

刘郑倩, 叶玉瑶, 张虹鸥, 郭洪旭, 杨骥, 王长建. 2020. 珠海市新型冠状病毒肺炎聚集发生的时空特征及传播路径. 热带地理, 40 (3): 422-431.

Liu Zhengqian, Ye Yuyao, Zhang Hong'ou, Guo Hongxu, Yang Ji and Wang Changjian. 2020. Spatio-Temporal Characteristics and Transmission Path of COVID-19 Cluster Cases in Zhuhai. *Tropical Geography*, 40 (3): 422-431.

## 珠海市新型冠状病毒肺炎聚集发生的 时空特征及传播路径

刘郑倩<sup>1,2</sup>, 叶玉瑶<sup>1</sup>, 张虹鸥<sup>1</sup>, 郭洪旭<sup>2</sup>, 杨 骥<sup>1,3</sup>, 王长建<sup>1</sup>

(1. 广州地理研究所, 广东省地理空间信息技术与应用公共实验室, 广东省遥感与地理信息系统; 应用重点实验室, 广州 510070; 2. 广东工业大学 建筑与城市规划学院, 广州 510090; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室, 广州 511458)

**摘要:** 利用珠海市卫生健康局公开发布的98例新型冠状病毒肺炎病例流行病学调查数据, 通过26个疫情聚集单元的时空特征分析和4类典型传播路径的案例剖析, 深入探讨了珠海市新型冠状病毒肺炎聚集发生的时空规律和传播路径。结果表明: 1) 珠海的疫情发展与武汉的人口流动与管控密切相关, 由于管控及时, 目前仍以疫源区直接输入和家庭聚集扩散为主要传播方式, 在有限范围内扩散。2) 存在输入一代家庭聚集传播、输入一代非家庭聚集传播、输入二代家庭聚集传播、输入二代非家庭聚集传播4种不同的传播路径, 且以第一种为主要方式, 但非家庭聚集传播的路径复杂, 应加强流行病学调查和防控。3) 对输入性病例从输入到发病的滞后周期以及聚集单元最长发病时间间隔来看, 有少部分病例或携带者可以突破14 d限制, 应警惕目前普遍采用的14 d隔离措施可能存在的风险。

**关键词:** 新型冠状病毒肺炎; 珠海; 聚集; 时空特征; 传播路径

中图分类号: R126.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2020)03-0422-10

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003228

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情在武汉暴发后, 在极短时间内迅速蔓延到全国及海外地区, 成为自2003年SARS以来, 又一起严重的突发公共卫生事件。武汉市九省通衢, 在全国交通体系中占据枢纽位置, 春运期间的大量人口流动, 给病毒的远距离传播提供了机会, 全国各地接收的武汉流出人口数和病例数呈显著相关(许小可等, 2020)。故人口流动频繁的大城市成为此次疫情的高风险区。截至2020-03-04, 珠海确诊病例数在广东省排名第4, 在全国(除湖北省)排名第31, 具有代表性。珠海是中国休闲旅游示范城市, 也是通往港澳的门户城市, 外来人口流动频繁, 因此, 以珠海市作为对象, 研究疫情传播的时空特征及传播路径, 具有很强的示范意义。

COVID-19暴发以来, 许多学者基于经典的流行病学调查开展流行病学数理统计分析(Guan et al., 2020), 分别从病理学(Li et al., 2020)、流行病学(Wu, 2020)、基因组学(Zhou et al., 2020)、临床医学(史河水等, 2020; Huang et al., 2020)、分子生物学等视角开展应急研究, 以期揭示COVID-19的基因序列、病毒源头、中间宿主以及影响病毒传播的相关风险因子, 为清晰认识其危害潜力、传播机理、风险影响因子进而定制检测试剂盒、研发抗病毒药物(宋杲等, 2020; 林志健等, 2020)提供科学的参考依据。然而, 新发突发传染病流行时, 特异性疫苗与根本性治疗方法一般需要很长时间, 此时, 有效应急防控的措施通常是隔离、追踪密切接触者、管制口岸与交通、限制人群活动等

收稿日期: 2020-03-03; 修回日期: 2020-03-05

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2019YFB2103101); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0301); 广东省科学院建设国内一流研究机构行动专项资金项目(2020GDASYL-20200102002)

作者简介: 刘郑倩(1996—), 女, 湖北荆州人, 硕士研究生, 研究方向为城市地理学, (E-mail) 1085536130@qq.com。

通信作者: 叶玉瑶(1980—), 女, 四川乐山人, 博士, 研究员, 研究方向为城市地理学, (E-mail) yeyuyao@gdas.ac.cn。

(曹志冬等, 2010a)。需要及时掌握疫情传播的时空规律, 才能做到有的放矢地精准防控。然而, 目前关于 COVID-19 时空传播规律的研究相对缺乏。

疫情聚集发生是指在一个小的社会单元里出现两例或更多具有流行病学关联的感染者, 并由其共同构成一个疫情聚集单元。定量研究聚集单元的时空特征和病毒在单元内部的扩散规律不仅能更全面深刻地认识疫情传播的时空规律与内在机制, 而且能反映应急防控措施对疫情传播的影响, 分析政策得失, 为政策调整提供科学依据。本文利用珠海市卫生健康局公开的 98 例新型冠状病毒肺炎病例流行病学调查数据, 综合应用地理信息技术和数学统计方法, 基于 26 个聚集单元的时空特征分析和典型案例剖析, 全面探讨珠海市新型冠状病毒肺炎流行病学特征和聚集发生的时空规律, 剖析疫情传播的典型路径, 为制定行之有效的防控政策提供科学参考。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

本文数据来源于珠海市卫生健康局截至 2020-03-04 公布的 98 例新型冠状病毒感染者信息, 包含每位感染者的年龄、性别、居住地、与其他病例关系、行程、发病时间、入院时间、染病原因、病况、症状等具体信息。

### 1.2 研究方法

本文采用数学统计方法, 分析新型冠状病毒肺炎疫情的流行病学基本特征; 使用 GIS 空间分析方法, 分析珠海市新型冠状病毒肺炎疫情空间分布特征, 绘制珠海地区空间分布图; 基于流行病学调

