

宁夏流感与气象条件关系研究

杨亚丽^{1, 2, 3} 纳丽^{1, 2, 3} 龚瑞⁴

(1 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 银川 750000;

2 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750000; 3 宁夏气象服务中心, 银川 750000;

4 宁夏疾病预防控制中心, 银川 750000)

摘要: 利用2005—2021年流感样病例 (ILI) 资料和同期气象资料, 分析近17年来宁夏流感的流行特征, 在月尺度上, 探讨流感发病率与气象条件的关系, 并初步揭示高发年份的气候特征。结果表明: 宁夏流感年平均发病率为0.20%, 高发时段为冬、春季, 夏季发病率最低; 当月发病率与上月气象要素的关系密切, 气温、气压、风速和日照时数是影响流感发病的关键气象因子; 基于GAM模型的气象因素交互项对ILI例数变化影响效应反映出ILI例数的变化受多种气象因子共同作用; 结合可视化图形直观分析主要气象因子间交互作用对流感样病例 (ILI) 例数变化的影响特征, 发现气温是影响ILI发病的主导气象因素, 拉尼娜事件易引起宁夏次年频繁的冷空气入侵, 使得次年流感易出现高发。此结论可为流感发病风险的预测预报提供参考依据。

关键词: 流行特征, 气象条件, 广义相加模型, 拉尼娜

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.05.007

Analysis of the Relationship Between Influenza and Meteorological Conditions in Ningxia

Yang Yali^{1, 2, 3}, Na Li^{1, 2, 3}, Gong Rui⁴

(1 Key Laboratory of Characteristic Agro-Meteorological Disaster Monitoring, Early Warning and Risk Management

in Arid Regions, CMA, Yinchuan 750000; 2 Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation in

Ningxia Province, Yinchuan 750000; 3 Ningxia Meteorological Service Center, Yinchuan 750002; 4 Ningxia Disease

Prevention and Control Center, Yinchuan 750002)

Abstract: Based on the influenza-like illness (ILI) data and the meteorological data from 2005 to 2021, this paper analyzes the epidemic characteristics of influenza in Ningxia in recent 17 years, discusses the relationship between its incidence rate and meteorological conditions on a monthly scale, and preliminarily reveals the climatic characteristics of high-incidence years. The results show that the average annual incidence of influenza in Ningxia is 0.20%, and the high-incidence periods are winter and spring, with the lowest incidence in summer. The monthly incidence of influenza is closely related to the meteorological factors of the previous month, and the temperature, air pressure, wind speed and sunshine duration are the key meteorological factors affecting the ILI. Based on GAM model, it is found that the influence of the interaction of meteorological factors on the number of ILI cases reflects the fact that the variation of the number of ILI cases is affected by multiple meteorological factors. Combined with visual graphic analysis, the study further shows that temperature is the dominant meteorological factor affecting the incidence of influenza. The frequent intrusion of cold air in Ningxia in the year after La Nina event makes the year prone to high frequency of influenza. This conclusion can provide a reference for the prediction of influenza risk.

Keywords: epidemic characteristic, meteorological condition, generalized additive model, La Nina

0 引言

流行性感 冒 (简称流感) 是一种常见的急性呼吸道传染病, 是首个全球监测的传染病, 极易引起大范围流行, 严重影响着公众健康^[1]。据世界卫生组织 (WHO) 估计, 每年流感流行将导致300万~500万的

重症病例和25万~50万人的死亡^[2]。流感的流行特征在不同纬度地区有所不同, 这表明流感的流行和气候条件有关。近年来, 国内外学者对流感与气象因子之间关系的研究越来越深入。刘欣等^[3]研究发现气温和湿度与广州流感样病例数 (ILI) 的变化风险存在相关性。孙妍兰等^[4]对西宁市ILI病例与气象条件关系的研究表明, 日ILI例数与温差、平均气压之间呈正相关, 与相对湿度呈负相关, 且各气象要素与日ILI发病例数均呈非线性关系, 不同要素的滞后期和危险性不同^[5]。

收稿日期: 2022年6月22日; 修回日期: 2022年10月31日

第一作者: 杨亚丽(1989—), Email: 877034569@qq.com

通信作者: 纳丽(1974—), Email: 3224649896@qq.com

资助信息: 宁夏自然科学基金项目(2021AAC03488)

丁彦红等^[6]、李媛等^[7]分别对潍坊市和天津市ILI病例与气象条件关系的研究显示,风速、相对湿度、气压及温差均与ILI病例就诊比有相关性。周艳丽等^[8]、孙景异等^[9]对北京市的流感与气象条件之间关系的研究表明,气温、气压、风速以及相对湿度是影响北京市ILI例数的关键气象因子,且存在不同的滞后期。李怡等^[10]研究显示,气压是影响京津冀学龄前儿童流感发病的重要气象要素,同时引入综合气象条件指标——大气环境人体感知度(BPWI)评价气象条件对流感发病风险的影响,结果显示BPWI对流感发病风险的影响明显高于单一气象因子,表明气象因子对流感发病的影响存在交互性。郭倩等^[12]研究表明,气温对全球不同区域流感影响显著,且不同类型流感的关联程度存在差异。可见,气象条件与流感病毒流行关系密切,且存在地域差异和滞后性^[12-13]。

