

2015 年广州市某小学内大气 PM_{2.5} 与部分重金属元素质量浓度的关系

施洁, 吕嘉韵, 杨轶骞, 蒋琴琴, 刘鹏达, 石同幸

广州市疾病预防控制中心, 广东 广州 510440

摘要: **目的** 了解 2015 年广州市某小学内大气 PM_{2.5} 与部分重金属铅(Pb)、铝(Al)、镉(Cd)、砷(As)质量浓度的变化关系。**方法** 选择城区某小学内为采样点,采用石英纤维和玻璃纤维滤膜称重法于 2015 年每月 10–16 日在 15 m 高的楼面进行大气 PM_{2.5} 采样,连续采样 7 d,每次采样时间为 24 h,利用电感耦合等离子体质谱法检测金属元素 Pb、Al、Cd、As 质量浓度。分析 PM_{2.5} 与部分重金属质量浓度关系。**结果** 2015 年 PM_{2.5} 浓度平均值为 (69.0±40.6) μg/m³,重金属平均质量浓度大小依次为 Al>Pb>As>Cd,分别为 (156.53±73.78) ng/m³、(59.05±43.47) ng/m³、(10.13±7.03) ng/m³、(1.75±1.31) ng/m³;空气 PM_{2.5} 浓度及 As、Cd、Al 质量浓度峰值均出现在 2 月,分别为 (154.4±50.7) μg/m³、(17.82±12.60) ng/m³、(3.58±1.85) ng/m³、(237.13±93.33) ng/m³;Pb 质量浓度峰值出现在 1 月,为 (129.13±53.65) ng/m³;Pb、Al、Cd、As 质量浓度均与 PM_{2.5} 浓度呈正相关关系 ($r=0.6091, 0.5880, 0.6380, 0.4646, P<0.05$);单变量和多变量线性回归模型表明,Pb、Al、Cd、As 质量浓度均与 PM_{2.5} 浓度密切关联 ($P<0.05$)。**结论** 广州市城区某小学内大气 2015 年 PM_{2.5} 年平均污染浓度超过《环境空气质量标准》(GB 3095–2012)二类区浓度限值二级标准, Pb、Al、Cd、As 质量浓度均与 PM_{2.5} 浓度密切关联。

关键词: PM_{2.5}; 金属元素; 质量浓度

中图分类号:R122.7 文献标识码:A 文章编号:1006–3110(2017)12–1462–04 DOI:10.3969/j.issn.1006–3110.2017.12.015

Associations between atmospheric PM_{2.5} and mass concentrations of some heavy metals in a primary school in Guangzhou City, 2015

SHI Jie, LYU Jia-yun, YANG Yi-jian, JIANG Qin-qin, LIU Peng-da, SHI Tong-xing

Guangzhou Municipal Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 510440, China

Corresponding author: SHI Tong-xing, E-mail:398057348@qq.com

Abstract: **Objective** To investigate the associations between atmospheric PM_{2.5} and mass concentrations of lead(Pb), aluminum(Al), cadmium(Cd) and arsenic(As) in a primary school in Guangzhou City in 2015. **Methods** The 15-meter-high roof of a primary school in the urban area of Guangzhou City was selected as the sampling site. Atmospheric PM_{2.5} was collected with quartz fiber filters and glass fiber filters for 24 hours per day and weighted from 10th to 16th every month in 2015. The mass concentrations of Pb, Al, Cd and As were detected with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and the relationships between the atmospheric PM_{2.5} and mass concentrations of the above-mentioned heavy metals were analyzed. **Results** The average concentration of atmospheric PM_{2.5} in the primary school in 2015 was (69.0±40.6) μg/m³. The descending order of the average mass concentrations of the four heavy metals was Al ((156.53±73.78) ng/m³) > Pb ((59.05±43.47) ng/m³) > As ((10.13±7.03) ng/m³) > Cd ((1.75±1.31) ng/m³). The peak concentrations of PM_{2.5} ((154.4±50.7) μg/m³), As ((17.82±12.60) ng/m³), Cd ((3.58±1.85) ng/m³) and Al ((237.13±93.33) ng/m³) all appeared in February, while the peak concentration of Pb ((129.13±53.65) ng/m³) occurred in January. There were positive correlations between the concentration of PM_{2.5} and mass concentrations of Pb, Al, Cd and As ($r=0.6091, r=0.5880, r=0.6380, r=0.4646, P<0.05$). The univariable linear regression model and the multivariable linear regression model showed that the mass concentrations of Pb, Al, Cd and As were closely related to the concentration of atmospheric PM_{2.5} ($P<0.05$). **Conclusions** The annual average concentration of PM_{2.5} in the primary school in Guangzhou City in 2015 exceeded the limit of secondary standard for the second kind of regions in Ambient Air Quality Standard (GB 3095–2012). The mass concentrations of Pb, Al, Cd and As are closely associated with the concentration of atmospheric PM_{2.5}.

