

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.11

第40卷 第11期

目次

2018年中国长江三角洲地区气溶胶的垂直分布特征	沈吉, 曹念文(4743)
2018年石家庄市秋冬季典型霾污染特征	宿文康, 鲍晓磊, 倪爽英, 赵卫凤(4755)
武汉市PM _{2.5} 化学组分时空分布及聚类分析	张会涛, 田瑛泽, 刘保双, 杨佳美, 郁佳, 官攀, 吴建会, 张裕芬(4764)
郑州市某生活区大气PM _{2.5} 中重金属污染特征及生态、健康风险评估	何瑞东, 张轶舜, 陈永阳, 靳孟洁, 韩士杰, 赵金帅, 张瑞芹, 燕启社(4774)
厦门市降水中金属元素含量分布特征及来源解析	王珊珊, 程奕枫, 颜金培, 胡恭任(4783)
2015~2017年上海郊区大气新粒子生成特征	霍俊涛, 王新宁, 段玉森, 伏晴艳, 陈冰怡(4791)
太原市秋冬季大气污染特征和输送路径及潜在源区分析	闫世明, 王雁, 郭伟, 李莹, 张逢生(4801)
东北区域空气质量时空分布特征及重度污染成因分析	陈卫卫, 刘阳, 吴雪伟, 鲍秋阳, 高枳亭, 张学磊, 赵红梅, 张世春, 修艾军, 程天海(4810)
艾比湖流域气溶胶光学厚度时空演变及影响因素	陈香月, 丁建丽, 王敬哲, 葛翔宇, 梁静(4824)
中国住宅室内BTEX浓度水平及其影响因素	侯贝贝, 尹奕卉, 裴晶晶, 刘俊杰(4833)
石家庄地区芳香族化合物的污染特征及来源分析	杨阳, 李杏茹, 刘永桥, 杨玉磊, 赵清, 陈曦, 徐静(4841)
郑州市碳素行业无组织VOCs排放特征分析及健康风险评估	张轶舜, 王佳, 韩士杰, 何瑞东, 陈永阳, 靳孟洁, 赵庆炎, 张瑞芹, 燕启社(4847)
典型化工行业有害VOCs排放清单及长三角地区应用	鲁君, 黄奕玮, 黄成(4856)
2013~2017年江苏省人为源氨排放清单的建立及特征	侯新红, 于兴娜, 沈丽, 赵睿东, 王国祯, 张毓秀(4862)
焦化厂建构筑物和生产设施表面PAHs的赋存特征及健康风险	赵一澍, 廖晓勇, 李尤, 罗俊鹏, 龚雪刚, 侯艺璇(4870)
中国南海流沙湾中雄激素、糖皮质激素和孕激素的污染特征及其生态风险评价	杨雷, 张晋娜, 徐敏, 彭涛, 史文俊, 石义静, 应光国(4879)
岩溶流域洪水过程水化学动态变化及影响因素	原雅琼, 孙平安, 苏钊, 于爽, 钟丽华, 何师意, 徐茜(4889)
长江水体常量和微量元素的来源、分布与向海输送	吴文涛, 冉祥滨, 李景喜, 王昊, 李梦露, 刘军, 臧家业(4900)
望虞河西岸河网重金属污染特征及生态风险评价	徐晨, 王沛芳, 陈娟, 袁秋生, 胡斌(4914)
不同雨强对太湖河网河道入湖营养盐负荷影响	陈洁, 朱广伟, 许海, 詹旭, 朱梦圆, 宣文怡, 黄亚文(4924)
合肥市十八联圩湿地表层沉积物营养盐与重金属分布及污染评价	陈娜, 许凡, 谢三桃, 郭天星, 彭久赞, 雷琦, 张玮, 王丽卿(4932)
三峡库区不同河段支流丰水期叶绿素a和营养盐的空间分布特征	杨凡, 杨正健, 纪道斌, 苏青青, 龙良红, 刘心愿, 王耀耀, 赵冲(4944)
丹江口水库氮磷内源释放对比	王志齐, 刘新星, 姚志宏, 姚伦广, 常跃, 刘卓初, 曹连海(4953)
不同沉水植物净水能力与植株体细菌群落组成相关性	李琳, 岳春雷, 张华, 李贺鹏, 杨乐, 王琄(4962)
纳米氧化锌粒径对人工湿地性能及微生物群落的影响	王森, 任伶, 刘琳琳, 李颖, 张振, 孔范龙(4971)
水生植物生物炭去除水体中氮磷性能	刘舒蕾, 彭慧君, 杨佳怡, 肖琳(4980)
MgO改性莲蓬壳生物炭的制备及其磷吸附特性	王盛华, 朱丹晨, 邵敬爱, 向家涛, 杨海平, 易娟, 张世红, 陈汉平(4987)
微塑料对短流程膜工艺中膜污染的影响	王博东, 薛文静, 吕永涛, 苗瑞, 马百文(4996)
基于铁锰泥的除硝颗粒吸附剂制备及其比较	曾辉平, 于亚萍, 吕赛赛, 李冬, 张杰(5002)
氯氧铁非均相催化过氧化氢降解罗丹明B	张少朋, 陈瑞, 白淑琴, 刘锐平(5009)
天津市规模化奶牛养殖场废水中典型抗生素处理效果及生态风险评估	陈乾, 赵润, 牟美睿, 白鸽, 史宏伟, 刘海学, 吴惠惠(5015)
废水处理系统中抗生素抗性基因分布特征	姚鹏城, 陈嘉瑜, 张永明, 温东辉, 陈吕军(5024)
全程自养脱氮耦合反硝化除磷的启动及稳定运行	印雯, 陈亚, 张钰, 徐乐中, 吴鹏, 刘文如(5032)
FeCl ₃ -生化耦合技术调控未知诱因的污泥膨胀	魏东洋, 肖才林, 周雯, 李睿华, 曹茜(5040)
污泥龄对除磷亚硝化颗粒系统的影响	李冬, 刘博, 王文琪, 曹美忠, 李帅, 张杰(5048)
厌氧氨氧化耦合反硝化工艺的启动及微生物群落变化特征	宋壮壮, 吕爽, 刘哲, 时兴东, 潘傲, 张智(5057)
基质暴露水平对ANAMMOX微生物活性及生物量的影响	陈方敏, 高佳琦, 黄勇, 胡羽婷, 李祥, 顾澄伟, 谈新伟, 殷记强, 方文辉, 倪敏(5066)
太浦河流域农田土壤重金属污染特征与来源解析	李伟迪, 崔云霞, 曾撑撑, 朱永青, 彭月, 王凯, 李士俊(5073)
土壤重金属污染风险筛选值划分方法:以Cd为例	王锐, 张风雷, 徐姝姝, 张永文(5082)
半壁山金矿矿业活动区砷赋存的矿物特征及其对农田土壤砷累积的影响	温其谦, 阎秀兰, 申俊峰, 李鸣凤(5090)
土壤调理剂对镉污染稻田修复效果	周利军, 武琳, 林小兵, 王惠明, 刘晖, 张鸿燕, 胡敏, 石利萍, 张云, 黄欠如(5098)
改性蒙脱土对稻田土壤甲基汞的阻控修复	韩怡新, 何天容, 王祖波(5107)
铈锰改性生物炭对土壤As的固定效应	梁婷, 李莲芳, 朱昌雄, 叶婧(5114)
温和预氧化提高后续生物修复石油污染土壤	徐金兰, 王慧芳, 王荣, 章秋菊, 王杰(5124)
重金属污染农田生菜根际重金属固定细菌群落组成及其阻控效应	王铁军, 苏楠楠, 雷鹏, 邱明洋, 陈兆进, 姚伦广, 韩辉(5133)
双氰胺和3,4-二甲吡唑磷酸盐对蔬菜种植土壤氨氧化细菌和古菌的影响	郭俊丽, 刘毅, 魏文学, 葛体达, 王光军(5142)
不同再生水灌溉方式对土壤-辣椒系统中细菌群落多样性及病原菌丰度的影响	崔丙健, 高峰, 胡超, 李中阳, 樊向阳, 崔二革(5151)
黄土高原地区两种土地利用方式CO ₂ 和N ₂ O排放特征	韩佳乐, 郝珊, 刘振杰, 张曼, 张阿凤(5164)
生物炭对华北平原4种典型土壤N ₂ O排放的影响	张秀玲, 孙贇, 张水清, 岳克, 曹红亮, 林杉(5173)
优化施肥模式对我国热带地区水稻-豇豆轮作系统N ₂ O和CH ₄ 排放的影响	胡玉麟, 汤水荣, 陶凯, 何秋香, 田伟, 秦兴华, 伍延正, 孟磊(5182)
《环境科学》征订启事(4995)	
《环境科学》征稿简则(5039)	
信息(4782, 4979, 5056)	