流感是宁夏主要的流行性疾病之一,但迄今为止,关于宁夏流感与气候条件及气象因子之间关系的研究成果鲜见。为此,本文利用2005—2021年流感样病例资料 and 气象资料,采用Spearman相关分析和GAM模型,分析宁夏流感的流行特征及其与气象要素的关联性,总结高发病率年份的气候特征,可为流感早期防控和预警预测提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

宁夏回族自治区深居西北内陆,位于内蒙古、甘肃和陕西三省交汇处,下辖5个地级市,自北向南分别是石嘴山市、银川市、吴忠市、中卫市及固原市。辖区内共有县、区22个,其中,石嘴山市辖2个区、1个县(大武口区、惠农区、平罗县),银川市辖3个区、2个县、代管1个县级市(兴庆区、西夏区、金凤区、永宁县、贺兰县、灵武市),吴忠市辖2个区、1个县级市、2个县(利通区、红寺堡区、青铜峡市、盐池县、同心县),中卫市辖1个区、2个县(沙坡头区、中宁县、海原县),固原市辖1个区、4个县(原州区、西吉县、隆德县、泾源县、彭阳县)。

各县、区2005—2021年逐日流感样病例(ILI)监测资料来源于宁夏回族自治区疾病预防控制中心传染病报告与监测系统,人口学资料来源于中国统计年鉴。

同期气象资料来自于宁夏回族自治区气象局气象信息中心,包括5个地市国家气象站的日平均气温、气压、相对湿度、风速以及日降水量等气象要素。

1.2 研究方法

Pearson相关系数用以衡量定距变量间的线性关

系,用 t 统计量进行显著性检验;Spearman相关系数用来衡量定序变量间的线性相关^[14],它对原始变量的分布不作要求,属于非参数统计方法。若数据连续、正态分布、线性关系中任一条件不满足时,只能用Spearman相关分析。由于本文中ILI例数资料不服从正态分布,故采用Spearman相关分析计算ILI例数和气象要素之间的关系,计算公式如下:

$$R = \frac{1 - 6 \sum_{i=1}^n (U_i - V_i)^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (1)$$

式中, R 为Spearman相关系数, U_i 、 V_i 分别是两变量排序后的秩, n 为样本总量。

流感发病率是指一定时期内流感病样例数/同期总人口数 $\times r$,本文中 $r=1000\%$ 。

采用Excel 2007建立数据库,应用Spearman相关分析对各气象因子与每日ILI例数的关联度进行分析,运用结合Poisson回归的广义相加模型(Generalized Additive Models, GAM)分析气象因子对ILI例数变化的影响。由于气象因子与ILI例数之间的关系为非线性,因此,气象因子均以自然样条函数纳入GAM模型,考虑流感的潜伏期一般不超过7 d,本文设定最大滞后天数为7 d,对逐日气象要素与ILI例数之间的关系进行拟合,基本模型如下:

$$\log(E(Y_t)) = \alpha + \beta \cdot \text{week} + s(x_i) + \dots + s(\text{time}, k), \quad (2)$$

式中, $\log(E(Y_t))$ 为连接函数; Y_t 为第 t 日ILI例数报告数; $E(Y_t)$ 为 Y_t 的数学期望值; α 为常数项; β 为回归系数; week 为星期变量(是否周末); s 为自然样条函数; x_i 为气象因子,例如平均气温、平均气压、平均相对湿度等; time 为时间变量(1, 2, 3, ..., 6209), k 为自由度。

在气象因子独立效应研究的基础上,筛选出对ILI例数变化有显著效应的主要影响因素,进一步建立ILI例数变化的GAM交互效应模型,并给出主要影响因素交互效应可视化图,定量分析其对ILI例数变化的影响特征,基本模型如下:

$$\log(E(Y_t)) = \alpha + \beta \cdot \text{week} + s(x_i, x_j) + \dots + s(\text{time}, k), \quad (3)$$

式中, $s(x_i, x_j)$ 为 x_i 和 x_j 交互作用对ILI例数变化影响的交叉项,其他项的意义同公式(3)。利用gam.check检验模型拟合效果,以防过渡拟合。

本研究运用SPSS 17.0对流感样病例监测资料和气象观测数据的分布特征以及二者关联性进行分析;基于ArcGIS 10.0完成流感发病率的空间分析,R 4.1.3软件中的mgcv模块完成气象因子与ILI例数的GAM模型拟合与分析。

