

# 云南省昆明市假期对人群移动与流行性感冒传播的影响

陈昱<sup>1</sup> 明博文<sup>2</sup> 刘彦恺<sup>2</sup> 张娟娟<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>复旦大学上海市重大传染病和生物安全研究院,上海 200032;<sup>2</sup>复旦大学公共卫生学院流行病学教研室,上海 200032

通信作者:张娟娟,E-mail: zhangjuan@fudan.edu.cn

DOI:10.16462/j.cnki.zhjbkz.2026.02.002

**【摘要】** 目的 评估昆明市假期与非假期期间市内人群移动模式的变化及其对流行性感冒(简称流感)传播的影响。方法 收集昆明市 2023 年 7 月 31 日—2024 年 8 月 4 日的流感监测数据与 2023 年 9 月 1 日—2024 年 2 月 29 日的手机信令数据,分析流感综合指数变化,比较假期与非假期的出行指标差异,并基于手机信令数据构建耦合人群移动的传染病动力学模型,通过比较有假期与无假期情景下累计流感病例数的差异,量化假期对流感传播的影响。结果 假期期间流感综合指数呈下降趋势,公共假期后呈上升趋势。国庆节与中秋节(48.36 万人,0.62 人次/人)、春节(33.24 万人,0.48 人次/人)、寒假(51.87 万人,0.69 人次/人)期间的日均出行人数与人均出行频次均低于平常日期(均  $P < 0.05$ ),元旦与平常则无明显差异( $Z = -0.71$ ,  $P = 0.531$ )。模型结果显示,不同假期对流感传播的影响存在差异:春节使累计流感病例数减少 1 556 例,而国庆节与中秋节、元旦及寒假则分别增加 867 例、11 例和 1 548 例。且不同行政区之间存在空间异质性。结论 假期改变了昆明市市内人群移动模式并影响流感传播,不同类型假期的影响存在差异,未来应关注假期、人群移动与流感传播之间的相互作用。

**【关键词】** 人群移动;手机信令;流行性感冒;假期;传染病建模

**【中图分类号】** R183.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1674-3679(2026)02-0131-12

**基金项目:** 国家自然科学基金重大研究计划培育项目(92369118);国家自然科学基金青年基金(82304202)

**The impact of holidays on human mobility and influenza transmission in Kunming City of Yunnan Province** CHEN Yu<sup>1</sup>, MING Bowen<sup>2</sup>, LIU Yankai<sup>2</sup>, ZHANG Juanjuan<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Institute of Infectious Disease and Biosecurity, Fudan University, Shanghai 200032, China;

<sup>2</sup>Key Laboratory of Public Health Safety of Ministry of Education, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China

Corresponding author: ZHANG Juanjuan, E-mail: zhangjuan@fudan.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To evaluate the variation of human mobility patterns in Kunming during holiday and non-holiday periods, and to assess their impact on the transmission of influenza. **Methods** We collected influenza surveillance data in Kunming from July 31, 2023, to August 4, 2024, and mobile phone signaling data from September 1, 2023, to February 29, 2024. We analyzed variations in the influenza composite index, and compared mobility indicators between holiday and non-holiday periods. We also developed an infectious disease transmission model that integrated human mobility using mobile phone signaling data. The differences in the total number of cumulative influenza cases under holiday and non-holiday scenarios to quantify the impact of holidays on influenza transmission. **Results** During the holiday period, the influenza composite index showed a downward trend, followed by an upward trend after the public holidays. The average daily number of travelers and average travel frequency per person during the National Day and Mid-Autumn Festival (48.36/10 000, 0.62 per person), Spring Festival

(33.24/10 000, 0.48 per person), and winter vacation (51.87/10 000, 0.69 per person) were lower than those on regular days (all  $P < 0.05$ ), whereas there was no significant difference on New Year's Day ( $Z = -0.71$ ,  $P = 0.531$ ). Model simulations indicated that different holidays had varying impacts on the transmission of influenza: the Spring Festival reduces the cumulative number of flu cases by 1 556, while the National Day, Mid-Autumn Festival, New Year's Day, and winter vacation increase the cases by 867, 11, and 1 548, respectively. Additionally, substantial spatial heterogeneity was observed across different administrative districts. **Conclusions** Holidays altered the human mobility patterns and affect the transmission of influenza in Kunming. The impact varied across different types of holidays. In the future, attention should be paid to the interaction between holidays, human mobility, and influenza transmission.

**【Keywords】** Human mobility; Mobile phone signaling data; Influenza; Holiday; Infectious disease model

**Fund programs:** Major Research plan of the National Natural Science Foundation of China (92369118); National Natural Science Foundation for Young Scientists of China (82304202)

(Chin J Dis Control Prev 2026, 30(2):131-142)

流行性感 冒 (简称流感) 是一种由流感病毒引起的急性呼吸道传染病, 其流行对社会造成严重的疾病负担<sup>[1]</sup>。人群移动定义为个体从出发地至目的地的空间轨迹。既往研究指出<sup>[2-4]</sup>, 人口流动性的增强与疾病流行期提前、流行高峰提早形成、病例数增多及传播风险上升呈正相关。假期期间, 跨区域 (如跨市、跨省或跨国) 的出行人数、出行频次和移动距离均有所增加<sup>[5-8]</sup>, 而市域与省内的局部流动则趋于减少<sup>[9-11]</sup>。此外, 已有研究显示, 公共假期可能伴随流感病例的增加<sup>[12-13]</sup>, 而学校假期则有助于降低儿童流感病例数和流感有效再生数<sup>[14-15]</sup>。

既往研究主要使用航空数据、城市公共交通记录、全球定位系统 (global positioning system, GPS)、问卷调查及手机信令数据等方式探索人群移动与传染病传播的关系<sup>[16-20]</sup>。不同数据源在研究应用中各有侧重与优势: 例如, 航空与城市公共交通数据可刻画特定交通网络内的人群流动模式, GPS 与问卷调查则更适用于追踪特定研究对象的出行轨迹。然而, 这些数据也因其采集方式存在一定的局限: 样本代表性不足、连续性有限与覆盖范围受限等。例如, 航空与城市公共交通数据仅反映使用该类交通工具出行的人群, 且受区间交通基建差异的影响; 基于 GPS 的数据收集均依赖于设备开启定位功能; 问卷调查则易受回忆偏倚的干扰。而手机信令数据因手机普及率高、数据获取仅需手机处于开机状态且不受用户主观行为干扰等特点, 具有更好的代表性和准确性。在假期对人群移动与流感传播影响的研究方面, 既往研究多聚焦于跨市、跨省或跨国尺度的长距离移动<sup>[21-23]</sup>, 结果显示长距离移动促进了传染病在更广阔空间范围内传播。然而, 人群通常以短距

离、高频率的日常移动为主, 长距离出行则相对较少<sup>[24-25]</sup>, 这表明较小地理尺度内的频繁人群移动行为可能会成为驱动流感传播的关键因素。但目前少有研究聚焦市内短距离移动对流感传播的影响。为此, 本研究基于高精度手机信令数据, 评估假期期间昆明市人群移动模式的变化, 并进一步探究其对当地流感传播的影响。

## 1 数据与方法

**1.1 数据来源** 收集云南省昆明市 2023 年 7 月 31 日—2024 年 8 月 4 日的流感监测数据与 2023 年 9 月 1 日—2024 年 2 月 29 日的手机信令数据。收集的 手机信令数据时段覆盖了昆明市流感流行的高峰期<sup>[26]</sup>。

流感监测数据来源于国家流感监测信息系统<sup>[26]</sup>, 手机信令数据由我国主要电信运营商之一的中国联通 (<http://www.smartsteps.com/>) 提供。中国联通在云南省通信运营市场的份额为 17%, 用户总数达 850 万。手机信令数据主要通过 2 种方式获取: 一是主动信令, 记录用户在通话、收发短信等主动通信行为时的时空信息; 二是被动信令, 即使用户未主动通信, 只要手机处于开机状态, 基站会以约 30 min 的时间间隔自动记录其时空信息。

