

济南市 2013—2015 年某综合医院呼吸系统疾病就诊人次与大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 关系的时间序列研究

赵梦娇 耿兴义 崔亮亮 周敬文 张济

250021 山东省济南市疾病预防控制中心

通信作者:张济, Email: zhangji1967@hotmail.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2017.03.020

【摘要】 目的 分析济南市大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 日均浓度与当地居民呼吸系统疾病日就诊人次的相关性。方法 收集 2013—2015 年济南市空气污染数据、气象数据和某综合医院每日呼吸系统就诊数,采用基于 Poisson 分布的广义相加模型的时间序列分析,控制长期趋势、星期几效应、气象因素等混杂因素的影响后,分析济南市大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 日均浓度与居民呼吸系统疾病日就诊人次间的关系,并考虑滞后效应和其他空气污染物的影响。结果 大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 与呼吸系统就诊人次存在关联,差异有统计学意义。当 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度上升 10 μg/m³ 时,当天呼吸系统疾病就诊人次分别增加 0.36% (95% CI: 0.30% ~ 0.43%) 和 0.50% (95% CI: 0.30% ~ 0.70%); 滞后 6 d 的 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度的健康效应最强,超额危险度为 0.65% (95% CI: 0.58% ~ 0.71%) 和 0.54% (95% CI: 0.42% ~ 0.67%); 当纳入 NO₂ 拟合多污染物模型时,大气颗粒物 PM₁₀ 浓度上升 10 μg/m³ 时,当天呼吸系统疾病就诊人次增加 0.83% (95% CI: 0.76% ~ 0.91%)。结论 济南城区大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 污染与居民呼吸系统疾病就诊人次间存在正相关,NO₂ 污染浓度可增加其效应。

【关键词】 可吸入颗粒物; 呼吸系统疾病; 广义相加模型; 时间序列分析; 日就诊人次

Association between ambient PM₁₀/PM_{2.5} concentration and outpatient department visits due to respiratory disease in a hospital in Jinan, 2013—2015: a time series analysis Zhao Mengjiao, Geng Xingyi, Cui Liangliang, Zhou Jingwen, Zhang Ji
Jinan Municipal Center for Disease Control and Prevention, Jinan 250021, China
Corresponding author: Zhang Ji, Email: zhangji1967@hotmail.com

【Abstract】 Objective To estimate the influence of the ambient PM₁₀ and PM_{2.5} pollution on the hospital outpatient department visit due to respiratory diseases in local residents in Jinan quantitatively. **Methods** Time serial analysis using generalized additive model (GAM) was conducted. After controlling the confounding factors, such as long term trend, weekly pattern and meteorological factors, considering lag effect and the influence of other air pollutants, the excess relative risks of daily hospital visits associated with increased ambient PM₁₀ and PM_{2.5} levels were estimated by fitting a Poisson regression model. **Results** A 10 μg/m³ increase of PM₁₀ and PM_{2.5} levels was associated with an increase of 0.36% (95% CI: 0.30% -0.43%) and 0.50% (95% CI: 0.30%-0.70%) respectively for hospital visits due to respiratory diseases. Lag effect of 6 days was strongest, the excess relative risks were 0.65% (95% CI: 0.58% -0.71%) and 0.54% (95% CI: 0.42%-0.67%) respectively. When NO₂ concentration was introduced, the daily hospital visits due to respiratory disease increased by 0.83% as a 10 μg/m³ increase of PM₁₀ concentration (95% CI: 0.76%-0.91%). **Conclusion** The ambient PM₁₀ and PM_{2.5} pollution was positively associated with daily hospital visits due to respiratory disease in Jinan, and ambient NO₂ concentration would have the synergistic effect.

