

The Relative Risk Research of the Effect of the PM10 Concentration and Ambient Temperature on the Daily Mortality of Haerbin

Desheng Pei^{1*}, Bo Sun^{2*}, Liping Li^{1**}

¹Injury Prevention Research Center, Medical College of Shantou University, Shantou, China

²Research Institute of Chronic Disease Prevention and Control, Center of Disease Control and Prevention, Haerbin, China

**These two authors contributed equally to the study*

***Correspondence / Request for reprints: Dr Liping Li, PhD, Injury Prevention Research Center, Medical College of Shantou University, Shantou, China 515041, Telephone: +86-754-88900467, Email: lpli@stu.edu.cn*

Abstract: Objective Explore the influence of PM10 and ambient temperature and the interaction of the two factors on the daily mortality of Haerbin, the northern city of China, for the period 2004-2008 and provide the scientific basis for the prevention and control of the climate change, respirable particulate matter and the interaction of the two factor's health effect on urban residents. **Methods** We included the ambient temperature and PM10 concentration into the all-cause daily mortality regression model as nonlinear and linear respectively. The natural cubic spline was used to fit the relationship between ambient temperature and daily mortality. The relative risk of ambient temperature and PM10 concentration was estimated respectively relative on its reference value and the cumulative lagged effects were also estimated. Finally we analyzed the interaction of ambient temperature and PM10 concentration. **Result** The relative risk of PM10 concentration on an increase of $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ up to a high level when lag 10 days and it increased significantly with lag 0 day ($p < 0.01$). The cumulative relative risk up to the peak value when lag 15 days. Ambient temperature had a high relative risk when lag 0 day and 1 day and the lag 0 day's relative risk was significant high then lag 2 and 3 day's ($p < 0.05$). The interaction of ambient temperature and PM10 concentration is comparatively obvious when the PM10 concentration under about $200\mu\text{g}/\text{m}^3$. **Conclusion** The effect of PM10 concentration on the daily mortality has delayed effects and for ambient temperature is short-term effects and there is no obvious interaction between these two factors.

Key words: ambient temperature; PM10; relative risk; interaction

哈尔滨市环境温度与 PM10 浓度 对每日死亡人数变化影响的相对危险度研究

裴德升¹, 孙波², 李丽萍^{1*}

¹ 伤害预防研究中心, 汕头大学医学院, 汕头, 中国, 515041

² 哈尔滨市疾病预防控制中心慢性病防制研究所, 中国

*通讯作者: 李丽萍, 汕头大学医学院, 汕头, 中国, 515041

Email: lpli@stu.edu.cn

摘要:目的 探讨我国北方城市哈尔滨在2004-2008年期间的环境温度(20°C 以上)和PM10浓度及其两者的交互作用对居民日死亡人数的影响,为预防与控制气候变化、可吸入颗粒物及两者的交互作用对城市居民健康影响提供科学依据。**方法** 将环境温度与PM10浓度分别以非线性和线性模式纳入与每日全死因死亡人数的回归函数模型,并采用自然立方样条函数拟合环境温度与日死亡人数的关系,分别估计环境温度和PM10浓度相对于参考值的相对危险度,同时对滞后效应的累积相对危险度进行估计,并对环境温度与PM10的交互作用进行分析。**结果** PM10浓度每上升 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时其相对危险度在滞后10天左右达较高水平,其与滞后0天时不同PM10浓度对应的相对危险度增加具有显著性($P < 0.01$),累积相对危险度在滞后15天左右达峰值。环境温度(20°C 以上)在滞后0天和1天具有较高的相对危险度,滞后0天与滞后2天及3天时不同温度对应的相对危险度差别具有显著性($P < 0.05$)。环境温度

与 PM10 浓度交互作用的简单分析显示当 PM10 浓度在 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下时交互作用较为明显。**结论** PM10 浓度对日死亡人数的影响具有延迟效应, 环境温度 (20°C 以上) 的影响主要为短期效应, 两者的交互作用不明显。

