

包头市大气臭氧污染对人群循环系统疾病死亡的急性效应

芦静, 张晓梅, 冯晓冬

内蒙古包头市疾病预防控制中心, 内蒙古 包头 014030

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2019.18472

摘要:

[目的] 光化学污染已成为我国城市污染的首要问题, 臭氧(O₃)可导致居民死亡例数增加, 因此本研究评估O₃对内蒙古包头市人群循环系统疾病死亡的急性影响。

[方法] 收集2015年1月1日—2017年12月31日包头市逐日气象变量(平均温度、平均相对湿度、平均气压、平均风速)、大气污染物(PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、CO、O₃)和人群循环系统疾病死亡资料, 并进行描述性分析。采用基于半泊松回归的广义线性模型, 控制长期趋势、气象因素和星期几效应, 分析O₃与逐日居民循环系统疾病死亡率之间的关系。计算O₃每升高10 μg/m³, 循环系统疾病死亡率增加的超额危险度及95%可信区间(95%CI)。

[结果] 包头市全年、夏季和冬季O₃日均值分别为93.94、138.70、52.51 μg/m³。单污染物模型显示, O₃每升高10 μg/m³, 可使总人群(lag1)、女性(lag1)、大于65岁人群(lag1)和男性(lag5)循环系统疾病死亡风险分别增加1.62%(95%CI: 0.38%~2.88%)、2.16%(95%CI: 0.48%~3.86%), 1.54%(95%CI: 0.17%~2.92%)和1.61%(95%CI: 0.27%~2.96%)。全年多污染物模型分析显示, 单独引入SO₂、CO、PM_{2.5}或同时引入SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时, O₃对总人群、女性人群和>65岁人群循环系统疾病日死亡风险的影响增加; 单独引入PM₁₀时, O₃对总人群和女性人群循环系统疾病日死亡风险有所降低, 对>65岁人群循环系统疾病日死亡风险的影响增加; 单独引入CO或同时引入SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时, O₃对男性人群循环系统疾病日死亡风险有影响。夏季多污染物模型分析显示, 单独控制SO₂或同时控制SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时, O₃对女性人群的循环系统疾病日死亡风险的负面效应增强。

[结论] 包头市大气污染物O₃对居民循环系统疾病死亡存在急性影响, 该效应夏季强于冬季。

关键词: 臭氧; 循环系统疾病死亡; 急性效应; 广义线性模型

Acute effect of ambient ozone pollution on death from circulatory diseases in Baotou City
LU Jing, ZHANG Xiao-mei, FENG Xiao-dong (Baotou Center for Disease Control and Prevention, Baotou, Inner Mongolia 014030, China)

Abstract:

[Objective] Photochemical pollution has become a major concern in urban areas throughout China as ozone (O₃) has been linked to increased residents' deaths. Therefore, this study aims to evaluate the acute effect of O₃ on the circulatory death of residents in Baotou City.

[Methods] Daily meteorological data (average temperature, average relative humidity, average air pressure, and average wind speed), selected air pollutants (PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO, and O₃), and population circulatory deaths in Baotou City from January 1, 2015 to December 31, 2017 were collected and analyzed descriptively. After controlling long-term trend, meteorological factors, and day-of-the-week effect, a generalized linear model based on quasi-Poisson regression was used to analyze the potential association between O₃ concentration and daily population death from circulatory diseases. The excess risk and 95% confidence interval of mortality due to circulatory diseases were calculated for per 10 μg/m³ increase in O₃.

[Results] The daily O₃ levels in Baotou city in the whole year, summer, and winter were 93.94, 138.70, and 52.51 μg/m³, respectively. The results of single pollutant model showed that the circulatory disease mortality of general population (lag1), female residents (lag1), residents over 65 years old (lag1), and male residents (lag5) increased by 1.62% (95%CI: 0.38%~2.88%), 2.16% (95%CI: 0.48%~3.86%), 1.54% (95%CI: 0.17%~2.92%), and 1.61% (95%CI: 0.27%~2.96%) for per 10 μg/m³ increase in O₃, respectively. The results of multi-pollutant model for the whole year showed that when SO₂, CO, and PM_{2.5} were introduced separately or SO₂, CO, PM_{2.5}, and PM₁₀

基金项目

包头市医药卫生科技计划项目 (Wsjj2017066)

作者简介

芦静 (1987—), 女, 硕士, 主治医师;
E-mail: lujing19870902@163.com

通信作者

张晓梅, E-mail: zhaowy96@163.com
冯晓冬, E-mail: XS5171562@163.com

伦理审批

已获取

利益冲突

无申报

收稿日期

2018-07-20

录用日期

2019-01-16

文章编号

2095-9982(2019)04-0381-07

中图分类号

R122.7

文献标志码

A

► 引用

芦静, 张晓梅, 冯晓冬. 包头市大气臭氧污染对人群循环系统疾病死亡的急性效应 [J]. 环境与职业医学, 2019, 36 (4): 381-387.

► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2019.18472

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHANG Xiao-mei, E-mail: zhaowy96@163.com
FENG Xiao-dong, E-mail: XS5171562@163.com

Ethics approval

Obtained

Competing interests

None declared

Received

2018-07-20

Accepted

2019-01-16

► To cite

LU Jing, ZHANG Xiao-mei, FENG Xiao-dong. Acute effect of ambient ozone pollution on death from circulatory diseases in Baotou City [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2019, 36(4): 381-387.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2019.18472

were introduced at the same time, the daily death risk of circulatory diseases associated with O₃ in general population, female residents, and residents over 65 years old were increased; when PM₁₀ was introduced alone, the risk was reduced in general population and female residents, and increased in residents over 65 years old; when CO was introduced alone or SO₂, CO, PM_{2.5}, and PM₁₀ were introduced at the same time, the risk in male residents remained statistically significant. The results of multi-pollutant model for summer showed that when SO₂ was controlled alone or SO₂, CO, PM_{2.5}, and PM₁₀ were controlled at the same time, the risk of death from circulatory diseases in female residents were elevated.

[Conclusion] O₃ pollution has an acute effect on the circulatory death of the residents in Baotou City, and the effect is stronger in summer than in winter.

Keywords: ozone; circulatory mortality; acute effect; generalized linear model

近年来,我国经济迅猛发展、机动车数量显著增加,大部分地区的空气污染由传统的煤烟型转变为复合型污染,光化学污染已成为我国城市空气污染的首要问题,部分研究发现臭氧(O₃)具有典型的生物效应,可引起心血管系统、呼吸系统炎症和系统性氧化应激反应^[1],导致居民死亡例数的增加^[2-3],但研究地区局限在珠三角地区、上海等沿海地带^[4-5]。时间序列模型自20世纪90年代以来被广泛应用于大气污染物急性暴露对各种健康效应指标的研究,并在全球不同大气污染背景、不同人群、不同地点取得了相似的结果。近些年国内的相关研究日益增多,但针对西部地区开展的研究仍不多见。

本研究选择我国西部重工业城市——包头市作为研究区域,并以健康效应指标——循环系统疾病死亡作为观察结局,采用时间序列分析方法,探讨2015—2017年包头市臭氧暴露对居民健康的急性影响,从而为进一步制定地方性的管理控制措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

包头市地处环渤海经济圈腹地与黄河上游资源丰富集交汇处,是内蒙古的制造业、工业中心及最大城市,是中国重要的基础工业基地和全球轻稀土产业中心,主要以钢铁制造、机械制造、有色金属、稀土开发、电力产业、化工和重型汽车为支柱产业。包头属半干旱中温带大陆性季风气候,四季温差大,春季干燥多风,夏季降水集中,秋季凉爽少雨,冬季干燥寒冷;主要依靠燃煤供暖,每年10月15日至翌年4月15日为供暖期,为期6个月。

1.2 资料来源

收集2015年1月1日—2017年12月31日包头市大气污染、气象指标和居民循环系统疾病死亡个案的逐日数据。大气污染物包括6项指标:细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、一

氧化碳(CO)、O₃,数据来源于包头市环保局城区8个环保监测站点日报数据。气象指标包括日均温度、日均相对湿度、日均气压、日均风速等,数据来源于包头市气象局。死亡个案资料包括死亡时间、性别、年龄、根本死因编码等,数据来源于中国疾病预防控制中心死因登记报告信息系统。

1.3 研究方法

1.3.1 描述性分析 研究期间的气象指标、大气污染物浓度采用均值与标准差($\bar{x} \pm s$)、最小值(*Min*)、最大值(*Max*)和百分位数(*P*₂₅、*P*₅₀、*P*₇₅)进行统计描述。每日人群循环系统疾病死亡数服从半泊松回归分布,为便于结果表达,也采用上述指标进行描述。采用Spearman相关分析大气污染物之间及与气象指标的相关性。

1.3.2 广义线性模型分析 采用基于半泊松回归的广义线性模型分析逐日循环系统疾病死亡数与大气污染物O₃的相关性。采用自然样条平滑函数(*ns*)拟合时间序列的长期趋势,自由度选择7/年^[6]。模型中同时控制气象因素、星期几效应(*day of the week, dow*)的混杂影响,日均温度(*t*_{mean})、日均相对湿度(*r*_{hum})的拟合使用自然样条平滑函数拟合,自由度的选择基于Akaike信息标准确定。GLM模型如下。

$$\lg[E(y_i)] = \alpha + \beta_i X_i + ns(t_{\text{mean}}, 3) + ns(t, 7*1) + ns(r_{\text{hum}}, 3) + dow$$

式中:*y_i*,观察日*i*当天的循环系统疾病死亡人数;*E(y_i)*,观察日*i*循环系统疾病死亡人数的数据期望; α ,截距; β_i ,回归系数;*X_i*,第*i*日大气污染物浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$);*ns*,自然样条平滑函数;*t*_{mean},第*i*日平均气温;*t*,日期变量;*r*_{hum},第*i*日平均相对湿度;*dow*,星期几效应。

对当日及滞后效应(lag0~lag7)的污染物O₃浓度与人群循环系统疾病死亡数进行分析,计算O₃每升高10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,人群循环系统疾病死亡率增加的超额危险度(*excess risk, ER*)及95%可信区间(*confidence*

interval, CI), 采用最大效应值作为污染物对人群循环系统疾病死亡效应的暴露风险估计值。

敏感性分析：分析大气污染物 O₃ 对人群循环系统疾病死亡的单日滞后效应 (lag0~lag7) 和累积滞后效应 (lag01~lag07) 的影响；选择人群循环系统疾病死亡风险滞后 1d 时 (效应值最大)，实施双污染物模型和多污染物模型分析评估主模型的稳定性。

