

杨仁庆,董继元,王雁茹,等,2023. 日均气温对兰州市支气管炎影响的时间序列分析[J]. 气象,49(3):340-350. Yang R Q, Dong J Y, Wang Y R, et al, 2023. Effect of daily mean temperature on bronchitis outpatient visit in Lanzhou: a time-series study [J]. Meteor Mon, 49(3): 340-350 (in Chinese).

日均气温对兰州市支气管炎影响的时间序列分析*

杨仁庆¹ 董继元¹ 王雁茹¹ 刘 宁²

¹ 兰州大学公共卫生学院, 兰州 730000

² 兰州大学管理学院, 兰州 730000

提 要: 为研究兰州市日均气温对支气管炎门诊人数的影响, 收集兰州市 2013—2019 年三所综合性医院支气管炎患者门诊就诊资料及气象、空气污染物等数据, 构建分布滞后非线性模型分析气温和支气管炎门诊就诊风险的关系, 并按性别、年龄进行分层分析。兰州市日均气温对支气管炎门诊就诊量的影响是非线性的, 且存在滞后效应。低温(-5.0°C)和高温(25.4°C)的危害效应均为暴露当天最大, 随着滞后天数增加危害逐渐减弱, 低温持续滞后 1~13 d, 高温持续滞后 19 d。冷效应的危害作用大于热效应, 但热效应有更长的滞后时间。气温第 5 百分位数(-5.0°C)和第 95 百分位数(25.4°C)分别在累积滞后 14 d 和 21 d 时效应值最大, 分别为 2.832 和 1.070。低温和高温暴露下男性就诊风险大于女性, 最大累积相对危险度(RR)值分别为 3.089、1.085。低温和高温下 0~14 岁儿童的门诊就诊风险显著高于其他年龄人群, 在 -5.0°C 时, 累积滞后 14 d 时有最大值, RR 值为 3.191, 在 25.4°C 时, 累积滞后 21 d 时有最大值, RR 值为 1.089。低温和高温均增加兰州市居民支气管炎门诊就诊风险, 低温的危害效应大于高温效应, 14 岁以下儿童对低温反应更加敏感。

关键词: 日均气温, 支气管炎, 分布滞后非线性模型

中图分类号: P426, P122

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2022.080302

Effect of Daily Mean Temperature on Bronchitis Outpatient Visit in Lanzhou: A Time-Series Study

YANG Renqing¹ DONG Jiyuan¹ WANG Yanru¹ LIU Ning²

¹ School of Public Health, Lanzhou University, Lanzhou 730000

² College of Management, Lanzhou University, Lanzhou 730000

Abstract: To explore the effects of daily mean temperature on bronchitis outpatient visit in Lanzhou, we collected the data on bronchitis outpatient visit, meteorology and atmospheric pollutants during 2013—2019 from three general hospitals in Lanzhou. In this paper, we construct a distribution lag non-linear model to analyze the relationship between the temperature and the daily risk of bronchitis outpatient visit. The stratified analysis is performed according to the division of ages and gender groups. The effect of daily mean temperature on bronchitis outpatient visit is non-linear and lagging. The hazard effects of low temperature (-5.0°C), and high temperature (25.4°C) are the largest on that very day, and then get weakened gradually with the lag days. The hazard effect of low temperature lasts for 13 days (lag 1—13 d), and the hazard effect of high temperature lasts 19 days. The cold effect has a greater harmful effect and duration than the heat effect. When the temperature is set to -5.0°C and 25.4°C , the maximal cumulative lag

* 甘肃省自然科学基金项目(21JR1RA011)资助

2021年12月18日收稿; 2022年9月20日收修定稿

第一作者: 杨仁庆, 主要从事气候变化及其影响研究. E-mail: 2389471004@qq.com

通讯作者: 董继元, 主要从事环境与健康研究. E-mail: yuiopdongjiyuan@163.com

effect appears on lag 0–14 d, and lag 0–21 d, respectively, the RR values are 2.832 (95%CI: 2.411–3.326) and 1.070 (95%CI: 1.054–1.086). The risk of bronchial outpatient visit caused by low temperature, and high temperature is greater for men than for women, with a maximum cumulative relative risk of 3.089 (95%CI: 2.601–3.669) and 1.085 (95%CI: 1.067–1.104). The risk of outpatient visits for children aged 0–14 is significantly higher than that of other age groups at low temperature, and the peak RR appears on lag 0–14 d, with the value of 3.191 (95%CI: 2.654–3.837). When the temperature is at 25.4°C, the maximum value occurs on lag 0–21 d, and the RR value is 1.089 (95%CI: 1.070–1.109). Both high temperature and low temperature improve the bronchitis outpatient visit risk. The harmful effect and duration of low temperature are greater than that of high temperature, and children aged 0–14 are more sensitive to low temperature.

Key words: daily mean temperature, bronchitis, distributed lag non-linear model

引言

支气管炎是由于气管、支气管黏膜及其周围组织炎症而引起的一种呼吸系统疾病,多由病毒或细菌感染所致(Karunanayake et al, 2017; Blush III, 2013)。支气管炎是具有明显季节性的疾病,多在寒冷季节、气温骤变时发生,气象因素对支气管炎的发生具有重要影响,其中气温是诱发支气管炎的重要气象因素之一,且气温对支气管炎的影响可能存在一定的滞后期(Qiu et al, 2015; 倪晓良等, 2020)。但是,针对气温与支气管炎之间关系的研究不多,从研究内容看,未分析不同性别和年龄间的差异对支气管炎发病的影响。在研究方法上,多为简单相关分析,而没有考虑当日气温对支气管炎发病的影响具有较长的滞后期(Blush III, 2013),在研究地域上,也仅限于上海、合肥等湿润和半湿润地区的城市(Huang et al, 2015; Xie et al, 2017),西北内陆干旱区相关研究相对缺乏,并且查阅文献后,发现尚无文章报道兰州气温变化与支气管炎门诊就诊人次关系。兰州市地理位置特殊,地处青藏高原和黄土高原交汇处,地形复杂,群山对峙,黄河从城中穿过,形成了“两峡一谷”特征的河谷盆地地形,气候变化多样,每年11月至次年3月为兰州市冷季,平均气温为-7~4°C,每年6–8月为兰州市暖季,平均气温为14.0~27.0°C。冷季时,北方冷空气不时南下,锋面活动频繁,呼吸道疾病更容易发生,是呼吸道感染的高发地区,支气管炎疾病负担重(徐冉等, 2019)。尽管人类无法通过直接干预改变气候的变化,但通过对气温变化与人体健康的关联性研究,可以采取有针对性的预防措施以减少疾病的发生。因

