

## · 论著 ·

# 空气污染物与气温对南宁市儿童支气管肺炎住院人次的影响：基于 2015—2022 年数据的时间序列研究

扫描二维码  
查看更多

庞智东, 颜云盈, 黄树稳, 唐盐林, 李梅, 阙宇晨

**【摘要】** 目的 分析空气污染物、气温对南宁市儿童支气管肺炎住院人次的影响。方法 通过医院电子信息系统获取2015—2022年南宁市妇幼保健院收治的支气管肺炎患儿的病案资料,统计每年儿童支气管肺炎住院人次。南宁市2015—2022年逐日空气质量监测数据来源于南宁市环境监测站,统计日平均空气污染物浓度。南宁市2015—2022年逐日气象监测数据来源于南宁市气象局,统计气象因素(日平均气温和日平均相对湿度)。空气污染物浓度与气温间的相关性分析采用Spearman秩相关分析。采用广义相加模型(GAM)分析不同时间〔住院当天(Lag0)及滞后1~7 d(Lag1~7)〕空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的影响,采用分布滞后非线性模型(DLNM)分析不同时间气温对儿童支气管肺炎住院人次的影响,采用双变量响应面模型分析空气污染物浓度和气温的交互作用对儿童支气管肺炎住院人次的影响。结果 Spearman秩相关分析结果显示,气温与PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、一氧化碳(CO)浓度呈负相关,与二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)浓度呈正相关( $P<0.05$ )。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次的最强单日滞后效应日分别为Lag1〔超额危险度(ER)=1.244%,95%CI(0.515%,1.973%)〕、Lag1〔ER=1.354%,95%CI(0.878%,1.831%)〕、Lag1〔ER=5.043%,95%CI(3.826%,6.260%)〕、Lag3〔ER=0.640%,95%CI(0.287%,0.994%)〕、Lag0〔ER=4.207%,95%CI(3.047%,5.470%)〕、Lag7〔ER=-0.076%,95%CI(-0.123%,-0.029%) $P<0.05$ 〕。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO浓度对儿童支气管肺炎住院人次的最强累积滞后效应日分别为Lag1〔ER=1.256%,95%CI(0.470%,2.043%)〕、Lag5〔ER=1.573%,95%CI(0.952%,2.196%)〕、Lag6〔ER=6.085%,95%CI(4.489%,7.685%)〕、Lag5〔ER=0.744%,95%CI(0.289%,1.201%)〕、Lag7〔ER=6.415%,95%CI(4.597%,8.460%) $P<0.05$ 〕。高温(30℃)对儿童支气管肺炎住院人次的最强单日滞后效应日为Lag1〔比值比(OR)=0.796,95%CI(0.755,0.840) $P<0.05$ 〕。相对低温( $\leq 20$ ℃)条件下,高浓度CO、O<sub>3</sub>对儿童支气管肺炎住院人次有明显影响( $P<0.05$ )；相对高温( $>20$ ℃)条件下,高浓度PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>对儿童支气管肺炎住院人次有明显影响( $P<0.05$ )。结论 空气污染物(PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO)浓度和气温对南宁市儿童支气管肺炎住院人次均有滞后效应,不同空气污染物的最大滞后效应时间不同,但总体上其上升可导致儿童支气管肺炎住院人次增加;高温(30℃)可减少儿童支气管肺炎住院人次,且高浓度空气污染物和气温对儿童支气管肺炎住院人次的影响存在交互作用。

**【关键词】** 支气管肺炎; 儿童; 空气污染物; 气温; 住院人次; 南宁市; 时间序列研究**【中图分类号】** R 563.12 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2023.00.239

**Impact of Air Pollutants and Temperature on the Number of Hospitalized Children with Bronchopneumonia in Nanning: a Time-Series Study Based on Data from 2015 to 2022** PANG Zhidong, YAN Yunying, HUANG Shuwen, TANG Yanlin, LI Mei, QUE Yuchen

Department of Pediatrics, Nanning Maternal and Child Health Hospital, Nanning 530011, China

Corresponding author: YAN Yunying, E-mail: 942057940@qq.com

**【Abstract】 Objective** To analyze the impact of air pollutants and temperature on the number of hospitalized children with bronchopneumonia in Nanning. **Methods** The medical records of children with bronchopneumonia admitted to Nanning Maternal and Child Health Hospital from 2015 to 2022 were obtained through the hospital electronic information management system, and the number of hospitalized children with bronchopneumonia each year was counted. The daily air quality monitoring data of Nanning from 2015 to 2022 were derived from Nanning Environmental Monitoring Station, and the concentration of air pollutants was counted. The daily meteorological monitoring data of Nanning from 2015 to 2022 were derived from the Nanning

基金项目: 广西壮族自治区卫生健康委员会自筹经费科研课题(Z20211403)

作者单位: 530011广西壮族自治区南宁市妇幼保健院儿科

通信作者: 颜云盈, E-mail: 942057940@qq.com

Meteorological Bureau, and the meteorological factors (daily average air temperature and daily average relative humidity) were counted. Spearman rank correlation analysis was used to analyze the correlation between air pollutants concentration and air temperature. Generalized additive model (GAM) was used to analyze the effect of air pollutants concentration at different time [on the day of hospitalization (Lag0) and lag 1–7 d (Lag1–7)] on the number of hospitalized children with bronchopneumonia. Distributed lag non-linear model (DLNM) was used to analyze the effect of air temperature at different time on the number of hospitalized children with bronchopneumonia. Bivariate response surface model was used to analyze the effect of the interaction between air pollutants concentration and air temperature on the number of hospitalized children with bronchopneumonia. **Results**