2 结果与分析

2.1 流行特征分析

2.1.1 空间特征

2005—2021年宁夏共报告流感样病例21700例，其中，银川市4112例（发病率为0.11%，下同）、石嘴山市3659例（0.18%）、吴忠市4615例（0.21%）、中卫市4183例（0.23%）、固原市5131例（0.25%）。发病率从低到高依次是银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市和固原市，可见，宁夏流感发病率整体呈自北向南逐渐升高的特点，这一特征与气候舒适度冷等级和凉等级日数的空间分布一致，与舒适日数的分布相反^[15]，表明流感发病与气候条件有关。县、区流感发病率如图1所示，银川市周边的县、区发病率偏低，中南部地区发病率相对较高，其中，固原市西吉县的发病率为全区最高，达0.60%，吴忠市利通区和中卫市中宁县的发病率也较高，分别为0.47%、0.42%，贺兰县、平罗县、灵武市以及同心县的发病率较低，均低于0.1%。相邻县、区的气象条件相似，而流感发病率存在明显差异，这可能与人口密度相对较大及对流感的防范意识高低有关。

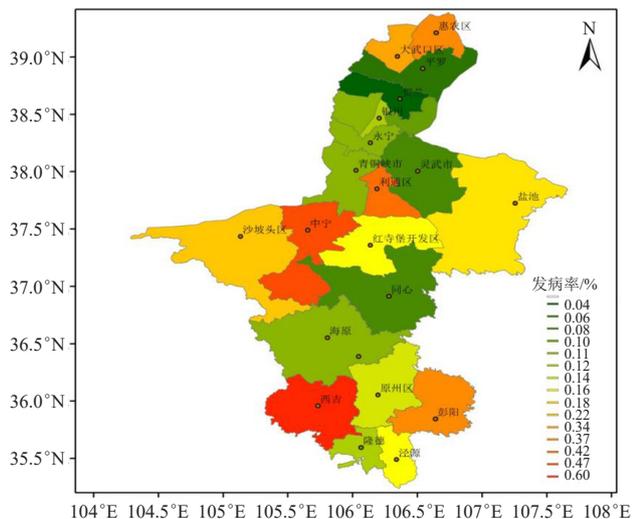


图1 2005—2021年宁夏流感发病率空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of influenza incidence rate in Ningxia from 2005 to 2021

2.1.2 时间特征

各市流感发病率的年际变化如图2所示，可见，除固原市外，2005—2009年各地发病率呈增加趋势，2010—2011年发病率大幅下降至0.04%，2012—2019年各地发病率小幅上升，2019年以后再次下降。固原市发病率的年际变化特征不同于其他四个市，2005—2021年平均发病率为0.24%，在2005—2019年，固原市发病率呈明显增加趋势，2019年以后开始下降，

2021年发病率较低，为0.03%。2009年和2019年中北部四个市发病率明显高于其他年份，平均发病率分别为0.49%、0.45%，这一现象可能与2009年、2019年甲型H1N1流感在世界范围内大流行有关^[16]。而固原市发病率在2009年和2019年增幅却较小，尤其2009年发病率远低于其他地区，这可能主要与固原市整体人口密度低、人员流动较小有关。

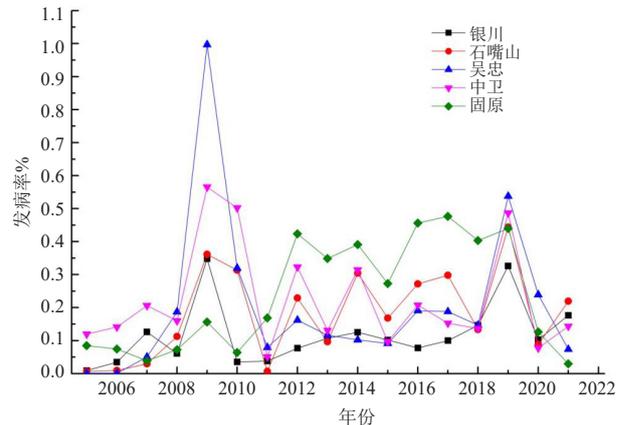


图2 2005—2021年宁夏流感发病率年际分布
Fig. 2 Interannual distribution of influenza incidence rate in Ningxia from 2005 to 2021

宁夏各地流感发病年内变化呈“U”型分布，如图3所示。1—7月发病人数逐渐减少，8—12月呈增加趋势，高发时段为11月至次年3月，可见，冬春季是宁夏流感的高发季节，与相关研究结论一致^[17-18]，这可能与低温天气有利于流感病毒存活和传播有关^[19]。

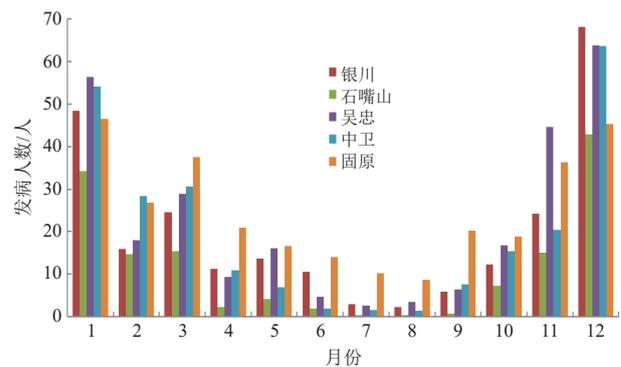


图3 2005—2021年宁夏流感发病人数逐月变化
Fig. 3 Monthly variation of influenza incidence rate in Ningxia from 2005 to 2021

