



季节性流感与气象因素相关性的系统评价

郭倩 陈涛 周罗晶

Correlation between seasonal influenza and meteorological factors: a systematic review

Guo Qian Chen Tao Zhou Luo Jing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3784/j.issn.1003-9961.2020.12.007>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

2010 – 2016年甘肃省不同地域流感流行与气象因素相关性的分类回归树分析

Classification and regression tree model study on correlation between influenza epidemic and meteorological factors in different areas of Gansu, 2010 to 2016

疾病监测. 2019, 34(5): 440 <https://doi.org/10.3784/j.issn.1003-9961.2019.05.015>

2013 – 2017年海南省三亚地区气象因素与类鼻疽发病的相关性分析

Correlation between climatic factors and incidence of melioidosis in Sanya, Hainan

疾病监测. 2020, 35(2): 156 <https://doi.org/10.3784/j.issn.1003-9961.2020.02.016>

2017年北京市健康成年人血清中季节性流感抗体水平分析

Analysis on antibody levels to seasonal influenza viruses in healthy adults in Beijing, 2017

疾病监测. 2019, 34(2): 112 <https://doi.org/10.3784/j.issn.1003-9961.2019.02.006>

基于系统综述的COVID-19与2009年H1N1流感大流行基本传染数研究

Study of R_0 of COVID-19 and pandemic influenza A (H1N1) 2009 based on systematic review

疾病监测. 优先发表 <https://doi.org/10.3784/j.issn.1003-9961.2020.12.007>

茶摄入与乳腺癌发病风险关系的系统评价/Meta分析

Systematic review on relationship between tea intake and breast cancer risk, a Meta-analysis

疾病监测. 2017, 32(7): 597 <https://doi.org/10.3784/j.issn.1003-9961.2017.07.017>

广西壮族自治区农村地区痛风与代谢综合征的相关性研究

Correlation between gout and metabolic syndrome in three rural areas of Guangxi Zhuang Autonomous Region

疾病监测. 2017, 32(7): 589 <https://doi.org/10.3784/j.issn.1003-9961.2017.07.015>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

流感监测专题



开放科学
(OSID)

季节性流感与气象因素相关性的系统评价

郭倩¹, 陈涛², 周罗晶³

摘要: 目的 对季节性流感活动水平与气象因素之间的相关关系进行探讨。方法 计算机检索 PubMed、Cochrane 图书馆、OVID、EBSCO、Web of Science 等英文电子数据库中有关流感与气象因素相关性的文献,检索文献截至 2019 年 5 月,语种限定为英文。共纳入 45 篇有效文献,包括实验室和流行病学研究,并将流行病学研究的研究地点按不同气候区进行分层,提取和整理分析纳入文献的基本信息、研究的气象因素、统计方法等。结果 大多数流行病学研究使用了某种类型的回归分析,温带地区流感活动与低温低湿关系显著;亚热带和热带地区流感活动与气温和湿度之间的关联较为复杂且不一致,而降雨似乎会造成热带地区流感活动水平的升高。结论 温带地区寒冷干燥和热带地区潮湿多雨的环境因素与流感流行关系密切,但关于太阳辐射、风速、大气压等气象因素对流感活动影响的信息仍然有限。

关键词: 流感; 季节性; 气象因素; 系统评价

中图分类号: R211; R511.7

文献标志码: A

文章编号: 1003-9961(2020)12-1081-07

Correlation between seasonal influenza and meteorological factors: a systematic review Guo Qian¹, Chen Tao², Zhou Luojing³. 1. Preventive Medicine Department, Yangzhou Medical College, Yangzhou University, Yangzhou 225001, Jiangsu, China; 2. Chinese National Influenza Center, National Institute for Viral Disease Control and Prevention; WHO collaborating Center for Reference and Research on Influenza, Chinese Center for Disease Control and prevention, Beijing 102206, China; 3. Department of Science and Technology, Clinical Medical School of Yangzhou University, Yangzhou 225001, Jiangsu, China
Corresponding authors: Chen Tao, Email: chentao@cnic.org.cn; Zhou Luojing, Email: luojing76@163.com

Abstract: **Objective** To explore the correlation between seasonal influenza activity level and meteorological factors. **Methods** A literature retrieval of papers about influenza activity and meteorological factors published by May 2019 in English electronic databases, such as Pubmed, Cochrane Library, OVID, EBSCO and Web of Science, was conducted. A total of 45 qualified literatures were included, including laboratory and epidemiological surveys. Research sites of epidemiological studies were stratified according to different climatic regions, and basic information, meteorological factors and statistical methods of the included literatures were extracted, classified and analyzed. **Results** Most epidemiological studies used some type of regression analysis. Influenza activity in temperate region was significantly associated with low temperature and low humidity. The correlation between influenza activity and temperature or humidity in subtropical and tropical regions were complex and inconsistent, and rainfall might increase the level of influenza activity in tropical region. **Conclusion** Environmental factors, such as cold and dry climate in temperate region and humid and rainy climate in tropical region, are closely related to influenza activity, but the information about the influence of meteorological factors, such as solar radiation, wind speed, and atmospheric pressure, on influenza activity is still limited.

