· 专题报道 ·

$PM_{2.5}$ 日平均浓度与死亡率“剂量 – 反应”关系 meta 分析*

刘帅，宋国君

摘　要：目的　探讨 $PM_{2.5}$ 日平均浓度与死亡率的“剂量 – 反应”关系，为评估严重雾霾天气对居民健康造成的影响提供科学依据。**方法**　全面收集 $PM_{2.5}$ 日平均浓度与死亡率“剂量 – 反应”关系的相关研究；应用 Stata 12.0 软件采用倒方差赋权法对 $PM_{2.5}$ 短期致死效应进行 meta 分析。**结果**　最终纳入 11 篇文献（中文文献 1 篇，英文文献 10 篇），包括上海、西安、北京、沈阳、广州、重庆 6 个城市 13 个分析样本的数据；meta 分析结果显示，在 $PM_{2.5}$ 日平均浓度上升 10 μg/m³ 的情况下，人群死亡率较基期水平上升了 0.37%（95% *CI* = 0.26% ~ 0.48%）；亚组分析结果显示，$PM_{2.5}$ 日平均浓度较高地区（$PM_{2.5} \geqslant 75$ μg/m³）$PM_{2.5}$ 日平均浓度上升 10 μg/m³，人群死亡率较基期水平上升 0.33%（95% *CI* = 0.20% ~ 0.46%），$PM_{2.5}$ 日平均浓度较低地区（$PM_{2.5} < 75$ μg/m³）$PM_{2.5}$ 日平均浓度上升 10 μg/m³，人群死亡率较基期水平上升 0.50%（95% *CI* = 0.36% ~ 0.63%）；在气温较高地区（南方城市）$PM_{2.5}$ 日平均浓度上升 10 μg/m³，人群死亡率较基期水平上升 0.51%（95% *CI* = 0.32% ~ 0.69%），在气温较低地区（北方城市）$PM_{2.5}$ 日平均浓度上升 10 μg/m³，人群死亡率较基期水平上升 0.35%（95% *CI* = 0.23% ~ 0.47%）。**结论**　$PM_{2.5}$ 日平均浓度的上升会在短期内造成人群死亡率的上升。

关键词：$PM_{2.5}$；日平均浓度；“剂量 – 反应”关系；meta 分析

中图分类号：R 122.7　**文献标志码**：A　**文章编号**：1001-0580(2017)01-0014-04　DOI：10.11847/zgggws2017-33-01-04

Dose-response relationship between daily $PM_{2.5}$ concentration and mortality rate: a meta-analysis

LIU Shuai, SONG Guo-jun (*School of Environment Protection and Natural Resource, Renmin University of China, Beijing* 100872, China)

Abstract: Objective　To investigate dose-response relationship between daily concentration of particulate matter < 2.5 microm in aerodynamic diameter ($PM_{2.5}$) and daily mortality rate and to provide a scientific basis for evaluating health impact of severe fog and haze. **Methods**　Domestic epidemiological studies on $PM_{2.5}$ and mortality were collected with systematically searching through China National Knowledge Infrastructure (CNKI), PubMed Database and Elsevier Science Direct Database. Stata 12.0 software was adopted to conduct a meta-analysis on short-time impact of $PM_{2.5}$ on mortality using inverse variance (I-V) weighting method. **Results**　A total of 11 literatures (one published in Chinese and 10 in English) were finally extracted, including 13 studies in six cities (Shanghai, Xi'an, Beijing, Shenyang, Guangzhou, and Chongqing). The results of meta-analysis show that a 10 μg/m³ increase in daily $PM_{2.5}$ concentration is related to a 0.37% (95% confidence interval [95% *CI*]: 0.26% – 0.48%) increase in daily mortality rate. Subgroup analyses show that a 10 μg/m³ increase in daily $PM_{2.5}$ is related to a 0.33% (95% *CI* = 0.20% – 0.46%) increase in daily mortality rate under the condition of relative higher average daily $PM_{2.5} \geqslant 75$ μg/m³; while under the average daily $PM_{2.5}$ concentration of < 75 μg/m³, a 10 μg/m³ $PM_{2.5}$ increase is related to a 0.50% (95% *CI* = 0.36% – 0.63%) daily mortality rate increase. The results of subgroup analysis also show that under a relative higher ambient temperature (in Southern China), a 10 μg/m³ $PM_{2.5}$ increase is related to a 0.51% (95% *CI* = 0.32% – 0.69%) daily mortality rate increase, but the same increase in $PM_{2.5}$ is related to a 0.35% (95% *CI* = 0.23% – 0.47%) increase in daily mortality rate under a relative lower ambient temperature (in Northern China). **Conclusion**　Increase in $PM_{2.5}$ concentration may relate to short-term increase in daily mortality rate among urban populations.

