· 专题报道 ·

北京市气温与空气污染指数相关性分析

栾桂杰[1,2], 殷鹏[2]

摘　要: 目的　研究气温对空气污染指数的影响。**方法**　运用分布滞后非线性模型, 利用 2001—2012 年北京市空气污染指数(API)数据, 计算气温对 API 影响的相对危险度。**结果**　北京市 API 呈现下降趋势, 气温与 API 之间呈负相关关系($r = -0.212$, $P < 0.001$), 高温(P_{90})对 API 影响的相对危险度为 1.85(95% $CI = 1.63 \sim 2.10$), 低温(P_{10})对 API 影响的相对危险度为 0.38(95% $CI = 0.32 \sim 0.45$), 存在滞后效应和累积效应。**结论**　气温对空气污染指数有影响。

关键词: 气温; 空气污染指数; 相关性分析; 分布滞后非线性模型; 滞后效应

中图分类号: R 122.7　**文献标志码**: A　**文章编号**: 1001-0580(2017)01-0022-03　DOI: 10.11847/zgggws2017-33-01-06

Correlation between ambient temperature and air pollution index in Beijing

LUAN Gui-jie*, YIN Peng (*School of Public Health, Peking Union Medical College, Beijing* 100050, China)

Abstract: Objective　To assess the impact of ambient temperature on air pollution index (API). **Methods**　Using distributed lag nonlinear model, the relative risk of the impact of ambient temperature on API was calculated by using the API data of Beijing during 2001 – 2012. **Results**　API showed a downward trend in Beijing. There is a significantly negative correlation between the ambient temperature and API, with a correlation coefficient of -0.212 ($P < 0.001$); the relative risk is 1.85 (95 confidence interval [95% CI]: 1.63, 2.10) for high temperature (90th percentile of temperature) and 0.38 (95% CI: 0.32, 0.45) for cold temperature (10th percentile of temperature), and there exists a lag effect and cumulative effect. **Conclusion**　The ambient temperature has an effect on air pollution index.

Key words: ambient temperature; air pollution index; correlation analysis; distributed lag nonlinear model; lag effect

随着雾霾天气的增多, 空气污染已经成为最受关注的环境问题, 同时, 全球气温呈现变暖趋势, 极端气温(高温热浪、低温寒潮)事件不断发生。Goldstein[1]在 1972 年就提出了空气污染与气象之间存在交互作用, 但后续此类研究较少[2-3], 目前空气污染的研究关注于季节与空气污染之间的交互作用, 而季节主要变化的就是气温[4-7]。空气污染指数(air pollution index, API)是根据 PM_{10}、SO_2、NO_2 等污染物的浓度计算的概念性指数, 可以用来表征空气污染程度和空气质量状况。本研究将目前两类备受关注的环境问题结合在一起, 通过流行病学方法, 探究 2010—2012 年北京市气象因素中的气温对空气质量的影响。

1　资料与方法

1.1　*资料来源*　空气污染指数(API)数据来源于国家环保部数据中心。本研究中 API 值的时间跨度为 2001 年 1 月—2012 年 12 月, 共 12 年的每日 API 时间序列资料。同期的北京市的气象数据来源于中国气象科学数据共享网, 包括日平均气温、相对湿度、气压等。

1.2　*方法*

1.2.1　相关定义　为了探究不同气温对空气质量的影响, 根据相关文献[8-9]将高温定义为每天日平均气温高于气温的第 90 百分位数(P_{90}), 低温定义为每天日平均气温低于气温的第 10 百分位数(P_{10})。

1.2.2　模型分析方法　分布滞后非线性模型(distributed lag nonlinear model, DLNM)可以同时拟合暴露 – 反应的非线性关系和暴露的滞后效应, 本研究采用 DLNM 将日平均气温以交叉基的形式纳入模型, 利用赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)选择模型的自由度[10], 同时控制湿度、气压、长期趋势、星期几效应、节假日效应等混杂因素的影响[11-12], 探讨气温和 API 之间的暴露 – 反应关系、滞后效应等。模型的公式如下:

$$\mathrm{Log}[E(Yt)] = \alpha + ns(Time, 7 \times 12) + ns(rh, 3) + ns(p, 3) + \gamma Dow + \eta Holiday + cb(Tempt)$$

式中: Yt—第 t 日 API 指数; cb—交叉基函数; ns – 自然 3 次样条函数; tempt—第 t 日的日平均温度, 选择最长滞后时间为 21 天, 气温和滞后时间的自由度选择 3; rh – 相对湿度, 自由度为 3; p—气压, 自由度为 3; time—时间效应(长期趋势), 自由度为 7/年; dow—星期几效应; Holiday—假期效应。

