

2008–2020 年我国北方 15 个城市流感与气象因素的关联性研究

邓源 任翔 郭玉清 耿梦杰 张翠红 黄硕 林帆 王丽萍

中国疾病预防控制中心传染病管理处/传染病监测预警重点实验室, 北京 102206

通信作者: 王丽萍, Email: wanglp@chinacdc.cn

【摘要】 目的 定量评估我国北方城市气象因素对流感的发病影响, 探索北方 15 个城市的气象因素对流感发病影响的差异。方法 收集西安市、兰州市、西宁市、银川市和乌鲁木齐市(西北 5 市)、北京市、天津市、石家庄市、太原市、呼和浩特市、济南市和郑州市(华北 7 市)、沈阳市、长春市和哈尔滨市(东北 3 市)共 15 个省会城市 2008–2020 年流感的月报告发病率和月度气象数据, 运用面板数据回归模型定量分析气象因素对流感的发病影响。结果 综合单因素和多因素面板回归分析结果显示, 在控制人口密度及其他气象因素的影响后, 月均气温每下降 5 °C, 东北 3 市、华北 7 市以及西北 5 市流感的发病率变化百分比(MCP)分别为 11.35%、34.04% 和 25.04%, 最佳滞后期月数分别为 1、0 和 1 个月; 月均相对湿度每下降 10%, 东北 3 市和华北 7 市的 MCP 分别为 15.84% 和 14.80%, 最佳滞后期月数分别为 2 和 1 个月; 月累计降雨量每减少 10 mm, 西北 5 市的 MCP 为 4.50%, 最佳滞后期月数为 1 个月; 月累计日照时长每减少 10 h, 东北 3 市和西北 5 市的 MCP 分别为 4.19% 和 5.97%, 最佳滞后期月数均为 1 个月。结论 2008–2020 年我国北方 15 个城市的气温、相对湿度、降雨量及日照时长与流感的发病均为负关联, 气温和相对湿度是主要的敏感气象因素。气温对华北 7 市流感的发病有较弱的直接影响作用, 相对湿度对东北 3 市流感的发病有较强的滞后作用, 西北 5 市的日照时长对流感的发病影响高于东北 3 市。

【关键词】 流感; 气象因素; 面板数据

基金项目: 国家自然科学基金(91846302); 国家科技重大专项(2018ZX10713001-001)

The correlations between influenza and meteorological factors in 15 cities of northern China, 2008-2020

Deng Yuan, Ren Xiang, Guo Yuqing, Geng Mengjie, Zhang Cuihong, Huang Shuo, Lin Fan, Wang Liping
Division of Infectious Disease/Key Laboratory of Surveillance and Early Warning on Infectious Disease,
Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China
Corresponding author: Wang Liping, Email: wanglp@chinacdc.cn

【Abstract】 Objective To understand the influence of meteorological factors on the morbidity of influenza in northern cities of China and explore the differences in the influence of meteorological factors on the morbidity of influenza in 15 cities. **Methods** The monthly reported morbidity of influenza and monthly meteorological data from 2008 to 2020 were collected in 15 provincial capital cities, including Xi'an, Lanzhou, Xining, Yinchuan and Urumqi (5 northwestern cities), Beijing, Tianjin, Shijiazhuang, Taiyuan, Hohhot, Ji'nan, Zhengzhou (7 northern cities), Shenyang, Changchun and Harbin (3 northeastern cities). The panel data regression model was applied to conduct quantitative analyze on the influence of meteorological factors on influenza morbidity. **Results** The univariate and multivariate panel regression analysis showed that after

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20221007-00862

收稿日期 2022-10-07 本文编辑 斗智

引用格式: 邓源, 任翔, 郭玉清, 等. 2008-2020 年我国北方 15 个城市流感与气象因素的关联性研究[J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(5): 765-771. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20221007-00862.

Deng Y, Ren X, Guo YQ, et al. The correlations between influenza and meteorological factors in 15 cities of northern China, 2008-2020[J]. Chin J Epidemiol, 2023, 44(5):765-771. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20221007-00862.



controlling the population density and other meteorological factors, for each 5 °C drop of monthly average temperature, the morbidity change percentage (MCP) of influenza was 11.35%, 34.04% and 25.04% in the 3 northeastern cities, 7 northern cities and 5 northwestern cities, respectively, and the best lag period months was 1, 0 and 1 month; When the monthly average relative humidity decreased by 10%, the MCP was 15.84% in 3 cities in northeastern China and 14.80% in 7 cities in northern China respectively, and the best lag period months was 2 and 1 months respectively; The MCP of 5 cities in northwestern China was 4.50% for each 10 mm reduction of monthly accumulated precipitation, and the best lag period months was 1 month; The MCPs of 3 cities in northeastern China and 5 cities in northwestern China were 4.19% and 5.97% respectively when the accumulated sunshine duration of each month decreased by 10 hours, the best lag period months was 1 month.

