

中国2004—2016年冬季低温与流感发病的相关性研究

栾桂杰¹ 周脉耕²

¹山东省疾病预防控制中心免疫预防管理所, 济南 250014; ²中国疾病预防控制中心慢性非传染病疾病预防控制中心, 北京 100050

通信作者: 栾桂杰, Email: luanguijie@sina.com

【摘要】 目的 探讨中国31个省份冬季低温与流感发病之间的关联性。方法 收集31个省份2004年1月至2016年12月流感的发病数据和气象数据。运用分布滞后非线性模型, 控制长期趋势、“星期几效应”等的影响, 分析低温与流感发病的相关性。结果 全国流感发病率从2004年的4/10万增加到2016年的22/10万, 整体呈现增高的趋势, 黑龙江、辽宁、吉林等省份历年的发病率均<5/10万, 处于较低的发病水平, 而甘肃、河北、广东、北京等省份的流感发病率较高, 部分年份的发病率>30/10万。在1—6月, 随着气温的升高, 流感的发病呈现逐渐降低的趋势, 而在7—12月随着气温的降低, 流感的发病呈现逐渐升高的趋势。低温对流感发病影响最高的省份, 冬季前期是北京($RR=2.90, 95\%CI: 2.57 \sim 3.28$), 冬季后期是西藏($RR=3.37, 95\%CI: 2.03 \sim 5.58$); 低温对流感发病影响最高的区域, 冬季前期是东北地区($RR=2.04, 95\%CI: 1.48 \sim 2.79$), 冬季后期是华南地区($RR=1.77, 95\%CI: 1.61 \sim 1.94$)。冬季前期和冬季后期低温对流感发病的影响存在地区差异。结论 冬季低温与流感发病之间存在关联性, 冬季前期和后期低温对流感发病的影响存在地区差异。

【关键词】 低温; 流感; 发病; 冬季

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.03.017

Correlation between low air temperature and influenza incidence in winter in China, 2004–2016

Luan Guijie¹, Zhou Maigeng²

¹Institute for Immunization Management, Shandong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Jinan 250014, China; ²National Center for Chronic and Non-communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China

Corresponding author: Luan Guijie, Email: luanguijie@sina.com

【Abstract】 Objective To explore the association between low air temperature and influenza incidence in winter in 31 provinces in China. **Methods** Influenza incidence and meteorological data were collected from January, 2004 to December, 2016 in 31 provinces in China. Distributed lag nonlinear model was applied to evaluate the association between low air temperature and influenza incidence in early and late winter, after controlling for the long-term trend, as well as the effect of “day of week”. **Results** The influenza incidence increased from 4/100 000 in 2004 to 22/100 000 in 2016 in China, showing an overall increasing trend. The incidences of some provinces were lower than 5/100 000, such as Heilongjiang, Liaoning and Jilin, but the incidences of influenza in Gansu, Hebei, Guangdong, Beijing were higher than 30/100 000 in some years. From January to June, the influenza incidence showed a decreasing trend with the increase of air temperature, but the influenza incidence showed a rising trend from July to December with the decrease of air temperature. In early winter, low air temperature had the highest influence on the incidence of influenza in Beijing, the RR was 2.90 (2.57–3.28), but in late winter, low air temperature had the highest influence on the incidence of influenza in Tibet, the RR was 3.37 (2.03–5.58). In early winter, low temperature had the highest influence on the incidence of influenza in northeastern China, the RR was 2.04 (1.48–2.79), but in late winter, low air temperature had the highest influence in southern China, the RR was 1.77 (1.61–1.94). There were area specific difference in the influence of low air temperature on the incidence of influenza between early winter and late winter. **Conclusions** The correlation between low air temperature in winter and influenza incidence exists. The influenza of early and late winter on influenza incidence varies with different areas. We should take appropriate protective measures

according to local conditions.