Spearman rank correlation analysis showed that the air temperature was negatively correlated with the concentrations of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , nitrogen dioxide ( $NO_2$ ) and carbon monoxide (CO), and positively correlated with the concentrations of sulfur dioxide ( $SO_2$ ) and ozone ( $O_3$ ) ( $P < 0.05$ ). The strongest single-day lag effect day of concentrations of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO and  $O_3$  on the number of hospitalized children with bronchopneumonia was Lag1 [excess risk (ER) = 1.244%, 95%CI (0.515%, 1.973%)], Lag1 [ER = 1.354%, 95%CI (0.878%, 1.831%)], Lag1 [ER = 5.043%, 95%CI (3.826%, 6.260%)], Lag3 [ER = 0.640%, 95%CI (0.287%, 0.994%)], Lag0 [ER = 4.207%, 95%CI (3.047%, 5.470%)], Lag7 [ER = -0.076%, 95%CI (-0.123%, -0.029%)], respectively ( $P < 0.05$ ). The strongest cumulative lag effect days of concentrations of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  and CO on the number of hospitalized children with bronchopneumonia were Lag1 [ER = 1.256%, 95%CI (0.470%, 2.043%)], Lag5 [ER = 1.573%, 95%CI (0.952%, 2.196%)], Lag6 [ER = 6.085%, 95%CI (4.489%, 7.685%)], Lag5 [ER = 0.744%, 95%CI (0.289%, 1.201%)], Lag7 [ER = 6.415%, 95%CI (4.597%, 8.460%)], respectively ( $P < 0.05$ ). The strongest single-day lag effect day of high air temperature (30 °C) on the number of hospitalized children with bronchopneumonia was Lag1 [odds ratio (OR) = 0.796, 95%CI (0.755, 0.840),  $P < 0.05$ ]. Under the condition of relatively low air temperature ( $\leq 20$  °C), high concentration of CO and  $O_3$  had a significant effect on the number of hospitalized children with bronchopneumonia ( $P < 0.05$ ). Under the condition of relatively high air temperature ( $> 20$  °C), high concentration of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ , CO and  $O_3$  had a significant effect on the number of hospitalized children with bronchopneumonia ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** The concentration of air pollutants ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO) and air temperature have a lag effect on the number of hospitalized children with bronchopneumonia in Nanning. The maximum lag effect time of different air pollutants is different, but the overall increase of them can lead to an increase in the number of hospitalized children with bronchopneumonia. High air temperature (30 °C) can reduce the number of hospitalized children with bronchopneumonia, and there is an interaction between high concentration of air pollutants and air temperature on the number of hospitalized children with bronchopneumonia.

**【Key words】** Bronchopneumonia; Child; Air pollutants; Air temperature; Number of inpatients; Nanning; Time-series study

支气管肺炎是儿童尤其是婴幼儿常见的肺部感染性疾病,是儿童住院的常见原因<sup>[1]</sup>。在全球范围内,包括支气管肺炎在内的下呼吸道感染性疾病是儿童死亡率居高不下的原因之一;尽管各国对于儿童支气管肺炎均采取了积极的防治措施并取得了一定成效,但其发病率和死亡率始终居高不下<sup>[2]</sup>。研究表明,发展中国家儿童支气管肺炎的患病率和死亡率远高于发达国家<sup>[3]</sup>。在中国,儿童支气管肺炎住院人数在儿童住院总人数中占比较大,为24.5%~65.2%,且患儿平均住院时间为7.4 d<sup>[4-6]</sup>。

已有研究发现,儿童呼吸系统相关疾病的发生与复发与气温、空气质量关系密切<sup>[7]</sup>。儿童呼吸系统尚未发育完全,机体免疫力低下,对周围环境更敏感,易受到大气污染物和气象条件变化的影响,从而引发呼吸系统疾病<sup>[8]</sup>。目前,儿童支气管肺炎相关研究较少从时间角度分析空气污染物和气温与儿童支气管肺炎的联系。因此,有必要按照时间序列开展空气污染物与气温对儿童支气管肺炎住院人次影响的研究。本研究基于2015—2022年南宁市的空气污染物、气象条件和南宁市

妇幼保健院儿科支气管肺炎住院人次等相关数据,采用广义相加模型(generalized additive model, GAM)、分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)和双变量响应面模型分析空气污染物、气温对南宁市儿童支气管肺炎住院人次的影响,以期为研究儿童呼吸健康影响因素提供新证据,也为政府制定控制空气污染、改善空气质量的政策提供依据。

## 1 资料与方法

1.1 资料来源 通过医院电子信息系统获取2015—2022年南宁市妇幼保健院收治的支气管肺炎患儿的病案资料,统计每年儿童支气管肺炎住院人次。本研究已通过南宁市妇幼保健院医学伦理委员会免除伦理审查申请。

南宁市2015—2022年逐日空气质量监测数据来源于南宁市环境监测站,统计日平均空气污染物〔包括 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、二氧化氮(nitrogen dioxide,  $NO_2$ )、二氧化硫(sulfur dioxide,  $SO_2$ )、一氧化碳(carbon monoxide, CO)和臭氧(ozone,  $O_3$ )〕浓度。南宁市2015—2022年逐日气象监测数据来源于南宁市气象局,

统计气象因素,包括日平均气温和日平均相对湿度。

**1.2 统计学方法** 采用SPSS 24.0软件进行基本统计分析,儿童支气管肺炎住院人次、空气污染物浓度、气象因素均为计量资料且不符合正态分布,以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。空气污染物浓度与气温间的相关性分析采用Spearman秩相关分析。采用R 4.1.2软件中的“dlm”和“mgcv”程序包进行GAM、DLNM、双变量响应面模型分析,具体步骤如下:(1)在控制长期时间趋势、星期几效应(day of week, DOW)、节假日效应及气温的基础上,采用GAM分析不同时间〔住院当天(Lag0)及滞后1~7 d(Lag1~7)〕空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的影响(滞后效应)〔用超额危险度(excess risk, ER)值及其95%CI表示〕,以ER值最大时为空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的最强滞后效应日,采用Z检验分析结果是否存在统计学差异。GAM公式为: $\log[E(Y_t)] = \alpha + s(\text{Timet}, df1) + s(\text{Rht}, df2) + s(\text{temperaturet}, df3) + \text{DOWt} + \text{Holodayt}$ 。其中 $E(Y_t)$ 为第t日儿童支气管肺炎住院人次的期望值, $\alpha$ 为截距, $s()$ 代表光滑样条函数,Timet为日期,df1为控制长期趋势的自由度,Rht为第t日相对湿度,temperaturet为第t日气温,df2和df3分别为控制相对湿度和气温的自由度;DOWt为DOW;Holodayt为节假日效应。光滑样条函数自由度(df)的确定方法:当自由度取值高于某一值且比值(odds ratio, OR)不再改变时,这时的自由度为有效自由度,将自动作为各变量的初始自由度。由于空气污染物对儿童健康的影响存在一定滞后效应和累积效应,需要计算空气污染物的单日滞后效应和累积滞后效应。