**1.2 数据处理** 本研究使用的手机信令数据由联通公司事先进行清洗, 已剔除信令记录过少、移动速度不合理等无效用户, 保障了数据输出的质量与适用性。本研究进一步对出行人数、出行频次、平均每人出行停留时长等人群移动指标进行复核, 无异常值需剔除。

本研究对手机信令数据进行了预处理。首先, 将昆明市划分为 999 427 个 150 m×150 m 的网格单

元,并对每个网格赋予唯一编号。基于处理后的数据,构建每日的“出发地-目的地(origin-destination, O-D)”矩阵,进而获取全市范围内每日从一个网格移动至另一个网格的人数与次数。其次,对昆明市网格内联通用户居住情况进行统计,筛选出在市内连续停留超过 10 d 的联通用户,分析每日晚间 9 点至次日早晨 8 点间用户在各网格内的停留时长。根据停留时长的累加结果进行排序,将累计停留时长最长的网格判定为该用户的居住网格,据此统计每个网格内的联通用户居住数。

本研究采用的流感监测数据与手机信令数据均不包含个人隐私信息。手机信令数据已由中国联通进行匿名化处理并在地理网格水平进行汇总,确保数据完全无法关联到任何具体个人。

### 1.3 研究指标

**1.3.1 流感流行指标** 本研究计算了流感样病例(influenza-like illness, ILI)数、ILI 占门(急)诊病例的百分比(ILI%)、ILI 标本阳性率及流感综合指数。流感监测数据按周进行汇总(以周日为每周终点)。其中,ILI 定义为发热(体温 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),并伴有咳嗽或咽痛至少一种症状的患者<sup>[27]</sup>。ILI%为门(急)诊 ILI 总数/周占该周门急诊就诊病例周总数的比例。标本阳性率则为阳性标总数/周占送检标本周总数的比例。流感综合指数的计算采用综合评分法<sup>[28]</sup>,以昆明市非流感流行高峰季(2023 年 7 月 31 日—2023 年 10 月 29 日、2024 年 3 月 4 日—2024 年 8 月 4 日)的周 ILI%、周标本阳性率的第 75 百分位数分别作为相应指标的标准值(分别为  $\bar{a}$ 、 $\bar{b}$ )<sup>[29-30]</sup>,计算流感流行高峰季的周 ILI%、周标本阳性率的相对标准化值(分别为  $X_1$ 、 $X_2$ )。流感综合指数( $Y$ )的计算公式如下(权重均取 0.5)<sup>[30]</sup>:

$$\begin{cases} X_1 = \frac{a}{\bar{a}} \\ X_2 = \frac{b}{\bar{b}} \\ Y = 0.5X_1 + 0.5X_2 \end{cases} \quad \text{式(1)}$$

本研究流感的研究时间为 2023 年 9 月 1 日—2024 年 2 月 29 日。

**1.3.2 人群移动指标** 对市内出行及其相关指标进行了如下定义与计算:首先,将一次市内出行定义为用户从一个网格移动至另一个网格,并在目标网格停留时间 $\geq 30\text{ min}$ ;其次,定义并计算出行人数与出行频次。出行人数  $U_{ij}(t)$  表示时间  $t$ ,从网格  $i$  出发至网格  $j$  的用户数量。总出行人数  $U(t)$  为不同

网格间出行人数的累计总和 $[\sum_{i \neq j} U_{ij}(t)]$ 。出行频次  $T_{ij}(t)$  为在时间  $t$ ,从网格  $i$  出发至网格  $j$  的出行次数。人均出行频次  $\bar{T}_{ij}(t)$  为在时间  $t$ ,从网格  $i$  出发至网格  $j$  的出行次数除以网格  $i$  的联通用户居住数;最后,对出行人数进行标准化,以研究期间日均出行人数为基准,将每日实际出行人数减去该值,得到每日标准化出行人数,正值表示出行人数相对增加,负值表示相对减少。

本研究计算了中国联通在昆明市各行政区的用户覆盖率。 $T$  为总月数。 $P_i(t)$  为在月份  $t$ ,网格  $i$  的联通用户居住数。 $S_k$  为行政区  $k$  所包含的网格集合。 $\sum_{i \in S_k} P_i(t)$  为行政区  $k$  在月份  $t$  的联通用户总居住数。 $Q_k$  为行政区  $k$  的月均联通用户居住数。行政区  $k$  的联通用户覆盖率为  $Q_k$  占第七次人口普查中行政区  $k$  常住人口数<sup>[31]</sup>的比例。

$$Q_k = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\sum_{i \in S_k} P_i(t)) \quad \text{式(2)}$$

本研究中上述人群移动的研究时间均为 2023 年 9 月 1 日—2024 年 2 月 29 日。

**1.3.3 假期安排** 采用的假期时间来源于中华人民共和国中央人民政府与云南省教育厅发布的官方公告,大学放假安排则参考云南大学的相关公告<sup>[32-34]</sup>。本研究将公共假期和学校假期统一归为假期,并将各假期所在月份中除假期外的其他日期定义为平常日期。具体假期时间范围如下:国庆节与中秋节为 2023 年 9 月 29 日—10 月 6 日,元旦为 2023 年 12 月 30 日—2024 年 1 月 1 日,春节为 2024 年 2 月 10 日—2 月 17 日,寒假为 2024 年 1 月 14 日—2 月 25 日(不含春节假期)。

**1.4 统计学方法** 采用 R 4.2.2 软件进行数据处理与分析。因进行统计分析的手机信令数据样本量大于 50(共 182 d),可以近似为正态分布。本研究使用 Bartlett 检验进行方差齐性检验,发现人均出行频次( $P=0.008$ )和标准化出行人数( $P=0.010$ )不满足方差齐性,故对于人群移动指标的组间差异,统一采用 Kruskal-Wallis 检验进行整体比较,并在存在显著差异时进一步采用 Dunn 检验进行两两比较。采用 Benjamini-Hochberg 方法校正以控制多重比较带来的一类错误膨胀。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

**1.5 基于人群市内移动的流感动力学模型** 本研究使用 SEIR (susceptible-exposed-infectious-recovered) 动力学模型,结合手机信令数据,评估假期对人群移动和流感传播的影响,具体模型结构如公式 3 所示:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{dS(t)}{dt} &= -\lambda(t)S(t) \\
 \frac{dE(t)}{dt} &= \lambda(t)S(t) - fE(t) \\
 \frac{dI(t)}{dt} &= fE(t) - rI(t) \\
 \frac{dR(t)}{dt} &= rI(t) \\
 \lambda(t) &= \frac{C_e I(t)}{N} \\
 C_e &= \frac{R_0}{D} \\
 N &= S(t) + E(t) + I(t) + R(t)
 \end{aligned} \right. \quad \text{式(3)}$$

式(3)中,  $t$  代表单位时间,  $S(t)$  代表易感人数,  $E(t)$  代表潜伏期人数,  $I(t)$  代表感染人数,  $R(t)$  代表康复人数,  $N$  代表总人数,  $\lambda(t)$  代表易感个体被感染的风险,  $C_e$  代表单位时间内人均有效接触人数,  $R_0$  代表流感的基本再生数(本研究取  $1.3^{[35-36]}$ ),  $D$  代表流感的平均传染期( $7 \text{ d}^{[37]}$ ),  $f$  代表潜伏期个体转变为感染个体的概率(即流感平均潜伏期的倒数, 平均潜伏期为  $2 \text{ d}^{[37]}$ ),  $r$  代表感染个体转变为康复个体的概率(即流感平均传染期的倒数  $\frac{1}{7}$ )。

为了纳入人群移动过程, 本研究基于手机信令数据构建行政区间每日移动强度矩阵。移动强度  $M_{ij}(t)$  定义为从行政区  $i$  至行政区  $j$  的日移动人数占  $i$  区该月联通用户居住数的比例, 反映单位人口从  $i$  区至  $j$  区的流动概率。当  $i$  区感

