

南京某高校室内外空气PM_{2.5}浓度监测分析

袁晨曦, 丁哥, 李涛, 储海燕, 王美林, 华秋翰, 倪春辉, 张正东, 吴冬梅

摘要: [目的] 了解高校室内外空气PM_{2.5}浓度及影响因素, 为室内空气PM_{2.5}浓度的研究和控制提供参考。[方法] 采用便携式空气颗粒物监测仪对南京医科大学城区(五台)和郊区(江宁)两个校区的6种室内外环境PM_{2.5}质量浓度(后简称“浓度”)进行监测; 同时观测采样点温度、湿度、通风情况、室内面积等指标, 比较不同区域、功能室内环境的PM_{2.5}浓度差异。[结果] 江宁和五台校区均是食堂室内PM_{2.5}浓度最高(82.00、149.71 μg/m³), 实验室室内浓度最低(31.20、35.00 μg/m³); 江宁与五台校区的教室、图书馆和食堂室内PM_{2.5}浓度差异均有统计学意义($P < 0.001$)。江宁的教室、实验室、食堂室外PM_{2.5}浓度均大于五台($P < 0.05$)。通过室内室外PM_{2.5}浓度比值(I/O值)的多重比较, 结果提示, 江宁校区的实验室(0.76)、食堂(1.09)与江宁其他场所有差异($P < 0.001$); 五台校区的图书馆(0.80)、食堂(3.08)与五台其他场所有差异($P < 0.001$)。多元回归分析表明, 使用空调和进行通风与室内PM_{2.5}浓度呈负相关, 而面积与PM_{2.5}浓度呈正相关, 回归方程为: $\hat{Y} = 48.63 - 15.01X_1 + 0.022X_2 - 4.46X_3$ (Y 为PM_{2.5}浓度, X_1 、 X_2 、 X_3 分别为空调使用、面积、进行通风)。当把食堂的室内炒菜活动也纳入分析, 则得出以下回归方程: $\hat{Y} = 139.17 - 17.67X_1 + 0.025X_2 - 91.38X_4$ (Y 为PM_{2.5}浓度, X_1 、 X_2 、 X_4 分别为使用空调、面积、炒菜)。[结论] 除了食堂PM_{2.5}浓度超过我国环境空气质量标准要求, 其他大学生生活场所的PM_{2.5}浓度均不高, 开启空调和通风利于降低室内PM_{2.5}, 炒菜等活动明显影响室内PM_{2.5}质量。

关键词: PM_{2.5}; 高校; 室内; 影响因素

Analysis of Indoor and Outdoor PM_{2.5} Concentrations in a University of Nanjing YUAN Chen-xi, DING Ge, LI Tao, CHU Hai-yan, WANG Mei-lin, HUA Qiu-han, NI Chun-hui, ZHANG Zheng-dong, WU Dong-mei (School of Public Health, Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 210029, China). Address correspondence to WU Dong-mei, E-mail: dmwu623@163.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To investigate the indoor and outdoor PM_{2.5} concentrations and related impact factors in a university and provide valuable data for indoor air study or control. [Methods] PM_{2.5} concentrations in six environments in urban campus (Wutai) and suburban campus (Jiangning) of Nanjing Medical University were monitored using a portable particulate matter monitor. Meanwhile, temperature, humidity, ventilation, and carpet area were monitored. Differences in PM_{2.5} concentrations among varied locations and functional indoor areas were also compared. [Results] The highest indoor PM_{2.5} levels were both found in the canteen areas (82.00 and 149.71 μg/m³) and the lowest in the library areas (31.20 μg/m³, 35.00 μg/m³) in Jiangning and Wutai campuses, respectively. The differences in indoor PM_{2.5} concentrations were statistically significant between classroom, library, and canteen of Jiangning and Wutai ($P < 0.001$). In addition, the PM_{2.5} concentrations of outside environments of classroom, laboratory, and canteen in Jiangning were higher than those in Wutai ($P < 0.05$). According to the results of multiple comparisons, the PM_{2.5} indoor/outdoor concentrations (I/O) of laboratory (0.76) and canteen (1.09) were different from those of other areas in Jiangning campus ($P < 0.001$); the I/O values of library (0.8) and canteen (3.08) were different from those of other areas in Wutai campus ($P < 0.001$). According to the results of multivariate regression analysis, air conditioning and ventilation were negatively associated with indoor PM_{2.5} concentration, but area was positively related with the PM_{2.5} concentration. The regression equation was: $\hat{Y} = 48.63 - 15.01X_1 + 0.022X_2 - 4.46X_3$ (Y denoted PM_{2.5} concentration; X_1 , X_2 , and X_3 denoted air conditioning, area, and ventilation, respectively). When cooking activities were included, the regression equation was: $\hat{Y} = 139.17 - 17.67X_1 + 0.025X_2 - 91.38X_4$ (Y denoted PM_{2.5} concentration; X_1 , X_2 , and X_4 denoted air conditioning, area, and cooking activity, respectively). [Conclusion] The PM_{2.5} concentrations meet the standards of ambient air quality in all monitored places except canteen. Use of air conditioning or ventilation is beneficial to decrease indoor PM_{2.5} concentration. Cooking activities significantly affect the quality of indoor PM_{2.5}.