Conclusions In northern cities of China from 2008 to 2020, the temperature, relative humidity, precipitation and sunshine duration all had negatively impact on the morbidity of influenza, and temperature and relative humidity were the main sensitive meteorological factors. Temperature had a strong direct impact on the morbidity of influenza in 7 cities in northern China, and relative humidity had a strong lag effect on the morbidity of influenza in 3 cities in northeastern China. The duration of sunshine in 5 cities in northwestern China had a greater impact on the morbidity of influenza compared with 3 cities in northeastern China.

[Key words] Influenza; Meteorological factors; Panel data

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (91846302); National Science and Technology Major Project of China (2018ZX10713001-001)

流感是由流感病毒引起的急性呼吸道传染性疾病,主要通过呼吸道飞沫传播,其潜伏期短、传染性强、传播迅速^[1]。近 100 年来,全球范围内共发生了 4 次流感大流行,造成大量人员死亡,给人类社会造成巨大经济损失和健康危害^[2]。近年来,国内外开展了气温、相对湿度、降雨量和日照时长等气象因素与流感发病的相关性研究,表明气象因素与流感的发生和传播密不可分^[3-8],气象因素可影响流感病毒在环境中的存活时间、人体免疫力和人群生活行为方式等方面,进而影响流感的传播流行^[9]。本研究采用面板数据模型方法突破变量间的多重共线性问题,在排除主要社会因素影响情况下,对我国北方城市气象因素与流感发病的关联及其滞后作用进行定量评价,探索北方不同区域间气象因素对流感发病影响的差异,为基于气象因素的流感早期预警研究与应用实践提供参考依据。

资料与方法

1. 资料来源:2008-2020 年流感月度报告发病数据来自中国疾病预防控制中心信息系统;同期月度气象数据来自中国统计年鉴。研究以秦岭-淮河作为我国南北方地区的分界线,选择 15 个城市作为研究城市,包括西安市、兰州市、西宁市、银川市和乌鲁木齐市(西北 5 市)、北京市、天津市、石家庄市、太原市、呼和浩特市、济南市和郑州市(华北 7 市)、沈阳市、长春市和哈尔滨市(东北 3 市)。

2. 统计学分析:采用 Excel、R 4.2.0 和 Stata 12.0 软件对资料进行统计学分析和图形绘制。双侧检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。采用面板数据回归模型定量评估气象因素对流感发病的影响,研究中气象因素包括月均气温(°C)、月均相对湿度(%)、月累计降雨量(mm)和月累计日照时长(h)。面板数据指一组个体多个时期的观测数据,由时间序列数据和横断面数据相结合而成,包含个体、时期、变量的三维数据,能够检测单纯的时间序列和横断面数据不能检测到的效应。本研究数据包括我国北方 15 个城市 13 年共 156 个月的发病率数据及气象数据 2 个维度,是典型的面板数据。以当月的前 1 个月流感报告发病率的对数作为自回归项^[10],来控制相邻 2 个月流感发病之间的关联对评估结果的影响,同时引入人口密度(人/km²)这一主要变量作为协变量来控制社会因素的影响。根据既往研究发现,气象因素与流感传播流行关联的滞后期范围通常为 0~2 个月,采用 Spearman 相关分析方法探索不同滞后期气象变量与流感的相关性,结合不同滞后期气象变量与流感报告发病率单因素面板回归结果,分析确定最佳滞后期月数。将处于最佳滞后期月数的各研究变量纳入到多因素面板回归。采用 Hausman 检验或修正后的 Hausman 检验用于确定选择固定效应模型或者随机效应模型^[11]。采用 Chow 检验分析不同地区气象因素对流感发病影响的差异^[12],即在满足模型设定和假设条件时,通过在回归模型中引入气象变量与地区分组变量的交

乘项,以确定某气象变量的系数是否存在组间差异。不同地区仅月累计日照时长与月流感报告发病率的最佳滞后期相同(均为1个月),Chow 检验仅分析日照时长对流感发病的影响。模型公式:

$$y_{it} = \log(y_{i,t-1}) + \beta x_{itk} + month + density + block * x'_{it} + v_{it}$$

$$i = 1,2,3,\dots,15; t = 1,2,\dots,156; k = 1,2,3,4$$

式中, y_{it} 为第*i*个体(城市),第*t*个月的流感发病率; $\log(y_{i,t-1})$ 为自回归项; $x_{itk} = x_{it1} + x_{it2} + x_{it3} + x_{it4}$ 表示4个自变量,即气温、相对湿度、降雨量及日照时长; β 为待估计的参数,即回归系数; $month$ 为控制长期趋势的指标变量, $month=1, 2, 3, \dots, 156$; $density$ 为人口密度,用来控制社会因素的影响; $block * x'_{it}$ 即气象变量与地区分组变量的交乘项,用于分析不同地区日照时长对流感发病影响的差异; v_{it} 为随机误差项。

