

# 兰州市小学生家庭室内空气甲苯浓度及其影响因素

李盛<sup>1</sup>, 任晓卫<sup>2</sup>, 王金玉<sup>2</sup>, 李普<sup>3</sup>, 吴允萍<sup>1</sup>, 滕铁楠<sup>1</sup>, 王园<sup>1</sup>, 贾清<sup>4</sup>, 牛乐宇<sup>4</sup>, 张展翔<sup>4</sup>, 樊春燕<sup>5</sup>

1. 兰州市第一人民医院, 甘肃 兰州 730050
2. 兰州大学公共卫生学院, 甘肃 兰州 730000
3. 白银市第二人民医院, 甘肃 白银 730900
4. 兰州市疾病预防控制中心, 甘肃 兰州 730030
5. 甘肃中医药大学公共卫生学院, 甘肃 兰州 730000

## 摘要:

**[背景]** 室内环境安全关系着人群健康。近年来室内苯系物的污染逐渐严重, 甲苯作为常见的室内污染苯系物, 对人体危害较大。但是, 关于室内甲苯浓度的影响因素研究较少。

**[目的]** 探讨兰州市住宅内甲苯污染状况及其影响因素。

**[方法]** 选取两个兰州市的环境监测站点, 以距离这两个站点最近的两所小学作为被调查小学, 两所小学中共60户学生家庭作为被调查家庭, 在2018年8—11月(非采暖季)对其进行室内环境问卷调查, 并于2018年8—11月(非采暖季,  $n=60$ )与2019年1—3月(采暖季,  $n=57$ )对其居室室内苯、甲苯以及二甲苯(合称三苯)浓度进行测定。利用配对 $t$ 检验比较采暖季和非采暖季室内三苯浓度的差异, 对不同居室特征下采暖季和非采暖季室内甲苯浓度的差异分别进行单因素分析, 利用多重线性回归对室内污染物甲苯的影响因素进行多因素分析。

**[结果]** 非采暖季: 苯、甲苯、二甲苯平均质量浓度(后简称浓度)分别为 $0.009$ 、 $0.009$ 、 $0.003 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 三苯浓度均未超标。采暖季: 甲苯平均浓度为 $0.283 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 苯和二甲苯平均浓度分别为 $0.008$ 、 $0.001 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; 有2户住宅甲苯浓度超标, 超标率为3.5%, 苯和二甲苯均未超标。配对 $t$ 检验结果显示采暖季和非采暖季室内甲苯和二甲苯浓度之间的差异均有统计学意义( $t=5.283$ ,  $P=0.023$ ;  $t=12.700$ ,  $P=0.001$ ), 室内苯浓度差异无统计学意义( $t=0.213$ ,  $P>0.05$ )。单因素分析结果显示, 在采暖季, 房屋所在楼层 $\leq 7$ 、房屋近五年内无装修、房屋出现发霉的居室室内甲苯浓度高于房屋楼层 $>7$ 、有装修、无发霉者( $P<0.05$ ); 但房屋累计使用时间、房屋与机动车道的距离、室内是否有地毯、室内是否使用空调、开窗通风频率、平均每周在家做饭次数不同与室内甲苯浓度的关系均无统计学意义( $P>0.05$ )。多重线性回归分析结果显示房屋出现发霉现象与采暖季室内甲苯浓度呈正相关关系( $b=2.968$ ,  $P=0.003$ ); 其他变量与室内甲苯浓度的关系均没有统计学意义( $P>0.05$ ); 在非采暖季, 单因素和多因素分析结果显示, 以上各变量与室内甲苯浓度的关系均无统计学意义( $P>0.05$ )。

**[结论]** 兰州市住宅内苯系物污染较轻, 室内甲苯浓度升高与房屋发霉相关。

**关键词:** 居室特征; 室内; 甲苯; 苯系物; 影响因素

**Indoor air toluene exposure and its influencing factors in family houses of primary school students in Lanzhou** LI Sheng<sup>1</sup>, REN Xiao-wei<sup>2</sup>, WANG Jin-yu<sup>2</sup>, LI Pu<sup>3</sup>, WU Yun-ping<sup>1</sup>, TENG Tienan<sup>1</sup>, WANG Yuan<sup>1</sup>, JIA Qing<sup>4</sup>, NIU Le-yu<sup>4</sup>, ZHANG Zhan-xiang<sup>4</sup>, FAN Chun-yan<sup>5</sup> (1.The First People's Hospital of Lanzhou City, Lanzhou, Gansu 730050, China; 2.School of Public Health, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3.Baiyin Second People's Hospital, Baiyin, Gansu 730900, China; 4.Lanzhou Center for Disease Prevention and Control, Lanzhou, Gansu 730030, China; 5.School of Public Health, Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730000, China)