中国住宅室内 BTEX 浓度水平及其影响因素

候贝贝, 尹奕卉, 裴晶晶*, 刘俊杰

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 2016年12月~2017年12月在全国5个气候区的223户民用住宅中进行不同季节入户, 对空气中污染物采样, 并对苯系物(苯、甲苯、二甲苯和乙苯)浓度进行分析。苯、甲苯、二甲苯和乙苯的算术平均浓度分别为6.78、17.4、17.68和9.87 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。相比其他国家室内苯系物浓度, 中国室内苯系物浓度稍高; 我国相关标准对于室内苯系物浓度的标准限值远高于其他国家和组织的标准限值。在众多影响室内苯系物浓度的因素中, 主要分析了装修完工时间、吸烟和做饭频率与苯系物浓度的相关性。结果表明, 室内苯系物浓度仅在装修后2 a内有明显地降低; 与装修完工时间呈不显著的负相关关系; 装修程度一致时, 吸烟和不吸烟家庭中室内苯系物浓度无显著性差异, 但吸烟时散发的苯可能更易于以二手烟的形式存在室内, 长期室内苯的贡献率大于甲苯; 做饭时产生的挥发性有机物主要是烷烃和醛酮类, 而房间中苯系物浓度与做饭频率的相关性不大。

关键词: 可挥发性有机物(VOCs); 苯系物; 甲苯浓度; 暴露时间; 标准限值

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)11-4833-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201905047

Concentration Levels and Impact Factors of Benzene Series in Chinese Residential Building

HOU Bei-bei, YIN Yi-hui, PEI Jing-jing*, LIU Jun-jie

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: From December 2016 to December 2017, the concentrations of the benzene series (benzene, toluene, xylene, and ethylbenzene) in air were analyzed in 223 residential buildings in five climatic regions of China during different seasons. The arithmetic average concentrations of benzene, toluene, xylene, and ethylbenzene were 6.78, 17.4, 17.68, and 9.87 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Indoor benzene series concentrations in China were slightly higher than that in other countries; the standard limits for indoor benzene series concentrations in China are much higher than those of other countries and organizations. Among the many factors affecting the concentration of the benzene series in the rooms, the relationship between the completion time of decoration, smoking, and cooking frequency and the concentration of benzene homologues was studied. The results showed that the concentration of toluene decreased with the prolongation of decoration time, the concentration of benzene in smoking households was higher than that in non-smoking families, and there was no direct correlation between cooking frequency and indoor concentration of the benzene series. The study provides statistical data on exposure to the benzene series in decorated homes and a discussion of setting values of relevant standards.

Key words: volatile organic compounds(VOCs); benzene series; toluene concentration; exposure time; standard limit

世界卫生组织在2002年世界卫生报告中明确将室内空气污染、高血压、高胆固醇及肥胖症等共同列为人类健康的10大威胁, 室内空气污染被列为影响公众健康的世界最大危害之一^[1]。近年来, 随着我国经济的发展和人民生活水平的提高, 室内装饰装修已在生活中不可避免, 同时装修也带来了各种健康隐患, 室内装修和建筑材料释放的有害物质是造成室内空气甲醛和苯系物等污染的主要原因^[2,3]。吸烟和厨房油烟产生的污染物也是中国住宅室内不可忽略的污染源, 其与室内污染物的关系有待研究。

以往对室内苯系物浓度的研究不在少数, 但往往仅关注某一个城市或地区, 且多针对新装修房子, 如甲苯的平均浓度^[4,5]从173.2~200.13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 杜正建等^[4]的研究结果表明, 新装修包括新的装修材料、溶剂的使用和新家具是室内苯系物的主要来源。相比而言, 全国范围室内苯系物浓度的调查及苯系物与吸烟和做饭频率相关性的研究较

少。本研究重点考察了室内苯系物的污染状况, 并提供了关于装修装饰后的住宅中苯系物暴露的统计数据以及相关标准的设定值讨论。

1 材料与方法

1.1 研究对象

为了解中国住宅室内空气的污染状况, 2016年12月~2017年12月, 在全国5个气候区选取装修完工后1~20 a的住宅223所, 进行不同季节的多次入户室内空气采样, 采样点包括客厅、卧室及厨房。住宅的地理位置、数量及各地区1 a室内的平均温度和平均相对湿度见表1。室内温度、湿度数据采用Ikair在线长期监测和统计得到。

收稿日期: 2019-05-07; 修订日期: 2019-06-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51678397); 国家重点研发计划项目(2016YFC0700500)

作者简介: 候贝贝(1995~), 女, 硕士, 主要研究方向为室内空气质量, E-mail: hbeibei@tju.edu.cn

* 通信作者, E-mail: jpei@tju.edu.cn

表 1 各地区一年室内平均温度和平均相对湿度¹⁾

Table 1 Average annual temperature and relative humidity in each region									
地区	N	春		夏		秋		冬	
		T/℃	RH/%	T/℃	RH/%	T/℃	RH/%	T/℃	RH/%
昆明	29	20.82	42.9	25.33	64	20.43	52.9	18.08	45.1
长沙	18	27.65	58.4	26.19	74	22	59	15.91	65.9
重庆	24	21.4	69.8	29.48	59.7	21.57	77.3	14.32	66.2
上海	16	22.18	59.3	29.05	59.6	23.11	67.3	17.68	61.9
西安	26	25.63	49.3	28.08	61.6	19.25	50.9	21.55	37.8
天津	21	24.17	46.9	29.33	61.6	22.51	52.6	23.58	—
新疆	26	24.33	46.6	28.32	48.3	25.21	38.4	22.92	34.3
沈阳	35	25.04	48.1	29.73	61.9	21.81	50.5	23.36	24.4

1) N 为居室数量; T 为室内平均温度; RH 为室内平均相对湿度

1.2 问卷调查

采用自制问卷调查的方法,对住宅装修情况、居住习惯等进行调查.问卷内容包括房子的建成年代、装修完工时间、内部主要功能房间(客厅、卧

室、厨房)的主要装修材料以及家具材质;居住习惯包括做饭习惯(做饭频率、做菜方式和种类、使用燃料等)和吸烟习惯(吸烟量、吸烟的位置等).其中表 2 给出了详细的住宅基本特征信息.