3. 资料处理:气象资料缺失值比例约4%,通过对不同填补方法的稳健分析比较,确定利用缺失值当月的月均数及后1个月的均数填入法进行处理。流感月报告发病率资料呈明显的正偏态分布,在分析前将其进行自然对数转换,对于某些城市某月份未报告流感发病的情形,用缺失值当月的月均数及后1个月的均数填入。发病率变化百分比(MCP)应用面板回归定量评估气象因素对流感发病的影响时,对因变量(发病率)作自然对数转换,在解释回归结果时,用MCP进行解释。公式:

$$\ln(y_2) = \beta_0 + \beta x_1 + \varepsilon$$

$$\ln(y_2) = \beta_0 + \beta(x_1 + \Delta x) + \varepsilon$$

$$\beta = \ln(y_2) - \ln(y_1) = \ln \frac{y_2}{y_1}; y_2 = y_1 e^\beta$$

$$MCP = \frac{y_2 - y_1}{y_1} \times 100\% = (e^\beta - 1) \times 100\%$$

式中, y_2 即自变量变化后的流感发病率; y_1 即自变量变化前的流感发病率; $x_1 + \Delta x$ 即自变量变化一定量单位,其中 $\Delta x = 1$,即自变量变化一个单位; $\ln(x)$ 即自然对数函数; β 即回归系数。

结 果

1. 基本情况:东北3市流感月报告发病率*M*为0.282 0/10万,低于华北7市(0.331 8/10万)和西北5市(0.462 2/10万);华北7市月均气温的*M*为14.7 °C,高于东北3市

(8.9 °C)和西北5市(11.3 °C);西北5市月累计日照时长的*M*为208.3 h,高于东北3市(204.9 h)和华北7市(193.6 h)。见表1。北方城市的流感发病具有明显的冬、春季高发特征,与月均气温、月均相对湿度、月累计降雨量以及月累计日照时长变化呈一定相反趋势,且可能存在不同的时间滞后影响关系。见图1。