【Key words】 Inhalable particulates; Respiratory disease; Generalized additive model; Time series analysis; Daily hospital visit

大气污染成为全球公共卫生领域研究热点之一。国内外已开展定群研究、多中心研究、横断面研

究以及前瞻性研究等,但不同地区颗粒物来源和成分不同,导致健康效应存在差异。济南市是我国大

气污染相对比较严重的城市之一,其主要污染物是PM₁₀^[1],为此收集济南市某综合医院呼吸系统疾病就诊人次以及该市气象和空气污染数据,采用广义相加模型(GAM)定量分析济南市大气颗粒物PM₁₀、PM_{2.5}对呼吸系统疾病就诊情况的影响。

资料与方法

1. 资料来源:选取济南市1所市级综合性医院第三人民医院。该医院就诊患者多为济南市本地居民,并与选取的宝胜监测点处在同一区域。通过HIS系统获取该医院2013—2015年就诊患者病案,从济南市环境监测站获得宝胜监测点2013—2015年大气PM_{2.5}、PM₁₀、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)、臭氧(O₃)等大气污染物浓度相关数据,从济南市气象局获取该时间段的平均气压、平均气温、湿度、降水、风速等气象数据。

2. 分析方法:

(1)疾病分类方法:就诊患者根据纳入时间按照国际疾病分类(ICD-10)编码进行分类,本研究仅采取呼吸系统疾病(ICD-10 编码:J00~J99)。

(2)GAM:居民因呼吸系统疾病就诊系小概率事件,医院呼吸系统就诊人次数的分布接近Poisson分布,故采用基于Poisson函数分布为基础的GAM,分析大气颗粒物与医院呼吸系统疾病就诊人次数的联系,并在模型中对呼吸系统疾病就诊可能有影响的长趋势(long trend effect)、季节性、气象因素等强效应,利用自然立方样条函数进行控制,对可能的节假日效应(calendar effect),于可能存在的星期几效应,以哑变量的形式在模型中加以控制。假设PM₁₀、PM_{2.5}与呼吸系统疾病就诊人次呈线性关系,则构建的基本核心模型为

$$\ln[E(y_i)] = \beta PM_{10} + s(\text{time}, df_1) + \text{asfactor}(\text{week}) + s(\text{tmean}, df_2) + s(\text{hpa}, df_3) + s(\text{fs}, df_4) + s(\text{humid}, df_5) + s(\text{js}, df_6) + \alpha$$

式中y_i为第i日就诊人次;E(y_i)为第i日就诊人次的期望值;β为GAM估算的线性回归系数,其含义是指颗粒物日均浓度±10 μg/m³,每日因呼吸系统疾病就诊人次增加或减少的百分比;PM₁₀为大气PM₁₀浓度(μg/m³);s()为自然立方样条函数;df为样条平滑函数的自由度;week为星期哑元变量;time为时间变量;tmean、hpa、fs、humid、js分别代表平均温度、平均气压、风速、湿度和降水。

根据延迟0~30 d模型残差偏自相关绝对值之和最小的原则,选择时间样条函数的自由度为26/年^[2-3];根据既往文献选择气压、相对湿度的自由度均为3^[4],结合AIC值最小选择平均温度、风速的自由度,以及进入模型的气象因素变量,确定最终模型。

结 果

1. 一般特征:2013—2015年济南市第三人民医院呼吸系统门诊共接诊14 296例,日均130例,就诊总量前三位月份均是1月(30 307例)、11月(24 007例)和12月(28 670例)。呼吸系统疾病的日变化趋势除1、11和12月发病较高外,其他月份相对平缓。大气颗粒物PM₁₀、呼吸系统疾病就诊人次、平均气压、平均气温、相对湿度、风速等变量特征见表1。

2. 大气PM₁₀、PM_{2.5}与其他污染物间相关性分析:对大气PM₁₀、PM_{2.5}与SO₂、NO₂、CO、气压、温度、湿度、风速、降水进行Spearman相关分析显示,大气PM₁₀与PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO存在正相关(P<0.01),与PM_{2.5}关联性最强(r=0.848),与温度、相对湿度、风速、降水存在负相关(P<0.01),PM_{2.5}与SO₂、NO₂、温度、相对湿度、风速存在负相关(P<0.01),与平均气压关联性最强(r=-0.569),与CO存在正相关(表2)。提示在构建模型研究颗粒物PM₁₀、PM_{2.5}对呼吸系统疾病就诊的影响时,应充分考虑气象因素的混杂作用,并且也应拟合多污染物模型,控制其他污染物的影响。

