

江苏省昆山市新装修住宅室内甲醛的污染特征

梁晓军¹, 嵇心怡¹, 耿政祥¹, 张宏斌¹, 孙强¹, 赵萍¹, 朱醇²

1. 昆山市疾病预防控制中心环境卫生科, 江苏 昆山 215301

2. 江苏省疾病预防控制中心理化检验所, 江苏 南京 210009

摘要:

[背景] 随着新装修居室越来越多, 室内甲醛污染受到越来越多的关注。

[目的] 了解江苏省昆山市新装修居室内甲醛污染水平及变化规律。

[方法] 选取昆山市新装修或重装修居民住房 40 户, 调查房屋基本情况, 并分别在 2019 年冬季 (1—2 月) 和夏季 (7—8 月) 检测室内温湿度和甲醛浓度。冬夏两季分别设置检测点 162 个, 采集甲醛样本 324 个。

[结果] 冬夏两季甲醛质量浓度分别为 (0.0219 ± 0.0119) 、 (0.0963 ± 0.1072) $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 夏季高于冬季 ($Z = -5.484$, $P < 0.001$), 冬夏季超标率分别为 0.0%、28.3%, 最大值为 $1.0403 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 超标 10.4 倍。冬夏两季甲醛浓度在住宅类型、住宅档次、房间数量、装修风格、房屋面积、装修花费、检测时是否入住及取暖方式的分布上差别均无统计学意义 ($P > 0.05$)。夏季甲醛浓度在不同房间类型间 ($H = 8.800$, $P = 0.030$) 和装修家具是否以新家具为主间 ($Z = 9.259$, $P < 0.001$) 差别有统计学意义。甲醛浓度与温度在冬夏两季均呈正相关 (冬季: $r = 0.288$; 夏季: $r = 0.151$; $P < 0.05$), 与湿度在冬季呈负相关 ($r = -0.243$, $P < 0.05$), 在夏季相关性无统计学意义 ($P = 0.841$)。冬季检测时距装修完成时间平均为 130.1 d, 夏季为 303.3 d, 冬夏两季均未发现随装修完成时间的延长, 甲醛浓度有降低的趋势 (均 $P > 0.05$)。

[结论] 昆山市新装修居室内甲醛浓度夏季高于冬季。随着温度的升高, 甲醛浓度会明显升高。新家具的使用与昆山市甲醛污染可能有关。

关键词: 新装修; 居室; 甲醛; 温度; 家具

Indoor formaldehyde pollution characteristics in newly decorated residences in Kunshan of Jiangsu Province LIANG Xiao-jun¹, JI Xin-yi¹, GENG Zheng-xiang¹, ZHANG Hong-bin¹, SUN Qiang¹, ZHAO Ping¹, ZHU Chun² (1.Environmental Hygiene Department, Kunshan Center for Diseases Control and Prevention, Kunshan, Jiangsu 215301, China; 2.Physical and Chemical Laboratory, Jiangsu Provincial Center for Diseases Control and Prevention, Nanjing, Jiangsu 210009, China)

Abstract:

[Background] As more residences are decorated, indoor formaldehyde pollution has drawn growing attention.

[Objective] This study investigates the formaldehyde pollution levels and change trends in newly decorated residences in Kunshan of Jiangsu Province.

[Methods] Forty newly decorated or redecorated residences in Kunshan were selected and investigated. The basic information of the residences were collected and the selected residences' indoor temperature, humidity, formaldehyde levels in winter (January to February) and summer (July to August) were evaluated in 2019. A total of 324 indoor air samples were collected from 162 sampling sites.