染者数  $I_i(t) > 0$  时, 计算从  $i$  区流向  $j$  区的感染人数  $I_i(t) \times M_{ij}(t)$ 。通过对所有行政区进行上述计算, 可得到每日各行政区的感染人口流入与流出情况, 进而在 SEIR 框架中耦合人群移动与流感传播过程。

为评估假期的影响, 本研究将实际移动数据与反事实移动数据的模拟结果进行对比。本研究 SEIR 模型的模拟时间为 2023 年 9 月 1 日—2024 年 2 月 29 日。在反事实模型中, 保持真实数据的总体不变, 仅将公共假期或学校假期时段的移动数据替换为对应非假期基准数据, 见表 1。非假期基准数据的选取标准如下: 首先, 该数据位于目标假期之前, 且与假期起始日期间隔最短; 其次, 所选数据的天数需与假期数据的天数完全一致; 最后, 其工作日或周末的类型必须与被替换的假期数据相匹配。由于寒假时间跨度较长, 为更合理构建反事实情景, 本研究采用逐周循环替换法, 将寒假期间的各周数据均替换为 2024 年 1 月 7 日—13 日的对应数据, 替换过程中, 春节期间的数据保持不变。通过比较替换前后模型模拟所得的总模拟时间内新增病例数/d 与累计病例数差异, 定量评估假期对昆明市流感传播的影响。为评估基准期选取对模型结果的潜在影响, 本研究进行了敏感性分析。将基准数据替换为距目标假期第二临近与第三临近的非假期数据, 并重复模型模拟以检验结果的稳健性。

表 1 反事实情境中移动数据的设置

Table 1 Settings of mobile data in counterfactual scenario

假期 Holiday	被替换的真实数据时间段 Time period of replaced real data	替换的模拟数据时间段 Time period of replacement simulated data	敏感性分析(第二临近) Sensitivity analysis (second-nearest)	敏感性分析(第三临近) Sensitivity analysis (third-nearest)
公共假期 Public holiday				
国庆节与中秋节 National Day and Mid-Autumn Festival	2023/09/29 — 2023/10/06	2023/09/15 — 2023/09/22	2023/09/08 — 2023/09/15	2023/09/01 — 2023/09/08
元旦 New Year's Day	2023/12/30 — 2024/01/01	2023/12/16 — 2023/12/18	2023/12/09 — 2023/12/11	2023/12/02 — 2023/12/04
春节 Spring Festival	2024/02/10 — 2024/02/17	2024/01/27 — 2024/02/03	2024/01/20 — 2024/01/27	2024/01/13 — 2024/01/20
学校假期 School holiday				
寒假 Winter vacation	2024/01/14 — 2024/02/25	2024/01/07 — 2024/01/13	2023/12/17 — 2023/12/23	2023/12/10 — 2023/12/16

## 2 结果

**2.1 流感数据特征** 2023 年 9 月 1 日—2024 年 2 月 29 日, 昆明市累计报告 69 592 例 ILI。2023 年 10 月, 周 ILI/% 达到峰值(11.29%), 2023 年 12 月, 周 ILI 标本阳性率/% 达到峰值(58.12%), 见图 1 A。流感综合指数于 2024 年 1 月达到峰值(3.47), 公共假期和学校假期期间主要呈下降趋势, 公共假期后

呈上升趋势, 见图 1 C。

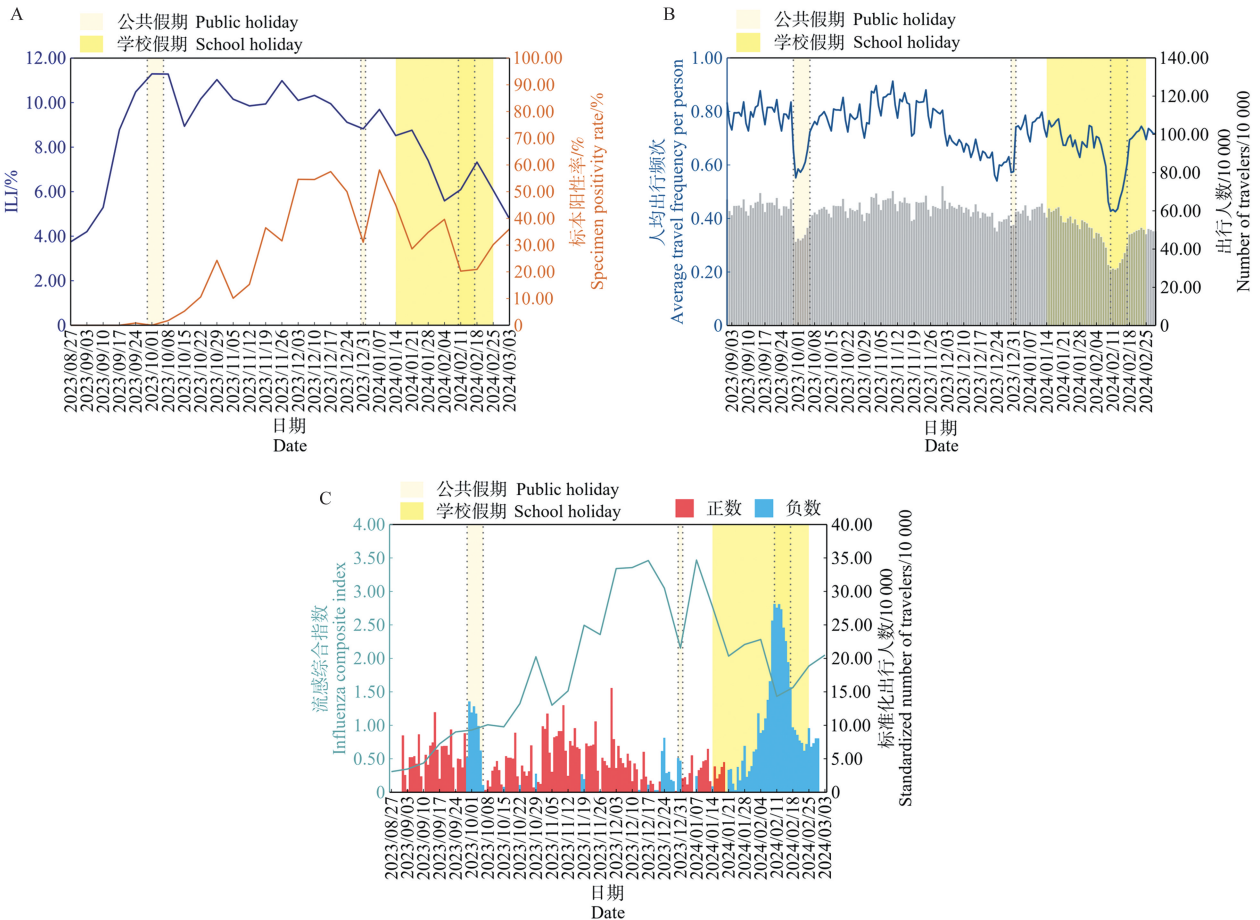
**2.2 人群移动数据的特征** 2023 年 9 月 1 日—2024 年 2 月 29 日, 昆明市总体日均出行人数 57.42 万人(95% CI: 56.22 万人~58.61 万人), 人均出行频次 0.73 人次/人(95% CI: 0.71 人次/人~0.74 人次/人)。各假期期间的出行规模均较相应月份的平常日期有所下降, 其中国庆节与中秋节、春节及寒假的日均出行人数与人均出行频次均低于对应平常日期(均

$P < 0.05$ ), 而元旦的差异无统计学意义, 见图 2 A~B、图 3、表 2。具体来看, 春节期间出行规模最低, 日均出行人数为 33.24 万人(95% CI: 29.38 万人~37.09 万人), 低于对应平常日期的 47.63 万人(95% CI: 45.60 万人~49.66 万人); 国庆节与中秋节、寒假的日均出行人数与人均出行频次亦减少。元旦期间出行人数为 54.84 万人(95% CI: 44.77 万人~64.92 万人), 与对应平常日期的 58.63 万人(95% CI: 57.55 万人~59.70 万人)相比未呈现显著差异。

