

文章编号: 2096-1618(2025)02-0232-06

# 深圳市冷季流感暴发与大气颗粒物浓度关系探究

黄悦<sup>1</sup>, 杨杨<sup>1</sup>, 马盼<sup>1,2</sup>, 马晓璐<sup>1</sup>, 李馨雨<sup>1</sup>, 李思俏<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

**摘要:**为探究亚热带气候区冷季流感暴发风险与大气颗粒物浓度的关系, 为相关疾病的防治提供科学依据, 进一步丰富气象健康与交叉领域的研究, 收集深圳市 2013 年 5 月至 2015 年 12 月流感暴发的疫情逐日监测数据, 及同时段的常规气象观测数据与大气颗粒物浓度数据。在区分流感病毒亚型(甲流、乙流)的基础上, 采用分布-滞后非线性模型 DLNM, 分析冷季流感暴发与两种粒径颗粒物  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  的关联性。结果显示: 两种亚型的暴发均在冷季呈现高峰, 与颗粒物在冷季的高浓度峰值基本对应; 但甲流、乙流疫情暴发的时间段不完全重合, 并存在年际差异。DLNM 揭示, 对于甲流而言, 高浓度  $PM_{2.5}$  存在较强的滞后性影响, 滞后 11 d 时  $74.28 \mu g/m^3$  ( $P_{90}$ ) 的  $PM_{2.5}$  浓度关联的相对危险度 RR 可达 1.85 (95% CI: 1.01 ~ 3.36); 而  $PM_{10}$  的即时效应更强, 暴发当天高浓度 ( $90.50 \mu g/m^3$ ,  $P_{75}$ ) 关联的 RR 高达 1.68 (95% CI: 1.04 ~ 2.71)。此外, 大气颗粒物对乙流暴发仅存在一定的滞后效应 (5 ~ 8 d), 例如, 滞后 5 d 浓度为  $56.58 \mu g/m^3$  ( $P_{75}$ ) 的  $PM_{2.5}$  危险度为 1.22 (95% CI: 0.90 ~ 1.64), 而  $90.50 \mu g/m^3$  ( $P_{75}$ ) 的  $PM_{10}$  危险度高达 3.17 (95% CI: 1.73 ~ 5.78)。综上, 大气颗粒物对流感暴发疫情的影响显著, 提升空气质量可一定程度降低流感传播风险。

**关键词:** 流感暴发疫情; 大气颗粒物; 暴露-反应关系; 时间序列模型; 冷季

**中图分类号:** P49

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2025.02.015

## 0 引言

流感是由流感病毒引发的一种急性呼吸道传染病, 据世卫组织估计, 全球每年有高达 65 万人因流感死亡<sup>[1]</sup>, 其中有 300 ~ 500 万重症病例, 29 ~ 65 万呼吸道疾病相关死亡<sup>[2]</sup>。孕妇、婴幼儿、老年人和慢性基础病患者等高危人群, 患流感后引起严重疾病和死亡的风险较高<sup>[3]</sup>。流感病毒的抗原易变, 传播迅速, 每年可引起季节性流行, 特别在学校和养老院等人群聚集的场所易发生流感暴发疫情。病毒主要分为甲、乙、丙三型, 其中以甲型和乙型流感病毒为主, 故现有季节性流感疫苗仅针对这两种病毒。在人口密集的大城市, 流感暴发和交叉感染的风险更高。

相关研究均表明, 季节和气象条件对流感的发生有显著影响, 如气温、相对湿度、降水等气象因素会显著影响流感传播<sup>[4]</sup>。因大部分流感病毒耐低温, 温带地区冬季低温、干燥的气候利于流感病毒传播<sup>[5]</sup>。热带和亚热带地区的流疫情存在多个年内高峰, 区域差异也较大, 例如深圳市常在夏季和秋冬季发生流感暴发疫情, 与之关联的气象条件更为复杂<sup>[6]</sup>。此外, 长期暴露在空气污染中会导致呼吸道的炎症刺激, 大