此,本研究收集2013–2019年兰州市三所综合性医院的支气管炎门诊就诊资料和气象数据,使用分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM)分析气温对支气管炎门诊就诊人次的影响,并对不同性别、年龄组人群进行亚组分析。

1 数据与方法

1.1 数据

将2013年1月至2019年12月在兰州市三所综合性医院门诊就诊的支气管炎患者纳入研究对象,提取其就诊信息,包括就诊卡号、就诊时间、身份证号、性别、年龄、家庭住址、疾病诊断分类码(ICD-10),门诊就诊数据按照“家庭住址+身份证号”关键字段剔除非兰州市居民记录。对于重复病例的处理,则按照“就诊卡号+身份证号”关键字段剔除短期内再就诊病例,即同一例患者若因支气管炎就诊2次或以上,只纳入第1次的病历记录。

气象资料来源于甘肃省气象局,具体要素包括日均气温、相对湿度和风速。同期空气污染物数据来源于全国城市空气质量实时发布平台,包括细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)和一氧化碳(CO)的日均浓度,以及臭氧的日最大8小时浓度(O₃8 h)。

1.2 统计学分析

考虑到气温对疾病的影响属于非线性效应,且存在一定的滞后性(程学伟和韩兆洲, 2018),用分布滞后非线性模型分析气温与支气管炎门诊就诊人次的关系,支气管炎门诊日就诊量可被视为一定范围

地区、单位时间内某事件的发生数,因此支气管炎日就诊量近似服从泊松分布,在此基础上,为控制日就诊量可能存在的过离散现象,假设日就诊量服从广义泊松分布,使用对数函数进行连接,该方法可以较好控制日就诊量的异常波动,并克服时间序列数据的序列相关性(Gasparrini et al, 2011; Gasparrini, 2014)。模型中控制的混杂因素包括相对湿度、长期趋势、空气污染、星期几效应和节假日效应,模型表达式如下:

$$\log[E(Y_t)] = \alpha + \beta \times \text{Temp}_{t,l} + ns(\text{rh}_t, f) + ns(T', f) + ns(C_{\text{PM}_{2.5}t}, f) + ns(C_{\text{PM}_{10}t}, f) + ns(C_{\text{SO}_2t}, f) + ns(C_{\text{NO}_2t}, f) + ns(C_{\text{O}_38\text{hr}}, f) + ns(C_{\text{CO}t}, f) + \lambda \times E_w + \gamma \times E_H \quad (1)$$

式中: Y_t 表示第 t 天支气管炎门诊就诊人次; $E(Y_t)$ 为第 t 天门诊病例数期望值; α 为截距; $\text{Temp}_{t,l}$ 是 DLNM 模型产生的二维交叉基矩阵,用于拟合气温非线性影响及滞后关系, β 、 λ 和 γ 为回归系数, l 是滞后天数;根据广义赤池信息量准则(quasi-likelihood for Akaike's information criterion, Q-AIC)最小原则,确定气温和滞后时间的自由度均为 4, ns 为自然样条函数, f 为自由度; rh_t 为第 t 天的日均相对湿度,根据 Q-AIC 最小原则选择自由度为 3; $C_{\text{PM}_{2.5}t}$ 、 $C_{\text{PM}_{10}t}$ 、 C_{SO_2t} 、 C_{NO_2t} 、 $C_{\text{O}_38\text{hr}}$ 和 $C_{\text{CO}t}$ 分别表示第 t 天的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 8 h 和 CO 浓度,根据 Q-AIC 最小原则选择自由度为 3; T' 表示时间变量,选择自由度为 7/年; E_w 和 E_H 分别表示星期几效应和节假日效应(李兰玉等, 2022),按照哑变量引入模型。相对危险度(relative risk, RR)的计算:若 β 为回归模型中的解释变量系数,气温在整个滞后时间内对支气管炎门诊就诊人次的相对危险度可计算为指数函数。

参照此前研究,选择最大滞后时间为 21 d,以 R 软件计算得到最低发病效应温度(minimal-morbidity temperature, MMT)为参照值(Zhao et al, 2019),将日均气温第 5 百分位数(-5.0°C)和第 95 百分位数(25.4°C)相对于 MMT 计算的 RR 值和 95% 置信区间(confidence interval, CI)分别代表支气管炎发病的冷、热效应,计算不同滞后天数下的 RR 值(Zhao et al, 2019; Chai et al, 2020)。按性别、年龄(0~14 岁、15~64 岁和 ≥ 65 岁)分层,分析气温对支气管炎门诊就诊人次的影响。

建立非参数二元响应模型(non parametric bivariate response model),分析气温与湿度、风速等因素对支气管炎门诊的交互作用,结果用平滑曲面

图(王敏珍等, 2016; 劳家辉, 2019)展示。

为确定大气污染物与日均气温、相对湿度是否存在交互作用,本研究在泊松广义回归模型中加入二者的交互作用项,采用 F 检验判断交互作用的有效性,检验水平为 $P < 0.05$ (谷少华, 2015)。采用张量积平滑函数同时展示气温、湿度和空气污染物对支气管门诊量的联合作用,在此模型基础上,用联合效应图来判断三者的变化关系。模型表达式如下:

$$\log[E(Y_t)] = \alpha + t_e(M, P) + ns(T_t, f) + ns(\text{rh}_t, f) + ns(T', f) + \lambda \times E_w + \gamma \times E_H \quad (2)$$

式中: $t_e(M, P)$ 是表示相应气象因素间,以及气温、湿度与空气污染物联合作用的平滑变量; T_t 为第 t 天的日均气温,根据 Q-AIC 最小原则选择自由度为 3;其余变量含义与式(1)中含义相同。