查, 划分疫情聚集单元, 分析疫情聚集发生的时空特征; 采用典型案例剖析方法, 分析疫情传播的典型路径与机制。

## 2 流行病学基本特征分析

### 2.1 阶段特征

2020-01-20, 珠海发布了最初的 3 例确诊新型冠状病毒病例 (3 例病例为一家人, 父母于 1 月 11 日从武汉返回珠海女儿家, 1 月 15 日开始陆续出现 COVID-19 症状), 随着时间推移, 疫情不断发展。截止 2 月 28 日 24 时, 珠海市累计出现 98 例确诊新型冠状病毒肺炎病例。依据病例的发病时间, 疫情大致经历了 3 个阶段 (图 1)。1) 平稳偶发阶段 (第一阶段): 2020-01-10 开始的一周内, 每日新增发病人数  $\leq 1$  人; 2) 直线上升阶段 (第二阶段): 2020-01-18—30, 疫情呈近似直线增长, 于 1 月 30 日达到顶峰, 单日新增发病人数达 9 人; 3) 起伏下降阶段 (第三阶段): 2020-01-30 之后, 每日新增发病人数呈起伏下降趋势, 但也会出现突然暴发的现象。

珠海的疫情发展与武汉的人口流动与管控及珠海的防疫管控密切相关。据许小可等 (2020) 对疫情暴发前武汉外流人口的研究显示, 2020-01-01—23, 武汉市流出人口的目的地和数量与 2017 年基本一致, 处于正常出行阶段, 随着武汉市疫情的发展以及人口的正常流动, 珠海市的疫情也随之发展。2020-01-28 起, 珠海采取严格防疫措施, 要求湖北省来珠人员主动报备并做好隔离防护, 全面加强交通卫生检疫, 这些举措对抑制疫情的进一步扩散产生了显著影响。未来, 随着疫情防控与恢复经济的博弈, 可以预见珠海市的防疫形势又将面临“返工人流”带来的巨大挑战 (武文韬等, 2020)。

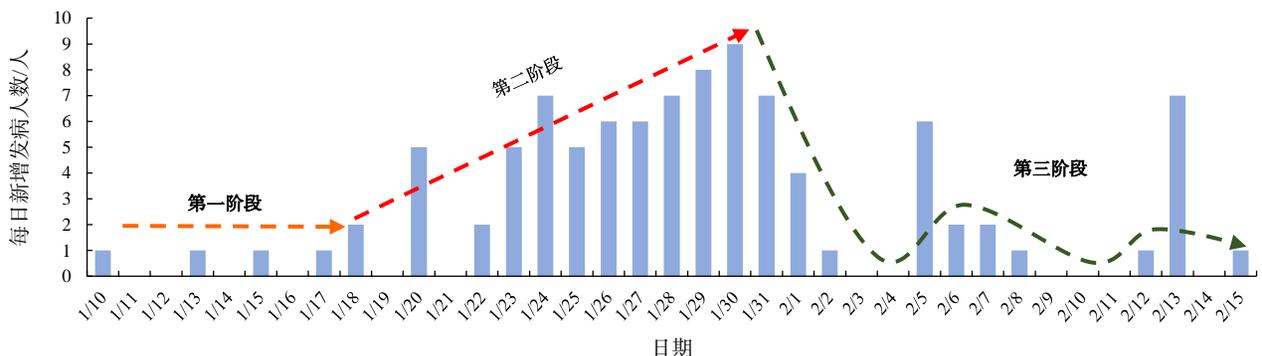


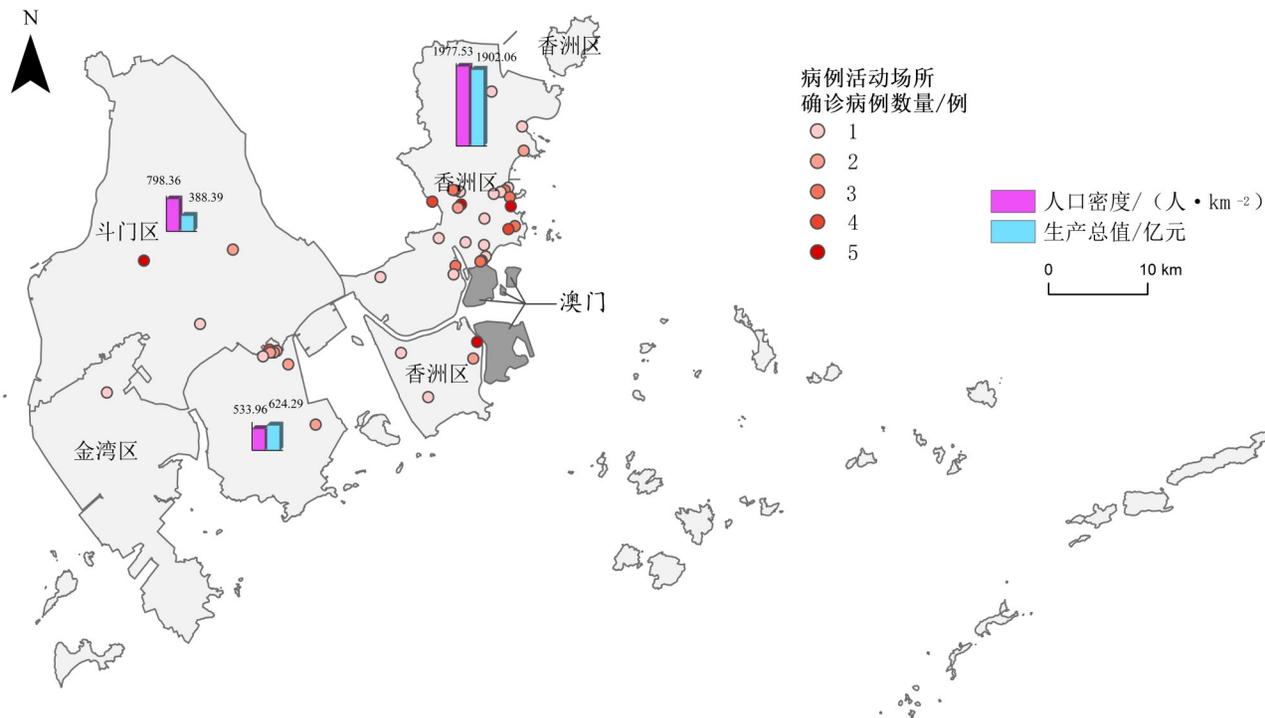
图 1 珠海市每日新增新型冠状病毒肺炎发病人数变化情况

Fig. 1 Daily reporting of COVID-19 cases in Zhuhai

## 2.2 空间特征

根据珠海市卫生健康局公布的病例居住小区及逗留场所信息,对各个确诊病例进行空间地址匹配,形成病例空间分布图(图2)。可以看出,病例分布与区域人口密度与社会经济活力相关。病例主