[Results] The average formaldehyde concentration was $(0.0219 \pm 0.0119) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ and $(0.0963 \pm 0.1072) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ in winter and summer respectively, with a significant difference ($Z = -5.484$, $P < 0.001$). The unqualified rate was 0.0% and 28.3% in winter and summer respectively, and the maximum value in summer was $1.0403 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 10.4 times higher than the relevant standard limit. The seasonal formaldehyde distributions were not different by newly-built or pre-owned residences, residence grade, bedroom number, decoration style, floor space, decoration costs, whether occupancy at detection, and heating mode ($P > 0.05$). The formaldehyde concentrations in summer were different between different types of rooms ($H = 8.800$, $P = 0.030$) and whether

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.20218

基金项目

昆山社会科学项目 (KS1765)

作者简介

梁晓军 (1984—), 男, 硕士, 主管医师;
E-mail: lxjb1984@163.com

通信作者

朱醇, E-mail: 452930291@qq.com

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-05-10

录用日期 2020-08-28

文章编号 2095-9982(2020)10-0994-05

中图分类号 R12

文献标志码 A

►引用

梁晓军, 嵇心怡, 耿政祥, 等. 江苏省昆山市新装修住宅室内甲醛的污染特征 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (10): 994-998.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20218

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHU Chun, E-mail: 452930291@qq.com

Competing interests None declared

Received 2020-05-10

Accepted 2020-08-28

►To cite

LIANG Xiao-jun, JI Xin-yi, GENG Zheng-xiang, et al. Indoor formaldehyde pollution characteristics in newly decorated residences in Kunshan of Jiangsu Province[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(10): 994-998.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.20218

most furniture is new ($Z=9.259$, $P<0.001$). Formaldehyde concentration was positively correlated with temperature in winter and summer (winter: $r=0.288$, summer: $r=0.151$, $P<0.05$), negatively with humidity in winter ($r=-0.243$, $P<0.05$), but not with humidity in summer ($P=0.841$). The average days from complete decoration to formaldehyde detection was 130.1 and 303.3 d in winter and summer respectively. It was not found that the formaldehyde concentration decreased with the extension of days after completion of renovation in the two seasons ($P>0.05$).

[Conclusion] The concentration of formaldehyde in newly decorated dwellings is higher in summer than in winter in Kunshan. Formaldehyde concentration will increase obviously with the increase of temperature. New furniture is likely to contribute to formaldehyde pollution in Kunshan.

Keywords: newly decorated; residence; formaldehyde; temperature; furniture

一生中会有超过 3/4 的时间在相对密闭的室内度过, 室内空气质量对公众健康非常重要^[1-2]。居室装饰装修频率的增加和多种新型装修材料的应用, 使得居民室内空气质量面临严重风险^[3]。甲醛是室内总挥发性有机物 (total volatile organic compounds, TVOC) 的重要贡献者之一^[4], 是 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》^[5] 主要控制的污染物之一。其癌症风险在 TVOC 中处于较高位置^[6], 在我国有毒化学品优先控制名单中高居第二位, 2004 年已被国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 列为人类确认致癌和致畸物, 认为甲醛与白血病的发生之间存在因果关系^[7]。我国人群室内甲醛污染的暴露风险越来越高^[8]。甲醛对人体健康的危害主要表现在刺激作用、致敏作用、致癌和促癌作用, 可引起头晕、头痛等神经衰弱症状, 严重的可导致肺功能、肝功能和免疫功能异常^[9]。研究显示 2010—2015 年间, 昆山市 1 249 家各类公共场所中均能检出甲醛, 平均质量浓度 (下称浓度) 为 $0.57 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[10], 公共场所甲醛超标风险很高。居室与公共场所相比装修更易豪华, 人体暴露时间更长, 因此有必要对新装修居室内甲醛的污染现状、变化规律和影响因素进行研究。

1 材料与方法

1.1 纳入标准和测定时间

2019 年冬季 (1 月 16—2 月 22 日) 和夏季 (7 月 1 日—8 月 23 日) 对昆山市所属 18 个小区的 40 户新装修或重装修完工且不超过 1 年, 家具、家电齐全的居室进行甲醛调查, 冬夏两季分别设置检测点 162 个, 采集甲醛样本 324 个。