基金项目:广州市医药卫生科技项目(20151A011055)

作者简介:施洁(1981–),本科学历,主管医师,主要从事环境卫生工作。

通信作者:石同幸, E-mail:398057348@qq.com。

Key words: PM2.5; metal element; mass concentration

大气气溶胶重金属可对人体健康造成严重危害,具有不可降解性、生物毒性和生物累积性,可通过呼吸、皮肤接触等方式进入人体,一旦进入人体器官,便可大量富集,同时又可与体内的有机物质结合并转化为更具毒性的金属有机化合物,对人体健康有巨大的危害,特别是对儿童健康危害更大^[1-6]。本研究通过在广州市某小学内设置采样点采集大气中 PM2.5,分析其中的重金属元素铅(Pb)、铝(Al)、镉(Cd)、砷(As)成份浓度,探讨广州市某小学区域大气 PM2.5 质量浓度与 Pb、Al、Cd、As 金属元素质量浓度的关系。

1 材料与方法

1.1 采样点 选择广州市城区某小学内 15 m 高的楼面为采样点,采样点周围避开污染源及障碍物如食堂排烟口、交通道路等。

1.2 采样方法

1.2.1 采样时间 2015 年 1-12 月,每月 10-16 日,连续采样 7 d,每次采样时间为 24 h。

1.2.2 采样仪器与材料 使用 TH-150C 智能中流量 PM2.5 采样器(武汉市天虹仪表有限责任公司),流量为 100 L/min;滤膜为 90 mm 的石英纤维滤膜(英国 Whatman 公司)和玻璃纤维滤膜(美国 Pall 公司),使用感量 0.01 mg 的分析天平(ME6145,赛多利斯公司)称量滤膜质量。

1.3 分析方法 将滤膜放在恒温恒湿箱[温度(25±1)℃;湿度(50±5)% RH]中平衡至少 24 h 后进行称量,滤膜在采样前后平衡条件一致。玻璃纤维滤膜用于 PM2.5 质量浓度分析,样品采集完成后,同一滤膜在恒温恒湿箱中相同条件下再平衡 1 h 后称重,两次重量之差小于 0.04 mg 为恒重要求,以两次称重算术均数为最终样品质量,并计算质量浓度。石英纤维滤膜用于 PM2.5 重金属成分分析,使用石英滤膜采集的样品经预处理(5% HNO₃ 超声浸提)后,浸提液经离心,合并澄清液并稀释定容,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS Agilent 7700)检测金属元素。

1.4 统计分析 采用 R 软件(version 3.2.2)进行统计分析。PM2.5 浓度以及 Pb、Al、Cd、As 质量浓度用均数±标准差描述。PM2.5 浓度与 Pb、Al、Cd、As 质量浓度相关性用 Pearson 相关性检验。PM2.5 浓度与 Pb、Al、Cd、As 质量浓度之间的关系用单变量和多变量线性回归模型分析,以 PM2.5 为应变量,单变量模型为纳入 Pb、Al、Cd、As 质量浓度分别进行分析,多变量

则在单变量模型基础上调整降雨量、平均气温 2 个因素。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

2 结果

2.1 PM2.5 浓度及 Pb、As、Cd、Al 质量浓度概况 广州市某小学内大气 2015 年 PM2.5 浓度平均值为(69.0±40.6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$,超过《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)^[7]二类区浓度限值二级标准(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),高于 WHO 的目标限值(PM2.5 浓度年均值:10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)^[8]。根据《环境空气质量标准》(GB 3095-2012),重金属中 Pb 和 Cd 的平均质量浓度均未超过标准(0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 0.005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),而 As 超过标准(0.006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),Al 则在该标准中尚未规定限值,见表 1。