表 2 各地区住宅的基本特征/%

Table 2 Basic characteristics of houses surveyed in each region/%								
项目	昆明 (N = 29)	长沙 (N = 18)	重庆 (N = 29)	上海 (N = 16)	西安 (N = 26)	天津 (N = 21)	新疆 (N = 26)	沈阳 (N = 35)
房子年龄	< 1 a	—	—	—	—	—	4	—
	1 ~ 5 a	69	22	58	8	23	29	31
	6 ~ 20 a	17	56	42	44	58	48	27
	21 ~ 35 a	3	—	—	—	15	19	8
	35 a 以上	—	—	13	8	—	5	—
装修后时间	< 1 a	—	—	29	6	4	5	4
	1 ~ 5 a	83	72	46	44	23	67	58
	6 ~ 10 a	10	17	13	31	23	10	19
	10 a 以上	7	6	—	6	23	14	12
做饭燃料	天然气	59	78	96	88	62	86	77
	电	31	6	4	—	12	5	—
	煤气	7	6	—	6	23	10	—
做饭频率	0 ~ 5 次	41	67	29	56	12	10	23
	6 ~ 11 次	24	—	21	13	27	19	19
	12 ~ 17 次	21	—	21	13	54	38	27
	18 ~ 23 次	14	22	25	13	8	29	19
吸烟行为	不吸烟	72	78	88	94	58	67	50
	经常在家吸烟	17	—	4	—	23	24	19

1.3 采样和分析方法

空气中可挥发性有机物的采样按照国标进行^[6],采样前关闭门窗等通风设施 12 h,记录采样时温度、湿度和气压.采用 Tenax-TA 管和空气采样泵(北京劳动保护研究所)对室内空气主动采样 20 min,流量为 0.5 L·min⁻¹.取样完成后,用铝箔密封 Tenax-TA 管并立即送回实验室进行分析.在整个取样期间,门窗均关闭.

采用气相色谱质谱(GC/MS)法对 BTEX(苯、甲苯、二甲苯和乙苯)浓度进行了分析.先采用二次液氮冷阱热解吸器(TD, Markes TD-100, Ltd.)对样品解吸,然后用带有质谱仪(MS, Inc. Agilent

7890B)的气相色谱仪(GC, Ltd. PERSEE M7-80EI)进行分析.色谱柱类型为 DB-INNOWAX [60 m × 0.25 mm(i. d.) × 0.25 μm],且采用无分流进样.离子源和界面温度分别为 230℃ 和 200℃.GC 的初始温度保持在 50℃ 持续 2 min,然后以 9℃·min⁻¹的速率升高至 130℃,持续 1 min,再以 10℃·min⁻¹的速率提高到 240℃,最后保持 10 min(共 33 min).以氦作为载体气体,流量为 1.2 mL·min⁻¹.质谱仪在选定的离子监测(SIM)模式和扫描模式(质量范围为 35 ~ 400 u)下运行.

1.4 质量保证

每月采用外部标准方法对 BTEX 浓度进行质量

保证. 分别采用 0.02、0.05、0.08、0.1、0.2、0.5、0.8 和 1.0 μg 的甲苯标准值到得到一条校准曲线, 其 R^2 高于 99%. 为了防止运输过程中对空气样品造成的污染, 在每次试验中, 都取一根空白样品管进行分析, 现场空白样品的采集和空气样品的采集是同时进行的. 此外, 还定期对 BTEX 回收率进行抽样检查. 在统计分析中, 低于测量检测限 (MDLs) 或未被检测到的 BTEX 水平与半数的测量检测限一起被分离.

1.5 数据分析

采用独立样本 t 检验对室内的苯系物浓度与有无长期吸烟习惯行为的均值差异在统计学上的显著性进行检验; 对装修完工时间、做饭频率与室内苯系物浓度的相关性采用了 Spearman 相关分析方法. 一般来说, $P < 0.05$ 显示差异有统计学意义. 所有的统计分析均采用软件 SPSS 24.0 实现.

2 结果与分析

2.1 苯系物浓度水平

表 3 给出了全国 223 户住宅室内的苯系物浓度值. 苯、甲苯、二甲苯和乙苯的算术平均浓度分别为 6.78、17.4、17.68 和 9.87 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 可以看到, 住宅室内苯系物浓度分布范围较大, 在 0 ~ 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 范围内都有分布, 因为本次研究没有特意关注新装修住宅, 房子装修时间在 1 ~ 20 a 分布, 这更能反映中国住宅内的普遍状况.

表 3 全国 223 户住宅室内苯系物浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 3 Concentration value of the benzene series in 223 houses in China/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

项目	算术平均值	几何平均值	标准差	中位数	最小值	最大值
苯	6.78	4.00	8.08	3.96	0.24	64.14
甲苯	17.40	11.43	20.12	11.66	0.29	214.37
二甲苯	17.68	8.87	32.62	8.73	0.33	300.00
乙苯	9.87	3.51	29.92	3.41	0.18	300.00

图 1 为本研究和以往针对室内苯系物浓度的研究结果^[7-28], 其中数据均为新装修(装修后时间 $\leq 4\text{a}$)的住宅室内浓度. 从中可以看出, 除乙苯外, 以往对国内住宅室内 BTX 浓度的研究结果均高于本研究和对国外住宅室内浓度的研究结果, 而本次测试的 BTEX 浓度水平与国外室内的苯系物浓度水平相一致. 产生这种差异的可能原因是: 以往对国内和国外住宅苯系物浓度的调查年份主要集中在 1999 ~ 2010 年, 在 1990 ~ 2010 年间, 中国的城市化面积、复合木地板和城市空调设备的销售量等均呈现指数上升趋势^[29], 显著改变了住宅室内污染物的浓度^[30], 而本次调查时间为 2016 ~ 2017 年,

人员安全意识的提高促进了环保材料和室内净化产品的使用, 可能使得苯系物浓度低于以往的国内住宅室内浓度; 而国外对于室内苯系物浓度的标准限值低于国内^[31].

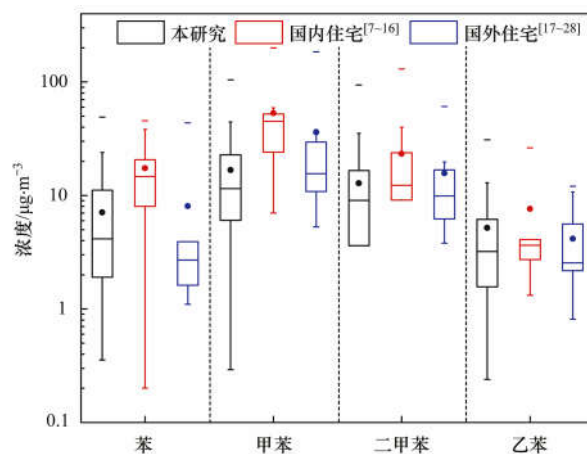


图 1 国内外室内苯系物平均浓度水平比较

Fig. 1 Comparison of average concentration of the benzene series in China and abroad

室内苯系物污染的来源不仅包括室内材料及人员活动, 也包括室外空气. 一些发达国家如英国、加拿大和德国等, 室内苯、甲苯和二甲苯的含量与室外的浓度基本一致, 室外苯系物主要来源于汽车尾气排放和工业燃料的燃烧^[32,33]; 在中国, 有相关研究表明我国一般住宅室外苯、甲苯、二甲苯和乙苯浓度范围分别为: 4 ~ 7、9 ~ 11、3 ~ 4 和 6 ~ 7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[34,35], 这与本研究的室内苯系物浓度水平一致. 但交通主干道大气中的苯、甲苯和二甲苯浓度范围分别为: 15 ~ 25、60 ~ 65 和 20 ~ 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 且研究表明观测区域的苯和甲苯主要来源于机动车尾气排放^[36,37], 表明经过长时间以后, 室内苯系物浓度可能同时受到室内源和室外源的影响.