关键词: 环境温度; PM10; 相对危险度; 交互作用

1 引言

环境温度是造成每日死亡人数随时间变化的主要因素^[1], 而颗粒物空气污染与日死亡人数之间同样存在一定的关系^[2,3]。我国在环境温度和可吸入颗粒物对居民日死亡数变化影响方面的研究较少, 主要为研究不同气象因素或空气污染物对不同疾病的急性或慢性影响^[4]。本研究选择的哈尔滨市位于我国的东北部 (北纬 45.44° , 东经 126.36°), 是我国纬度最高、气温最低的大都市, 其全年平均温度相对较低, 但同样会出现极端高温天气, 2004 到 2008 年期间, 日最高气温在 2008 年 6 月 17 日达到 37.1°C 。根据历史气温数据, 日最高气温在 2001 年 6 月 4 日高达 39.2°C , 2001 年 6 月 25 日和 2008 年 6 月 17 日最高气温都达到 37.1°C , 1980 年 6 月 25-27 日连续 3 天最高气温超过 36°C , 1997 年 6 月份有 2 天最高气温也超过 36°C 。这些高温天气对哈尔滨来说已经是极端气候事件, 在全球变暖的大环境下, 北方地区的升温现象也较为明显^[5], 有必要对气温升高与居民死亡危险的关系进行研究。另外, 根据哈尔滨市 2004-2008 年共 1827 日的空气污染监测数据, 有 1631 日的首要污染物为可吸入颗粒物, 则本研究采用的主要空气污染物为可吸入颗粒物 (PM10)。根据 2004-2008 年的日全死因死亡人数变化情况, 本研究试图探索日全死因死亡人数与环境温度 (20°C 以上) 和 PM10 浓度之间的关系, 并进行相对危险度分析, 同时分析了环境温度与 PM10 浓度的交互作用的影响, 有助于有关预防政策的制定, 以降低环境温度变化和 PM10 污染对人群健康的影响作用。

2 资料与方法

2.1 资料来源

研究区域包括哈尔滨市的南岗区、道外区、太平区、香坊区、动力区、平房区和道里区, 其中道外区与太平区从 2005 年合并为一个区, 香坊区与动力区从 2007 年合并为一个区。哈尔滨市 2004-2008 年的死亡数据来源于市疾病预防控制中心, 哈尔滨市从 2004 年开始已经建立了详细的死亡登记数据库, 提供了

2004-2008 年每日的死亡登记数据。我们对原始的死亡数据按日进行汇总统计, 得到每日的全死因死亡人数。2004-2008 年哈尔滨市气象数据来源于中国气象数据共享服务中心, 包括每日平均气温、平均相对湿度指标。每日空气污染指数数据来源于中国环境监测数据中心, PM10 浓度数据主要通过空气污染指数的定义及分级限值计算得出。其他相关统计数据来源于哈尔滨市 2004-2008 年各年的统计年鉴。

2.2 统计分析方法

分析的气象指标为每日环境温度, 环境温度由以下公式进行计算^[6,7]:

$$AT = -2.653 + 0.994 * \text{Temp} + 0.0153 * Td^2$$

其中, AT 为环境温度, Temp 为日平均气温, Td 为露点温度。

对环境温度和 PM10 两个解释变量分别建立交叉基础矩阵^[7], 利用非均匀分布的拟似然 poisson 模型和自然样条函数分别建立环境温度及 PM10 浓度与全死因日死亡人数的广义线性模型, 连接函数使用对数函数, 同时用自然样条函数控制长期趋势, 星期效应哑变量引入模型, 建立如下基本模型^[8]:

$$\log[E(Y_t)] = \text{环境温度矩阵} + \text{PM10 浓度矩阵} \\ + ns(\text{day}, df) + \text{dow}$$