**2.3 假期与非假期的人群移动模式与流感综合指数的比较** 本研究进一步分析了市内标准化出行人数与流感综合指数之间的关系。在平常日期, 2023 年 9—12 月出行人数增加的移动模式与流感综合指数的上升趋势同步出现, 而在 2024 年 1—2 月, 出行减少的移动模式与流感综合指数的下降趋势基本一致, 见图 1 C。公共假期期间, 人群移动模式呈现与平常日期不同的特征: 市内出行人数减少, 国庆节与中秋节、元旦、春节的标准化出行人数分别减少 9.06 万人(95% CI: 5.36 万人~12.76 万人)、2.57

万人(95% CI: -12.65 万人~7.51 万人)、24.18 万人(95% CI: 20.32 万人~28.04 万人), 见图 1 C、图 2 C、表 2。与此对应的流感综合指数在公共假期期间主要呈现下降趋势, 在公共假期后呈现上升趋势, 见图 1 C。学校假期(寒假)期间, 人群移动模式同样以市内出行人数减少为主, 流感综合指数亦主要呈下降趋势, 见图 1 C。

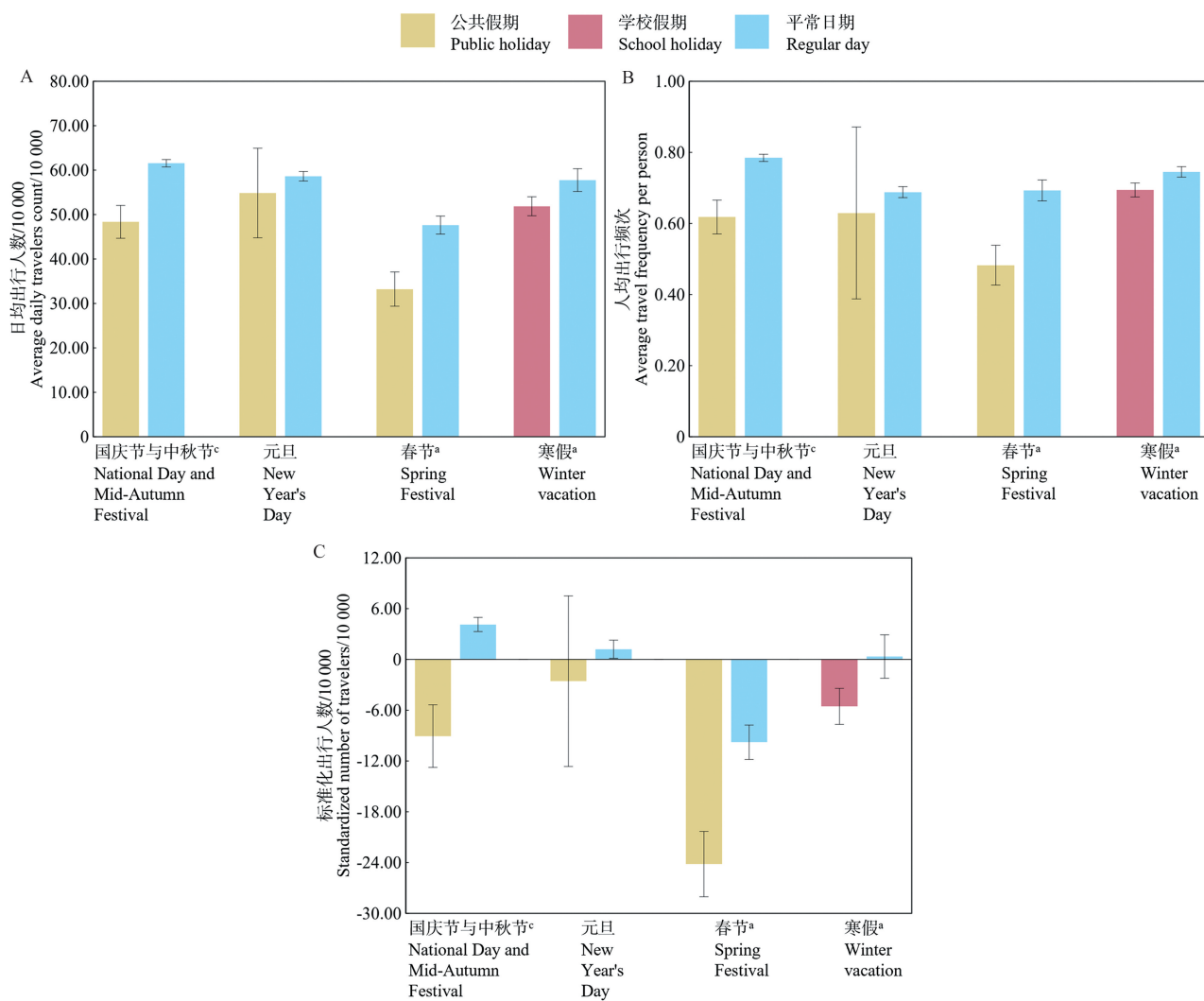
**2.4 不同情景下的市内流感传播 SEIR 模型模拟结果** 模拟结果表明, 假期对昆明市流感传播的影响存在空间异质性。整体上, 春节使累计流感病例数减少 1 556 例, 而国庆节与中秋节、元旦及寒假则分别增加 867 例、11 例和 1 548 例, 见表 3、图 4。仅考虑各假期期间, 累计流感病例数的变化趋势与整体相同, 即春节可减少累计流感病例数, 而国庆与中秋节、元旦及寒假则可使其增加, 见图 4。敏感性分析结果稳健, 选择第二临近与第三临近的非假期数据进行检验, 累计流感病例数的变化趋势与主分析保持一致, 具体数值存在差异: 与主分析相比, 国庆与中秋节的差值分别为 77 例与 15 例、元旦为 3 例



A: 周 ILI/% 与周标本阳性率; B: 人均出行频次与出行人数; C: 流感综合指数与标准化出行人数; ILI: 流感样病例。  
A: weekly ILI/% and weekly specimen positivity rate; B: average travel frequency per person and number of travelers; C: influenza composite index and standardized number of travelers; ILI: influenza-like illness.

图 1 市内的流行性感冒(简称流感)监测数据与人群移动数据特征

Figure 1 Characteristics of influenza surveillance data and human mobility data of intra-city



A: 日均出行人数; B: 人均出行频次; C: 标准化出行人数; a:  $P < 0.05$ ; b:  $P < 0.01$ ; c:  $P < 0.001$ 。

A: average daily travelers count; B: average travel frequency per person; C: standardized number of travelers; a:  $P < 0.05$ ; b:  $P < 0.01$ ; c:  $P < 0.001$ .

图 2 市内不同时期人群移动指标的组间比较

Figure 2 Inter-group comparison of mobility indicators of intra-city in different periods

表 2 市内不同时期人群移动指标的均数 (95% CI)

Table 2 Mean values (95% CI) of mobility indicators of intra-city in different periods

假期 Holiday	日均出行人数 Average daily number of travelers/10 000		Z 值 value	P 值 value
	假期日 Holiday	平常日期 Regular day		
公共假期 Public holiday				
国庆节与中秋节 National Day and Mid-Autumn Festival	48.36 (44.66~52.05)	61.55 (60.72~62.38)	-4.64	<0.001
元旦 New Year's Day	54.84 (44.77~64.92)	58.63 (57.55~59.70)	-0.97	0.410
春节 Spring Festival	33.24 (29.38~37.09)	47.63 (45.60~49.66)	-2.75	0.011
学校假期 School holiday				
寒假 Winter vacation	51.87 (49.74~54.00)	57.76 (55.20~60.32)	-2.54	0.016