Key words: Influenza; Seasonality; Meteorological factors; Systematic review

作为最常见的急性呼吸道传染病之一,流行性感冒(流感)会在全球范围内引起严重的公共卫生和经济问题。不同纬度地区,季节性流感流行的时间差异较大。温带地区(纬度 $>40^{\circ}$ N/S),流感流行

表现出清晰而一致的季节性,通常在冬季发生广泛的流行(北半球的 12—3 月和南半球的 5—9 月^[1]);而热带(23.5° S~ 23.5° N)和亚热带地区(23.5° N/S~ 40° N/S),流感流行的季节性不明确,从全年持续存在的高水平流感活动^[2]、与雨季一致的高峰^[3-4]、再到一年不同时期的多个高峰^[5-6],流感流行时空规律差异较大。

有研究推测流感流行的时空规律与气象因素有一定的相关性,气象等可能会通过影响人群免疫力、行为和病毒在人体外的存活率来影响流感的传播^[7-8]。目前,国际上已有不少基于受控的实验条件进行的实验室研究或通过数据建模方法分析流感发病和死亡率与气象因素之间的关联,但缺乏系

作者单位:1. 扬州大学医学院预防医学教研室,江苏 扬州 225001;2. 中国疾病预防控制中心病毒病预防控制所国家流感中心,世界卫生组织流感参比和研究合作中心,北京 102206;3. 扬州大学临床医学院科技处,江苏 扬州 225001

作者简介:郭倩,女,江苏省泰州市人,医学硕士,主要从事流感病毒相关研究,Email: 2411872586@qq.com

通信作者:陈涛, Tel: 010-58900864, Email: chentao@cnic.org.cn; 周罗晶, Tel: 0514-87373037, Email: luojing76@163.com

收稿日期:2020-09-14 网络出版日期:2020-11-27

统的证据支持具体的气象因素(气温、湿度、降雨等)与季节性流感流行的相关性,本文回顾性整理和分析这类研究的结果,对季节性流感与气象因素的相关性进行讨论。

1 资料与方法

1.1 文献检索策略 通过对英文电子数据库 PubMed、循证医学图书馆(Cochrane library)、OVID、EBSCO、Web of Science 等进行检索,检索文献的语种限定为英语语种。数据库检索的起点时间没有限定,截至 2019 年 5 月电子检索采用主题词与自由词相结合的方式,涉及流感、气象(气温、湿度、气流等)相关的两大类检索词,两部分用逻辑符“并”(AND)连接获得检索结果。结合各数据库特点和要求分别制定相应的检索式。数据库电子检索策略见表 1。

1.2 文献的纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 基于实验室或流行病学研究,明确提及与流感相关的气象因素,包括流感发病率(例数)、流感样病例(ILI)就诊率(例数)、流感阳性率(例数)、流感相关死亡率(例数)等流感活动指标。

1.2.2 排除标准 仅单独分析流感季节性,气象与流感之间未应用某种统计关联分析方法的文献;禽流感和流感大流行的相关文献;评论、个人观点和观点文章。文献数据筛选流程见图 1。

1.3 文献筛选 所有文献的初筛和全文筛选均由两名研究人员同时分别独立完成,交叉核对,讨论或参考第三者意见最后达成一致意见。

1.4 文献质量评价 参照 Cochrane 和 EPOC 的标准,主要从研究问题是否清晰、方法学是否明晰适宜、数据是否可靠、结果及结论是否有针对性等方

表 1 电子检索策略(以 Pubmed 为例)

Table 1 Electronic retrieval strategy (taking Pubmed as an example)

代码	检索词
1	流感: influenza OR flu ti/ab
2	气温: temperature OR cold OR hot OR warm OR cool
3	湿度: humidity OR dryness OR wetness
4	气流: airflow OR airstream OR wind speed OR air speed OR (global atmospheric)
5	气压: pressure
6	天气: weather OR sunny OR rainy OR snowy OR cloudy OR overcast OR windy
7	季节: seasonal OR spring OR summer OR autumn OR fall OR winter
8	气候: climate
9	日照: sunlight OR insolation OR sunshine OR ((ultraviolet ray) OR UV)
10	降雨: rainfall OR precipitation OR rain OR snow OR hail
11	2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6 OR 7 OR 8 OR 9 OR 10
12	1 AND 11
13	activity OR mortality OR outbreak OR epidemic OR (annunal peak) OR (seasonality characterizing) OR (seasonal features)
14	12 AND 13

面对文献进行质量评价。根据评价结果,将纳入的研究分成 3 个等级,A 级:高质量、可信的,没有严重影响研究结果的因素;B 级:中等质量,对研究结果有一些不确定因素;C 级:低质量,存在严重影响结果可信度的因素。

1.5 数据提取 2 名研究人员分别独立地对纳入的所有文献提取信息,提取的主要内容包括文献的基本信息、文献中涉及国家或地区的背景信息、流感相关活动与一系列气象因素的关系、方法学等内容,然后对提取的资料进行核对,讨论达成一致后录入。

1.6 分析方法 将收集的文献数据录入 Excel 软件建立评价表数据库,并只对质量评价分为 A 级和 B 级的研究进行最后的定性分析。

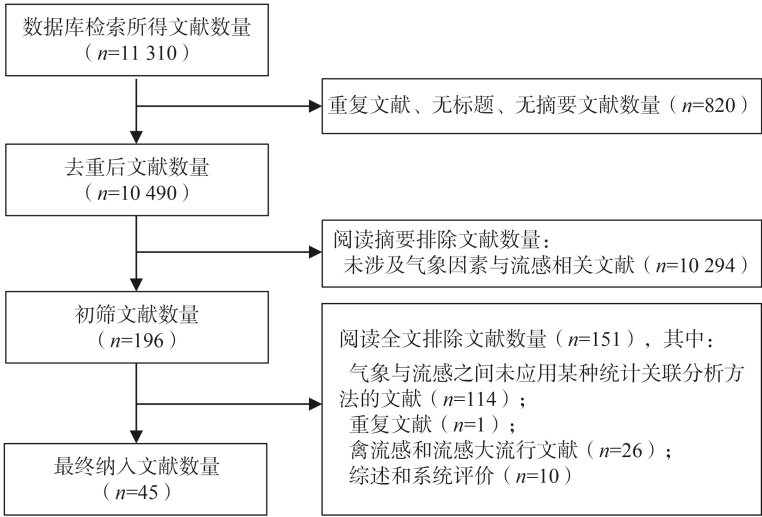


图 1 文献检索流程

Figure 1 Flow chart of literature retrieval

2 结果

2.1 纳入文献发表年份和地区分布 本系统评价纳入与主题相关的文献共 45 篇,发表年份从 1949—2019 年,其中实验室研究 13 篇;流行病学研究 32 篇,纳入文献的基本信息见表 2。

