

• 调查研究 •

合肥市大气污染与肺炎门诊量的时间序列研究

李玉荣¹, 肖长春², 林浩飞¹, 李俊¹, 唐静¹, 张留喜², 翟金霞¹

1. 安徽医科大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 合肥 安徽 230032 2. 合肥市疾病预防控制中心

摘要:目的 探讨大气污染物 SO₂、NO₂ 和 PM_{2.5} 浓度与合肥市滨湖医院肺炎日门诊量之间的关系。方法 采用时间序列分析的广义相加 Poisson 回归模型, 在控制长期趋势、星期几效应和气象因素等混杂因素的影响后, 定量分析 2014 年安徽省合肥市大气污染物 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 日均浓度与滨湖医院肺炎日门诊量的关系及滞后效应。结果 单污染物模型中, 在控制了长期趋势、星期几效应和气象因素的影响后, SO₂ 在滞后 3、4、5 d(lag3、lag4、lag5)时对肺炎日门诊量的影响有统计学意义($P<0.05$), NO₂ 滞后 2、3、4、5 d(lag2、lag3、lag4、lag5)时的影响有统计学意义($P<0.01$), PM_{2.5} 滞后 3、4 d(lag3、lag4)时的影响有统计学意义($P<0.05$)。SO₂、NO₂、PM_{2.5} 的滞后效应分别在 lag3、lag2、lag4 时最明显, 当 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 浓度每升高 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, 肺炎日门诊量分别增加 1.54%(95%CI 0.28%~2.81%), 1.98%(95%CI 0.89%~3.08%) 和 0.28%(95%CI: 0.06%~0.50%)。多污染物模型中, 当模型中引入两种或两种以上的污染物后, 各污染物对肺炎日门诊量的效应估计值均较单污染物模型降低, 但并不改变各污染物与肺炎日门诊量之间的正向关联。结论 合肥市大气污染物 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 浓度升高可能引起医院肺炎日门诊量增加, 且有一定的滞后效应。

关键词: 大气污染; 肺炎; 日门诊量; 时间序列分析

中图分类号: R181.3 文献标志码: A 文章编号: 1001-5914(2016)11-0960-04

Association between air pollution and daily outpatient visits for pneumonia in Hefei city:
a time-series analysis

LI Yu-rong*, XIAO Chang-chun, LIN Hao-fei, LI Jun, TANG Jing, ZHANG Liu-xi, ZHAI Jin-xia

*Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230032, China

Corresponding author: ZHAI Jin-xia, E-mail: jinxia.zhai@foxmail.com

Abstract: Objective To understand the relationship between air pollutants, such as sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂) and fine particulate matter (PM_{2.5}) and daily outpatient visits for pneumonia in Hefei city, Anhui province. **Methods** The data analysis was conducted by using a Poisson generalized additive regression models to describe the air pollutants-pneumonia outpatient visits relationship and the lag effects. Long-term trends, day-of-week effect, and meteorological factors were adjusted to control the potential confounding effects. **Results** In the single-pollutant model, it had statistically significance between pneumonia daily outpatient visits and SO₂ concentration(lag3, lag4, lag5) ($P<0.05$), NO₂ concentration (lag2, lag3, lag4, lag5) ($P<0.01$), PM_{2.5} concentration (lag4, lag5) ($P<0.05$), respectively. The lag effects for SO₂ (lag3), NO₂ (lag2) and PM_{2.5} (lag4) showed the most significant influence, respectively. The excess relative risks of pneumonia daily outpatient visits for a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increment in SO₂, NO₂ and PM_{2.5} were 1.54% (95%CI: 0.28%~2.81%), 1.98% (95%CI: 0.89%~3.08%) and 0.28% (95%CI: 0.06%~0.50%), respectively. In the multiple-pollutant models, all pollutants effect estimates were lower compared with the results of the single-pollutant model when other pollutants were adjusted, but the positive correlations still existed between the pollutants and pneumonia daily outpatients. **Conclusion** The increase of air pollutants such as SO₂, NO₂ and PM_{2.5} may cause pneumonia daily outpatient visits increasing with lag effect in Hefei.