1.2 检测与调查方法

甲醛检测按照 GB/T 18204.2—2014《公共场所卫生检验方法 第 2 部分: 化学污染物》^[11] 开展, 使用酚试剂分光光度法, 吸收液临用现配, 装 5 mL 吸收液的气

泡吸收管以 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 流量采集, 采样时间 45 min, 记录采样点的温度、湿度和大气压力。在现场采样过程中, 通过现场调查和访谈获得房间类型、住宅档次、房间数量、装修花费、家具新旧构成、取暖方式等数据。

1.3 采样方法

采样过程按照 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》^[5] 进行, 采样点的数量根据室内面积确定。采样点避开通风口, 离墙壁大于 0.5 m。采样高度 0.5~1.5 m 之间。采样泵采样前经流量计校准。采样前关闭门窗, 打开柜门 12 h, 采样过程中关闭门窗。

1.4 检测仪器

数字式温湿度计 (TES-1360A, 中国)、采样泵 (GilAir PLUS, 美国)、气泡吸收管 (带 10 mL 刻度, 中国)、紫外可见分光光度计 (TU-1901, 中国)、流量校准器 (TSI 4146, 美国)、甲醛标准溶液 (环境保护部标准样品研究所, 中国)、酚试剂 (Fluka 65875, 瑞士)、硫酸铁铵 (广东台山化工厂, 中国) 等。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 26 软件进行统计分析。采用 Wilcoxon 符号秩和检验、Friedman 秩和检验分析冬夏两季不同类型居室及房间内甲醛浓度差异, 采用 Spearman 等级相关分析甲醛浓度在冬夏两季与温湿度及与检测时装修完成时间的关系。双侧检验, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 甲醛污染情况

2.1.1 总体 结果显示, 40 户居民居室冬夏两季间温度、湿度和甲醛浓度均存在差别 ($Z=-5.511$, $P<0.001$; $Z=-3.572$, $P<0.001$; $Z=-5.484$, $P<0.001$): 夏季温度、湿度和甲醛浓度均高于冬季, 其中冬季甲醛均低于 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的标准限值, 而夏季超标率为 28.3%, 最大值为 $1.0403 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 超标 10.4 倍。甲醛冬夏两季各指标浓度水平见表 1。

表 1 2019 年江苏省昆山市 40 户居室甲醛浓度、温湿度
Table 1 Formaldehyde concentration, temperature, and humidity in 40 newly decorated residences in Kunshan City of Jiangsu Province in 2019

指标	冬季 (n=162)			夏季 (n=162)		
	中位数	均数±标准差	范围	中位数	均数±标准差	范围
温度/℃	10.5	11.0±3.4	2.7~23.3	27.8	27.8±2.7	22.1~32.0
湿度/%	62.9	62.9±12.7	14.9~89.2	74.1	71.9±10.5	46.4~92.5
甲醛浓度/(mg·m ⁻³)	0.0189	0.0219±0.0119	0.0047~0.0761	0.0739	0.0963±0.1072	0.0002~1.0403

2.1.2 不同特征住宅 调查发现,冬夏两季甲醛浓度在住宅类型、住宅档次、房间数量、装修风格、房屋面积、装修花费、检测时是否入住及取暖方式的分布上差别均无统计学意义(均 $P>0.05$)。冬季甲醛浓度在装修家具是否以新家具为主的住宅间差别无统计学意义,但夏季差别有统计学意义($Z=9.259, P<0.001$)。见表 2。

表 2 2019 年江苏省昆山市 40 户不同类型居室的甲醛浓度
Table 2 Formaldehyde concentrations in 40 newly decorated residences grouped by different residence characteristics in Kunshan City of Jiangsu Province in 2019