要分布于香洲区,为65例,且有明显的病例集中聚集区域;金湾区病例规模为18例,也有明显集聚特征。其中,因疫情发展,珠海加强监控防疫措施后,有20%的确诊病例于酒店、安置点和医学集中观察点等隔离地点检测出核酸呈阳性。



注:另外7例病例为中山市来珠海确诊病例。

图2 珠海市新型冠状病毒肺炎病例数量分布及逗留场所

Fig. 2 Space distribution of COVID-19 cases in Zhuhai

## 2.3 病例结构特征

从病例来源看,珠海市以输入性病例为主,达83例,占比84.69%(其中湖北输入80例,其他地区输入3例);本地病例15例,占比15.31%。从发病性质看,聚集性病例85例,占比86.73%,且以家庭聚集发病为主(77例),占聚集性病例的90.59%;散发病例为13例,占比13.27%。结合病例来源和发病性质,进一步将病例划分为4种类型(表1):第一类为输入聚集性病例,由疫源地以家庭为单元输入,表现出聚集性发病特征;第二类为

输入散发性病例,疫源地个体输入,由于防控得当,未继续传播扩散;第三类为本地聚集性病例,无珠海市以外地区活动史,为输入病例的二代病例;第四类为本地散发性病例,无珠海市以外地区活动史,感染路径隐秘,应引起高度重视,追根溯源,加强对密切接触者医学观察和隔离。从4类病例的发展趋势看(图3),1月18日至2月1日,疫情由外地输入向本地扩散,但本地散发性病例较少,在武汉“封城”等一系列人口管控措施和珠海自身防控措施的实施下,疫情得到防控,没有出现大规模向本地扩散的状况。

## 2.4 人群结构特征

从珠海市新型冠状病毒肺炎病例的年龄和性别结构看(表2和图4),感染者年龄分布跨度较大,最小1岁,最大80岁,平均年龄为46.1岁。男性和女性病例的年龄分布较为一致。

表1 珠海市新型冠状病毒肺炎病例4种类型发病人数

Table 1 Four types of COVID-19 cases in Zhuhai 例

病例类型	聚集性病例	散发性病例	总计
输入性病例	73	10	83
本地病例	12	3	15
总计	85	13	98

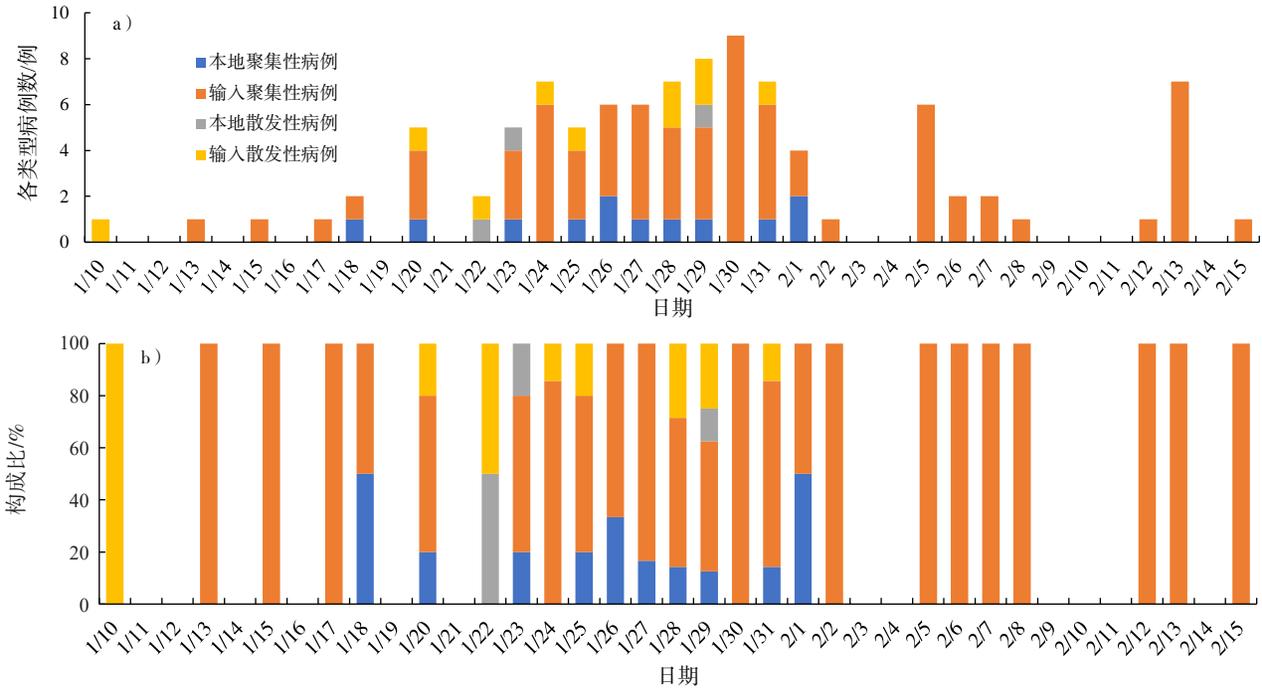


图3 珠海市4类新冠肺炎病例每日发病人数 (a) 及构成比 (b)  
 Fig. 3 Daily incidence numbers(a) and its proportion(b) of COVID-19 cases in Zhuhai

表2 珠海市新型冠状病毒肺炎病例人群结构

Table 2 Population structure of COVID-19 cases in Zhuhai

性别	病例数/例	占比/%	平均年龄/岁
男	45	45.92	43.2
女	53	54.08	48.6

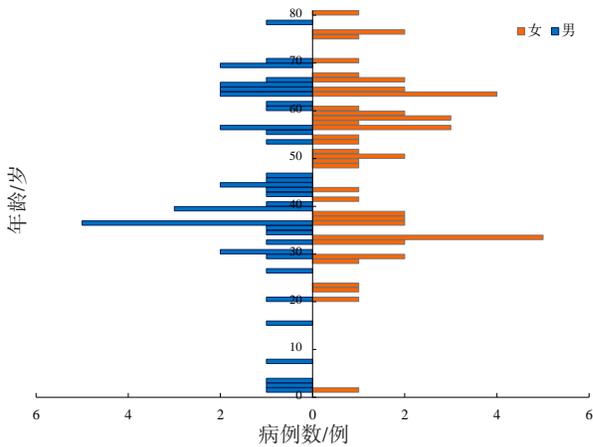


图4 珠海市新型冠状病毒肺炎病例年龄分布  
 Fig. 4 Age distribution of COVID-19 cases in Zhuhai

2.5 输入性病例发病滞后周期

通过对珠海市输入性病例的整体观察，我们发现病例从输入到发病普遍存在滞后周期。对滞后周期的分析，对于我国广大非疫源区的疫情风险预测

与人流管控意义重大。因此，本文考察每例输入性病例从来珠到发病的滞后周期，统计其概率分布(图5)，发现输入性病例滞后周期为0的病例(来珠海前或当天已发病)，占输入性病例总数的12.05%，来珠海时及时发现并隔离可以有效控制这一部分病例对疫情的扩散作用；发病滞后周期1~14 d的病例共计占比75.90%，按规定隔离14 d也可以较好阻断这一部分病例向外扩散疫情；其余病例发病滞后周期在15 d以上，最长达29 d，尽管这一部分病例仅占输入性病例的12.05%，但从目前全国各地普遍实