假期 Holiday	人均出行频次 Average travel frequency per person		Z 值 value	P 值 value
	假期日 Holiday	平常日期 Regular day		
公共假期 Public holiday				
国庆节与中秋节 National Day and Mid-Autumn Festival	0.62 (0.57~0.67)	0.79 (0.77~0.79)	-4.89	<0.001
元旦 New Year's Day	0.63 (0.39~0.87)	0.69 (0.67~0.70)	-0.71	0.530
春节 Spring Festival	0.48 (0.43~0.54)	0.69 (0.66~0.72)	-2.68	0.013
学校假期 School holiday				
寒假 Winter vacation	0.69 (0.67~0.71)	0.75 (0.73~0.76)	-2.06	0.040

表 2(续)

假期 Holiday	标准化出行人数 Standardized number of travelers/10 000			
	假期日 Holiday	平常日期 Regular day	Z 值 value	P 值 value
公共假期 Public holiday				
国庆节与中秋节 National Day and Mid-Autumn Festival	-9.06 (-12.76~-5.36)	4.13 (3.30~4.96)	-4.64	<0.001
元旦 New Year's Day	-2.57 (-12.65~7.51)	1.21 (0.14~2.28)	-0.97	0.410
春节 Spring Festival	-24.18 (-28.04~-20.32)	-9.78 (-11.81~-7.75)	-2.75	0.011
学校假期 School holiday				
寒假 Winter vacation	-5.55 (-7.68~-3.42)	0.34 (-2.22~2.90)	-2.54	0.016

注:Kruskal-Wallis 检验结果均存在显著差异;表内 Z 值与 P 值为 Dunn 检验结果。

Note: the Kruskal-Wallis test results all showed significant differences; the Z and P values in the table are the results of the Dunn test.

与 0 例、春节为 175 例与 76 例、寒假为 367 例与 514 例。从空间分布来看,春节和寒假对累计流感病例数的影响最明显:春节使寻甸回族彝族自治县(-1 153 例)、禄劝彝族苗族自治县(-621 例)、东川区(-579 例)等地的病例数降低,但使官渡区(452 例)、五华区(320 例)、西山区(309 例)等地的病例数增加;寒假使嵩明县(+1 169 例)、安宁市(+253 例)、呈贡区(+222 例)等地的病例数增加,但使宜良县(-189 例)、寻甸回族彝族自治县(-158 例)、东川区(-130 例)等地的病例数降低;国庆节与中秋节对累计流感病例数的影响次之,主要表现为官渡区(+202 例)、五华区(+126 例)、西山区(+117 例)等地的病例数增加;元旦的影响整体较弱,仅个别区域如官渡区(+3 例)的病例数出现增加。

进一步分析行政区内与行政区间出行的累计人数比值,结果显示国庆节与中秋节、春节、寒假期间的比值均有所上升,但元旦期间的比值未见较大变化,见表 3。

### 3 讨论

本研究对比了假期与非假期的市内人群移动模式,并基于动力学模型,探索假期移动模式的变化对流感在城市内传播的影响。本研究发现假期期间市内出行人数减少;动力学模型结果显示,假期移动模式的改变对流感传播产生了影响,不同类型假期的影响存在差异,且假期对流感传播的影响具有空间异质性。

本研究发现假期期间市内人群出行规模下降,与既往研究结果一致<sup>[9-11]</sup>。其原因可能在于:平日以通勤为主的人群在假期中更倾向于居家休息,减少了外出活动。国庆节与中秋节、春节及寒假的日均出行人数和人均出行频次均低于对应的平常日期,而元旦的差异无统计学意义,这可能表明假期时长会影响出行模式的变化强度,较长的假期对市内流动的抑制作用更明显。标准化出行人数与流感综

合指数的变化趋势表现出月度同步性,这一现象可能与不同阶段出行模式的变化有关:出行人数从 2023 年 9—11 月的相对增加,过渡为 12 月—次年 1 月的增减交替模式,至 2024 年 2 月转变为普遍减少,流感综合指数亦自 12 月起整体呈现下降态势,见图 1 C。这提示人群移动变化与流感传播动态之间在时间上可能存在耦合关系。

模型模拟结果显示,不同假期对流感传播的影响存在差异:春节使累计流感病例数下降,而国庆节与中秋节、元旦、寒假使累计流感病例数上升,这种趋势在整体模拟与假期内部中保持一致。这种差异可能与各假期的出行特征相关。国庆节与中秋节、寒假期间,尽管行政区间的出行人数较非假期时段有所下降,但行政区内与行政区间出行人数的比值却上升,反映出感染者的活动更多集中在行政区内部,易形成局部聚集。例如,国庆假期(在某些年份与中秋节相邻,形成连体)常被称为“十一黄金周”,是旅游活动的高峰期,这一现象客观上加剧了人群在旅游景区等特定场所的空间聚集程度;即使整体流动性降低,这种聚集性仍可能提高流感在区域内的传播风险,从而促使累计流感病例数增加,见表 3。具体来看,对于国庆节与中秋节、元旦等短假而言,人们可能更倾向于在交通便利的中心城区内部活动,而寒假主要面向学生群体,移动特点可能更倾向于从城市返回家乡。相比之下,春节期间不仅行政区之间的出行人数降至最低,整体的流动性也处于研究期内的最低水平,这一现象的产生受到多因素影响,例如春节期间多数公众的活动范围通常局限在家附近,且商业活动也大多暂停,一般需至农历正月初五后才陆续恢复营业。这种大幅度的活动收缩可能限制了流感的扩散,缩小其传播范围,使累计流感病例数降低,见图 2~3、表 3。上述结果进一步提示不同类型假期对流感传播的影响可能不同。