类型	分组	样本量	冬季			夏季		
			范围	$P_{50} (P_{25}, P_{75})$	统计量	范围	$P_{50} (P_{25}, P_{75})$	统计量
住宅类型	新建住宅	32	0.0095~0.0546	0.0202 (0.0171, 0.0224)	$Z=-0.314, P=0.753$	0.0251~0.4549	0.0815 (0.0601, 0.1038)	$Z=-0.215, P=0.881$
	二手房	8	0.0111~0.0264	0.0177 (0.0116, 0.0251)		0.0187~0.0546	0.0341 (0.0242, 0.0459)	
住宅档次	别墅	5	0.0053~0.0302	0.0220 (0.0115, 0.0295)	$H=0.400, P=0.819$	0.0752~0.3090	0.0938 (0.0774, 0.2201)	$H=5.200, P=0.074$
	高档住宅	5	0.0110~0.0264	0.0186 (0.0127, 0.0238)		0.0550~0.1809	0.0893 (0.0613, 0.1767)	
	普通住宅	30	0.0095~0.0546	0.0202 (0.0164, 0.0229)		0.0187~0.4549	0.0779 (0.0496, 0.1019)	
房间数量/房	2	4	0.0111~0.0218	0.0145 (0.0113, 0.0207)	$H=0.500, P=0.779$	0.0318~0.0653	0.0488 (0.0346, 0.0626)	$H=0.000, P=1.000$
	3	19	0.0095~0.0546	0.0206 (0.0184, 0.0241)		0.0187~0.2464	0.0809 (0.0581, 0.1038)	
	≥4	17	0.0053~0.0335	0.0203 (0.0125, 0.0264)		0.0264~0.4549	0.0869 (0.0620, 0.1284)	
装修风格	现代简约	19	0.0095~0.0546	0.0206 (0.0172, 0.0247)	$Z=-1.087, P=0.277$	0.0261~0.2464	0.0788 (0.0584, 0.1038)	$Z=-1.121, P=0.904$
	其他	21	0.0053~0.0304	0.0202 (0.0145, 0.0225)		0.0187~0.4549	0.0802 (0.0554, 0.1079)	
房屋面积/m ²	<100	6	0.0111~0.0241	0.0207 (0.0116, 0.0274)	$H=1.000, P=0.607$	0.0430~0.1038	0.0720 (0.0517, 0.0988)	$H=0.333, P=0.846$
	100~150	18	0.0095~0.0546	0.0207 (0.0183, 0.0274)		0.0187~0.2464	0.0779 (0.0493, 0.1059)	
	>150	16	0.0053~0.0302	0.0173 (0.0123, 0.0224)		0.0251~0.4549	0.0881 (0.0592, 0.1300)	
装修花费/万元	<20	7	0.0095~0.0247	0.0218 (0.0111, 0.0241)	$H=2.143, P=0.543$	0.0187~0.2464	0.0546 (0.0261, 0.0788)	$H=6.600, P=0.086$
	20~30	9	0.0171~0.0462	0.0208 (0.0184, 0.0284)		0.0318~0.1362	0.0820 (0.0499, 0.1082)	
	30~50	11	0.0110~0.0546	0.0199 (0.0178, 0.0212)		0.0518~0.1725	0.0785 (0.0676, 0.0893)	
	>60	13	0.0053~0.0302	0.0176 (0.0137, 0.0244)		0.0251~0.4549	0.0938 (0.0651, 0.1563)	
是否新家具为主	是	29	0.0095~0.0546	0.0203 (0.0172, 0.0233)	$Z=1.509, P=0.603$	0.0187~0.2464	0.0785 (0.0555, 0.0100)	$Z=9.259, P<0.001$
	否	11	0.0053~0.0302	0.0176 (0.0129, 0.0264)		0.0251~0.4549	0.0938 (0.0550, 0.1809)	
检测时是否入住	是	20	0.0110~0.0462	0.0190 (0.0123, 0.0220)	$Z=-0.709, P=0.478$	0.0264~0.4549	0.0827 (0.0551, 0.1031)	$Z=-1.120, P=0.263$
	否	20	0.0053~0.0546	0.0211 (0.0171, 0.0260)		0.0187~0.3087	0.0792 (0.0576, 0.1220)	
取暖方式	地暖	12	0.0095~0.0247	0.0205 (0.0131, 0.0224)	$H=0.798, P=0.457$	0.0187~0.2464	0.0720 (0.0459, 0.1104)	$H=3.012, P=0.062$
	空调或其他	21	0.0110~0.0546	0.0199 (0.0171, 0.0264)		0.0251~0.1809	0.0796 (0.0574, 0.0953)	
	不取暖	7	0.0053~0.0302	0.0220 (0.0129, 0.0289)		0.0264~0.4549	0.0938 (0.0550, 0.3087)	