Key words: Air pollution; Pneumonia; Daily outpatient visits; Time-series analysis

近年来大气污染问题日益严重^[1], 是影响人类健康的主要环境危害因素之一。研究表明, 大气污染可对健康产生多种不良影响^[2], 且与呼吸系统疾病密切相关^[3], 会增加呼吸系统疾病急诊、门诊和住院人次^[4-7], 导致医疗负担增加^[8]。国内在大气污染健康效应方面的研究大多集中在北京、上海和沈阳等大城市, 研究

方法主要包括时间序列分析和病例交叉研究, 其中前者主要包括简单泊松回归、广义线性模型 (generalized linear model, GLM) 及广义相加模型 (generalized additive model, GAM) 等^[9]。由于研究方法和健康终点不同, 不同时期的研究结果尚不能进行很好地比较和进一步综合评价, 同时, 随着社会经济的迅速发展, 合肥市大气污染类型逐渐由煤烟型向煤烟和机动车并存的复合型污染转变, 因此, 笔者采用国际上广泛运用的基于 GAM 的时间序列分析, 定量评价 2014 年合肥市大气主要污染物浓度与居民肺炎日门诊量之间的

DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2016.11.006

基金项目 国家空气污染对人群健康影响监测项目

作者简介 李玉荣 (1990-), 女, 硕士研究生, 从事环境流行病学研究。

通讯作者 翟金霞, E-mail: jinxia.zhai@foxmail.com

关系,为进一步制订有效的环境法规及保护易感人群提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 医院门诊患者资料 收集合肥市包河区滨湖医院 2014 年 1 月 1 日—12 月 31 日呼吸内科逐日门诊量资料,疾病分类按照世界卫生组织国际疾病分类(ICD-10)编码,肺炎为 J12~J18。

1.1.2 大气污染物浓度资料 2014 年 1 月 1 日—12 月 31 日大气污染物 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 逐日监测资料来源于合肥市环境监测中心站,以合肥市 10 个国控监测点的日均浓度值的算术均数作为合肥市当日大气污染物的日均浓度值。

1.1.3 气象因素资料 2014 年 1 月 1 日—12 月 31 日气象监测数据来源于合肥市气象局,监测数据包括日均气温、日均气压和逐日风速。

1.2 统计学方法

1.2.1 描述性统计 采用 SPSS 17.0 对资料进行描述性分析,数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

1.2.2 大气污染物与气象因素间的相关性分析 大气污染物与气象因素之间的相关性采用 Spearman 相关检验水准为 0.05。

1.2.3 广义相加模型 采用 R 3.2.0 对资料进行时间序列分析,采用时间序列的广义相加 Poisson 回归模型,在模型中采用平滑样条函数拟合非线性混杂因素(如气象因素),并根据赤池信息准则(akaike information criterion, AIC)最小选取变量进入模型。采用哑变量控制星期几效应(DOW)。以上所有广义相加模型的建立均通过 R 软件 mgcv 包中的 GAM 函数实现。具体模型如下:

$$\log[E(Y_i)] = s(t, df) + DOW + s(Z_i, df) + \beta X_i$$

式中:Y_i 为日门诊量;E(Y_i) 为预期门诊量;DOW 为星期哑变量;s 为非参数样条平滑函数;t 为时间变量;df 为样条平滑函数的自由度;Z_i 为气象因素,包括日均气温、日均气压和逐日风速;β 为回归系数;X_i 为污染物浓度,包括 SO₂、NO₂ 和 PM_{2.5}。

建立大气污染物 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 滞后 0~6 d(lag0~lag6)模型,得出大气污染物对肺炎日门诊量的超额危险度(ER)及 95%CI,其中 ER=(RR-1)×100%^[10]。在模型的参数确定方面,首先,将长期趋势和星期几效应作为自变量放入模型,根据偏自相关系数(partial autocorrelation function, PACF)绝对值最小的原则选择肺炎日门诊量的长期趋势的自由度;然后将滞后 0~6 d 的日均气温、日均气压、逐日风速和 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 浓度按天数分别放入模型,计算模型的广义交叉验证(generalized cross validation, GCV)系数,找出 GCV 系数最小即最符合实际情况的最优拟合模型。通过模型

得到 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 浓度与居民肺炎日门诊量的暴露-反应关系。在研究单污染物模型的基础上,选出模型中各种污染物对肺炎日门诊量影响有意义的最强效应值所对应的滞后日浓度,同时引入模型进行多污染物模型的拟合。