气温的归因风险:参照 Zhao et al(2019)评估气温影响支气管炎门诊的归因风险,结局指标包括归因人数(attribute numbers, AN)和人群归因分值(attribute fraction, AF)。本文中 AN 表示由于气温短期暴露造成的人群就诊人数,AF 表示 AN 占总门诊就诊人数的比例。计算方法:

$$\text{AF} = \sum_{i=l_0}^L \frac{(\text{RR}_i - 1)}{(\text{RR}_i - 1) + 1} = 1 - \exp\left(-\sum_{i=l_0}^L \beta_{x_i}\right) \quad (3)$$

$$\text{AN} = n \times \text{AF} \quad (4)$$

式中: RR_i 表示和基线水平相比,各暴露水平下的相对危险度; l_0 和 L 分别为最小滞后天数和最大滞后天数; β_{x_i} 为暴露水平为 i 时的效应参数, n 为总门诊就诊人数。

采用 R3.6.3 软件的 DLNM 软件包(2.4.2)进行统计学分析。

2 结果

2.1 基本情况

2013—2019 年三所医院门诊共就诊支气管炎患者 214 470 例,日均 84 例。其中男性、女性患者日均分别为 46 例、38 例,性别比为 1.19 : 1。0~14 岁儿童就诊比例远高于其他人群,占总数的 75.54%。同期兰州市气温、相对湿度和风速日均值分别为 11.39°C 、50.63%、 $1.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 8 h 和 CO 日均浓度分别为 50.33、113.82、22.54、45.51、86.91 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $1.19 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,见表 1。

表 1 2013—2019 年兰州市支气管炎门诊数、气象要素、空气污染物的描述性分析
Table 1 Descriptive statistics of bronchial outpatient visits, meteorological elements and air pollutants in Lanzhou from 2013 to 2019

变 量	均值±标准差	最小值	第 25 百分位数	第 50 百分位数	第 75 百分位数	最大值	
支气 管炎 门诊 /例	全人群	84±45	3	54	76	101	408
	男性	46±25	1	29	41	56	227
	女性	38±21	1	24	35	48	181
	0~14 岁	63±41	3	36	55	79	357
	15~64 岁	17±11	0	9	16	24	65
	≥65 岁	4±3	0	2	3	5	19
气象 要素	日均气温/℃	11.39±9.85	-12.30	2.10	12.89	20.00	30.40
	相对湿度/%	50.63±15.31	11.71	39.22	51.00	61.62	96.09
	风速/(m·s ⁻¹)	1.24±0.39	0.00	1.00	1.16	1.45	3.13
空气 污染 物浓 度	PM _{2.5} /(μg·m ⁻³)	50.33±30.43	9.00	31.48	43.29	62	278
	PM ₁₀ /(μg·m ⁻³)	113.82±81.51	16.00	73.00	102.93	142.00	1484.54
	SO ₂ /(μg·m ⁻³)	22.54±14.97	3.54	11.05	18.42	30.26	115.51
	NO ₂ /(μg·m ⁻³)	45.51±17.91	6.32	33.95	44.31	54.00	146.60
	O ₃ h/(μg·m ⁻³)	86.91±44.76	8.00	55.00	79.00	112.00	462.00
	CO/(mg·m ⁻³)	1.19±0.71	0.05	0.70	0.97	1.47	4.65

2.2 气温对支气管炎门诊就诊人次的影响

气温与支气管炎门诊就诊人次呈现出非线性关系。低温和高温均表现出即时的危害效应,并随着滞后时间延长效应减弱。低温在-16℃、滞后 0 d 时有最大效应,RR 值为 1.193(95%CI 为 1.139~1.249),即 RR 值为 1.193(95%CI:1.139~1.249),下同。高温同样在暴露当天、21℃时有最大 RR 值 1.026(95%CI:1.013~1.041),见图 1。

图 2 为兰州市日均气温对支气管炎门诊影响在滞后 21 d 内的累积效应,图 2 显示,低温支气管炎门诊就诊人次有显著的影响,当气温在-16~26℃

时,支气管炎门诊就诊风险增加,RR>1。通过图 2 可以看出,支气管炎最低发病效应的气温(MMT)为 26.0℃。以 MMT 作为参考值,日均气温第 5 百分位数和第 95 百分位数相对于 MMT 计算的 RR 值分别代表支气管炎发病的冷、热效应,分别计算滞后 0、0~7、0~14、0~21 d 的累计效应值(表 2)。

由图 3 可知,低温和高温当天对支气管炎门诊就诊危害效应最大,随着滞后天数增加,就诊风险下降。低温持续滞后 1~13 d,RR 值从 1.143(95%CI:1.112~1.176)降至为 1.014(95%CI:1.007~1.021),

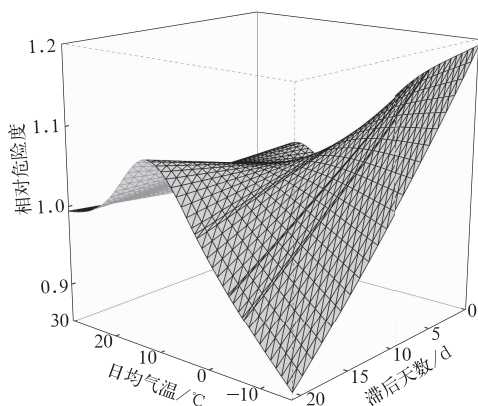


图 1 2013—2019 年兰州市日均气温-滞后天数-支气管炎门诊就诊风险三维图
Fig. 1 Three-dimensional graph of daily mean temperature-lag days-bronchitis outpatient visit risks in Lanzhou from 2013 to 2019

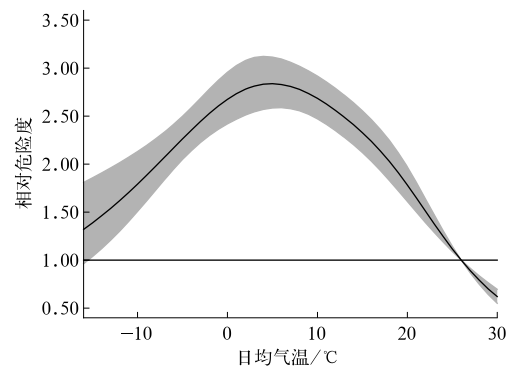


图 2 2013—2019 年兰州市日均气温与支气管炎风险的暴露-反应关系 (灰色阴影代表相对危险度的 95%置信区间,水平实线代表相对危险度为 1;下同)
Fig. 2 Exposure-response curve between daily mean temperature and relative risks of bronchitis outpatient visits in Lanzhou from 2013 to 2019 (grey shaded; the 95% confidence interval of relative risk, horizontal line; the relative risk of 1; the same below)