2.1.3 不同类型房间 对冬夏两季不同房间类型的甲醛浓度进行分析,冬季甲醛浓度在不同房间类型间差异无统计学意义($P=0.896$),夏季甲醛浓度在不同房间类型间差别有统计学意义($H=8.800, P=0.030$)。见表 3。

2.2 相关因素

相关分析结果显示:甲醛浓度与温度在冬夏两季均呈正相关,相关系数(r)分别为 0.288 和 0.151 (均 $P<0.05$);与湿度在冬季呈负相关($r=-0.243, P=0.002$),在夏季的相关性无统计学意义($P=0.841$)。冬季检测时距离装修完成时间平均为 130.1 d,小于夏季的 303.3 d ($Z=-4.323, P<0.001$),检测时距离装修完成的天数见表 4。Spearman 相关分析显示:冬夏两季均未发现随装修完成时间的延长,甲醛浓度有降低的趋势(冬季: $P=0.989$;夏季: $P=0.629$)。

表3 2019年江苏省昆山市40户居室不同类型房间的甲醛浓度

Table 3 Formaldehyde concentrations in 40 newly decorated residences grouped by different room types in Kunshan City of Jiangsu Province in 2019

单位 (Unit): $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

类型	样本量	冬季			夏季		
		范围	P_{50} (P_{25} , P_{75})	统计量	范围	P_{50} (P_{25} , P_{75})	统计量
卧室	90	0.0047~0.0646	0.0193 (0.0143, 0.0242)	$H=0.600$, $P=0.896$	0.0002~1.0403	0.1700 (0.1610, 0.1833)	$H=8.800$, $P=0.030$
客厅	39	0.0047~0.0761	0.0198 (0.0133, 0.0265)		0.0134~0.2993	0.0739 (0.0463, 0.1015)	
儿童房	6	0.0132~0.0647	0.0209 (0.0164, 0.0360)		0.0143~0.1581	0.0728 (0.0273, 0.1218)	
书房	27	0.0051~0.0535	0.0168 (0.0117, 0.0257)		0.0254~0.2184	0.0694 (0.0531, 0.1005)	

表4 江苏省昆山市40户居民居室甲醛冬夏两季检测时距离装修完成的天数

Table 4 Days from decoration completion to formaldehyde detection in winter and summer in 40 newly decorated residences in Kunshan City of Jiangsu Province in 2019

单位 (Unit): d

季节	最小值	中位数	最大值	均数	标准差
冬季	9	84.5	373	130.1	103.6
夏季	164	269.5	539	303.3	108.4

3 讨论

本研究在冬夏两季对昆山市40户新装修或重装修居室内甲醛浓度进行了检测,结果显示冬季时甲醛污染水平总体较低,合格率为100.0%,浓度为 $(0.0219\pm 0.0119)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$;夏季时甲醛污染加重,浓度升高到 $(0.0963\pm 0.1072)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,平均增高5.57倍。虽然夏季检测距离冬季已长达5.4个月,但甲醛浓度并没有降低,反而明显升高。以往研究结果也显示,随着温度的升高,甲醛浓度在夏季气温高的月份达到峰值^[12-13]。有研究证明新装修居室内甲醛浓度2年以后依然可以达到 $0.138\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[14]。一般而言,室内甲醛浓度水平夏季会高于冬季^[15-16]。本次研究结果与上述研究类似,发现随着装修完成时间的延长,甲醛浓度并不会明显下降,在当年的第一个夏季甲醛浓度会达到高峰。