1.4 统计学分析

使用 SPSS 20.0 软件，运用描述性分析研究人群循环系统疾病死亡、气象指标及大气污染物情况，运用 Spearman 相关分析研究大气污染物与气象指标的相关性；使用 R 3.4.4 软件运用时间序列分析研究 O₃ 对人群循环系统疾病的死亡风险。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况

2015—2017 年 PM₁₀ 为首要污染物的天数为 481 d，占 43.9%，O₃ 为首要污染物的天数为 293 d，占 26.7%，PM_{2.5} 为首要污染物的天数为 223 d，占 20.3%。2015—2017 年间，包头市 O₃ 日均值为 93.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，期间共计有 81 d (7.39%) 超过 GB 3095—2012《国家环境空气质量标准》二级标准 (160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，3 年年均值呈上升趋势 (依次为 87.30、96.32、98.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)；夏季、冬季 O₃ 日均值分别为 138.70、52.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。期间，日均温度年均为 8.30°C，相对湿度的年均为 54.47%，气压的年均为 899.83 hPa，风速的年均为 2.96 m/s；人群循环系统疾病日平均死亡人数为 7.96 人，其中男性

为 4.82 人，女性为 3.41 人， ≤ 65 岁为 1.81 人， >65 岁为 6.42 人。见表 1。

表 1 2015—2017 年包头市人群循环系统疾病死亡、气象指标及大气污染物描述性分析

指标	$\bar{x}\pm s$	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max
循环系统疾病死亡(人)	7.96±3.41	0	5	8	10	19
性别						
男	4.82±2.41	0	3	4.5	6	14
女	3.41±2.01	0	2	3	5	12
年龄(岁)						
65	1.81±1.41	0	1	2	3	7
>65	6.42±2.92	0	4	6	8	18
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	46.97±33.94	8	26	38	57	370
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	103.45±68.08	19	61	89	126	1069
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31.72±19.07	7	18	26	40	137
CO (mg/m^3)	1.32±0.68	0.40	0.80	1.10	1.60	4.40
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	93.94±41.97	8.0	63.0	91.0	121.0	227.0
夏季	138.70±29.96	65.0	116.3	135.0	159.0	227.0
冬季	52.51±20.19	8.0	37.0	54.0	69.0	98.0
日均温度(°C)	8.30±12.40	-20.6	-4.0	9.9	19.6	30.1
相对湿度(%)	54.47±15.77	12.0	44.0	55.0	65.0	95.0
气压(hPa)	899.83±47.65	888.0	896.5	902.2	907.1	924.7
风速(m/s)	2.96±1.86	0.80	2.1	2.7	3.6	10.5

2.2 大气污染及气象因素相关性

经 Spearman 相关性分析，结果显示：O₃ 与气温、风速表现为正相关，与相对湿度、气压表现为负相关；O₃ 与污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、CO 之间均表现为负相关。见表 2。

表 2 2015—2017 年包头市大气污染物与气象指标的相关性 (r)

指标	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	O ₃	气温	气压	相对湿度	风速
PM ₁₀	1.000	0.850*	0.618*	0.542*	-0.243*	-0.182*	-0.038	-0.011	-0.054
PM _{2.5}	0.850*	1.000	0.720*	0.731*	-0.321*	-0.303*	0.099*	0.288*	-0.226*
SO ₂	0.618*	0.720*	1.000	0.859*	-0.545*	-0.542*	0.347*	0.178*	-0.340*
CO	0.542*	0.731*	0.859*	1.000	-0.600*	-0.576*	0.407*	0.364*	-0.436*
O ₃	-0.243*	-0.321*	-0.545*	-0.600*	1.000	0.857*	-0.721*	-0.241*	0.186*
气温	-0.182*	-0.303*	-0.542*	-0.576*	0.857*	1.000	-0.817*	-0.092*	0.131*
气压	-0.038	0.099*	0.347*	0.407*	-0.721*	-0.817*	1.000	0.097*	-0.150*
相对湿度	-0.011	0.288*	0.178*	0.364*	-0.241*	-0.092*	-0.092*	1.000	-0.233*
风速	-0.054	-0.226*	-0.340*	-0.436*	0.186*	0.131*	-0.150*	-0.233*	1.000

[注] * : $P < 0.05$ 。

2.3 O₃ 对人群循环系统疾病死亡风险的影响

2.3.1 单污染物模型 大气污染物 O₃ 与人群循环系统疾病死亡风险的单日滞后效应分析显示：O₃ 每升高 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在单日滞后 1d，可使总人群循环系统疾

病死亡率增加 1.62% (95%CI : 0.38%~2.88%)，女性循环系统疾病死亡率增加 2.16% (95%CI : 0.48%~3.86%)， >65 岁人群循环系统疾病死亡率增加 1.54% (95%CI : 0.17%~2.92%)；在单日滞后 5d，可使男性循环系统疾