其中, $E(Y_t)$ 表示 t 日期望死亡人数; ns 表示自然样条函数; df 表示自由度; day 表示日变量; dow 表示星期哑变量。

PM10 浓度与死亡人数之间的关系假设为线性效应, 而环境温度与死亡人数之间为非线性关系, 两解释变量分别以线性和非线性模式纳入回归函数模型, 采用自然立方样条函数拟合环境温度与死亡人数之间的关系, 同时用样条函数控制长期趋势及用星期哑变量控制星期效应。PM10 浓度对死亡人数的相对危险度估计参考值为 $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 对其浓度每上升 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的相对危险度变化进行估计并估计滞后效应的累积相对危险度。环境温度的参考值是根据日死亡人数的对数对环境温度的散点图拟合平滑曲线 (图形在本文中

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30771846)

未给出)得出的估计值为 20℃, 对环境温度(高于 20℃时)的相对危险度进行估计。在分析了两者各自的效应之后, 采用广义相加模型将两者的交互效应作为一项解释变量引入模型, 分析其交互作用的影响。所有统计过程均采用 R2. 11. 0 软件进行分析。

3 结果

3.1 死亡数据、气象及PM10浓度数据的描述性结果

Table 1. Descriptive statistic of all-cause mortality, weather and PM10 data for the period 2004-2008 of Haerbin

表1. 2004-2008年哈尔滨市全死因死亡数据、气象及PM10浓度指标

指标	均数±标准差	最小值 Min	25%	50%	75%	最大值 Max
每日死亡人数	54. 934±12. 336	2. 000	47. 000	54. 000	63. 000	109. 000
每日平均气温(℃)	5. 898±14. 667	-24. 000	-7. 325	7. 800	19. 500	29. 900
平均相对湿度(%)	59. 436±15. 399	16. 000	49. 000	61. 000	71. 000	95. 000
每日环境温度(℃)	6. 404±13. 631	-14. 704	-6. 345	5. 487	18. 902	34. 738
PM10 浓度(μ g/m ³)	112. 320±57. 570	52. 000	74. 000	98. 000	134. 000	600. 000

3.2 PM10浓度变化的相对危险度估计

图 1a 显示的是在不同的滞后天数(0-15 天)PM10 浓度每增加 10 μ g/m³ 其相对危险度的变化曲线, 由图可见在滞后 10 日左右其相对危险度达到较高水平, 由相对危险度估计算法计算出在滞后 10 日时, PM10 浓度为 10、100、300、400、500、600 μ g/m³ 相对于 0 μ g/m³ 的相对危险度及 95% 置信区间分别为 1. 001702(1. 000739-1. 002666)、1. 018886(1. 008164-1. 029722)、1. 058136(1. 024862-1. 09249)、1. 078324(1. 033314-1. 125294)、1. 098897(1. 041836-1. 159083)、1. 119862(1. 050428-1. 193887), 分别相对于滞后 0 天的相对危险度增加具有显著性($P<0. 01$)。图 1 b 显示的是 PM10 浓度每上升 10 μ g/m³, 随着滞后天数的变化(从当日即滞后 0 天到滞后 15 天), 其累积的相对危险度变化曲线, 图形显示在滞后 15 日左右, 其累积的相对危险度达到较高水平, 我们计算出从滞后 0 天到滞后 15 天, PM10 浓度为 10、100、300、400、500、600 μ g/m³ 相对于 0 μ g/m³ 的相对危险度及 95% 置信区间分别为 1. 012576(1. 001792- 1. 023476)、1. 147371(1. 019891- 1. 290785)、1. 514669(1. 06129- 2. 16173)、1. 740302(1. 082615- 2. 797533)、

2004-2008年期间, 哈尔滨市的日平均死亡人数为 54.934(±12.336)人, 最少为2人, 最多达109人。日平均气温的平均值为5.898(±14.667)℃, 最低及最高值分别为-24. 000和29. 900℃, 相差53. 9℃。相对湿度的均值为59. 436%(±15. 399%), 最高值达95%, 湿度较大。环境温度的最高值达34. 738℃, 此温度对东北城市哈尔滨来说已经是极端高温天气。