2.2 室内苯系物浓度与温湿度的相关性

各地区不同温湿度下室内苯系物平均浓度见图 2 和图 3, 温湿度均为采样时的室内实测数据. 从图 2 可以看出, 各个地区的室内 BTEX 浓度主要分布在 3 ~ 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间, 温度的升高并没有使室内苯系物浓度明显增加; 同样, 从图 3 可以看出, 室内 BTEX 浓度与湿度也没有直接的相关性. 丁桂艳等^[38]的结果表明: 房间内挥发性有机污染物经过 2 个月左右的散发后, 浓度会有大幅度地降低, 房间内剩余的污染物浓度比较小. 因此, 可能室内苯系物散发 1 a 或者 2 a 后, 室内剩余的苯系物浓度已经足够低, 导致温湿度对其影响不大. 相比之下, 笔者之前对于室内甲醛浓度的研究^[39]结果表明, 随着温度的升高, 室内甲醛的浓度也明显升高, 但

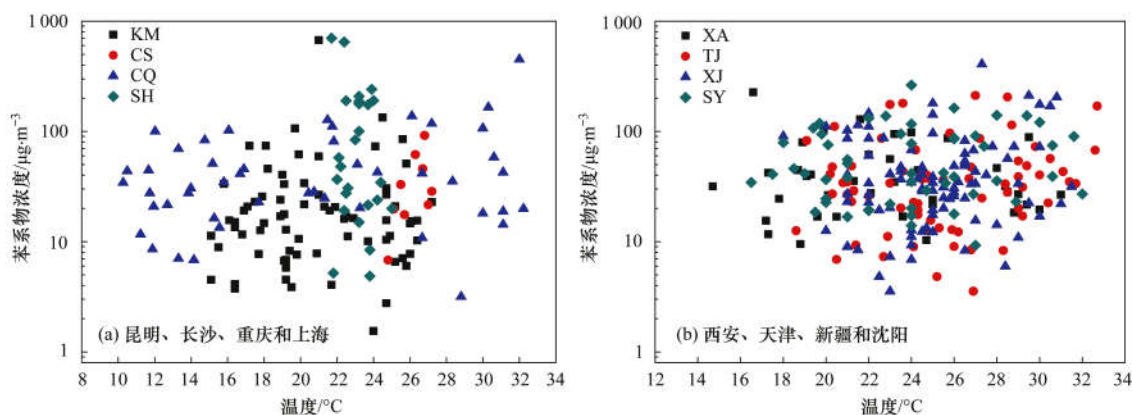


图2 各地区室内 BTEX 浓度随温度的变化

Fig. 2 Variation in indoor BTEX concentration with temperature in different regions

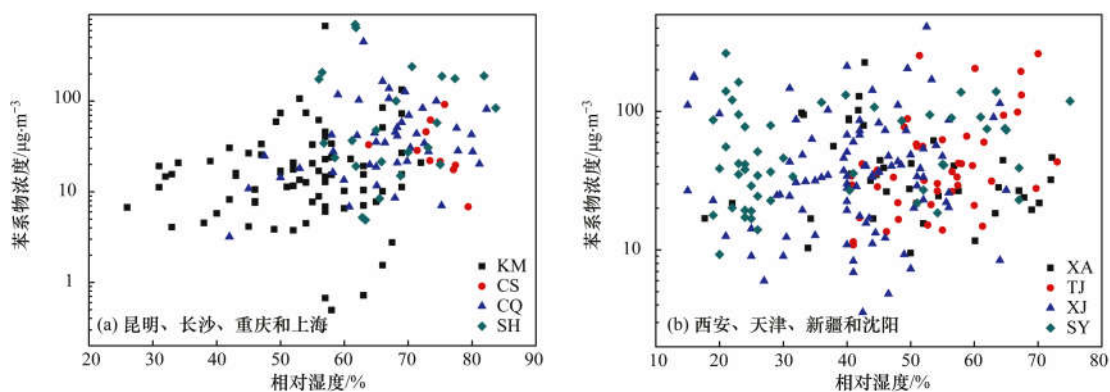


图3 各地区室内 BTEX 浓度随湿度的变化

Fig. 3 Variation in indoor BTEX concentration with relative humidity in different regions

苯系物并没有类似的规律。

2.3 室内苯系物浓度与装修时间、吸烟和做饭频率的相关性

2.3.1 装修完工时间与苯系物浓度的相关性

图4给出了不吸烟家庭的室内苯、甲苯、二甲苯和乙苯浓度随装修后时间的变化趋势,其中苯($R = -0.517$, $P = 0.08$)、甲苯($R = -0.483$, $P = 0.112$)、二甲苯($R = -0.063$, $P = 0.846$)和乙苯($R = -0.112$, $P = 0.729$)浓度均与装修后时间成负相关关系,但从统计学意义上看无显著性差异。从图中也可以看到,装修后2 a内,室内苯系物浓度有明显的下降;装修后2 a以上,苯系物浓度与装修后的时间关系不大,但有个别样本超高现象,这说明可能有其他特殊的污染源。刘晓途等^[40]的研究发现:住宅室内的主要空气污染物为甲醛、甲苯和二甲苯等装修型污染物;新装修住宅室内各种污染物均呈现较高的浓度水平;除甲醛外,其他挥发性有机物随着竣工时间的推移而快速下降,这与本研究中装修后2 a内的室内苯系物浓度明显下降结果一致。

2.3.2 吸烟与苯系物浓度的相关性

众所周知,苯、甲苯、二甲苯和乙苯与吸烟环

境有关。图5显示了吸烟家庭和不吸烟家庭的室内苯系物浓度,可以看到,装修后2 a内,吸烟家庭的苯和甲苯平均浓度高于不吸烟家庭,而吸烟家庭的二甲苯和乙苯没有高于不吸烟家庭的,在装修后0~2 a内,室内苯系物浓度在吸烟与不吸烟家庭中的显著性分别为 $P = 0.906$ (苯)、 $P = 0.906$ (甲苯)、 $P = 0.732$ (二甲苯)和 $P = 0.514$ (乙苯);装修后2 a以上的室内苯系物浓度与是否吸烟没有直接的相关性。因为本次研究在采样期间,室内并没有吸烟活动,但人员之前在房间内有长期吸烟行为,这可能说明了三手烟^[41]的长期影响。Charles等^[42]的研究结果表明:香烟的烟气中苯和甲苯的散发量最多;虽然吸烟时甲苯的散发量高于苯,但是甲苯的挥发速度高于苯,而苯更易于以三手烟的形式吸附在室内,这可能导致长期室内苯的贡献率大于甲苯。

2.3.3 做饭频率与苯系物浓度的相关性

对于中国家庭,在家里做饭是很常见的行为,而厨房油烟是室内污染气体的来源之一,对居住者的身体健康有着较大的影响,本次研究也对厨房油烟与房间内苯系物浓度之间的相关性进行了分析。苯($P = 0.06$)、甲苯($P = 0.12$)、二甲苯($P =$