量研究报道了大气颗粒物对呼吸系统的不良影响<sup>[7-9]</sup>。由于化学成分和其进入呼吸道的渗透程度不同, 颗粒物的具体影响也有所不同<sup>[10]</sup>, 细颗粒物 (particulate matters  $\leq 2.5 \mu m$ ,  $PM_{2.5}$ ) 和可吸入颗粒物 (inhalable particulate matter,  $PM_{10}$ ) 与季节性流感传播风险密切相关<sup>[11-12]</sup>。流感病毒除了通过飞沫和细粒子进入呼吸道以外, 还会随着颗粒物的沉降附着于物体表面, 通过直接接触进一步传播<sup>[13]</sup>。因此, 大气颗粒物污染对流感暴发、传播的影响不容忽视, 对其影响进行量化研究十分必要。

本研究聚焦中国的经济特区和超大城市——深圳, 结合其气候条件, 量化研究冷季大气颗粒物浓度对流感暴发疫情的影响, 并评估颗粒物污染与一定滞后期内流感暴发风险的关联性。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区域

深圳是中国首批经济特区、全国性经济中心城市和国际化城市。根据深圳市统计局数据, 2022 年常住人口 1766.18 万<sup>[14]</sup>。深圳所处较低纬度, 属亚热带海洋性气候, 夏季盛行偏东南风, 高温多雨, 时有季风低压、热带气旋光顾; 其余季节盛行东北季风, 天气干燥

收稿日期: 2023-09-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (42205185); 中国气象局青年创新团队资助项目 (CMA2024QN15)

通信作者: 马盼. mapan@cuit.edu.cn

舒适。

深圳市气象局根据气候学季节划分法划分四季<sup>[15]</sup>,以 5 天滑动平均气温持续情况划分,持续>10℃为春季开始,持续>22℃为夏季开始,持续≤22℃为秋季开始,持续≤10℃为冬季开始。结合深圳长夏短冬的特点,将夏季划分为暖季,具体时间为:4 月 20 日-11 月 8 日,将春季、冬季、秋季划分为冷季,具体时间为:11 月 9 日-次年 4 月 19 日。

1.2 资料概况

根据中国《全国流感监测技术指南》(2017 年版),流感暴发疫情定义为同一地区或单位内在较短时间内出现异常增多的流感样病例。本文采用深圳市疾控中心收集 2013 年 5 月 1 日-2015 年 12 月 31 日的流感暴发病例资料,涵盖暴发疫情的单位名称、地址、报告人、联系方式、疫情波及人数等。研究时间段内共有 1687 例流感确诊病例,其中发生于冷季的确诊病例共 1058 例,包含 380 例甲流病例与 678 例乙流病例。

同期逐日气象数据来自深圳市气象局,对缺测试进行平滑处理后,将日平均气温  $T$  和相对湿度  $RH$  等气象要素纳入后续模型。

同时段的深圳全市  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  逐小时浓度来自深圳市生态环境局,并将其处理为可与疫情数据匹配的、全市平均的逐日浓度数据,供后续研究使用。

1.3 研究方法

分布滞后非线性模型 (distributed-lag nonlinear model, DLNM) 可较为准确地描述气象环境要素与某种疾病的关系,量化滞后和累积效应。本研究基于 R3.1.1 软件,通过 DLNM 和 MGCV 程序包实现时间序列建模分析。利用 DLNM 分别构建各主要气象、环境因子的交叉基函数,在避免共线性和过拟合的前提下构造模型基本框架,并定量输出颗粒物关联的流感疫情风险和效应持续时间,以及相应的浓度阈值等。

首先,控制发病序列的时间趋势,并根据以往的研究,

确认影响深圳流感暴发病例的主要气象因子为气温和相对湿度<sup>[4]</sup>。再基于多次敏感性试验,在模型中分别纳入  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的交叉基函数,从而建立流感暴发-颗粒物浓度的关联性函数。

对个体而言,流感发病为小概率事件,因此采用广义的泊松回归构造模型框架,如下:

$$\lg[E(Y_t)] = \alpha + \sum cb(X, lag) + cb(T, lag) + ns(time, df) + ns(RH, df) + \beta DOW_t + \gamma Holiday_t \quad (1)$$

式中: $Y_t$  是第  $t$  天的流感确诊人数, $E(Y_t)$  表示模型预估第  $t$  日的入院人数期望值, $\alpha$  表示模型残差, $cb(X)$  为 DLNM 中构造的交叉基函数,用于模拟每日独立污染物变量的非线性滞后效应; $X$  指某种颗粒物的浓度; $lag$  即滞后时间,一般认为污染物所引起的呼吸道急性效应多在一周以内<sup>[16]</sup>,故设置滞后为 14 d 左右; $df$  为自由度,参考以往研究<sup>[17]</sup>并经过具体调试,将其定在 3~4; $time$  表示时间趋势,其自由度设为 7/年<sup>[18]</sup>;  $DOW$  表示一周的第几天; $holiday$  表示节假日的混杂效应,将其作为哑变量引入。