1.999547(1.104369- 3.620337)、2.29741(1.12656-4.685141)。图2a显示的是PM10浓度值、滞后天数及相对危险度之间的三维空间变化关系, 由图可以直观得出当PM10浓度较低时, 随着滞后天数的变化, 其相对危险度无明显变化, 随着PM10浓度的升高, 相对危险度随着滞后天数的变化而有较大起伏。图2 b显示的是PM10浓度变化与滞后天数之间的等高关系图, 图形显示滞后1-5天中, PM10浓度变化其相对危险度小于或等于1, 当PM10浓度高于100 μ g/m³时, 滞后0-1天及从滞后6到14天, 其相对危险度都大于1。表2为不同的PM10浓度在滞后0天(即当日)和滞后10天的相对危险度值及滞后0到15天的累积相对危险度值及各值的95%置信区间, 本文中未列出滞后0至15日的各相对危险度, 只列出了单日影响较高的滞后10日及累积效应较高的滞后15日的相对危险度值。

3.3 环境温度的相对危险度估计

图 3 显示的是环境温度高于 20℃时, 在滞后 0 到 3 天的累积相对危险度变化曲线图, 其曲线呈光滑上升趋势, 滞后 0 天即当日的环境温度为 28、30、34℃时, 其相 对 危 险 度 及 95% 置 信 区 间 分 别 为 1. 102521(0. 966127-1. 25817)、1. 159375(0. 968012-1. 38857)、1. 300751(0. 970131-1. 744045), 分别高于滞后 1 天、

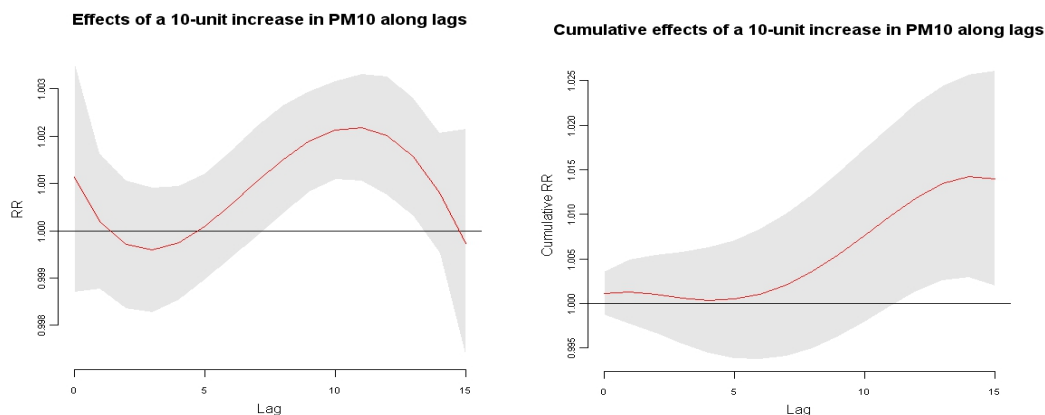


Figure 1 (left-a,right-b). The relative risk of PM10 concentration increase each $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and cumulative effects versus lag days

图1 (左a右b). PM10每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 其相对危险度及其累积效应值随滞后天数的变化

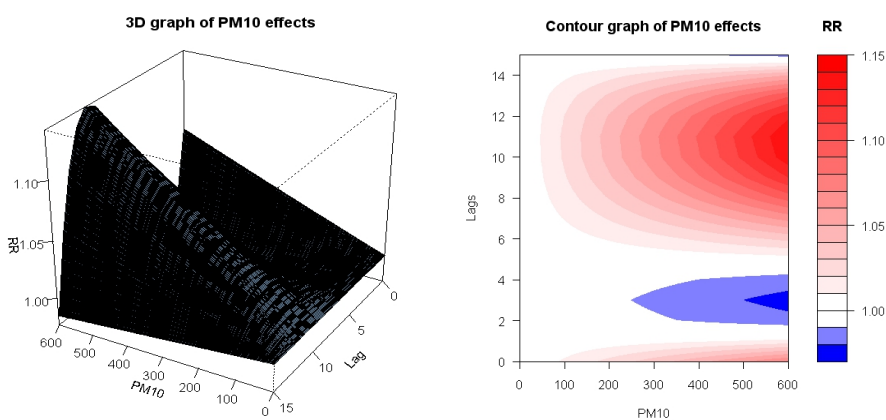


Figure 2(left-a,right-b). 3D and contour plot of the relationship between PM10 concentration and lag days