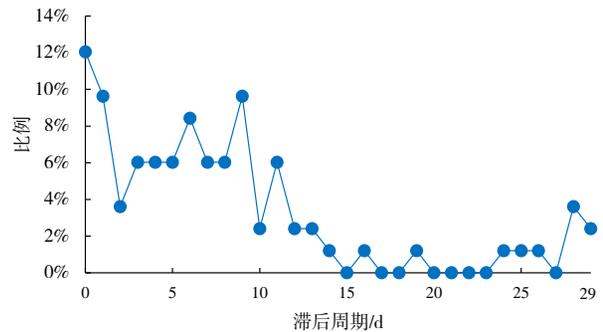


图5 珠海市输入性病例发病滞后周期概率分布  
 Fig. 5 Probability distribution of LAG period of imported COVID-19 cases in Zhuhai

施的对外人员14 d隔离的措施来看,显然不足以控制这类人群的疫情扩散,应该引起足够重视。

### 3 疫情聚集发生的时空特征

通过流行病学关联分析,珠海市85例聚集性病例共构成26个聚集单元。进一步以这些聚集单元为研究对象,分析其时空特征,以揭示疫情传播的时空规律,为制定更有针对性的精准防控措施提供参考依据。

#### 3.1 疫情聚集规模的时序变化

将26个聚集单元按初始暴发的时间排序,考察疫情聚集发生规模的时序变化(图6)。结果发现,大部分聚集单元的规模较小,多为2~4个病例形成

一个聚集单元,仅有5个聚集单元病例人数>4,其中,1月27日和1月31日暴发的一个疫情单元规模达到7人。总体而言,疫情发展较为平缓,但不时会暴发。

#### 3.2 疫情聚集发生的场所特征

从疫情聚集发生的场所来看(图7),多数发生于家庭内部,为家庭性聚集,仅有5例聚集疫情因旅行等原因将病毒扩散至家庭外部,为非家庭性聚集。从时序变化来看,非家庭性聚集偶有发生,虽然管控措施强,但病毒潜伏期可能较长,一些聚集性病例较晚才出现相应症状,因此,集中隔离观察能有效筛查出无症状感染者,并防止疫情继续扩散。

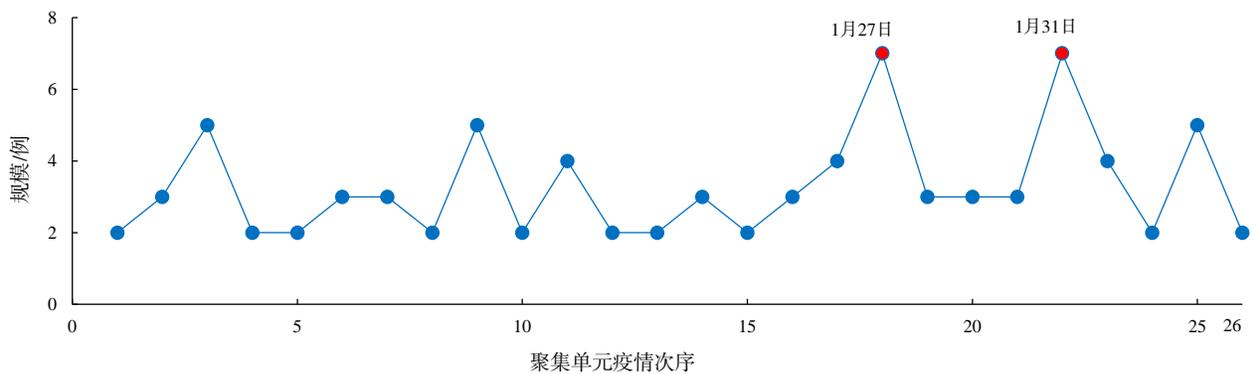


图6 珠海市疫情聚集发生的规模变化

Fig. 6 Scale of COVID-19 clustered cases in Zhuhai

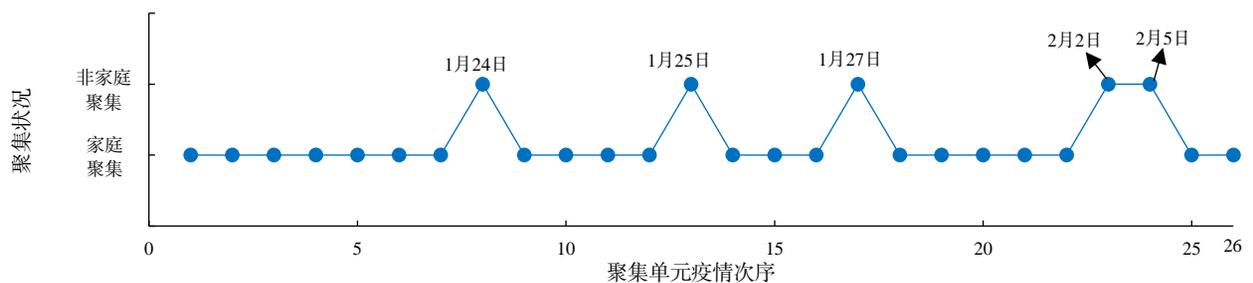


图7 珠海市疫情聚集发生的场所变化

Fig. 7 Pattern of COVID-19 clustered cases in Zhuhai

#### 3.3 疫情聚集传播的时间间隔特征

考察26个聚集单元从首例发病到末例发病的时间间隔发现(图8):有5个聚集单元的发病时间间隔为0 d,表现为同时发病;有20个聚集单元最长发病时间间隔为1~14 d;1个聚集单元的最长发病时间间隔超过15 d,最长发病时间间隔可达17 d。从疫情发展变化的态势来看,总体在0~7 d之间波