2.2 基于人口的流行病学研究

2.2.1 气温与流感活动之间的关联 温带地区:温带

地区纳入的 13 篇文献中^[9-21],10 篇文献报道了气温与流感活动之间的关联^[9-15,19-21],其中 8 篇文献显示较高的流感活动水平与较低的气温相关^[9-11,13-15,20-21],其余 2 篇文献未发现气温与流感活动之间的统计学关联^[12,19]。相对于温暖季节,在冬季气温较低时,温带地区的流感活动水平更高。在苏格兰爱丁堡,通过 logistic 回归分析的结果显示,平均气温每升高 1℃,甲型流感病毒(IAV)和乙型流感病毒

表 2 纳入以人口为基础的流行病学研究基本信息
Table 2 Basic information for population-based epidemiological research

研究国家/地区	研究年份	流感活动指标	气象因素	统计方法	文献
温带地区					
西班牙桑坦德	1999—2000	流感病例数	T、RH	Pearson 相关	[9]
德国美因茨	2001—2006	流感相关住院率	T、RH、WV、P	Spearman 秩相关、偏相关	[10]
苏格兰爱丁堡	2009—2015	流感阳性数	T、RH	logistic 回归	[11]
美国纽约	1975—2002	P&I 死亡率	T、Td	线性回归	[12]
英格兰、威尔士	1996—1997	流感相关死亡率	T	相关分析	[13]
美国	1972—2002	P&I 死亡率	T、RH、AH、SRAD	相关分析、SIRS 模型	[14]
美国 (359 个县)	1973—2002	流感相关死亡率	T、SH	回归分析	[15]
日本 (46 个县) ^a	1991—1995、1999—2009	流感病例数	AH、RH	线性回归	[16]
荷兰	1970—2011	流感样病例数	AH	回归分析	[17]
西班牙	2010—2015	ILI%×流感阳性率	Td、RF	广义线性负二项式混合模型	[18]
美国 (35 个城市)	2002—2005	流感相关住院数	T、Td、SRAD	贝叶斯分层模型	[19]
中国葫芦岛市	2012—2015	ILI 数	T、RH	Spearman 秩相关、GAM	[20]
德国柏林、斯洛文尼亚卢布尔雅那、西班牙卡斯蒂利亚-莱昂	2006—2011 ^b	ILI 或 ARI 发病率	T、SH、RF、SRAD	GAM	[21]
亚热带地区					
日本冲绳	2007—2014	流感阳性率	T、RH	Spearman 秩相关	[22]
日本东京	1987—1997	流感病例数	T、RH	逐步回归	[23]
中国苏州	2000—2011	流感相关住院率	T、RH、RF、H、WV	Spearman 秩相关、偏相关	[24]
印度勒克瑙	2010—2012	流感阳性率	T、RH、Td、RF、WV、P	logistic 回归	[25]
新西兰奥克兰	1980—2009	P&I 死亡率	T、Td	线性回归	[26]
中国江苏	2013—2016	ILI 数×流感阳性率	T	DLNM	[27]
中国台湾	1999—2006	流感发病率	T、RH	Poisson 回归模型	[28]
以色列 (6 个地区)	2006—2011	ILI 或 ARI 发病率	T、SH、RF、SRAD	GAM	[21]
热带地区					
乌干达恩德培	2007—2015	流感阳性率	T、RH、AH、RF	logistic 回归	[29]
法属圭亚那	2006—2010	ILI 数	SH、RF	动态回归	[30]
肯尼亚	2007—2013	流感病例数	T、SH、RF	logistic 和负二项式回归	[31]
喀麦隆雅温得	2009—2015	流感阳性率	T、RH、RF	线性回归	[32]
中国香港	1997—2006	流感病例数	T、RH	相关分析	[33]
中国香港	2002—2009	P&I 死亡率	T、RH、RF	逐步回归	[34]
印度加尔各答	2007—2008	流感阳性数	T、RH、RF	相关分析	[35]
马达加斯加塔那那利佛	2002—2012 ^b	流感阳性数	T、RH、RF	Spearman 秩相关	[36]
萨尔瓦多、危地马拉、巴拿马	2008—2013 ^b	流感阳性率	T、SH、RF	logistic 回归	[37]
哥斯达黎加、洪都拉斯、尼加拉瓜	2008—2013 ^b	流感阳性率	T、SH、RF	logistic 回归	[38]
新加坡	1990—1994	流感阳性率	RF	Spearman 秩相关、Box-Jenkins 回归-ARIMA	[39]
越南	1993—2010	ILI 发病率	AH	回归树分析	[40]

注: T. 气温 (℃); RH: 相对湿度 (%); AH: 绝对湿度 (g/m³); SH: 比湿度 (g/kg); Td: 露点温度 (℃); RF: 降雨量 (mm); WV: 风速 (m/s); P. 大气压 (hpa); SRAD. 太阳辐射 (W/m²); H. 日照时间 (h); ILI: 流感样病例; ARI: 急性呼吸道感染; P&I: 肺炎及流感; DLNM: 分布滞后非线性模型; ARIMA: 自回归综合移动平均线; GAM: 广义相加模型; SIRS 模型: 由 S (易感者)、I (感染者) 和 R (恢复者) 组成, 并假设恢复者一定时间 (渐渐失去免疫力) 后又变为易感者。^a该文献研究地区不包括亚热带地区的冲绳县; ^b该文献不包括 2009 年流感大流行时期