Key words: particulate matter less than 2.5 μm in aerodynamic diameter; average daily concentration; dose-response relationship; meta-analysis

$PM_{2.5}$ 为粒径 < 2.5 μm 的细颗粒物，可通过呼吸途径直接进入肺部，致人罹患呼吸系统或循环系统疾病，有研究表明，空气中 $PM_{2.5}$ 浓度的上升将导致人群死亡率的上升[1-3]。目前中国多个城市存在 $PM_{2.5}$ 空气质量未达标的情况，部分雾霾现象已十分严重。为探讨 $PM_{2.5}$ 日平均浓度与死亡率的“剂量 – 反应”关系，为评估严重雾霾天气对居民健康造成的影响提供科学依据，本研究通过收集相关

* **基金项目**：北京市社科重点项目（15JGA012）
作者单位：中国人民大学环境学院，北京 100872
作者简介：刘帅（1986 – ），男，四川成都人，博士在读，研究方向：大气污染健康损害评估。
通讯作者：宋国君，E-mail：songguojun@ruc.edu.cn
数字出版日期：2016 – 4 – 6 8:03
数字出版网址：http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1234.R.20160406.0803.028.html

文献,对 $PM_{2.5}$ 日平均浓度与死亡率的关系进行meta分析。结果报告如下。

1　资料与方法

1.1　文献检索策略　在中国期刊全文数据库(CNKI)、PubMed 数据库和 Elsevier Science Direct 数据库中检索 1990 年 1 月 1 日—2015 年 6 月 30 日发表的相关中、英文文献,末次检索日期为 2015 年 6 月 30 日。中文和英文检索主题词分别为:"$PM_{2.5}$"、"颗粒物"、"大气污染物"、"死亡率"、"剂量 - 反应"、"短期健康效应"、"particulate matter"、"ambient air pollution"、"mortality"、"dose-response"、"short-term health effect"。同时辅以文献追溯法及人工检索法收集更多相关文献。

1.2　纳入与排除标准　纳入标准:(1) 国内或国外期刊上公开发表的在国内城市开展的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度与死亡率的流行病学研究;(2)文献类型为流行病学原始研究;(3) 研究设计为时间序列或病例交叉研究;(4)时间尺度为日;(5)健康终点为人群总死亡率(全因死亡率);(6)暴露人群为城市全体居民;(7)环境暴露指标为 $PM_{2.5}$ 浓度值;(8)采样时间 >1 年;(9)样本量应足够大。排除标准:(1) 政策应用类、综述类和 meta 分析类文献;(2)采用生态比较方法分析的文献;(3)以年或月为时间尺度对 $PM_{2.5}$ 长期致死效应进行研究的文献;(4)以 air pollutant index(API)或 air quality index(AQI)指数建模的文献。

1.3　数据提取　对纳入文献进行信息提取,内容包括、第一作者、发表年份、研究地区、样本量、居民死亡率、$PM_{2.5}$ 浓度值、模型形态、"剂量 - 反应"关系系数(β 值)、标准差。多数流行病学研究使用对数线性模型 $\ln(Y) = a + \beta X + \gamma$,式中,$Y$ 为死亡率,X 为污染物浓度值($\mu g/m^3$),γ 为其他因素对死亡率的影响,β 值为"剂量 - 反应"关系系数。在对数线性模型中,污染物浓度从 X_0 上升 Δx 到 X_1 时,居民基期死亡率 Y_0 也将上升到 Y_1 的水平,$\ln(Y_1/Y_0) = \beta(X_1 - X_0)$,式中,$Y_1/Y_0$ 为相对危险度(relative risk,RR),代表 $PM_{2.5}$ 浓度上升情况下的死亡率对基期死亡率的比值,借助于"剂量 - 反应"关系系数 β 值,可计算暴露人群的相对危险度水平。对所提取数据进行整理和进行质量分析,部分文献未直接给出 β 值,需全部换算为 β 值。