动,但最长发病时间间隔峰值可达17 d,考虑到一些病例在集中隔离或观察期间未出现症状但检测出携带病毒,实际最长发病时间间隔可能超过17 d。

### 4 典型聚集单元的传播路径

珠海市新型冠状病毒肺炎疫情的传播主要由源地输入为主,根据进入珠海后的传播路径,大致

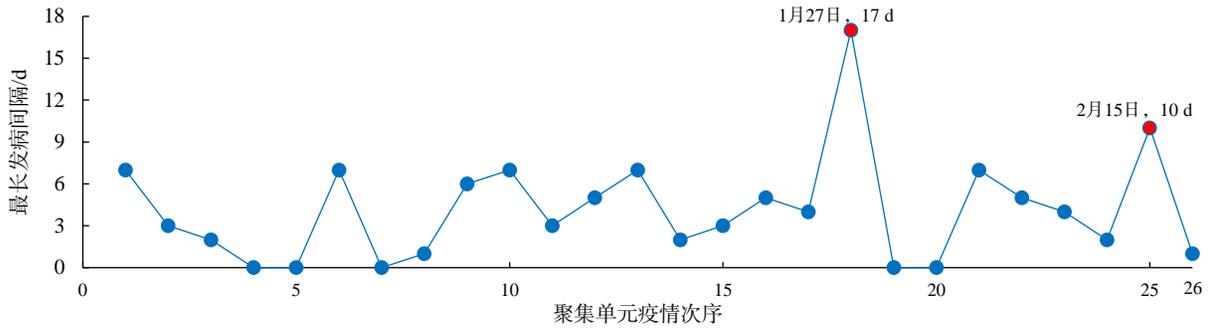


图8 珠海市疫情聚集单元最长发病间隔变化

Fig. 8 Interval of COVID-19 clustered units in Zhuhai

可分为4种典型聚集传播类型。

### 1) 输入一代家庭聚集传播

该类聚集单元中大部分病例均为疫源地直接输入，仅有1个聚集单元因邮轮旅行发生家庭聚集感染，聚集发病规模为2~7人，聚集发病的场所局限于家庭内部，由于隔离措施得当，向家庭外部传播的路径被及时阻断。这类聚集单元共有16个，占聚集单元总数的61.54%，说明珠海市的疫情防控措施是积极有效的。选取一例典型聚集单元进行案例剖析（图9）。

该案例涉及7个病例，基本情况为：1月16日，病例89（聚集单元中公布的首位确诊病例）、95（妹夫）和96（大嫂）从武汉驾车至珠海；同时，

病例93（哥哥）从武汉乘坐飞机到达珠海。1月19日，病例98（女儿）从武汉驾车至珠海；病例92（侄子）和病例94（侄子）分别于1月18日和20日乘坐飞机到达珠海；1月24日，该家庭在外聚餐一次。1月27日，病例89首先发病；2月12日，另外6例病例作为其密切接触者转到隔离医学观察点；2月13日，病例96和病例98发病，另外4例未发病但核酸检测呈阳性。该家庭陆续抵达珠海7d后才开始接连发病，且家庭成员的最晚发病时间与返珠时间的间隔为29 d，与聚餐时间的间隔为23 d，即使因聚餐导致感染，潜伏期也远超公认的14 d，说明病毒潜伏周期因人而异，个体差异很大。因此，对返珠人员以及确诊病例的密切接触者进行隔离排查以阻断病毒传播十分有必要。

### 2) 输入一代非家庭聚集传播

该类聚集单元中部分病例由疫源地输入后，因同乘同行等原因使疫情在抵达珠海前便开始向家庭外部传播，聚集发病规模2~4人不等。由于确诊及时，隔离得当，进一步在珠海本地传播的路径被及时阻断。这类聚集单元有4个，占聚集单元总数的15.38%。选取一例典型单元进行案例剖析（图10）。

该案例共涉及4个病例，基本情况为：病例19一家与病例51（密切接触者）常住湖北，4人同时于1月23日从长沙乘飞机到珠海；1月24日上午经拱北口岸至澳门；1月26日上午病例19一家返回珠海；27日，病例51返回珠海。1月27日，病例19和病例20（父亲）发病，1月30日和31日，病例39（家属）、病例51相继发病。

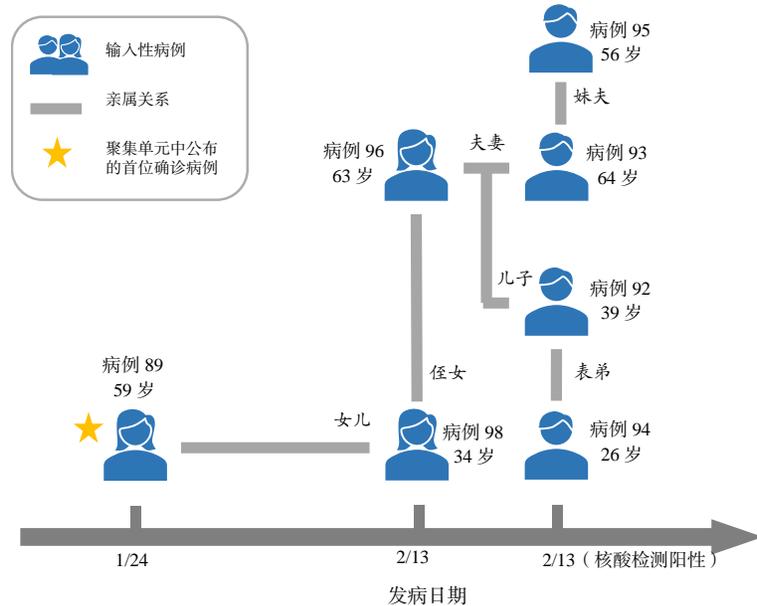


图9 输入一代家庭聚集单元

Fig. 9 Cluster unit of imported family

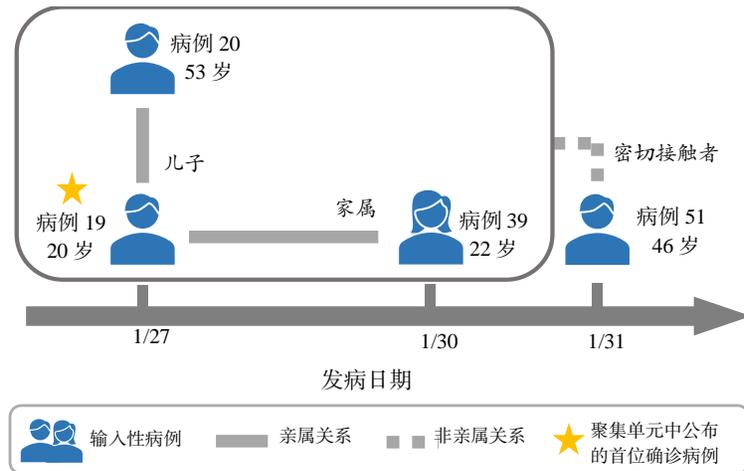


图10 输入一代非家庭聚集单元  
Fig. 10 Cluster unit of imported non-family

### 3) 输入二代家庭聚集传播

该类聚集单元中部分病例由疫源地输入后，进一步向家庭内部其他成员传播，聚集发病规模为2~5人不等，聚集发病的场所局限于家庭内部，由于居家隔离得当，仅发生二代传播，进一步向家庭外部传播的路径被及时阻断。这类聚集单元共有5个，占聚集单元总数的19.23%。选取一例典型单元进行案例剖析（图11）。