流感暴发-颗粒物浓度关联的强弱程度用相对危险度 (relative risk, RR) 表示,RR 值越大,表示暴露于污染产生的流感风险越大。根据研究期间监测的颗粒物浓度数据,量化其浓度的典型分位数对流感暴发的影响,并揭示颗粒物影响的最强效应日。

2 结果

2.1 变量的描述性统计

表 1 是对逐日流感暴发人数以及相关气象因子进行描述性统计,其中  $P_{25}$ 、 $P_{50}$  和  $P_{75}$  分别为变量的第 25、50 和 75 分位数。日均患病人数 0~33 人,且乙流暴发病例略高于甲流暴发病例 (1.80. vs. 1.01)。研究期间深圳日平均气温 18.32℃,平均相对湿度 67.72%,平均风速偏小 (2.09 m/s)。  $PM_{10}$  与  $PM_{2.5}$  的平均浓度分别为 70.52  $\mu g/m^3$  和 46.04  $\mu g/m^3$ 。

表 1 深圳市 2013 年 5 月 1 日-2015 年 12 月 31 日冷季的流感暴发病例及气象变量的统计特征

参数	平均值	最小值	$P_{25}$	$P_{50}$	$P_{75}$	最大值
Flu A/人	1.01	0	0	0	0	33
Flu B/人	1.80	0	0	0	0	32
$T/^\circ C$	18.32	6.00	15.50	18.30	21.20	26.80
$RH/\%$	67.72	19.00	59.00	71.00	79.00	94.00
$PM_{10}/(\mu g/m^3)$	70.52	11.93	46.12	64.35	90.50	196.19
$PM_{2.5}/(\mu g/m^3)$	46.04	9.57	28.89	42.65	56.58	135.94
$V/(m/s)$	2.09	0.70	1.60	2.00	2.40	5.40

图1显示,甲流、乙流的暴发随季节有显著变化,冷季为流感的暴发高峰期。相应地,图2可看出两种颗粒物浓度随季节也有显著变化,PM<sub>10</sub>的浓度普遍高于PM<sub>2.5</sub>,且两种颗粒物浓度分布的时间特点具有相似性,冷季浓度更高。由于在不同季节,同一颗粒物对流感的暴发存在不同的影响,深圳流感暴发强度有一定的季节差异。秋冬交替季节和冬季流感疫情高发,而春季和夏季发病相对较少,该结果与山义昌等<sup>[19]</sup>、何凡等<sup>[20]</sup>、杨斯棋等<sup>[21]</sup>的研究结果相似。但不同地区流感的流行季节并不完全相同,广州夏季为流感暴发高峰期<sup>[22]</sup>。综合考虑发病及影响因子的分布情况,本研究在冷季构造时间序列模型,评估颗粒物对流感暴发的影响及其滞后效应。

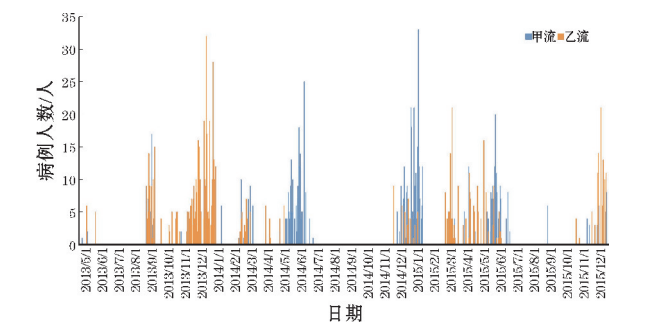


图1 深圳市2013年5月1日-2015年12月31日逐日流感暴发人次的时间序列

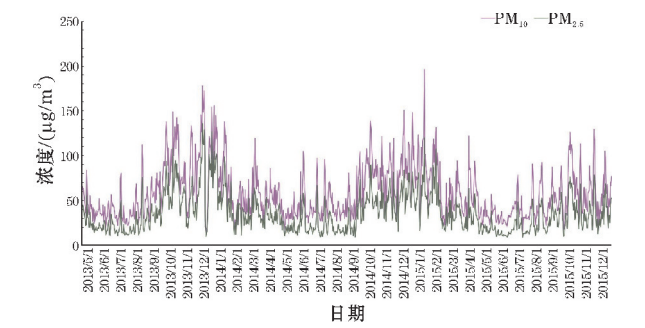


图2 深圳市2013年5月1日-2015年12月31日的PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>时间序列