2.2 逐月ILI例数与气象要素关系分析

诸多研究表明，气象要素对疾病的影响具有一定滞后性。通过分析各市流感月发病人数与前1、2、…、6个月的气象要素相关性，结果显示当月发病人数与前1个月的气象要素相关性最强。月发病人数与各气象因子的秩相关系数如表1所示，各地气压、气温、

表1 宁夏各地市流感月发病人数与前1个月气象要素的相关系数
Table 1 The correlation coefficients between monthly ILI cases in various cities of Ningxia and meteorological factors in the previous month

城市	平均气压	平均气温	相对湿度	降水量	平均风速	日照时数
银川	0.516**	-0.488**	-0.056	-0.244	-0.450**	-0.435**
石嘴山	0.541**	-0.510**	0.161*	-0.336	-0.284**	-0.418**
吴忠	0.279**	-0.289**	-0.017	-0.105	-0.237**	-0.298**
中卫	0.611**	-0.618**	-0.025	-0.360**	-0.418**	-0.470**
固原	0.520**	-0.246**	-0.045	-0.151*	-0.477**	-0.273**

注: **为显著相关 ($P < 0.01$); *为相关 ($P < 0.05$); 下同。

风速及日照时数与ILI例数均显著相关 ($P < 0.01$), 降水量与ILI例数也有较强的相关性 ($P < 0.05$), 而相对湿度与其无统计学相关性 ($P > 0.05$), 这可能主要与宁夏流感的高发时段在冬、春季, 而冬、春季的相对湿度较低, 且变幅小, 对病毒活动影响也较小有关; 气温、风速及降水量及日照时数与ILI例数呈负相关 ($r < 0$), 气压与ILI例数呈正相关 ($r > 0$), 即气压的升高伴随着气温的下降, 流感的发病风险随之也会增加, 而风速的增大不利于发病率的增加, 主要是由于风速的增加, 加快了空气流通, 不利于病毒的聚集, 人群被感染的概率就会下降, 从而减少流感的发病人数, 该结论与王伟^[20]对山东省流感与气象因素关系分析结果一致。因此, 整体来看, 在月尺度上, 影响流感发病的关键气象因子是气压、气温、风速和日照时数。

2.3 气象因子及其交互效应对逐日ILI例数的影响分析

以银川市为例, 基于GAM模型分析逐日气象因子及其交互作用对ILI例数变化的影响。将平均气压、平均气温、平均相对湿度、平均风速、降水量、日照时数共计6个气象因子作为解释变量, ILI例数作为响应变量, 采用样条平滑函数分别与6个解释变量构建模型, 分析每个解释变量对响应变量的影响显著性和模型拟合优度(表2)。结果显示, 所有影响因子均对

ILI例数变化影响显著 ($P < 0.001$), 表明各因子在单独作为ILI例数变化的解释变量具有统计学意义。将通过显著性检验的各要素作为解释变量, ILI例数作为响应变量, 进行多因素与ILI例数间的GAM模型拟合, 结果显示平均风速和降水量的 $P > 0.05$, 未通过0.05显著性水平下的检验, 其余影响因子显著影响ILI例数的变化 ($P < 0.01$), 拟合方程的调整判定系数为0.589, 方差解释率为61%, 模型拟合优度较好, 通过显著性检验的4个影响因子对ILI例数变化的解释率较高, 这表明平均气压、平均气温、降水量及日照时数对ILI例数变化有显著影响。

表2 ILI例数与单影响因子的GAM模型拟合结果
Table 2 The GAM model fitting results between the number of ILI cases and a single influencing factor

平滑效应项	估计自由度	参考自由度	F	P	调整判定系数 (R^2)	方差解释率/%
平均气压	8.365	8.856	1076	$< 2 \times 10^{-16}***$	0.040	8.631
平均气温	8.712	8.972	2178	$< 2 \times 10^{-16}***$	0.085	17.490
平均相对湿度	8.721	8.795	157	$< 2 \times 10^{-16}***$	0.004	1.221
平均风速	7.884	8.12	163.2	$< 2 \times 10^{-16}***$	0.004	1.212
降水量	5.156	5.598	92.38	$< 2 \times 10^{-16}***$	0.003	1.021
日照时数	8.405	8.883	681.4	$< 2 \times 10^{-16}***$	0.022	5.383

注: ***表示 $P < 0.001$; 下同。

ILI例数变化受多种影响因素的共同作用, 将通过显著性检验的4个解释变量之间两两构建GAM模型, 分析交互项对ILI例数变化的影响, 有利于进一步认识气象因子对ILI例数变化的影响效应。结果如表3所示, 各交互项的自由度均 > 1 , 说明交互项与ILI例数之间存在非线性关系; 模型调整判定系数0.613, 方差解释率为62.2%, 表明模型的拟合度较好、交互项对ILI例数变化的解释率较高; 拟合方程中平均气压-平均气温、平均气压-日照时数、平均气温-相对湿度、平均气温-日照时数、相对湿度-日照时数等5个交叉项均通过显著性检验, 表明其在 $P < 0.05$ 的水平下显著影响ILI例数变化, 这与流感发病受多种气象因子交互作用影响的特征一致。