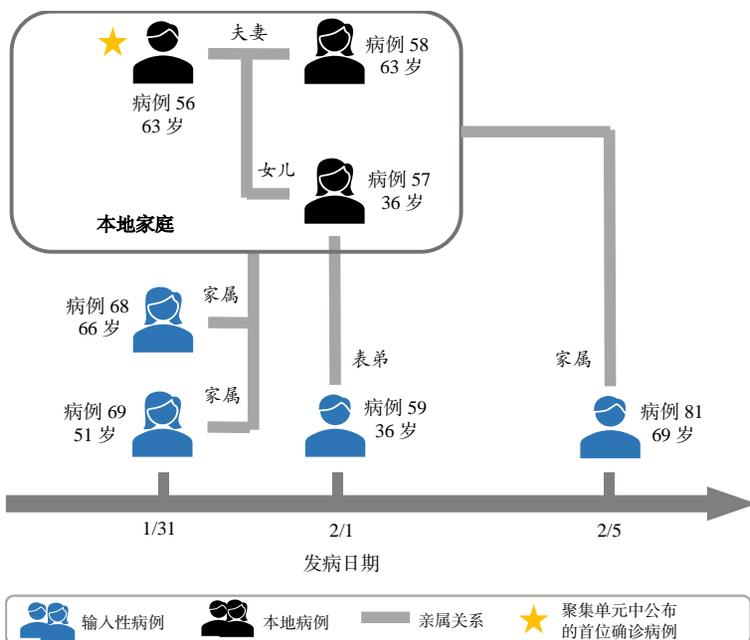


图11 输入二代家庭聚集单元  
Fig. 11 Cluster unit of imported and local family

该案例共涉及7个病例，基本情况为：病例68（家属）、69（家属）和81（家属）于1月20日乘坐高铁到达珠海；1月22日，病例59（侄子）从武汉驾车至珠海，居住于珠海的病例56（夫）家庭于1月20至23日接待了这4位家属。1月31日，病例56、68、69发病；2月1日，病例57（女儿）、病例58（妻）和病例59发病，直到2月5日病例81（家属）发病。

### 4) 输入二代非家庭聚集传播

该类聚集单元中部分病例由疫源地输入后，因发生接触等原因使疫情向家庭外部传播，这类聚集单元仅1个，聚集发病规模为2人。由于确诊及时，隔离得当，仅发生二代传播，进一步传播的路径被及时阻断。选取该单元进行案例剖析（图12）。

该案例的基本情况为：病例24于1月19日从武汉乘坐高铁抵达珠海，病例13（密切接触者）为珠海本地一家药房工作人员，并于1月22日和23日接待病例24。1月24日，病例24因发热前往医院就诊；25日，病例13发病并前往医院就诊。

## 5 结论与讨论

此次暴发于武汉的新型冠状病毒疫情主要通过人口流动在全国甚至全球范围传播，对于像珠海这样人流频繁的城市，在特异性疫苗与根本性治疗方法出现之前，“外防输入，内防扩散”仍然是一项基本且有效的应急防控措施。因此，亟需准确、全面地把握疫情输入与传播的时空规律，为合理制定防控措施提供科学参考。本文利用珠海市98例新型冠状病毒肺炎病例流行病学调查数据，基于聚集单元的时空特征分析和典型案例剖析，探讨了珠海市新型冠状病毒肺炎聚集发生的时空规律和传播路径。基本结论与相关建议如下：

1) 珠海的疫情发展与武汉的人口流动与管控密切相关，整体经历了平稳萌发、直线上升、起伏下降3个阶段，病例分布与区域人口密度与社会经济活力相关。从病例结构来看，以输入性病为主，由于管控及时，目前仍以家庭聚集扩散

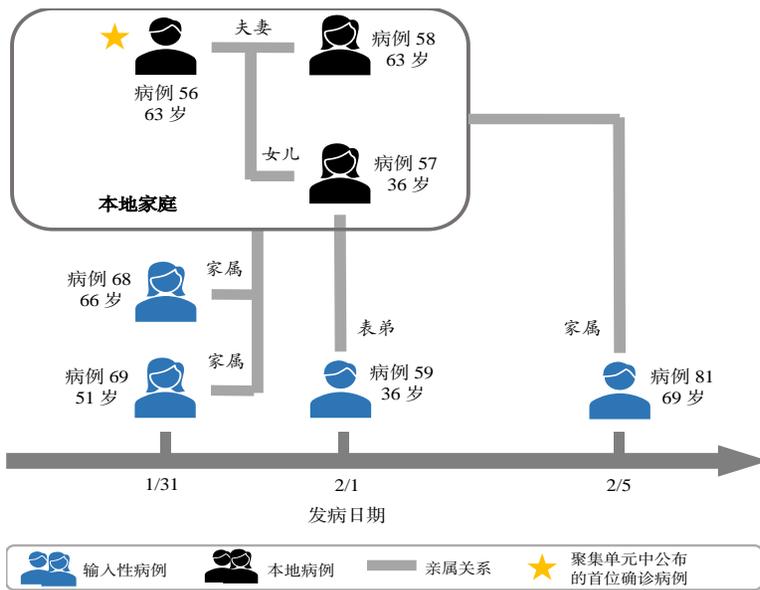


图 12 输入二代非家庭聚集单元

Fig. 12 Cluster unit of imported and local non-family

为主要传播方式，在有限范围内扩散。输入性病例从输入到发病普遍存在滞后周期，绝大部分滞后周期在 14 d 以内，但也有小部分发病滞后周期在 14 d 以上，最长可达 29 d。

2) 基于疫情聚集单元的分析表明，非家庭性聚集偶有发生，虽然管控措施加强，但疫情潜伏期可能较长，一些聚集性病例较晚才出现相应症状，因此，集中隔离观察能有效筛查出无症状感染者。考察聚集单元从首例发病到末位病例发病的时间间隔发现，绝大部分聚集单元最长发病的时间间隔在 14 d 以内，但有小部分聚集单元时间间隔超过 14 d，最长可达 17 d。

