调查研究
Investigation

兰州市某城区住宅室内空气颗粒物污染现状及影响因素

李盛[1,2]，樊琳[3]，王先良[3]，吴允萍[1,2]，许军[1,2]，李昕蓉[4]，王金玉[4]

1. 兰州市第一人民医院公共卫生科，甘肃 兰州 730050
2. 甘肃中医药大学第二临床医学院，甘肃 兰州 730000
3. 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所，北京 100021
4. 兰州大学基础医学院，甘肃 兰州 730000

摘要：

[背景] 住宅室内空气污染与人体健康密切相关，颗粒物是重要的室内污染物之一。

[目的] 了解兰州市某城区住宅室内颗粒物污染情况及影响因素。

[方法] 于2020年9月（非采暖季）和11月（采暖季），收集兰州市某城区大气环境监测数据，在该区大气污染最严重的监测站点所在区域3 km以内的范围随机选择1所小学，在该小学二年级通过问卷筛查选择30名小学生，以其家庭作为监测住宅，每户住宅分别选择客厅和一个卧室为采样点进行室内$PM_{2.5}$、PM_{10}、温度和相对湿度检测，同时问卷调查住宅特征。超标率比较采用χ^2检验；中位数的差异分析采用Mann-Whitney *U*检验；不同季节室内颗粒物超标的住宅特征影响因素采用多因素logistic回归分析；不同季节住宅室内温度、相对湿度与颗粒物浓度的相关性，不同季节住宅室内外颗粒物浓度的相关性采用Spearman等级相关分析。

[结果] 30户住宅室内$PM_{2.5}$、PM_{10}质量浓度（后称浓度）中位数分别为128.90、155.40 μg·m^{-3}，超标率分别为79.2%、50.8%；$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度采暖季高于非采暖季（Z=-6.716，-6.550；P<0.05），超标率采暖季高于非采暖季（χ^2=19.943，29.037；P<0.05）。室内温度、相对湿度的中位数分别为22 ℃、43%，超标率分别为5.8%、12.5%，相对湿度超标率采暖季高于非采暖季（χ^2=9.219，P<0.05）。非采暖季，拖地或吸尘的频率<1次·d^{-1}是PM_{10}超标的危险因素，*OR*（95% *CI*）值为10.248（1.747~60.107）；开窗通风频率<2次·d^{-1}对$PM_{2.5}$、PM_{10}均有影响，*OR*（95% *CI*）值分别为5.196（1.413~19.110）、12.079（1.845~79.097）。非采暖季，室内温度、相对湿度与$PM_{2.5}$（r=-0.771，-0.672；P<0.05）、PM_{10}浓度均呈负相关（r=-0.664，-0.632；P<0.05）。住宅室外空气中$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度采暖季（81.00、144.00 μg·m^{-3}）高于非采暖季（18.00、38.00 μg·m^{-3}）（Z=-9.141，-9.136；P<0.05）。非采暖季，室内外PM_{10}浓度呈弱正相关（r=0.294，P<0.05）；在采暖季，室内外的$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度均呈明显正相关（r=0.597，0.708；P<0.05）。

[结论] 兰州市某城区住宅室内存在颗粒物污染情况，采暖季较严重；拖地吸尘频率、开窗通风频率、温度、相对湿度和室外颗粒物污染对室内颗粒物水平有影响。

关键词：住宅室内空气质量；颗粒物；温度；相对湿度；住宅特征

Indoor particulate matter pollution and its influencing factors in a residential area of Lanzhou City

LI Sheng[1,2], FAN Lin[3], WANG Xianliang[3], WU Yunping[1,2], XU Jun[1,2], LI Xinrong[4], WANG Jinyu[4]
(1.Department of Public Health, Lanzhou First People's Hospital, Lanzhou, Gansu 730050, China; 2.The Second Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3.National Institute of Environmental Health, China CDC, Beijing 100021, China; 4.School of Basic Medicine, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract:

[Background] Indoor air pollution is closely related to human health, and particulate matter is one of the important indoor pollutants.