## Abstract:

**[Background]** Indoor environment safety is related to people's health. In recent years, indoor pollution of benzenes has been increasingly serious. Toluene, a common indoor benzenes pollutant, is very harmful to human health. However, there are few studies on the influencing

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20110

## 基金项目

兰州市科技计划指导性项目(2019-ZD-15); 兰州市城关区人才创新项目(2018-9-3)

## 作者简介

李盛(1976—), 男, 本科, 主任医师; E-mail: 1178708407@qq.com

## 通信作者

李盛, E-mail: 1178708407@qq.com

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-03-13

录用日期 2020-07-15

文章编号 2095-9982(2020)09-0872-05

中图分类号 R12

文献标志码 A

## 引用

李盛, 任晓卫, 王金玉, 等. 兰州市小学生家庭室内空气甲苯浓度及其影响因素[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(9): 872-876.

## 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20110

## Funding

This study was funded.

## Correspondence to

LI Sheng, E-mail: 1178708407@qq.com

Competing interests None declared

Received 2020-03-13

Accepted 2020-07-15

## To cite

LI Sheng, REN Xiao-wei, WANG Jin-yu, et al. Indoor air toluene exposure and its influencing factors in family houses of primary school students in Lanzhou[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(9): 872-876.

## Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20110

factors of indoor toluene concentration.

**[Objective]** This study investigates toluene contamination in residences in Lanzhou City and its influencing factors.

**[Methods]** Two primary schools nearest to the two environmental monitoring stations in Lanzhou were selected as study sites, and 60 students from the two schools were selected as study subjects and completed a questionnaire on indoor environment from August to November 2018 (non-heating season). The indoor benzene, toluene, and xylene concentrations in their residences were measured from August to November 2018 (non-heating season) and from January to March 2019 (heating season). Paired *t*-test was employed to compare the differences in indoor benzene, toluene, and xylene concentrations between heating and non-heating periods, single factor analysis for the differences in indoor toluene concentrations under different room characteristics between heating and non-heating periods, and multiple linear regression analysis for potential influencing factors of indoor toluene.

**[Results]** The mean concentrations of benzene, toluene, and xylene in non-heating period were 0.009, 0.009, and 0.003 mg·m<sup>-3</sup>, respectively, and all were qualified according to the national indoor air quality limits. The mean concentrations of these chemicals in heating period were 0.008, 0.283, and 0.001 mg·m<sup>-3</sup>, respectively; the indoor toluene concentration of two residences exceeded relevant national limit, and the unqualified rate was 3.5%; benzene and xylene were both qualified. The paired *t*-test results showed significant differences in indoor toluene and xylene concentrations between heating and non-heating seasons (*t*=5.283, *P*=0.023; *t*=12.700, *P*=0.001), except indoor benzene (*t*=0.213, *P*>0.05). The results of single factor analysis showed that the indoor toluene concentrations in heating period were higher in residences on floor ≤7, renovated in recent five years, and with indoor molds than those on floor >7, not renovated, and without molds (*P*<0.05), but not different among those categorized by cumulative time of residence in use, residence proximity to driveway, indoor carpet, air conditioning, frequency of opening windows, and frequency of home cooking per week (*P*>0.05). The results of multiple linear analysis showed a positive correlation between indoor molds and indoor toluene concentration in heating season (*b*=2.968, *P*=0.003); the relationships between other variables and indoor toluene concentration were not significant (*P*>0.05). In non-heating season, both single factor and multiple linear analyses revealed no relationships between the above indicators and indoor toluene concentration (*P*>0.05).

**[Conclusion]** Slight residential benzenes pollution in Lanzhou is found in the study, and the increase of indoor toluene concentration is related to a moldy house.