表3 ILI例数与影响因素交互作用的GAM模型拟合结果

Table 3 The GAM model fitting results between the number of ILI cases and the interaction of influencing factors

交互项	平均气压-平均气温	平均气压-平均相对湿度	平均气压-日照时数	平均气温-平均相对湿度	平均气温-日照时数	平均相对湿度-日照时数
估计自由度	28.987	4.012	20.967	4.960	12.685	16.420
参考自由度	28.993	5.789	24.488	27.000	27.000	27.000
F	68.458	1.225	59.164	8.318	25.210	37.952
P	4.9×10^{-5}	0.97139	0.00011***	0.02306*	0.00336**	4.61×10^{-6}

对通过显著性检验且具有统计学意义的气象因子交互模型进行可视化绘图(图4), 将有利于分析响应变量ILI例数在不同解释变量维度下的同时变化特征。由图4a、4c、4d可知, 在平均气温与平均气压、平均相

对湿度、日照时数交互作用对ILI例数的影响效应中, 平均气温占主导作用, 总体而言, ILI例数随着平均气温的升高而明显减少, 平均气温高于12℃时, 气温对ILI例数变化几乎不产生影响, 而平均气温在-8℃左

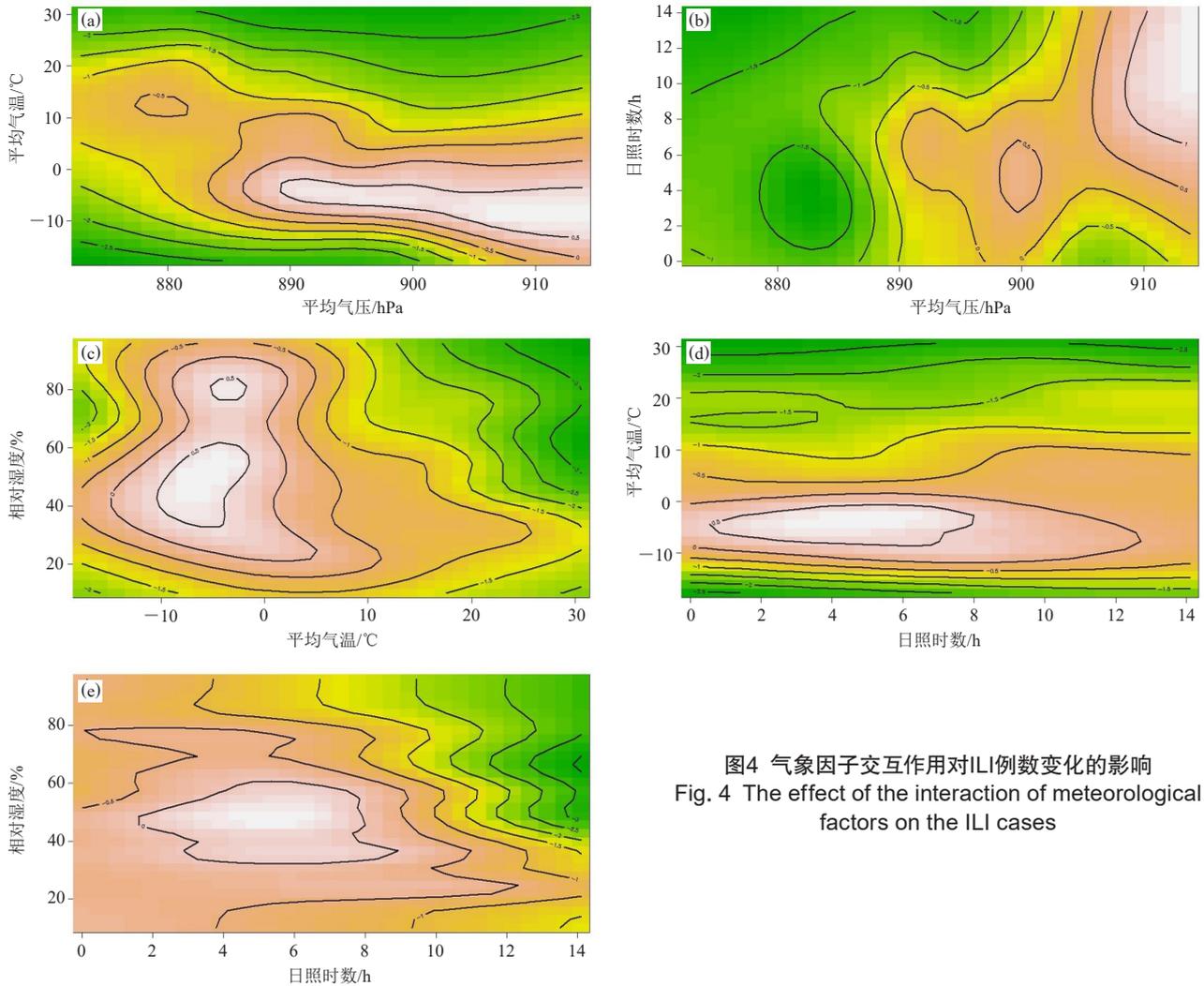


图4 气象因子交互作用对ILI例数变化的影响
Fig. 4 The effect of the interaction of meteorological factors on the ILI cases