[Objective] This study investigates the indoor particulate matter pollution level and its influencing factors in residential buildings in an urban area of Lanzhou.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20589

基金项目
国家自然科学基金（21976169）；甘肃省科技计划资助（20CX9FA134）；兰州市人才创新创业项目（2020-RC-42）

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

通信作者
王金玉，E-mail：wangjiny@lzu.edu.cn

伦理审批 不需要
利益冲突 无申报
收稿日期 2020-12-21
录用日期 2021-04-13

文章编号 2095-9982(2021)07-0747-05
中图分类号 R12
文献标志码 A

▸引用
李盛，樊琳，王先良，等.兰州市某城区住宅室内空气颗粒物污染现状及影响因素[J].环境与职业医学，2021，38（7）：747-751.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20589

Funding
This study was funded.

Correspondence to
WANG Jinyu, E-mail: wangjiny@lzu.edu.cn

Ethics approval Not required
Competing interests None declared
Received 2020-12-21
Accepted 2021-04-13

▸To cite
LI Sheng, FAN Lin, WANG Xianliang, et al. Indoor particulate matter pollution and its influencing factors in a residential area of Lanzhou City[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(7): 747-751.

▸Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20589

[Methods] In September (non-heating season) and November (heating season) of 2020, the air monitoring data in an urban area of Lanzhou City were collected. A primary school was randomly selected within 3 km of a monitoring station with the most serious air pollution. A total of 30 students in grade 2 in the school were selected through questionnaire survey, and their families were selected as monitoring sites. Indoor $PM_{2.5}$, PM_{10}, temperature, and relative humidity were detected in a living room and a bedroom in each of the 30 households. The residential characteristics were investigated by questionnaires. Chi-square test was used to analyze unqualified rates. Mann-Whitney *U* test was used for median comparison. Multiple logistic regression analysis was used to evaluate selected influencing factors of the levels of indoor particulate matter in different seasons. Spearman rank correlation was used to analyze the season-specific correlations of indoor temperature and relative humidity with particulate matter level, as well as the season-specific correlations between indoor and outdoor particulate matter levels.

[Results] The median concentrations of indoor $PM_{2.5}$ and PM_{10} were 128.90 μg·m^{-3} and 155.40 μg·m^{-3}, and the unqualified rates were 79.2% and 50.8%, respectively, in the selected 30 households. The median concentrations of indoor $PM_{2.5}$ and PM_{10} were higher in heating season than those in non-heating season (Z=−6.716, −6.550, P<0.05), and so were the unqualified rates (χ^2=19.943, 29.037, P<0.05). The median indoor temperature and relative humidity were 22℃ and 43%, and the unqualified rates were 5.8% and 12.5%, respectively. The unqualified rate of relative humidity was higher in heating season than in non-heating season (χ^2=9.219, P<0.05). In non-heating season, mopping or dust collection less than 1 time per day was a risk factor for unqualified PM_{10}, and the *OR* (95% *CI*) was 10.248 (1.747-60.107); opening windows less than 2 times per day was a risk factor for unqualified $PM_{2.5}$ and PM_{10}, and the *ORs* (95% *CIs*) were 5.196 (1.413-19.110) and 12.079 (1.845-79.097), respectively. In non-heating season, temperature and relative humidity were negatively correlated with $PM_{2.5}$ (r=−0.771, −0.672, P<0.05) and PM_{10} (r=−0.664, −0.632, P<0.05) concentrations. The median concentrations of outdoor $PM_{2.5}$ and PM_{10} were higher in heating season (81.00 and 144.00 μg·m^{-3}) than in non-heating season (18.00 and 38.00 μg·m^{-3}) (Z=−9.141, −9.136, P<0.05). In non-heating season, there was a weak positive correlation between indoor and outdoor PM_{10} concentrations (r=0.294, P<0.05). In heating season, the indoor and outdoor correlations of both $PM_{2.5}$ and PM_{10} were significantly positive (r=0.597, 0.708, P<0.05).