(IBV)检出率分别降低 13.7% 和 13.0%^[11]。

亚热带地区:6 篇文献发现较高的流感活动水平与较低的气温相关^[21-24,26,28],1 篇文献未发现与气温有显著关联^[25],另外 1 篇文献显示低温和高温均能影响流感病毒的传播^[27]。以色列的一项研究结果显示,除耶路撒冷地区外,最低气温每升高约 1.2℃,流感活动减少 22.0%~42.9%^[21]。另外,日本冲绳的一项研究显示,天气条件的影响可能会因流感型别(亚型)而异,在低温期间仅观察到较高比例的 IAV 病例,而与 IBV 无统计学关联^[22]。

热带地区:5 篇文献显示低温与较高的流感活动水平相关^[29,31,34,37-38],2 篇文献显示出相反的结果^[35-36],1 篇文献未发现两者之间的联系^[32],另外 1 篇文献发现低温和高温均是 IAV 的危险因素^[33]。在恩德培城市通过区分流感亚型结果显示,低温与甲型 H1N1 活动有关,而与 A(H3N2)和 B 型流感并未发现这种关联^[29]。Soebiyanto 等^[37-38]先后在中美洲 6 个国家(危地马拉、萨尔瓦多等)共 11 个地区的研究结果显示,仅 3 个地区的低温与较高的流感活动水平相关联,其余地区未发现气温对流感的影响。造成该结果的可能原因是,与温带地区不同,温带地区全年的气温变化很大,而中美洲所有研究地点的气温全年都保持较高的水平,变化很小。

2.2.2 湿度与流感活动之间的关联 温带地区:湿度的大小常用相对湿度(RH)、绝对湿度(AH)、露点温度(Td)和比湿度(SH)等指标表示。12 篇文献探索了湿度与流感活动之间的关联^[9-12,14-21],其中 10 篇文献提示流感活动水平升高与低湿有关^[9,11-12,14-18,20-21],其余 2 篇研究未观察到两者之间的统计学关联^[10,19]。AH 是与气温无关的空气中实际的水蒸气含量。美国^[14]和日本^[16]探索了流感活动与 RH 和 AH 的关系,研究结果均证实了 AH 与 RH 相比与流感的关系更为密切。2012 年 Barreca 和 Shimshack^[15]提供了气象因素对人群流感影响的定量流行病学证据,通过回归分析发现 SH 与流感死亡率之间是完全的非线性关系,较低的日平均湿度(<6 g/kg)与流感死亡率的升高有关。

亚热带地区:4 篇文献显示流感活动水平升高与低湿有关^[21,23,26,28],2 篇文献显示 IAV 活动升高与较高的湿度相关^[24-25],另外 1 篇文献显示 IAV 和 IBV 分别与低 RH 和较高的 RH 相关^[22]。一项在以色列的研究发现 SH 每升高约 0.5 g/kg,流感活动水平平均下降 19.1%~53.6%^[21]。

热带地区:2 篇文献显示流感活动水平升高与低湿有关^[30-31],5 篇文献均显示与高湿度有关^[33,35-36,38,40],

2 篇文献未发现湿度与流感之间的联系^[29,32]。其余 2 篇文献相关关系均显示出非单向的结果^[34,37]。在法属圭亚那通过多变量动态回归分析结果推测 SH 每增加 1 g/kg 会导致 ILI 病例数显著下降 11%^[30]。与此形成鲜明对比的是,在中美洲部分地区的研究发现流感活动与 SH 呈正相关^[37-38],但在危地马拉的两个城市显示与较低的 SH 有关,研究结果认为危地马拉大多数城市都位于高地,在气候温和的条件下,可以随着湿度的降低,气溶胶传播效率会升高,但是推测湿度与流感活动之间的正相关关系可能是间接的,类似于降雨可能导致的室内拥挤效应^[37]。

2.2.3 降雨与流感活动之间的关联 温带地区:1 篇文献结论发现周降雨量每增加 10 mm,流感活动会增加 17%^[18];另外 1 篇文献显示流感活动与降雨之间的关联因地区而异,关联可以是正相关或负相关,且该气象因素在模型中的贡献相对较低,因此在温带地区或亚热带地区,降雨可能不是季节性流感活动的强协变量^[21]。

亚热带地区:1 篇文献发现 IAV 与月平均降雨量呈正相关,因印度勒克瑙市属于温暖湿润的亚热带气候,降雨加剧了拥挤和室内住宿,因此增加了接触传播的风险^[25]。但在中国苏州一项关于流感相关住院率的研究并未发现两者之间的联系^[24]。

热带地区:6 篇文献显示流感活动水平的升高与较高的降雨量有关^[30,35-39];1 篇文献显示与低降雨量有关^[29];2 篇未发现与降雨量有关的任何结论性结果^[31-32];另外 1 篇文献的流感活动与降雨量相关关系在不同年份显示出相互矛盾的结果^[34]。

2.2.4 太阳辐射和日照与流感活动之间的关联 温带地区:Shaman 等^[14]对 1972—2002 年美国整个大陆的环境驱动因素与冬季流感暴发流行之间的关系进行探索,结果显示流感的暴发流行与每日太阳辐射量的增加相关。但 Charland 等^[19]利用贝叶斯分层模型评估美国 35 个城市的太阳辐射与流感流行时间之间的关联,发现太阳辐射与流感流行时间呈负相关,与 Soebiyanto 等^[21]研究结果类似。

亚热带地区:Chen 等^[24]分析了 2000—2011 年苏州地区日照时间与流感活动之间的关系,结果未发现统计关联。另一项在以色列 6 个地区的研究显示,流感活动与太阳辐射的关联因研究位置而异,且对分析模型的贡献不是很大^[21]。