作者单位: 1. 北京协和医学院公共卫生学院, 北京 100050; 2. 中国疾病预防控制中心慢病中心
作者简介: 栾桂杰(1987 –), 男, 山东烟台人, 硕士在读, 从事环境流行病学研究。
数字出版日期: 2016 – 4 – 27 13:25
数字出版网址: http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1234.R.20160427.1325.010.html

1.2.3　API 结果判定　依据国家 GB3095 – 1996《环境空气质量标准》[13]，空气质量分为 5 级：Ⅰ级空气质量 API 值为 0 ~ 50；Ⅱ级空气质量 API 值为 51 ~ 100；Ⅲ级空气质量 API 值为 101 ~ 200；Ⅳ级空气质量 API 值为 200 ~ 300；Ⅴ级空气质量 API 值为 > 300。

1.3　统计分析　运用 SAS 9.4 进行相关性统计分析，运用 R 3.2.1 进行 DLNM 模型的构建。

2　结　果

2.1　基本情况（表 1）　2001—2012 年 API 均值为 113、112、97、103、99、110、101、87、85、86、81、78，整体 API 呈下降趋势。2001—2012 年北京市春、夏、秋、冬 API 均值分别为 111、83、94、97，呈现“两头高、中间低”的分布规律，即冬春季高、夏秋季低，极值浓度（俗称“爆表”）多出现在冬、春季。2001—2012 年总体 API 均值为 96.1，处于空气质量“良”的水平，日平均气温处于 –12.5 ℃ ~ 34.5 ℃，平均值为 13.3 ℃，相对湿度、气压的均值分别为 52.4% 和 10 125.7Pa。

表 1　北京市 2001—2012 年空气污染和气象因素基本情况

变量	均值	标准差	最小值	P_{25}	M	P_{75}	最大值
API	96.1	55.4	12.0	64.0	87.0	112.0	500.0
日平均气温（℃）	13.3	11.2	–12.5	2.5	14.8	23.8	34.5
相对湿度（%）	52.4	20.3	5.0	36.0	53.0	69.0	97.0
气压（Pa）	10 125.7	101.3	9 878.0	10 045.0	10 122.0	10 206.0	10 430.0

2.2　日平均气温与 API 相关性分析（图 1）　相关性分析显示，日平均气温与 API 之间的相关系数为 –0.212（$P < 0.001$），二者呈现负相关关系，随着气温的升高，API 呈现下降趋势，当气温下降的时候，API 呈现升高趋势，气温处于高峰时，API 处于低谷。

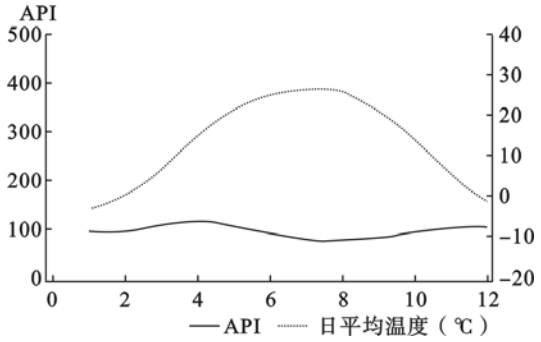


图 1　API 和日平均温度的月份分布图

2.3　日平均气温对 API 影响的相对危险度（表 2）　高温和低温对 API 指数的影响有统计学意义，而且存在滞后性和累积效应。在滞后 1 d 后，高温和低温开始对 API 指数有影响，高温和低温对 API 影响变化趋势不同，低温对 API 的影响随着滞后天数的增加呈现降低、升高、降低、升高的趋势，但是总体上处于降低趋势，可以持续 15 d 左右；高温对 API 的影响持续5 d左右，随着滞后天数增加，影响在降低（图 2）。

2.4　模型敏感性分析（表 3）　更改模型中的最长滞后时间（14、28 d）和长期趋势的自由度（6/年、8/年），与主模型（21 d，7/年）的 RR 值比较，发现高温影响的 RR 变化范围为 0.98 ~ 1.07，低温影响的 RR 值的变化范围为 0.75 ~ 1.13，没有大的波动，说明整体模型稳定。