Key Words: PM_{2.5}; university; indoor; influencing factor

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2016.15626

[基金项目] 江苏省高校自然科学研究面上项目(编号: 15KJB330002); 大学生创新创业训练计划项目(编号: 201510312001Z); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(无编号)

[作者简介] 袁晨曦(1996—), 女, 本科生; 研究方向: 环境卫生; E-mail: 852854329@qq.com

[通信作者] 吴冬梅, E-mail: dmwu623@163.com

[作者单位] 南京医科大学公共卫生学院, 江苏 南京 210029

随着我国工业、交通等能源消费的不断增长和城市规模的不断扩大,硫氧化物、氮氧化物及颗粒物等大气污染物的排放量总体呈不断上升趋势,城市空气污染问题日趋严重。南京所在的长江三角洲地区是我国经济最发达的地区之一,交通发达,工厂众多,是我国雾霾频发的区域。近年来,大气颗粒物成为影响城市空气质量的首要污染物^[1],与健康关系密切^[2-3]。国内外大量流行病学和环境卫生学研究均表明,颗粒物的粒径越小,对人体健康造成的危害就越大^[4],PM_{2.5}对人体的呼吸系统、心脑血管系统、免疫系统等均产生一定的危害作用^[5-6]。人每天大约有70%~90%的时间在室内度过,因而室内颗粒物对人体可能造成的潜在健康危害也更加需要关注^[7-8]。

近年来,围绕室外空气PM_{2.5}浓度分布特征及其影响因素的研究较多,但对室内情况的报道相对较少^[8-9],尤其是大学校园,作为一个人口高度密集的区域,相关研究更少。本研究拟监测南京某高校不同区域校区、不同功能室内PM_{2.5}质量浓度(以下简称“浓度”),以评估高校室内PM_{2.5}污染水平,并分析影响室内空气PM_{2.5}浓度的因素,为室内PM_{2.5}的研究控制和相关标准的制定提供依据。

1 对象与方法

1.1 监测场所

南京医科大学江宁校区(郊区,相对清洁)和五台校区(市区,相对污染)内的不同功能室内场所,包括教室、实验室、宿舍、图书馆、体育馆和食堂(五台校区没有体育馆,不做测量)。两校区相同功能室内场所楼层选择一致。

1.2 测量仪器

TY-9700温湿度仪(北京天跃环保科技有限公司,中国),HCJYET手持式红外测距仪(深圳宏成科技有限公司,中国),iPhone 6内置气压计(苹果,美国),PC3016便携式空气颗粒物监测仪(GrayWolf,美国)。

1.3 研究方法

测量室内温度、湿度、气压和面积;记录人数、自然通风和空调开关情况。测量时间具体为2015年4月17日、20日和24日,均为晴天时进行,每天对5个场所进行监测,每个场所每天监测1次。监测时间尽量选择在通常情况下人数较多的时间(由于处于考试季,教室和实验室人数少,多集中在图书馆),具体如下:教室(8:30—9:50),实验室(10:00—11:20),宿

舍(13:00—13:20),图书馆(14:30—15:40),体育馆(15:50—17:00),食堂(17:30—18:40),江宁和五台两校区由两人分别同时测量。仪器测量前使用调零过滤器进行清洁干燥,开机5 min待数据稳定后测量。每60 s读一平均值,每一个采样点连续读取10个平均值。室内采样点根据GB 17220—1998《公共场所卫生监督管理规范》进行布置,除了宿舍由于面积小采用一点法外,其他5种室内环境均选择五点法布置。教室、实验室、宿舍、图书馆和食堂采样高度选择座位呼吸带水平,置于桌子上方;体育馆测量置于站位呼吸带(1.5 m)的高度。采样点距离室内墙面>1.0 m,避开窗户和门。室外采样点均设在对应室内环境10 m处。