图2 (左a右b). PM10浓度与滞后天数变化关系的3D图及等高图

Table 2. Different value of relative risk for different PM10 concentration and lag days

表2. 不同PM10浓度值在不同的滞后时间的相对危险度

PM10 浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	相对危险度及 95%置信区间					
	lag0 (95%CI)		lag10 (95%CI)		lag0-15 (95%CI)	
10	1.001024	(0.999582-1.001875)	1.001702	(1.000739-1.002666)	1.012576	(1.001792-1.023476)
50	1.005586	(0.997728-1.010254)	1.009304	(1.004033-1.014602)	1.070411	(1.009796-1.134664)
100	1.011317	(0.995414-1.020825)	1.018886	(1.008164-1.029722)	1.147371	(1.019891-1.290785)
150	1.017082	(0.993106-1.031507)	1.02856	(1.012313-1.045068)	1.229865	(1.030087-1.468388)
200	1.022879	(0.990803-1.0423)	1.038325	(1.016479-1.060642)	1.31829	(1.040384-1.670428)
300	1.034573	(0.961822-1.112827)	1.058136	(1.024862-1.09249)	1.514669	(1.06129-2.16173)
400	1.046401	(0.949382-1.153334)	1.078324	(1.033314-1.125294)	1.740302	(1.082615-2.797533)
500	1.058364	(0.937102-1.195316)	1.098897	(1.041836-1.159083)	1.999547	(1.104369-3.620337)
600	1.070463	(0.924982-1.238827)	1.119862	(1.050428-1.193887)	2.29741	(1.12656-4.685141)

2天及3天的相对危险度,对滞后0天与滞后1天、2天及3天各温度对应的相对危险度检验显示,滞后0天与滞后1天的相对危险度差别无显著性($P>0.05$),而与滞后2天和3天的差别有显著性($P<0.05$)。图4a显示的是环境温度、滞后天数及相对危险度之间的三维变化关系图,由图可以知道,随着环境温度的升高,相对危

险度的增加主要集中在滞后0-1天,同样,图4b的环境温度与滞后天数的等高图也反映了环境温度高于20℃时其对死亡人数的影响主要集中在滞后0-1天,随着滞后天数的增加,其影响逐渐降低。表3为不同温度(高于20℃)时在滞后0天、1天、2天及3天的相对危险度值及其95%置信区间。

Table 3.Differents value of relative risk for differents ambient temperature and lag days
表3. 不同的环境温度在不同的滞后时间的相对危险度

环境温度 (℃)	相对危险度及 95%置信区间			
	lag0 (95%CI)	lag1 (95%CI)	lag2 (95%CI)	lag3 (95%CI)
22	1.004236 (0.974856-1.034502)	1.01472 (0.989742-1.01472)	1.002153 (0.989742-1.01472)	1.002153 (0.989742-1.01472)
24	1.023674 (0.965871-1.084937)	1.031688 (0.98154-1.031688)	1.006302 (0.98154-1.031688)	1.006302 (0.98154-1.031688)
26	1.056872 (0.964647-1.157914)	1.053315 (0.972633-1.053315)	1.01217 (0.972633-1.053315)	1.01217 (0.972633-1.053315)
28	1.102521 (0.966127-1.25817)	1.080622 (0.961776-1.080622)	1.019469 (0.961776-1.080622)	1.019469 (0.961776-1.080622)
30	1.159375 (0.968012-1.38857)	1.113516 (0.948877-1.113516)	1.027905 (0.948877-1.113516)	1.027905 (0.948877-1.113516)
32	1.226037 (0.969436-1.550558)	1.151284 (0.934389-1.151284)	1.037182 (0.934389-1.151284)	1.037182 (0.934389-1.151284)
34	1.300751 (0.970131-1.744045)	1.192866 (0.918956-1.192866)	1.046992 (0.918956-1.192866)	1.046992 (0.918956-1.192866)