2.2 颗粒物与流感暴发的关联性

2.2.1 颗粒物对甲流暴发的影响

研究期间,PM<sub>2.5</sub>浓度为18.28~93.06 μg/m<sup>3</sup>,以中位数46.04 μg/m<sup>3</sup>为基准值,计算危险度数值,后同。通过三维曲面图和切片图,反映PM<sub>2.5</sub>与甲流的暴露-反应关系及其最强滞后日关联性(图3)。

在甲流疫情暴发当天,高浓度PM<sub>2.5</sub>对甲流疫情暴发即时影响显著,3 d后RR明显上升,并滞后10~12 d达到峰值(图3a,表2)。图3(b)显示,滞后第11 d时,PM<sub>2.5</sub>浓度高于46 μg/m<sup>3</sup>后发病风险显著增大。

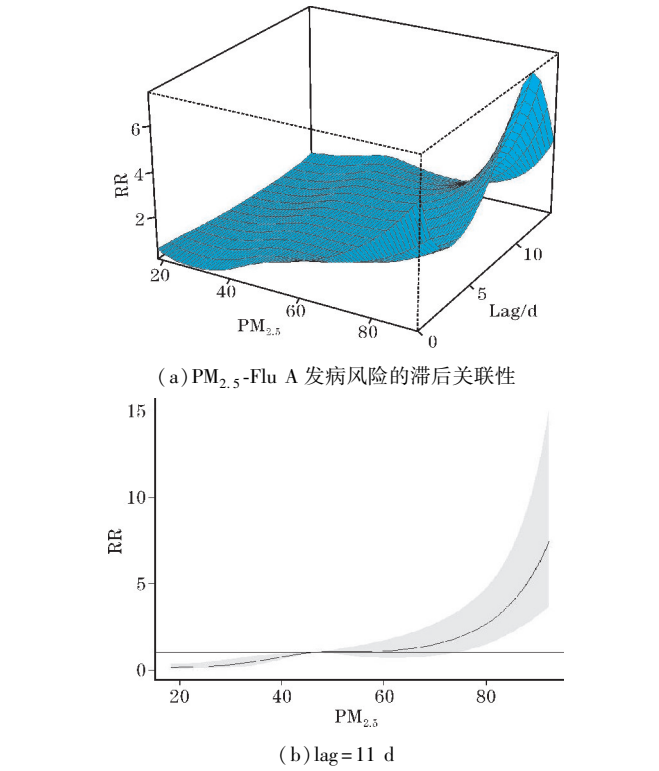


图3 PM<sub>2.5</sub>浓度与甲流暴发之间的滞后响应三维图和典型滞后日RR切片图

PM<sub>10</sub>浓度为26.70~126.96 μg/m<sup>3</sup>,中位数为70.50 μg/m<sup>3</sup>。图4(a)显示,随着PM<sub>10</sub>浓度增加,当日流感暴发显著增多;滞后1 d时RR最高,随后迅速下降,滞后10 d后略有上升。此外,最强滞后日PM<sub>10</sub>效应显著的浓度阈值约为70 μg/m<sup>3</sup>(图4b)。