[Conclusion] There is indoor particulate matter pollution in selected households in the urban area of Lanzhou, especial in heating season. The levels of indoor particulate matter may be influenced by mopping and dust collection frequency, ventilation frequency, temperature, relative humidity, and outdoor particulate matter pollution.

Keywords: residential indoor air quality; particulate matter; temperature; relative humidity; residential characteristic

2015 年世界卫生组织的报告指出，室外空气污染每年导致全球 370 万人死亡，而室内空气污染每年导致 430 万人死亡，室内空气污染的疾病负担重于室外空气污染[1]。我国广州地区的报道也显示室内环境的健康风险值明显高于室外环境[2]。颗粒物作为主要的室内空气污染物，造成了以呼吸系统为主的多系统健康损伤[3]。彭琦等[4]综述了室内颗粒物与哮喘、肺癌的发生的相关性。龚洁等[5]发现室内 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 对儿童哮喘有影响，且存在剂量-反应关系。Idarraga 等[6]发现短期暴露于室内环境污染物，尤其是颗粒物可使人群干眼症的发病风险上升。而据报道，现代人有 80% 的时间在室内度过。因此，人们对住宅室内颗粒物污染日益重视。

为了解兰州市某城区住宅室内颗粒物污染情况，探讨其影响因素，本研究选择了兰州市某城区 30 户住宅为研究对象，进行 $PM_{2.5}$、PM_{10}、温度和湿度检测及住宅特征问卷调查和分析，为有的放矢、重点突出地开展住宅室内颗粒物污染干预提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 检测对象

于 2020 年 9 月（非采暖季）和 2020 年 11 月（采暖季），收集兰州市某城区同期大气环境监测数据（数据来源于中华人民共和国生态环境部数据中心），在该区大气污染最严重的监测站点所在区域 3 km 以内的范围随机选择 1 所小学，在该小学二年级通过问卷筛查选择 30 名小学生，以其家庭作为监测住宅（筛选条件为：家中有 50~70 岁老人；在现有房屋连续居住 3 年以上，未来 3 年无迁出计划；父母非环境污染高危职业人群）。每户家庭的客厅和卧室各选一个采样点进行 $PM_{2.5}$、PM_{10}、温度、相对湿度的检测。

1.2 采样、检测方法和评价标准

$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 检测采用光散射式粉尘仪，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》进行，检测点距离地面高度 1~1.5 m，距离墙壁不小于 0.5 m，每户住宅检测均于上午 9~10 点进行，检测前进行仪器标定，检测时紧闭住宅门窗，重复测定五次取平均值。PM_{10} 污染评价根据 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》，限值为 150 μg·m^{-3}。$PM_{2.5}$ 污染评价根据 GB/T 3095—2012《环境空气质量标准》，限值为 75 μg·m^{-3}。温度检测采用 GB/T 18204.1—2013《公共场所卫生检验方法第 1 部分：物理因素》数显式温度计法，相对湿度检测采用 GB/T 11605—2005《湿度测量方法》电阻式湿度传感器法，同一检测点每隔 5 min

检测1次，每个指标共进行10次连续检测，取其平均值评价。评价根据GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》，限值分别为16~28℃、30%~80%。

1.3 住宅特征问卷调查

由培训合格的调查员，采用入户观察和面询式调查获得研究资料，问卷内容包括住宅离机动车道的距离、楼层、窗户玻璃类型等指标。对回收的问卷进行严格质量审核，所有指标均要求填写完整，不合格的要求重新填写。

1.4 统计学分析

采用Excel 2016录入数据，采用SPSS 18.0进行统计学分析。颗粒物和温湿度检测结果统一采用中位数和四分位数（M、P_{25}、P_{75}）进行统计学描述。两组间的超标率比较采用χ^2检验；两组间中位数的差异分析采用Mann-Whitney U检验；不同季节室内颗粒物超标的住宅特征影响因素采用多因素logistic回归分析；不同季节住宅室内温度、相对湿度与颗粒物浓度的相关性，不同季节住宅室内外颗粒物浓度的相关性采用Spearman等级相关分析。检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 住宅特征