【Key words】 Low air temperature; Influenza; Incidence; Winter
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.03.017

流感是由流感病毒引起的容易造成暴发和流行的急性呼吸道传染病,传播途径以空气和飞沫传播为主,外界环境因素(如气温、湿度等)会对其传播造成影响^[1-4]。当前国内外关于气温对疾病死亡的研究已经非常广泛^[5-8],但是对流感的发病研究相对较少。本研究利用我国31个省份的流感发病数据和气象数据,采用分布滞后非线性模型(distributed lag non-linear model, DLNM),探究低温与流感发病之间的相关性,评估冬季前期和后期不同低温条件对流感发病的影响差异,为制定合理的防护措施提供依据。

资料与方法

1. 资料来源:2004年1月至2016年12月的31个省(自治区、直辖市)的流感发病数来源于中国疾病预防控制中心公共卫生科学数据中心,同期的气象数据(平均气温、相对湿度)来源于中国气象科学数据共享网。

2. 研究方法:

(1)冬季低温期:将12月至次年3月定义为冬季低温期,其中12月和1月定义为冬季前期,2—3月定义为冬季后期。

(2)区域划分^[9]:根据地理区域划分为华北(北京、天津、山西、河北、内蒙古)、华东(上海、江苏、浙江、安徽、江西、山东、福建)、华中(河南、湖北、湖南)、华南(广东、广西、海南)、西南(重庆、四川、贵州、云南、西藏)、西北(陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆)和东北(黑龙江、吉林、辽宁)7大区域。另外,北方省份包括北京、甘肃、河北、河南、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、宁夏、青海、山东、山西、陕西、天津、新疆,南方省份包括安徽、贵州、湖北、上海、云南、浙江、福建、广东、广西、海南、湖南、江苏、江西、四川、西藏、重庆。

(3)模型选择:DLNM模型目前被广泛应用于研究气温对疾病发生和死亡影响的研究^[10],其将平均气温以交叉基(cross basis)的形式纳入模型,并且能够控制相对湿度、长期趋势、星期几效应等混杂因素的影响,模型公式:

$$\log(Y) = \alpha + NS(\text{Time}, df) + NS(\text{Humidity}, df) + \text{Dow} + \beta \text{Temp}$$

式中:Y代表发病人数; α 是常数项;NS是三次样条函

数;Time是表示长期趋势和季节影响的时间变量;df是自由度;Humidity是相对湿度;Dow是星期几效应;Temp是平均温度的交叉基; β 是Temp的系数。拟合模型中的自由度根据赤池信息准则进行最优选择,气温和滞后时间的df为4,相对湿度df为3,时间变量df为7。

模型分为单一城市和整体效应两部分。我们采用DLNM模型计算每个省份气温对流感发病影响的RR值,得到气温对流感发病影响的单一城市效应。将单一城市效应进行整合得到整体效应需要应用多变量Meta分析,多变量Meta分析主要用来拟合不同省份之间存在的经济、社会因素等混杂因素的影响,以便得到暴露反应关系的最佳线性无偏预测^[10],进而可以计算不同地理区域低温对发病影响的整体暴露反应关系。以模型拟合的最低发病气温作为参考值^[12],分别计算冬季前期和冬季后期低温对流感发病影响的RR值。

3. 统计学分析:运用R3.5.0软件的“dlnm”和“mvmeta”程序包进行模型的构建,并通过改变模型中最长滞后时间、长期趋势和相对湿度的自由度等参数对模型稳定性进行敏感性分析。

结果

1. 基本情况:

(1)流感病例发病:2004—2016年,流感的发病呈现逐年增高的趋势,东北、西北地区流感的发病数较少,华南、华中地区流感的发病数相对较多(图1,2);黑龙江、辽宁、吉林等省份历年的发病率均低于5/10万,处于较低的发病水平;甘肃、河北、广东、北京等省份某些年份的流感发病率高于30/10万,处于较高的发病水平。广东、河北、河南、北京、湖南、浙江、安徽、甘肃8个省份冬季低温期的流感月平均发病人数超过500人,其中广州(2 103人)