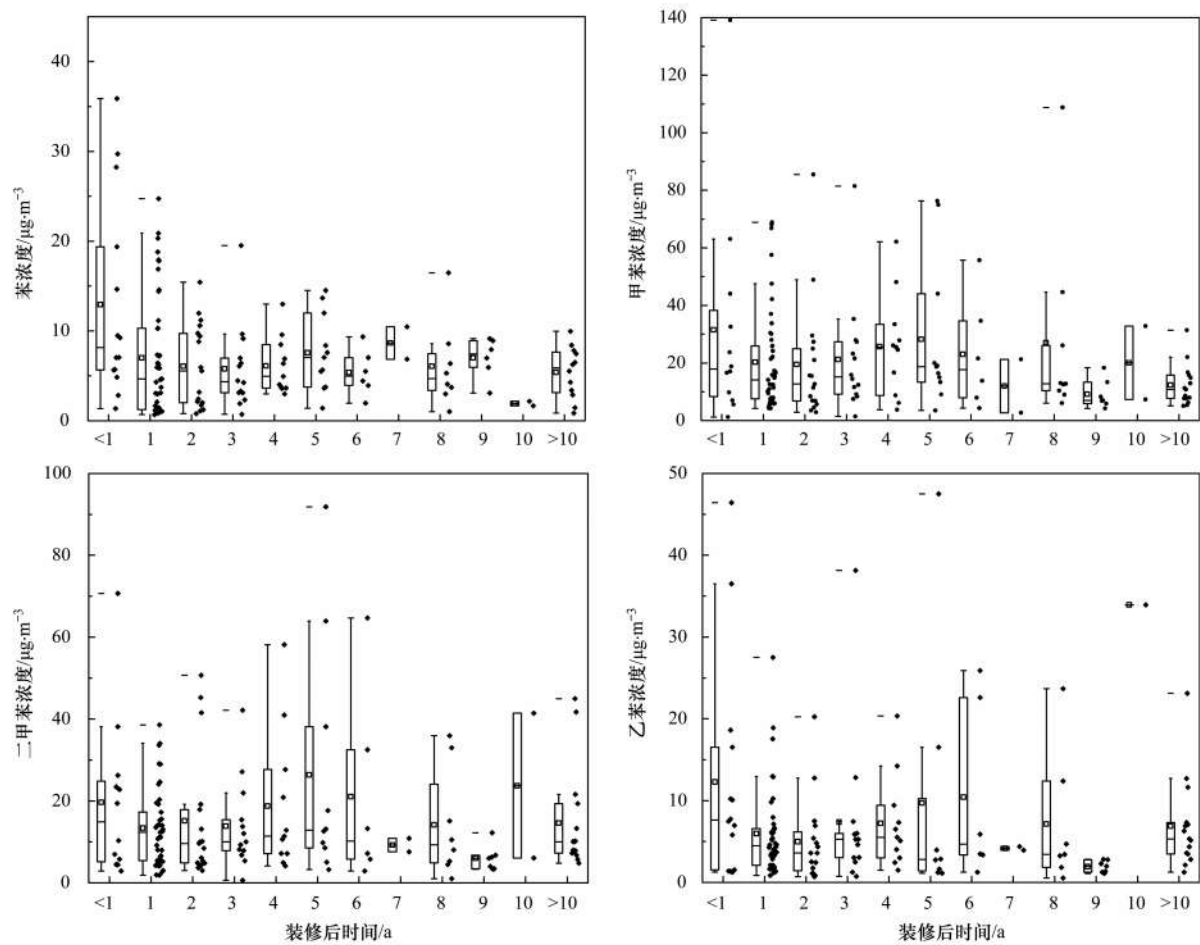


图 4 不吸烟家庭室内 BTEX 浓度随装修后时间的变化

Fig. 4 Variation in indoor BTEX concentration in non-smoking houses with time after decoration

0.085) 和乙苯 ($P = 0.276$) 浓度与做饭频率之间均无显著性差异, 不同的做饭频率对应的苯、甲苯、二甲苯和乙苯的浓度见图 6. 可以看出, 做饭频率与室内苯系物浓度之间没有明显的关系变化. Wang 等^[43]对厨房做饭时散发的 VOC 种类进行了研究, 结果表明: 烷类是主要的 VOC 污染物, $51.26\% \pm 23.87\%$ 的烷类和 $24.33\% \pm 11.69\%$ 的 O-VOCs 在做饭散发的 VOC 中占主导地位; 煎炸食物产生的醛类也占一定的主导地位. 这表明做饭产生的主要是烷烃类和醛酮类, 房间中苯系物浓度与做饭频率相关性不大.

3 国内外室内苯系物浓度标准及比较

国内外有关卫生组织、协会对室内苯系物浓度的限值见表 4. 《室内空气质量》(GB/T 18883-2002) 对室内苯、甲苯和二甲苯的限值分别是 110、200 和 200 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. 但国内标准是短期 (1 h) 限值, 尚没有室内 24 h 或长期暴露的 BTEX 参考浓度, 1 h 限值对急性效应有一定的保护作用, 但长期暴露可能有更高的健康风险. 本研究的结果表明: 在 223 个家庭中, 仅有 1 户甲苯浓度和 2 户二甲苯浓度超过《室内空气质量》标准限值. 与国内不同, 其他国

表 4 国内外有关室内苯系物标准¹⁾

Table 4 Indoor standards for the benzene series at home and abroad

标准	限值/ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$				暴露时间
	苯	甲苯	二甲苯	乙苯	
《室内空气质量》(GB/T 18883-2002)	110	200	200	—	1 h
WHO/Europe	无安全水平	—	—	—	—
CA OEHHA REL(加利福尼亚健康危害评估处)	27	37 000	22 000	—	1 h(急性)
	3	300	700	2 000	年平均
State of California Maximum Allowable VOC Concentration Limits(加利福尼亚允许的 VOC 最大浓度)	30	150	350	1 000	—
EC INDEX(2005)(欧盟委员会 INDEX 项目)	无安全水平	1 500	2 000	—	短期暴露限值
	—	300	200	—	长期暴露限值