死亡率增加 1.61% (95%CI : 0.27%~2.96%)。见表 3。累积滞后效应分析显示：总人群、女性人群、>65 岁人群累

积效应结果均有统计学意义 ($P<0.05$)，男性人群只有 lag05 的累积滞后效应有统计学意义 ($P<0.05$)。见表 4。

表 3 2015—2017 年包头市大气污染物 O_3 每升高 $10\mu g/m^3$ 人群循环系统疾病死亡风险单日滞后效应的单污染物模型 (ER 及 95%CI)

滞后天数	总人群	男性	女性	>65 岁	65 岁
lag0	1.20 (-0.20, 2.62)	0.92 (-0.71, 2.58)	1.49 (-0.38, 3.39)	0.89 (-0.55, 2.35)	2.10 (-0.51, 4.78)
lag1	1.62 (0.38, 2.88) *	1.25 (-0.29, 2.82)	2.16 (0.48, 3.86) *	1.54 (0.17, 2.92) *	0.10 (-2.32, 2.59)
lag2	0.87 (-0.32, 2.08)	0.59 (-0.86, 2.06)	1.99 (0.38, 3.62) *	1.16 (-0.13, 2.45)	-0.57 (-2.83, 1.75)
lag3	0.77 (-0.40, 1.96)	0.64 (-0.75, 2.05)	1.77 (0.19, 3.37) *	1.28 (-0.05, 2.53)	-1.25 (-3.41, 0.97)
lag4	0.41 (-0.75, 1.58)	1.23 (-0.13, 2.60)	0.46 (-1.10, 2.03)	1.09 (-0.11, 2.30)	0.24 (-1.90, 2.43)
lag5	0.74 (-0.40, 1.90)	1.61 (0.27, 2.96) *	0.37 (-1.15, 1.92)	1.70 (0.52, 2.89)	-1.07 (-3.16, 1.06)
lag6	-0.31 (-1.43, 0.83)	0.16 (-1.15, 1.49)	-0.52 (-2.02, 1.00)	0.41 (-0.76, 1.58)	-2.02 (-4.07, 0.07)
lag7	-0.22 (-1.35, 0.91)	-0.10 (-1.41, 1.22)	-0.44 (-1.93, 1.08)	0.03 (-1.13, 1.20)	-1.22 (-3.27, 0.88)

[注] * : $P<0.05$ 。

表 4 2015—2017 年包头市大气污染物 O_3 每升高 $10\mu g/m^3$ 人群循环系统疾病死亡风险累积滞后效应的单污染物模型 (ER 及 95%CI)

滞后天数	总人群	男性	女性	>65 岁	65 岁
lag01	2.10 (0.61, 3.61) *	1.35 (-0.39, 3.12)	3.11 (1.10, 5.17) *	2.39 (0.84, 3.97) *	0.98 (-1.77, 3.82)
lag02	2.12 (0.52, 3.74) *	1.35 (-0.52, 3.25)	3.57 (1.40, 5.78) *	2.82 (1.15, 4.51) *	0.33 (-2.60, 3.34)
lag03	2.15 (0.47, 3.85) *	1.41 (-0.56, 3.41)	3.88 (1.59, 6.22) *	3.24 (1.48, 5.02) *	-0.42 (-3.48, 2.73)
lag04	2.16 (0.42, 3.94) *	1.74 (-0.30, 3.82)	3.94 (1.57, 6.37) *	3.49 (1.66, 5.35) *	-0.29 (-3.46, 2.98)
lag05	2.33 (0.53, 4.17) *	2.17 (0.06, 4.33) *	3.99 (1.54, 6.51) *	3.97 (2.08, 5.90) *	-0.75 (-4.0, 2.62)
lag06	2.10 (0.25, 3.99) *	1.99 (-0.18, 4.21)	3.72 (1.19, 6.31) *	3.91 (1.95, 5.90) *	-1.48 (-4.8, 1.96)
lag07	1.96 (0.05, 3.91) *	1.77 (-0.47, 4.05)	3.53 (0.93, 6.20) *	3.74 (1.73, 5.79) *	-1.83 (-5.23, 1.7)

[注] * : $P<0.05$ 。

2.3.2 敏感性分析 选择 Spearman 相关系数小于 0.7 的污染物纳入双污染物及多污染物模型，分析结果见表 5。如图 1 所示， O_3 敏感性分析结果与主模型结果基本一致，且 95%CI 变化范围也较小，且总人群、女性人群、>65 岁人群的最大效应值均出现在滞后 1d，并有统计学意义，表明模型稳定，结果可靠。

O_3 单独引入 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 或同时引入 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时，其对总人群、女性人群和 >65 岁人群循环系统疾病死亡风险的影响增加； O_3 在单独引入 PM_{10} 时，其对总人群和女性人群循环系统疾病死亡风险的影响有所降低，对 >65 岁人群循环系统疾病死亡风险的影响增加； O_3 单独引入 CO 或同时引入 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时，其对男性人群循环系统疾病死亡风险有影响；多污染物对 ≤65 岁人群的循环系统