2.2.5 风速和大气压与流感活动之间的关联 在苏州通过偏相关分析研究显示 IBV 活动与风速呈正相关^[24]。但在同为亚热带地区的印度勒克瑙并未发现此关联,结果显示 IAV 活动与大气压呈显著负

相关, 研究结论认为大气压可能会间接影响其他导致季节性流感病毒传播的气象因素, 且湿度和大气压都与降雨和气温有关^[25]。另外, 在温带地区的德国美因茨并未发现流感与风速和气压的显著性关联^[10]。

2.3 基于实验室的生物学模型研究 共纳入 13 篇文献^[41-53], 从 3 个方面来解释流感病毒的季节性, 其中, 气象因素对流感病毒传播和存活率影响的文献 9 篇^[41-49]; 气象因素对宿主敏感性影响的文献 3 篇^[50-52]; 气象因素对流感病毒感染力影响的文献 1 篇^[53]。

2.3.1 气象因素对病毒传播和存活的影响 截止目前, 通过实验室研究的环境因素对流感病毒传播的影响主要集中在控制实验条件的温度和湿度上。Schulman 和 Kilbourne^[41] 早期一项关于流感病毒传播的小鼠模型研究报道称, 流感病毒的传播方式可能会受环境因素影响。2007 年, Lowen 等^[42] 利用豚鼠模型证实了该观点, 寒冷和干燥的条件都有利于流感病毒通过气溶胶传播。20 °C 条件下, 较低的 RH(20%~35%) 比较高的 RH(50% 和 80%) 流感传播效率更高, 这与 Schaffer 等^[43] 研究结果类似(RH: 20%~40%)。为进一步测试温度对流感传播的影响, 在干燥条件下, 降低温度至 5 °C 时豚鼠感染率最高, 而温度升高至 30 °C 时会阻断病毒的传播^[42,44]。

流感病毒的传播通常是通过被感染的宿主咳嗽或打喷嚏使呼吸道颗粒散落到周围环境中。Yang 和 Noti 等^[45-46] 建立了咳嗽释放的流感病毒的存活、大小分布和动态学模型, 得出的结论是, RH 越低, 病毒的存活能力越强。研究还显示, 沉降是去除携带病毒的气溶胶大颗粒或大液滴的一种重要方式, 尽管病毒在 <4 μm 的气溶胶颗粒比在大颗粒上的病毒具有更长的悬浮时间并可以传播更远的距离, 但在高湿度下可迅速使病毒灭活。2012 年, Yang 等^[47] 对不同 RH 下 IAV 的存活机制进行了解释, 并认为流感病毒的存活依赖于液滴培养基中人黏液的盐浓度。进一步提出在接近 100% 的高 RH 条件下, 盐浓度保持对病毒存活无害的水平; 在 50%~84% 的 RH 下, 蒸发导致盐浓度增加, 而病毒的衰减随盐溶液中盐浓度的增加而线性增加; 在 <50% 的低 RH 下, 盐从溶液中结晶出来, 使病毒保持完整。

2009 年, Shaman 和 Kohn^[48] 重新对文献^[42] 的数据进行分析, 利用回归模型结果显示, RH 只能解释流感病毒传播总变异的 12% 和病毒存活总变异的 36%, 而 AH 可以分别解释 50% 和 90%。研究表明在温带地区, 室外和室内的 AH 都具有很强的季

节性周期, 并在冬季达到低水平。这种季节周期与冬季流感的传播和存活率的增加是一致的, 因此可以解释为何流感病毒多发于温带地区的冬季。2010 年 McDevitt 等^[49] 评估了高温下湿度对流感病毒灭活的作用, 实验室研究结果也支持了文献^[48] 的结论, 即 AH 比 RH 能更好的预测流感病毒的存活。

尽管温度和湿度等气象因素会影响流感病毒的存活, 但也有证据表明阳光中紫外线能够有效灭活病毒。公共建筑中通过上层房间 254 nm 杀菌紫外线(UV-C)灯进行空气消毒, 能够减少通过空气传播途径的流感传播^[50]。此外, RH 可能会影响 UV-C 光对病毒的杀菌活性, 计量-反应图表明流感病毒的敏感性随 RH 的降低而增加^[50]。

2.3.2 气象因素对宿主敏感性的影响 温带地区, 虽然季节性流感的流行或暴发与较低的湿度密切相关, 但其是如何影响宿主感染流感病毒和对疾病结局的反应尚不清楚。近期一项研究探索了 RH 是否影响 MX1 同系小鼠感染 IAV, 研究揭示了流感病毒在低湿度下更易传播的相关机制, 即在干燥空气中, 小鼠吸入干燥空气会损坏黏膜纤毛清除、先天性抗病毒防御和气道上皮细胞的组织修复的能力^[51]。

紫外线中的 UV-B 辐射是人类维生素 D 主要的生产来源, 因此提出并发展了一种假设, 即维生素 D 水平随着太阳周期相关紫外线辐射的变化而变化。维生素 D 与流感病毒感染之间的可能关联首先是在动物实验中发现的^[52]。在缺乏阳光照射后维生素 D 水平低会影响宿主抵抗感染的能力^[54-55]。

2.3.3 气象因素对病毒感染力的影响 Polozov 等^[53] 项研究发现, 流感病毒会在脂质化合物中包裹自身, 从而在较冷的温度下硬化并保护生物体, 而在温暖的温度下, 包膜变得混乱, 病毒容易受到破坏。

3 讨论

本研究通过对流行病学和实验室生物模型研究的文献提取和系统总结, 描述了季节性流感与气象因素的相关性。发现在温带地区, 气温和湿度与流感活动之间的统计关联较为一致, 而在亚热带和热带地区流感活动与其之间的关联较为复杂。有研究推测是因为温带地区流感病毒主要以气溶胶形式传播, 而在热带和亚热带地区以接触或近距离的传播为主, 且通过气溶胶途径传播的病毒对 RH 和气温敏感, 导致流感活动水平在温带地区寒冷且干燥的冬季到达峰值^[42,44]。