**Keywords:** residential characteristics; indoor; toluene; benzenes; influencing factor

现代社会人类多半时间均在室内活动。室内空气质量、微生物、噪声、室内小气候等环境因素与健康密切相关。世界卫生组织的调研报告指出,每年由于室内空气污染所导致的超额死亡人数为160万,即每20s就会有1人因为室内空气污染而死亡<sup>[1]</sup>。随着新技术、新材料的快速发展,室内环境污染也日益多样化和复杂化。除甲醛、挥发性有机物、一氧化碳、烟草烟雾和菌落总数等常规监测的健康危害因素外,近年室内环境质量调查监测显示,广泛用于建筑材料、电子产品、儿童玩具、食品包装材料、室内清洁、杀虫及个人护理用品中的半挥发有机物对室内环境污染严重<sup>[2]</sup>,其对儿童智力的影响,及对过敏、哮喘及内分泌系统的影响已经受到公众广泛关注<sup>[3]</sup>。室内挥发性有机化合物,特别是苯、甲苯、二甲苯(统称三苯)通常作为室内空气质量的指示指标,来评价暴露于挥发性有机物(volatile organic compound, VOC)产生的健康效应。其健康危害主要有感官刺激、臭味不舒适、过敏反应和神经毒性作用。关于室内苯系物浓度的相关研究<sup>[4-5]</sup>有很多,但大多都是针对新装修的居室建筑材料与苯系物浓度的关系,对于其他居室环境因素对苯系物浓度的影响研究较少。本研究选取兰州市两

个城区60户居民住宅,重点探讨不同居室特征对室内甲苯浓度的影响,了解室内甲苯污染状况及其影响因素,为针对室内污染采取健康防护措施提供科学依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 调查对象

调研兰州市的环境监测站点,选择一个污染相对重的监测站点(下风向),一个污染轻的站点(上风向),以距离这两个站点最近(3 km以内)的两所小学作为被调查小学,采取整群抽样的方法,每所小学选100名二年级学生为初筛对象,发放初筛调查问卷,调查其家庭情况,按照2018年中国疾病预防控制中心出台的城市室内环境健康影响因素调查方案中的筛选条件,最终从这两所小学筛选出各30户(共60户)学生家庭作为调查对象,并于2018年8—11月非采暖季(60户)与2019年1—3月采暖季(有3户家庭退出,实际采样57户)对这些家庭住宅内空气质量进行监测。

### 1.2 采样方法与评价

每户家庭的客厅和卧室各选一个采样点。采样点避开通风口,距离墙壁大于0.5 m,高度为0.5~1.5 m。

采样前用皂膜流量计校准采样器流量, 采样时间应涵盖通风最差的时间段, 将 Tenax TA 采样管与空气采样泵连接后, 以  $0.1\sim 0.2\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  的速度采集 45 min, 总采样体积  $\leq 6\text{ L}$ , 并记录采样时的温度和大气压。每个采样点采集 2 套平行样。本研究在非采暖季和采暖季各采样一次, 使用二次热解吸-毛细管气相色谱法分别对苯、甲苯、二甲苯的浓度进行检测, 检出限 (limit of detection, LOD) 为  $7.2\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 按照 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》<sup>[6]</sup> 对测定结果进行评价。统计过程中原始检测数据低于方法 LOD 的数值, 以  $1/2\text{ LOD}$  代替。

### 1.3 问卷调查

室内环境问卷调查只在非采暖季进行, 由调查员通过采访的形式上门对学生家长进行问卷调查, 调查项目包括: 房屋与机动车道的距离、房屋累计使用时间、房屋所在楼层、房屋近五年内是否有装修、房屋是否出现发霉现象、室内是否有地毯、室内是否使用空调、开窗通风频率、平均每周在家做饭次数等。

### 1.4 质量控制

由经过培训的专业人员进行现场调查, 承担分析任务的实验室具备相应的资质认证。实验室质控主要采用加标回收和重复测试的方式。样品加标回收率控制为  $>80\%$ , 重复测试值的平均偏差小于  $20\%$ 。使用城市室内环境健康影响调查系统录入数据, 在平台中对所有调查指标的取值范围及逻辑关系设置条件控制

机制; 同时采用国家级和市级管理员两级审核的机制, 提高结果的真实性和可靠性。

### 1.5 统计学分析

采用 SPSS 25.0 进行统计分析, 采用均数和标准差对三苯的质量浓度 (后简称浓度) 进行统计描述, 利用配对  $t$  检验比较采暖季和非采暖季室内三苯浓度的差异, 对不同居室特征下采暖季和非采暖季室内甲苯浓度的差异分别进行单因素分析, 利用多重线性回归对甲苯浓度的影响因素进行多因素分析, 以上均为双侧检验, 检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 一般情况