1.4　统计分析　应用 Stata 12.0 软件对纳入的文献进行 meta 分析。本研究拟采用倒方差法为原始研究分配权重,对原始研究结果进行异质性分析,给出异质性检验 Q 统计量值及相应的 P 值。如果纳入研究无异质性($P > 0.10$, $I^2 < 50\%$),则采用固定效应模型;如果纳入研究存在异质性($P \leq 0.10$, $I^2 \geq 50\%$),则采用随机效应模型。采用亚组分析对异质性来源因素进行分析,并采用 Begg 秩相关法和 Egger 直线回归法评价文献的发表偏倚。

2　结　果

2.1　文献一般特征(表 1)　共检索出相关文献 45 篇(中文文献 30 篇,英文文献 15 篇),根据纳入和排除标准进行剔除,最终纳入 11 篇文献(中文文献 1 篇,英文文献 10 篇),共包括上海、西安、北京、沈阳、广州、重庆 6 个城市 13 个分析样本的数据。

表 1　纳入 meta 分析文献一般特征

第一作者	发表年份	地点	样本量(万人)	年死亡率(1/10 万)	$PM_{2.5}$ 浓度($\mu g/m^3$)	模型形态	β 值	S_x
戴海夏[4]	2004	上海	124.0	616	68.76	对数线性	0.000 85	0.000 27
Kan H[5]	2006	上海	630.0	693	56.40	对数线性	0.000 36	0.000 13
Huang W[6]	2011	西安	540.0	342	176.70	对数线性	0.000 28	0.000 04
Cao J[7]	2012	西安	270.0	348	182.20	对数线性	0.000 16	0.000 04
Chen R[8]	2011	北京	710.0	613	82.00	对数线性	0.000 53	0.000 07
		上海	650.0	663	55.00	对数线性	0.000 47	0.000 13
		沈阳	350.0	698	94.00	对数线性	0.000 35	0.000 09
Ma Y[9]	2011	沈阳	350.0	694	75.00	对数线性	0.000 49	0.000 15
Yang C[10]	2012	广州	150.0	472	70.10	对数线性	0.000 90	0.000 18
Huang W[11]	2009	上海	630.0	694	56.40	对数线性	0.000 34	0.000 17
Venners SA[12]	2003	重庆	57.6	610	146.80	对数线性	0.000 00	0.000 35
Li P[13]	2014	北京			74.58	对数线性	0.000 42	0.000 06
Geng F[14]	2012	上海	700.0	647	53.90	对数线性	0.000 57	0.000 23

2.2　$PM_{2.5}$日平均浓度与死亡率的“剂量－反应”关系的 meta 分析(图 1)　对纳入的 11 篇文献进行异质性检验,文献间存在显著的异质性($Q=45.97$, $P<0.001$, $I^2=73.9\%$),采用随机效应模型。meta 分析结果显示,在 $PM_{2.5}$日平均浓度上升10 μg/m^{3}的情况下,人群死亡率较基期水平上升了 0.37%[95% $CI=0.26\%\sim0.48\%$]。