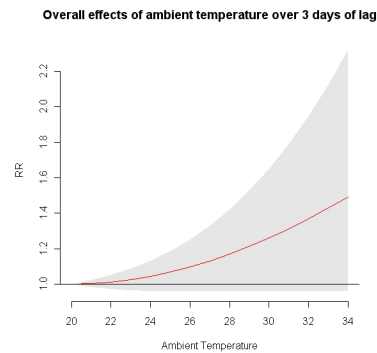


Figure 3.Change of cumulative relative risk of ambient temperature on the lag 0-3 days
图3 环境温度在滞后0-3天的累积相对危险度变化

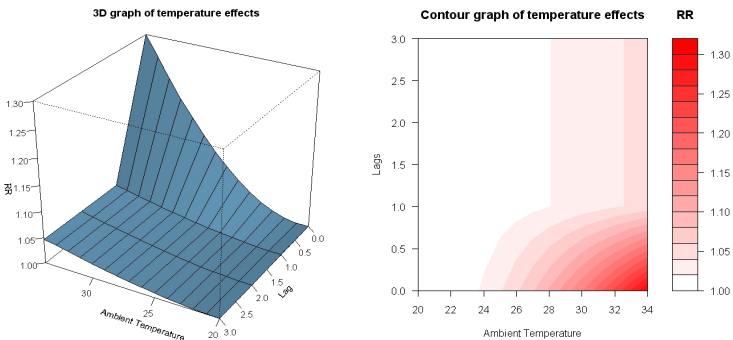


Figure 4(left-a,right-b).3d and contour plot of the relationship between ambient temperature and lag days
图4(左a右b)环境温度与滞后天数变化关系的3D图及等高图

3.4 环境温度与PM10浓度交互作用与日死亡人数之间关系

图5显示的是环境温度与PM10浓度的交互作用与日死亡人数之间的关系图。当PM10浓度低于约200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,其与低环境温度的交互效应较高。

4 讨论

本研究对2004-2008年哈尔滨市的环境温度与PM10浓度对居民日死亡人数的影响作了相对危险度的估计,我们将环境温度和PM10浓度指标分别以非线性和线性

模式纳入与日死亡人数的广义线性回归模型函数中,采用自然立方样条拟合环境温度对日死亡人数的非线性影响,同时用样条函数控制长期趋势的混杂影响,用星期哑变量控制星期效应,有效地分析了环境温度(高于20℃)和PM10浓度对日死亡人数变化影响的相对危险度估计,同时对环境温度和PM10的交互作用影响作了简要的分析。环境温度是结合了日平均气温、相对湿度及露点温度等气象因素的一项综合指标,可以反映气温对人群死亡危险的影响,因为不同的温度在不同的相对湿度中时,人的体感温度会不同。

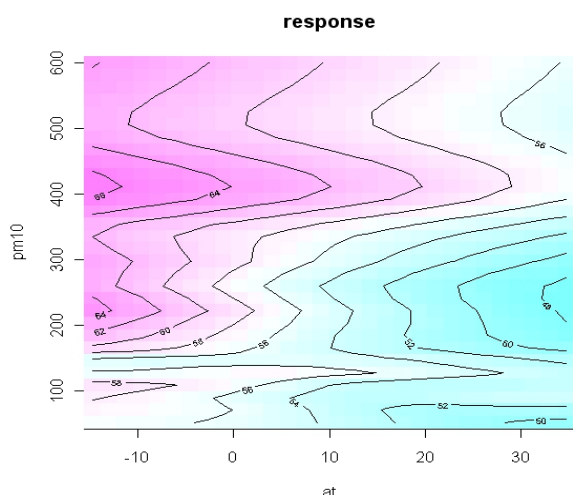


Figure 5. The interaction of ambient temperature and PM10 concentration to the daily mortality