1) “—”表示无相关数据

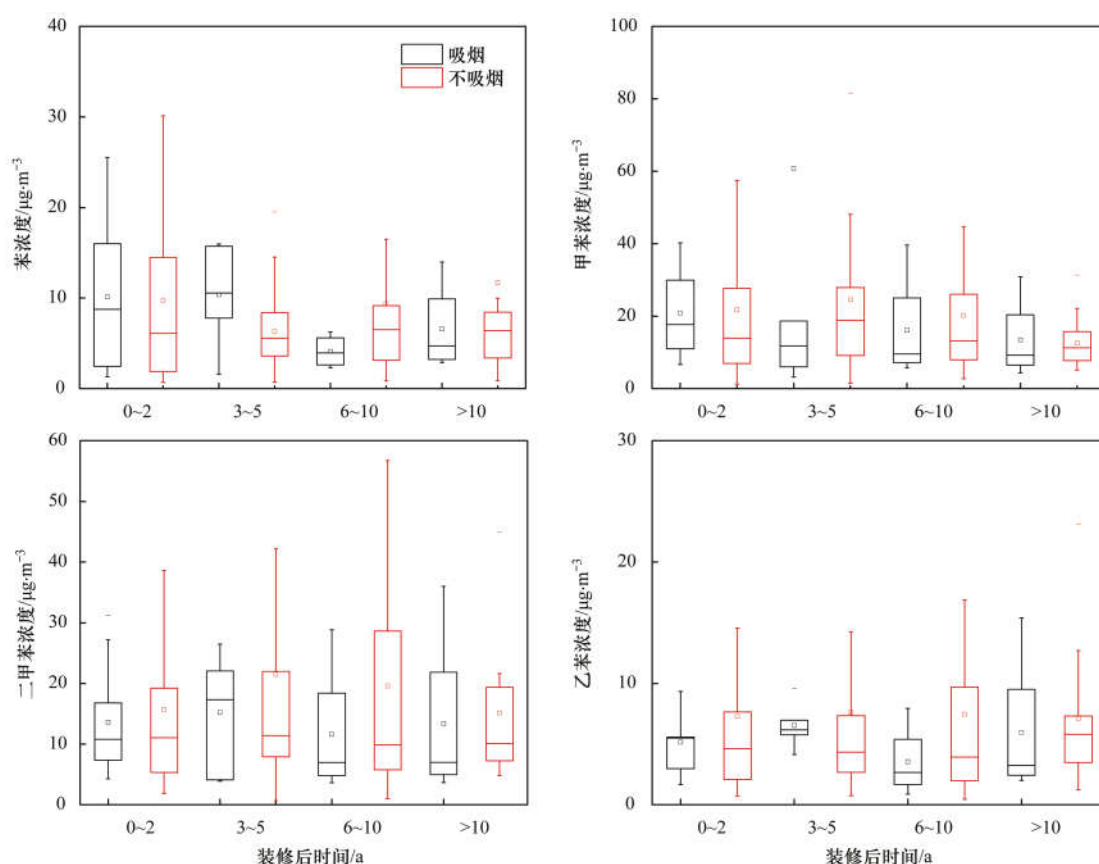


图 5 不同装修程度吸烟和不吸烟家庭的室内苯系物浓度水平

Fig. 5 Variation in indoor BTEX concentration with time after decoration

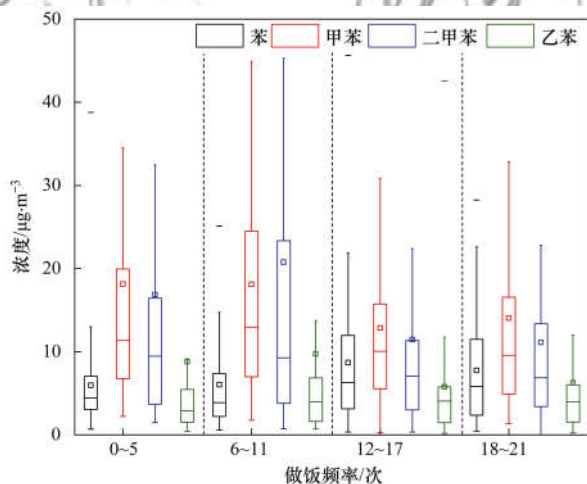


图 6 室内 BTEX 浓度随做饭频率的变化

Fig. 6 Variation in indoor BTEX concentration with cooking frequency

家或组织的标准是长期暴露限值,而且要远低于中国标准,如世界卫生组织(WHO)没有对室内苯浓度规定限值,认为空气中只要存在苯,就会对人体健康产生影响。依据文献^[6],对于苯、甲苯和二甲苯有 95%~98% 的样本达标,但其实有 62% 的样本苯浓度已超过 OEHHA 长期暴露标准值 $3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。文献^[6]中也指出要保证暴露情况下的健康影响,也应当考虑苯系物长期暴露的危害。

4 结论

(1) 全国室内苯、甲苯、二甲苯和乙苯的平均浓度分别为: 6.78 、 17.4 、 17.68 和 $9.87 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 其中有 95%~98% 的 BTEX 浓度低于国内标准 1 h 均值。

(2) 中国对室内苯系物浓度的标准是短期(1 h)限值,而其他国家或组织的标准限值是长期暴露限值且远低于中国标准。

(3) 装修完工时间、吸烟和做饭频率与室内苯系物浓度的相关性:①室内苯系物浓度仅在装修后 2 a 内有明显的降低;与装修完工时间呈不显著的负相关关系。可能由于室内苯系物散发 1 a 或 2 a 后,室内剩余的苯系物浓度已经足够低,装修时间的长短对其已经没有太大影响。②装修程度一致时,吸烟和不吸烟家庭中室内苯系物浓度无显著性差异,但吸烟时散发的苯可能更易于以三手烟的形式存在于室内,长期室内苯的贡献率大于甲苯。③做饭时产生的挥发性有机物主要是烷烃和醛酮类,而房间中苯系物浓度与做饭频率的相关性不大。

参考文献:

- [1] 白志鹏, 韩旸, 裴著革. 室内空气污染与防治[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. 1-2.