滞后 14 d 的 $RR < 1$ 。高温当天 RR 值为 1.005 (95%CI:1.002~1.007), RR 值随滞后天数缓慢下降, 高温的有害效应持续 19 d。

表 2 为低温(-5.0℃)和高温(25.4℃)暴露下, 不同滞后天数的累积效应分析。气温对支气管炎门诊就诊人次的影响存在显著的滞后效应, -5.0℃在滞后 14 d 时有最大累积效应, 其 RR 值为 2.832

(95%CI:2.411~3.326)。25.4℃在滞后 21 d 时有最大累积效应, RR 值为 1.070(95%CI:1.054~1.086)。

2.3 气温对不同性别和年龄人群支气管炎门诊就诊的影响

表 3 表示不同性别人群在滞后 0~21 d 内支气管炎的累积风险。在 0~21 d 滞后期内, 低温和高

表 2 2013—2019 年兰州市不同滞后天数下气温对支气管炎门诊就诊人次的累积效应
Table 2 Cumulative effect of temperature on the number of bronchitis outpatient visits with different lag days in Lanzhou from 2013 to 2019

累积滞后天数/d	低温(-5.0℃)		高温(25.4℃)	
	RR	95%CI	RR	95%CI
0	1.143*	1.112~1.176	1.005*	1.003~1.007
0~4	1.782**	1.589~1.999	1.022*	1.014~1.031
0~7	2.256**	1.934~2.631	1.034*	1.022~1.046
0~14	2.832**	2.411~3.326	1.056*	1.041~1.071
0~21	2.262**	2.048~2.498	1.070*	1.054~1.086

注: * :0.01<P<0.05, ** :0.001<P<0.01,下同。

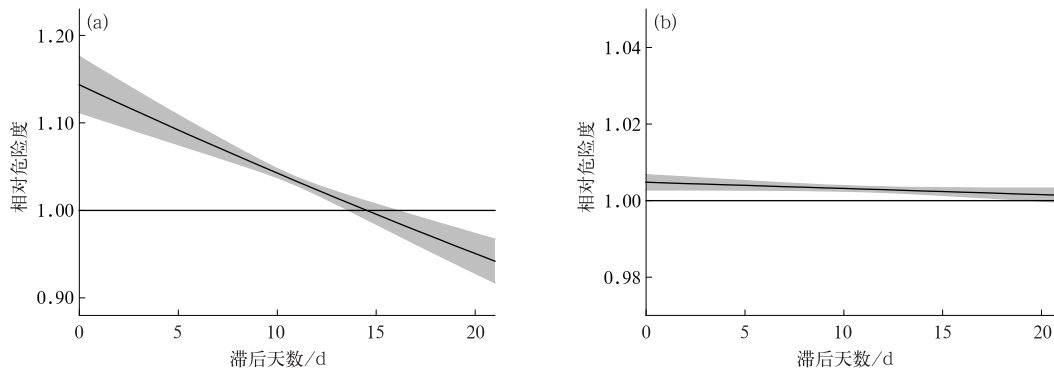


图 3 2013—2019 年兰州市 (a)低温(-5.0℃)和(b)高温(25.4℃)的滞后效应
Fig. 3 The lag-effect of (a) low temperature (-5.0℃) and (b) high temperature (25.4℃) in Lanzhou from 2013 to 2019

表 3 2013—2019 年兰州市各滞后天数下气温对不同性别人群支气管炎门诊就诊人次的累积效应

Table 3 Cumulative effect of temperature on the number of bronchitis outpatient visits in different gender groups with different lag days in Lanzhou from 2013 to 2019

性别	累积滞后天数/d	低温(-5.0℃)		高温(25.4℃)	
		RR	95%CI	RR	95%CI
男性	0	1.156*	1.122~1.191	1.006*	1.004~1.008
	0~4	1.876**	1.651~2.110	1.027*	1.018~1.036
	0~7	2.410**	2.045~2.839	1.041*	1.028~1.054
	0~14	3.089**	2.601~3.669	1.068*	1.051~1.085
	0~21	2.436**	2.187~2.713	1.085*	1.067~1.104
女性	0	1.129*	1.096~1.164	1.004*	1.002~1.006
	0~4	1.668**	1.491~1.911	1.017*	1.008~1.026
	0~7	2.090**	1.770~2.467	1.026*	1.014~1.039
	0~14	2.562**	2.154~3.046	1.043*	1.027~1.059
	0~21	2.080**	1.872~2.312	1.053*	1.036~1.070

温对男性和女性的累积效应 RR 值均有统计学意义。低温条件下,男性最大累积 RR 值大于女性,男性和女性的 RR 值分别为 3.089(95%CI:2.601~3.669)、2.562(95%CI:2.154~3.046)。高温的最大累积 RR 值仍为男性大于女性,男性和女性的 RR 值分别为 1.085(95%CI:1.067~1.104)、1.053(95%CI:1.036~1.070)。

低温和高温暴露下,0~14 岁和 15~64 岁人群的累积效应 RR 值在滞后 21 d 内均有统计学意义

(表 4)。低温和高温下 0~14 岁儿童的门诊就诊风险显著高于其他年龄人群,在 -5.0℃ 时,累积滞后 14 d 时有最大值,RR 值为 3.191(95%CI:2.654~3.837),在 25.4℃ 时,累积滞后 21 d 时有最大值,RR 值为 1.089(95%CI:1.070~1.109)。≥65 岁人群在低温条件下,累积滞后 14 d、21 d 时 RR 值有统计学意义,RR 值分别为 1.414(95%CI:1.004~1.991),2.090(95%CI:1.711~2.552)。

表 4 2013—2019 年兰州市各滞后天数下气温对不同年龄人群
支气管炎门诊就诊人次的累积效应

Table 4 Cumulative effect of temperature on the number of bronchitis outpatient visits in different age groups with different lag days in Lanzhou from 2013 to 2019