1.4 统计学分析

温度、湿度、气压等数值变量采用均数描述。3 d监测数据和室内PM_{2.5}浓度/室外PM_{2.5}浓度比值(I/O值)采用中位数、四分位区间描述;使用SPSS 16.0录入数据并统计分析。两独立样本比较采用Mann-Whitney U检验,多个独立样本比较采用Kruskal Wallis检验,检验水准为0.05;多个独立样本的两两多重比较采用Bonferroni校正法分析,江宁校区6个场所检验水准为0.003 3,五台校区5个场所检验水准为0.005。室内环境PM_{2.5}浓度影响因素分析采用多元逐步回归(通风、开空调、无炒菜等明显污染定义为1;无通风、关空调、有炒菜等明显污染定义为0)。

2 结果

2.1 监测场所一般特征

监测期间的平均温度为(26.6±1.2)℃,平均湿度为(48.4±2.4)%,平均气压是(1 009.3±1.9)hpa。各个监测点温、湿度相差不大,测量点气象条件稳定。图书馆、食堂人数相对较多,宿舍人数正常,而教室和实验室人数较少。通风情况、空调使用情况基本保持一致,楼层、室内面积等具体情况见表1。

2.2 不同场所室内外PM_{2.5}浓度比较

从PM_{2.5}浓度的绝对值来看,江宁的教室、图书馆室内PM_{2.5}浓度均大于五台(51.46 μg/m³ vs. 47.22 μg/m³, 54.67 μg/m³ vs. 39.00 μg/m³),而江宁食堂室内浓度小于五台(82.00 μg/m³ vs. 149.71 μg/m³),差异均有统计学意义(P<0.001)。江宁的教室、实验室、食堂室外PM_{2.5}浓度均大于五台(P<0.05)。江宁和五台校区均是食堂室内PM_{2.5}浓度最高(82.00、149.71 μg/m³),实验室室内浓度最低(31.20、35.00 μg/m³)。具体见表2。

表1 采样场所一般特征

场所	区域	平均温度(℃)	平均湿度(%RH)	平均气压(hpa)	楼层	通风状况	空调	室内平均人数	面积(m²)
教室	江宁	25.8	49.4	1011.8	一楼	窗关	关	6	93.2
	五台	24.8	46.7	1010.0	一楼	窗关	关	8	42.9
实验室	江宁	25.8	49.2	1011.6	三楼	窗关, 通风柜开	开	3	85.5
	五台	25.4	43.9	1008.2	三楼	窗关, 通风柜关	开	3	43.7
宿舍	江宁	27.0	50.2	1010.3	一楼	窗关	关	3	40.1
	五台	25.0	49.2	1010.0	一楼	窗关	关	2	21.7
图书馆	江宁	27.3	49.3	1009.7	二楼	窗开	关	141	450.0
	五台	27.3	45.2	1005.1	二楼	窗开	开	136	462.3
体育馆	江宁	28.1	47.1	1009.0	二楼	窗关	关	13	635.0
	五台	—	—	—	—	—	—	—	—
食堂	江宁	27.6	52.0	1008.7	一楼	窗开	关	206	1250.1
	五台	28.1	49.9	1008.0	一楼	窗开	关	72	420.9
平均值		26.6 ± 1.2	48.4 ± 2.4	1009.3 ± 1.9	—	—	—	—	—

表2 两校区不同场所室内外PM_{2.5}浓度比较(μg/m³)

场所	区域	室内				室外			
		样本数	M	P ₂₅ ~P ₇₅	P	样本数	M	P ₂₅ ~P ₇₅	P
教室	江宁	150	51.46	27.40~81.37	<0.001	30	43.43	21.63~110.03	0.015
	五台	150	47.22	16.16~56.49		30	40.41	18.39~43.73	
实验室	江宁	150	31.20	18.54~73.06	0.732	30	51.10	17.74~96.92	0.027
	五台	150	35.00	27.13~40.29		30	35.78	22.77~37.11	
宿舍	江宁	30	48.84	19.52~96.92	0.657	30	46.75	12.82~95.25	0.657
	五台	30	50.97	22.32~37.11		30	46.04	17.93~47.40	
图书馆	江宁	150	54.67	18.57~64.20	<0.001	30	49.82	17.91~63.59	0.416
	五台	150	39.00	14.84~44.89		30	53.16	16.37~56.43	
体育馆	江宁	150	62.97	19.92~74.18	—	30	61.48	18.61~83.13	—
	五台	—	—	—		—	—	—	
食堂	江宁	150	82.00	19.32~92.51	<0.001	30	80.19	11.33~84.95	0.014
	五台	150	149.71	110.98~177.19		30	47.93	22.70~49.91	