- [2] 张胜军, 姚晓青, 蒋欣. 室内装修后苯、甲苯、二甲苯和甲醛污染调查[J]. 中国环境监测, 2004, **20**(4): 23-24.
- [3] Zhang J F, Smith K R. Indoor air pollution: a global health concern[J]. British Medical Bulletin, 2003, **68**(1): 209-225.
- [4] Du Z J, Mo J H, Zhang Y P, *et al.* Benzene, toluene and xylenes in newly renovated homes and associated health risk in Guangzhou, China[J]. Building and Environment, 2014, **72**: 75-81.
- [5] Dai H X, Jing S G, Wang H L, *et al.* VOC characteristics and inhalation health risks in newly renovated residences in Shanghai, China[J]. Science of the Total Environment, 2017, **577**: 73-83.
- [6] GB/T 18883-2002, 室内空气质量标准[S].
- [7] Guo H. Source apportionment of volatile organic compounds in Hong Kong homes[J]. Building and Environment, 2011, **46**(11): 2280-2286.
- [8] Zhou J A, You Y, Bai Z P, *et al.* Health risk assessment of personal inhalation exposure to volatile organic compounds in Tianjin, China[J]. Science of the Total Environment, 2011, **409**(3): 452-459.
- [9] Lee S C, Li W M, Ao C H. Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong—case study[J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(2): 225-237.
- [10] Liu Q Y, Liu Y J, Zhang M G. Personal exposure and source characteristics of carbonyl compounds and BTEXs within homes in Beijing, China[J]. Building and Environment, 2013, **61**: 210-216.
- [11] Liang W H, Yang C Q, Yang X D. Long-term concentrations of volatile organic compounds in a new apartment in Beijing, China[J]. Building and Environment, 2014, **82**: 693-701.
- [12] 韩文霞. 2008 年安阳市装修居室室内空气污染与入住居民不良反应发生情况调查[J]. 预防医学论坛, 2011, **17**(5): 411-413.
- [12] Han W X. Investigation on indoor air pollution and dwellers' adverse reaction in Anyang City, 2008[J]. Preventive Medicine Tribune, 2011, **17**(5): 411-413.
- [13] 方建龙, 杨旭, 李红, 等. 北京与武汉部分儿童家庭室内空气中甲醛及挥发性有机物调查[J]. 环境与健康杂志, 2014, **31**(7): 585-586.
- [13] Fang J L, Yang X, Li H, *et al.* Survey of formaldehyde and TVOC in indoor air in families with children in Beijing and Wuhan[J]. Journal of Environment and Health, 2014, **31**(7): 585-586.
- [14] Guo H, Lee S C, Li W M, *et al.* Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong [J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(1): 73-82.
- [15] Pu Z N, Huang L H, Yue Y, *et al.* Characteristics of carbonyls in Beijing urban residences: concentrations, source strengths and influential factors[J]. Procedia Engineering, 2015, **121**: 2052-2059.
- [16] Hu R Y, Liu G J, Zhang H, *et al.* Levels, characteristics and health risk assessment of VOCs in different functional zones of Hefei[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, **160**: 301-307.
- [17] Son B, Breyse P, Yang W. Volatile organic compounds concentrations in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea[J]. Environment International, 2003, **29**(1): 79-85.
- [18] Masih A, Lall A S, Taneja A, *et al.* Exposure profiles, seasonal variation and health risk assessment of BTEX in indoor air of homes at different microenvironments of a terai province of northern India[J]. Chemosphere, 2017, **176**: 8-17.
- [19] Su F C, Mukherjee B, Batterman S. Determinants of personal, indoor and outdoor VOC concentrations: an analysis of the RIOPA data [J]. Environmental Research, 2013, **126**: 192-203.
- [20] Azuma K, Uchiyama I, Uchiyama S, *et al.* Assessment of inhalation exposure to indoor air pollutants: screening for health risks of multiple pollutants in Japanese dwellings [J]. Environmental Research, 2016, **145**: 39-49.
- [21] Hinwood A L, Rodriguez C, Runnion T, *et al.* Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities [J]. Chemosphere, 2007, **66**(3): 533-541.
- [22] Shin S H, Jo W K. Volatile organic compound concentrations, emission rates, and source apportionment in newly-built apartments at pre-occupancy stage[J]. Chemosphere, 2012, **89**(5): 569-578.
- [23] Esplugues A, Ballester F, Estarlich M, *et al.* Indoor and outdoor air concentrations of BTEX and determinants in a cohort of one-year old children in Valencia, Spain [J]. Science of the Total Environment, 2010, **409**(1): 63-69.
- [24] Bari A, Kindziarski W B, Wheeler A J, *et al.* Source apportionment of indoor and outdoor volatile organic compounds at homes in Edmonton, Canada[J]. Building and Environment, 2015, **90**: 114-124.
- [25] Schlink U, Rehwagen M, Damm M, *et al.* Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(8): 1181-1190.
- [26] Jia C R, Batterman S, Godwin C. VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods, Part 1: indoor and outdoor concentrations, variation, and risk drivers [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(9): 2083-2100.
- [27] Xu J, Szyzkowicz M, Jovic B, *et al.* Estimation of indoor and outdoor ratios of selected volatile organic compounds in Canada [J]. Atmospheric Environment, 2016, **141**: 523-531.
- [28] Hazrati S, Rostami R, Farjaminezhad M, *et al.* Preliminary assessment of BTEX concentrations in indoor air of residential buildings and atmospheric ambient air in Ardabil, Iran [J]. Atmospheric Environment, 2016, **132**: 91-97.
- [29] Zhang Y P, Mo J H, Weschler C J. Reducing health risks from indoor exposures in rapidly developing urban China [J]. Environmental Health Perspectives, 2013, **121**(7): 751-755.
- [30] Weschler C J. Changes in indoor pollutants since the 1950s[J]. Atmospheric Environment, 2009, **43**(1): 153-169.
- [31] ANSI/ASHRAE 62.1-2013, Ventilation for acceptable indoor air quality (includes ANSI/ASHRAE addenda listed in appendix J) [S].
- [32] 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.
- [33] Sax S N, Bennett D H, Chillrud S N, *et al.* A cancer risk assessment of inner-city teenagers living in New York City and Los Angeles[J]. Environmental Health Perspectives, 2006, **114**(10): 1558-1566.
- [34] Ohura T, Amagai T, Shen X Y, *et al.* Comparative study on indoor air quality in Japan and China: characteristics of residential indoor and outdoor VOCs [J]. Atmospheric Environment, 2009, **43**(40): 6352-6359.
- [35] 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.
- [36] 孟凡昊, 秦敏, 梁帅西, 等. 合肥市典型交通干道大气苯系物的特征分析[J]. *环境科学*, 2018, **39**(9): 4060-4069.
Meng F H, Qin M, Liang S X, *et al.* Characteristics of atmospheric BTX near a main road in Hefei City [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(9): 4060-4069.
- [37] 叶丛雷, 谢品华, 秦敏, 等. 广州市交通主干道空气中苯系物的测量[J]. *环境科学*, 2012, **33**(11): 3718-3724.
Ye C L, Xie P H, Qin M, *et al.* BTX monitoring nearby main road traffic in Guangzhou[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(11): 3718-3724.
- [38] 丁桂艳. 室内装饰材料污染物散发过程的研究[D]. 保定: 华北电力大学(河北), 2009.
- [39] Dai X L, Liu J J, Yin Y H, *et al.* Modeling and controlling indoor formaldehyde concentrations in apartments: on-site investigation in all climate zones of China [J]. *Building and Environment*, 2018, **127**: 98-106.
- [40] 刘晓途, 闫美霖, 段恒轶, 等. 我国城市住宅室内空气挥发性有机物污染特征[J]. *环境科学研究*, 2012, **25**(10): 1077-1084.
Liu X T, Yan M L, Duan H Y, *et al.* Characteristics of indoor volatile organic compounds in urban residential microenvironments in China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2012, **25**(10): 1077-1084.
- [41] 人民网(日本频道). 日本地方政府新规 吸烟后 45 分钟内不准进电梯[EB/OL]. <http://japan.people.com.cn/n1/2018/0330/c35421-29899471.html>, 2018-03-30.
- [42] Charles S M, Batterman S A, Jia C R. Composition and emissions of VOCs in main-and side-stream smoke of research cigarettes[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(26): 5371-5384.
- [43] Wang H L, Xiang Z Y, Wang L N, *et al.* Emissions of volatile organic compounds (VOCs) from cooking and their speciation: a case study for Shanghai with implications for China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **621**: 1300-1309.