本次研究显示,居室内冬季甲醛浓度低于北京2003年冬季的 $(0.210\pm 0.152)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、上海2003年冬季的 $(0.205\pm 0.135)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、天津2003年冬季的 $(0.267\pm 0.170)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、重庆2003年冬季的 $(0.142\pm 0.084)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,及长春、石嘴山、大连等地的研究结果^[8],也明显低于2010年重庆新城区 $(0.158\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$ ^[17]、2010年四川泸州市 $(0.331\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$ 的研究结果^[18]。夏季甲醛浓度为 $(0.0963\pm 0.107)\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,也低于2002—2006年间国内对夏季新装修居室甲醛浓度的调查结果^[8],说明昆山市新装修居室甲醛浓度总体污染水平

与其他城市相比较并不严重。

本研究显示房间类型、住宅档次、房间数量、装修风格、房屋面积、装修花费、检测时是否入住及取暖方式对甲醛的影响有限,说明这些并不是影响居室内甲醛浓度的主要因素。夏季甲醛浓度在不同房间类型和装修家具是否以新家具为主组间均有差别:夏季卧室甲醛浓度较客厅、书房、儿童房有所升高,这与其他研究结果基本一致^[3, 19-20],很有可能与卧室木质家具、地板使用较多有关^[3]。这提示新的木质家具对室内甲醛污染很可能产生重要影响。

甲醛浓度与温度在冬夏两季均呈正相关,与湿度在冬季呈负相关,在夏季相关性没有统计学意义,说明温度是本次调查中甲醛最主要的相关因素。有研究表明室内空气甲醛浓度与湿度呈正相关,湿度越大甲醛浓度越高,本研究与此结论并不一致^[21]。这可能是因为昆山市全年湿度均较高,也可能是甲醛对高温较高湿更为敏感,而高温往往伴随着高湿,导致“湿度越大,甲醛浓度越高”的偏倚。本研究将检测时距离居室装修完成时间与甲醛浓度的关系进行相关分析,并未发现随装修后时间的延长,甲醛浓度有降低的趋势,说明在装修完成1年内,随着时间的延长甲醛浓度并未明显下降^[21-24]。

本次研究并没有对室内甲醛污染来源进行深入分析,也没有对已入住居室室内空气净化设备的使用和通风换气情况进行调查。但本次研究证明昆山市新装修居室内甲醛浓度在1年内主要影响因素是温度,随着夏季温度的升高,甲醛浓度会明显升高,新家具对甲醛污染可能有较明显的影响。

参考文献

- [1] WU XM, APTE MG, MADDALENA R, et al. Volatile organic compounds in small- and medium-sized commercial buildings in California [J]. Environ Sci Technol, 2011, 45