疾病死亡的影响尚未发现有统计学意义。见表 5。

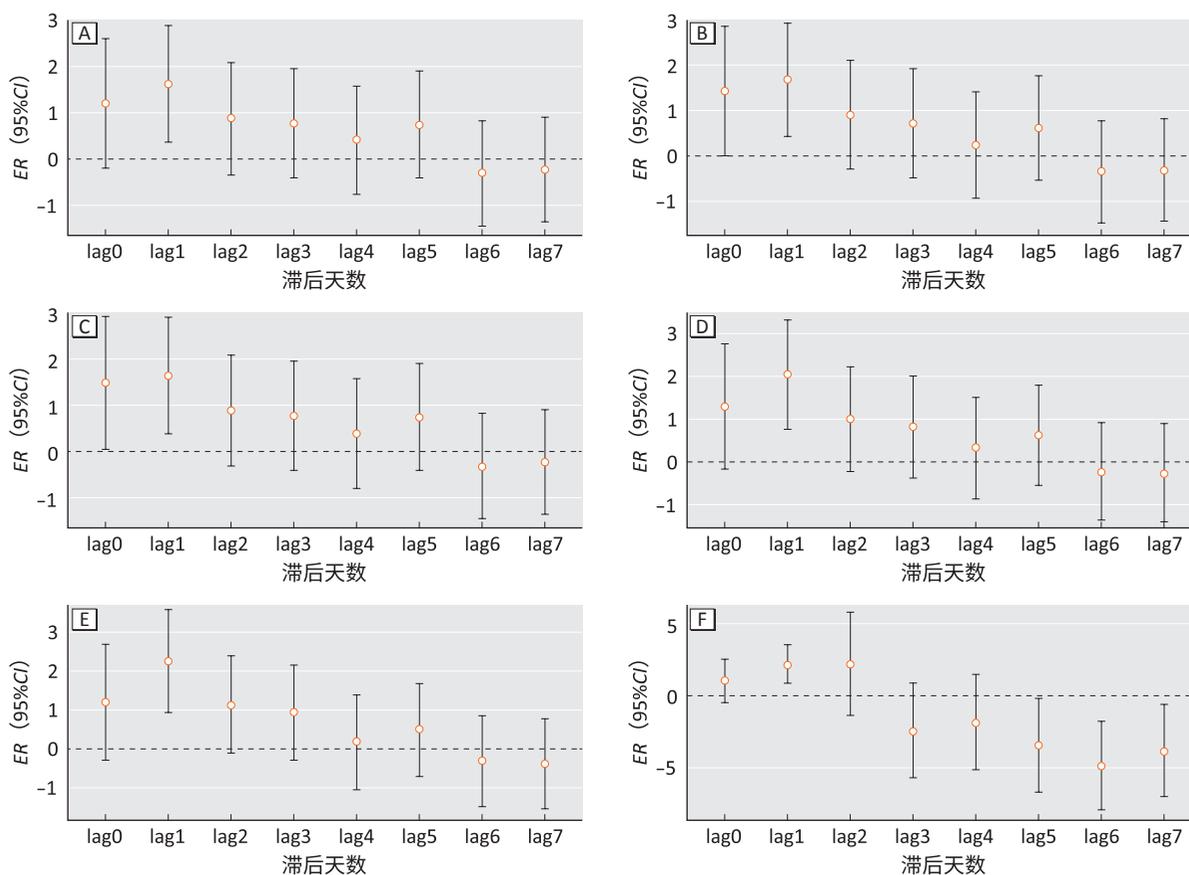
2.4 不同季节 O_3 对人群循环系统疾病死亡风险的效应

夏季单独控制 SO_2 或同时控制 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时， O_3 对女性人群的循环系统疾病死亡风险的负面效应增强；单独控制 CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 后， O_3 对女性人群循环系统疾病死亡风险的影响无统计学意义；单独控制 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 或同时引入 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时， O_3 对总人群、男性人群、>65 岁人群、≤65 岁人群循环系统疾病死亡风险的影响均无统计学意义。冬季单独控制 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 或同时引入 SO_2 、CO、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时， O_3 对总人群、男性人群、女性人群、>65 岁人群、≤65 岁人群循环系统疾病死亡风险的影响均无统计学意义。见表 6。

表 5 2015—2017 年包头市大气污染物 O_3 浓度每升高 $10\mu g/m^3$ 对人群循环系统死亡风险的双污染物及多污染物模型 (ER 及 95%CI)

调整因素	总人群	男性	女性	>65 岁	65 岁
SO_2	2.03 (0.76, 3.31) *	1.34 (-0.14, 2.85)	2.64 (0.93, 4.37) *	2.26 (0.95, 3.59) *	0.49 (-1.84, 2.87)
CO	2.22 (0.76, 3.31) *	1.59 (0.07, 3.14) *	2.87 (1.12, 4.65) *	2.56 (1.21, 3.93) *	0.53 (-1.86, 2.99)
$PM_{2.5}$	1.70 (0.46, 2.95) *	1.15 (-0.30, 2.63)	2.24 (0.58, 3.93) *	2.05 (0.77, 3.36) *	-0.01 (-2.29, 2.32)
PM_{10}	1.61 (0.37, 2.87) *	1.11 (-0.34, 2.58)	2.13 (0.46, 3.83) *	1.99 (0.70, 3.29) *	-0.10 (-2.39, 2.24)
$SO_2+CO+PM_{10}+PM_{2.5}$	2.15 (0.83, 3.48) *	1.68 (0.13, 3.25) *	2.60 (0.83, 4.41) *	2.50 (1.13, 3.89) *	0.47 (-1.95, 2.95)