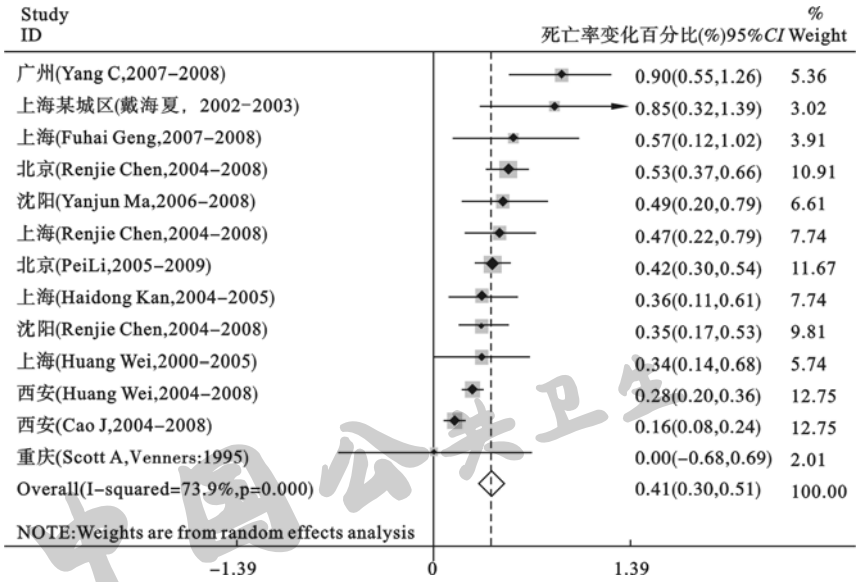

图 1　$PM_{2.5}$日平均浓度与死亡率“剂量－反应”关系 meta 分析森林图

2.3　亚组分析　经异质性检验,$PM_{2.5}$浓度值和气温是本研究 meta 分析中最主要的异质性来源,2 个因素合计可以解释原始研究 93.78% 的异质性。亚组分析结果显示,$PM_{2.5}$日平均浓度较高地区($PM_{2.5}\geqslant75$ μg/m^3)$PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.33%[95% confidence interval (95% CI) $=0.20\%\sim0.46\%$],$PM_{2.5}$日平均浓度较低地区($PM_{2.5}<75$ μg/m^3)$PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.50% (95% $CI=0.36\%\sim0.63\%$);在气温较高地区(南方城市)$PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.51% (95% $CI=0.32\%\sim0.69\%$),在气温较低地区(北方城市)$PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.35% (95% $CI=0.23\%\sim0.47\%$)。

2.4　发表偏倚　对纳入 meta 分析的 11 篇 $PM_{2.5}$日平均浓度与死亡率“剂量－反应”关系相关文献进行发表偏倚评价,结果显示,漏斗图两侧基本对称,Begg 秩相关检验和 Egger′s 检验均 $P>0.05$,发表偏倚较小。

3　讨　论

本研究在全面收集中国 $PM_{2.5}$流行病学研究的基础上,对文献进行筛选、整理和 meta 分析,结果显示,在 $PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3 的情况下,人群死亡率较基期水平上升了 0.37% (95% $CI=0.26\%\sim0.48\%$)。提示,$PM_{2.5}$日平均浓度的上升将导致居民死亡率的上升。

亚组分析结果显示,$PM_{2.5}$日平均浓度较高地区($PM_{2.5}\geqslant75$ μg/m^3) $PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.33% (95% $CI=0.20\%\sim0.46\%$),$PM_{2.5}$日平均浓度较低地区($PM_{2.5}<75$ μg/m^3)$PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.50% (95% $CI=0.36\%\sim0.63\%$);在气温较高地区(南方城市)$PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.51% (95% $CI=0.32\%\sim0.69\%$),在气温较低地区(北方城市)$PM_{2.5}$日平均浓度上升 10 μg/m^3,人群死亡率较基期水平上升 0.35% (95% $CI=0.23\%\sim0.47\%$)。提示,$PM_{2.5}$日平均浓度的上升对浓度较高地区($PM_{2.5}\geqslant75$ μg/m^3)和气温较高地区(南方城市)居民危害更大。

欧洲和美国等发达国家也开展了大量关于 $PM_{2.5}$短期致死效应的流行病学研究。其中,WHO 欧洲区域办公室发起“欧洲空气污染健康风险项目”,收集和整理了在欧洲地区开展的相关研究[15]。Bart 等[16]和 Franklin 等[17]也分别在美国 9 个和 27 个城市进行了同类研究。与国外研究结果比较,国内研究所得到的“剂量－反应”关系参数略小,这可能与人种差异、居民生活习惯的不同以及中国城市 $PM_{2.5}$浓度值较高等有关,具体原因尚有待进一步研究。

中国公共卫生 CPH

参考文献

[1] Arden PC, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. JAMA, 2002, 287(9): 1132 – 1141.

[2] Laden F, Schwartz J, Speizer FE, et al. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2006, 173(6): 667 – 672.

[3] Krewski D, Jerrett MR, Burnett RT, et al. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality [R]. Boston: Health Effects Institute, 2009.

[4] 戴海夏,宋伟民,高翔. 上海市 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.

[5] Kan H, London SJ, Chen G, et al. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China [J]. Environment International, 2007, 33(3): 376 – 384.

[6] Huang W, Cao J, Tao Y, et al. Seasonal variation of chemical species associated with short-term mortality effects of $PM_{2.5}$ in Xi'an, a central city in China[J]. American Journal of Epidemiology, 2012, 175(6): 556 – 566.

[7] Cao J, Xu H, Xu Q, et al. Fine particulate matter constituents and cardiopulmonary mortality in a heavily polluted Chinese city[J]. Environmental Health Perspectives, 2012, 120(3): 373 – 378.