3) 基于典型聚集单元的案例分析发现，病毒进入珠海后形成输入一代家庭聚集传播、输入一代非家庭聚集传播、输入二代家庭聚集传播、输入二代非家庭聚集传播 4 种不同的传播路径。由于隔离措施得当，病毒传播路径被及时阻断，疫情传播以输入一代家庭聚集传播为主，输入二代家庭聚集传播和输入一代非家庭聚集传播相对较少，输入二代非家庭聚集传播很少。家庭聚集传播靶向控制方面更具操作性，非家庭聚集传播的情况较为复杂，传播途径极具复杂性和隐蔽性，致使防控难度加大，是疫情内防扩散的关键所在。因此，应重视家庭结构和社会关系对于当前疫情防控的潜在风险，增强对迁入珠海人员家庭结构及其社会关系的调查，及

早切断病毒集聚传播的可能路径。

上述结论对于我国目前的疫情防控工作具有重要的启示意义。目前，全国各地控制人口流动、加强社区隔离防控的基本策略是正确且有效的，尽管防控工作已初见成效，但丝毫不能放松警惕，随着各地开工潮的到来，人口流动将日益频繁，疫情扩散存在由目前以家庭聚集性扩散为主向工作场所转移的风险。根据本文的研究发现，对当前的疫情防控提出如下几点建议：1) 应充分估计“返工潮”可能带来的疫情风险，加强对流行病学的研究，积极探索人口流动与疫情传播的时空规律，依据科学规律精准防控，及时阻断病毒的传播路径。2) 对于来自湖北等疫区或疫情高风险区的流入人口，必须坚持防控隔离不松懈。目前，全国各地普遍实施的对外来人员 14 d 隔离的措施，对于绝大多数病例或病毒携带者是有效的，但从本文对输入性病例从输入到发病的滞后周期以及聚集单元最长发病时间间隔的研究结果来看，仍有少部分病例或携带者可以突破 14 d 限制，建议适当延长隔离时间。3) 加强流行病学调查与地理信息技术的结合，及时追踪疫情发生、传播的路径，精准挖掘高危人群的活动轨迹，追根溯源，精准防控。总之，对于新型冠状病毒肺炎突发流行的重大公共卫生危机事件，其应急管理与控制往往涉及医学领域、地理信息科学、计算机与信息科学、心理与行为学等多个科学领域（曹志冬等，2010b），科学、及时、有效的防控措施需要依靠多学科共同进行探索和掌握。

参考文献 (References):

曹志冬, 曾大军, 郑晓龙, 王全意, 王飞跃, 王劲峰, 王小莉. 2010a. 北京市 SARS 流行的特征与时空传播规律. 中国科学: 地球科学, 40 (6): 776-788. [Cao Zhidong, Zeng Dajun, Zheng Xiaolong, Wang Quanyi, Wang Feiyue, Wang Jingfeng and Wang Xiaoli. 2010a. Spatio-Temporal Evolution of Beijing 2003 SARS Epidemic. *Scientia Sinica(Terrae)*, 40(6): 776-788. ]

曹志冬, 曾大军, 王全意, 王小莉, 张奕, 邓瑛, 郑晓龙, 王飞跃. 2010b. 北京市甲型 H1N1 早期流行的特征与时空演变模式. 地理学报, 65 (3): 361-368. [Cao Zhidong, Zeng Dajun, Wang Quanyi, Wang Xiaoli, Zhang Yi, Deng Ying, Zheng Xiaolong and Wang Feiyue. 2010b. Epidemiological Features and Spatio-Temporal Evolution in the Early Phase of the Beijing