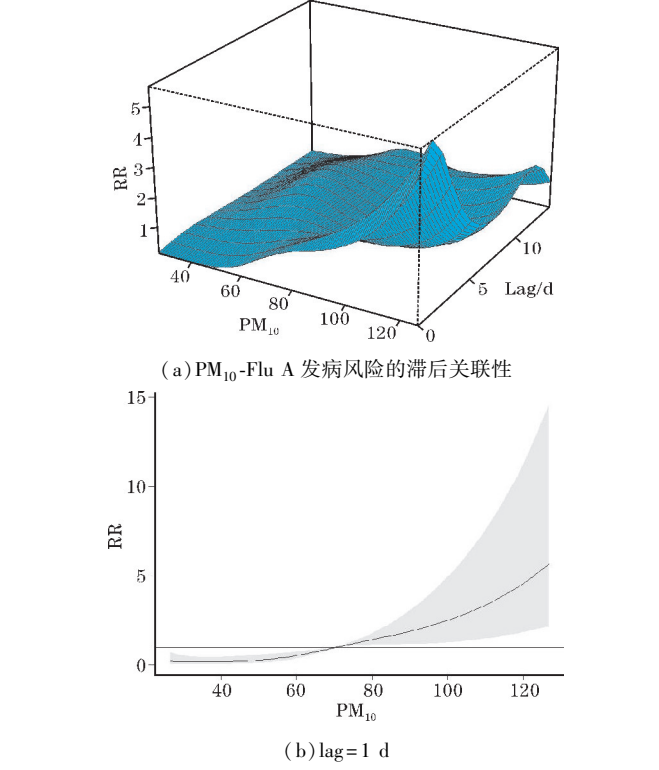


图4 PM<sub>10</sub>浓度与甲流暴发之间的滞后响应三维图和典型滞后日RR切片图



为进一步量化不同浓度颗粒物对甲流的影响,列出第 50、75、90 分位数在典型滞后日(滞后 0、7、12、14 d)的相对危险度(表 2)。结果显示,颗粒物浓度偏高时(中位数以上)对甲流暴发有显著的即时效应,且

PM<sub>10</sub>危险度略高于 PM<sub>2.5</sub>;同时发现高 PM<sub>2.5</sub> 浓度(75 μg/m<sup>3</sup>以上)的影响在滞后 8~12 d 均通过检验,即细粒子对甲流暴发还存在明显的滞后效应。

表 2 颗粒物各典型浓度下甲流暴发风险及其 95% 置信区间

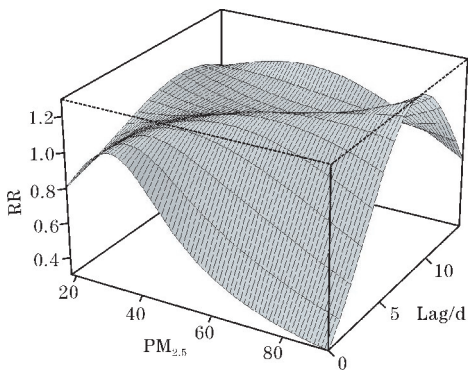
颗粒物	分位数	Lag 0	Lag 7	Lag 12	Lag 14
PM <sub>2.5</sub>	P <sub>50</sub>	0.71 (0.63–0.81)	0.88 (0.78–0.98)	0.90 (0.81–0.99)	1.02 (0.91–1.14)
	P <sub>75</sub>	<b>1.55 (1.13–2.12) *</b>	1.05 (0.76–1.45)	0.97 (0.71–1.35)	0.72 (0.53–0.97)
	P <sub>90</sub>	<b>3.25 (1.54–6.85) *</b>	1.88 (0.97–3.64)	<b>2.09 (1.21–3.58) *</b>	1.10 (0.58–2.06)
PM <sub>10</sub>	P <sub>50</sub>	0.69 (0.59–0.80)	1.20 (0.97–1.48)	0.99 (0.86–1.13)	0.94 (0.82–1.07)
	P <sub>75</sub>	<b>1.68 (1.04–2.71) *</b>	0.43 (0.19–0.97)	1.04 (0.53–2.03)	0.62 (0.38–1.02)
	P <sub>90</sub>	<b>3.59 (1.46–8.80) *</b>	0.81 (0.23–2.86)	1.66 (0.66–4.17)	0.74 (0.33–1.69)

注: \* 表示 RR 通过了置信度水平 95% 的显著性检验。

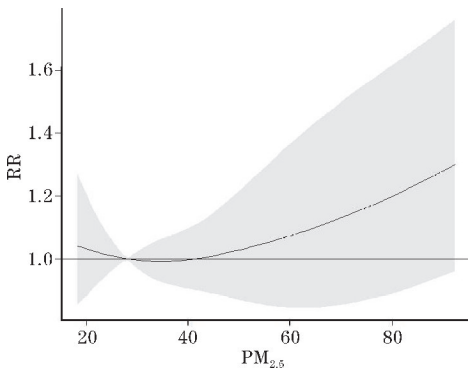
2.2.2 颗粒物对乙流暴发的影响

由图 5(a) 可知,PM<sub>2.5</sub> 与乙流暴发风险的关联性总体较弱,并且与甲流明显不同,低浓度 PM<sub>2.5</sub> 会显著影响当日发病率。图 5(b) 显示,在滞后 8 d 时,随着 PM<sub>2.5</sub> 浓度增加 RR 非线性增加,但影响不显著(表 3)。