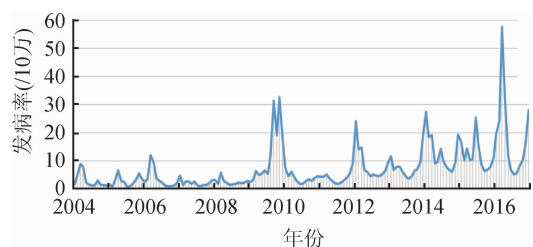


图1 2004—2016年中国流感病例报告发病率

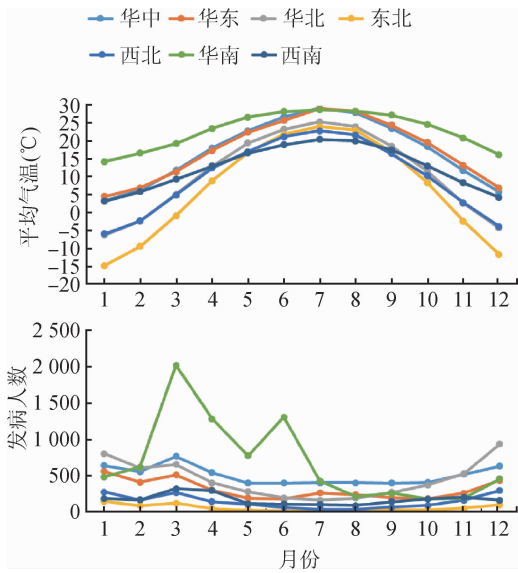


图2 平均气温与流感发病人数的月分布

和河北(1 784人)超过1 000人。见表1。

(2)气象因素:平均气温由北向南呈现逐渐升高

的趋势,黑龙江、新疆、吉林、辽宁4个省平均气温在-10℃以下;冬季前期的平均气温的最低值为-16.1℃(黑龙江),最高值为18.5℃(海南),冬季后期的平均气温的最低值为-8.4℃(新疆),最高值为20.5℃(河北);安徽、北京、甘肃、广西、贵州、河北、黑龙江、湖北、湖南、吉林、江西、辽宁、内蒙古、宁夏、青海、山西、陕西、上海、四川、天津、西藏、新疆、浙江23个省份冬季前期的平均温度低于冬季后期;广东、海南、河南、江苏、山东、云南6个省冬季前期的平均温度高于冬季后期;重庆、福建2个省冬季前期和冬季后期的平均气温差异不大(表2)。

2. 冬季低温与流感发病的关联性:气温呈现先升高后降低的趋势,在1—6月,随着气温的升高,流感的发病呈现逐渐降低的趋势,而在7—12月却正好相反,随着气温的降低,流感的发病呈现逐渐升高的趋势;在4—11月,流感的发病处于平稳的较低水平,而在冬季低温期的12月至次年3月,流感的发病