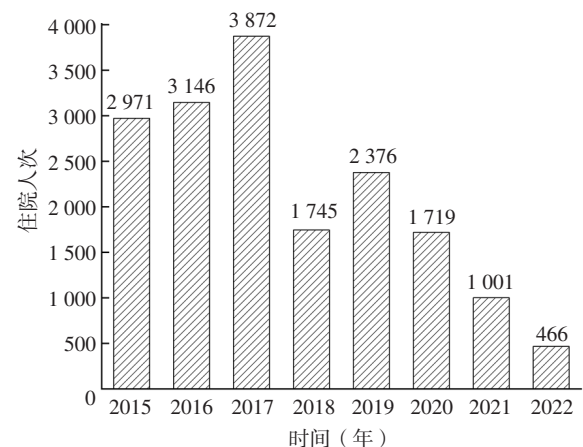
(2)采用DLNM分析不同时间气温对儿童支气管肺炎住院人次的影响(滞后效应)(用OR值及其95%CI表示),以气温中位数(20℃)为参考,以OR值最大时为气温〔低温(4℃)、高温(30℃)〕对儿童支气管肺炎住院人次的最强滞后效应日,采用Z检验分析结果是否存在统计学差异。DLNM公式为: $\log[E(Y_t)] = \alpha + \beta \times T_t + l \times \text{pollutant} + \text{covs}$ 。其中 $\alpha$ 为截距, $\beta$ 是 $T_t$ 气温的回归系数, $T_t$ 为第t日气温,l为最大滞后天数,pollutant为观察日当天空气污染物浓度,covs为协变量。(3)采用双变量响应面模型分析空气污染物浓度和气温的交互作用对儿童支气管肺炎住院人次的影响,绘制三维空间图,并对空气污染物(以中位数为界)和气温(以20℃为界)进行分层以定量分析不同气温条件下空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的影响。双侧检验水准 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

**2.1 儿童支气管肺炎住院人次、空气污染物浓度、气象因素** 2015—2022年南宁市妇幼保健院收治的支

气管肺炎患儿共17 296人次(见图1),日平均住院人次为6(2,9);2015—2022年南宁市 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、CO、 $\text{O}_3$ 日平均浓度分别为26.00(17.00, 40.25)、46.00(32.00, 68.00)、9.00(1.00, 25.00)、9.00(1.30, 19.00)、0.80(0.09, 1.90)、74.00(52.00, 99.00) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;2015—2022年南宁市日平均气温为24.50(18.00, 28.50)℃,日平均相对湿度为75.00%(67.00%, 84.00%)。

**2.2 空气污染物浓度与气温间的相关性** Spearman秩相关分析结果显示, $\text{PM}_{10}$ 浓度与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈正相关( $P<0.05$ ); $\text{NO}_2$ 浓度与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 浓度呈正相关( $P<0.05$ ); $\text{SO}_2$ 浓度与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 浓度呈正相关,与 $\text{NO}_2$ 浓度呈负相关( $P<0.05$ );CO浓度与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 浓度呈正相关,与 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 浓度呈负相关( $P<0.05$ ); $\text{O}_3$ 浓度与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{SO}_2$ 浓度呈正相关( $P<0.05$ ),与 $\text{NO}_2$ 、CO浓度无直线相关关系( $P>0.05$ );气温与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$ 、CO浓度呈负相关,与 $\text{SO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 浓度呈正相关( $P<0.05$ ),见表1。



**图1** 2015—2022年南宁市妇幼保健院儿童支气管肺炎住院人次  
**Figure 1** The number of hospitalized children with bronchopneumonia in Nanning Maternal and Child Health Hospital from 2015 to 2022

**表1** 2015—2022年南宁市空气污染物浓度与日平均气温间的相关性( $r_s$ 值)  
**Table 1** Correlation between air pollutant concentration and daily mean air temperature in Nanning from 2015 to 2022

指标	$\text{PM}_{2.5}$ 日平均浓度	$\text{PM}_{10}$ 日平均浓度	$\text{NO}_2$ 日平均浓度	$\text{SO}_2$ 日平均浓度	CO日平均浓度	$\text{O}_3$ 日平均浓度	日平均气温
$\text{PM}_{2.5}$ 日平均浓度	1.000	-	-	-	-	-	-
$\text{PM}_{10}$ 日平均浓度	0.956 <sup>a</sup>	1.000	-	-	-	-	-
$\text{NO}_2$ 日平均浓度	0.291 <sup>a</sup>	0.264 <sup>a</sup>	1.000	-	-	-	-
$\text{SO}_2$ 日平均浓度	0.139 <sup>a</sup>	0.169 <sup>a</sup>	-0.406 <sup>a</sup>	1.000	-	-	-
CO日平均浓度	0.320 <sup>a</sup>	0.305 <sup>a</sup>	-0.350 <sup>a</sup>	-0.258 <sup>a</sup>	1.000	-	-
$\text{O}_3$ 日平均浓度	0.368 <sup>a</sup>	0.451 <sup>a</sup>	-0.018	0.177 <sup>a</sup>	0.005	1.000	-
日平均气温	-0.290 <sup>a</sup>	-0.169 <sup>a</sup>	-0.250 <sup>a</sup>	0.104 <sup>a</sup>	-0.236 <sup>a</sup>	0.415 <sup>a</sup>	1.000

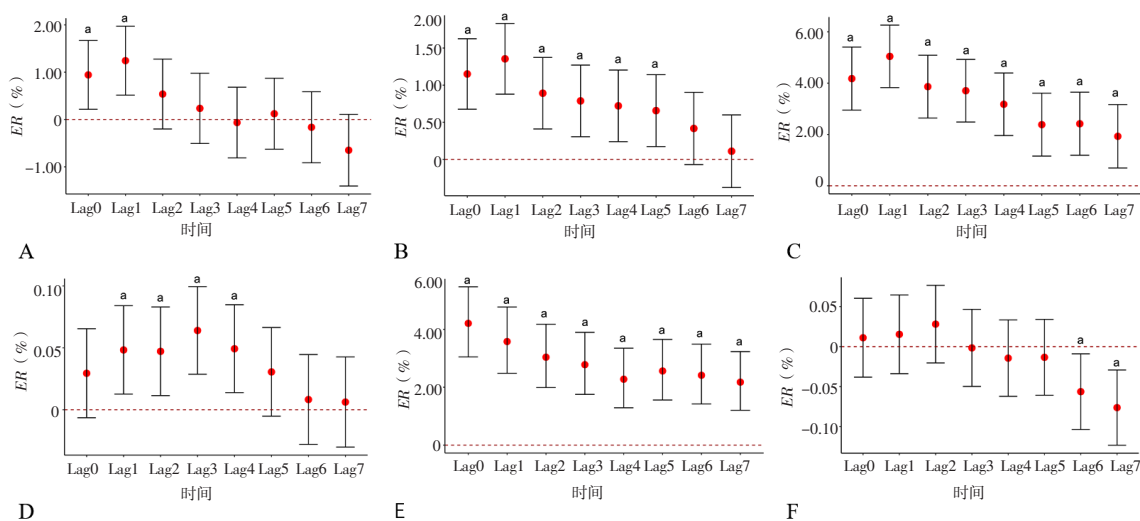
注:<sup>a</sup>表示 $P<0.05$ ; -表示重复数据,不再展示; $\text{NO}_2$ =二氧化氮, $\text{SO}_2$ =二氧化硫,CO=一氧化碳, $\text{O}_3$ =臭氧