响,滞后 5~10 d 时 RR 较高。图 6(b) 显示,滞后 5 d 时,RR 随 PM<sub>10</sub> 浓度增加非线性上升,当 PM<sub>10</sub> 浓度达到 80 μg/m<sup>3</sup> 左右时,RR 趋于平缓且稳定维持在较高值。

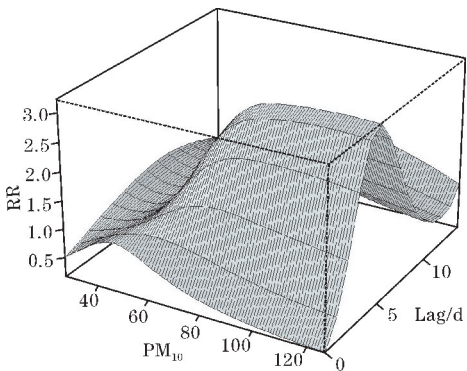


(a) PM<sub>2.5</sub>-Flu B 发病风险的滞后关联性

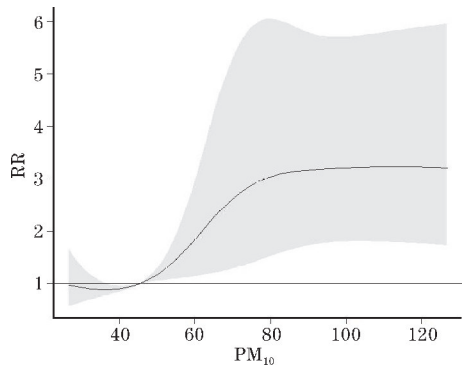


(b) lag=8 d

图 5 PM<sub>2.5</sub> 浓度与乙流暴发之间的滞后响应  
三维图和典型滞后日的切片图



(a) PM<sub>10</sub>-Flu B 发病风险的滞后关联性



(b) lag=5 d

图 6 PM<sub>10</sub> 浓度与乙流暴发之间的滞后响应  
三维图和典型滞后日 RR 切片图

表 3 为第 50、75、90 分位数在各滞后日(滞后 0、5、14 d)的相对危险度。滞后 5 d 时,中高浓度的 PM<sub>10</sub> 均通过了显著性检验,而 PM<sub>2.5</sub> 效应不甚明显。因此,PM<sub>10</sub> 对乙流暴发存在显著的短期滞后影响。

图 6(a) 表明,PM<sub>10</sub> 浓度较大时存在显著的滞后影

表3 颗粒物各典型浓度下乙流暴发风险及其95%置信区间

颗粒物	分位数	Lag 0	Lag 5	Lag 14
PM <sub>2.5</sub>	P <sub>50</sub>	0.99 (0.76–1.30)	1.19 (1.01–1.41) *	1.14 (0.96–1.36)
	P <sub>75</sub>	0.68 (0.44–1.05)	1.22 (0.90–1.64)	1.33 (0.97–1.83)
	P <sub>90</sub>	0.39 (0.22–0.71)	1.07 (0.72–1.61)	1.19 (0.79–1.81)
PM <sub>10</sub>	P <sub>50</sub>	0.68 (0.44–1.04)	2.23 (1.19–4.18) *	1.34 (0.93–1.92)
	P <sub>75</sub>	0.32 (0.18–0.55)	3.17 (1.73–5.78) *	1.47 (0.95–2.28)
	P <sub>90</sub>	0.19 (0.10–0.38)	3.22 (1.76–5.89) *	1.12 (0.72–1.76)

注：\* 表示相对危险度通过了置信度水平95%的显著性检验。

3 结论与讨论

研究基于深圳流感暴发疫情监测资料和相应时段的气象、大气颗粒物浓度数据,建立模型定量分析冷季了颗粒物浓度对流感暴发风险的潜在影响,结论如下:

(1)伴随颗粒物浓度升高,流感暴发疫情风险增加,且甲流的上升趋势相对乙流更明显,这与上海的研究结果相似<sup>[23]</sup>。

(2)高浓度大气颗粒物对两种流感亚型的影响存在一定差别。高浓度PM<sub>2.5</sub>对甲流暴发存在显著的即时效应和滞后影响,对乙流暴发的影响较弱;高浓度PM<sub>10</sub>同样会增加甲流暴发疫情风险,存在即时效应和短期滞后效应,而对乙流产生一定的滞后影响。