本研究分别对采暖季和非采暖季室内苯、甲苯及二甲苯浓度进行了检测, 其浓度分布状况见表 1。根据 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》, 苯的标准限值为  $\leq 0.11\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 甲苯和二甲苯的标准限值均为  $\leq 0.20\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。采暖季有 2 户住宅室内甲苯浓度超标, 其超标率为  $3.5\%$  ( $2/57$ ), 苯和二甲苯均不超标; 非采暖季三苯浓度均未超标。配对  $t$  检验结果显示室内甲苯和二甲苯浓度在采暖季和非采暖季之间的差异均有统计学意义 ( $t=5.283, P=0.023$ ;  $t=12.700, P=0.001$ ), 采暖季甲苯的平均水平高于非采暖季, 采暖季二甲苯的平均水平低于非采暖季; 室内苯浓度在采暖季与非采暖季之间未见差异 ( $t=0.213, P>0.05$ )。

表 1 采暖季和非采暖季兰州市小学生家庭住宅内苯系物质量浓度

Table 1 Concentrations of indoor benzenes in houses of Lanzhou primary school students during heating and non-heating periods

污染物	标准限值 / ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	非采暖季质量浓度 / ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) ( $n=60$ )			采暖季质量浓度 / ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) ( $n=57$ )			$t$	$P$
		范围	均值	标准差	范围	均值	标准差		
苯	$\leq 0.11$	$<\text{LOD}^*\sim 0.059$	0.009	0.012	$<\text{LOD}^*\sim 0.040$	0.008	0.011	0.213	0.645
甲苯	$\leq 0.20$	$<\text{LOD}^*\sim 0.043$	0.009	0.010	$<\text{LOD}^*\sim 13.860$	0.283	1.847	5.283	<b>0.023</b>
二甲苯	$\leq 0.20$	$<\text{LOD}^*\sim 0.014$	0.003	0.003	$<\text{LOD}^*\sim 0.010$	0.001	0.002	12.700	<b>0.001</b>

[注] \*: LOD 为检出限 ( $7.2\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )。

### 2.2 不同居室特征对室内甲苯浓度影响的单因素分析

非采暖季, 房屋与机动车道的距离、房屋累计使用时间、房屋所在楼层、房屋近五年内是否有装修, 房屋是否出现发霉现象、室内是否有地毯、室内是否使用空调、开窗通风频率、平均每周在家做饭次数不同家庭室内甲苯的平均浓度差异没有统计学意义 ( $P>0.05$ )。

采暖季, 房屋所在楼层是否  $>7$ 、房屋近五年内是否有装修、房屋是否出现发霉现象不同家庭的室内甲苯平均浓度差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 所住楼层

$\leq 7$  层、房屋近五年内没有装修、房屋出现发霉现象的室内甲苯平均水平相对较高; 而房屋累计使用时间、房屋与机动车道的距离、室内是否有地毯、室内是否使用空调、开窗通风频率、平均每周在家做饭次数不同家庭的室内甲苯平均浓度差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。见表 2。

### 2.3 室内甲苯浓度影响的多因素分析

以房屋与机动车道的距离、房屋累计使用时间、房屋所在楼层、房屋近五年内是否有装修、房屋是否

出现发霉现象、室内是否有地毯、室内是否使用空调、开窗通风频率、平均每周在家做饭次数为自变量,非采暖季和采暖季室内甲苯浓度分别为应变量,进行多重线性回归分析,结果显示房屋出现发霉现象时采暖季室内甲苯浓度增高 ( $P=0.003$ ),其他变量与甲苯浓度的关系均没有统计学意义 ( $P>0.05$ );在非采暖季,各变量与室内甲苯浓度的关系均没有统计学意义 ( $P>0.05$ ),见表3。

表2 采暖季和非采暖季不同居室特征下室内甲苯质量浓度的单因素分析

Table 2 Single factor analysis of indoor toluene concentration under different room characteristics during heating and non-heating periods

居室特征	非采暖季				采暖季			
	<i>n</i>	$\bar{x}\pm s$ /( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	$\bar{x}\pm s$ /( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	<i>t</i>	<i>P</i>
房屋距机动车道距离/km			1.527	0.222			0.598	0.443
<0.1	15	0.011±0.012			15	0.129±0.482		
≥0.1	45	0.009±0.009			42	0.338±2.137		
房屋累计使用时间/年			0.182	0.672			3.845	0.055
≤5	32	0.009±0.010			30	0.073±0.340		
>5	27	0.009±0.010			26	0.537±2.717		