- (20) : 9075-9083.
- [2] WAINMAN T, ZHANG J, WESCHLER CJ, et al. Ozone and limonene in indoor air : a source of submicron particle exposure [J]. *Environ Health Perspect*, 2000, 108 (12) : 1139-1145.
- [3] LIU L, YU X, DONG X, et al. The research on formaldehyde concentration distribution in new decorated residential buildings [J]. *Procedia Eng*, 2017, 205 : 1535-1541.
- [4] HUANG L, MO J, SUNDELL J, et al. Health risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde and benzene in newly remodeled buildings, Beijing [J]. *PLoS One*, 2013, 8 (11) : e79553.
- [5] 室内空气质量标准 : GB/T 18883—2002 [S]. 北京 : 中国标准出版社, 2002.
- [6] LOH MM, LEVY JI, SPENGLER JD, et al. Ranking cancer risks of organic hazardous air pollutants in the United States [J]. *Environ Health Perspect*, 2007, 115 (8) : 1160-1168.
- [7] TANG X, BAI Y, DUONG A, et al. Formaldehyde in China : production, consumption, exposure levels, and health effects [J]. *Environ Int*, 2009, 35 (8) : 1210-1224.
- [8] 梁晓军, 施健, 赵萍, 等. 中国居民室内甲醛暴露水平及健康效应研究进展 [J]. *环境卫生学杂志*, 2017, 7 (2) : 170-181.
- [9] 杨克敌, 郑玉建, 郭新彪, 等. 环境卫生学 [M]. 8版. 北京 : 人民卫生出版社, 2017 : 282-283.
- [10] LIANG X, ZHANG J, SONG W, et al. Formaldehyde exposure in indoor air from public places and its associated health risks in Kunshan city, China [J]. *Asia Pac J Public Health*, 2018, 30 (6) : 551-560.
- [11] 公共场所卫生检验方法 第2部分 : 化学污染物 : GB/T 18204.2—2014 [S]. 北京 : 中国标准出版社, 2014.
- [12] 迟欣, 石玉琴, 颜进, 等. 武汉市室内装修后甲醛浓度动态变化规律研究 [J]. *环境与健康杂志*, 2007, 24 (2) : 81-83.
- [13] 关磊, 张淑云, 洪雅洁, 等. 2004年大连市部分居室空气中甲醛浓度调查 [J]. *预防医学论坛*, 2007, 13 (7) : 604-605.
- [14] 张丽, 万志勇, 杨辛, 等. 江西省城市室内空气中甲醛调查研究 [J]. *江西科学*, 2007, 25 (4) : 476-480.
- [15] 徐东群, 尚兵, 曹兆进. 中国部分城市住宅室内空气中重要污染物的调查研究 [J]. *卫生研究*, 2007, 36 (4) : 473-476.
- [16] 姚孝元, 王雯, 陈元立, 等. 中国部分城市装修后居室空气中甲醛浓度及季节变化 [J]. *环境与健康杂志*, 2005, 22 (5) : 353-355.
- [17] 王书敏, 丁武泉, 李昌朋. 重庆市永川新城区室内甲醛污染调查 [J]. *环境与职业医学*, 2010, 27 (7) : 441-442, 446.
- [18] 司文涛, 张青碧. 新装修居室空气中甲醛和苯水平及其对小鼠骨髓细胞微核率的影响 [J]. *环境与职业医学*, 2010, 27 (3) : 168-170.
- [19] 薛生国, 马亚梦, 李丽劼, 等. 城市装修住宅室内空气甲醛污染调查分析 [J]. *土木建筑与环境工程*, 2011, 33 (3) : 124-128.
- [20] GONG Y, WEI Y, CHENG J, et al. Health risk assessment and personal exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) in metro carriages—A case study in Shanghai, China [J]. *Sci Total Environ*, 2017, 574 : 1432-1438.
- [21] 董勇, 王家伦. 成都市武侯区2008年公共场所室内空气甲醛浓度检测结果分析 [J]. *现代预防医学*, 2009, 36 (14) : 2623-2625.
- [22] BRADMAN A, GASPAR F, CASTORINA R, et al. Formaldehyde and acetaldehyde exposure and risk characterization in California early childhood education environments [J]. *Indoor Air*, 2017, 27 (1) : 104-113.
- [23] HO SS, CHENG Y, BAI Y, et al. Risk assessment of indoor formaldehyde and other carbonyls in campus environments in northwestern china [J]. *Aerosol Air Qual Res*, 2016, 16 (8) : 1967-1980.
- [24] HUANG C, WANG X, LIU W, et al. Household indoor air quality and its associations with childhood asthma in Shanghai, China : On-site inspected methods and preliminary results [J]. *Environ Res*, 2016, 151 : 154-167.

(英文编辑 : 汪源 ; 责任编辑 : 王晓宇)