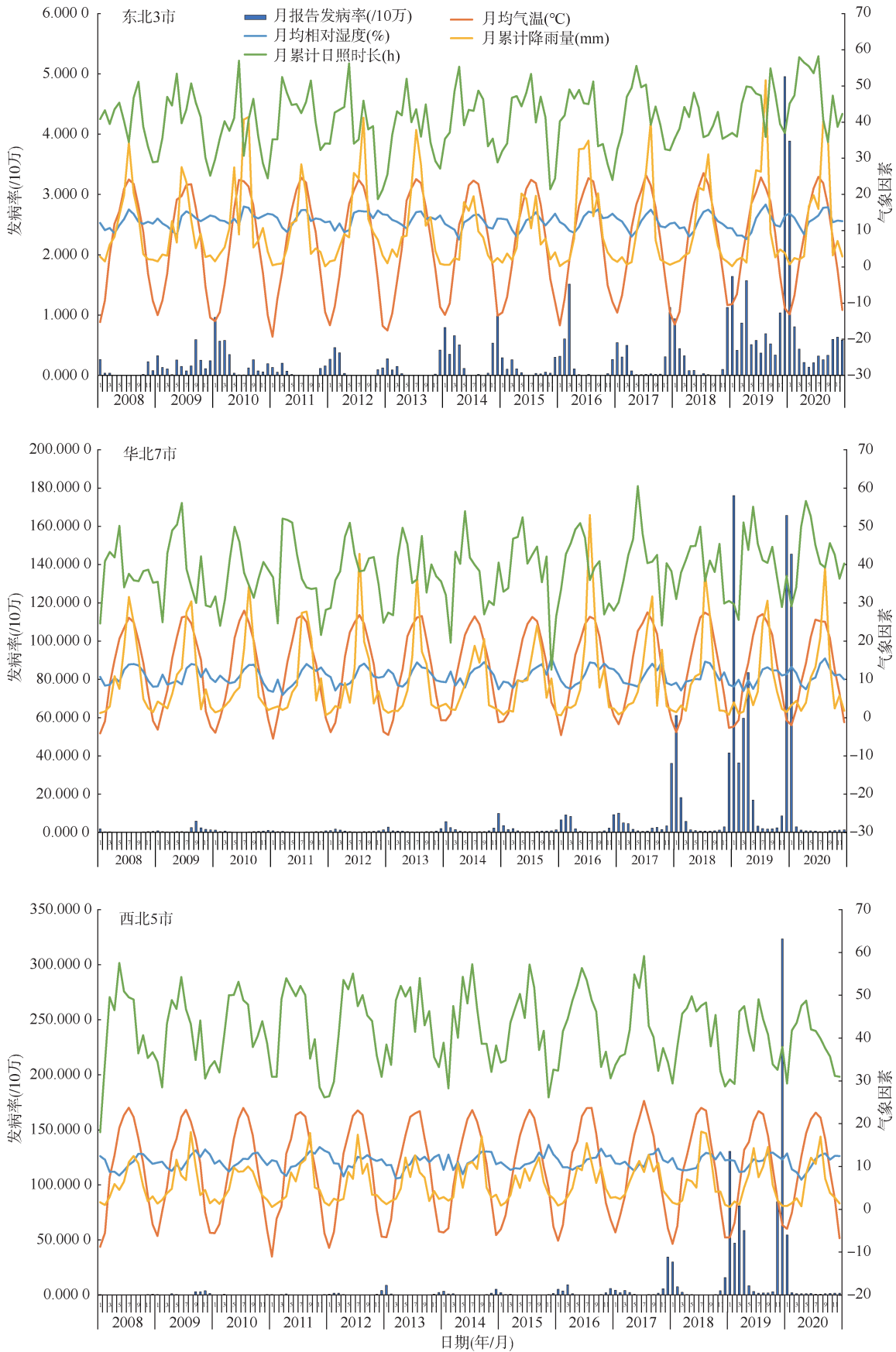
2. 流感发病与气象因素的最佳滞后期月数分析:综合流感月报告发病率与气象因素各滞后变量的Spearman 相关分析及单因素面板回归结果发现,月均气温、月均相对湿度、月累计降雨量及月累计日照时长的各滞后变量的相关分析及单因素面板回归分析结果均有统计学意义,确定相关系数最大的滞后月数作为最佳滞后期月数。东北3市、华北7市和西北5市的月均气温、月均相对湿度、月累计降雨量和月累计日照时长与流感月报告发病率的最佳滞后期月数分别为1、2、2和1个月,0、1、1和1个月及1、1、1和1个月。见表2。

3. 流感发病与气象因素关联关系的定量分析:将各气象因素的最佳滞后期月数纳入多因素面板

表1 2008-2020年我国北方15个城市流感报告发病率与气象因素的基本情况

变 量	最小值	最大值	<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)
流感月报告发病率(/10万)			
东北3市	0.009 3	9.645 8	0.282 0(0.063 4, 0.282 1)
华北7市	0.006 1	522.385 2	0.331 8(0.144 0, 1.585 2)
西北5市	0.011 8	630.507 9	0.462 2(0.213 0, 1.378 3)
月均气温(°C)			
东北3市	-21.1	26.9	8.9(-5.7, 19.1)
华北7市	-14.2	30.1	14.7(3.4, 22.7)
西北5市	-18.8	30.5	11.3(0.5, 18.7)
月均相对湿度(%)			
东北3市	33.0	88.0	65.0(55.0, 72.0)
华北7市	20.0	85.0	53.0(45.0, 64.0)
西北5市	23.0	89.0	56.0(45.0, 66.0)
月累计降雨量(mm)			
东北3市	0.1	446.9	27.6(10.8, 77.6)
华北7市	0.1	445.6	21.2(8.9, 64.0)
西北5市	0.1	284.3	21.2(7.1, 44.2)
月累计日照时长(h)			
东北3市	26.6	387.6	204.9(174.4, 236.8)
华北7市	25.4	339.4	193.6(160.1, 231.2)
西北5市	34.3	362.6	208.3(171.2, 249.1)

注:西北5市:西安市、兰州市、西宁市、银川市和乌鲁木齐市;华北7市:北京市、天津市、石家庄市、太原市、呼和浩特市、济南市和郑州市;东北3市:沈阳市、长春市和哈尔滨市