本次调查的30户家庭烹饪均使用天然气，其他10项指标的调查结果见表1。

2.2 室内空气颗粒物

由表2可见，30户住宅室内空气中$PM_{2.5}$、PM_{10}质量浓度（后称浓度）中位数分别为128.90、155.40 μg·m^{-3}，超标率分别为79.2%、50.8%。$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度采暖季高于非采暖季（Z=-6.716，-6.550；均P<0.05），超标率采暖季高于非采暖季（χ^2=19.943，29.037；均P<0.05），客厅和卧室差异均无统计学意义。

表1 兰州市某城区30户调查住宅基本特征

Table 1 Basic characteristics of 30 households in an urban area of Lanzhou City

指标	分组	户数	构成比/%
住宅离机动车道的距离	<0.5 km	26	86.7
	≥0.5 km	4	13.3
住宅所在楼层	8楼及以下	18	60.0
	9楼及以上	12	40.0
住宅窗户的玻璃类型	单层	3	10.0
	双层	27	90.0
屋内是否铺设地毯	是	3	10.0
	否	27	90.0
平均每周在家做饭次数	<10次	8	26.7
	≥10次	22	73.3
做饭时使用抽油机的频率	不开或偶尔使用	5	16.7
	经常使用	25	83.3
拖地或吸尘的频率	≥1次·d^{-1}	22	73.3
	<1次·d^{-1}	8	26.7
采暖季开窗通风频率	≥1次·d^{-1}	27	90.0
	<1次·d^{-1}	3	10.0
非采暖季开窗通风频率	≥2次·d^{-1}	11	36.7
	<2次·d^{-1}	19	63.3
屋内是否有空气净化器	是	1	3.3
	否	29	96.7

表2 兰州市某城区住宅室内空气颗粒物检测结果

Table 2 Residential indoor particulate matter levels in an urban area of Lanzhou City

检测指标	分组	浓度/（μg·m^{-3}）			Z	P	超标点数	超标率/%	χ^2	P
		M	P_{25}	P_{75}						
$PM_{2.5}$	非采暖季（n=60）	96.40	54.00	132.15	-6.716	**<0.001**	37	61.7	19.943	**<0.001**
	采暖季（n=60）	224.60	122.60	324.00			58	96.7		
	客厅（n=60）	134.90	94.25	234.55	1773.000	0.887	49	81.7	0.455	0.500
	卧室（n=60）	122.60	91.10	243.10			46	76.7		
	合计（n=120）	128.90	94.25	234.55			95	79.2		
PM_{10}	非采暖季（n=60）	127.20	68.50	153.25	-6.550	**<0.001**	15	25.0	29.037	**<0.001**
	采暖季（n=60）	252.50	156.65	345.80			46	76.7		
	客厅（n=60）	160.20	113.03	259.60	1724.000	0.690	33	55.0	0.834	0.361
	卧室（n=60）	144.70	103.35	256.10			28	46.7		
	合计（n=120）	155.40	106.20	258.75			61	50.8		

2.3 室内温度和相对湿度

由表3可见，30户住宅室内温度、相对湿度的中位数分别为22℃、43%。相对湿度的超标率采暖季高于非采暖季（χ^2=9.219，P<0.05），不同季节温度的超标率，客厅和卧室的温度、相对湿度的超标率差异均无统计学意义。

2.4 室内颗粒物超标的影响因素

以室内空气$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度超标与否为应变量（未超标=0，超标=1），选择表1中所列的10项调查指标为自变量进行多因素logistic回归分析，最终进入模

型的自变量（$P<0.1$）见表4。结果显示：在非采暖季，拖地或吸尘的频率<1次·d^{-1}是PM_{10}超标的危险因素，*OR*（95%*CI*）值为10.248（1.747~60.107）；开窗通风频率<2次·d^{-1}对$PM_{2.5}$、PM_{10}均有影响，*OR*（95%*CI*）值分别为5.196（1.413~19.110）、12.079（1.845~79.097）。