表1 2004—2016年中国各省份流感发病情况

省份	低温期月 发病人数	发病率(10万)												
		2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
安徽	546	1.15	1.80	2.34	1.51	1.10	5.69	4.35	5.49	9.48	9.99	16.01	18.50	23.52
北京	781	0.05	0.78	1.89	1.40	2.05	30.37	4.73	1.99	4.97	11.44	49.06	15.98	93.43
福建	415	1.91	1.36	1.74	1.01	2.47	16.63	5.79	6.17	12.29	12.74	22.53	21.64	26.91
甘肃	509	3.74	4.30	16.24	14.16	9.64	30.31	8.64	10.65	20.26	19.07	24.57	19.52	32.62
广东	2 103	6.25	6.48	8.78	3.01	3.53	21.12	6.18	4.41	12.32	16.36	47.72	43.10	77.62
广西	454	17.72	7.00	4.29	1.97	2.00	24.85	2.54	2.70	5.33	6.50	11.52	9.39	17.92
贵州	275	14.60	18.47	4.73	2.83	4.29	27.64	3.31	2.53	5.29	7.98	6.49	9.49	9.69
海南	35	1.54	4.28	0.58	1.20	0.75	6.74	2.38	1.16	4.73	6.05	9.64	7.78	11.50
河北	1 784	2.83	5.75	10.39	12.58	16.73	21.58	19.45	22.86	28.64	28.93	34.17	30.52	38.81
河南	909	0.80	2.02	3.19	2.89	3.84	9.38	4.15	6.66	11.74	14.36	16.61	18.57	23.36
黑龙江	76	0.05	0.17	0.06	0.14	0.22	3.68	1.40	0.70	1.18	0.40	2.08	1.12	2.76
湖北	423	0.26	2.12	2.74	3.17	3.22	27.04	3.49	5.44	9.51	6.00	8.73	15.82	19.84
湖南	663	1.51	1.06	1.41	3.02	5.70	30.56	6.85	8.00	10.00	12.26	15.87	12.92	23.43
吉林	104	0.02	0.11	0.18	0.61	0.55	1.25	2.62	0.97	3.22	2.12	3.86	2.34	3.19
江苏	401	0.49	1.38	6.23	2.61	0.75	6.84	2.93	1.28	3.56	3.09	5.04	5.15	6.54
江西	411	3.49	2.96	4.73	2.52	3.85	14.22	5.75	8.63	11.63	12.82	17.77	18.44	20.72
辽宁	136	0.01	0.16	0.21	0.30	0.14	1.80	2.87	0.55	2.05	2.99	3.99	3.41	4.62
内蒙古	161	0.44	0.23	9.60	1.22	0.20	7.95	1.40	2.10	7.09	6.62	9.51	5.50	8.50
宁夏	147	3.31	4.50	5.29	9.06	11.21	47.39	21.56	7.05	22.14	15.92	22.46	13.98	21.47
青海	47	4.26	3.53	3.26	1.88	0.85	3.81	1.74	2.63	4.47	8.50	12.24	4.73	13.03
山东	420	0.17	0.10	0.18	0.31	0.46	4.84	3.25	2.41	4.30	4.00	6.32	5.02	7.30
山西	494	0.17	0.24	2.15	0.79	0.51	7.20	2.30	4.44	17.28	16.49	22.34	17.08	20.43
陕西	396	2.87	0.92	0.95	0.93	0.92	16.71	1.70	3.61	11.27	13.15	14.20	9.51	15.75
上海	412	0.11	0.05	0.43	2.23	1.45	7.37	12.64	5.71	17.18	8.91	20.17	24.86	19.75
四川	287	14.41	6.30	2.50	2.12	2.10	11.63	1.87	1.82	3.05	2.44	2.68	3.12	4.86
天津	203	0.14	3.62	16.07	7.73	5.35	6.01	4.26	3.21	7.41	4.47	15.71	6.60	15.43
西藏	34	16.43	27.69	24.18	19.18	4.33	6.41	2.17	3.03	0.89	0.23	4.26	0.63	0.34
新疆	153	0.51	4.96	6.26	2.10	2.86	13.84	4.16	0.99	4.06	4.07	9.31	3.48	10.36
云南	223	0.01	8.50	10.08	0.97	0.88	16.87	1.58	2.11	4.47	6.09	3.70	4.15	5.60
浙江	618	8.04	4.10	8.78	1.88	1.77	14.23	6.29	3.67	5.31	6.03	17.64	14.47	25.99
重庆	217	10.71	8.40	4.15	2.38	6.35	41.00	3.36	3.99	8.77	6.68	7.02	7.88	10.45

表2 2004—2016年中国31个省份气象因素基本情况

省份	平均气温(℃)		平均湿度(%)	省份	平均气温(℃)		平均湿度(%)
	冬季前期	冬季后期			冬季前期	冬季后期	
安徽	4.0	8.3	71	辽宁	-10.5	10.5	62
北京	-1.9	3.9	43	内蒙古	-9.5	-5.4	46
福建	12.2	12.6	71	宁夏	-5.8	-2.8	46
甘肃	-0.6	13.3	59	青海	-7.4	1.6	48
广东	14.1	5.4	72	山东	0.5	-0.8	49
广西	12.9	16.9	78	山西	-3.7	8.7	48
贵州	4.5	16.3	80	陕西	4.0	6.1	75
海南	18.5	8.6	82	上海	6.0	8.7	69
河北	-8.6	20.5	47	四川	-3.0	2.7	42
河南	2.1	-1.0	52	天津	-2.5	1.8	52
黑龙江	-16.1	-7.6	66	西藏	-0.9	3.3	60
湖北	4.8	7.5	74	新疆	-14.6	-8.4	70
湖南	6.5	9.3	74	云南	9.5	1.4	60
吉林	-13.4	10.3	61	浙江	6.0	13.6	70
江苏	4.2	-2.0	68	重庆	8.9	9.2	78
江西	6.9	7.9	71				