此外, 一些实验室和流行病学证据表明 AH 能

更好的解释病毒的传播和存活条件^[14,16,48,56],与温带地区冬季室内加湿是减少流感病毒传播有效手段这一结论是一致的。相反,在热带和亚热带地区,气温和湿度对流感的影响更加多样。本研究纳入的流行病学研究显示,大多数热带地区的流感高活动水平与较高的湿度相关^[33,35-36,38,40],但缺乏相关的生物学证据。目前,一项全球性的研究发现,AH的正面和负面影响之间的平衡似乎是由气温(23.9℃附近)调节的,因而可以在热带地区使用除湿机或设置23.9℃以上的空调温度来干燥室内空气^[57]。

除气温和湿度外,也有研究预测降雨与大部分热带地区的流感传播关系显著^[30,35-39],但在温带和亚热带地区开展的相关流行病学调查较少。关于环境预测因子和流感流行的全球研究发现,在湿度和气温超过阈值(约11~12 g/kg和18~21℃)的低纬度地区(即潮湿多雨的环境条件),降雨是流感流行高峰的最佳预测因子^[58]。然而,对于降雨驱动流感季节性变化的机制尚无明确的研究结果来论证。多数研究的推测是降雨会影响人类的社会行为,例如室内拥挤程度的增加,可能会增加易感人群的病毒感染风险。

本研究纳入的流行病学研究显示,部分温带地区太阳辐射与流感活动呈负相关^[19,21]。相关研究表明,太阳辐射通过调节维生素D水平,可以增强宿主免疫力,能有效抵抗流感感染^[54-55]。一项随机临床试验证明了冬季补充维生素D对学龄儿童感染季节性IAV有预防的功效^[59]。另外,由于终端沉降速度极低,由气流吹来的传染性细颗粒预计将在空中停留数小时。一种被认为是有效的干预措施是在室内天花板附近进行紫外线照射^[50]。

综上所述,季节性流感的传播能力、流行状况及活动水平与气象因素存在一定的相关性。推测和研究这一关系,将有助于在每年对季节性流感常规监测的基础上更好地结合气象因素预测每年的流感流行的时空规律,对制订有效、精准的预防控制策略有一定意义。本文同时总结了可用的实验室和流行病学研究,比较了世界各地不同国家或地区的经验,以提供有用的参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] WHO. WHO global influenza surveillance network: manual for the laboratory diagnosis and virological surveillance of influenza[R]. Geneva: WHO, 2011.
- [2] Viboud C, Alonso WJ, Simonsen L. Influenza in tropical regions[J]. *PLoS Med*, 2006, 3(4): e89. DOI: [10.1371/journal.pmed.0030089](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0030089).
- [3] Dapat C, Saito R, Kyaw Y, et al. Epidemiology of human influenza A and B viruses in Myanmar from 2005 to 2007[J]. *Intervirology*,

- 2009, 52(6): 310-320. DOI: [10.1159/000237738](https://doi.org/10.1159/000237738).
- [4] Moura FEA, Perdigão AC, Siqueira MM. Seasonality of influenza in the tropics: a distinct pattern in northeastern Brazil[J]. *Am J Trop Med Hyg*, 2009, 81(1): 180-183. DOI: [10.4269/ajtmh.2009.81.180](https://doi.org/10.4269/ajtmh.2009.81.180).
- [5] Wong CM, Chan KP, Hedley AJ, et al. Influenza-associated mortality in Hong Kong[J]. *Clin Infect Dis*, 2004, 39(11): 1611-1617. DOI: [10.1086/425315](https://doi.org/10.1086/425315).
- [6] Yap FHY, Ho PL, Lam KF, et al. Excess hospital admissions for pneumonia, chronic obstructive pulmonary disease, and heart failure during influenza seasons in Hong Kong[J]. *J Med Virol*, 2004, 73(4): 617-623. DOI: [10.1002/jmv.20135](https://doi.org/10.1002/jmv.20135).
- [7] Van Noort SP, Águas R, Ballesteros S, et al. The role of weather on the relation between influenza and influenza-like illness[J]. *J Theor Biol*, 2012, 298: 131-137. DOI: [10.1016/j.jtbi.2011.12.020](https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2011.12.020).
- [8] Roussel M, Pontier D, Cohen JM, et al. Quantifying the role of weather on seasonal influenza[J]. *BMC Public Health*, 2016, 16: 441. DOI: [10.1186/s12889-016-3114-x](https://doi.org/10.1186/s12889-016-3114-x).
- [9] de Arróyabe Hernáez 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](https://doi.org/10.1007/s10453-004-1186-z).
- [10] 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](https://doi.org/10.1086/605435).
- [11] Price RHM, Graham C, Ramalingam S. Association between viral seasonality and meteorological factors[J]. *Sci Rep*, 2019, 9: 929. DOI: [10.1038/s41598-018-37481-y](https://doi.org/10.1038/s41598-018-37481-y).
- [12] Davis RE, Rossier CE, Enfield KB. The impact of weather on influenza and pneumonia mortality in New York city, 1975-2002: a retrospective study[J]. *PLoS One*, 2012, 7(3): e34091. DOI: [10.1371/journal.pone.0034091](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034091).
- [13] Christophersen O. Mortality during the 1996/7 winter[J]. *Popul Trends*, 1997(90): 11-17.
- [14] Shaman J, Pitzer V, Viboud C, et al. Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental US[J]. *PLoS Curr*, 2009, 2: RRN1138. DOI: [10.1371/currents.RRN1138](https://doi.org/10.1371/currents.RRN1138).
- [15] Barreca AE, Shimshack JP. Absolute humidity, temperature, and influenza mortality: 30 years of county-level evidence from the United States[J]. *Am J Epidemiol*, 2012, 176 Suppl 7: S114-122. DOI: [10.1093/aje/kws259](https://doi.org/10.1093/aje/kws259).
- [16] Shoji M, Katayama K, Sano K. Absolute humidity as a deterministic factor affecting seasonal influenza epidemics in Japan[J]. *Tohoku J Exp Med*, 2011, 224(4): 251-256. DOI: [10.1620/tjem.224.251](https://doi.org/10.1620/tjem.224.251).
- [17] Te Beest DE, Van Boven M, Hooiveld M, et al. Driving factors of influenza transmission in the Netherlands[J]. *Am J Epidemiol*, 2013, 178(9): 1469-1477. DOI: [10.1093/aje/kwt132](https://doi.org/10.1093/aje/kwt132).
- [18] 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](https://doi.org/10.3390/ijerph14121469).
- [19] 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/S09502688090002283](https://doi.org/10.1017/S09502688090002283).
- [20] 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]. *PeerJ*, 2019, 7(26): e6919. DOI: [10.7717/peerj.6919](https://doi.org/10.7717/peerj.6919).
- [21] Soebiyanto RP, Gross D, Jorgensen P, et al. Associations between meteorological parameters and influenza activity in Berlin (Germany), Ljubljana (Slovenia), castile and León (Spain) and Israeli districts[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0134701. DOI: [10.1371/journal.pone.0134701](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134701).
- [22] 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: 650. DOI: [10.1186/s12879-016-1978-0](https://doi.org/10.1186/s12879-016-1978-0).
- [23] Urashima M, Shindo N, Okabe N. A seasonal model to simulate influenza oscillation in Tokyo[J]. *Jpn J Infect Dis*, 2003, 56(2): 43-47.
- [24] Chen ZR, Zhu Y, Wang YQ, et al. Association of meteorological factors with childhood viral acute respiratory infections in subtropical China: an analysis over 11 years[J]. *Arch Virol*, 2014, 159(4): 631-639. DOI: [10.1007/s00705-013-1863-8](https://doi.org/10.1007/s00705-013-1863-8).