右时对ILI例数变化的影响效应最大。ILI例数变化在平均气温与其他因子交互作用下又存在差异，由图4a可知，平均气温和平均气压对流感发病人数的增加存在协同放大作用，即在平均气温较低时，随着气压的升高，流感发病人数呈明显增加趋势；在平均气温较低时，相对湿度在40%~60%及高于80%时流感的发病风险有所增大（图4c），而在任何时长日照时数条件下流感均有发病风险（图4d）。综合图4c~4e可知，高温、高湿以及长日照时数条件下，不利于流感发生，即夏季流感较为少发，而在平均气温低于12℃时，任何湿度和日照时数条件下均有流感发生风险，即平均气温是影响ILI例数变化的主导气象因素。

2.4 高发病年份气候特征分析

2009年甲型H1N1流感在世界范围内大流行^[15]，2019年甲型H1N1为主的流感在全球多个国家爆发。我国2019年1—9月报告流感病例215.1万例，同比增加了252%，在此大背景下，2009年和2019年也是宁夏大

部分区域近17年来的流感高发年份。

2009年和2019年吴忠市发病率为宁夏最高（图2），故以此为例，分析其流感发病特征和相应气候特征。流感在全年均有发生，但2009年和2019年流感高发时段存在差异，在2009年1—8月，发病人数较少，其中在4月出现了一个小峰值，9月开始发病人数逐渐增多，11月达到峰值，之后开始减少；而2019年1月流感发病人数较多，超过300例，2月发病人数急剧下降，3月又出现了小峰值，4—11月发病人数均保持在较低水平，进入12月就诊人数激增。按季节来看，在两个高发年的冬季发病人数均较多，其次是秋季，春季也易出现小峰值，夏季发病人数最少（图5）。由此可见，在流感高发年份，1月和11—12月是集中高发时段，3—4月易出现小的流行高峰，这种流行趋势与北方的气候特点一致，在秋末至次年初春冷空气入侵频繁，气温低且波动明显，11月至次年3月又是宁夏集中供暖期，室内外温差大，相对湿度低。

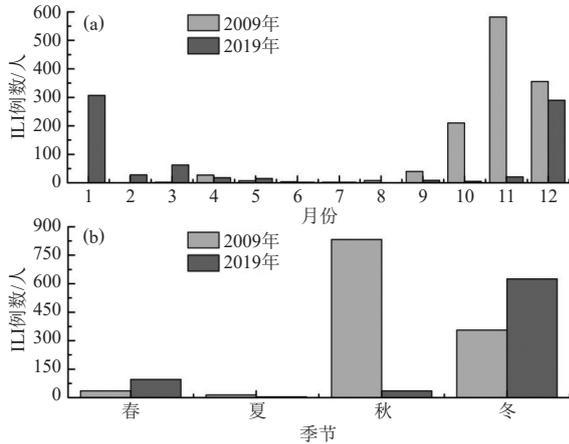


图5 2009年和2019年吴忠市流感发病人数逐月(a)和季节(b)变化

Fig. 5 Monthly (a) and seasonal (b) changes of the ILI cases in Wuzhong City in 2009 and 2019

由表1可知, 气温与流感发病之间有显著相关性。在2009年1—7月, 吴忠市平均气温均略高于常年值, 此时段内流感发病人数也较少; 8月气温略低于常年值, 9月又与常年值持平, 这说明在8—9月气温有冷空气活动, 气温出现了波动, 但由于滞后效应, 发病人数在9月开始增加; 10月平均气温较常年值偏高 9°C , 而11月又偏低 3°C , 这又表明10—11月冷空气活动频繁, 气温波动明显, 强降温统计资料显示, 在11月中上旬出现了3次强降温天气, 且变温幅度均低于 -5.0°C , 随之11月的发病人数急剧增加, 该现象与诸多研究结果以及临床实践一致(图6a), 主要原因

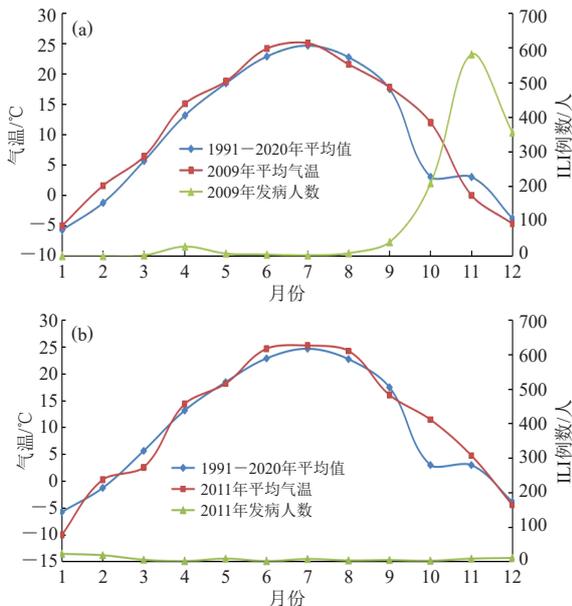


图6 2019年(a)和2011年(b)吴忠市逐月流感发病人数和气温序列分布

Fig. 6 Monthly distributions of the ILI cases and temperature series in Wuzhong City in 2019 (a) and 2011 (b)