2 结果

2.1 描述性统计 肺炎患者共 405 人,其中男性 216 人(占 53.30%),女性 189 人(占 46.70%),性别比为 1.14:1;年龄为 14~91 岁,平均为(53.12±19.49)岁,40 岁及以下的有 122 人(占 30.10%),40 岁以上的有 283 人(占 69.90%)。2014 年合肥市大气 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 日均浓度分别为 20.53、29.72、80.51 μg/m³,根据 GB 3095—2012《环境空气质量标准》规定的日均浓度二级标准限值,PM_{2.5} 超标率为 7.35%,SO₂、NO₂ 均未超标。见表 1。

表 1 2014 年合肥市大气污染物浓度及气象因素水平(n=365)

指标	$\bar{x} \pm s$	最小值	P ₂₅	M	P ₇₅	最大值
空气污染物						
SO ₂ (μg/m ³)	20.53±9.29	6.80	13.90	18.90	25.05	68.80
NO ₂ (μg/m ³)	29.72±11.79	7.60	21.45	28.30	35.60	93.90
PM _{2.5} (μg/m ³)	80.51±46.90	12.30	49.90	71.40	94.64	359.80
气象因素						
日均气温(℃)	16.57±8.89	-3.10	8.70	18.10	24.20	33.10
日均气压(hPa)	1013.54±8.97	994.00	1005.65	1013.20	1020.65	1033.00
逐日风速(m/s)	1.93±0.72	0.60	1.40	1.70	2.30	4.80

2.2 大气污染物与气象因素间的相关性分析 Spearman 相关分析表明,大气污染物 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 浓度均与日均气温呈负相关(P<0.01),与日均气压呈正相关(P<0.01);NO₂、PM_{2.5} 与逐日风速呈负相关(P<0.01);日均气温与日均气压呈负相关(P<0.01),其他气象因素之间均无统计学意义(P>0.05)。见表 2。

表 2 2014 年合肥市大气污染物与气象因素的 Spearman 相关分析结果(r_s 值)

指标	SO ₂	NO ₂	PM _{2.5}	日均气温	日均气压
NO ₂	0.624 ^a				
PM _{2.5}	0.506 ^a	0.593 ^a			
日均气温	-0.428 ^a	-0.372 ^a	-0.136 ^a		
日均气压	0.453 ^a	0.369 ^a	0.141 ^a	-0.902 ^a	
逐日风速	-0.058	-0.315 ^a	-0.233 ^a	-0.051	0.003

注:^aP<0.01。

2.3 大气污染物与肺炎日门诊量的关系 2014 年肺炎日门诊量与大气污染物的变化趋势见图 1。可见肺炎日门诊量与大气污染物 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 的浓度变化趋势基本一致,当污染物浓度升高时,肺炎日门诊量亦增加。

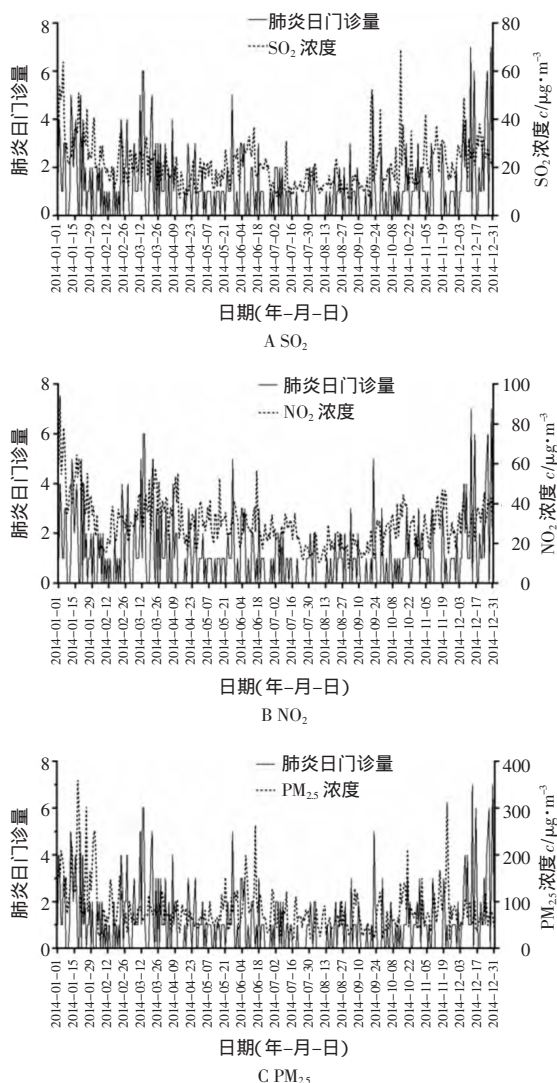


图 1 2014 年合肥市滨湖医院肺炎日门诊量与大气 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的时序图