续表2

居室特征	非采暖季			采暖季				
	<i>n</i>	$\bar{x}\pm s$ /( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>n</i>	$\bar{x}\pm s$ /( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	<i>t</i>	<i>P</i>
所住楼层			1.057	0.308			4.138	<b>0.047</b>
≤7	32	0.010±0.011			31	0.515±2.499		
>7	27	0.008±0.008			25	0.007±0.011		
五年内装修			0.083	0.774			4.226	<b>0.045</b>
有	33	0.008±0.010			31	0.070±0.334		
无	26	0.010±0.010			25	0.559±2.771		
房屋出现发霉			1.753	0.191			80.063	<b>&lt;0.001</b>
是	5	0.013±0.007			5	2.774±6.197		
否	54	0.009±0.010			51	0.045±0.261		
室内有地毯			3.476	0.067			0.722	0.399
是	7	0.007±0.006			7	0.002±0.003		
否	52	0.009±0.010			49	0.329±1.991		
室内使用空调			0.003	0.960			0.946	0.335
是	10	0.009±0.010			9	0.011±0.014		
否	49	0.009±0.010			47	0.341±2.033		
平均每周做饭次数			1.420	0.238			2.148	0.148
≤10	18	0.007±0.008			17	0.007±0.009		
>10	42	0.010±0.010			40	0.401±2.202		
开窗通风频率/(次·d <sup>-1</sup> )			0.427	0.516			0.153	0.698
<2	31	0.010±0.009			47	0.302±2.021		
≥2	29	0.008±0.010			10	0.196±0.588		

表3 采暖季和非采暖季室内甲苯浓度影响因素的多重线性回归分析

Table 3 Multiple linear regression analysis of factors affecting indoor toluene concentration during heating and non-heating periods

参数	非采暖季					采暖季				
	<i>b</i>	<i>S<sub>b</sub></i>	<i>b'</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>b</i>	<i>S<sub>b</sub></i>	<i>b'</i>	<i>t</i>	<i>P</i>
截距	0.019	0.013	—	1.415	0.163	-1.914	2.691	—	-0.711	0.481
距机动车道距离	-0.002	0.003	-0.075	-0.511	0.612	0.889	0.627	0.213	1.418	0.163
累计使用时间	-0.002	0.004	-0.095	-0.497	0.621	-0.103	0.661	-0.028	-0.155	0.877
所住楼层	-0.002	0.003	-0.078	-0.507	0.614	-0.317	0.559	-0.085	-0.568	0.573
五年内装修	-0.003	0.004	-0.158	-0.791	0.433	-0.311	0.702	-0.084	-0.442	0.660
房屋发霉	0.003	0.005	0.084	0.541	0.591	2.968	0.944	0.458	3.146	<b>0.003</b>
室内地毯	-0.004	0.005	-0.136	-0.879	0.384	-0.049	0.816	-0.009	-0.06	0.952
每周做饭次数	0.002	0.003	0.109	0.753	0.455	0.520	0.557	0.127	0.933	0.356
使用空调	0.000	0.004	0.003	0.020	0.984	-0.200	0.75	-0.04	-0.267	0.791
开窗通风频率	-0.003	0.003	-0.132	-0.878	0.384	0.276	0.729	0.057	0.378	0.707

[注] *b'* 为标准化后的 *b*。

### 3 讨论

本研究结果显示,非采暖季室内苯、甲苯及二甲苯浓度均未超标,而在采暖季出现甲苯超标,超标率3.5%,室内苯和二甲苯浓度均没有出现超标。并且在采暖季和非采暖季室内甲苯浓度之间的差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ ),采暖季室内甲苯平均浓度 ( $0.283 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 高于非采暖季 ( $0.009 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )。这可能是因为采暖季室内温度升高,甲苯的释放速率增加,而且冬季寒冷开窗通风减少,导致室内甲苯浓度增加<sup>[7-9]</sup>。单因素分析结果显示,楼层≤7、近五年内

没有装修、出现发霉的居室室内甲苯浓度较高,但经多因素分析后,前两者的统计学意义消失,可能是因为较低的楼层容易返潮、近期没装修的旧房子也容易导致居室发霉,因此在单因素分析中可能呈现出“虚假关联”。多因素分析结果表明,在采暖季房屋出现发霉与室内甲苯浓度有正相关关系。

在北方地区,采暖季房屋发霉已经成为影响居民住宅使用的突出问题。室内墙体发霉主要是因为建筑装饰材料质量不高,冬季住户生活习惯不当以及施工质量一般等<sup>[10]</sup>,这些原因也会导致室内甲苯浓度的