2.3 空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的单日滞后效应 Lag0、Lag1时, PM<sub>2.5</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应(*Z*值分别为2.542、3.348, *P*值分别为0.011、 $<0.001$ ), 且Lag1为最强单日滞后效应日〔*ER*=1.244%, 95%*CI*(0.515%, 1.973%)〕; Lag2~Lag7时, PM<sub>2.5</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在单日滞后效应(*Z*值分别为1.427、0.622、-0.169、0.319、-0.428、-1.682, *P*值分别为0.154、0.534、0.866、0.750、0.669、0.093), 见图2A。Lag0~Lag5时, PM<sub>10</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应(*Z*值分别为4.748、5.576、3.623、3.198、2.927、2.655, *P*值分别为 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、0.001、0.003、0.008), 且Lag1为最强单日滞后效应日〔*ER*=1.354%, 95%*CI*(0.878%, 1.831%)〕; Lag6、Lag7时, PM<sub>10</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在单日滞后效应(*Z*值分别为1.677、0.437, *P*值分别为0.093、0.662), 见图2B。Lag0~Lag7时, NO<sub>2</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应(*Z*值分别为6.680、8.142、6.200、5.966、5.114、3.814、3.861、3.061, *P*值分别为 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、 $<0.001$ 、0.002), 且Lag1为最强单日滞后效应日〔*ER*=5.043%, 95%*CI*(3.826%, 6.260%)〕, 见图2C。Lag0、Lag5~Lag7时, SO<sub>2</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在单日滞后效应(*Z*值分别为1.608、1.674、0.445、0.334, *P*值分别为0.108、0.094、0.656、0.738); Lag1~Lag4时, SO<sub>2</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应(*Z*值分别为2.658、2.589、3.558、2.727, *P*值分别为0.008、0.010、 $<0.001$ 、

0.006), 且Lag3为最强单日滞后效应日〔*ER*=0.640%, 95%*CI*(0.287%, 0.994%)〕, 见图2D。Lag0~Lag7时, CO浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应(*Z*值分别为8.083、7.118、6.211、5.738、4.800、5.370、5.095、4.635, *P*值均 $<0.001$ ), 且Lag0为最强单日滞后效应日〔*ER*=4.207%, 95%*CI*(3.047%, 5.470%)〕, 见图2E。Lag0~Lag5时, O<sub>3</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在单日滞后效应(*Z*值分别为0.440、0.612、1.134、-0.066、-0.592、-0.554, *P*值分别为0.660、0.541、0.257、0.947、0.554、0.580); Lag6、Lag7时, O<sub>3</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应(*Z*值分别为-2.333、-3.179, *P*值分别为0.020、0.001), 且Lag7为最强单日滞后效应日〔*ER*=-0.076%, 95%*CI*(-0.123%, -0.029%)〕, 见图2F。

2.4 空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的累积滞后效应 Lag0~Lag4时, PM<sub>2.5</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应(*Z*值分别为2.517、3.132、2.762、2.347、1.979, *P*值分别为0.012、0.002、0.006、0.019、0.048), 且Lag1为最强累积滞后效应日〔*ER*=1.256%, 95%*CI*(0.470%, 2.043%)〕; Lag5~Lag7时, PM<sub>2.5</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在累积滞后效应(*Z*值分别为1.810、1.540、1.067, *P*值分别为0.070、0.123、0.286)。Lag0~Lag7时, PM<sub>10</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应(*Z*值分别为4.731、5.479、5.234、5.076、5.045、4.962、4.771、4.362, *P*值均 $<0.001$ ), 且Lag5为最强累积滞后效应日〔*ER*=1.573%, 95%*CI*(0.952%, 2.196%)〕。Lag0~Lag7时, NO<sub>2</sub>浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应(*Z*值分别为



注: *ER*=超额危险度, Lag0=住院当天, Lag1~7=滞后1~7 d, A~F分别表示PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、一氧化碳(CO)、臭氧(O<sub>3</sub>)浓度对儿童支气管肺炎住院人次的单日滞后效应; \*表示 $P<0.05$

图2 空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的单日滞后效应

Figure 2 Single lag effect of air pollutant concentration on the number of hospitalized children with bronchopneumonia

6.640、7.849、7.848、7.916、7.887、7.616、7.487、7.216,  $P$ 值均 $<0.001$ ), 且Lag6为最强累积滞后效应日〔 $ER=6.085\%$ ,  $95\%CI$  (4.489%, 7.685%)〕。Lag0时,  $SO_2$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在累积滞后效应 ( $Z=1.614$ ,  $P=0.107$ ); Lag1~Lag7时,  $SO_2$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应 ( $Z$ 值分别为2.256、2.546、3.049、3.305、3.210、2.945、2.704,  $P$ 值分别为0.024、0.011、0.002、 $<0.001$ 、0.001、0.003、0.007), 且Lag5为最强累积滞后效应日〔 $ER=0.744\%$ ,  $95\%CI$  (0.289%, 1.201%)〕。Lag0~Lag7时,  $CO$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应 ( $Z$ 值分别为8.055、8.172、8.154、8.164、8.090、8.190、8.272、8.274,  $P$ 值均 $<0.001$ ), 且Lag7为最强累积滞后效应日〔 $ER=6.415\%$ ,  $95\%CI$  (4.597%, 8.460%)〕。Lag0~Lag7时,  $O_3$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在累积滞后效应 ( $Z$ 值分别为0.459、0.550、0.805、0.598、0.347、0.177、-0.297、-0.880,  $P$ 值分别为0.646、0.583、0.421、0.550、0.728、0.859、0.766、0.379), 见表2。

2.5 日平均气温对儿童支气管肺炎住院人次的单日滞后效应 Lag0~Lag7时, 低温 (4℃) 对儿童支气管肺炎住院人次不存在单日滞后效应 ( $P>0.05$ );

Lag0~Lag7时, 高温 (30℃) 对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag1为最强单日滞后效应〔 $OR=0.796$ ,  $95\%CI$  (0.755, 0.840),  $P<0.05$ 〕, 见表3。