注:气象因素包括月均气温、月均相对湿度、月累计降雨量和月累计日照时长;除月均气温外,其余气象因素数值均除以5处理,回归分析使用气象因素原数据,展示于同一纵坐标中

图1 2008-2020年我国北方15个城市流感月报告发病率与气象因素分布

表 2 2008–2020 年我国北方 15 个城市流感发病与气象因素最佳滞后后期分析

变量	最佳滞后后期月数	r 值	β 值	P 值
月均气温				
东北 3 市	1	-0.205	-0.025	0.001
华北 7 市	0	-0.321	-0.062	0.001
西北 5 市	1	-0.544	-0.069	0.016
月均相对湿度				
东北 3 市	2	-0.106	-0.007	0.028
华北 7 市	1	-0.169	-0.012	0.014
西北 5 市	1	0.270	0.019	0.001
月累计降雨量				
东北 3 市	2	-0.241	-0.003	0.001
华北 7 市	1	-0.295	-0.005	0.001
西北 5 市	1	-0.345	-0.012	0.001
月累计日照时长				
东北 3 市	1	-0.193	-0.006	0.013
华北 7 市	1	-0.208	-0.007	0.001
西北 5 市	1	-0.410	-0.012	0.001

注:西北 5 市:西安市、兰州市、西宁市、银川市和乌鲁木齐市;华北 7 市:北京市、天津市、石家庄市、太原市、呼和浩特市、济南市和郑州市;东北 3 市:沈阳市、长春市和哈尔滨市

回归分析模型,东北 3 市的校正 Hausman 检验和随机效应模型分析结果显示,当月的月均气温每下降 5 °C, MCP 为 11.35%;相比于当月,前 2 个月的月均相对湿度每下降 10%, MCP 为 15.84%;当月的月均气温每下降 5 °C, MCP 为 34.04%;当月的月均相对湿度每下降 10%, MCP 为 14.80%;月累计降雨量和月累计日照时长滞后 1 个月对流感发病的影响无统计学意义 ($\chi^2=0.79, P=0.992$)。华北 7 市的 Hausman 检验提示随机效应模型分析结果表明,当月的月均气温每下降 5 °C, MCP 为 34.04%;当月的月均相对湿度每下降 10%, MCP 为 14.80%;月累计降雨量和月累计日照时长滞后 1 个月对流感发病的影响无统计学意义 ($\chi^2=0.54, P=0.970$)。西北 5 市的 Hausman 检验提示选用随机效应模型分析结果表明,当月的月均气温每下降 5 °C, MCP 为 25.04%;当月的月均相对湿度每下降 10%, MCP 为 15.84%;月累计降雨量滞后 2 个月对流感发病的影响无统计学意义 ($\chi^2=0.79, P=0.992$)。

少 10 mm, MCP 为 4.50%;当月的月均相对湿度每下降 10%, MCP 为 15.84%;当月的月均气温每下降 5 °C, MCP 为 34.04%;当月的月均相对湿度每下降 10%, MCP 为 14.80%;月累计降雨量和月累计日照时长滞后 1 个月对流感发病的影响无统计学意义 ($\chi^2=4.10, P=0.393$) (表 3)。引入月累计日照时长与地区分组变量交乘项进一步在模型中进行 Chow 检验分析,结果显示,东北 3 市和西北 5 市的月累计日照时长对流感发病影响的差异有统计学意义 ($t=-4.24, P=0.001$),西北 5 市高于东北 3 市。

讨 论

流感作为常见的急性呼吸道传染病,在不同纬度具有不同的流行规律,即使在同一纬度,不同的地区间,其流行规律也存在一定差异,与气象因素存在一定关联。本研究探索我国东北 3 市、华北 7 市和西北 5 市的气象因素对流感发病的关联及地区间差异,可为进一步探索基于气象因素的流感早期预警预测提供科学依据。研究采用的面板模型分析方法相对于传统的横截面或者时间序列分析方法,能够增加自由度,减少变量间多重共线性,提高估计效率^[13-14],对于发病情况不同的多个地区的连续监测数据,在分析影响因素时具有良好的适用

表 3 2008–2020 年我国北方 15 个城市流感发病和气象因素及人口密度多因素面板回归分析

变量	β 值(95%CI)	P 值	发病率变化百分比(%) ^a
东北 3 市			
月均气温滞后 1 个月	-0.022(-0.035~-0.008)	0.001	11.35(4.19~18.95)
月均相对湿度滞后 2 个月	-0.015(-0.029~-0.001)	0.037	15.84(0.30~33.91)
月累计降雨量滞后 2 个月	0.002(-0.001~0.005)	0.243	-
月累计日照时长数滞后 1 个月	-0.004(-0.007~-0.001)	0.014	4.19(1.21~7.25)
人口密度	0.004(-0.002~0.011)	0.206	-
华北 7 市			
月均气温滞后 0 个月	-0.059(-0.070~-0.047)	0.001	34.04(26.62~41.84)
月均相对湿度滞后 1 个月	-0.014(-0.024~-0.004)	0.004	14.80(3.87~26.87)
月累计降雨量滞后 1 个月	0.001(-0.001~0.003)	0.287	-
月累计日照时长数滞后 1 个月	-0.002(-0.005~0.001)	0.080	-
人口密度	0.006(0.005~0.007)	0.001	-5.64(-6.57~-4.78)
西北 5 市			
月均气温滞后 1 个月	-0.045(-0.059~-0.030)	0.001	25.04(16.36~34.38)
月均相对湿度滞后 1 个月	0.003(-0.008~0.014)	0.605	-
月累计降雨量滞后 1 个月	-0.004(-0.008~-0.001)	0.036	4.50(0.50~8.65)
月累计日照时长滞后 1 个月	-0.006(-0.009~-0.003)	0.014	5.97(2.53~9.53)
人口密度	0.016(0.014~0.018)	0.009	-14.70(-16.64~12.80)