表 1 PM2.5 浓度及 Pb、As、Cd、Al 质量浓度概况

变量	平均值($\bar{x}\pm s$)	$M(P_{25}, P_{75})$	浓度范围
PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	69.0±40.6	59.1(42.8, 79.8)	14.5~252.8
Pb(ng/m^3)	59.05±43.47	42.76(29.05, 70.78)	10.9~224.00
As(ng/m^3)	10.13±7.03	7.97(5.70, 13.05)	1.7~44.20
Cd(ng/m^3)	1.75±1.31	1.20(0.88, 2.24)	0.4~7.42
Al(ng/m^3)	156.53±73.77	137.15(105.34, 195.14)	50.0~396.00

广州市某小学内大气 2015 年 1-12 月每月空气 PM2.5 浓度及 As、Cd、Al 质量浓度峰值均出现在 2 月,分别为(154.4±50.7) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、(17.82±12.60) ng/m^3 、(3.58±1.85) ng/m^3 、(237.13±93.33) ng/m^3 ; Pb 质量浓度峰值出现在 1 月,为(129.13±53.65) ng/m^3 。各月 24 h 平均 PM2.5 质量浓度在 2 月(154.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、3 月(107.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和 10 月(77.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)超过《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)二类区浓度限值二级标准(75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。PM2.5 及 Pb、Al、Cd、As 质量浓度的月变化趋势见图 1 和图 2。