年龄	累积滞后 天数/d	低温(-5.0℃)		高温(25.4℃)	
		RR	95%CI	RR	95%CI
0~14 岁	0	1.159*	1.123~1.197	1.005*	1.003~1.008
	0~4	1.894**	1.662~2.159	1.025*	1.015~1.035
	0~7	2.462**	2.066~2.934	1.039*	1.025~1.053
	0~14	3.191**	2.654~3.837	1.067*	1.049~1.085
	0~21	2.525**	2.245~2.839	1.089*	1.070~1.109
15~64 岁	0	1.076*	1.034~1.120	1.004*	1.001~1.006
	0~4	1.380*	1.172~1.625	1.017*	1.006~1.028
	0~7	1.588*	1.276~1.976	1.024*	1.009~1.039
	0~14	1.887**	1.505~2.366	1.031*	1.012~1.050
	0~21	1.806**	1.586~2.057	1.025*	1.005~1.045
≥65 岁	0	1.002	0.943~1.065	1.000	0.996~1.004
	0~4	1.042	0.813~1.335	1.001	0.985~1.018
	0~7	1.107	0.795~1.542	1.003	0.980~1.027
	0~14	1.414*	1.004~1.991	1.012	0.984~1.042
	0~21	2.090**	1.711~2.552	1.028	0.996~1.060

2.4 日均气温与其他气象因素的交互效应

交互作用分析显示气温和湿度、气温和风速对

支气管炎门诊量的影响均存在交互作用,且均有统计学意义($P < 0.05$),如图 4 所示。低温低湿时支气管炎门诊就诊人次最高,低温高风速时支气管炎

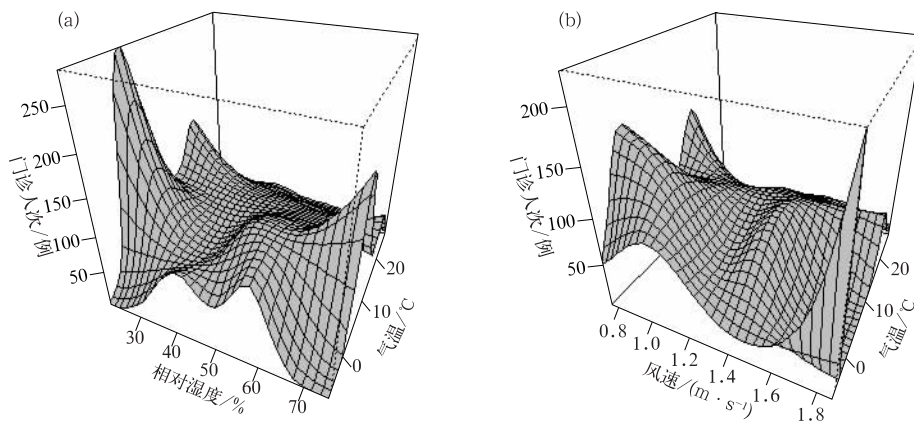


图 4 2013—2019 年兰州市(a)气温和湿度,(b)气温和风速的交互作用
Fig. 4 The interactive effect of (a) humidity and (b) wind speed with temperature on the number of bronchitis outpatient visits in Lanzhou from 2013 to 2019

门诊就诊人次最高。

2.5 气温和空气污染物对支气管炎门诊就诊的影响

反应平面模型中气温与 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 和 CO 的交互项系数有统计学意义 ($P < 0.05$), 绘制空气污染物与逐日气温对支气管炎门诊量影响的三维图(图 5), 可见, 低温时, 随着 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 和

CO 浓度的增加, 支气管炎门诊量不断增加, 说明低温与 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 和 CO 对支气管炎日门诊量可能存在交互影响。对 NO_2 和 O_3 8 h 而言, 支气管炎日门诊量高峰亦出现在低温- NO_2 高浓度和低温- O_3 8 h 高浓度的情况下, 但二者交互项系数无统计学意义 ($P > 0.05$)。