3. GAM分析:

(1)单污染物分析:在控制了长期趋势、星期几效应和气象条件的混杂因素后,分析大气PM₁₀、PM_{2.5}与呼吸系统门诊量的关系,显示大气PM₁₀与呼吸系统疾病就诊人次关联有统计学意义,当大气PM₁₀浓度上升10 μg/m³时,当天人群因呼吸系统疾病就诊人次增加0.36%(95%CI:0.30%~0.43%);

表1 2013—2015年济南市大气颗粒物、气象因素特征

变量	$\bar{x} \pm s$	最大值	最小值	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	IQR
PM ₁₀ (μg/m ³)	219.7±106.8	715	0	144	200	271	127
PM _{2.5} (μg/m ³)	110.8±67.5	451	20	66	252	94	28
SO ₂ (μg/m ³)	0.083 5±0.062 9	0.454	0.008	0.04	0.063	0.113	0.073
CO(μg/m ³)	1.623±0.856	5.778	0.345	1.029	1.392	1.979	0.95
NO ₂ (μg/m ³)	0.054 7±0.029 3	0.228	0.002	0.035	0.049	0.066	0.031
平均气压(kPa)	6 974.6±4 229.4	10 218	979.2	1 004.2	9 884	10 002	8 997.8
平均温度(℃)	15±10	34	-9	6	17	24	18
相对湿度(%)	56.2±19.6	100	15	41	55	70	29
风速(m/s)	2.5±1.1	8.4	0.2	1.8	2.3	3	1.2

注: IQR为四分位数间距

表 2 2013—2015 年济南市大气 PM₁₀、PM_{2.5} 与其他空气污染物和气象因素的 Spearman 相关系数

变量	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	CO	平均气压	平均温度	相对湿度	风速	降水
PM ₁₀	0.848 ^a	0.567 ^b	0.619 ^b	0.598 ^b	0.269 ^b	-0.250 ^b	-0.156 ^b	-0.156 ^b	-0.393 ^b
PM _{2.5}	1	-0.317 ^b	-0.132 ^b	0.169 ^b	-0.569 ^b	-0.158 ^b	-0.035	-0.195 ^b	-0.050
SO ₂		1	0.493 ^b	0.611 ^b	0.559 ^b	-0.513 ^b	-0.290 ^b	-0.018	-0.275 ^b
NO ₂			1	0.504 ^b	0.430 ^b	-0.323 ^b	-0.116 ^b	-0.240 ^b	-0.213 ^b
CO				1	0.172 ^b	-0.575 ^b	-0.006	-0.342 ^b	-0.167 ^b
平均气压					1	-0.485 ^b	-0.170 ^b	0.075 ^a	-0.102 ^b
平均温度						1	0.156 ^b	0.115 ^b	0.114 ^b
相对湿度							1	-0.373 ^b	0.557 ^b
风速								1	-0.113 ^b

注: ^a*P*<0.05, ^b*P*<0.01

当 PM_{2.5} 浓度上升 10 μg/m³ 时, 当天因呼吸系统疾病就诊人次增加 0.50% (95%CI: 0.30% ~ 0.70%)。

滞后效应分析显示, PM₁₀、PM_{2.5} 浓度在滞后 0 ~ 7 d (lag0 ~ 7) 和 lag3 移动均值对呼吸系统疾病门诊有影响, lag4 时, 效应开始增强, 在 lag6 最为明显, 当大气 PM₁₀ 浓度上升 10 μg/m³ 时, lag6 的人群呼吸系统疾病就诊人次增加 0.65% (95%CI: 0.58% ~ 0.71%); 当大气 PM_{2.5} 浓度上升 10 μg/m³ 时, lag6 的人群呼吸系统疾病就诊人次增加 0.54% (95%CI: 0.42% ~ 0.67%)。PM_{2.5} 的浓度在 lag0 ~ 7 的 RR 值变化与 PM₁₀ 基本一致, 但要高于 PM₁₀ (图 1)。