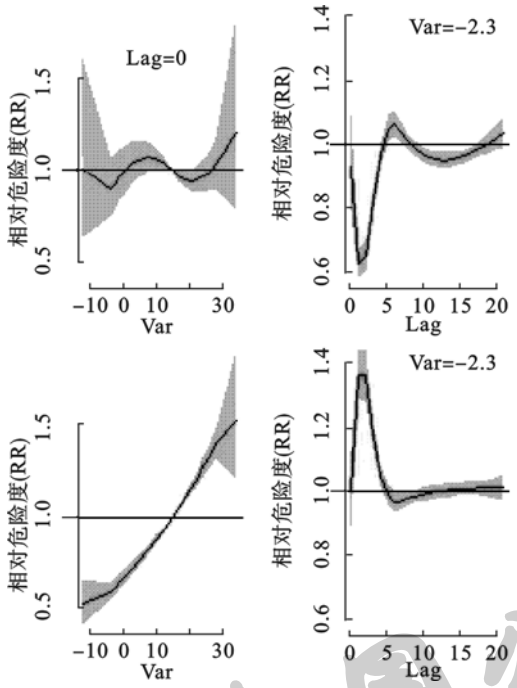
表 2　高温和低温对 API 影响的累积相对危险度

气温	lag0		Lag（0 ~ 2）		Lag（0 ~ 7）		Lag（0 ~ 14）		Lag（0 ~ 21）	
	RR	95% *CI*	RR	95% *CI*	RR	95% *CI*	RR	95% *CI*	RR	95% *CI*
高温（P_{90}）	1.00	0.89 ~ 1.12	1.85	1.63 ~ 2.10	2.10	1.76 ~ 2.50	1.97	1.55 ~ 2.51	2.08	1.52 ~ 2.86
低温（P_{10}）	0.93	0.79 ~ 1.10	0.38	0.32 ~ 0.45	0.35	0.28 ~ 0.44	0.28	0.21 ~ 0.37	0.27	0.19 ~ 0.38

表 3　不同自由度和最长滞后天数情况下 *RR*（lag0）值变化

自由度	滞后 14 天				滞后 21 天				滞后 28 天			
	高温		低温		高温		低温		高温		低温	
	RR	95% *CI*	*RR*	95% *CI*	*RR*	95% *CI*	*RR*	95% *CI*	*RR*	95% *CI*	*RR*	95% *CI*
6/年	0.99	0.87 ~ 1.12	1.13	0.96 ~ 1.35	0.98	0.87 ~ 1.10	0.98	0.83 ~ 1.14	1.04	0.93 ~ 1.16	0.82	0.71 ~ 0.95
7/年	1.01	0.89 ~ 1.15	1.09	0.92 ~ 1.30	1.00	0.89 ~ 1.12	0.93	0.79 ~ 1.10	1.07	0.96 ~ 1.19	0.77	0.66 ~ 0.89
8/年	1.01	0.89 ~ 1.14	1.08	0.91 ~ 1.28	1.00	0.89 ~ 1.12	0.92	0.78 ~ 1.08	1.06	0.95 ~ 1.18	0.75	0.65 ~ 0.87

中国公共卫生 CPH



注：Lag 代表滞后天数；-2.3 即 P_{10}，代表低温；26.9 即 P_{90}，代表高温；灰色区域代表 95% *CI*。

图 2　不同气温和滞后天数对 API 影响的相对危险度

3　讨　论

国内外研究显示，气象因素与空气污染之间存在交互作用关系，尤其是气温对空气污染作用的影响[14-15]。空气污染指数是将常规监测的几种空气污染物浓度简化成为单一的概念性指数值形式，并分级表征空气污染程度和空气质量状况，适合于表示城市的短期空气质量状况和变化趋势，是一种综合性指标，可以用来反应空气污染状况，中国纳入空气污染指数的项目包括可吸入颗粒物、SO_2 和 NO_2[16]。从 API 的变化趋势可以看出，北京冬季和春季是污染严重的季节，夏季和秋季空气质量相对较好，这主要可能与降水、燃煤有关[17]。本研究又证明了其与气温之间的相关性。虽然 2013 年以后，空气质量指数（AQI）代替了空气污染指数（API），但是长期的 API 数据时间序列依然是分析空气污染的重要依据。