进一步对两区域各场所室内PM_{2.5}浓度进行比较, 结果见表3。江宁校区6种场所室内PM_{2.5}浓度差异有统计学意义($P<0.001$), 其中, 教室、实验室、图书馆、体育馆与食堂差异均有统计学意义; 教室、体育馆与实验室相比也均有差异($P<0.003$)。五台校区5种场所室内PM_{2.5}浓度差异有统计学意义($P<0.001$), 其中, 教室、实验室、宿舍、图书馆与食堂差异均有统计学意义($P<0.005$)。

2.3 不同场所室内外PM_{2.5}浓度比值(I/O值)的比较

为了排除室外PM_{2.5}对室内的影响, 进一步比较江宁和五台校区不同场所室内和对应室外PM_{2.5}浓度比值, 即I/O值, 发现两校区不同场所比值差异均有统计学意义($P<0.001$)。在江宁校区, 食堂的I/O值(1.09)最大, 实验室的I/O值(0.76)最小; 在五台校区, 食堂的I/O值(3.08)亦最大, 而图书馆的I/O值(0.80)最小, 具体结果见表4。

对于江宁和五台功能相同的场所, I/O值亦有差异。除了位于江宁的教室和图书馆的I/O值大于五台

外($P<0.001$), 其他场所(实验室、宿舍和食堂)的I/O值均小于五台($P<0.05$)。

表3 不同场所PM_{2.5}浓度的比较

场所1	场所2	江宁		五台	
		多组比较	两两比较 P	多组比较	两两比较 P
教室	实验室		0.001		0.354
	宿舍		1.000		1.000
	图书馆		0.343		0.280
	体育馆		1.000		—
	食堂		0.002		0.000
实验室	宿舍		0.090		0.738
	图书馆		1.000		1.000
	体育馆	$F=14.21$ $P<0.001$	0.001	$F=594.46$ $P<0.001$	—
	食堂		0.000		0.000
宿舍	体育馆		1.000		—
	食堂	1.000		0.000	
	图书馆		1.000		0.655
图书馆	体育馆		0.457		—
	食堂		0.000		0.000
体育馆	食堂		0.001		—

表 4 不同场所室内外 PM_{2.5} 浓度比(I/O 值) 的比较

场所	江宁				五台				P
	M	P ₂₅ ~P ₇₅	χ ²	P	M	P ₂₅ ~P ₇₅	χ ²	P	
教室	1.07	0.76~1.23	269.53	<0.001	1.02	0.91~1.33	449.66	<0.001	<0.001
实验室	0.76	0.61~0.95			1.10	0.81~1.27			<0.001
宿舍	1.03	1.01~1.50			1.14	1.10~1.24			0.027
图书馆	1.07	1.03~1.10			0.80	0.75~0.86			<0.001
体育馆	1.02	0.91~1.05			—	—			—
食堂	1.09	1.03~1.47			3.08	2.23~8.02			<0.001

进一步对不同场所 PM_{2.5} 浓度 I/O 值做两两比较, 结果提示, 江宁校区的实验室、食堂与江宁其他场所所有差异($P<0.001$); 五台校区的图书馆、食堂与五台其他场所所有差异($P<0.001$)。