2.4 广义相加模型分析结果

2.4.1 单污染物模型 GAM 分析结果显示,在控制了长期趋势、星期几效应和气象因素的影响后, SO_2 在滞后 3、4、5 d (lag3、lag4、lag5) 时对肺炎日门诊量的影响有统计学意义 ($P < 0.05$)。 NO_2 滞后 2、3、4、5 d (lag2、lag3、lag4、lag5) 时的影响有统计学意义 ($P < 0.01$)。 $\text{PM}_{2.5}$ 滞后 3、4 d (lag3、lag4) 时的影响有统计学意义 ($P < 0.05$)。 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的滞后效应分别在 lag3、lag2、lag4 时最明显,当 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$,肺炎日门诊量分别增加 1.54% (95% CI 0.28%~2.81%)、1.98% (95% CI 0.89%~3.08%) 和 0.28% (95% CI 0.06%~0.50%)。见表 3。

2.4.2 多污染物模型 当模型中引入两种或两种以上的污染物后,各污染物对肺炎日门诊量的效应估计值均较单污染物模型降低,但并不改变各污染物与肺炎日门诊量之间的正向关联。在双污染物模型中, NO_2 在调整了 SO_2 或 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响后对肺炎日门诊量的影响仍有统计学意义 ($P < 0.01$)。 $\text{PM}_{2.5}$ 在调整了 SO_2 或

NO_2 的影响后对肺炎日门诊量的影响仍有统计学意义 ($P < 0.05$)。而 SO_2 在调整了 NO_2 或 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响后对肺炎日门诊量的影响无统计学意义 ($P > 0.05$)。在三污染物模型中,仅 NO_2 在同时调整 SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响后对肺炎日门诊量的影响有统计学意义 ($P < 0.01$)。其浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$,肺炎日门诊量增加 1.63% (95% CI: 0.48%~2.80%)。见表 4。

表 3 大气污染物浓度对肺炎日门诊量影响的单污染物模型结果

污染物	滞后(d)	β 值	SE	P 值	ER 值 (%)	95%CI (%)
SO_2	0	0.004 3	0.007 4	0.558 1	0.43	-1.01~1.90
	1	0.008 8	0.006 7	0.189 9	0.89	-0.44~2.23
	2	0.005 1	0.006 8	0.451 7	0.51	-0.81~1.85
	3	0.015 3	0.006 4	0.016 6	1.54	0.28~2.81
	4	0.012 8	0.006 2	0.038 7	1.28	0.07~2.52
	5	0.013 4	0.006 4	0.036 7	1.35	0.08~2.63
NO_2	0	0.000 4	0.007 3	0.957 4	-0.04	-1.46~1.40
	1	0.005 7	0.006 1	0.352 9	0.57	-0.63~1.78
	2	0.019 6	0.005 5	0.000 3	1.98	0.89~3.08
	3	0.015 7	0.005 4	0.003 8	1.58	0.51~2.66
	4	0.017 5	0.005 3	0.001 0	1.76	0.71~2.83
	5	0.014 6	0.005 2	0.005 1	1.47	0.44~2.51
$\text{PM}_{2.5}$	0	0.000 5	0.001 3	0.706 6	0.05	-0.21~0.31
	1	0.000 7	0.001 2	0.556 2	-0.07	-0.31~0.17
	2	0.000 0	0.001 2	0.971 9	0.00	-0.22~0.23
	3	0.002 5	0.001 1	0.025 6	0.25	0.03~0.46
	4	0.002 8	0.001 1	0.012 8	0.28	0.06~0.50
	5	0.001 2	0.001 2	0.302 2	0.12	-0.11~0.36
	6	-0.001 0	0.001 3	0.468 4	-0.09	-0.35~0.16