周兆媛等[18]分析了 2001—2010 年北京等城市的 API 与气象要素的关系，结果表明，气温与 API 指数存在显著负相关关系。李文杰等[19]分析了京津冀的 API 和地面气象要素数据，认为北京空气污染状况逐步改善，夏季空气质量最好，气温、气压等与 API 存在相关关系。API 受气象因素和人类活动的共同影响，呈现季节性、周循环等特征。目前分析多采用描述统计、相关分析等方法[20-21]，尽管可以分析出 API 的变化趋势和特征，但并不能得出在控制其他因素保持的情况下某一因素的作用是否显著的结论。本研究采用分布滞后非线性模型，在平滑处理湿度、气压等气象因素后，研究气温这一单一气象因素对 API 的影响。

高温和低温均对 API 有影响，由于这种相关性是负的，所以温度高的时候（如夏、秋季）API 相对较低，空气质量较好，温度低的时候（冬、春季）API 相对较高，空气质量较差，而且低温对 API 的影响持续时间长，这也可以解释的是雾霾多发生在低温天气，而且低温时雾霾持续时间长。提示我们在低温天气应该减少室外运动，尤其是老年人和体弱多病者，这对指导人群进行科学健康的锻炼具有重要意义。

参考文献

[1] Goldstein IF. Interaction of air pollution and weather in their effects on health [J]. HSMHA Health Rep, 1972, 87(1): 50-55.
[2] Roberts S. Interactions between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies [J]. Environ Res, 2004, 96(3): 328-337.
[3] Katsouyanni K, Pantazopoulou A, Touloumi G, et al. Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality [J]. Arch Environ Health, 1993, 48(4): 235-242.
[4] Peng RD, Dominici F, Pastor-Barriuso R, et al. Seasonal analyses of air pollution and mortality in 100 US cities [J]. Am J Epidemiol, 2005, 161(6): 585-594.
[5] Kan H, London SJ, Chen G, et al. Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study [J]. Environ Health Perspect, 2008, 116(9): 1183-1188.
[6] Touloumi G, Samoli E, Katsouyanni K. Daily mortality and "winter type" air pollution in Athens, Greece - a time series analysis within the APHEA project [J]. J Epidemiol Community Health, 1996, 50 Suppl 1: 47-51.
[7] Wagner BM. Air pollution and daily mortality in two US counties: season-specific analyses and exposure-response relationships [J]. Inhal Toxicol, 2004, 16(2): 113.
[8] Gasparrini A, Guo Y, Armstrong B. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study [J]. Lancet, 2015, 386(9991): 369-375.
[9] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag nonlinear models [J]. Stat Med, 2010, 29: 2224-2234.
[10] Gasparrini A, Armstrong B. Time series analysis on the health effects of temperature: advancements and limitations [J]. Environ Res, 2010, 110(6): 633-638.
[11] Breitner S, Wolf K, Devlin RB, et al. Short-term effects of air temperature on mortality and effect modification by air pollution in three cities of Bavaria, Germany: a time-series analysis [J]. Sci Total Environ, 2014, 485: 49-61.
[12] Bhaskaran K, Gasparrini A, Hajat S, et al. Time series regression studies in environmental epidemiology [J]. Int J Epidemiol, 2013, 42: 1187-1195.
[13] 中国国家环境保护局. GB 3095-1996 环境空气质量标准[S]. 北京：中国环境科学出版社，1996.
[14] 谷少华，贾红英，李萌萌，等. 济南市空气污染对呼吸系统疾病门诊量的影响[J]. 环境与健康杂志，2015，3(2)：95-99.
[15] Guo Y, Gasparrini A, Armstrong B, et al. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation [J]. Epidemiology, 2014, 25(6): 781-9.
[16] 刘传姚，侯帆，杨玉清等. 武汉市 2001—2010 年空气污染指数动态分析[J]. 中国公共卫生，2013，29(6)：853-855.
[17] 栾桂杰，殷鹏，周脉耕. 2001—2012 年北京市 API 变化趋势分析[J]. 环境卫生学杂志，2015，5(4)：281-284.
[18] 周兆媛，张时煌，高庆先，等. 京津冀地区气象要素对空气质量的影响及未来变化趋势分析[J]. 资源科学，2014，36(1)：191-199.
[19] 李文杰，张时煌，高庆先，等. 京津石三市空气污染指数（API）的时空分布特征及其与气象要素的关系[J]. 资源科学，2012，34(8)：1392-1400.
[20] 李小飞，张明军，王圣杰，等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学，2012，33(6)：1936-1943.
[21] 高会旺，陈金玲，陈静. 中国城市空气污染指数的区域分布特征[J]. 中国海洋大学学报，2014，44(10)：25-34.

收稿日期： 2015-12-30　　（郑新编辑　刘铁校对）