[注] * : $P<0.05$ ，采用滞后 1d 数据进行分析。



[注] A: 单污染物模型 O₃; B: 双污染物模型 O₃+PM_{2.5}; C: 双污染物模型 O₃+PM₁₀; D: 双污染物模型 O₃+SO₂; E: 双污染物模型 O₃+CO; F: 多污染物模型 O₃+SO₂+CO+PM_{2.5}+PM₁₀

图1 总人群双污染物及多污染物模型分析结果 (ER 及 95%CI)

表6 2015—2017年包头市大气污染物 O₃ 浓度每升高 10 μg/m³ 人群循环系统疾病死亡风险的季节变化 (ER 及 95%CI)

季节	调整因素	总人群	男性	女性	>65岁	65岁
夏季	—	1.19 (-0.78, 3.20)	-0.66 (-2.97, 1.71)	2.89 (-0.42, 5.08)	0.60 (-1.43, 2.67)	0.27 (-3.54, 4.23)
	SO ₂	2.11 (-0.00, 4.26)	-0.09 (-2.58, 2.46)	3.62 (0.70, 6.61) *	1.98 (-0.18, 4.18)	-0.57 (-4.58, 3.60)
	CO	1.23 (-0.74, 3.24)	-0.66 (-2.98, 1.71)	2.67 (-0.34, 5.15)	0.62 (-1.41, 2.70)	0.30 (-3.51, 4.27)
	PM _{2.5}	1.87 (-0.51, 4.30)	-0.13 (-2.93, 2.75)	3.20 (-0.09, 6.60)	1.72 (-0.74, 4.25)	-0.67 (-5.17, 4.04)
	PM ₁₀	1.60 (-0.60, 3.83)	-0.83 (-3.37, 1.76)	2.67 (-0.33, 5.75)	1.02 (-1.23, 3.32)	-0.86 (-4.89, 3.34)
冬季	SO ₂ +CO+PM ₁₀ +PM _{2.5}	2.25 (-0.15, 4.72)	0.27 (-2.57, 3.19)	3.76 (0.43, 7.20) *	2.35 (-0.10, 4.88)	-0.74 (-5.29, 4.02)
	—	-2.91 (-6.27, 0.57)	-2.31 (-6.66, 2.25)	-3.64 (-8.62, 1.61)	-1.82 (-5.58, 2.09)	-6.91 (-13.53, 0.21)
	SO ₂	-0.87 (-5.04, 3.48)	-0.88 (-6.32, 4.86)	-0.76 (-6.94, 5.82)	-0.20 (-4.87, 4.71)	-3.64 (-11.89, 5.38)
	CO	-1.21 (-5.40, 3.16)	0.86 (-4.63, 6.66)	-3.85 (-9.95, 2.66)	-0.89 (-5.57, 4.02)	-2.72 (-11.06, 6.39)
	PM _{2.5}	-1.80 (-5.37, 1.90)	-1.09 (-5.73, 3.78)	-2.65 (-7.97, 2.97)	-0.93 (-4.95, 3.26)	-5.15 (-12.19, 2.46)
	PM ₁₀	-2.59 (-6.10, 1.04)	-1.89 (-6.43, 2.86)	-3.46 (-8.67, 2.04)	-1.57 (-5.50, 2.52)	-6.40 (-13.29, 1.02)
	SO ₂ +CO+PM ₁₀ +PM _{2.5}	-1.25 (-5.70, 3.42)	-0.48 (-6.28, 5.67)	-2.27 (-8.80, 4.73)	-0.79 (-5.79, 4.48)	-3.37 (-12.27, 6.43)

[注] *: P<0.05, 采用滞后1d数据进行分析。

3 讨论

包头市是内蒙古重要的工业城市,是中国重要的基础工业基地和全球轻稀土产业中心,工业围城,多家企业处于城市上风向,污染物排放量较大,对城市环境质量影响较大。包头市能源消费结构以煤炭为主,严重污染主要有沙尘型和煤烟型^[7]。近年来,政府加大了生态环境保护力度,空气质量有所好转,

2015—2017年包头市PM_{2.5}和PM₁₀呈持续下降趋势,但O₃总体呈现逐年上升趋势,2015—2017年日均值为93.94 μg/m³,高于宁波^[8]、重庆^[9]、廊坊^[10]、兰州^[11]等城市。地面的O₃是光化学烟雾的一个主要组成部分,由诸如车辆和工业释放出的氧化氮等污染物以及由机动车和工业释放的挥发性有机化合物与日照反应而形成^[12]。近几年我国多个城市循环系统疾病位居死

亡谱首位^[13-16],死亡特点具有性别、年龄、季节差异。国内外已有大量流行病学研究证实大气颗粒物污染会引起人群循环系统的不良结局,如卒中^[17]、心肌梗死^[18]、心力衰竭^[19]和缺血性心脏病^[20]等循环系统疾病^[21-22]的发病风险增加。故本研究将O₃及其循环系统效应作为观察对象。