2.4 高校室内空气 PM_{2.5} 浓度的影响因素分析

采用多元逐步回归方法对多个可能影响 PM_{2.5} 浓度的因素进行分析。考虑到食堂中有现场炒菜造成的持续烹调油烟污染时会很大程度影响室内 PM_{2.5} 浓度, 因此首先分析教室、实验室、图书馆、宿舍和体育馆这 5 类无明显室内活动污染的场所, 分析因素包括: 温度、湿度、气压、通风、空调、人数、面积和室外 PM_{2.5} 浓度, 结果发现使用空调和进行通风两个因素与室内 PM_{2.5} 浓度呈负相关, 且使用空调降低 PM_{2.5} 浓度的作用大于通风(系数分别为 -15.01 和 -4.46), 而室内面积与之呈正相关(系数为 0.022), 回归方程为: $\hat{Y}=48.63-15.01X_1+0.022X_2-4.46X_3$ (Y 为 PM_{2.5} 浓度, X_1 、 X_2 、 X_3 分别为使用空调、面积、进行通风)。当把食堂的室内炒菜活动也纳入分析, 则得出以下回归方程: $\hat{Y}=139.17-17.67X_1+0.025X_2-91.38X_4$ (Y 为 PM_{2.5} 浓度, X_1 、 X_2 、 X_4 分别为使用空调、面积、炒菜), 显示室内炒菜活动与空气中 PM_{2.5} 浓度呈负相关(统计分析定义炒菜为 0, 无炒菜等明显污染为 1), 但通风变量在此回归中被剔除, 原因很可能是持续的室内污染排放掩盖了通风的作用。

3 讨论

大学校园是一种集各类公共场所和集体居室为一体的特殊环境。大学生们在教室、实验室、图书馆、食堂和宿舍等场所渡过 90% 以上的时间。室内 PM_{2.5} 浓度与学生健康密切相关。本研究监测时段位于春末夏初, 温度和湿度相对较高, 但各个监测点温、湿度相差不大, 测量点环境气象条件相对稳定。

根据我国 GB 3095—2012《环境空气质量标准》, 本研究期间, 除了江宁食堂外部, 江宁和五台的室

外环境 PM_{2.5} 平均浓度均小于 75 μg/L, 符合环境空气质量标准要求。研究发现, 江宁的教室、实验室室外 PM_{2.5} 浓度均大于五台, 监测时段为上午 8:30—11:20, 该监测结果总体水平与监测期间南京市环保局公布的数据(<http://www.njhb.gov.cn>) 一致, 即江宁的 PM_{2.5} 浓度大于五台, 可见郊区 PM_{2.5} 污染也可能重于城区, 尤其短期内波动是没有一定规律的。对于室内环境, 除了两个校区的食堂内 PM_{2.5} 平均浓度均超过 75 μg/L 外, 其他场所的 PM_{2.5} 浓度均低于 75 μg/L, 说明春末夏初大学生室内学习和生活环境中 PM_{2.5} 情况尚好。

仅从室内 PM_{2.5} 浓度的绝对值来看, 并未发现江宁的实验室和宿舍与五台有差异, 但通过进一步比较 I/O 值, 却发现五台的室内污染实际上重于江宁。说明比较室内污染情况并不能仅比较绝对值, 还应考虑反映室内外综合情况的相对值才能更加全面地了解室内污染状况。

通过对江宁和五台校区室内环境和室外环境的监测, 发现无论五台校区还是江宁校区, 食堂 I/O 值均最大, 即 PM_{2.5} 污染最重, 室内 PM_{2.5} 浓度均高于室外, 而江宁的实验室和五台的图书馆 I/O 值最小, 均小于 1, 即室内 PM_{2.5} 均低于室外。究其原因, 江宁实验室污染最轻主要与其室内有大功率的通风柜在一直运转有关; 而对于五台的图书馆, 因其空调处于运行状态, 有研究表明, 拥有较好过滤系统的中央空调可以将室内 PM_{2.5} 降低至室外的 1/4 以下^[10], 由于五台图书馆的窗户也处于开启状态, 所以空调的过滤效果并未达到报道的水平, 但表现出五台图书馆的 PM_{2.5} 浓度低于江宁。比较江宁和五台食堂内 PM_{2.5} 浓度, 发现五台食堂 I/O 值远高于江宁, 主要原因为五台食堂售餐区有现场炒菜, 为室内烹调所致。

综合室内外 PM_{2.5} 浓度, 进一步分别对江宁和五台的不同场所做两两比较, 结果提示, 江宁校区的实验室、食堂 PM_{2.5} 浓度与其他场所均有差异, 五台校区的图书馆、食堂与其他场所均有差异, 说明对多个场