(3)在流感暴发前0~11 d的高浓度大气颗粒物,可能对疫情产生显著影响,这与宁波市一项研究类似,即大气颗粒物对流感样病例的影响在滞后0~7 d显著<sup>[24]</sup>。

除采取科学措施降低空气污染物水平,为防控流感疫情、降低流感风险,当地政府还需采取人为干预措施,包括关闭工厂或人员聚集场所、学校停课等。居民也应在冷季适当减少室外活动的时间,采取个人防护措施(如戴口罩、勤洗手等),加强锻炼,提高自身免疫力。

本研究收集的流感数据来自深圳市疾病预防控制中心,其覆盖面广,数据完整,格式规范,研究结果在当地气候背景下有一定的代表性,一定程度上为亚热带地区空气污染与流感暴发的关系提供了证据,有助于建立有效的公共卫生干预措施和综合预警系统。

但研究仍存在一些局限性。首先,与流感关联的气象环境因素复杂,如气态污染物、风速等混杂因子,量化某种颗粒物的影响时很难剥离其他因素的协同作用;另外,研究所用样本量相对有限,对结果的准确性存在一定影响;最后,流感暴发与传播受到多种非气象要素的影响,包括病毒变异等病理学原因,还有注射疫苗、隔离等多种人为干预。未来研究需收集更大时间范围的医疗数据,考虑更多因素的协同影响,以便更充分地解释大气颗粒物与流感风险之间的关系。

致谢:成都信息工程大学教育教学研究与改革项目(JYJG2023066)与成都信息工程大学大学生创新创业项目(202210621007)对本文的资助

参考文献:

[1] World Health Organization. Fact sheet on influenza (seasonal). [EB/OL]. [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/influenza-\(seasonal\)](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/influenza-(seasonal)), 2023,1,12.

[2] Iuliano, A. Estimates of global seasonal influenza-associated respiratory mortality: a modelling study [J]. LANCET, 2018, 391 (10127): 1285–1300.

[3] 冯录召, 彭质斌, 王大燕, 等. 中国流感疫苗预防接种技术指南(2018–2019) [J]. 中华预防医学杂志, 2018, 52 (11): 1101–1114.

[4] Li Yapeng. Impact of weather factors on influenza hospitalization across different age groups in sub-tropical Hong Kong [J]. International Journal Of Biometeorology, 2018, 62 (9): 1615–1624.

[5] Lowen AC, Mubareka S, Steel J, et al. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature [J]. PLoS Pathog, 2007, 3: 1470–1476.

[6] 马盼, 王馨梓, 张莉, 等. 深圳流感发病的气象诱因及预测建模研究 [J]. 气象学报, 2022, 80 (3): 421–432.

[7] 钱旭君, 沈月平, 贺天锋, 等. 宁波市大气颗粒物与人群因心脑血管疾病死亡的时间序列研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2016, 37 (6): 841–845.

[8] Fiordelisi A, Piscitelli P, Trimarco B, et al. The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases [J]. Heart Fail Rev, 2017, 22 (3): 337–347.

[9] Ma Pan. Stronger susceptibilities to air pollutants of influenza A than B were identified in subtropical Shenzhen, China [J]. Environmental Research, 2023, 219: 115100.

[10] Kim Ki-Hyun. A review on the human health impact of airborne particulate matter [J]. Environment International, 2015, 74: 136–143.

[11] Lu Bing. Epidemiological and genetic characteristics of influenza virus and the effects of air pollution on laboratory-confirmed influenza cases in