本研究的创新点主要体现在以下 3 个方面:(1)系统比较不同类型的假期对市内流感传播的影

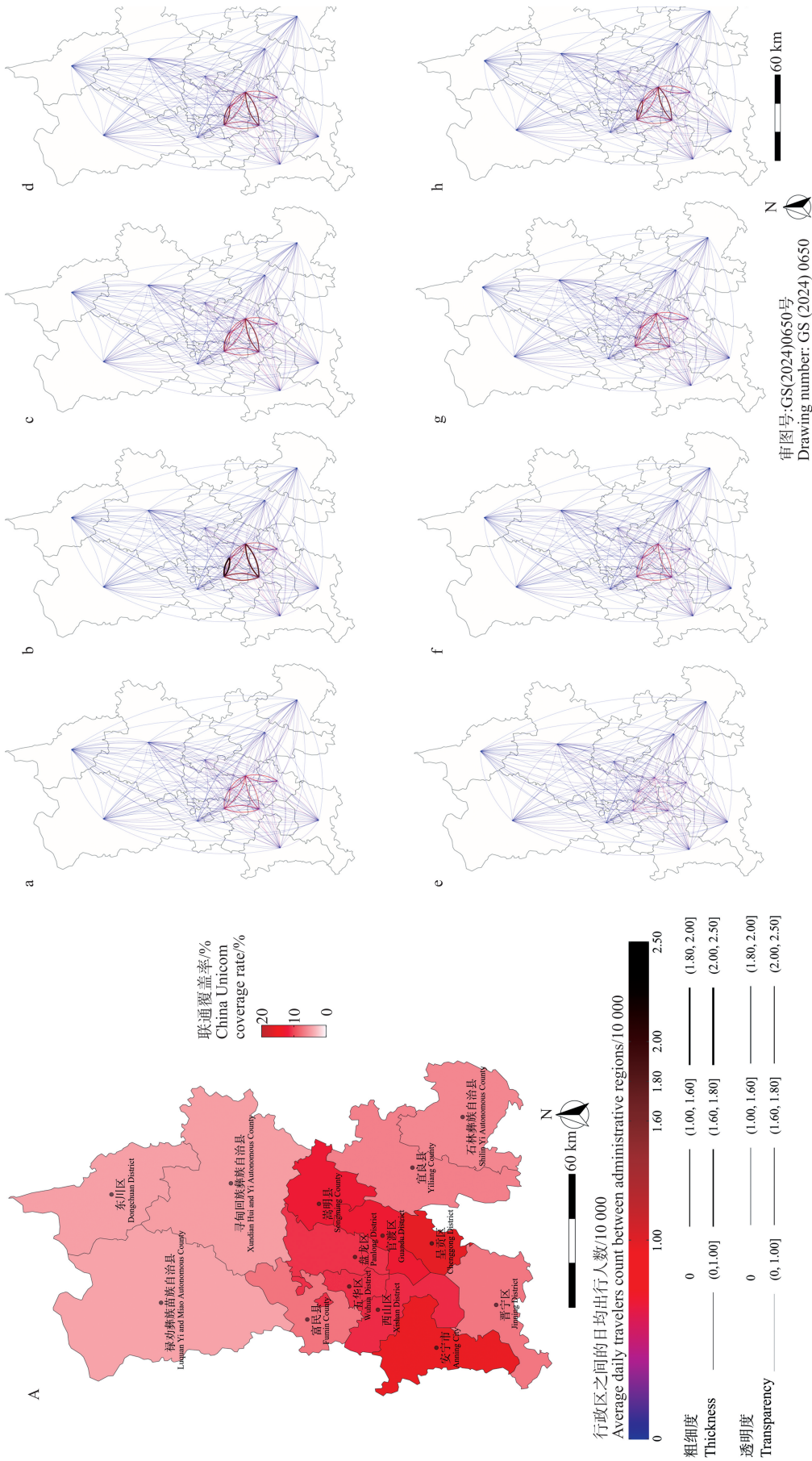
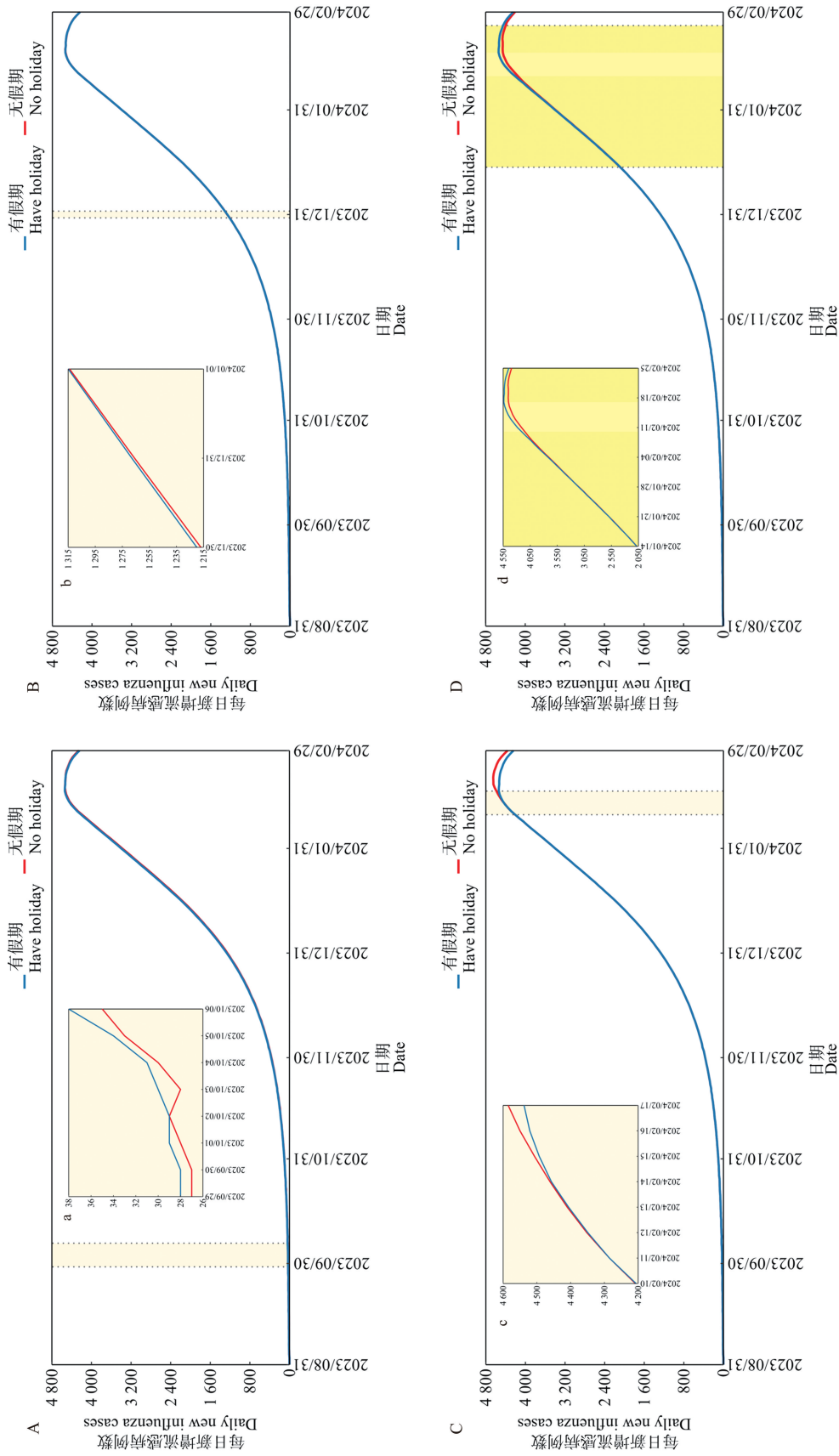


图 3 联通用户在昆明市内的覆盖率及不同时期的人群移动网络

Figure 3 The coverage rate of Unicom users in Kunming and the mobility networks in different periods



A: a, 国庆节与中秋节; B: b, 元旦; C: c, 春节; D: d, 寒假。  
A: a, National Day and Mid-Autumn Festival; B: b, New Year's Day; C: c, Spring Festival; D: d, Winter vacation.

图 4 不同假期的正常情景与反事实情景下 SEIR 模型估计的市内每日新增流行性感冒 (简称流感) 病例数  
Figure 4 The number of daily new influenza cases estimated by the SEIR model under normal and counterfactual scenarios of different holidays of intra-city

表 3 有假期(正常)与无假期(反事实)情景下:

SEIR 模型估计的各行政区累计流行性感冒病例数(例)、行政区内与行政区间出行的累计人数的比值

**Table 3** Under the scenarios with holidays (normal) and without holidays (counterfactual); the total number of cumulative influenza cases in each administrative district estimated by the SEIR model, and the ratio of the cumulative number of travelers traveling within the administrative district to that between administrative districts