可能是气温较低时, 变温容易导致人体免疫力下降。

2011年是宁夏全区流感低发病率年, 以吴忠市2011年月平均气温为例, 对比分析流感低、高发年气候特征。由图6b可知, 除2011年10月气温较常年值偏高 8.5°C 外, 其余月份平均气温与历史值基本一致。气温无明显波动, 表明冷空气活动偏弱, 而偏高的气温不利于流感病毒的传播, 因此, 2011年流感发病人数保持在较低水平。

国外有相关研究指出, 世界范围内的流感大流行可能与拉尼娜现象有关。杨东红等^[21]研究发现全球性流感的爆发与中等强度以上拉尼娜现象和强沙尘暴有一一对应关系。拉尼娜现象是指赤道太平洋东部和中部海面温度持续异常偏冷的现象(与厄尔尼诺现象正好相反)^[22]。研究表明^[23-25], 拉尼娜事件与全球多处气候异常有关, 而2007—2008年和2017—2018年为两个拉尼娜气候年, 拉尼娜现象对宁夏气候也有一定影响, 一般表现为拉尼娜气候年的次年宁夏强寒潮大风天气频繁出现。杨勤等^[26]研究显示, 在拉尼娜事件结束年宁夏1—2月气温容易偏低。由图6a也可以看出, 在拉尼娜的次年, 宁夏秋末冬初时冷空气活动频繁, 气温波动明显, 由表1和图4可知, 气温与流感发病人数呈负相关关系, 且气温是影响流感发病的主导气象因子。由此可见, 拉尼娜事件容易引起宁夏气候条件异常, 而异常气候条件有利于流感病毒的传播。

3 结论

通过对2005—2021年宁夏ILI资料和同期气象资料的分析发现, 宁夏流感一年四季均有发生, 流行高峰期主要集中在11月至次年3月, 与我国北方大部区域的流行特征一致^[7]; 2005—2021年, 宁夏累计报告流感样病例21700例, 年平均发病率为0.20%, 南部的固原市发病率最高, 银川市较低, 这可能与不同区域人口密度以及经济发展水平有关; 当月ILI例数与前1个月气象要素的相关性最强, 其中, 气压、气温、风速及日照时数明显影响ILI例数的变化; 基于GAM模型进一步分析了气象要素交互作用对逐日ILI例数变化的影响效应, 结果显示日平均气压-平均气温、平均气压-日照时数、平均气温-平均相对湿度、平均气温-日照时数、平均相对湿度-日照时数5个交互项均通过显著性检验, 在 $P < 0.05$ 水平下显著影响ILI例数变化; 结合交互效应的可视化图发现, 平均气温是影响ILI例数变化的关键气象因子, 而拉尼娜事件易引起次年冷空气频繁入侵宁夏, 使得宁夏次年流感易出现高发。此结论可为流感防控工作和预警预测提供科学依据。

(下转55页)

- [2] 张怪怪, 胡明宝, 赵景志, 等. 用风廓线雷达资料分析一次暴雨与低空急流的关系//第27届中国气象学会年会. 北京, 2010: 390-395.
- [3] 班伟龙, 李崇, 李典, 等. 风廓线雷达资料在沈阳一次冰雹天气分析中的应用//第31届中国气象学会年会. 北京, 2014: 2078-2084.
- [4] 廖菲, 邓华, 李旭. 基于风廓线雷达的广东登陆台风边界层高度特征研究. 大气科学, 2017, 41(5): 949-959.
- [5] 毛文茜, 王潇雅, 黄颖, 等. 风廓线雷达资料在淮河流域暴雪中的应用. 兰州大学学报(自然科学版), 2021, 57(2): 263-269.
- [6] 苟阿宁, 吴翠红, 王玉娟, 等. 基于风廓线雷达的湖北梅雨期暴雨中小尺度特征. 干旱气象, 2022, 40(1): 84-94.
- [7] 花丛, 刘超, 张恒德. 风廓线雷达资料在北京秋季雾霾天气过程分析中的应用. 气象科技, 2017, 45(5): 870-875.
- [8] 赵强, 王楠, 李萍云, 等. 两次陕北暴雨过程热力动力机制诊断. 应用气象学报, 2017, 28(3): 340-356.
- [9] 金巍, 曲岩, 姚秀萍, 等. 一次大暴雨过程中低空急流演变与强降水的关系. 气象, 2007, 33(12): 31-38.
- [10] 赛瀚, 苗峻峰. 中国地区低空急流研究进展. 气象科技, 2012, 40(5): 766-771.
- [11] 陈楠, 胡明宝, 张怪怪, 等. 利用风廓线雷达资料对南京地区低空急流的统计分析. 热带气象学报, 2014, 30(3): 511-517.
- [12] 李健, 栗敬仁, 田军. 利用风廓线雷达研究郑州机场低空急流特征及其对飞行的影响. 热带气象学报, 2019, 35(3): 343-352.
- [13] 李佳. 初夏华南低空急流及其日变化对华南降水的影响. 南京: 南京信息工程大学, 2021.
- [14] 王东阡, 张耀存. 中国东部西南低空急流日变化特征及其机制. 地球物理学报, 2012, 55(8): 2498-2507.