2.5 室内温度、相对湿度与颗粒物浓度的相关性

非采暖季，室内温度、相对湿度与$PM_{2.5}$（r=-0.771，-0.672；均$P<0.05$）、PM_{10}（r=-0.664，-0.632；均$P<0.05$）浓度均呈负相关，而在采暖季，室内温度、相对湿度与$PM_{2.5}$（r=0.183，-0.215；均$P>0.05$）、PM_{10}（r=0.093，-0.174；均$P>0.05$）浓度相关性均无统计学意义。

2.6 室内外颗粒物浓度的相关性

住宅室外空气中$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度中位数分别为44.00、111.50 μg·m^{-3}，室外$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度采暖季高（81.00、144.00 μg·m^{-3}）于非采暖季（18.00、38.00 μg·m^{-3}）（Z=-9.141，-9.136；均$P<0.05$）。Spearman秩相关分析结果显示：在非采暖季，室内外的PM_{10}浓度呈弱正相关（r=0.294，$P<0.05$），$PM_{2.5}$浓度相关性无统计学意义；在采暖季，室内外的$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度均呈明显正相关（r=0.597，0.708；均$P<0.05$）。

表3 兰州市某城区住宅室内温度和相对湿度的检测结果

Table 3 Residential indoor temperature and relative humidity in an urban area of Lanzhou City

检测指标	分组	*M*	P_{25}	P_{75}	超标点数	超标率/%	χ^2	*P*
温度/℃	非采暖季（*n*=60）	24	19	27	3	5.0	0.210	0.900
	采暖季（*n*=60）	21	19	23	4	6.7		
	客厅（*n*=60）	21	19	26	5	8.3	3.054	0.217
	卧室（*n*=60）	22	19	26	2	3.3		
	合计（*n*=120）	22	19	26	7	5.8		
相对湿度/%	非采暖季（*n*=60）	53	45	58	2	3.3	9.219	**0.002**
	采暖季（*n*=60）	31	36	39	13	21.7		
	客厅（*n*=60）	43	35	55	5	8.3	1.905	0.168
	卧室（*n*=60）	43	34	56	10	16.7		
	合计（*n*=120）	43	34	55	15	12.5		

表4 兰州市某城区住宅室内颗粒物水平的多因素logistic回归分析结果

Table 4 The results of multiple logistic regression analysis on residential indoor particulate matter level in an urban area of Lanzhou City

季节	指标	变量	比较组	对照组	*b*	*S.E.*	Wald χ^2	*P*	*OR*	95%*CI*
采暖季	PM_{10}	住宅离机动车道的距离	<0.5 km	≥0.5 km	1.435	0.790	3.301	0.069	4.200	0.893~17.749
非采暖季	PM_{10}	拖地或吸尘的频率	<1次·d^{-1}	≥1次·d^{-1}	2.328	0.903	6.647	**0.010**	10.248	1.747~60.107
		开窗通风频率	<2次·d^{-1}	≥2次·d^{-1}	2.491	0.959	6.752	**0.009**	12.079	1.845~79.097
	$PM_{2.5}$	拖地或吸尘的频率	<1次·d^{-1}	≥1次·d^{-1}	1.536	0.805	3.644	0.056	4.648	0.960~22.510
		开窗通风频率	<2次·d^{-1}	≥2次·d^{-1}	1.648	0.665	6.149	**0.013**	5.196	1.413~19.110

3 讨论

本次研究对兰州市某城区住宅室内颗粒物的检测结果显示$PM_{2.5}$、PM_{10}浓度中位数分别为128.90、155.40 μg·m^{-3}，分别是标准限值的1.72倍、1.04倍，且采暖季超标率高于非采暖季，提示该城区住宅室内存在颗粒物污染情况，尤其是采暖季。