会明显增多,见图2。

不同城市冬季低温与流感发病的关联性:冬季前期和冬季后期低温对流感发病的影响存在明显的南北差异。在所有的15个北方省份中,均是冬季前期低温对发病的影响高于冬季后期;在16个南方省份中,有6个省份(安徽、贵州、湖北、上海、云南、浙江)冬季前期低温对发病的影响高于冬季后期,其余10个省份(福建、广东、广西、海南、湖南、江苏、江西、四川、西藏、重庆)冬季后期低温对发病的影响要高于冬季前期,见表3。

不同区域冬季低温与流感发病的关联性:在7大地理分区中,华东、华北、东北和西北4个区域冬季前期低温对流感发病的影响高于冬季后期,而在华南和西南2个区域,冬季后期低温对发病的影响高于冬季前期,在华中地区,冬季前期和后期对发病的影响基本相同。

3. 模型敏感性分析:分布滞后非线性模型的残差在0上下对称分布,并且改变最长滞后时间、长期趋势和相对湿度的自由度等参数,模型的拟合结果无大的波动,提示模型整体稳定。

讨论

本研究提供了冬季低温与流感发病之间关联性的证据,这与之前的相关研究结果一致^[13],通过研究可以证实,冬季低温会明显增加流感的发病风险,且在冬季前期和冬季后期会存在地域差异。在绝大多数冬季前期气温低于后期的省份,低温在前期对流感发病影响的RR值要高于后期,与之相对应的是,

表3 低温对不同省份流感发病影响的相对危险度

省份	冬季前期	冬季后期
安徽	1.45(1.28 ~ 1.65)	1.30(1.14 ~ 1.49)
北京	2.90(2.57 ~ 3.28)	1.71(1.49 ~ 1.95)
福建	1.25(1.08 ~ 1.44)	1.33(1.15 ~ 1.54)
甘肃	1.51(1.32 ~ 1.73)	1.33(1.16 ~ 1.53)
广东	0.59(0.55 ~ 0.64)	1.86(1.75 ~ 1.97)
广西	1.22(1.06 ~ 1.40)	1.39(1.21 ~ 1.59)
贵州	1.00(0.85 ~ 1.18)	0.98(0.82 ~ 1.15)
海南	0.76(0.45 ~ 1.27)	1.36(0.87 ~ 2.14)
河北	1.59(1.48 ~ 1.70)	1.22(1.13 ~ 1.31)
河南	1.39(1.27 ~ 1.54)	1.14(1.03 ~ 1.26)
黑龙江	1.78(1.23 ~ 2.57)	1.69(1.16 ~ 2.45)
湖北	1.12(0.98 ~ 1.28)	1.00(0.87 ~ 1.15)
湖南	0.96(0.85 ~ 1.08)	1.40(1.25 ~ 1.55)
吉林	2.51(1.80 ~ 3.50)	1.78(1.25 ~ 2.54)
江苏	1.71(1.46 ~ 2.02)	1.76(1.50 ~ 2.07)
江西	1.08(0.94 ~ 1.25)	1.14(0.99 ~ 1.31)
辽宁	1.89(1.43 ~ 2.49)	1.65(1.24 ~ 2.19)
内蒙古	1.44(1.13 ~ 1.84)	1.43(1.12 ~ 1.81)
宁夏	2.16(1.67 ~ 2.80)	1.35(1.02 ~ 1.79)
青海	2.55(1.59 ~ 4.09)	1.38(0.81 ~ 2.33)
山东	2.01(1.72 ~ 2.35)	1.45(1.23 ~ 1.70)
山西	1.90(1.65 ~ 2.18)	1.33(1.15 ~ 1.54)
陕西	2.33(1.99 ~ 2.73)	1.19(1.00 ~ 1.42)
上海	2.14(1.84 ~ 2.50)	1.32(1.12 ~ 1.56)
四川	0.78(0.66 ~ 0.92)	1.05(0.90 ~ 1.22)
天津	2.78(2.18 ~ 3.55)	1.85(1.42 ~ 2.40)
西藏	0.15(0.05 ~ 0.52)	3.37(2.03 ~ 5.58)
新疆	1.74(1.35 ~ 2.25)	1.51(1.16 ~ 1.96)
云南	1.13(0.94 ~ 1.37)	1.02(0.84 ~ 1.23)
浙江	1.63(1.44 ~ 1.85)	1.42(1.25 ~ 1.61)
重庆	0.64(0.52 ~ 0.79)	1.27(1.06 ~ 1.51)