- [25] Dangi T, Jain B, Singh AK, et al. Influenza virus genotypes circulating in and around Lucknow, Uttar Pradesh, India, during post pandemic period, August 2010–September 2012[J]. *Indian J Med Res*, 2014, 139(3): 418–426.
- [26] Davis RE, Dougherty E, McArthur C, et al. Cold, dry air is associated with influenza and pneumonia mortality in Auckland, New Zealand[J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2016, 10(4): 310–313. DOI: [10.1111/irv.12369](https://doi.org/10.1111/irv.12369).
- [27] 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](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.065).
- [28] Liao CM, Chang SY, Chen SC, et al. Influenza-associated morbidity in subtropical Taiwan[J]. *Int J Infect Dis*, 2009, 13(5): 589–599. DOI: [10.1016/j.ijid.2008.09.019](https://doi.org/10.1016/j.ijid.2008.09.019).
- [29] Yang W, Cummings MJ, Bakamutumaho B, et al. Dynamics of influenza in tropical Africa: temperature, humidity, and co-circulating (sub) types[J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2018, 12(4): 446–456. DOI: [10.1111/irv.12556](https://doi.org/10.1111/irv.12556).
- [30] Mahamat A, Dussart P, Bouix A, et al. Climatic drivers of seasonal influenza epidemics in French Guiana, 2006–2010[J]. *J Infect*, 2013, 67(2): 141–147. DOI: [10.1016/j.jinf.2013.03.018](https://doi.org/10.1016/j.jinf.2013.03.018).
- [31] 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](https://doi.org/10.1111/irv.12393).
- [32] Monamele GC, Vernet MA, Nsaibirni RFJ, et al. Associations between meteorological parameters and influenza activity in a subtropical country: case of five sentinel sites in Yaounde-Cameroon[J]. *PLoS One*, 2017, 12(10): e0186914. DOI: [10.1371/journal.pone.0186914](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186914).
- [33] Chan PK, Mok HY, Lee TC, et al. Seasonal influenza activity in Hong Kong and its association with meteorological variations[J]. *J Med Virol*, 2009, 81(10): 1797–1806. DOI: [10.1002/jmv.21551](https://doi.org/10.1002/jmv.21551).
- [34] Chong KC, Goggins W, Zee BCY, et al. Identifying meteorological drivers for the seasonal variations of influenza infections in a subtropical city - Hong Kong[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2015, 12(2): 1560–1576. DOI: [10.3390/ijerph120201560](https://doi.org/10.3390/ijerph120201560).
- [35] Agrawal AS, Sarkar M, Chakrabarti S, et al. Comparative evaluation of real-time PCR and conventional RT-PCR during a 2 year surveillance for influenza and respiratory syncytial virus among children with acute respiratory infections in Kolkata, India, reveals a distinct seasonality of infection[J]. *J Med Microbiol*, 2009, 58(12): 1616–1622. DOI: [10.1099/jmm.0.011304-0](https://doi.org/10.1099/jmm.0.011304-0).
- [36] 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](https://doi.org/10.1111/irv.12308).
- [37] Soebiyanto RP, Clara W, Jara J, et al. The role of temperature and humidity on seasonal influenza in tropical areas: Guatemala, El Salvador and Panama, 2008–2013[J]. *PLoS One*, 2014, 9(6): e100659. DOI: [10.1371/journal.pone.0100659](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100659).
- [38] Soebiyanto RP, Clara WA, Jara J, et al. Associations between seasonal influenza and meteorological parameters in Costa Rica, Honduras and Nicaragua[J]. *Geospat Health*, 2015, 10(2): 372. DOI: [10.4081/gh.2015.372](https://doi.org/10.4081/gh.2015.372).
- [39] Shek LPC, Lee BW. Epidemiology and seasonality of respiratory tract virus infections in the tropics[J]. *Paediatr Respirat Rev*, 2003, 4(2): 105–111. DOI: [10.1016/s1526-0542\(03\)00024-1](https://doi.org/10.1016/s1526-0542(03)00024-1).
- [40] 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](https://doi.org/10.1016/j.epidem.2015.06.002).
- [41] Schulman JL, Kilbourne ED. Experimental transmission of influenza virus infection in mice: II. some factors affecting the incidence of transmitted infection[J]. *J Exp Med*, 1963, 118(2): 267–275. DOI: [10.1084/jem.118.2.267](https://doi.org/10.1084/jem.118.2.267).
- [42] 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](https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030151).