注:^a除气温变化(减少)5 个单位(°C)外,其他变量变化(减少)10 个单位(%/mm/h/人/km²);西北 5 市:西安市、兰州市、西宁市、银川市和乌鲁木齐市;华北 7 市:北京市、天津市、石家庄市、太原市、呼和浩特市、济南市和郑州市;东北 3 市:沈阳市、长春市和哈尔滨市

性及合理性^[15-17]。本研究的 15 个北方城市处于北温带,具有年度单一冬、春季流行高峰特征,相比于其他研究,分析流感与气象因素之间的滞后性、控制人口密度的主要社会因素影响,能够较为精准地定量评估流感发病与气象因素之间的关联,阐明北方不同地域气象因素对流感发病影响的差异。

本研究结果提供了气温、相对湿度、降雨量及日照时长与流感发病之间关联性的证据,除西北 5 市的月均相对湿度对流感发病的影响无统计学意义外,其余地区的月均气温、月均相对湿度对流感发病的影响均有统计学意义,呈现负关联,是影响人群流感发病水平较敏感的气象因素,与之前的相关研究结果一致^[3, 18-20]。温度可通过影响病毒的存活时间、宿主的敏感性来对疾病的发生及传播产生影响。流感病毒在 0~4 °C 可存活数周,在 -70 °C 可存活数年^[21]。本研究聚焦于研究气温等对东北 3 市、华北 7 市及西北 5 市流感发病影响的差异,相比于栾桂杰和周脉耕^[22]的研究,更加精细化,结论更精确,结果表明月均气温对华北 7 市流感发病影响的最佳滞后期为当月,有较强的直接影响。低温的滞后期一般较长,高温的滞后期一般较短,其可通过影响病毒的存活时间来维持这种滞后作用^[23],华北 7 市的温度在北方地区处于较高水平,显示出较强的直接影响效应。部分热带及亚热带的研究发现湿度与流感发病无关联或正相关,但多数温带地区的研究发现流感活动水平升高与低湿有关,可能与研究地点的地理位置、气候等有关^[9]。相关实验也证明,干燥的条件有利于流感病毒通过气溶胶传播,如在 20 °C 的气温下,较低的相对湿度(20%~35%)比较高的相对湿度(50%~80%)流感的传播效率更高^[24]。本研究发现,相对湿度与流感发病为负关联,对东北 3 市流感发病有较强的滞后作用,与王莹婧等^[18]研究相比,本研究也发现了类似的地区差异,不同的是多了对滞后效应的描述,对湿度影响作用的分析更全面。东北 3 市寒冷高湿的气候除了影响病毒的存活外,更多的是对人群行为改变,如室内及聚集活动的增加以及人群免疫力等产生影响,导致东北 3 市相对湿度显示出较强的滞后作用。

一定量的降雨能降低流感的传播风险,过多的降雨也会加剧拥挤和室内住宿以及湿度的增加造成的空气流通下降,从而导致流感的发病增加。西北地区深居内陆,远离海洋,四周山脉的阻挡导致海洋气流不易到达,具有典型的温带大陆性气候特

点,即气候干燥、降水量少。研究发现月累计降雨量与流感发病呈负关联,且仅对西北 5 市流感发病的影响有统计学意义。多数在雨量丰沛、干湿季分明的热带/亚热带地区开展的研究认为降雨量与流感发病呈正相关^[25]。考虑到降雨量在模型中的贡献度及多数研究结果的提示,本研究支持降雨量在温带地区可能不是流感活动的强协变量这一观点。日照可通过太阳光中的紫外线辐射杀灭病毒、促进人体维生素 D 的生成来影响流感的发生,研究结果发现,流感发病与日照时长呈现负关联,与国内外研究的结论一致^[18, 26]。相比于同类型的其他研究,本研究进一步发现了日照时长对北方不同地域流感发病影响的差异,即相比于北方其他地区,西北 5 市常年较高的日照时长对流感的发病有更强的影响。