表4 冬季低温对不同区域流感发病影响的相对危险度

区域	冬季前期	冬季后期
华中	1.18(1.03 ~ 1.31)	1.19(1.06 ~ 1.33)
华东	1.54(1.34 ~ 1.77)	1.37(1.18 ~ 1.58)
华北	1.86(1.66 ~ 2.08)	1.34(1.18 ~ 1.51)
东北	2.04(1.48 ~ 2.79)	1.70(1.23 ~ 2.36)
西北	1.88(1.55 ~ 2.28)	1.32(1.07 ~ 1.63)
华南	0.70(0.62 ~ 0.78)	1.77(1.61 ~ 1.94)
西南	0.86(0.71 ~ 1.06)	1.11(0.92 ~ 1.34)

在冬季前期气温高于后期的省份,低温在后期对流感发病影响的RR值要高于前期,这更有力的证明了低温与流感发病之间的关联性。随着气温的逐渐降低,机体的循环系统和代谢系统会产生适应机制去调节自身^[14],但是当气温骤降或者其他环境因素增加累积效应时,机体的调节机制就会无法满足要求,对应的就会增加疾病的发病风险。

研究结果显示,冬季低温对流感发病的影响在不同省份之间存在差异,在北京、黑龙江、甘肃等北方省份,在冬季前期低温对流感影响的RR值要高于

后期,这主要是从入冬开始后气温骤降,机体需要一段时间去调节循环系统和代谢系统适应低温的环境,同时前期的平均气温要低于后期,这在国内外有关研究结果中已经得到验证^[15-17],气温越低,流感的发病危险越高,随着供暖等保暖措施的采取,机体受到的保护也会增加。在南方省份中,安徽、贵州、湖北、上海、云南、浙江6个省份冬季前期低温对发病的影响高于冬季后期,主要是因为这几个省份冬季前期平均气温相对较低,而且冬季前期的平均气温低于冬季后期,但是在福建、广东、广西、海南、湖南、江苏、江西、四川、西藏、重庆10个南方省份却与之相反,主要原因是广东、海南等地的气温在冬季后期会降低,而且冬季后期的2、3月份,南方城市的降水会明显增多,湿度的增加也会造成空气流通下降和流感发病的增加^[18-19]。

冬季低温对流感发病的影响在不同区域之间存在差异。华南和西南地区与其他区域相比存在明显的差异,这提示我们气候和地域条件对发病的影响比较明显,华北、东北、西北等地区冬季气温均相对较低,而且气温会有明显的下降趋势表现,但是华南、西南地区的气温处于缓慢下降的状态,所以冬季前期的影响相对较低,而在冬季后期由于降水和昼夜温差等因素影响,流感的发病会出现增高的现象,甚至这种影响会延续到4、5月份。

机体如果能够在相对短的时间内适应低温或者降温环境,无论是通过生理调节还是通过适应性行为,低温对健康造成的实际影响都会比我们通过模型中的暴露反应关系分析得出的影响要低。另外,如果我们可以针对低温的不同阶段采取有效的防护措施,例如在增加厚衣物、暖气开放等,在低温后期采取有效的保温措施等,就可以有效地降低低温对机体的损害。