- [43] Schaffer FL, Soergel ME, Straube DC. Survival of airborne influenza virus: effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids[J]. *Arch Virol*, 1976, 51(4): 263–273. DOI: [10.1007/bf01317930](https://doi.org/10.1007/bf01317930).
- [44] Lowen AC, Steel J, Mubareka S, et al. High temperature (30 °C) blocks aerosol but not contact transmission of influenza virus[J]. *J Virol*, 2008, 82(11): 5650–5652. DOI: [10.1128/JVI.00325-08](https://doi.org/10.1128/JVI.00325-08).
- [45] Yang W, Marr LC. Dynamics of airborne influenza A viruses indoors and dependence on humidity[J]. *PLoS One*, 2011, 6(6): e21481. DOI: [10.1371/journal.pone.0021481](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021481).
- [46] Noti JD, Blachere FM, McMillen CM, et al. High humidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs[J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e57485. DOI: [10.1371/journal.pone.0057485](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057485).
- [47] Yang W, Elankumaran S, Marr LC. Relationship between humidity and influenza A viability in droplets and implications for influenza's seasonality[J]. *PLoS One*, 2012, 7(10): e46789. DOI: [10.1371/journal.pone.0046789](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046789).
- [48] Shaman J, Kohn M. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106(9): 3243–3248. DOI: [10.1073/pnas.0806852106](https://doi.org/10.1073/pnas.0806852106).
- [49] McDevitt J, Rudnick S, First M, et al. Role of absolute humidity in the inactivation of influenza viruses on stainless steel surfaces at elevated temperatures[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2010, 76(12): 3943–3947. DOI: [10.1128/AEM.02674-09](https://doi.org/10.1128/AEM.02674-09).
- [50] McDevitt JJ, Rudnick SN, Radonovich LJ. Aerosol susceptibility of influenza virus to UV-C light[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2012, 78(6): 1666–1669. DOI: [10.1128/AEM.06960-11](https://doi.org/10.1128/AEM.06960-11).
- [51] Kudo E, Song E, Yockey LJ, et al. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2019, 116(22): 10905–10910. DOI: [10.1073/pnas.1902840116](https://doi.org/10.1073/pnas.1902840116).
- [52] Young GA Jr, Underdahl NR, Carpenter LE. Vitamin D intake and susceptibility of mice to experimental swine influenza virus infection[J]. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1949, 72(3): 695–697. DOI: [10.3181/00379727-72-17545](https://doi.org/10.3181/00379727-72-17545).
- [53] Polozov IV, Bezrukov L, Gawrisch K, et al. Progressive ordering with decreasing temperature of the phospholipids of influenza virus[J]. *Nat Chem Biol*, 2008, 4(4): 248–255. DOI: [10.1038/nchembio.77](https://doi.org/10.1038/nchembio.77).
- [54] Cannell JJ, Vieth R, Umhau JC, et al. Epidemic influenza and vitamin D[J]. *Epidemiol Infect*, 2006, 134(6): 1129–1140. DOI: [10.1017/S0950268806007175](https://doi.org/10.1017/S0950268806007175).
- [55] Cannell JJ, Zaslaff M, Garland CF, et al. On the epidemiology of influenza[J]. *Virol J*, 2008, 5: 29. DOI: [10.1186/1743-422X-5-29](https://doi.org/10.1186/1743-422X-5-29).
- [56] Koep TH, Enders FT, Pierret C, et al. Predictors of indoor absolute humidity and estimated effects on influenza virus survival in grade schools[J]. *BMC Infect Dis*, 2013, 13: 71. DOI: [10.1186/1471-2334-13-71](https://doi.org/10.1186/1471-2334-13-71).
- [57] Deyle ER, Maher MC, Hernandez RD, et al. Global environmental drivers of influenza[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2016, 113(46): 13081–13086. DOI: [10.1073/pnas.1607747113](https://doi.org/10.1073/pnas.1607747113).
- [58] Tamerius JD, Shaman J, Alonso WJ, et al. Environmental predictors of seasonal influenza epidemics across temperate and tropical climates[J]. *PLoS Pathog*, 2013, 9(3): e1003194. DOI: [10.1371/journal.ppat.1003194](https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003194).
- [59] Urashima M, Segawa T, Okazaki M, et al. Randomized trial of vitamin D supplementation to prevent seasonal influenza A in schoolchildren[J]. *Am J Clin Nutr*, 2010, 91(5): 1255–1260. DOI: [10.3945/ajcn.2009.29094](https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.29094).



郭倩

ORCID: 0000-0002-9496-3451

作者贡献:

郭倩: 资料收集整理、论文撰写

陈涛、周罗晶: 论文指导与修改

本文创新点和学术评论句见开放科学 (OSID) 平台, 欢迎扫描开放科学 (OSID) 二维码, 与作者开展交流互动