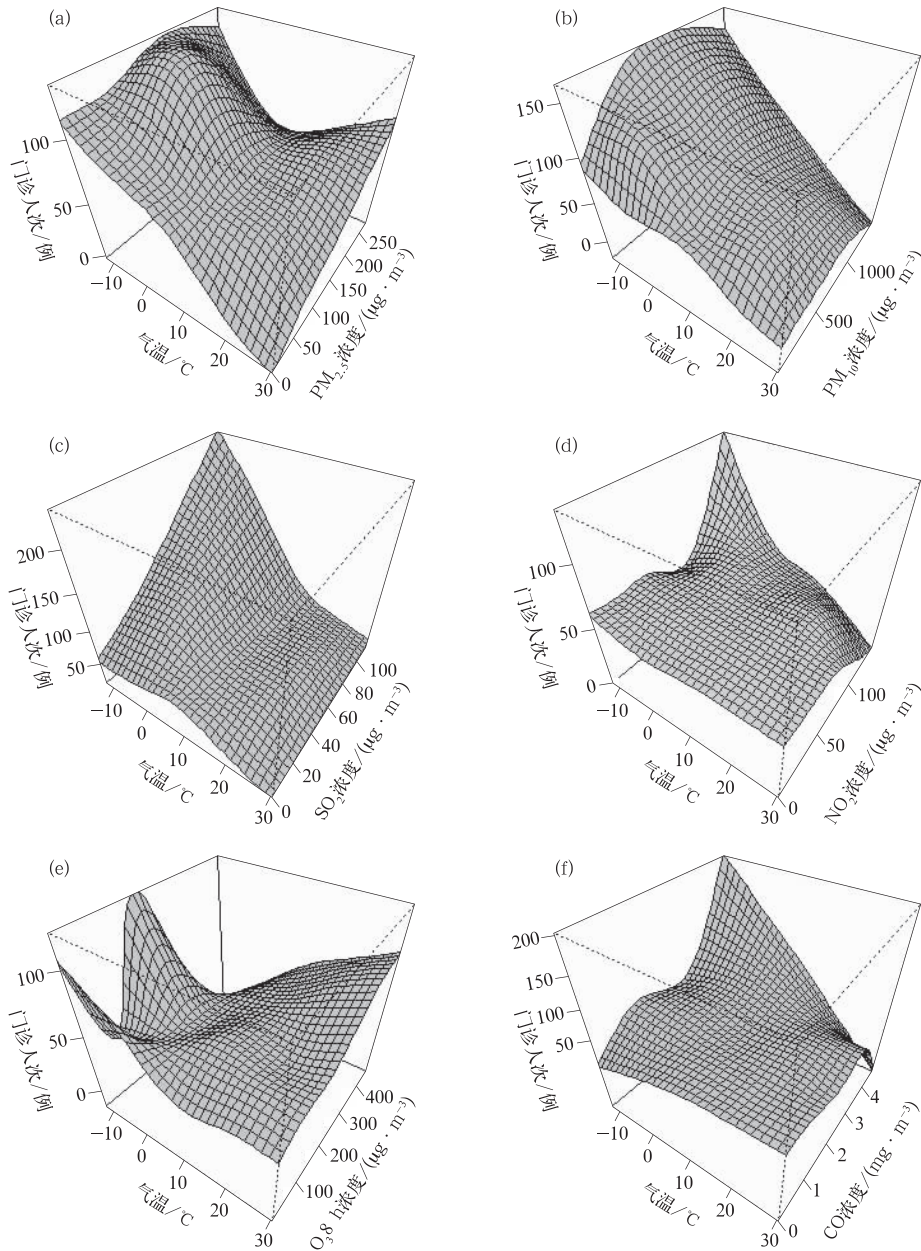


图 5 2013—2019 年兰州市气温和(a) $PM_{2.5}$, (b) PM_{10} , (c) SO_2 , (d) NO_2 , (e) O_3 8 h 和 (f) CO 浓度对支气管炎日门诊量的影响

Fig. 5 Interaction between temperature and concentration of (a) $PM_{2.5}$, (b) PM_{10} , (c) SO_2 , (d) NO_2 , (e) O_3 8 h and (f) CO on the number of bronchitis outpatient visits in Lanzhou from 2013 to 2019

2.6 湿度和空气污染物对支气管炎门诊就诊的影响

反应平面模型中湿度与 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 和 CO 的交互项系数有统计学意义 ($P < 0.05$), 绘制空气污染物与逐日湿度对支气管炎门诊量影响的三维图 (图 6), 可见, 湿度较低时, 随着 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 和

CO 浓度增加, 支气管炎门诊量不断增加, 说明较低湿度与 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 和 CO 对支气管炎日门诊量可能存在交互影响。对 PM_{10} 和 O_3 8 h 而言, 支气管炎日门诊量高峰出现在高湿度- PM_{10} 高浓度和高湿度- O_3 8 h 高浓度的情况下, 但二者交互项系数无统计学意义 ($P > 0.05$)。

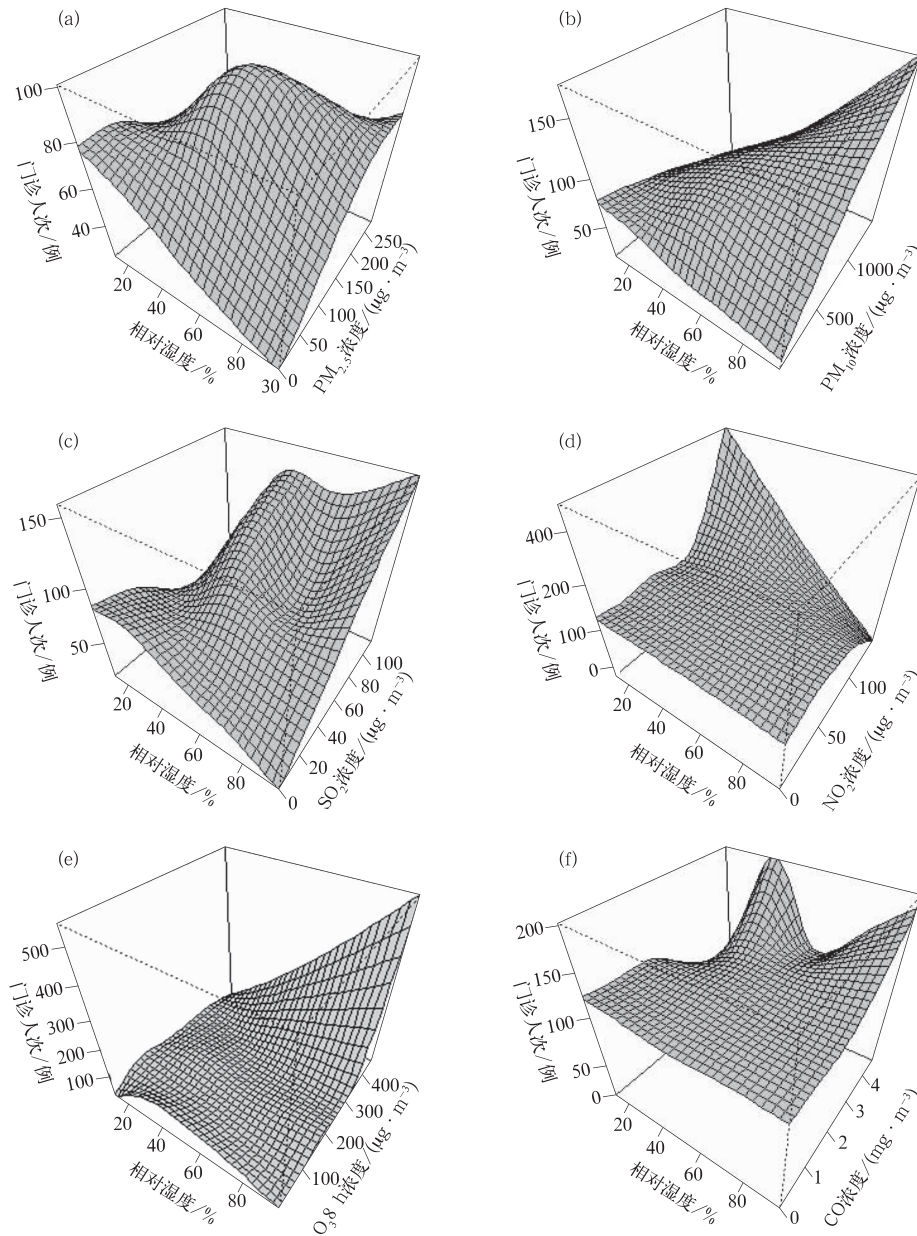


图 6 2013—2019 年兰州市湿度和 (a) $PM_{2.5}$, (b) PM_{10} , (c) SO_2 , (d) NO_2 , (e) O_3 8 h 和 (f) CO 浓度对支气管炎日门诊量的影响

Fig. 6 Interaction between relative humidity and concentration of (a) $PM_{2.5}$, (b) PM_{10} , (c) SO_2 , (d) NO_2 , (e) O_3 8 h and

(f) CO on the number of bronchitis outpatient visits in Lanzhou from 2013 to 2019