(上接50页)

参考文献

- [1] Stöhr K. The global agenda on influenza surveillance and control. Vaccine, 2003, 21(16): 1744-1748.
- [2] Burmaa A, Kamigaki T, Darmaa B, et al. Epidemiology and impact of influenza in Mongolia, 2007 - 2012. Influenza and Other Respiratory Viruses, 2014, 8(5): 530-537.
- [3] 刘欣, 康敏, 马文军, 等. 广州市气象因素与流感样病例关系的时间序列研究. 环境卫生杂志, 2018, 8(5): 374-380.
- [4] 孙妍兰, 李伟, 吴晶, 等. 西宁市流感样病例与气象因素关系的研究. 中国病毒病杂志, 2018, 8(5): 378-383.
- [5] Annabel S, Liat H, Natasha J, et al. The influence of air quality and meteorological variations on influenza A and B virus infections in a paediatric population in Singapore. Environmental Research, 2022, 216(1): 114453.
- [6] 丁彦红, 范俊杰, 裴清, 等. 2017—2018年潍坊市流感样病例与气象因素相关性分析. 实用预防医学, 2020, 27(5): 554-557.
- [7] 李媛, 马辉, 崔壮, 等. 天津市流行性感冒与气象条件的关系研究. 环境与健康杂志, 2011, 28(3): 227-229.
- [8] 周艳丽, 张海艳, 王璐, 等. 北京市东城区流感样病例与气象因素的相关性分析. 中国公共卫生管理, 2021, 37(5): 650-653.
- [9] 孙景昊, 孙小宇, 肖征. 北京市西城区流感病毒感染与气象因素的相关关系. 职业与健康, 2018, 34(10): 2811-2814.
- [10] 李怡, 陈仲榆, 柳艳香, 等. 京津冀气象条件对学龄前儿童流感的影响及预报方法研究. 气象学报, 2022, 80(3): 375-384.
- [11] Ka C C, Tsz C L, Seweryn B, et al. Association between meteorological variations and activities of influenza A and B across different climate zones: a multi-region modelling analysis across the globe. Journal of Infection, 2022, 80(1): 84-98.
- [12] 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. 疾病监测, 2020, 35(12): 1081-1087.
- [13] Liu Z D, Zhang J, Zhang Y, et al. Effects and interaction of meteorological factors on influenza: based on the surveillance data in Shaoyang, China. Environmental Research, 2019, 172: 326-332.
- [14] Norusis M. SPSS 16.0 guide to data analysis. Upper Saddle River: Prentice Hall Press, 2008.
- [15] 杨亚丽, 王建英, 缙晓辉, 等. 宁夏旅游气候舒适度时空分布特征. 宁夏大学学报(自然科学版), 2021, 42(1): 88-94.
- [16] 黄一伟, 张红, 刘运芝, 等. 2009年甲型H1N1流感研究进展. 实用预防医学, 2009, 16(6): 2011-2014.
- [17] 沙小兰, 李燕, 刘小娟, 等. 2009—2018年银川市流行性感冒流行特征及发病趋势预测. 中华疾病控制杂志, 2020, 24(8): 881-885, 928.
- [18] 雷静, 马杰, 武振军, 等. 银川市呼吸道传染病发病与气候因素的关系初步探讨. 宁夏医学杂志, 2014, 36(4): 338-340.
- [19] Lowen A C, Mubareka S, Steel J, et al. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. PLoS Pathog, 2007, 3(10): 1470-1476.
- [20] 王伟. 2009—2014年山东省流感样病例流行特征及其与气象因素关系研究. 济南: 山东大学, 2016.
- [21] 杨冬红, 杨学祥. 流感世界大流行的气候特征. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(3): 1-8.
- [22] 周淑贞. 气象学与气候学. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [23] 廖木星, 秦臻, 赵怀森. 厄尔尼诺和拉尼娜对全球、中国气候及对航海的影响. 中国航海, 1999(2): 55-59.
- [24] 徐春堂. 厄尔尼诺、拉尼娜与气候异常. 聊城师院学报(自然科学版), 2002, 15(3): 62-65.
- [25] 石帅, 李威, 赵珊珊, 等. 2021年汛期我国主要天气气候特征及成因分析. 中国防汛抗旱, 2022, 32(2): 10-15, 35.
- [26] 杨勤, 丁永红, 林纾. 前期Nino3.4区海温变化与宁夏1、2月气温、降水的关系. 干旱区研究, 2013, 30(5): 769-775.