表 4 大气污染物浓度对肺炎日门诊量影响的多污染物模型结果

模型	污染物	调整因素	β 值	SE	P 值	ER 值 (%)	95%CI (%)
双污染物模型	SO_2	NO_2	0.010 1	0.006 7	0.134 6	1.01	-0.31~2.36
		$\text{PM}_{2.5}$	0.011 6	0.006 6	0.080 3	1.16	-0.14~2.48
	NO_2	SO_2	0.016 8	0.005 8	0.003 6	1.70	0.55~2.85
		$\text{PM}_{2.5}$	0.018 1	0.005 6	0.001 2	1.82	0.72~2.94
	$\text{PM}_{2.5}$	SO_2	0.002 3	0.001 2	0.045 1	0.23	0.01~0.46
		NO_2	0.002 3	0.001 1	0.041 7	0.23	0.01~0.46
三污染物模型	SO_2	$\text{NO}_2 + \text{PM}_{2.5}$	0.007 4	0.007 0	0.289 8	0.74	-0.63~2.13
	NO_2	$\text{SO}_2 + \text{PM}_{2.5}$	0.016 2	0.005 8	0.005 5	1.63	0.48~2.80
	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{SO}_2 + \text{NO}_2$	0.002 0	0.001 2	0.082 2	0.20	0.03~0.44

注 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 分别采用 lag3、lag2、lag4 的浓度进行拟合。

3 讨论

国内外部分时间序列研究发现,大气 SO_2 、 NO_2 、

O₃、PM₁₀ 等污染物浓度与医院呼吸系统疾病总门诊量呈正相关^[11-15],与上呼吸道感染、慢性阻塞性肺病、哮喘等呼吸系统疾病门诊量呈正相关^[16-19],且污染物浓度大多在滞后 0~5 d 时对人群呼吸系统健康效应的影响最强;也有研究得出大气污染物与呼吸系统疾病门诊量并无关联^[20],这可能与受试人群易感性、医疗机构服务能力和等级差异、地区污染状况不同有关。本研究采用基于 GAM 的时间序列分析,研究了合肥市大气主要污染物浓度与居民肺炎日门诊量之间的关系。

本研究期间,大气污染物中 PM_{2.5} 浓度较高,可能是由于近年来城市化和工业化进程加快,以煤炭为主的能源消耗持续增加,机动车保有量急剧增加,导致大气 PM_{2.5} 浓度逐渐上升。本研究显示,大气 PM_{2.5} 滞后 4 d 时效应最高,此时浓度每升高 10 μg/m³,肺炎日门诊量增加 0.28%(95%CI 0.06%~0.50%)。合肥市 SO₂ 日均浓度远低于广州、济南、太原、北京等地区^[11,13-14,21],而 SO₂ 对人群肺炎的影响却处于较高水平,滞后 3 d 时其浓度每升高 10 μg/m³,肺炎日门诊量增加 1.54%(95%CI 0.28%~2.81%)。NO₂ 浓度未超出国家二级标准,但滞后 2 d 时其浓度每增加 10 μg/m³,肺炎日门诊量增加 1.98%(95%CI 0.89%~3.08%),高于广州和北京的研究结果^[11,21]。可能是由于不同地区大气污染物来源不同,其浓度及化学组成不同,导致其效应估计值存在差异^[22]。本研究中 SO₂、NO₂、PM_{2.5} 浓度对人群肺炎日门诊量的滞后效应分别在滞后第 3、2、4 天最明显,滞后日与其他研究不同^[23],可能跟当地人群特征、空气污染状况、医疗机构级别及观察终点有关。

本研究采用了目前国内外多城市研究中大多采用的基于 GAM 的时间序列分析,控制了长期趋势、星期几效应和气象因素等混杂因素,在考虑污染物滞后效应的基础上定量分析了 2014 年合肥市大气污染对居民肺炎日门诊量的影响。此外,作为生态学研究,本研究尚存在两个局限性:以污染物的全市平均浓度来估计人群的平均暴露水平,并未考虑人群空间分布和室内环境暴露的差异,因此研究结果存在因暴露水平错分导致的测量偏倚;本研究只从一家综合性医院收集呼吸系统疾病门诊量数据,样本量和研究持续时间有限,可能存在选择偏倚。因此,在后续研究中将进一步加以考虑,对各污染物的健康效应展开更深入研究。

参考文献

- [1] Holdaway J. Environment and health research in China: the state of the field[J]. China Quart, 2012, 214: 255-282.
- [2] Jacobson LSV, Hacon SS, Castro HA, et al. Acute effects of particulate matter and black carbon from seasonal fires on peak expiratory flow of schoolchildren in the Brazilian Amazon[J]. PLoS One, 2014, 9: 1-14.
- [3] Chen ZH, Salam MT, Eckel SP, et al. Chronic effects of air pollution on respiratory health in Southern California children: findings from the