图5 环境温度与PM10浓度交互作用与日死亡人数之间关系图

研究结果显示, PM10浓度对居民日死亡人数变化影响主要在滞后10日左右达到较高的相对危险度, 其累积影响在滞后15日左右达到较高水平; 环境温度在高于20℃时, 随着温度的升高, 其对日死亡人数变化的影响主要集中在滞后0和1天。由此, PM10浓度对日死亡人数影响有较长的滞后时间, 而环境温度的影响主要为短期的急性效应。对环境温度和PM10浓度的交互作用的简单分析显示, 当PM10浓度低于200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, 交互作用相对明显, 交互作用在环境温度较低时对日死亡人数变化影响较大, 随着温度的升高, 交互作用会有所降低。

本研究阐述了哈尔滨市2004–2008年环境温度与PM10浓度对日死亡人数变化的影响模式, 为公共卫生及相关环保部门制定相应的公共健康措施提供了科学的依据, 为预测极端环境温度及空气污染对居民健康影响提供了基础信息。但本研究仍存在一定不足, 主要是未对温度与PM10浓度的交互作用进行定量分析, 另外只是根据日死亡人数的对数对环境温度的散点图拟合平滑曲线估计了环境温度的阈值为20℃, 未定量分析得出此阈值温度。上述不足有待于进一步的探索与分析。

5 结论

通过分析2004–2008年我国东北城市哈尔滨市环

境温度与PM10浓度与日死亡人数变化之间的关系的相对危险度分析, 我们了解到当环境温度高于20℃时, 随着环境温度的升高, 其对日死亡人数变化的影响主要集中在滞后0–1天, 而PM10浓度升高对日死亡人数变化的影响主要集中在滞后10天左右, 在滞后15天时其累积相对危险度达到较高水平。哈尔滨市地处我国东北, 年平均气温较低, 较高环境温度对居民健康的影响主要为短期效应, 而PM10浓度对其居民健康的影响有一个滞后过程, 其在较短时间对日死亡人数变化影响的相对危险度较低, 在滞后10日左右有较明显的相对危险度峰值。另外, 哈尔滨市的PM10浓度主要集中在200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下, 分析显示当PM10浓度低于200时环境温度与PM10浓度的交互作用较为明显, 且在较低的环境温度时的影响较大。

致 谢

感谢李丽萍导师的指导, 感谢哈尔滨市疾病预防控制中心提供2004–2008年死因数据。

References (参考文献)

- [1] Basu R, Samet JM. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev.* 2002;24:P190–202.
- [2] Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology.* 2001;12:P521–31.
- [3] Schwartz J. The effects of particulate air pollution on daily deaths: a multi-city case crossover analysis. *Occup Environ Med.* 2004;61:P956–61.
- [4] An Aiping, Guo Lingfang, Dong Huiqing. The effect of atmospheric environment upon human health. *J Environ Occup Med.* 2005;3:P279–282.
安爱萍, 郭琳芳, 董惠青. 我国大气污染及气象因素对人体健康影响的研究进展. *环境与职业医学.* 2005;3:P279–282.
- [5] Ren Guoyu, Chu Ziyang, et al. Recent Progresses in Studies of Regional Temperature Changes in China. *Climatic and Environmental Research.* 2005, 4, P701–716 (Ch).
任国玉, 初子莹等. 中国气温变化研究最新进展. *气候与环境研究.* 2005;4:P701–716.
- [6] Steadman RG. The assessment of sultriness. Part II: effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *J Appl Meteorol.* 1979;18:P874–85.
- [7] Kalkstein LS, Valimont KM. An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index. *Bull Am Meteorol Soc.* 1986;67:P842–88.
- [8] A Gasparrini, B Armstrong. Distributed Lag Non-linear Models. *Statistics in Medicine.* (In Press), 2010.