing/μg·m⁻³

组分	MIR ^[29]	OFP		
		2008 年	2009 年	2010 年
苯	0.4	3.0	3.6	2.1
甲苯	2.7	27.3	19.8	27.9
乙苯	2.7	11.8	11.8	16.9
间对二甲苯	7.4	23.0	25.0	28.7

结合图 3 可知,北京 2008、2009 和 2010 年夏季 BTEX 的 OFP 分别为 65.2、60.2 和 75.7 μg·m⁻³,

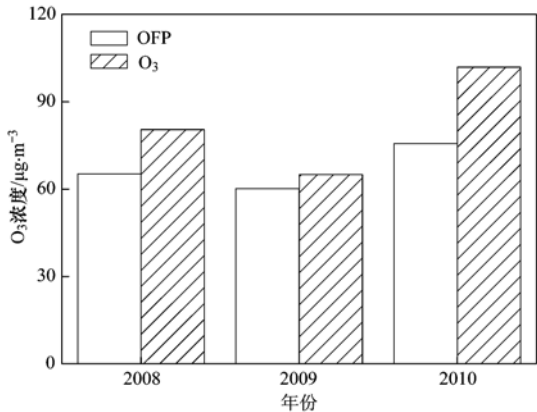


图 3 北京 2008 ~ 2010 年夏季 OFP 与实测 O₃ 浓度的比对

Fig. 3 Comparison between OFP and ozone concentration during summer seasons of 2008-2010 in Beijing

与 O₃ 夏季实际浓度的年际变化趋势一致 (同期浓度分别为 80.5、65.0 和 101.9 μg·m⁻³). 将北京大气 2008 ~ 2010 年 4 ~ 8 月 OFP 和实测 O₃ 浓度进行统计分析 (图 4), 两者的相关系数为 0.52 (P < 0.05), 表明 BTEX 对 O₃ 的生成有一定贡献. 由于机动车尾气和煤燃烧是北京大气苯系物的主要来源^[2], 采取适当措施加以控制能有效地减少苯系物对北京城区大气的污染, 进一步减少 O₃ 及 SOA 的生成.

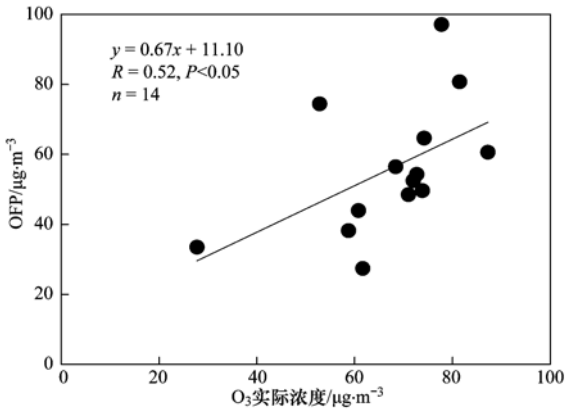


图 4 北京 2008 ~ 2010 年 4 ~ 8 月 OFP 与实测 O₃ 浓度的相关性

Fig. 4 Relationship between OFP and ozone concentration during summer seasons of 2008-2010 in Beijing

3 结论

(1) 北京大气 BTEX 中甲苯的浓度最高 (8.7 ± 3.1) μg·m⁻³, 其次为苯、乙苯和间对二甲苯, 分别为 (7.1 ± 3.3)、(4.2 ± 1.4) 和 (3.4 ± 1.5) μg·m⁻³.

(2) BTEX 总浓度春、夏、秋和冬季平均值分别为 (16.8 ± 1.4)、(24.7 ± 2.8)、(25.9 ± 4.9) 和 (26.8 ± 12.1) μg·m⁻³, 冬季苯的浓度全年最高, 而夏季甲苯浓度高于冬季.

(3) 采用 MIR 方法估算的北京城区大气 OFP 和采用被动法观测的实际 O₃ 浓度变化趋势基本一致, 其中间对二甲苯对 OFP 贡献最大.

(4) 机动车尾气和溶剂挥发是北京城区大气 BTEX 的主要来源, 冬季苯的浓度可能更多地受取暖燃煤的影响, 夏季溶剂挥发对 BTEX 影响更大, 并对 O₃ 的生成有一定贡献. 采取适当措施控制以上来源能有效地减少苯系物对北京城区大气的污染, 进一步减少 O₃ 及 SOA 的生成.

致谢: 感谢中国科学院大气物理研究所胡波、吴丹、刘子锐、唐贵谦、王迎红和温天雪博士在论文撰写中提供的相关气象数据及修改意见, 感谢李杏茹、孙杰博士和吴方堃工程师协助采样并协助分

析样品和数据处理.