累计病例数与累计人数比值 Ratio of cumulative cases to cumulative population	国庆节与中秋节 National Day and Mid-Autumn Festival			元旦 New Year's Day		
	有假期 Have holiday	无假期 No holiday	差值 Difference	有假期 Have holiday	无假期 No holiday	差值 Difference
	总累计病例数 Total cumulative cases	225 136	224 269	867	225 136	225 125
行政区累计病例数 Cumulative cases by administrative region						
五华区 Wuhua District	33 498	33 372	126	33 498	33 497	1
盘龙区 Panlong District	30 144	30 031	113	30 144	30 143	1
官渡区 Guandu District	54 352	54 150	202	54 352	54 349	3
西山区 Xishan District	31 376	31 259	117	31 376	31 375	1
东川区 Dongchuan District	3 391	3 379	12	3 391	3 391	0
呈贡区 Chenggong District	23 008	22 923	85	23 008	23 007	1
晋宁区 Jinning District	5 417	5 395	22	5 417	5 417	0
富民县 Fumin County	2 510	2 497	13	2 510	2 510	0
宜良县 Yiliang County	7 339	7 310	29	7 339	7 338	1
石林彝族自治县 Shilin Yi Autonomous County	5 200	5 179	21	5 200	5 198	2
嵩明县 Songming County	7 225	7 195	30	7 225	7 225	0
禄劝彝族苗族自治县 Luquan Yi and Miao Autonomous County	4 392	4 369	23	4 392	4 392	0
寻甸回族彝族自治县 Xundian Hui and Yi Autonomous County	4 727	4 702	25	4 727	4 727	0
安宁市 Anning City	12 557	12 508	49	12 557	12 556	1
行政区内与行政区间出行的累计人数比值 The ratio of cumulative travel within and between administrative regions	1.3	1.27	0.03	1.32	1.32	0
累计病例数与累计人数比值 Ratio of cumulative cases to cumulative population	春节 Spring Festival			寒假 Winter vacation		
	有假期 Have holiday	无假期 No holiday	差值 Difference	有假期 Have holiday	无假期 No holiday	差值 Difference
	总累计病例数 Total cumulative cases	225 136	226 692	-1 556	225 136	223 588
行政区累计病例数 Cumulative cases by administrative region						
五华区 Wuhua District	33 498	33 178	320	33 498	33 398	100
盘龙区 Panlong District	30 144	29 877	267	30 144	30 033	111
官渡区 Guandu District	54 352	53 900	452	54 352	54 282	70
西山区 Xishan District	31 376	31 067	309	31 376	31 325	51
东川区 Dongchuan District	3 391	3 970	-579	3 391	3 521	-130
呈贡区 Chenggong District	23 008	22 831	177	23 008	22 786	222
晋宁区 Jinning District	5 417	5 390	27	5 417	5 294	123
富民县 Fumin County	2 510	2 553	-43	2 510	2 519	-9
宜良县 Yiliang County	7 339	7 696	-357	7 339	7 528	-189
石林彝族自治县 Shilin Yi Autonomous County	5 200	5 260	-60	5 200	5 262	-62
嵩明县 Songming County	7 225	7 618	-393	7 225	6 056	1 169
禄劝彝族苗族自治县 Luquan Yi and Miao Autonomous County	4 392	5 013	-621	4 392	4 395	-3
寻甸回族彝族自治县 Xundian Hui and Yi Autonomous County	4 727	5 880	-1 153	4 727	4 885	-158
安宁市 Anning City	12 557	12 459	98	12 557	12 304	253
行政区内与行政区间出行的累计人数比值 The ratio of cumulative travel within and between administrative regions	1.42	1.38	0.04	1.41	1.37	0.04

响,揭示了假期移动模式差异与流感传播动态之间的关联。(2)在公共假期研究方面,区别于既往多关注跨市或跨国长距离出行<sup>[12-13]</sup>,本研究聚焦于更为普遍和频繁的市域内短距离移动,揭示了此类日常流动性变化对流感传播的潜在作用。(3)在学校假期研究方面,既往研究多从接触模式变化的角度分析学校假期对流感传播的抑制作用<sup>[14-15]</sup>,本研究

则从人群移动模式的角度出发,探讨了学校假期期间移动模式的变化可能带来的传播影响,为理解假期与传染病动态提供了新的视角。

本研究存在的局限性:(1)使用的手机信令数据仅来自中国联通,未纳入其他运营商的数据,且只在昆明市中心城区具有较高的覆盖率,因此无法完全代表全市所有手机用户的出行模式。(2)由于流

感监测数据以周为单位汇总,导致单个假期的流感监测数据样本量有限(公共假期最多 2 个,寒假 4 个),加之缺乏针对单个假期的多年流感监测数据,无法全面评估假期对流感的影响;这一点体现在本研究分析假期与流感综合指数的关系上。不仅如此,其他研究针对此类问题得出的结论不一:有研究显示 ILI% 在假期期间上升<sup>[38]</sup>,亦有研究表明其在假期期间下降<sup>[39]</sup>,这提示不同地区流感监测数据的差异和假期期间的就医行为可能会影响研究结论,这一现象可能源于中国不同地区在地理气候、经济水平及人文环境等方面存在的地域异质性,此类差异会直接影响流感监测数据的收集及公众在假期期间的就医行为等,从而可能导致不同地区的研究得出相异的结论。(3)所构建的动力学模型仅考虑人群移动本身对市内流感传播的影响,未考虑流感再生数随气候、社会等因素的动态变化,也未纳入假期接触模式的年龄、性别等人口特征差异。未来研究可通过拓展数据来源、延长观测时间、细化模型参数等途径,进一步完善对假期、人群移动与传染病传播关系的评估。

假期改变了昆明市内人群移动模式,这种改变进一步影响流感在当地的传播,且不同类型假期的影响存在差异。本研究定量估计了假期对市内人群移动模式与流感传播的影响,为公共卫生措施的制定和调整提供了科学依据。未来公共卫生措施可进行针对性调整:在国庆、元旦等非春节假期及寒假期间,可重点加强景区等人员密集场所的人群流动监测,提升流感个人防护宣传的针对性与覆盖范围,并依据各假期的人群移动模式特征,灵活调整流感防控策略。

利益冲突 无

### 参 考 文 献

- [1] Chen C, Peng N, Tan J. EE130 economic burden of seasonal influenza in mainland China from 2011 to 2019 [J]. *Value Health*, 2024, 27(6):S81. DOI:10.1016/j.jval.2024.03.429.
- [2] Ito G, Takazono T, Hosogaya N, et al. Impact of meteorological and demographic factors on the influenza epidemic in Japan: a large observational database study [J]. *Sci Rep*, 2023, 13:13000. DOI:10.1038/s41598-023-39617-1.
- [3] Merler S, Ajelli M. The role of population heterogeneity and human mobility in the spread of pandemic influenza [J]. *Proc R Soc B Biol Sci*, 2010, 277(1681):557-565. DOI:10.1098/rspb.2009.1605.
- [4] Khan K, Arino J, Hu W, et al. Spread of a novel influenza A (H1N1) virus via global airline transportation [J]. *N Engl J Med*, 2009, 361(2):212-214. DOI:10.1056/nejmc0904559.
- [5] Lai SJ, Soricetta A, Steele J, et al. Global holiday datasets for understanding seasonal human mobility and population dynamics [J]. *Sci Data*, 2022, 9:17. DOI:10.1038/s41597-022-01120-z.
- [6] Sun HC, Pei S, Wang L, et al. The impact of spring festival travel on epidemic spreading in China [J]. *Viruses*, 2023, 15(7):1527. DOI:10.3390/v15071527.
- [7] Ruktanonchai CW, Lai SJ, Utazi CE, et al. Practical geospatial and sociodemographic predictors of human mobility [J]. *Sci Rep*, 2021, 11:15389. DOI:10.1038/s41598-021-94683-7.
- [8] Song B, Yan XY, Tan SY, et al. Human mobility models reveal the underlying mechanism of seasonal movements across China [J]. *Int J Mod Phys C*, 2022, 33(4):2250054. DOI:10.1142/s0129183122500541.
- [9] Fu X, Yu GY, Liu ZY. Spatial-temporal convolutional model for urban crowd density prediction based on mobile-phone signaling data [J]. *IEEE Trans Intell Transport Syst*, 2022, 23(9):14661-14673. DOI:10.1109/tits.2021.3131337.
- [10] 钟尖. 基于手机信令的综合交通枢纽客流监测技术研究 [D]. 重庆:重庆交通大学, 2017.  
Zhong J. Research on passenger flow monitoring technology of integrated traffic terminal based on mobile signaling [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017.
- [11] 马世凡. 城轨客流通道节假日列车开行方案优化研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2024.  
Ma SF. Research on optimization of holiday train operation plans in urban rail passenger flow corridor [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2024.
- [12] Yu HJ, Cauchemez S, Donnelly CA, et al. Transmission dynamics, border entry screening, and school holidays during the 2009 influenza A (H1N1) pandemic, China [J]. *Emerg Infect Dis*, 2012, 18(5):758-766. DOI:10.3201/eid1805.110356.
- [13] Martin LJ, Im C, Dong H, et al. Influenza-like illness-related emergency department visits: Christmas and New Year holiday peaks and relationships with laboratory-confirmed respiratory virus detections, Edmonton, Alberta, 2004-2014 [J]. *Influenza Other Respir Viruses*, 2017, 11(1):33-40. DOI:10.1111/irv.12416.
- [14] Cauchemez S, Valleron AJ, Boëlle PY, et al. Estimating the impact of school closure on influenza transmission from sentinel data [J]. *Nature*, 2008, 452(7188):750-754. DOI:10.1038/nature06732.
- [15] Ali ST, Kadi AS, Ferguson NM. Transmission dynamics of the 2009 influenza A (H1N1) pandemic in India; the impact of holiday-related school closure [J]. *Epidemics*, 2013, 5(4):157-163. DOI:10.1016/j.epidem.2013.08.001.
- [16] Colizza V, Barrat A, Barthélemy M, et al. Modeling the worldwide spread of pandemic influenza: baseline case and containment interventions [J]. *PLoS Med*, 2007, 4(1):e13. DOI:10.1371/journal.pmed.0040013.
- [17] Castilla J, Godoy P, Domínguez Á, et al. Risk factors and effectiveness of preventive measures against influenza in the community [J]. *Influenza Resp Viruses*, 2013, 7(2):177-183. DOI:10.1111/j.1750-2659.2012.00361.x.
- [18] Moss R, Naghizade E, Tomko M, et al. What can urban mobility