2.7 气温短期暴露的归因风险

以 MMT 为基线暴露水平、累积滞后 0~21 d 的情况下,2013—2019 年兰州市可归因于低温支气管炎门诊人数为 122 673 人(95% CI: 118 911~126 434),归因分值为 57.19%(95% CI: 55.44%~58.95%),高温归因门诊人数为 14 004 人(95% CI: 11 137~16 871),归因分值为 6.52%(95% CI: 5.19%~7.87%)。

3 讨论与结论

本研究首次利用 DLNM 模型,对西北内陆半干旱区的兰州市气温与支气管炎门诊就诊人次之间的关系进行了比较研究,发现日均气温对支气管炎患者的影响是非线性的,且主要表现为急促且短暂的高温热效应和存在较长滞后期的低温冷效应。这与国内外其他关于气温对支气管炎影响的研究基本一致(Huang et al,2015;Xie et al,2017;Leung et al,2021)。Huang et al(2015)研究了上海市 2010—2011 年间气温与一家大型医院中慢性支气管炎急诊人次的关系,研究发现低温与慢性支气管炎发病风险之间的关系是非线性的,其效应能持续 2 周左右。同样,在合肥市 2010—2013 年某三甲医院进行的一项研究表明,0~14 岁儿童急性支气管炎的发病与气温因子呈负相关,即低温环境下,儿童急性支气管炎发病数增多(Xie et al,2017)。Leung et al(2021)在中国香港的一项研究发现,在高温条件下,2 岁以下儿童的急性支气管急诊入院率会明显增加。目前,产生上述现象的机制还未弄清楚,气温对支气管炎患者的影响可能存在多种机制。首先,气温能影响引起支气管炎发病的病原体。研究发现,低温时呼吸道合胞体病毒和流感病毒检出率上升,呼吸道合胞体病毒和流感病毒是引起支气管炎的重要病原体(Mäkinen et al,2009;Blush III,2013)。其次,气温能直接影响呼吸系统功能。寒冷天气人体易发生支气管痉挛,炎症因子增加数量,肺泡的吞噬功能下降,细菌、病毒更易进入呼吸道内部,增加了发病风险;而高温时支气管炎发病高峰可能与夏秋季过敏症的高发期重叠在一起(谷少华等,2019)。兰州从 5 月开始,天气渐暖,春暖花开,柳絮

飘飞,有很多花草过敏的患者,其症状主要表现为鼻、眼、支气管炎,常常诱发支气管炎发作。此外,极端气温也会对影响居民的生活习惯和出行方式,如低温和高温环境下,人们较少外出,在室内停留的时间较长,冬季采暖和夏季使用空调,室内通风较差,人群易交叉感染(da Silva et al,2019)。

本研究进一步按照不同性别进行分层分析,结果表明,低温能增加女性的累积滞后效应,低温、高温条件下对男性的累积效应高于女性,而 Huang et al(2015)对上海的研究则发现男性比女性更易受到低温、较低温的影响,较高温、高温对男女影响不明显。说明不同性别对气温变化的适应程度不同,这一方面可能与不同性别之间生理结构和体温调节机制差异有关(Bell et al,2008);另一方面也可能与各种社会经济因素有关。这与在宁夏和乌鲁木齐的研究结果一致(张慧玲,2018;滕婉莹等,2021)。

按居民年龄分层的分析结果显示低温、高温对 0~14 岁人群的影响大于其他各年龄组,这与 Xie et al(2017)对合肥的研究一致,也与 Leung et al(2021)对香港的研究一致。目前,对于气温的变化能够增加儿童急性支气管炎的发病风险的机制还未弄清楚。气温对急性支气管炎的影响可能是直接与间接影响共同作用的结果。例如皮肤毛细血管的屏障功能受到气温降低的持续削弱,呼吸道黏膜受到低温刺激,引发呼吸系统出现咳嗽、流鼻涕等症状;此外,肺泡的吞噬功能在低温刺激下明显下降,无法抵御细菌、病毒对呼吸道的侵袭(张书余等,2016)。高温对儿童的效应可能与夏秋季过敏症的高发期有关,夏秋季草木生长比较茂盛,空气中花粉等过敏源也比较多,另外空气又闷又湿,也会导致患者呼吸不畅,且 0~14 岁组儿童外出活动的时间更多,常诱发支气管炎(Leung et al,2021)。

本研究发现各空气污染物与气温对支气管炎的交互影响时,结果并不相同,低温与 SO₂交互效应最为显著,二者联合作用对支气管炎日门诊量影响超过 200 例/日。与气温类似,各空气污染物与湿度对支气管炎的交互作用也存在差异,低湿度时 NO₂对支气管炎患者的影响更为明显,低湿度-NO₂高浓度的情况下,交互作用对支气管炎日门诊量影响超过 400 例/日。这与钟雅萍(2021)在广州对不同湿度条件下的大气污染对人群呼吸系统疾病发病的健康

效应研究结论一致: NO_2 对人群呼吸健康表现为在低湿度时的效应比高湿度时更高。目前 NO_2 与相对湿度对呼吸疾病交互影响机制尚无统一的解释, 有研究表明, 低相对湿度的暴露会导致气管及支气管黏膜的脱水、纤毛运动能力的减弱, 使细菌和灰尘等附在气道表面不易清除, 增加气道反应性从而导致呼吸疾病的发病风险增加(Chan et al, 2009), 相对湿度与大气污染物浓度变化对呼吸疾病的影响还有待进一步的研究。

综上所述, 低温和高温均能增加兰州市居民支气管炎门诊的就诊风险, 且存在着滞后效应。冷效应的危害作用和持续时间均大于热效应。基于该研究的结果, 应注重气温对居民支气管炎发病的影响, 尤其要加强对 0~14 岁人群的预防和保护。