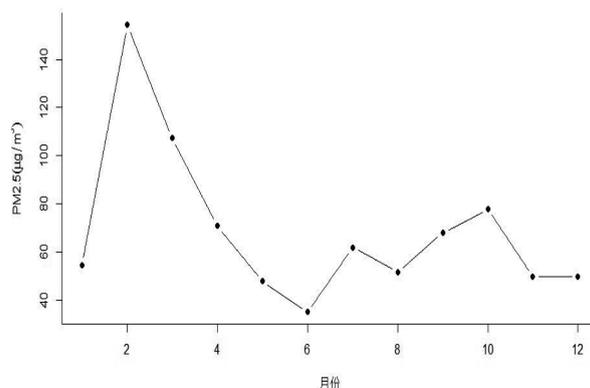


图 1 广州市某小学内大气 PM2.5 按月变化趋势图

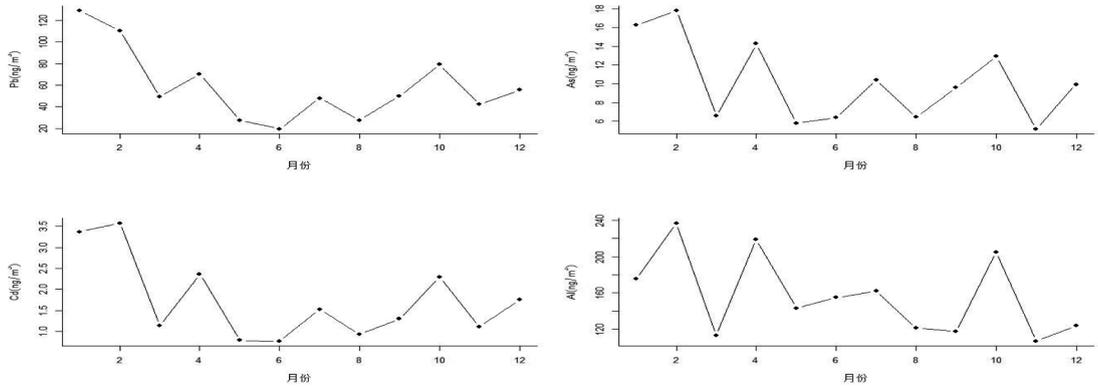


图 2 广州市某小学内大气铅(Pb)、砷(As)、镉(Cd)、铝(Al)浓度按月变化趋势图

2.2 降雨量与平均气温情况 PM2.5 监测期间日平均气温和日均降雨量见图 3。日平均气温 1 月最低

(12.12℃),7 月份最高(29.03℃)。日平均降雨量 2 月最低(0.33 mm),7 月为最高(31.60 mm)。

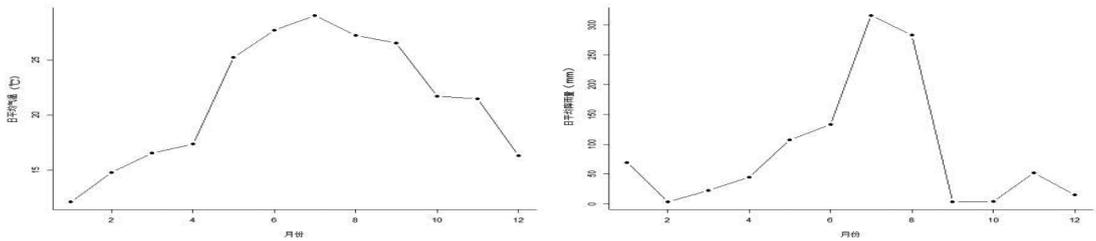


图 3 PM2.5 监测期间日平均气温与日平均降雨量

2.3 PM2.5 浓度与 Pb、As、Cd、Al 质量浓度相关性分析 对广州市城区某小学内空气 PM2.5 浓度与 Pb、Al、Cd、As 质量浓度进行 Pearson 相关分析,结果显示, Pb、Al、Cd、As 质量浓度均与 PM2.5 浓度均呈显著正相关 ($r = 0.609 1、0.588 0、0.638 0、0.464 6, P < 0.05$),见表 2 和图 4。

表 2 PM2.5 浓度及 Pb、Al、Cd、As 质量浓度相关性分析表

变量	相关系数(r)	t 值	P 值
Pb	0.609 1	7.446 1	<0.0001
As	0.588 0	7.047 6	<0.0001
Cd	0.638 0	8.032 7	<0.0001
Al	0.464 6	5.086 6	<0.0001

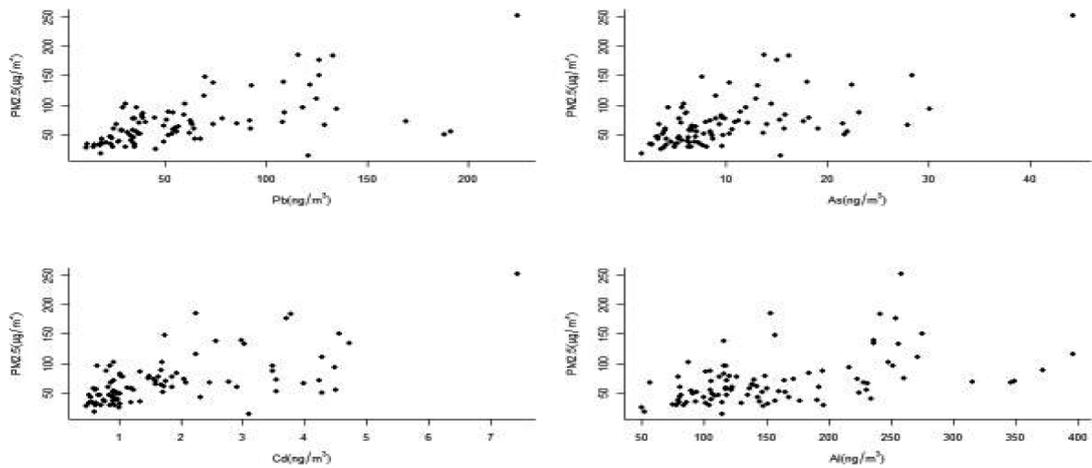


图 4 PM2.5 浓度与铅(Pb)、砷(As)、镉(Cd)、铝(Al)质量浓度散点图

2.4 PM2.5 浓度与 Pb、As、Cd、Al 质量浓度回归分析 以 PM2.5 浓度为应变量,相关分析有统计学意义 ($P < 0.05$) 的变量 (Pb、Al、Cd、As 质量浓度) 分别纳入单变量和多变量线性回归模型,多变量在单变量模型