本研究存在局限性。一是流感活动指标为流感报告发病率,来自基于被动监测的中国疾病预防控制中心信息系统,易受各地流感检测诊断能力和报告质量的影响。2017 年以后随着全国流感监测防控有关工作的强化,临床流感快速检测试剂的应用与发展等因素将直接影响流感报告发病水平。二是限于资料的可及性,研究时间尺度为月份,如可细化到以周为单位,则可更精准地分析探索气象因素对流感发病影响的滞后时间以及地区间差异,为基于气象因素的流感早期预警预测提供更好的指导。

综上所述,2008-2020 年我国北方 15 个城市的气温、相对湿度、降雨量及日照时长与流感的发病均为负关联,气温和相对湿度是主要的敏感气象因素。气温对华北 7 市流感的发病有较强的直接影响作用,相对湿度对东北 3 市流感的发病有较强的滞后作用,西北 5 市的日照时长对流感发病的影响高于东北 3 市。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

志谢 感谢中国军事科学院军事医学研究院方立群研究员对论文分析方法的指导,感谢中国疾病预防控制中心传染病管理处张小栋老师对英文摘要的修改

作者贡献声明 邓源:文章撰写、统计分析;郭玉清、耿梦杰、张翠红:数据收集、论文修改指导;黄硕、林帆:数据整理、论文修改指导;任翔、王丽萍:研究设计、论文审阅、经费支持

参 考 文 献

- [1] Paules C, Subbarao K. Influenza[J]. *Lancet*, 2017, 390(10095):697-708. DOI:10.1016/S0140-6736(17)30129-0.
- [2] Saunders-Hastings PR, Krewski D. Reviewing the history of pandemic influenza: understanding patterns of emergence and transmission[J]. *Pathogens*, 2016, 5(4): 66. DOI:10.3390/pathogens5040066.