2.6 空气污染物浓度与日平均气温的交互作用对儿童支气管肺炎住院人次的影响 双变量响应面模型分析结果显示, 高温 (30℃) 与高浓度 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $CO$ 共存的情况下, 儿童支气管肺炎住院人次达到最大; 低温 (4℃) 与高浓度 $NO_2$ 共存及高温 (30℃) 与高浓度 $NO_2$ 共存的情况下, 儿童支气管肺炎住院人次均达到最大; 低温 (4℃) 与低浓度 $O_3$ 共存的情况下儿童支气管肺炎住院人次达到最大, 见图3。将日平均气温分为相对低温 ( $\leq 20^\circ C$ ) 和相对高温 ( $> 20^\circ C$ ), 空气污染物浓度分为低浓度 ( $\leq$ 中位数) 和高浓度 ( $>$ 中位数), 继而分析不同日平均气温条件下不同浓度空气污染物对儿童支气管肺炎住院人次的影响, 结果显示, 相对低温条件下, 低浓度 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、 $CO$ 、 $O_3$ 及高浓度 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 对儿童支气管肺炎住院人次均无明显影响 ( $P>0.05$ ); 相对低温条件下, 高浓度 $CO$ 、 $O_3$ 对儿童支气管肺炎住院人次有明显影响 ( $P<0.05$ ); 相对高温条件下, 低浓度 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、 $CO$ 、 $O_3$ 及高浓度 $SO_2$ 对儿童支气管肺炎住院

表2 空气污染物浓度对儿童支气管肺炎住院人次的累积滞后效应〔 $ER$  (95% $CI$ ) , %〕

Table 2 Cumulative lag effect of air pollutant concentration on the number of hospitalized children with bronchopneumonia

时间	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$NO_2$	$SO_2$	$CO$	$O_3$
Lag0	0.934 (0.206, 1.661) <sup>a</sup>	1.146 (0.671, 1.621) <sup>a</sup>	4.152 (2.925, 5.381) <sup>a</sup>	0.296 (-0.063, 0.656)	4.189 (3.031, 5.449) <sup>a</sup>	0.012 (-0.038, 0.061)
Lag1	1.256 (0.470, 2.043) <sup>a</sup>	1.419 (0.911, 1.927) <sup>a</sup>	5.178 (3.882, 6.475) <sup>a</sup>	0.438 (0.057, 0.820) <sup>a</sup>	4.625 (3.350, 6.021) <sup>a</sup>	0.015 (-0.038, 0.068)
Lag2	1.184 (0.344, 2.025) <sup>a</sup>	1.440 (0.901, 1.980) <sup>a</sup>	5.448 (4.085, 6.814) <sup>a</sup>	0.523 (0.120, 0.927) <sup>a</sup>	4.940 (3.566, 6.454) <sup>a</sup>	0.023 (-0.033, 0.080)
Lag3	1.066 (0.176, 1.957) <sup>a</sup>	1.474 (0.904, 2.043) <sup>a</sup>	5.747 (4.321, 7.175) <sup>a</sup>	0.656 (0.234, 1.080) <sup>a</sup>	5.272 (3.796, 6.907) <sup>a</sup>	0.018 (-0.041, 0.078)
Lag4	0.945 (0.009, 1.882) <sup>a</sup>	1.535 (0.938, 2.131) <sup>a</sup>	5.961 (4.476, 7.447) <sup>a</sup>	0.739 (0.300, 1.181) <sup>a</sup>	5.511 (3.946, 7.251) <sup>a</sup>	0.011 (-0.051, 0.073)
Lag5	0.902 (-0.075, 1.880)	1.573 (0.952, 2.196) <sup>a</sup>	5.979 (4.437, 7.523) <sup>a</sup>	0.744 (0.289, 1.201) <sup>a</sup>	5.859 (4.202, 7.709) <sup>a</sup>	0.006 (-0.058, 0.070)
Lag6	0.799 (-0.217, 1.816)	1.572 (0.926, 2.218) <sup>a</sup>	6.085 (4.489, 7.685) <sup>a</sup>	0.705 (0.235, 1.176) <sup>a</sup>	6.178 (4.435, 8.131) <sup>a</sup>	-0.010 (-0.076, 0.056)
Lag7	0.575 (-0.481, 1.632)	1.494 (0.822, 2.165) <sup>a</sup>	6.067 (4.415, 7.721) <sup>a</sup>	0.666 (0.183, 1.152) <sup>a</sup>	6.415 (4.597, 8.460) <sup>a</sup>	-0.031 (-0.098, 0.037)

注: <sup>a</sup>表示 $P<0.05$

表3 不同时间日平均气温对儿童支气管肺炎住院人次的单日滞后效应

Table 3 Single day lag effect of daily mean air temperature at different times on the number of hospitalized children with bronchopneumonia

时间	低温 (4℃)			高温 (30℃)		
	$OR$ (95% $CI$ )	$Z$ 值	$P$ 值	$OR$ (95% $CI$ )	$Z$ 值	$P$ 值
Lag0	0.985 (0.817, 1.187)	-0.158	0.875	0.767 (0.721, 0.816)	-7.403	$<0.001$
Lag1	1.029 (0.894, 1.185)	0.403	0.687	0.796 (0.755, 0.840)	-7.544	$<0.001$
Lag2	1.032 (0.892, 1.195)	0.428	0.669	0.791 (0.750, 0.836)	-7.524	$<0.001$
Lag3	1.008 (0.863, 1.178)	0.101	0.920	0.782 (0.739, 0.827)	-7.643	$<0.001$
Lag4	1.004 (0.853, 1.182)	0.048	0.962	0.778 (0.735, 0.824)	-7.583	$<0.001$
Lag5	1.023 (0.863, 1.213)	0.265	0.791	0.782 (0.737, 0.829)	-7.302	$<0.001$
Lag6	1.000 (0.838, 1.192)	0.000	1.000	0.775 (0.730, 0.823)	-7.387	$<0.001$
Lag7	1.001 (0.835, 1.200)	0.011	0.991	0.772 (0.726, 0.820)	-7.378	$<0.001$

注: 以日平均气温中位数 (20℃) 为参考;  $OR$ =比值比

人次均无明显影响 ( $P>0.05$ ) ; 相对高温条件下, 高浓度PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>对儿童支气管肺炎住院人次有明显影响 ( $P<0.05$ ) , 见表4。

3 讨论

儿童支气管肺炎的影响因素较多, 除了疾病和患儿自身因素外, 空气污染物和气温也对疾病的发生和发展有极大影响<sup>[7-8]</sup>。从时间序列上探究空气污染物和气温对南宁市儿童支气管肺炎住院人次的影响, 可在一定程度上为南宁市儿童支气管肺炎的防控提供决策支持。