基础上调整降雨量、平均气温 2 个因素。单变量分析结果显示,Pb、Al、Cd、As 质量浓度是 PM2.5 浓度的影响因素 ($P < 0.05$),回归系数分别为 0.959 4、5.709 3、32.525 0、0.407 4;但校正了降雨量和平均气温的混杂

效应,回归系数分别为 0.682 9、4.176 3、23.441 0、0.346 8,多变量分析结果与单变量一致,见表 3。

表 3 PM_{2.5} 浓度及铅、砷、镉、铝质量浓度回归分析表

变量	模型	回归系数	标准误	t 值	P 值	R ²
Pb	1	0.959 4	0.053 6	17.884 0	<0.0001	0.771 0
	2	0.682 9	0.064 9	10.523 7	<0.0001	0.835 5
As	1	5.709 3	0.317 9	17.958 0	<0.0001	0.772 4
	2	4.176 3	0.449 7	9.285 9	<0.0001	0.813 0
Cd	1	32.525 0	1.757 6	18.505 6	<0.0001	0.782 8
	2	23.441 0	2.108 1	11.119 7	<0.0001	0.845 3
Al	1	0.407 4	0.022 5	18.147 5	<0.0001	0.776 1
	2	0.346 8	0.044 3	7.822 0	0.0000	0.782 7

注:模型 1:未校正降雨量和平均气温的回归分析;模型 2:校正降雨量和平均气温的回归分析。

3 讨论

广州市该采样点 2015 年 PM_{2.5} 年平均浓度 (70.00 μg/m³) 虽超过《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 二类区浓度限值二级标准,但各月 24 h 平均浓度仅 2 月、3 月和 10 月超过标准限值。总体来看,PM_{2.5} 冬春季浓度高于夏秋季,其中冬季最高^[9]。PM_{2.5} 浓度与四种金属元素的相关性和回归分析表明,PM_{2.5} 浓度变化与 Cd 元素质量浓度相关性最高,其次为 Pb 和 As,与 Al 元素质量浓度相关系数最低。

李友平等^[10]对成都市 PM_{2.5} 中有毒金属污染特征的研究显示:大气 PM_{2.5} 中的 As、Cd、Pb 均超标,且对人体存在致癌健康风险。李敏等^[11]对广州大气 PM_{2.5} 中的重金属污染的健康风险评价显示:广州大气 PM_{2.5} 中 As、Cr 对人体健康存在潜在风险。石同幸等^[12]对广州中心城区 2013 年冬季大气 PM_{2.5} 污染特征分析显示,Al 的平均浓度最高,其次是 Pb,采样区大气 PM_{2.5} 各日平均浓度曲线呈“V”形,在 1 和 12 月份较高,在 6-8 月份较低,本研究结果显示 PM_{2.5} 峰值出现在 2 月,最低值出现在 6 月,金属元素 Al 的平均质量浓度最高 (156.53±73.77 ng/m³),其次是 Pb (59.05±43.47 ng/m³) 与上述研究结果基本一致。

宋宇等^[13]在夏季持续高温天气对北京市大气细颗粒物 (PM_{2.5}) 的影响研究表明:持续高温期间细颗粒物质量浓度比非高温期间要高出 2~3 倍;彭小清^[14]利用 2013 年香格里拉区域大气本地站监测的 PM_{1.0}、PM_{2.5} 质量浓度数据分析得出结论:降雨量与 PM_{1.0}、PM_{2.5} 质量浓度呈现负相关,PM_{1.0}、PM_{2.5} 质量浓度与气温正相关。本研究调整平均气温和降雨量因素后,PM_{2.5} 浓度与四种元素的回归系数均有所降低,说明 PM_{2.5} 浓度与气象因素密切相关。采样期内不同季节里不同温度范围内,PM_{2.5} 的质量浓度与不同的温度表现有强烈的相关性 (均 P<0.01); 有降