- Hulunbuir, China, from 2010 to 2019 [J]. *Epidemiology And Infection*, 2020, 148: e159.
- [12] Chen Gongbo. The impact of ambient fine particles on influenza transmission and the modification effects of temperature in China: A multi-city study [J]. *Environment International*, 2017, 98 (1): 82–88.
- [13] Cowling, Benjamin. Aerosol transmission is an important mode of influenza A virus spread [J]. *Nature Communications*, 2013, 4(6): 1935.
- [14] 深圳市统计局. 深圳市年末常住人口数据发布 [EB/OL]. (<http://tjj.sz.gov.cn/ztl/zl/sjfb/>), 2012/2022.
- [15] 深圳市气象局. 深圳市气候概况及四季特征 [EB/OL]. (<http://weather.sz.gov.cn>), 2022, 3, 31.
- [16] Murtas, Rossella. Effects of pollution, low temperature and influenza syndrome on the excess mortality risk in winter 2016–2017 [J]. *BMC PUBLIC HEALTH*, 2019, 19(1): 1–9.
- [17] Gasparini, Antonio. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: The Package dlnm [J]. *Journal Of Statistical Software*, 2011, 43(8): 1–20.
- [18] 谷少华, 王爱红, 边国林, 等. 宁波市气象条件与中暑的关联性分析 [J]. *中华流行病学杂志*, 2016, 37(8): 1131–1136.
- [19] 山义昌, 徐太安, 鲁丹, 等. 流感流行期大气环境特征及流感分级预报 [J]. *气象科技*, 2003, 31(6): 389–392.
- [20] 何凡, 林君芬, 徐旭卿. 甲型 H1N1 流感与气象因子的关系及预报模型研究 [J]. *浙江预防医学*, 2014, 26(7): 649–652.
- [21] 杨斯棋, 邢满月, 董卫华, 等. 北京市甲型 H1N1 流感对气象因子的时空响应 [J]. *地理学报*, 2018, 73(3): 460–473.
- [22] 黄智峰, 刘晓剑, 杨连朋, 等. 深圳市流行性感 冒与气象因素的关联性分析 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2017, 21(10): 1035–1038.
- [23] 陈淑, 王远萍, 刘丹, 等. 上海市浦东新区流感样病例与大气颗粒物相关性分析 [J]. *公共卫生与预防医学*, 2022, 33(5): 32–35.
- [24] 王思嘉, 廖青, 易波, 等. 宁波市大气颗粒物浓度与流感样病例的时间序列研究 [J]. *中华疾病控制杂志*, 2018, 22(5): 450–454.

## Relationship between Influenza Outbreak Epidemic and Atmospheric Particle Concentration in the Cold Season of Shenzhen

HUANG Yue<sup>1</sup>, YANG Yang<sup>1</sup>, MA Pan<sup>1,2</sup>, MA Xiaolu<sup>1</sup>, LI Xinyu<sup>1</sup>, LI Siqiao<sup>1</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** The current study explored the relationship between influenza outbreak risk and concentration of airborne particulate matter in the cold season of Shenzhen, a sub-tropical city in China, which could enrich the study in the interdisciplinary field of meteorology and health, and improve the efficiency of the influenza prevention. Our study collected the daily surveillance data of influenza outbreak in Shenzhen from May 2013 to December 2015, as well as the daily meteorological observation data and daily concentration of atmospheric particulates ( $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ ). Based on differentiating two subtypes of influenza virus (influenza-A and influenza-B), we analyzed the association between influenza outbreaks and the two kinds of particulate matter in the cold season of Shenzhen. The Distributed-Lag Nonlinear Model (DLNM) was adopted. The results showed that, the peaks of influenza subtypes generally occurred simultaneously with the high concentrations of particulate matter in the cold season. However, the outbreaks of influenza-A and influenza-B epidemics did not coincide completely, some inter-annual differences existed as well. The DLNM revealed that high  $PM_{2.5}$  concentration had significant effects on influenza-A, e. g., the relative risk (RR) corresponding to a  $74.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  of  $PM_{2.5}$  (the 90th percentile) on lag 11 d was 1.85 (95% CI: 1.01–3.36). In contrast, the immediate effect of  $PM_{10}$  on influenza-A was stronger, with an RR of 1.68 (95% CI: 1.04–2.71) associated with a high concentration ( $90.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) on the day of the influenza outbreak. However, the immediate effect of particulate matters on influenza B was not significant, they only presented some short-term lag effects on lag 5–8 d. A more prominent impact of  $PM_{10}$  than  $PM_{2.5}$  was revealed. For example, concerning  $PM_{2.5}$ , the RR was 1.22 (95% CI: 0.90–1.64) for a concentration of  $56.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (the 75<sup>th</sup> percentile) on lag 5 d, whereas for  $PM_{10}$  the RR was up to 3.17 (95% CI: 1.73–5.78) ( $90.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , the 75<sup>th</sup> percentile). In summary, the ambient influence of atmospheric particulate matter on the influenza outbreak was significant in Shenzhen, China. Improving air quality could reduce influenza transmission risk to some extent.

**Keywords:** influenza outbreak epidemic; atmospheric particulate matter; exposure-response relationship; time-series model; cold season