参考文献:

- [1] 邵敏, 赵美萍, 白郁华, 等. 北京地区大气中非甲烷碳氢化合物(NMHC)的人为源排放特征研究[J]. 中国环境科学, 1994, **1**(14): 6-12.
- [2] Duan J C, Tan J H, Yang L, *et al.* Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (VOCs) during ozone episode in Beijing [J]. *Atmospheric Research*, 2008, **88**(1): 25-35.
- [3] Buczyńska A J, Krata A, Stranger M, *et al.* Atmospheric BTEX-concentrations in an area with intensive street traffic [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(2): 311-318.
- [4] Hoque R R, Khillare P, Agarwal T, *et al.* Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India [J]. *Science of the Total Environment*, 2008, **392**(1): 30-40.
- [5] Król S, Zabiegała B, Namieśnik J. Measurement of benzene concentration in urban air using passive sampling [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011, **403**(4): 1-16.
- [6] Fernandez-Villarrenaga V, López-Mahía P, Muniategui-Lorenzo S, *et al.* C1 to C9 volatile organic compound measurements in urban air [J]. *Science of the Total Environment*, 2004, **334**: 167-176.
- [7] Caselli M, De Gennaro G, Marzocca A, *et al.* Assessment of the impact of the vehicular traffic on BTEX concentration in ring roads in urban areas of Bari (Italy) [J]. *Chemosphere*, 2010, **81**(3): 306-311.
- [8] 张俊刚, 王跃思, 吴方堃, 等. 北京市大气中 BTEX 工作日与非工作日的浓度变化 [J]. *环境化学*, 2009, **28**(1): 112-116.
- [9] 魏山峰, 滕曼, 付强, 等. 车辆限行前后奥运场馆附近空气中苯系物污染特征与来源 [J]. *中国环境监测*, 2008, **23**(6): 48-52.
- [10] 辛金元, 王跃思, 唐贵谦, 等. 2008 年奥运期间北京及周边地区大气污染物消减变化 [J]. *科学通报*, 2010, **55**(15): 1510-1519.
- [11] 孙杰, 王跃思, 吴方堃. 北京市 BTEX 的污染现状及变化规律分析 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3531-3536.
- [12] 吴丹, 王跃思, 潘月鹏, 等. 被动采样法观测研究京津冀区域大气中气态污染物 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(12): 2844-2851.
- [13] 吴光英, 刘峰磊, 邹强, 等. “分析家”被动采样器在区域空气质量评估中的应用 [J]. *污染防治技术*, 2006, **19**(4): 67-68.
- [14] 王跃思, 孙扬, 徐新, 等. 大气中痕量挥发性有机物分析方法研究 [J]. *环境科学*, 2005, **26**(4): 18-23.
- [15] Zhang Y J, Mu Y J, Liu J F, *et al.* Levels, sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, **24**(1): 124-130.
- [16] 王宇亮, 张玉洁, 刘俊锋, 等. 2009 年北京市苯系物污染水平和变化特征 [J]. *环境化学*, 2011, **30**(2): 412-417.
- [17] Tang J, Chan L, Chan C, *et al.* Characteristics and diurnal variations of NMHCs at urban, suburban, and rural sites in the Pearl River Delta and a remote site in South China [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(38): 8620-8632.
- [18] Wu B Z, Chang C C, Sree U, *et al.* Measurement of non-methane hydrocarbons in Taipei city and their impact on ozone formation in relation to air quality [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2006, **576**(1): 91-99.
- [19] Ho K F, Lee S C. Identification of atmospheric volatile organic compounds (VOCs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and carbonyl compounds in Hong Kong [J]. *Science of the Total Environment*, 2002, **289**(1-3): 145-158.
- [20] Pekey B, Yilmaz H. The use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey [J]. *Microchemical Journal*, 2011, **97**(2): 213-219.
- [21] Martins E M, Arbilla G, Bauerfeldt G F, *et al.* Atmospheric levels of aldehydes and BTEX and their relationship with vehicular fleet changes in Rio de Janeiro urban area [J]. *Chemosphere*, 2007, **67**(10): 2096-2103.
- [22] Tan J H, Guo S J, Ma Y L, *et al.* Characteristics of atmospheric non-methane hydrocarbons in Foshan City, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, **183**(1): 297-305.
- [23] Barletta B, Meinardi S, Sherwood Rowland F, *et al.* Volatile organic compounds in 43 Chinese cities [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(32): 5979-5990.
- [24] Andreae M O, Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, **15**(4): 955-966.
- [25] Moreira dos Santos C Y, de Almeida Azevedo D, de Aquino Neto F R. Atmospheric distribution of organic compounds from urban areas near a coal-fired power station [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(9): 1247-1257.
- [26] Lin W, Xu X B, Ma Z Q, *et al.* Characteristics and recent trends of sulfur dioxide at urban, rural, and background sites in North China: Effectiveness of control measures [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, **24**(1): 34-49.
- [27] Tan J H, Guo S J, Ma Y L, *et al.* Non-methane Hydrocarbons and Their Ozone Formation Potentials in Foshan, China [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2012, **12**(3): 96-107.
- [28] 张俊刚, 王跃思, 王珊, 等. 京津地区大气中非甲烷烃(NMHCs)质量浓度水平和反应活性研究 [J]. *环境科学研究*, 2008, **21**(5): 158-162.
- [29] Carter W P L. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1994, **44**(7): 881-889.
- [30] Na K, Moon K C, Kim Y P. Source contribution to aromatic VOC concentration and ozone formation potential in the atmosphere of Seoul [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(30): 5517-5524.
- [31] 吴方堃, 王跃思, 安俊琳, 等. 北京奥运时段 VOCs 浓度变化, 臭氧产生潜势及来源分析研究 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 10-16.

CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH ₃ , N ₂ O, CH ₄ and CO ₂ Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO ₂ Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation of the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Huai-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, GAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H ₂ O ₂ Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrained the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by δ -MnO ₂	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Phosphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe ²⁺ on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototoxic Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr ⁶⁺ and Hg ²⁺	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp TM	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- β -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

《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)

2013年6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人