- data reveal about the spatial distribution of infection in a single city? [J]. BMC Public Health, 2019, 19(1):656. DOI:10.1186/s12889-019-6968-x.
- [19] Marsh CK, Sheppard V, Tobin S, et al. Drivers of the summer influenza epidemic in New South Wales, 2018-19 [J]. Med J Aust, 2022, 216(1):33-38. DOI:10.5694/mja2.51266.
- [20] Tizzoni M, Bajardi P, Decuyper A, et al. On the use of human mobility proxies for modeling epidemics [J]. PLoS Comput Biol, 2014, 10(7):e1003716. DOI:10.1371/journal.pcbi.1003716.
- [21] Ewing A, Lee EC, Viboud C, et al. Contact, travel, and transmission: the impact of winter holidays on influenza dynamics in the United States [J]. J Infect Dis, 2016; jiw642. DOI:10.1093/infdis/jiw642.
- [22] Tang SY, Xiao YN, Yang YP, et al. Community-based measures for mitigating the 2009 H1N1 pandemic in China [J]. PLoS One, 2010, 5(6):e10911. DOI:10.1371/journal.pone.0010911.
- [23] Tamerius J, Viboud C, Shaman J, et al. Impact of school cycles and environmental forcing on the timing of pandemic influenza activity in Mexican states, may-December 2009 [J]. PLoS Comput Biol, 2015, 11(8):e1004337. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1004337.
- [24] Song CM, Qu ZH, Blumm N, et al. Limits of predictability in human mobility [J]. Science, 2010, 327(5968):1018-1021. DOI: 10.1126/science.1177170.
- [25] Schläpfer M, Dong L, O'Keefe K, et al. The universal visitation law of human mobility [J]. Nature, 2021, 593(7860):522-527. DOI:10.1038/s41586-021-03480-9.
- [26] 胡泽鑫,代敏,李文龙,等. 2010—2024 年云南省昆明市流行性感冒季节性流行特征分析 [J]. 上海预防医学, 2025, 37(8):643-648, 668. DOI:10.19428/j.cnki.sjpm.2025.250217.
- Hu ZX, Dai M, Li WL, et al. An analysis of the seasonal epidemic characteristics of influenza in Kunming City of Yunnan Province from 2010 to 2024 [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2025, 37(8):643-648, 668. DOI:10.19428/j.cnki.sjpm.2025.250217.
- [27] 中国疾病预防控制中心. 国家卫生计生委办公厅关于印发全国流感监测方案(2017 年版)的通知 [EB/OL]. (2017-04-01) [2025-11-10]. [https://www.chinacdc.cn/jkyj/crb2/bl/lxgmn/jswj\\_lg/201810/t20181010\\_299034.html](https://www.chinacdc.cn/jkyj/crb2/bl/lxgmn/jswj_lg/201810/t20181010_299034.html).
- [28] 孙振球,王乐三. 综合评价方法及其医学应用 [M]. 北京:人民卫生出版社, 2014; 29-34.
- Sun ZQ, Wang LS. Comprehensive evaluation method and its application in medicine [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2014; 29-34.
- [29] 张莉,王小莉,杨鹏,等. 北京市流感流行早期预警基线的建立及效果评价 [J]. 国际病毒学杂志, 2015, 22(4):232-235. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4092.2015.04.004.
- Zhang L, Wang XL, Yang P, et al. Study on early warning based on influenza surveillance data in Beijing [J]. Int J Virol, 2015, 22(4):232-235. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4092.2015.04.004.
- [30] 张莉,吴双胜,石伟先,等. 综合指数法建立北京市流感流行水平分级评价体系的研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2018, 39(8):1096-1099. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.08.016.
- Zhang L, Wu SS, Shi WX, et al. Establishment of the classified evaluation system on the levels of influenza epidemics through a synthetic index method, in Beijing [J]. Chin J Epidemiol, 2018, 39(8):1096-1099. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.08.016.
- [31] 昆明市统计局. 昆明市第七次全国人口普查主要数据公报 [EB/OL]. (2023-10-17) [2025-11-10]. <https://tjj.km.gov.cn/c/2023-10-17/3969607.shtml>.
- [32] 中华人民共和国中央人民政府. 节假日安排站内搜索 [EB/OL]. (2025-11-20) [2025-11-30]. <https://sousuo.www.gov.cn/sousuo/search.shtml?code=17da70961a7&searchWord=%E8%8A%E5%81%E6%97%A5%E5%AE%89%E6%8E%92&dataTypeId=107&sign=79cee6f6-5ec4-4395-9e29-0c5051516c69>.
- [33] 云南省教育厅. 教学日历站内搜索 [EB/OL]. (2025-04-17) [2025-11-10]. <https://jyt.yn.gov.cn/article/search?keyword=%E6%95%99%E5%AD%A6%E6%97%A5%E5%8E%86#>.
- [34] 云南大学. 云南大学校历及作息时间表 [EB/OL]. (2018-04-25) [2025-11-10]. <http://www.rsc.ynu.edu.cn/info/1003/2456.htm>.
- [35] Biggerstaff M, Cauchemez S, Reed C, et al. Estimates of the reproduction number for seasonal, pandemic, and zoonotic influenza: a systematic review of the literature [J]. BMC Infect Dis, 2014, 14(1):480. DOI:10.1186/1471-2334-14-480.
- [36] Tan XH, Yuan LL, Zhou JJ, et al. Modeling the initial transmission dynamics of influenza A H1N1 in Guangdong Province, China [J]. Int J Infect Dis, 2013, 17(7):e479-e484. DOI:10.1016/j.ijid.2012.11.018.
- [37] 世界卫生组织. 季节性流感 [EB/OL]. (2025-02-28) [2025-11-10]. [https://www.who.int/zh/news-room/fact-sheets/detail/influenza-\(seasonal\)](https://www.who.int/zh/news-room/fact-sheets/detail/influenza-(seasonal)).
- [38] 陈涛,杨静,汪立杰,等. 法定节假日对流感样病例就诊比例的影响 [J]. 中华流行病学杂志, 2018, 39(8):1100-1105. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.08.017.
- Chen T, Yang J, Wang LJ, et al. The influence of statutory holidays on the proportion of the outpatient and emergency visits for influenza-like illness [J]. Chin J Epidemiol, 2018, 39(8):1100-1105. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.08.017.
- [39] 宁芳,段玮,高培,等. 流感样病例监测系统数据异常波动与预警分析 [J]. 中国公共卫生, 2007, 23(10):1210-1211. DOI:10.11847/zgggws2007-23-10-31.
- Ning F, Duan W, Gao P, et al. Analysis on data deviation of influenza-like case surveillance system and forecasting [J]. Chin J Public Health, 2007, 23(10):1210-1211. DOI:10.11847/zgggws2007-23-10-31.

(收稿日期:2025-12-29)

(修回日期:2026-01-23)

本文编辑:于欣(中文)

方心宇(英文)