所做多重比较时,往往I/O值最大和最小者与其他场所均有明显差异,与绝对值的比较结果相似。

为了进一步了解哪些环境因素可以影响大学生经常停留的室内场所PM_{2.5}浓度,采用多元回归分析,结果显示,对于教室、实验室、图书馆、宿舍和体育馆这类高校中无明显室内污染来源的场所,使用空调和进行自然或机械通风可以降低室内PM_{2.5}浓度;而对于食堂,现场炒菜活动会产生大量油烟,从而增加室内PM_{2.5}浓度,而且测量时间段正好是学生就餐时间,人员来来往往活动也比较多。北京市部分食堂和酒吧烟草烟雾及影响因素调查中发现,室外细颗粒物浓度均比室内低^[11]。国外有研究调查从事烹饪活动的商店全天的PM_{2.5}水平变化趋势,发现每天12:30—13:30的污染浓度是当天的最高峰,此时也是最大客流时间,厨房要为客人准备食物而连续工作^[12],以上研究结果提示了烟草、烹饪等人类活动对室内PM_{2.5}水平的影响。此外,我们发现面积越大,室内PM_{2.5}浓度越大,但影响系数相对较小(0.022),有待于在以后的研究中进一步确认。

本研究存在以下局限性:①仅测定了春末夏初若干日内的PM_{2.5}浓度,将来可对一年不同季节进行的测定,获得更有代表性的资料。②采用GrayWolf PC3016便携式空气颗粒物监测仪对PM_{2.5}浓度进行测定,为光散射法,虽然简便快捷,但不如称重法准确。③教室和实验室内学生数量少,分析学生人数对室内PM_{2.5}浓度的影响代表性不强。

综上所述,除食堂外,高校各室内场所PM_{2.5}状况总体良好。大学生活动场所PM_{2.5}浓度受室内污染活动及空调、通风影响。要进一步探讨郊区和市区PM_{2.5}状况还需更大的数据量,并对周围是否存在其他污染源进行分析。食堂作为学生生活不可缺少的区域,应当加强室内烹调油烟的控制,降低PM_{2.5}浓度。

(志谢:感谢陈宇炼在课题进展中给予的指导;感谢王克波老师在仪器使用方面给予的支持。)

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] Han L, Zhou W, Li W. City as a major source area of fine particulate (PM_{2.5}) in China[J]. Environ Pollut, 2015, 206: 183-187.
- [2] Lu F, Zhou L, Xu Y, et al. Short-term effects of air pollution on daily mortality and years of life lost in Nanjing, China[J]. Sci Total Environ, 2015, 536: 123-129.
- [3] Apte JS, Marshall JD, Cohen AJ, et al. Addressing global mortality from ambient PM_{2.5}[J]. Environ Sci Technol, 2015, 49(13): 8057-8066.
- [4] Wang SM, Inthavong K, Wen J, et al. Comparison of micron- and nanoparticle deposition patterns in a realistic human nasal cavity[J]. Respir Physiol Neurobiol, 2009, 166(3): 142-151.
- [5] Wang C, Tu Y, Yu Z, et al. PM_{2.5} and cardiovascular diseases in the elderly: an overview[J]. Int J Environ Res Public Health, 2015, 12(7): 8187-8197.
- [6] 马晓燕, 张志红. PM_{2.5}与哮喘关系的研究进展[J]. 环境与职业医学, 2015, 32(3): 279-283.
- [7] Nazaroff WW, Goldstein AH. Indoor chemistry: research opportunities and challenges[J]. Indoor Air, 2015, 5(4): 357-361.
- [8] Morawska L, Afshari A, Bae GN, et al. Indoor aerosols: from personal exposure to risk assessment[J]. Indoor Air, 2013, 23(6): 462-487.
- [9] 朱梅, 文远高. 室内PM_{2.5}浓度标准的探讨[J]. 制冷与空调, 2014, 28(6): 726-730.
- [10] 刘波, 邓芙蓉, 郭新彪, 等. 四种类型公共场所室内细颗粒物水平影响因素的研究[J]. 中华预防医学杂志, 2009, 43(8): 664-668.
- [11] 康纪明, 姜垣, 林晓光, 等. 北京市部分食堂和酒吧烟草烟雾及影响因素调查[J]. 中华流行病学杂志, 2007, 28(8): 738-741.
- [12] Chan WR, Sidheswaran M, Sullivan DP, et al. Cooking-related PM_{2.5} and acrolein measured in grocery stores and comparison with other retail types[J]. Indoor Air, 2016, 26(3): 489-500.

(收稿日期: 2015-10-22)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 丁瑾瑜; 校对: 汪源)