- Southern California children's health study [J]. J Thorac Dis, 2015, 7: 46-58.
- [4] Jacobson LSV, Hacon SS, Castro HA, et al. Association between fine particulate matter and the peak expiratory flow of schoolchildren in the Brazilian subequatorial Amazon: a panel study[J]. Environ Res, 2012, 117: 27-35.
- [5] Sisenando HA, Medeiros SRB, Artaxo P, et al. Micronucleus frequency in children exposed to biomass burning in the Brazilian Legal Amazon region: a control case study [J]. BMC Oral Health, 2012, 12: 1-7.
- [6] Ignotti E, Hacon SS, Junger WL, et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach[J]. Cad Saude Publica, 2010, 26: 747-761.
- [7] Carmo CN, Hacon S, Longo KM, et al. Association between particulate matter from biomass burning and respiratory diseases in the southern region of the Brazilian Amazon[J]. Rev Panam Salud Publica, 2010, 27: 10-16.
- [8] Liu YL, Liu J, Chen FL, et al. Coal mine air pollution and number of children hospitalizations because of respiratory tract infection: a time series analysis[J]. J Environ Public Health, 2015, 2015: 1-7.
- [9] Mehta S, Ngo LH, Do DV, et al. Effects of short-term exposure to air pollution on hospital admissions of young children for acute lower respiratory infections in Ho Chi Minh City, Vietnam [J]. Res Rep Health Eff Inst, 2012, 20: 5-83.
- [10] 李国星, 陶辉, 刘利群, 等. PM₁₀ 与表观温度交互作用对北京市某医院呼吸系统疾病急诊的影响[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(6): 483-486.
- [11] 马关培, 邹宝兰, 许振成, 等. 广州市某区医院呼吸系统疾病门诊人数与大气污染关系的时间序列研究[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(6): 526-528.
- [12] 彭朝琼, 余淑苑, 张振, 等. 深圳市大气 PM₁₀ 浓度对呼吸系统疾病日门诊量的影响[J]. 卫生研究, 2011, 40(4): 485-488.
- [13] 王艳, 张宜升, 李欣鹏. 济南城区空气污染对呼吸道疾病门诊量的影响[J]. 中国环境科学, 2008, 28(6): 571-576.
- [14] 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.
- [15] Lin YK, Chang SC, Lin C, et al. Comparing ozone metrics on associations with outpatient visits for respiratory diseases in Taipei Metropolitan area[J]. Environ Pollut, 2013, 177: 177-184.
- [16] Tam WW, Wong TW, Ng L, et al. Association between air pollution and general outpatient clinic consultations for upper respiratory tract infections in Hongkong[J]. PLoS One, 2014, 9: 1-6.
- [17] Chan TC, Chen ML, Lin IF, et al. Spatiotemporal analysis of air pollution and asthma patient visits in Taipei, Taiwan[J]. Int J Health Geogr, 2009, 8: 1-10.
- [18] Wang KY, Chau TT. An association between air pollution and daily outpatient visits for respiratory disease in a heavy industry area[J]. PLoS One, 2013, 8: 1-25.
- [19] Lin YK, Chang CK, Chang SC, et al. Temperature, nitrogen dioxide, circulating respiratory viruses and acute upper respiratory infections among children in Taipei, Taiwan: a population-based study [J]. Environ Res, 2013, 120: 109-118.
- [20] 吴彧, 张衍桀, 刘玲, 等. 郑州市空气污染对每日门诊人次影响的滞后效应和收获效应[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(3): 233-237.
- [21] Leitte AM, Schlink U, Herbarth O, et al. Size-segregated particle number concentrations and respiratory emergency room visits in Beijing, China[J]. Environ Health Perspect, 2011, 119: 508-513.
- [22] Kim SY, Peel JL, Hannigan MP, et al. The temporal lag structure of short-term associations of fine particulate matter chemical constituents and cardiovascular and respiratory hospitalizations[J]. Environ Health Perspect, 2012, 120: 1094-1099.
- [23] Negrisoli J, Nascimento LFC. Atmospheric pollutants and hospital admissions due to pneumonia in children[J]. Rev Paul Pediatr, 2013, 31: 501-506.

收稿日期: 2016-05-19 责任编辑: 黄丽媛