本研究结果显示, 2015—2022年南宁市妇幼保健院收治的支气管肺炎患儿共17 296人次, 日平均住院人次

为6 (2, 9) 。COHEN等<sup>[9]</sup>研究显示, 2009—2012年南非因呼吸道感染住院的5岁以下儿童共8 723人次, 日平均住院人次约为6, 本研究结果与之相似。另一项国内研究显示, 1997—2017年北方某医院共收治支气管肺炎患儿33 025人次, 年平均住院人次约为1 573, 日平均住院人次约为4<sup>[10]</sup>。不同地区日平均住院人次存在一定差异, 原因可能与不同地区发展程度、医疗条件、研究样本量以及研究年限等不同相关。

空气污染物浓度升高导致呼吸系统门诊就诊人数增加已经被国内外研究证实, 但其引起的滞后效应强弱在不同地区存在差异<sup>[9-10]</sup>。本研究结果显示, Lag0、

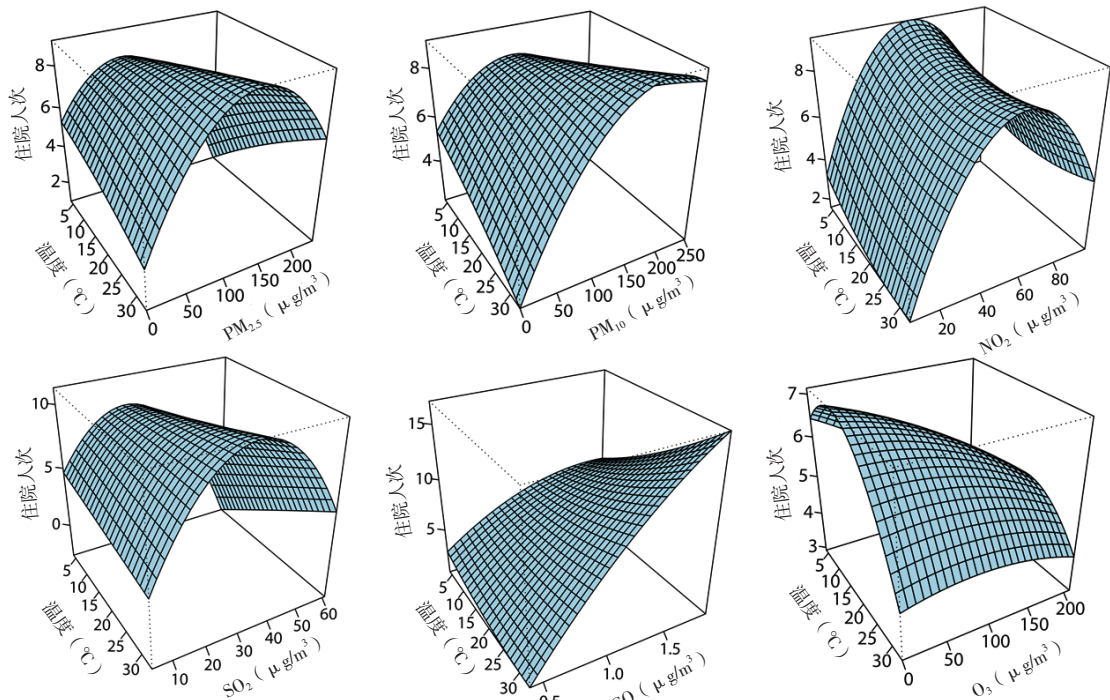


图3 空气污染物浓度与日平均气温的交互作用对儿童支气管肺炎住院人次影响的双变量响应面模型三维空间图

Figure 3 Three-dimensional response surface diagram of the effect of interaction between air pollutant concentration and daily mean air temperature on the number of hospitalized children with bronchopneumonia

表4 不同日平均气温条件下不同浓度空气污染物对儿童支气管肺炎住院人次的影响〔ER (95%CI) , %〕

Table 4 Effect of different concentrations of air pollutants on the number of hospitalized children with bronchopneumonia under different daily mean temperature conditions

日平均气温	PM <sub>2.5</sub>		PM <sub>10</sub>		NO <sub>2</sub>	
	低浓度 (≤26.00 μg/m <sup>3</sup> )	高浓度 (>26.00 μg/m <sup>3</sup> )	低浓度 (≤46.00 μg/m <sup>3</sup> )	高浓度 (>46.00 μg/m <sup>3</sup> )	低浓度 (≤9.00 μg/m <sup>3</sup> )	高浓度 (>9.00 μg/m <sup>3</sup> )
相对低温 (≤20 °C)	-0.071 (-1.883, 1.774)	-0.078 (-0.621, 0.464)	0.394 (-0.666, 1.464)	2.376 (-0.411, 4.600)	-2.189 (-4.556, 0.244)	0.409 (-0.556, 1.356)
相对高温 (>20 °C)	0.516 (-0.234, 1.279)	3.414 (1.456, 5.392) <sup>a</sup>	0.064 (-0.332, 4.558)	1.980 (0.794, 3.193) <sup>a</sup>	0.381 (-0.903, 1.680)	2.513 (0.534, 4.543) <sup>a</sup>
日平均气温	SO <sub>2</sub>		CO		O <sub>3</sub>	
	低浓度 (≤9.00 μg/m <sup>3</sup> )	高浓度 (>9.00 μg/m <sup>3</sup> )	低浓度 (≤0.80 μg/m <sup>3</sup> )	高浓度 (>0.80 μg/m <sup>3</sup> )	低浓度 (≤74.00 μg/m <sup>3</sup> )	高浓度 (>74.00 μg/m <sup>3</sup> )
相对低温 (≤20 °C)	3.632 (-5.234, 13.324)	1.809 (-2.978, 3.442)	-0.554 (-0.893, 0.828)	0.932 (0.194, 2.134) <sup>a</sup>	0.313 (-0.189, 0.813)	-0.943 (-1.742, -0.128) <sup>a</sup>
相对高温 (>20 °C)	0.950 (-2.312, 4.321)	4.922 (-1.941, 12.264)	0.671 (-0.383, 3.544)	4.874 (1.732, 11.628) <sup>a</sup>	0.310 (-0.030, 0.654)	-1.610 (-2.567, -0.628) <sup>a</sup>