环 境 科 学

CONTENTS

Characteristics of Aerosol Vertical Distribution over the Yangtze River Delta Region of China in 2018	SHEN Ji, CAO Nian-wen (4743)
Characteristics of Haze Pollution Episodes During Autumn and Winter in 2018 in Shijiazhuang	SU Wen-kang, BAO Xiao-lei, NI Shuang-ying, <i>et al.</i> (4755)
Spatial Temporal Characteristics and Cluster Analysis of Chemical Components for Ambient PM _{2.5} in Wuhan	ZHANG Hui-tao, TIAN Ying-ze, LIU Bao-shuang, <i>et al.</i> (4764)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Ecological and Health Risk Assessment of Atmospheric PM _{2.5} in a Living Area of Zhengzhou City	HE Rui-dong, ZHANG Yi-shun, CHEN Yong-yang, <i>et al.</i> (4774)
Distribution Characteristics and Sources of Metal Elements in Rainwater in Xiamen	WANG Shan-shan, CHENG Yi-feng, YAN Jin-pei, <i>et al.</i> (4783)
First Long-Term Study of Atmospheric New Particle Formation in the Suburb of Shanghai from 2015 to 2017	HUO Jun-tao, WANG Xin-ning, DUAN Yu-sen, <i>et al.</i> (4791)
Characteristics, Transportation, Pathways, and Potential Sources of Air Pollution During Autumn and Winter in Taiyuan	YAN Shi-ming, WANG Yan, GUO Wei, <i>et al.</i> (4801)
Spatial and Temporal Characteristics of Air Quality and Cause Analysis of Heavy Pollution in Northeast China	CHEN Wei-wei, LIU Yang, WU Xue-wei, <i>et al.</i> (4810)
Spatiotemporal Evolution and Driving Mechanism of Aerosol Optical Depth in the Ebinur Lake Basin	CHEN Xiang-yue, DING Jian-li, WANG Jing-zhe, <i>et al.</i> (4824)
Concentration Levels and Impact Factors of Benzene Series in Chinese Residential Building	HOU Bei-bei, YIN Yi-hui, PEI Jing-jing, <i>et al.</i> (4833)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Aromatic Compounds in Shijiazhuang	YANG Yang, LI Xing-ru, LIU Shui-qiao, <i>et al.</i> (4841)
Emission Characteristics Analysis and Health Risk Assessment of Unorganized VOCs in the Carbon Industry, Zhengzhou	ZHANG Yi-shun, WANG Jia, HAN Shi-jie, <i>et al.</i> (4847)
Hazardous Volatile Organic Compound Emission Inventory Study and Its Application in a Typical Chemical Industry in the Yangtze River Delta	LU Jun, HUANG Yi-wei, HUANG Cheng (4856)
Establishment and Characteristics of an Artificial Ammonia Emissions Inventory in Jiangsu Province from 2013 to 2017	HOU Xin-hong, YU Xing-na, SHEN Li, <i>et al.</i> (4862)
Occurrence Characteristics and Health Risks of PAHs on the Surface of Buildings and Devices in the Coking Plant	ZHAO Yi-shu, LIAO Xiao-yong, LI You, <i>et al.</i> (4870)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Androgens, Glucocorticoids, and Progesterone in the Liusha Bay, South China Sea	YANG Lei, ZHANG Jin-na, XU Min, <i>et al.</i> (4879)
Dynamic Changes in Hydrochemical Characteristics and Influencing Factors in the Karst Watershed Flood Process	YUAN Ya-qiong, SUN Ping-an, SU Zhao, <i>et al.</i> (4889)
Sources, Distribution, and Fluxes of Major and Trace Elements in the Yangtze River	WU Wen-tao, RAN Xiang-bin, LI Jing-xi, <i>et al.</i> (4900)
Contaminant Characteristics and Ecological Risk Assessments of Heavy Metals from River Networks in the Western Area of the Wangyu River	XU Chen, WANG Pei-fang, CHEN Juan, <i>et al.</i> (4914)
Influence of Rainfall Intensity on the Nutrient Loading from an Inflowing River in the Plain River Network of the Taihu Catchment	CHEN Jie, ZHU Guang-wei, XU Hai, <i>et al.</i> (4924)
Distribution and Pollution Assessment of Nutrients and Heavy Metals in Surface Sediments from Shibalianwei Wetland in Hefei, Anhui Province, China	CHEN Shan, XU Fan, XIE San-tao, <i>et al.</i> (4932)
Spatial Distribution Characteristics of Chlorophyll-a and Nutrient Salts in Tributaries of Different River Sections in the Three Gorges Reservoir Area During the Flood Season	YANG Fan, YANG Zheng-jian, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (4944)
Endogenous Release of Nitrogen and Phosphorus in the Danjiangkou Reservoir	WANG Zhi-qi, LIU Xin-xing, YAO Zhi-hong, <i>et al.</i> (4953)
Correlation Between Water Purification Capacity and Bacterial Community Composition of Different Submerged Macrophytes	LI Lin, YUE Chun-lei, ZHANG Hua, <i>et al.</i> (4962)
Size-dependent Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on Performance and Microbial Community Structure of a Constructed Wetland	WANG Sen, REN Ling, LIU Lin-lin, <i>et al.</i> (4971)
Removal of Nitrogen and Phosphorus from Water by Biomass Carbon of Aquatic Plants	LIU Shu-lei, PENG Hui-jun, YANG Jia-yi, <i>et al.</i> (4980)
Preparation of MgO Modified Lotus Shell Biochar and Its Phosphorus Adsorption Characteristics	WANG Sheng-hua, ZHU Dan-chen, SHAO Jing-ai, <i>et al.</i> (4987)
Effects of Microplastics on Membrane Fouling During a Shortened Ultrafiltration Membrane Process	WANG Bo-dong, XUE Wen-jing, LÜ Yong-tao, <i>et al.</i> (4996)
Preparation and Comparison of Arsenic Removal Granular Adsorbent Based on Iron-Manganese Sludge	ZENG Hui-ping, YU Ya-ping, LÜ Sai-sai, <i>et al.</i> (5002)
Catalytic Degradation of Rhodamine B by FeOCl Activated Hydrogen Peroxide	ZHANG Shao-peng, CHEN Yu, BAI Shu-qin, <i>et al.</i> (5009)
Treatment Effect and Ecological Risk Assessment of Typical Antibiotics in Wastewater from Large-scale Dairy Farms in Tianjin	CHEN Qian, ZHAO Run, MOU Mei-rui, <i>et al.</i> (5015)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Wastewater Treatment Plants	YAO Peng-cheng, CHEN Jia-yu, ZHANG Yong-ming, <i>et al.</i> (5024)
Start-up and Stable Operation of CANON Coupled with Denitrifying Phosphorus Removal	YIN Wen, CHEN Ya, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (5032)
Control of Sludge Bulking Caused by Unknown Reason Through FeCl ₃ Coupled with Biochemical Methods	WEI Dong-yang, XIAO Cai-lin, ZHOU Wen, <i>et al.</i> (5040)
Effects of Solid Retention Time on the Phosphorus Removal and Nitrosation Granules System	LI Dong, LIU Bo, WANG Wen-qi, <i>et al.</i> (5048)
Start-up of Simultaneous ANAMMOX and Denitrification Process and Changes in Microbial Community Characteristics	SONG Zhuang-zhuang, LÜ Shuang, LIU Zhe, <i>et al.</i> (5057)
Influence of Substrate Exposure Level on ANAMMOX Microbial Activity and Biomass	CHEN Fang-min, GAO Jia-qi, HUANG Yong, <i>et al.</i> (5066)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Heavy Metals in Farmland Soils in the Taige Canal Valley	LI Wei-di, CUI Yun-xia, ZENG Cheng-cheng, <i>et al.</i> (5073)
Method of Dividing the Value of Soil Heavy Metal Pollution Risk Screening: Using Cd as an Example	WANG Rui, ZHANG Feng-lei, XU Shu-shu, <i>et al.</i> (5082)
Mineral Characteristics of Arsenic in the Active Area of the Banbishan Gold Mine and Its Effect on Arsenic Accumulation in Farmland Soil	WEN Qi-qian, YAN Xiu-lan, SHEN Jun-feng, <i>et al.</i> (5090)
Remediation of Cadmium Contaminated Paddy Fields Using Soil Conditioners	ZHOU Li-jun, WU Lin, LIN Xiao-bing, <i>et al.</i> (5098)
Inhibition and Remediation of Methylmercury Contaminated Soil by Use of Modified Montmorillonite	HAN Yi-xin, HE Tian-rong, WANG Zu-bo (5107)
Cerium-manganese Modified Biochar Immobilizes Arsenic in Farmland Soils	LIANG Ting, LI Lian-fang, ZHU Chang-xiong, <i>et al.</i> (5114)
Improving Bioremediation of Crude Oil-contaminated Soil by Mild Pre-oxidation	XU Jin-lan, WANG Hui-fang, WANG Rong, <i>et al.</i> (5124)
Community Structure of Heavy Metal Immobilized Bacteria in the Lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.) Rhizosphere in Soil Polluted by Heavy Metals and Its Effects on Reducing Heavy Metal Accumulation in Lettuce	WANG Tie-jun, SU Nan-nan, LEI Peng, <i>et al.</i> (5133)
Impact of Dicyandiamide (DCD) and 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate (DMPP) on Ammonia-oxidizing Bacteria and Archaea in a Vegetable Planting Soil	GUO Jun-li, LIU Yi, WEI Wen-xue, <i>et al.</i> (5142)
Effect of Different Reclaimed Water Irrigation Methods on Bacterial Community Diversity and Pathogen Abundance in the Soil-Pepper Ecosystem	CUI Bing-jian, GAO Feng, HU Chao, <i>et al.</i> (5151)
Characteristics of CO ₂ and N ₂ O Emissions Under Two Land Use Types in the Loess Plateau of China	HAN Jia-le, HAO Shan, LIU Zhen-jie, <i>et al.</i> (5164)
Effects of Biochar on N ₂ O Emission from Four Typical Soils in the North China Plain	ZHANG Xiu-ling, SUN Yun, ZHANG Shui-qing, <i>et al.</i> (5173)
Effects of Optimizing Fertilization on N ₂ O and CH ₄ Emissions in a Paddy-Cowpea Rotation System in the Tropical Region of China	HU Yu-lin, TANG Shui-rong, TAO Kai, <i>et al.</i> (5182)