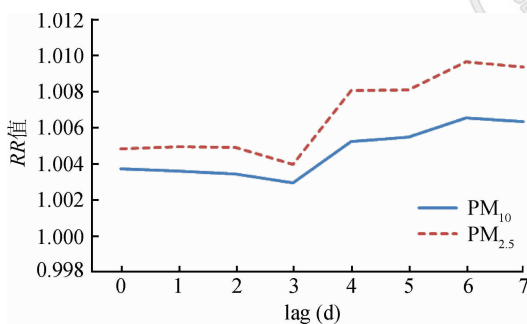


图 1 2013—2015 年济南市大气 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度与呼吸系统疾病就诊人数的滞后效应

(2) 多污染物分析: 选择滞后 6 d 的 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度和 CO、NO₂、SO₂ 拟合多污染物模型, 其中控制气态污染物 SO₂、NO₂ 和 CO 的效应后, PM₁₀、PM_{2.5} 与呼吸系统疾病就诊人次数的关联强度有所变化, 不论哪一种模型和组合, 关联均有统计学意义, 但是关联的方向未改变。当模型中纳入 SO₂ 时, PM₁₀ 和呼吸系统疾病的关联强度被削弱 (RR=1.004 5), 当大气 PM₁₀ 浓度上升 10 μg/m³ 时, 滞后 6 d 的呼吸系统疾病就诊人次增加 0.46% (95%CI: 0.39% ~ 0.53%); 当纳入 NO₂ 时, PM₁₀

和呼吸系统疾病就诊人次数的关联强度增大 (RR=1.008 3), 当大气 PM₁₀ 浓度上升 10 μg/m³ 时, 滞后 6 d 的呼吸系统疾病就诊人次增加 0.83% (95%CI: 0.76% ~ 0.91%); 当纳入 SO₂ 和 CO 时, PM_{2.5} 与呼吸系统疾病就诊人数的关联强度略有增加 (RR=1.005 2), 大气 PM_{2.5} 浓度上升 10 μg/m³ 时, 滞后 6 d 的呼吸系统疾病就诊人次增加 0.52% (95%CI: 0.39% ~ 0.65%)。而纳入其他污染物时, PM_{2.5} 与呼吸系统疾病就诊人数关联强度降低 (表 3)。

讨 论

2013—2015 年济南市大气 PM₁₀、PM_{2.5} 日均浓度对人群呼吸系统疾病就诊人次影响的定量分析发现二者存在相关关系, 即大气 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度每上升 10 μg/m³ 时, 当天的呼吸系统疾病就诊人次分别增加 0.36% (95%CI: 0.30% ~ 0.43%) 和 0.50% (95%CI: 0.30% ~ 0.70%)。欧盟在 29 个国家开展的空气污染与健康的研究显示当日 PM₁₀ 每升高 10 μg/m³, 呼吸系统疾病死亡率上升 0.58% (95%CI: 0.21% ~ 0.95%), 大气 PM₁₀ 浓度对不同年龄、不同疾病类别产生的健康效应也各不相同^[5]。巴西一项关于儿童就诊与空气污染相关性的研究的结果 (RR=2.1) 也高于本研究^[6]。国外对于 PM_{2.5} 与呼吸系统疾病住院和死亡关系的研究显示, PM_{2.5} 每升高 10 μg/m³, 人群因呼吸道疾病死亡风险增加 1.51% (1.01% ~ 2.01%)^[7]。张燕萍等^[8] 对太原市颗粒物空气污染与居民每日门诊率关系的研究得出 PM₁₀ 每增加 10 μg/m³, 呼吸科门诊率上升 0.863% (95%CI: 0.260 1% ~ 0.917 8%); PM_{2.5} 对呼吸系统就诊的影响的关联程度与既往儿童的研究结果相似^[9]。本研究结果略低于国外的研究结果, 与我国其他城市的研究结果也存在差异, 说明济南市人群对于 PM₁₀ 的敏感性低。与以上研究