水的采样期比无降水的采样期 PM_{2.5} 质量浓度相对低。与上述研究结果一致。

现有的研究表明,大气颗粒物中金属元素含量在城市内部不同功能区差异较大,不同地区颗粒物中重金属种类和含量的差异与人体健康效应有密切关系^[15]。2013 年 11 月和 12 月本课题组^[5]曾在广州中心城区对购物、住宿和餐饮 3 类公共场所的室内 PM_{2.5} 进行了采集,分析表明各类场所中 Al、Pb、As、Cd 的含量较高。

本研究仅采用了广州市城区一个采样点的结果,不能代表全市情况,进一步增强监测的代表性需要增加足够的采样点数;PM_{2.5} 污染浓度受气象因素的影响较大,除本研究纳入的气温和降雨因素外,风速、气压等亦可以影响其浓度;此外,PM_{2.5} 污染浓度也受区域内机动车流量、雾霾天气的影响^[16-18],有待进一步研究。

参考文献

- [1] Pope CA, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect [J]. J Air Waste Manage Assoc, 2006, 56(6): 709-742.
- [2] Manuel ALG, Santibaez DA, Sergio IE, et al. A five-year study of particulate matter (PM_{2.5}) and cerebrovascular diseases [J]. Environ Pollut, 2013, 181(1): 1-6.
- [3] 杨弘,张君秋,王维,等. 太原市大气颗粒物中重金属的污染特征及来源解析 [J]. 中国环境监测, 2015, 31(1): 24-28.
- [4] 李丽娟,温彦平,彭林,等. 太原市春季 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中 As 及重金属污染特征研究 [J]. 太原理工大学学报, 2015, 59(1): 104-109.
- [5] 石同幸,杨轶骥,蒋琴琴,等. 广州市部分公共场所室内空气中 PM_{2.5} 成份及健康危害分析 [J]. 实用预防医学, 2014, 21(12): 1412-1415.
- [6] 陈培飞,张嘉琪,毕晓辉,等. 天津市环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中典型重金属污染特征与来源研究 [J]. 南开大学学报(自然科学版), 2013, 6(1): 1-7.
- [7] 环境保护部. GB 3095-2012 环境空气质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012: 1-12.
- [8] WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide (Global update 2005; summary of risk assessment) [S]. Geneva: World Health Organization, 2005.
- [9] 胡燕,杨敏娟,孙乔. 上海市浦东新区大气 PM_{2.5} 中重金属污染现状研究 [J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(5): 718-721.
- [10] 李友平,刘慧芳,周洪,等. 成都市 PM_{2.5} 中有毒重金属污染特征及健康风险评价 [J]. 中国环境科学, 2015, 35(7): 2225-2232.
- [11] 李敏,高燕红,郭凌川,等. 广州大气 PM_{2.5} 中重金属污染的健康风险评价 [J]. 健康与环境杂志, 2016, 33(5): 421-424.
- [12] 石同幸,董航,杨轶骥,等. 广州市中心城区冬季大气 PM_{2.5} 污染状况与居民每日死亡的关系 [J]. 环境与健康杂志, 2015, 32(6): 477-481.
- [13] 宋宇,唐孝炎,张远航,等. 夏季持续高温天气对北京市大气细颗粒物 (PM_{2.5}) 的影响 [J]. 环境科学, 2002, 23(1): 33-36.
- [14] 彭小清. 温湿度及天气对 Grimm180PM_{1.0} 和 PM_{2.5} 的影响分析 [J]. 河南科技, 2015, 563(5): 153-156.
- [15] 李万伟,李晓红,徐东群. 大气颗粒物中重金属分布特征和来源的研究进展 [J]. 环境与健康杂志, 2011, 2(7): 654-657.
- [16] 杜艳君,孙庆华,李滢滢. 不同微环境 PM_{2.5} 个体暴露量的初步研究 [J]. 环境与健康杂志, 2016, 33(3): 189-192.
- [17] 林宗伟,于彦杰,吴根容,等. 广州市春季小学教学环境细颗粒物对学生呼吸系统影响的研究 [J]. 实用预防医学, 2014, 21(3): 281-284.
- [18] 陈振明,王敏桥,赵海生,等. 2014 年广州地区公共场所室内 PM_{2.5} 污染浓度及影响因素分析 [J]. 实用预防医学, 2016, 23(8): 967-969.