烹饪活动是住宅室内颗粒物的重要来源之一。Patel等[7]发现烹饪期间的$PM_{2.5}$浓度超过250 μg·m^{-3}，且后烹饪衰减阶段的暴露量超过了烹饪期间本身的暴露量。周岩等[8]发现住宅室内$PM_{2.5}$浓度呈现双峰/三峰特征与烹饪活动相关。烹饪的燃料也对颗粒物浓度有影响。与使用电锅相比，使用天然气是室内PM_{10}浓度超标的危险因素，*OR*（95%*CI*）值为10.282（1.187~89.089）[9]。目前，兰州市城区烹饪主要以天然气为主，本次调查家庭烹饪时均使用天然气为燃料，这可能是造成室内颗粒物，尤其是$PM_{2.5}$污染的主要原因。未来，更加便利、清洁的能源可能将有助于改善室内空气质量。有研究发现，即使在门窗紧闭的情况下，室内外大气细颗粒物数浓度也存在显著相关关系，室外高浓度颗粒物通过渗透、穿透等交换作用使室内颗粒物浓度升高[2]。本次调查结果也显示，室内外颗粒物水平存在正相关，尤其在采暖季呈现显著相关性。建议进一步加强采暖季大气颗粒物污染防控工作，可能对降低室内颗粒物污染有重要的作用。同时，胡大宇等[10]研究发现，取暖期使用空气净化器对室内$PM_{2.5}$、PM_{10}的清除率分别为63.60%、71.91%。因此，在经济条件允许的情况下，可通过使用空气净化器等途径降低室内颗粒物污染水平。

不同季节住宅室内颗粒物超标的影响因素分析结果显示，非采暖季，拖地或吸尘的频率<1次·d^{-1}、开窗通风频率<2次·d^{-1}是影响颗粒物超标的危险因素。提示：首先，保持良好的住宅卫生习惯有助于营造良好的室内环境品质；其次，周岩等[8]发现室内外$PM_{2.5}$浓度比的峰值主要出现在午饭和晚饭烹饪期间，因此，在室外空气良好的情况下，建议居民在对应时间段内开窗，能更有效地降低室内颗粒物污染。结果还显示，在非采暖季，室内温度、相对湿度与颗粒物浓度均呈负相关。张金萍等[11]发现住户相对湿度在50%~80%

时，室内颗粒物平均浓度随相对湿度增加而下降；张群芳等[9]发现住宅室内温度与PM_{10}浓度呈负相关，提示在兼顾舒适性的同时，适当增加室内相对湿度可能有利于降低室内颗粒物污染水平，改善室内空气质量。

关于不同功能居室颗粒物污染情况的调查结果并不一致。例如，深圳市的一项研究结果认为卧室、客厅的空气污染物浓度分布及超标率的差异均无统计学意义[9]，而宜兴市的研究则发现有明显差异[12]。本研究结果显示卧室和客厅的颗粒物超标率无明显差异。影响室内污染物浓度的因素包括住宅面积、房屋之间的通风情况、装修程度、装修时间等诸多方面[9, 13]，具体原因尚待今后进一步深入研究。

综上，兰州市某城区住宅室内存在颗粒物污染情况，采暖季较严重。拖地吸尘频率、开窗通风频率、温度、相对湿度和室外颗粒物污染对室内颗粒物水平有影响。建议保持住宅环境卫生和合理通风，在兼顾舒适性的同时，适当增加室内温度和相对湿度可能改善非采暖季室内空气质量。

参考文献

[1] 环境与健康杂志编辑部. 第六十八届世界卫生大会通过关于空气污染的决议 [J]. 环境与健康杂志，2015，32 (6)：520.
Editorial Department of J Environ Health. Resolution on air pollution adopted by the 68th World Health Assembly [J]. J Environ Health，2015，32 (6)：520.

[2] 胡元洁. 室内外大气颗粒物和典型有机污染物的环境行为及人体呼吸暴露风险 [D]. 北京：中国科学院大学，2018.
HU YJ. Environmental behavior and human inhalation exposure of particles and typical organic contaminants in indoor and outdoor air [D]. Beijing：University of Chinese Academy of Sciences，2018.