升高。有研究表明,装修材料、溶剂的使用是室内甲苯污染的主要来源,劣质的装修材料以及一些相对较差的施工质量,会导致室内甲苯浓度的升高;霉菌生长在墙体表面时不仅会影响人体的健康,而且会破坏墙体并降低墙体结构的寿命<sup>[11]</sup>,建筑结构中的结露及其引发的霉菌生长,不仅会腐蚀墙体表面或墙角,同时会使建筑装修材料软化、粉化,保温材料的性能大幅度降低<sup>[12-13]</sup>,这些建筑装修材料是室内甲苯的主要来源,这些材料的损坏可能会增加室内甲苯浓度的升高。国外一些研究显示<sup>[14-15]</sup>,房屋附近公路密度、与交通干道距离等交通污染因素与室内污染物浓度存在联系,然而本研究结果显示房屋至机动车道的距离与室内甲苯浓度的关系不大。本研究发现,做饭频率与室内甲苯浓度的相关性不大,这与候贝贝等<sup>[16]</sup>的研究结果一致。本研究结果表明,在非采暖季不同居室特征因素下甲苯浓度的差异不具有统计学意义,可能是因为样本量较少或是信息偏倚,后期有待进一步探究。

总之,本研究发现,房屋发霉与室内甲苯浓度升高相关。做饭频率、房屋与机动车道距离、房屋近五年是否装修等其他居室因素对室内甲苯浓度的影响均不大,这为进一步研究室内苯系物污染对人体健康影响并提出健康防护建议提供了科学依据。

## 参考文献

- [1] 世界卫生组织:每年室内空气污染造成160万人死亡[J]. 首都公共卫生, 2011, 5(1): 46-47.
- [2] BALABANIČ D, RUPNIK M, KLEMENCIC A K. Negative impact of endocrine-disrupting compounds on human reproductive health [J]. *Reprod Fertil Dev*, 2011, 23(3): 403-416.
- [3] ANNESI-MAESANO I, HULIN M, LAVAUD F, et al. Poor air quality in classrooms related to asthma and rhinitis in primary schoolchildren of the French 6 Cities Study [J]. *Thorax*, 2012, 67(8): 682-688.
- [4] DU Z, MO J, ZHANG Y, et al. Benzene, toluene and xylenes in newly renovated homes and associated health risk in Guangzhou, China [J]. *Build Environ*, 2014, 72: 75-81.
- [5] DAI H, JING S, WANG H, et al. VOC characteristics and inhalation health risks in newly renovated residences in Shanghai, China [J]. *Sci Total Environ*, 2017, 577: 73-83.
- [6] 卫生部卫生法制与监督司, 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所, 中国疾病预防控制中心辐射防护与核医学安全所. GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》实施指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [7] 王丽伟. 装修后室内苯系物(苯、甲苯和二甲苯)的污染特征研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2014.
- [8] 徐凤. 梅州市新装修居室空气污染情况及其影响因素[J]. 资源节约与环保, 2015(4): 53-54.
- [9] 黄丽. 影响家具木器漆挥发性有机化合物(VOCs)散发关键因素研究[D]. 南京: 南京大学, 2018.
- [10] 张盛朝, 李润. 室内墙面发霉处理办法的应用研究[J]. 山西建筑, 2010, 36(15): 136-138.
- [11] 郑淑. 基于热湿耦合作用建筑墙体内部霉菌滋生基础研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.
- [12] 胡敏, 陈友明, 郭兴国. 霉菌生长对建筑和IAQ的影响与控制策略[J]. 建筑热能通风空调, 2006, 25(6): 15-19, 29.
- [13] 由贵峰. 大庆地区房屋结露发霉治理技术研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2011.
- [14] KIM J J, HUEN K, ADAMS S, et al. Residential traffic and children's respiratory health [J]. *Environ Health Perspect*, 2008, 116(9): 1274-1279.
- [15] MORGENSTERN V, ZUTAVERN A, CYRYS J, et al. Respiratory health and individual estimated exposure to traffic-related air pollutants in a cohort of young children [J]. *Occup Environ Med*, 2007, 64(1): 8-16.
- [16] 候贝贝, 尹奕卉, 裴晶晶, 等. 中国住宅室内BTEX浓度水平及其影响因素[J]. 环境科学, 2019, 40(11): 4833-4840.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 丁瑾瑜)