表 3 2013—2015 年济南市大气 PM₁₀、PM_{2.5} 与呼吸系统疾病就诊人次数的多污染物模型分析

模型	污染物	PM ₁₀		PM _{2.5}	
		RR 值	95%CI	RR 值	95%CI
双污染物	PM+SO ₂	1.004 5	1.003 8 ~ 1.005 2	1.004 1	1.002 9 ~ 1.005 0
	PM+NO ₂	1.008 3	1.007 6 ~ 1.009 0	1.004 8	1.003 4 ~ 1.006 1
	PM+CO	1.003 5	1.002 6 ~ 1.004 4	1.002 4	1.008 9 ~ 1.003 9
三污染物	PM+SO ₂ +CO	1.003 7	1.002 8 ~ 1.004 6	1.005 2	1.003 9 ~ 1.006 5
	PM+CO+NO ₂	1.005 1	1.004 1 ~ 1.006 0	1.002 5	1.009 8 ~ 1.004 0
	PM+SO ₂ +NO ₂	1.006 5	1.005 7 ~ 1.007 3	1.004 4	1.003 0 ~ 1.005 8
全污染物	PM+SO ₂ +NO ₂ +CO	1.005 5	1.004 5 ~ 1.006 5	1.003 4	1.001 9 ~ 1.005 0

相比,济南市人群暴露 PM_{10} 水平高,但人群敏感度低,可能是与当地人群对空气污染的易感性及人口年龄层次分布的差异,特别是颗粒物成分的差异有较大关系^[10]。发达国家以及我国南方城市大气 PM_{10} 主要源自机动车尾气;太原等城市大气 PM_{10} 主要来自煤矿、钢铁企业废气排放;而济南市超过50%的 PM_{10} 来自城市扬尘,主要成分为无机矿物质。此外,不同研究结果的差异也与模型选择、自由度的确定、滞后天数的选择等有关^[11]。

大气 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 浓度对呼吸系统疾病就诊人次在滞后0~7 d均有影响,且在滞后4 d时随滞后天数的延长,对呼吸系统疾病就诊的人数的影响增强,在滞后6 d时达到最高值,滞后7 d开始下降。说明当天的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 在1周内均可引起呼吸系统疾病就诊增加。而梁志江等^[12]在广州市研究发现, PM_{10} 浓度在滞后1~30 d内均对呼吸系统疾病就诊有影响,且在滞后15 d最强,可能是当地的 PM_{10} 成分以及气候条件与济南市的差异所致。

拟合多污染物模型结果显示,分别将 SO_2 、 CO 引入模型后, PM_{10} 对呼吸系统疾病就诊人次数的影响减弱;当引入 NO_2 时,使 PM_{10} 对呼吸系统疾病就诊人次数的影响增强,与上海市进行的相关研究结果一致^[13]。将 SO_2 和 NO_2 同时引入模型时, PM_{10} 对其效应增强,将 CO 和 SO_2 同时引入模型,以及拟合全污染物模型均使 PM_{10} 对其效应减弱。与Touloumi等^[11]的研究结论相似,即 PM_{10} 与每日死亡有显著关联。即使控制了混杂因素, NO_2 浓度依然是 PM_{10} 对健康影响的效应修饰因子,即 NO_2 浓度越高, PM_{10} 对健康的影响越大,这种关联提示来自于汽车尾气的颗粒物毒性比其他来源的颗粒物毒性大。 CO 、 SO_2 能削弱 PM_{10} 对健康效应的影响,而 NO_2 能增强其效应,因此应采取综合性的治理措施同时降低 PM_{10} 以及其他空气污染物的浓度,从而降低 PM_{10} 对健康效应的影响。 $PM_{2.5}$ 与其他污染物多成负相关可能导致在多污染物模型中与呼吸系统就诊人数的关联效应减弱。

本研究存在一定局限性。如分析呼吸系统疾病就诊情况,但未排除流感流行以及暴发混杂因素的影响;此外,由于收集资料的限制,只收集当天呼吸系统疾病就诊的总人数,未收集性别、年龄、疾病类型等信息。

综上所述,2013—2015年济南市呼吸系统门诊就诊人次与大气 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 浓度有关,且这种效应的滞后作用比较明显,而 NO_2 的浓度将增大 PM_{10}