[3] 索丹凤，曾三武. 空气细颗粒物$PM_{2.5}$对人体各系统危害的研究 [J]. 医学信息，2019，32 (18)：32-34.
SUO DF，ZENG SW. Research on the harm of air fine particulate matter $PM_{2.5}$ to various human systems [J]. Med Inform，2019，32 (18)：32-34.

[4] 彭琦，饶俊，阳志文，等. 室内可吸入颗粒物污染与哮喘和肺癌的相关性研究综述 [J]. 实用预防医学，2018，25 (8)：1022-1025.
PENG Q，RAO J，YANG ZW，et al. Review of the studies on correlation between indoor inhalable particulate matter and asthma，lung cancer [J]. Pract Prev Med，2018，25 (8)：1022-1025.

[5] 龚洁，张刚，何振宇，等. 室内颗粒物污染对儿童哮喘影响的病例对照研究 [J]. 环境与健康杂志，2017，34 (6)：512-515.
GONG J，ZHANG G，HE ZY，et al. Impact of indoor particulate matters pollution on childhood asthma：a case-control study [J]. J Environ Health，2017，34 (6)：512-515.

[6] IDARRAGA MA，GUERRERO JS，MOSLE SG，et al. Relationships between short-term exposure to an indoor environment and dry eye (DE) symptoms [J]. J Clin Med，2020，9 (5)：1316.

[7] PATEL S，SANKHYAN S，BOEDICKER EK，et al. Indoor particulate matter during HOMEChem：Concentrations，size distributions，and exposures [J]. Environ Sci Technol，2020，54 (12)：7107-7116.

[8] 周岩，谭洪卫，赵雨. 开窗行为规律及其对室内$PM_{2.5}$浓度的影响研究 [J]. 建筑热能通风空调，2018，37 (2)：6-9，45.
ZHOU Y，TAN HW，ZHAO Y. Study on behavior of residents and influence on concentration of indoor particles [J]. Build Energy Environ，2018，37 (2)：6-9，45.

[9] 张群芳，洪烈城，彭巨成，等. 深圳市西乡街道居民室内空气污染现状调查 [J]. 环境卫生学杂志，2019，9 (6)：545-549，556.
ZHANG QF，HONG LC，PENG JC，et al. Investigation on indoor air pollution of residents residentiol district in Shenzhen at Xixiang [J]. J Environ Hyg，2019，9 (6)：545-549，556.

[10] 胡大宇，许珺辉，董伟，等. 北京市冬季采暖期家用空气净化器净化效果评价 [J]. 环境与职业医学，2018，35 (1)：33-38.
HU DY，XU JH，DONG W，et al. Evaluation of purification effects of household air purifiers during winter heating period in Beijing [J]. J Environ Occup Med，2018，35 (1)：33-38.

[11] 张金萍，束佳松，卢冠舟，等. 不同住所室内$PM_{2.5}$的浓度变化规律及温湿度对室内颗粒物影响的初探 [J]. 建筑节能，2019，35 (6)：73-81，90.
ZHANG JP，SHU JS，LU GZ，et al. Variation of indoor $PM_{2.5}$ concentrations in different residences and exploration on impacts of air temperature and humidity on the indoor particles [J]. Build Sci，2019，35 (6)：73-81，90.

[12] 钱培军. 宜兴市新装修居室室内空气污染状况和影响因素 [D]. 南京：东南大学，2018.
QIAN PJ. Indoor air pollution and its influencing factors in newly decorated rooms in Yixing [D]. Nanjing：Southeast University，2018.

[13] NEAMTIU IA，CIMPAN T，CIMPAN JQ，et al. Monitoring and assessment of formaldehyde levels in residential areas from two cities in Romania [J]. Rev Environ Health，2019，34 (3)：267-273.

（英文编辑：汪源；责任编辑：王晓宇）