综上所述,冬季低温会对增加流感发病的风险,冬季前期和后期低温对流感发病的影响存在地域性差异,我们应该因地制宜的制定合理的防护策略,减少流感发病对人群健康的影响。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 陶芳芳, 阚海东, 董晨, 等. 上海市流感样病例与气象因素关系的研究[J]. 中华流行病学杂志, 2010, 31(12): 1448-1449. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.12.035.
- [2] Tao FF, Kan HD, Dong C, et al. Analysis of the relationship between influenza and meteorology and the establishment of early warning model [J]. Chin J Epidemiol, 2010, 31(12): 1448-1449. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.12.035.
- [3] Thai PQ, Choisy M, Duong TN, et al. Seasonality of absolute humidity explains seasonality of influenza-like illness in Vietnam [J]. Epidemics, 2015, 13: 65-73. DOI: 10.1016/j.epidem.2015.06.002.
- [4] 高燕, 方立群, 张勇, 等. 中国大陆季节性流感活动的时空分布特征[J]. 中华流行病学杂志, 2009, 30(11): 1097-1101. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2009.11.001.
- [5] Gao Y, Fang LQ, Zhang Y, et al. Spatiotemporal characteristics of seasonal influenza in mainland China [J]. 2009, 30(11): 1097-1101. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2009.11.001.
- [6] Liu T, Kang M, Zhang B, et al. Independent and interactive effects of ambient temperature and absolute humidity on the risks of avian influenza A (H7N9) infection in China [J]. Sci Total Environ, 2018, 619-620: 1358-1365. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.226.
- [7] Luan GJ, Yin P, Li TT, et al. The years of life lost on cardiovascular disease attributable to ambient temperature in China [J]. Sci Rep, 2017, 7: 13531. DOI: 10.1038/s41598-017-13225-2.
- [8] 栾桂杰, 殷鹏, 王黎君, 等. 我国6城市高温对糖尿病死亡影响的观察性研究[J]. 中华流行病学杂志, 2018, 39(5): 646-650. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.05.020.
- [9] Luan GJ, Yin P, Wang LJ, et al. An observational study of high air temperature on diabetes mortality in six cities in China [J]. Chin J Epidemiol, 2018, 39(5): 646-650. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.05.020.
- [10] Gasparrini A, Guo YM, Hashizume M, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study [J]. Lancet, 2015, 386(9991): 369-375. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)62114-0.
- [11] 栾桂杰, 殷鹏, 王黎君, 等. 中国多个城市居民死亡与夏季高温的相关性研究[J]. 中华流行病学杂志, 2019, 40(1): 59-63. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.01.012.
- [12] Luan GJ, Yin P, Wang LJ, et al. Association between high air temperature and mortality in summer: A multi-city analysis in China [J]. Chin J Epidemiol, 2019, 40(1): 59-63. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.01.012.
- [13] 赵济. 中国自然地理[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [14] Zhao J. Physical Geography of China [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 1995.
- [15] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models [J]. Stat Med, 2010, 29(21): 2224-2234. DOI: 10.1002/sim.3940.
- [16] Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Multivariate Meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations [J]. Stat Med, 2012, 31(29): 3821-3839. DOI: 10.1002/sim.5471.
- [17] Luan GJ, Yin P, Wang LJ, et al. The temperature-mortality relationship: an analysis from 31 Chinese provincial capital cities [J]. Int J Environ Health Res, 2018, 28(2): 192-201. DOI: 10.1080/09603123.2018.1453056.
- [18] Liu Z, Zhang J, Zhang Y, et al. Effects and interaction of meteorological factors on influenza: Based on the surveillance data in Shaoyang, China [J]. Environ Res, 2019, 172: 326-332. DOI: 10.1016/j.envres.2019.01.053.
- [19] Pan M, Yang HP, Jian J, et al. Association of meteorological factors with seasonal activity of influenza A subtypes and B lineages in subtropical western China [J]. Epidemiol Infect, 2019, 147:e72. DOI: 10.1017/S0950268818003485.
- [20] Lau SY, Chen E, Wang M, et al. Association between meteorological factors, spatiotemporal effects, and prevalence of influenza A subtype H7 in environmental samples in Zhejiang province, China [J]. Sci Total Environ, 2019, 663: 793-803. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.403.
- [21] Althouse BM, Flasche S, Minh LN, et al. Seasonality of respiratory viruses causing hospitalizations for acute respiratory infections in children in Nha Trang, Vietnam [J]. Int J Infect Dis, 2018, 75: 18-25. DOI: 10.1016/j.ijid.2018.08.001.
- [22] Dai Q, Ma W, Huang H, 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.
- [23] Shaman J, Kandula S, Yang W, et al. The use of ambient humidity conditions to improve influenza forecast [J]. PLoS Comput Biol, 2017, 13(11): e1005844. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1005844.
- [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): 1470-1476. DOI: 10.1371/journal.ppat.0030151.

(收稿日期: 2019-06-04)

(本文编辑: 万玉立)