参考文献

- 程学伟, 韩兆洲, 2018. 市域脑卒中疾病与气象因素的关系及预测[J]. 气象, 44(6): 837-843. Cheng X W, Han Z Z, 2018. Relationship between stroke and meteorological factors and its prediction in urban areas[J]. Meteor Mon, 44(6): 837-843 (in Chinese).
- 谷少华, 2015. 宁波市气温和空气污染对人群死亡的交互影响[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心. Gu S H, 2015. Interactive effects of temperature and air pollution on population mortality in Ningbo City[D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention (in Chinese).
- 谷少华, 陆蓓蓓, 张良, 等, 2019. 气温与儿童肺炎住院量的关系研究[J]. 预防医学, 31(7): 678-682. Gu S H, Lu B B, Zhang L, et al, 2019. Relationship between temperature indicators and hospital admission for childhood pneumonia[J]. Prev Med, 31(7): 678-682 (in Chinese).
- 劳家辉, 2019. 昼夜温差及其他气象因素对北京市流行性感冒发病的影响[D]. 济南: 山东大学. Lao J H, 2019. The effects of diurnal temperature range and other meteorological factors on influenza in Beijing City[D]. Jinan: Shandong University (in Chinese).
- 李兰玉, 罗斌, 王搏, 等, 2022. 大气环境湿度对过敏性鼻炎的影响分析——以甘肃省三个城市研究为例[J]. 气象, 48(8): 1062-1069. Li L Y, Luo B, Wang B, et al, 2022. Effect of environmental humidity on the allergic rhinitis: a study of three cities in Gansu Province[J]. Meteor Mon, 48(8): 1062-1069 (in Chinese).
- 倪晓良, 梁兆雄, 邓丽君, 等, 2020. 基于时间序列对儿童喘息性疾病发病季节趋势的研究[J]. 中国中西医结合儿科学, 12(4): 304-308. Ni X L, Liang Z X, Deng L J, et al, 2020. A study on the seasonal trend of asthmatic diseases in children based on time series[J]. Chin Pediatr Integr Tradit West Med, 12(4): 304-308 (in Chinese).
- 滕婉莹, 马龙, 杨浩峰, 2021. 2016—2018年乌鲁木齐市日均气温对呼吸系统疾病的影响[J]. 实用预防医学, 28(8): 937-942. Teng W Y, Ma L, Yang H F, 2021. Effect of daily mean temperature on respiratory diseases in Urumqi, 2016—2018[J]. Pract Prev Med, 28(8): 937-942 (in Chinese).
- 王敏珍, 郑山, 王式功, 等, 2016. 气温与湿度的交互作用对呼吸系统疾病的影响[J]. 中国环境科学, 36(2): 581-588. Wang M Z, Zheng S, Wang S G, et al, 2016. Interaction of temperature and relative humidity on emergency room visits for respiratory diseases[J]. China Environ Sci, 36(2): 581-588 (in Chinese).
- 徐冉, 张天航, 饶晓琴, 等, 2019. 2018年12月大气环流和天气分析[J]. 气象, 45(3): 437-443. Xu R, Zhang T H, Rao X Q, et al, 2019. Analysis of the December 2018 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 45(3): 437-443 (in Chinese).
- 张慧玲, 2018. 宁夏部分农村地区气温变化与呼吸及循环系统疾病门诊就诊人次的时间序列研究[D]. 银川: 宁夏医科大学. Zhang H L, 2018. Impact of temperature on outpatient visits for respiratory and circulatory diseases among residents in rural areas of Ningxia: a time-series study[D]. Yinchuan: Ningxia Medical University (in Chinese).
- 张书余, 张夏琨, 崔世杰, 等, 2016. 冷空气对人心血管系统及相关影响因素的自然实验研究[J]. 气象, 42(10): 1256-1262. Zhang S Y, Zhang X K, Cui S J, et al, 2016. Cold air to the cardiovascular system and related influence factors of natural experiment research[J]. Meteor Mon, 42(10): 1256-1262 (in Chinese).
- 钟雅萍, 2021. 广州市空气污染及气象条件与呼吸系统疾病急诊就诊的相关性研究[D]. 沈阳: 中国医科大学. Zhong Y P, 2021. Study on correlation of air pollution and meteorological factors and emergency room visits for respiratory diseases in Guangzhou[D]. Shenyang: China Medical University (in Chinese).
- Bell M L, O'Neill M S, Ranjit N, et al, 2008. Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico[J]. Int J Epidemiol, 37(4): 796-804.
- Blush III R R, 2013. Acute bronchitis: evaluation and management[J]. Nurse Pract, 38(10): 14-20.
- Chai G R, He H, Su Y N, et al, 2020. Lag effect of air temperature on the incidence of respiratory diseases in Lanzhou, China[J]. Int J Biometeorol, 64(1): 83-93.
- Chan P K S, Mok H Y, Lee T C, et al, 2009. Seasonal influenza activity in Hong Kong and its association with meteorological variations[J]. J Med Virol, 81(10): 1797-1806.
- da Silva I R, Nedel A S, Marques J R Q, et al, 2019. Excess of children's outpatient consultations due to asthma and bronchitis and the association between meteorological variables in Canoas City, Southern Brazil[J]. Int J Biometeorol, 63(11): 1517-1524.
- Gasparrini A, 2014. Modeling exposure-lag-response associations with distributed lag non-linear models[J]. Stat Med, 33(5): 881-899.

- Gasparrini A, Armstrong B, Kenward M G, 2011. Distributed lag non-linear models[J]. *Stat Med*, 29(21):2224-2234.
- Huang F, Zhao A, Chen R J, et al, 2015. Ambient temperature and outpatient visits for acute exacerbation of chronic bronchitis in Shanghai: a time series analysis[J]. *Biomed Environ Sci*, 28(1): 76-79.
- Karunanayake C P, Rennie D C, Ramsden V R, et al, 2017. Bronchitis and its associated risk factors in first nations children[J]. *Children (Basel)*, 4(12):103.
- Leung S Y, Lau S Y F, Kwok K L, et al, 2021. Short-term association among meteorological variation, outdoor air pollution and acute bronchiolitis in children in a subtropical setting[J]. *Thorax*, 76(4):360-369.
- Mäkinen T M, Juvonen R, Jokelainen J, et al, 2009. Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections[J]. *Respir Med*, 103(3):456-462.
- Qiu H, Yu I T S, Tse L A, et al, 2015. Greater temperature variation within a day associated with increased emergency hospital admissions for asthma[J]. *Sci Total Environ*, 505:508-513.
- Xie M Y, Ni H, Zhao D S, et al, 2017. Effect of diurnal temperature range on the outpatient visits for acute bronchitis in children: a time-series study in Hefei, China[J]. *Public Health*, 144:103-108.
- Zhao Y J, Huang Z, Wang S Y, et al, 2019. Morbidity burden of respiratory diseases attributable to ambient temperature: a case study in a subtropical city in China[J]. *Environ Health*, 18(1): 89.

(本文责编:戴洋)