对健康效应的影响,因此降低大气中 PM_{10} 、 NO_2 的浓度,可降低颗粒污染物对呼吸系统发病的影响。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] 崔亮亮,周敬文,张军,等.灰霾期间常见一般和危急重症症状的急性效应分析[J].环境与健康杂志,2014,31(7):14-16. Cui LL, Zhou JW, Zhang J, et al. Analysis of acute symptoms in common and critically ill patients during haze event [J]. J Environ Health, 2014, 31(7): 14-16.
- [2] Peng RD, Dominici F, Louis TA. Model choice in time series studies of air pollution and mortality [J]. J R Stat Soc (Ser A), 2006, 169(2): 179-203. DOI: 10.1111/j.1467-985X.2006.00410.x.
- [3] Samet JM, Dominici F, Zeger SL, et al. The national morbidity, mortality, and air pollution study. Part I: Methods and methodologic issues [J]. Res Rep Health Eff Inst, 2000, (94 Pt 1): 5-14.
- [4] 张衍桑,周脉耕,贾予平,等.天津市可吸入颗粒物与城区居民每日死亡关系的时间序列分析[J].中华流行病学杂志,2010,31(5):544-548. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.05.016. Zhang YS, Zhou MG, Jia YP, et al. Time-series analysis of association between inhalable particulate matter and daily mortality among urban residents in Tianjin [J]. Chin J Epidemiol, 2010, 31(5): 544-548. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.05.016.
- [5] Analitis A, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, et al. Short-term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality [J]. Epidemiology, 2006, 17(2): 230-233. DOI: 10.1097/01.ede.0000199439.57655.6b.
- [6] Moldoveanu AM. Advanced topics in environmental health and air pollution case studies [M]. Rijeka, Croatia: InTech, 2011: 75-96.
- [7] Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, et al. Epidemiological time series studies of $PM_{2.5}$ and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis [J]. Thorax, 2014, 69(7): 660-665. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2013-204492.
- [8] 张燕萍,李晋芬,张志琴.太原市颗粒物空气污染与居民每日门诊率的暴露-反应关系[J].环境与健康杂志,2008,25(6):479-482. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5914.2008.06.004. Zhang YP, Li JF, Zhang ZQ. Exposure-response relationship between particulate pollution level and hospital outpatient visits in Taiyuan [J]. J Environ Health, 2008, 25(6): 479-482. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5914.2008.06.004.
- [9] 崔亮亮,李新伟,耿兴义,等.2013年济南市大气 $PM_{2.5}$ 污染及雾霾事件对儿童门诊量影响的时间序列分析[J].环境与健康杂志,2015,32(6):489-493. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2015.06.005. Cui LL, Li XW, Geng XY, et al. Effects of $PM_{2.5}$ and haze event on hospital visiting of children in Ji'nan 2013: a time series analysis [J]. J Environ Health, 2015, 32(6): 489-493. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2015.06.005.
- [10] 张宜升.济南市空气污染对人群健康的影响研究[D].济南:山东大学,2008:34. Zhang YS. Effects of air pollution on residents' health in Jinan [D]. Jinan: Shandong University, 2008: 34.
- [11] Touloumi G, Atkinson R, Le Tertre A, et al. Analysis of health outcome time series data in epidemiological studies [J]. Environ Metrics, 2004, 15(2): 101-117. DOI: 10.1002/env.623.
- [12] 梁志江,马远珠,缪华章,等.广州地区空气污染对儿童呼吸系统疾病就诊人次的影响研究[J].环境与健康杂志,2015,32(6):481-484. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2015.06.003. Liang ZJ, Ma YZ, Miao HZ, et al. Effect of air pollution on outpatient visits of respiratory diseases among children in Guangzhou [J]. J Environ Health, 2015, 32(6): 481-484. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2015.06.003.
- [13] 戴海夏,宋伟民,高翔,等.上海A城区大气 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 污染与居民日死亡数的相关分析[J].卫生研究,2004,33(3):293-297. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8020.2004.03.010. Dai HX, Song WM, Gao X, et al. Study on relationship between ambient $PM_{10}/PM_{2.5}$ pollution and daily mortality in a district in Shanghai [J]. J Hyg Res, 2004, 33(3): 293-297. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8020.2004.03.010.

(收稿日期:2016-08-26)

(本文编辑:张林东)