注: <sup>a</sup>表示 $P<0.05$



Lag1时,  $PM_{2.5}$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag1为最强单日滞后效应日; Lag0~Lag5时,  $PM_{10}$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag1为最强单日滞后效应日; 提示 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次的单日滞后效应相似, 这可能与二者大多来源于燃烧、垃圾焚烧或者工业排放, 且主要以球形颗粒态和聚集态的形式存在, 在一定状态下可以互相转化有关<sup>[11]</sup>。本研究结果还显示, Lag0~Lag4时,  $PM_{2.5}$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应, 且Lag1为最强累积滞后效应日; Lag0~Lag7时,  $PM_{10}$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应, 且Lag5为最强累积滞后效应日; 提示 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 对儿童支气管肺炎住院人次的影响并非即时的, 颗粒物进入儿童呼吸系统后引起炎症需要一定时间<sup>[7]</sup>。一项在山西临汾开展的研究发现,  $PM_{10}$ 每增加 $10 \mu g/m^3$ , 5岁以下儿童呼吸系统疾病日住院人次增加2.03%<sup>[12]</sup>。本研究结果显示, Lag0~Lag7时,  $NO_2$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag1为最强单日滞后效应日; Lag0~Lag7时,  $NO_2$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应, 且Lag6为最强累积滞后效应日; 这与在南昌、佛山地区开展的研究结果<sup>[13-14]</sup>类似, 表明我国不同地区 $NO_2$ 浓度对呼吸系统疾病的影响相似。国外一项研究表明,  $NO_2$ 暴露与呼吸道症状、肺功能参数下降存在微弱关联, 累积滞后0~2 d时 $NO_2$ 的ER值开始下降<sup>[15]</sup>, 本研究中 $NO_2$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次的滞后效应持续时间长于SCHWELA<sup>[15]</sup>的研究结果, 这可能与样本量、地理环境差异及 $NO_2$ 污染状况不同有关。本研究结果显示, Lag1~Lag4时,  $SO_2$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag3为最强单日滞后效应日; Lag1~Lag7时,  $SO_2$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应, 且Lag5为最强累积滞后效应日; 与周璐等<sup>[16]</sup>、殷丽刚等<sup>[17]</sup>研究结果相似。本研究结果显示, Lag0~Lag7时, CO浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag0为最强单日滞后效应日, 表明CO浓度升高可以在同日内迅速增加儿童支气管肺炎住院风险; Lag0~Lag7时, CO浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在累积滞后效应, 且Lag7为最强累积滞后效应日; 表明CO浓度对儿童支气管肺炎住院人次的影响具有累积性, 长时间暴露会产生更大的危害, 这与李龙燕等<sup>[18]</sup>、史亚妮<sup>[19]</sup>报道的CO浓度升高会增加儿童呼吸系统疾病就诊人次和住院风险的结论相似。本研究结果还显示, Lag6、Lag7时,  $O_3$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag7为最强单日滞后效应日; Lag0~Lag7时,  $O_3$ 浓度对儿童支气管肺炎住院人次不存在累积滞后效应。南昌地区的研究结果显示,

2016—2020年 $O_3$ 浓度在各滞后期对儿童呼吸系统疾病无影响<sup>[14]</sup>, 本研究与之相似。

研究表明, 高温可以抑制呼吸道病原体的繁殖, 减少呼吸系统感染, 并能增强人体免疫功能, 从而降低呼吸系统疾病发生风险<sup>[20]</sup>。理论上, 儿童支气管肺炎对低温更敏感, 大多数病原体在较低的气温下具有更长的生存时间, 且气温下降可导致机体分泌功能降低, 从而削弱机体的物理保护屏障, 降低免疫功能, 增加呼吸系统感染风险<sup>[21]</sup>。而本研究结果显示, Lag0~Lag7时, 低温(4℃)对儿童支气管肺炎住院人次不存在单日滞后效应; Lag0~Lag7时, 高温(30℃)对儿童支气管肺炎住院人次存在单日滞后效应, 且Lag1为最强单日滞后效应日, 提示高温(30℃)可减少儿童支气管肺炎住院人次。南宁市属于亚热带季风气候, 冬季平均气温较高, 绝对低温日较少<sup>[22]</sup>, 这可能导致本研究未能发现低温与儿童支气管肺炎住院风险之间的关联, 但仍需警惕并关注低温对儿童支气管肺炎住院人次的影响, 且还需要进一步扩大样本量以定量评估二者之间的关系。

在实际生活环境中, 气温常与污染物浓度相互影响。本研究双变量响应面模型分析结果显示, 相对高温条件下, 高浓度 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 能明显增加儿童支气管肺炎住院人次, 结合上述气温对儿童支气管肺炎住院人次的影响, 推测高温条件下高浓度 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 增加儿童支气管肺炎住院人次主要是污染物浓度升高所致; 无论是相对低温条件下还是相对高温条件下, 低浓度及高浓度 $SO_2$ 均对儿童支气管肺炎住院人次无明显影响, 分析原因可能为 $SO_2$ 污染具有较强的局地性, 监测站点代表性有限, 未能有效捕捉儿童接触 $SO_2$ 的真实浓度; 相对低温及高温条件下, 高浓度CO、 $O_3$ 对儿童支气管肺炎住院人次有明显影响。成都的一项研究表明, 高温与高浓度 $PM_{2.5}$ 、 $O_3$ 对呼吸系统疾病死亡人数的影响存在协同增强效应, 该研究指出, 在高浓度空气污染物与高温共存的条件下, 二者的交互作用对人群健康的影响最大; 且高温条件下空气污染物对人群健康的影响大于低温条件下<sup>[23]</sup>。另一项在天津开展的研究发现, 低温条件下 $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$ 浓度对人群健康的影响较大, 高温条件下 $O_3$ 浓度对人群健康的影响较小<sup>[24]</sup>, 本研究结果与之存在差异, 可能与不同地区环境特征、研究人群组成的差异有关。

本研究尚存在一定局限性: 首先, 本研究以气象局和环境监测站所监测的平均值作为统计数据, 而未能获取儿童接触空气污染物的实际浓度, 可能存在一定偏倚; 其次, 由于收集的患儿缺少完整的年龄资料, 因此未能对年龄进行分层分析; 最后, 未排除流感等混杂因素的影响, 故研究结果有待进一步验证。

综上所述, 空气污染物( $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、

CO)浓度和气温对南宁市儿童支气管肺炎住院人次均有滞后效应,不同空气污染物的最大滞后效应时间不同,但总体上其上升可导致儿童支气管肺炎住院人次增加;高温(30℃)可减少儿童支气管肺炎住院人次,且高浓度空气污染物和气温对儿童支气管肺炎住院人次的影响存在交互作用,但空气污染物浓度升高是儿童支气管肺炎住院人次增加的主导因素。建议儿童等易感人群在污染天气和低温(4℃)时做好充足防护,以降低空气污染物和气温变化对健康造成的影响。