本研究通过收集包头市2015年1月1日—2017年12月31日大气污染、气象指标和居民循环系统死亡个案的逐日数据,利用广义线性模型分析O₃对居民循环系统疾病死亡的影响。结果显示,包头市2015—2017年三年全年、夏季和冬季O₃日均浓度分别为93.94、138.70、52.51 μg/m³,按照《环境空气质量标准》,全年和冬季均符合国家一级标准(100 μg/m³),夏季符合国家二级标准(160 μg/m³)^[23]。大气污染物之间的相关性分析显示,O₃与PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、CO之间,均表现为负相关性,可能是因为空气悬浮颗粒对阳光有遮蔽作用,降低了氮氧化物的光化学反应,减少了O₃的释放。

有关O₃与人群循环系统疾病死亡风险的滞后效应单污染物模型分析显示,O₃每升高10 μg/m³,可使总人群循环系统疾病死亡率(lag1)增加1.62%(95%CI:0.38%~2.88%),高于南京市2013—2015年评估结果1.25%^[24],珠江三角洲2006—2012年评估结果0.70%^[25],北京农村地区2005—2013年评估结果1.011%~1.017%^[26]。差异可能来源于不同地区自然因素、社会因素以及研究人群人口构成等^[27-28]。女性循环系统疾病死亡率(lag1)增加2.16%(95%CI:0.48%~3.86%),>65岁人群循环系统疾病死亡率(lag1)增加1.54%(95%CI:0.17%~2.92%),男性循环系统疾病死亡率(lag5)增加1.61%(95%CI:0.27%~2.96%),O₃对≤65岁人群循环系统疾病的日死亡影响在滞后0~7 d均无明显急性效应,提示O₃对居民循环系统健康存在负面效应,且女性较男性对O₃更敏感,>65岁人群较≤65岁人群对O₃更敏感。累积滞后效应分析显示:总人群、女性人群、>65岁人群累积效应结果均有统计学意义($P < 0.05$),男性人群只有lag05的累计滞后效应有统计学意义($P < 0.05$),≤65岁人群均无统计学意义($P > 0.05$)。因此,对于循环系统疾病患者尤其女性和老年患者,控制环境O₃的污染更具有公共卫生意义。

敏感性分析中的双污染物及多污染物模型与臭氧单污染物主模型的结果基本一致,且95%CI变化

范围也较小,且总人群、女性人群、>65岁人群均出现在滞后1 d,并有统计学意义,表明主模型稳定可靠,臭氧对人群循环系统疾病死亡效应分析结果可信。在多污染物模型中单独引入SO₂、CO、PM_{2.5}或同时引入SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时,O₃对总人群、女性人群和>65岁人群循环系统疾病死亡风险的影响高于单污染模型($P < 0.05$);单独引入PM₁₀时,O₃对总人群和女性人群循环系统疾病死亡风险的影响低于单污染模型($P < 0.05$),对>65岁人群循环系统疾病死亡风险的影响高于单污染模型($P < 0.05$);单独引入CO或同时引入SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时,O₃对男性人群循环系统疾病死亡风险有影响($P < 0.05$);对≤65岁人群的循环系统疾病死亡的影响尚未发现有统计学意义($P > 0.05$)。以上结果提示SO₂和CO与PM_{2.5}之间存在着较强的联合效应,SO₂和CO可与PM_{2.5}一起进入呼吸道深部,从而进入循环系统,损伤机体。这一研究结果与Wong等^[29]在香港地区的研究结果一致。

有关夏冬两季O₃对人群循环系统疾病死亡效应分析显示,夏季单独控制SO₂或同时控制SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时,O₃对女性人群的循环系统疾病死亡风险的负面效应增强($P < 0.05$);单独控制CO、PM_{2.5}和PM₁₀后,O₃对女性人群循环系统疾病死亡风险的影响无统计学意义($P > 0.05$);单独控制SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀或同时引入SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时,O₃对总人群、男性人群、>65岁人群、≤65岁人群循环系统疾病死亡风险的影响均无统计学意义($P > 0.05$)。冬季单独控制SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀或同时引入SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀时,O₃对总人群、男性人群、女性人群、>65岁人群、≤65岁人群循环系统疾病死亡风险的影响均无统计学意义($P > 0.05$)。以上结果提示在调整潜在混杂因素之后,大气O₃的负面效应在夏季更强,尤其对女性更敏感,这一研究结果与Zhang等^[30]在上海地区的研究结果不一致。这可能是因为包头市作为北方城市,夏季O₃平均浓度高出冬季近3倍,从而导致高温与O₃产生联合作用,另外夏季昼长夜短,冬季昼短夜长,夏季居民的室外活动时间较长,但是季节对O₃的健康效应仍需进一步研究。

本次调查为生态学研究,是基于人群水平的综合数据而非个体水平的资料来探讨人群健康风险的时空变异,不可避免可能存在生态学谬误,研究结果仅限于暴露-效应关系,不能外推于其他情况。