- [3] Price RHM, Graham C, Ramalingam S. Association between viral seasonality and meteorological factors[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 929. DOI: 10.1038/s41598-018-37481-y.
- [4] Gomez-Barroso D, León-Gómez I, Delgado-Sanz C, et al. Climatic factors and influenza transmission, Spain, 2010-2015[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14(12):1469. DOI:10.3390/ijerph14121469.
- [5] Bai YL, Huang DS, Liu J, et al. Effect of meteorological factors on influenza-like illness from 2012 to 2015 in Huludao, a northeastern city in China[J]. *Peer J*, 2019, 7: e6919. DOI:10.7717/peerj.6919.
- [6] Iha Y, Kinjo T, Parrott G, et al. Comparative epidemiology of influenza A and B viral infection in a subtropical region: a 7-year surveillance in Okinawa, Japan[J]. *BMC Infect Dis*, 2016, 16(1):650. DOI:10.1186/s12879-016-1978-0.
- [7] Dai QG, Ma W, Huang HD, et al. The effect of ambient temperature on the activity of influenza and influenza like illness in Jiangsu province, China[J]. *Sci Total Environ*, 2018, 645:684-691. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.07.065.
- [8] Emukule GO, Mott JA, Spreuwenberg P, et al. Influenza activity in Kenya, 2007-2013: timing, association with climatic factors, and implications for vaccination campaigns[J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2016, 10(5):375-385. DOI:10.1111/irv.12393.
- [9] 郭倩, 陈涛, 周罗晶. 季节性流感与气象因素相关性的系统评价[J]. *疾病监测*, 2020, 35(12): 1081-1087. DOI: 10.3784/j.issn.1003-9961.2020.12.007.
- Guo Q, Chen T, Zhou LJ. Correlation between seasonal influenza and meteorological factors: a systematic review[J]. *Dis Surveill*, 2020, 35(12): 1081-1087. DOI: 10.3784/j.issn.1003-9961.2020.12.007.
- [10] Imai C, Armstrong B, Chalabi Z, et al. Time series regression model for infectious disease and weather[J]. *Environ Res*, 2015, 142: 319-327. DOI: 10.1016/j.envres.2015.06.040.
- [11] 连玉君, 王闻达, 叶汝财. Hausman 检验统计量有效性的 Monte Carlo 模拟分析[J]. *数理统计与管理*, 2014, 33(5): 830-841. DOI: 10.13860/j.cnki.sltj-20140922-024.
- Lian YJ, Wang WD, Ye RC. The efficiency of Hausman test statistics: a Monte-Carlo investigation[J]. *J Appl Stat. Manage*, 2014, 33(5): 830-841. DOI: 10.13860/j.cnki.sltj-20140922-024.
- [12] 连玉君, 廖俊平. 如何检验分组回归后的组间系数差异[J]. *郑州航空工业管理学院学报*, 2017, 35(6): 97-109. DOI: 10.19327/j.cnki.zuaxb.1007-9734.2017.06.010.
- Lian YJ, Liao JP. How to test the differences in coefficients between groups after grouped regression? [J]. *J Zhengzhou Univ Aeronaut*, 2017, 35(6): 97-109. DOI: 10.19327/j.cnki.zuaxb.1007-9734.2017.06.010.
- [13] Hsiao C. *Analysis of panel data*[M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. DOI: 10.1017/CB09780511754203.
- [14] Mátyás L, Sevestre P. *The econometrics of panel data: a handbook of the theory with applications* [M]. 2nd ed. Dordrecht: Springer, 1996. DOI: 10.1007/978-94-009-0137-7.
- [15] 王鲁茜, 闫梅英, 方立群, 等. 云南省伤寒副伤寒空间分布特征及其气候影响因素研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2011, 32(5): 485-489. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.05.015.
- Wang LX, Yan MY, Fang LQ, et al. Typhoid and paratyphoid fever in Yunnan province: distributional patterns and the related meteorological factors[J]. *Chin J Epidemiol*, 2011, 32(5): 485-489. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.05.015.
- [16] 许新, 刘志东, 韩德彪, 等. 辽宁省 2004-2010 年洪涝灾害对细菌性痢疾发病影响的分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2016, 37(5): 686-688. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2016.05.020.
- Xu X, Liu ZD, Han DB, et al. Study on influence of floods on bacillary dysentery incidence in Liaoning province, 2004-2010[J]. *Chin J Epidemiol*, 2016, 37(5): 686-688. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2016.05.020.
- [17] 冯国双, 于石成, 胡跃华. 面板数据模型在手足口病与气温关系研究中的应用[J]. *中国预防医学杂志*, 2013, 14(12): 910-913. DOI: 10.16506/j.1009-6639.2013.12.008.
- Feng GS, Yu SC, Hu YH. Application of panel data model in the study of the relationship between reported hand-foot-mouth morbidity and temperature[J]. *Chin Prev Med*, 2013, 14(12): 910-913. DOI: 10.16506/j.1009-6639.2013.12.008.
- [18] 王莹婧, 张明鑫, 李浩, 等. 区域地理环境因素对中国流感发病的影响分析[J]. *地理研究*, 2022, 41(8): 2311-2324. DOI: 10.11821/dlyj020210588.
- Wang YJ, Zhang MX, Li H, et al. Analysis of the influence of regional geographical environmental factors on the incidence of influenza in China[J]. *Geogr Res*, 2022, 41(8): 2311-2324. DOI: 10.11821/dlyj020210588.
- [19] Du Prel JB, Puppe W, Gröndahl B, et al. Are meteorological parameters associated with acute respiratory tract infections? [J]. *Clin Infect Dis*, 2009, 49(6): 861-868. DOI: 10.1086/605435.
- [20] de Arróyabe Hernández PF. Climate, weather and flu diagnoses incidence in the region of Santander (Northern Spain) during the 1999-2000 epidemic diffusion period [J]. *Aerobiologia*, 2004, 20(4): 223-228. DOI: 10.1007/s10453-004-1186-z.
- [21] 詹思延, 叶冬青, 谭红专. *流行病学*[M]. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 369.
- Zhan SY, Ye DQ, Tan HZ. *Epidemiology*[M]. 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013: 369.
- [22] 栾桂杰, 周脉耕. 中国 2004-2016 年冬季低温与流感发病的相关性研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(3): 368-372. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.03.017.
- Luan GJ, Zhou MG. Correlation between low air temperature and influenza incidence in winter in China, 2004-2016[J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(3): 368-372. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.03.017.
- [23] 王海涛, 刘志东, 劳家辉, 等. 浙江省气温对其他感染性腹泻的滞后效应及影响因素[J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(8): 960-964. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.016.
- Wang HT, Liu ZD, Lao JH, et al. Lag effect and influencing factors of temperature on other infectious diarrhea in Zhejiang province[J]. *Chin J Epidemiol*, 2019, 40(8): 960-964. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.08.016.
- [24] Lowen AC, Mubareka S, Steel J, et al. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature[J]. *PLoS Pathog*, 2007, 3(10): e151. DOI: 10.1371/journal.ppat.0030151.
- [25] Alonso WJ, Guillebaud J, Viboud C, et al. Influenza seasonality in Madagascar: the mysterious African free-runner[J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2015, 9(3): 101-109. DOI: 10.1111/irv.12308.
- [26] Charland KML, Buckeridge DL, Sturtevant JL, et al. Effect of environmental factors on the spatio-temporal patterns of influenza spread[J]. *Epidemiol Infect*, 2009, 137(10): 1377-1387. DOI: 10.1017/S0950268809002283.