[8] Chen R, Li Y, Ma Y, et al. Coarse particles and mortality in three Chinese cities: the China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES) [J]. Science of the Total Environment, 2011, 409 (23): 4934 – 4938.

[9] Ma Y, Chen R, Pan G, et al. Fine particulate air pollution and daily mortality in Shenyang, China[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409(13): 2473 – 2477.

[10] Yang C, Peng X, Huang W, et al. A time-stratified case-crossover study of fine particulate matter air pollution and mortality in Guangzhou, China [J]. International Archives of Occupational and Environmental Health, 2012, 85(5): 579 – 585.

[11] Huang W, Tan J, Kan H, et al. Visibility, air quality and daily mortality in Shanghai, China[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407(10): 3295 – 3300.

[12] Venners SA, Wang B, Xu Z, et al. Particulate matter, sulfur dioxide, and daily mortality in Chongqing, China[J]. Environmental Health Perspectives, 2003, 111(4): 562 – 567.

[13] Li P, Xin J, Wang Y, et al. Association between particulate matter and its chemical constituents of urban air pollution and daily mortality or morbidity in Beijing city[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, 22(1): 1 – 11.

[14] Geng F, Hua J, Mu Z, et al. Differentiating the associations of black carbon and fine particle with daily mortality in a Chinese city[J]. Environmental Research, 2013, 120: 27 – 32.

[15] World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide[R]. Gevana: World Health Organization, 2013.

[16] Bart O, Rachel B, Shelley G, et al. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE [J]. Environmental Health Perspectives, 2006, 114(1): 29 – 33.

[17] Franklin M, Zeka A, Schwartz J. Association between $PM_{2.5}$ and all-cause and specific-cause mortality in 27 US communities[J]. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 2006, 17(3): 279 – 287.

收稿日期: 2015-09-04　　(郭薇编辑　解学魁校对)

中国公共卫生 CPH

· 专题报道 ·

公共场所室内空气质量与嗜肺军团菌气溶胶污染水平关系*

张宝莹[1], 刘凡[1], 白雪涛[1], 陈晓东[2], 余淑苑[3], 李洁[4]

摘　要: 目的　探讨公共场所室内空气质量与嗜肺军团菌气溶胶浓度关系。**方法**　2011—2014 年, 选取北京市丰台区、江苏省南京市和常州市、广东省深圳市的公共场所, 检测室内空气温度、湿度、风速、PM_{10} 和 $PM_{2.5}$。采集公共场所气溶胶样本, 荧光定量聚合酶链反应(PCR)法检测嗜肺军团菌污染水平。**结果**　公共场所室内空气温度、湿度、风速、PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的合格率分别为 79.4%、88.2%、75.0%、76.9% 和 62.1%。嗜肺军团菌气溶胶浓度均值为 2.15×10^5 copies/mL, 浓度范围 $8.75 \times 10^2 \sim 1.79 \times 10^6$ copies/mL。嗜肺军团菌气溶胶浓度与室内空气温度 ($P = 0.002$)、湿度 ($P = 0.038$)、PM_{10} ($P = 0.002$) 和 $PM_{2.5}$ ($P = 0.000$) 相关性有统计学意义。**结论**　公共场所室内空气质量与嗜肺军团菌气溶胶浓度间存在相关性。

关键词: 室内空气质量; 嗜肺军团菌气溶胶; 公共场所

中图分类号: R 517.9　**文献标志码**: A　**文章编号**: 1001-0580(2017)01-0017-05　DOI: 10.11847/zgggws2017-33-01-05

Correlation between indoor air quality and *Legionella pneumophila* aerosol contamination in public places

ZHANG Bao-ying*, LIU Fan, BAI Xue-tao, et al (* *Institute for Ennvironmental Health and Related Product Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing* 100021, China)

* **基金项目**: 国家自然科学基金(81172626)

作者单位: 1. 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所消毒检测中心, 北京 100021; 2. 江苏省疾病预防控制中心; 3. 深圳市疾病预防控制中心; 4. 北京市丰台区疾病预防控制中心

作者简介: 张宝莹(1982 –), 女, 北京人, 助理研究员, 博士, 研究方向: 环境与健康研究。

通讯作者: 刘凡, E-mail: fanliu_ccdc@126.com

数字出版日期: 2016 – 7 – 19 10:10

数字出版网址: http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1234.R.20160719.1010.030.html