参考文献

- [1] SREBOT V, GIANICOLO EA, RAINALDI G, et al. Ozone and cardiovascular injury [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2009, 7 : 30.
- [2] 闫梅霖, 李涪涪, 刘晓途, 等. 我国臭氧短期暴露的人群健康效应研究进展 [J]. *环境与健康杂志*, 2012, 29 (8) : 752-761.
- [3] 邬堂春. 防控空气污染 加强空气污染致健康危害研究 [J]. *中华预防医学杂志*, 2016, 50 (8) : 665-667.
- [4] 刘涛, 曾韦霖, 林华亮, 等. 珠江三角洲地区大气臭氧引起居民死亡风险的时空分布及其修饰因素 [J]. *华南预防医学*, 2016, 42 (3) : 201-207.
- [5] 董继元, 刘兴荣, 张本忠, 等. 我国臭氧短期暴露与人群死亡风险的Meta分析 [J]. *环境科学学报*, 2016, 36 (4) : 1477-1485.
- [6] 杨春雪. 细颗粒物和臭氧对我国居民死亡影响的急性效应研究 [D]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [7] 周海军, 刘涛, 都达古拉, 等. 包头市大气污染特征及其影响因素 [J]. *环境科学研究*, 2017, 30 (2) : 202-213.
- [8] 钱旭君, 李国星, 贺天锋, 等. 宁波市大气污染物一氧化碳及臭氧对人群心肌梗死死亡的急性效应研究 [J]. *中华流行病学杂志*, 2017, 38 (3) : 297-302.
- [9] 徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 等. 重庆市北碚大气中PM_{2.5}、NO_x、SO₂和O₃浓度变化特征研究 [J]. *环境科学学报*, 2016, 36 (5) : 1539-1547.
- [10] 宋从波, 李瑞芃, 何建军, 等. 河北廊坊市区大气中NO、NO₂和O₃污染特征研究 [J]. *中国环境科学*, 2016, 36 (10) : 2903-2912.
- [11] 王任洪. 兰州市大气污染与呼吸、循环系统疾病死亡的时间序列分析 [D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [12] 本刊编辑部. 臭氧(O₃) [J]. *中国肿瘤临床与康复*, 2017, 24 (1) : 110.
- [13] 王莹, 刘守钦, 周林, 等. 2011—2015年济南市居民循环系统疾病死亡流行病学特征分析 [J]. *现代预防医学*, 2017, 44 (1) : 25-28.
- [14] 韦贤瑞, 陈玲, 茹立, 等. 2013—2015年北海市城乡居民循环系统疾病死亡流行病学特征分析 [J]. *应用预防医学*, 2018, 34 (1) : 28-31.
- [15] 王红伟. 沈阳市城区居民2011-2015年循环系统疾病死亡分析 [J]. *中国卫生统计*, 2018, 35 (1) : 122-123.
- [16] 张晨曦, 汤榕, 李相荣, 等. 银川市2015年居民死亡状况统计分析 [J]. *中国卫生产业*, 2017, 14 (33) : 165-167.
- [17] CHEN R, ZHANG Y, YANG C, et al. Acute effect of ambient air pollution on stroke mortality in the China air pollution and health effects study [J]. *Stroke*, 2013, 44 (4) : 954-960.
- [18] KRISHNAN RM, SULLIVAN JH, CARLSTEN C, et al. A randomized cross-over study of inhalation of diesel exhaust, hematological indices, and endothelial markers in humans [J]. *Part Fibre Toxicol*, 2013, 10 : 7.
- [19] SHAH AS, LANGRISH JP, NAIR H, et al. Global association of air pollution and heart failure : A systematic review and meta-analysis [J]. *Lancet*, 2013, 382 (9897) : 1039-1048.
- [20] 张云权, 吴凯, 朱慈华, 等. 武汉大气污染与缺血性心脏病死亡关系季节差异 [J]. *中国公共卫生*, 2015, 31 (7) : 926-929.
- [21] 齐爱, 刘秀英, 周健, 等. 银川市大气颗粒物对人群循环系统疾病死亡影响的时间序列分析 [J]. *环境与健康杂志*, 2017, 34 (7) : 598-602.
- [22] 张永利, 莫哲, 易井萍, 等. 舟山市大气PM_{2.5}对居民循环系统疾病日死亡人数的影响 [J]. *环境与职业医学*, 2017, 34 (3) : 224-229.
- [23] 国家环境空气质量标准: GB 3095—2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [24] 陈琦, 孙宏, 陈晓东, 等. 南京市臭氧短期暴露人群急性健康效应研究 [J]. *江苏预防医学*, 2017, 28 (4) : 366-368, 386.
- [25] 廖志恒, 范绍佳. 2006—2012年珠江三角洲地区O₃污染对人群健康的影响 [J]. *中国环境科学*, 2015, 35 (3) : 897-905.
- [26] LI Y, SHANG Y, ZHENG C, et al. Estimated acute effects of ozone on mortality in a rural district of Beijing, China, 2005—2013 : a time-stratified case-crossover study [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15 (11) : 2460.
- [27] SON JY, LEE JT, KIM H, et al. Susceptibility to air pollution effects on mortality in Seoul, Korea : a case-crossover analysis of individual-level effect modifiers [J]. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2012, 22 (3) : 227-234.
- [28] LELIEVELD J, EVANS JS, FNAIS M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale [J]. *Nature*, 2015, 525 (7569) : 367-371.
- [29] WONG T, TAM W, YU T, et al. Associations between daily mortalities from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong, China [J]. *Occup Environ Med*, 2002, 59 (1) : 30-35.
- [30] ZHANG Y, HUANG W, LONDON S J, et al. Ozone and daily mortality in Shanghai, China [J]. *Environ Health Perspect*, 2006, 114 (8) : 1227-1232.

(英文编辑: 汪源; 编辑: 陈皎, 王晓宇; 校对: 宋琪)