作者贡献:庞智东进行文章的构思与设计、研究的实施与可行性分析,撰写论文;唐盐林、厥宇晨进行数据收集、整理;黄树稳、李梅进行统计学处理;庞智东、颜云盈进行结果的分析与解释;庞智东、颜云盈、黄树稳进行论文的修订;李梅、厥宇晨负责文章的质量控制及审校;颜云盈对文章整体负责,监督管理。

本文无利益冲突。

## 参考文献

- [1] LIU H B, WANG W X, GAO X J. Comparison of the efficacy of ambroxol hydrochloride and N-acetylcysteine in the treatment of children with bronchopneumonia and their influence on prognosis [J]. *Exp Ther Med*, 2020, 20 (6): 130. DOI: 10.3892/etm.2020.9260.
- [2] 黄扬. 基于地理环境大数据的成都市儿童支气管肺炎影响因素研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [3] RODRIGUEZ-MARTINEZ C E, SOSSA-BRICEÑO M P. Disparities in prevalence and outcomes of respiratory disease in low- and middle-income countries [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2023. [Online ahead of print]. DOI: 10.1002/ppul.26573.
- [4] 杨智辉, 刘铁山, 殷祖华. 乙酰半胱氨酸溶液雾化吸入治疗在小儿支气管肺炎中的应用效果 [J]. *中国当代医药*, 2022, 29 (34): 73-75, 79. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4721.2022.34.019.
- [5] 张士保, 谢瑞玉. NLR、CRP、PLR、PCT在儿童支气管肺炎中的临床价值 [J]. *标记免疫分析与临床*, 2023, 30 (4): 651-656. DOI: 10.11748/bjmy.issn.1006-1703.2023.04.023.
- [6] WANG J, XU Z H, LU J. Hospitalization costs for children with pneumonia in Shanghai, China from 2019 to 2020 [J]. *Hum Vaccin Immunother*, 2022, 18 (5): 2081459. DOI: 10.1080/21645515.2022.2081459.
- [7] 江思力, 李文学, 步犁, 等. 广州市大气PM<sub>2.5</sub>与居民呼吸系统疾病死亡关系的时间序列分析 [J]. *华南预防医学*, 2022, 48 (6): 721-724.
- [8] 王桂兰, 崔亮亮, 程学美, 等. 济南市大气污染对儿科呼吸系统门诊量影响的时间序列分析 [J]. *中国预防医学杂志*, 2022, 23 (7): 525-531. DOI: 10.16506/j.1009-6639.2022.07.009.
- [9] COHEN C, WALAZA S, MOYES J, et al. Epidemiology of viral-associated acute lower respiratory tract infection among children < 5 years of age in a high HIV prevalence setting, South Africa, 2009—2012 [J]. *Pediatr Infect Dis J*, 2015, 34 (1): 66-72. DOI: 10.1097/inf.0000000000000478.
- [10] 裴冬梅. 北方某医院儿童支气管肺炎住院病人的数据挖掘与分析 [D]. 沈阳: 中国医科大学, 2020. DOI: 10.27652/d.cnki.gzyku.2019.000148.
- [11] 周晶晶. 合肥市大气颗粒物化学组成特征、来源解析及典型污染源控制研究 [D]. 安徽: 中国科学技术大学, 2022.
- [12] 杨钊, 张燕萍, 桑田, 等. 临汾市大气PM<sub>10</sub>与5岁以下儿童呼吸系统疾病住院的浓度-反应关系研究 [J]. *环境与健康杂志*, 2015, 32 (12): 1042-1049. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2015.12.002.
- [13] 陈新宏, 何瑞雪, 刘暑霞, 等. 佛山市大气NO<sub>2</sub>对儿童呼吸系统疾病住院风险的急性影响 [J]. *公共卫生与预防医学*, 2023, 34 (1): 54-58. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2483.2023.01.012.
- [14] 宋孝光, 武昊, 付俊杰, 等. 2016—2020年江西省南昌市大气污染物与儿童呼吸疾病门诊病例数的时间序列关联研究 [J]. *现代预防医学*, 2022, 49 (14): 2539-2545, 2552. DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202203033.
- [15] SCHWELA D. Air pollution and health in urban areas [J]. *Rev Environ Health*, 2000, 15 (1/2): 13-42. DOI: 10.1515/reveh.2000.15.1-2.13.
- [16] 周璐, 阚海东, 陈仁杰. 大气SO<sub>2</sub>暴露与医院每日急诊和门诊人次关系的多中心时间序列研究 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2021, 25 (10): 1159-1163. DOI: 10.16462/j.cnki.zhjbkz.2021.10.008.
- [17] 殷丽刚, 赵宝新, 张燕萍, 等. 大同市大气SO<sub>2</sub>与5岁以下儿童呼吸系统疾病住院的浓度-反应关系研究 [J]. *环境与健康杂志*, 2017, 34 (3): 216-219. DOI: 10.16241/j.cnki.1001-5914.2017.03.008.
- [18] 李龙燕, 王金艳, 谢祥珊, 等. 兰州市冬季空气污染对哮喘的影响 [J]. *环境保护科学*, 2022, 48 (3): 94-98. DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022.03.015.
- [19] 史亚妮. 兰州市空气污染对儿童呼吸疾病门诊量影响的研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [20] 徐静, 刘华悦, 靳甜甜, 等. 气温对秦皇岛市儿童呼吸系统疾病的影响 [J]. *干旱气象*, 2021, 39 (2): 326-332, 344. DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2021)-02-0326.
- [21] XU B, WANG J F, LI Z J, et al. Seasonal association between viral causes of hospitalised acute lower respiratory infections and meteorological factors in China: a retrospective study [J]. *Lancet Planet Health*, 2021, 5 (3): e154-163. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30297-7.
- [22] 贾艳红, 苏筱茜, 李鹤冉. 1991—2020年南宁市气候变化特征分析 [J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2023, 41 (2): 190-200. DOI: 10.16088/j.issn.1001-6600.2022050801.
- [23] 张莹, 辛金元, 马盼, 等. 成都市气温与PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>交互作用对疾病死亡人数的影响研究 [J]. *中国环境科学*, 2021, 41 (8): 3887-3895. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210315.001.
- [24] 张经纬, 冯利红, 王森, 等. 大气污染物与温度对天津市河西区人群肺癌早死寿命损失年交互作用 [J]. *中国公共卫生*, 2021, 37 (8): 1282-1289. DOI: 10.11847/zgggws1125192.

(收稿日期: 2023-04-04; 修回日期: 2023-07-12)

(本文编辑: 崔丽红)