- H1N1 Epidemic. *Acta Geographica Sinica*, 65(3): 361-368. ]
- Guan Weijie, Ni Zhengyi, Hu Yu, Liang Wenhua, Ou Chunquan, He Jianxing, Liu Lei, Shan Hong, Lei Chunliang, Hui David S C, Du Bin, Li Lanjuan, Zeng Guang, Yuen KowkYung, Chen Ruchong, Tang Chunli, Wang Tao, Chen Pingyan, Xiang Jie, Li Shiyue, Wang Jinlin, Liang Zijing, Peng Yixiang, Wei Li, Liu Yong, Hu Yahua, Peng Peng, Wang Jianming, Liu Jiyang, Chen Zhong, Li Gang, Zheng Zhijian, Qiu Shaoqin, Luo Jie, Ye Changjiang, Zhu Shaoyong and Zhong Nanshan. 2020. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *New England Journal of Medicine*. DOI: 10.1056/NEJMoa2002032.
- Huang Chaolin, Wang Yeming, Li Xingwang, Ren Lili, Zhao Jianping, Hu Yi, Zhang Li, Fan Guohui, Xu Jiuyang, Gu Xiaoying, Cheng Zhenshun, Yu Ting, Xia Jia'an, Wei Yuan, Wu Wenjuan, Xie Xuelei, Yin Wen, Li Hui and Cao Bin. 2020. Clinical Features of Patients Infected with 2019 Novel Coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, 395(10223): 497-506.
- Li Qun, Guan Xuhua, Wu Peng, Wang Xiaoye, Zhou Lei, Tong Yeqing, Ren Ruiqi, Leung Kathy S M, Lau Eric H Y, Wong Jessica Y, Xing Xuesen, Xiang Nijuan, Wu Yang, Li Chao, Chen Qi, Li Dan, Liu Tian, Zhao Jing, Li Man, Tu Wenxiao, Chen Chuding, Jin Lianmei, Yang Rui, Wang Qi, Zhou Suhua, Wang Rui, Liu Hui, Luo Yingbo, Liu Yuan, Shao Ge, Li Huan, Tao Zhongfa, Yang Yang, Deng Zhiqiang, Liu Boxi, Ma Zhitao, Zhang Yanping, Shi Guoqing, Lam Tommy T Y, Wu Joseph T K, Gao George F, Cowling Benjamin J, Yang Bo, Leung Gabriel M and Feng Zijian. 2020. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. *N. Engl. J. Med.*, 382: 1199-1207. DOI: 10.1056/NEJMoa2001316.
- 林志健, 张冰. 2020. 临床中药药师参与新型冠状病毒肺炎 (NCP) 防治的药学服务策略. *中国中药杂志*, 1-5 [2020-02-11]. DOI: 10.19540/j.cnki.cjcm.20200211.501. [Lin Zhijian and Zhang Bing. 2020. Strategy of Pharmaceutical Care Services for Clinical Chinese Pharmacists in Novel Coronavirus Pneumonia. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 1-5[2020-02-11]. DOI: 10.19540/j.cnki.cjcm.20200211.501. ]
- 史河水, 韩小雨, 樊艳青, 梁波, 杨帆, 韩萍, 郑传胜. 2020. 新型冠状病毒 (2019-nCoV) 感染的肺炎临床特征及影像学表现. *临床放射学杂志*, 1-8[2020-02-06]. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.20200206.002. [Shi Heshui, Han Xiaoyu, Fan Yanqing, Liang Bo, Yang Fan, Han Ping and Zheng Chuansheng. 2020. Radiologic Features of Patients with 2019-nCoV Infection. *Journal of Clinical Radiology*, 1-8[2020-02-06]. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.20200206.002. ]
- 宋杲, 成梦群, 魏贤文. 2020. 新型冠状病毒 (2019-nCoV) 治疗药物体内外研究及药物研发进展. *病毒学报*, (2): 300-305. DOI: 10.13242/j.cnki.bingduxuebao.003646. [Song Gao, Cheng Mengqun and Wei Xianwen. 2020. Research Progress on Novel Coronavirus (2019-nCoV) Related Drugs In Vitro/Vivo. *Chinese Journal of Virology*, (2): 300-305. DOI: 10.13242/j.cnki.bingduxuebao.003646. ]
- Wu Fan, Zhao Su, Yu Bin, Chen Yanmei, Wang Wen, Song Zhigang, Hu Yi, Tao Zhaowu, Tian Junhua, Pei Yuanyuan, Yuan Mingli, Zhang Yuling, Dai Fahui, Liu Yi, Wang Qimin, Zheng Jiaojiao, Xu Lin, Holmes Edward C and ZhangYongzhen. 2020. A New Coronavirus Associated with Human Respiratory Disease in China. *Nature*, 579:265-269. DOI: 10.1038/s41586-020-2008-3.
- 武文韬, 柏如海, 李达宁, 冯敬梓, 徐安定, 吕军. 2020. 广东省新型冠状病毒肺炎疫情流行趋势的初步预测. *暨南大学学报 (自然科学与医学版)*, 41 (2): 1-6. [Wu Wentao, Bo Ruhai, Li Daning, Feng Aozi, Xu Anding and Lv Jun. 2020. Preliminary Prediction of the Epidemic Trend of Novel Coronavirus in Guangdong Province. *Journal of Jinan University(Natural Science & Medicine Edition)*, 41(2): 1-6. ]
- 许小可, 文成, 张光耀, 孙皓宸, 刘波, 王贤文. 2020. 新冠肺炎爆发前期武汉外流人口的地理去向分布及影响. *电子科技大学学报*, (3): 324-329. DOI: 10.12178/1001-0548.2020033. [Xu Xiaoke, Wen Cheng, Zhang Guangyao, Sun Haochen, Liu bo and Wang Xianwen. 2020. The Geographical Destination Distribution and Effect of Outflow Population of Wuhan When the Outbreak of the 2019-nCoV Pneumonia. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, (3): 324-329. DOI: 10.12178/1001-0548.2020033. ]
- Zhou Peng, Yang Xinglou, Wang Xianguang, Hu Ben, Zhang Lei, Zhang Wei, Si Haorui, Zhu Yan, Li Bei, Huang Chaolin, Chen Huidong, Chen Jing, Luo Yun, Guo Hua, Jiang Rendi, Liu Meiqin, Chen Ying, Shen Xurui, Wang Xi, Zheng Xiaoshuang, Zhao Kai, Chen Quanjiao, Deng Fei, Liu Linlin, Yan Bing, Zhan Faxian, Wang Yanyi, Xiao Gengfu and Shi Zhengli. 2020. A Pneumonia Outbreak Associated with a New Coronavirus of Probable Bat Origin. *Nature*, 579, 270-273. DOI: 10.1038/s41586-020-2012-7.

## Spatio-Temporal Characteristics and Transmission Path of COVID-19 Cluster Cases in Zhuhai

Liu Zhengqian<sup>1,2</sup>, Ye Yuyao<sup>1</sup>, Zhang Hong'ou<sup>1</sup>, Guo Hongxu<sup>2</sup>, Yang Ji<sup>1,3</sup> and Wang Changjian<sup>1</sup>

- (1. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Key Lab of Guangdong for Utilization of Remote Sensing and Geographical Information System, Guangzhou 510070, China;  
2. School of Architecture and Urban Planning, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China;  
3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory ,Guangzhou 511458, China)

**Abstract:** On the eve of the 2020 Spring Festival, an epidemic of COVID-19 broke out in Wuhan and spread quickly across the country through population movements, posing a serious threat to Zhuhai and other large cities. In this paper, epidemiological survey data for 98 cases of COVID-19 published by the Zhuhai Municipal Health Bureau were used to analyze the spatio-temporal characteristics of 26 epidemic clusters, conduct case analyses of four types of typical transmission routes, and determine the spatio-temporal patterns and transmission routes of the virus in Zhuhai, with three main results. 1) The epidemic's spread in Zhuhai was affected by timely population management and control in Wuhan, which restricted it to a limited range. 2) There were four different transmission paths: imported family cluster units, imported non-family cluster units, imported and local family cluster units, and imported and local non-family cluster units. The first unit was most important, though the path of non-family cluster transmission was especially complex; epidemiological investigations should be strengthened along with prevention and control measures. 3) For imported cases, given the lag time from importation to onset and the longest time interval between the onset of cluster units, a small number of cases or carriers can break the 14-day isolation limit currently in use, such that caution should be exercised regarding possible risks associated with this measure. Based on these, three recommendations can be made for the prevention and control of COVID-19. 1) It is necessary to fully estimate the risk of future epidemic spread that may be brought about by the movement of people returning to work following initial quarantine, while strengthening epidemiological studies, actively exploring the spatio-temporal law of population flow and epidemic spread, and using science-based methods to prevent and control further viral spread. 2) It is necessary to persist in the prevention and control of population movements from Hubei and other high-risk epidemic areas. The 14-days quarantine currently in place throughout the country is effective for the vast majority of cases or carriers of the virus, but the results show that a few can break this limit, suggesting that the isolation time should be prolonged by up to 24 days. 3) The combined use of epidemiological investigation and geographic information technology should be strengthened to improve the timely tracking of epidemic occurrence and spread, accurately identify the activities of high-risk groups, and conduct accurate and effective source tracing, prevention, and control. In short, for a major public health crisis like the COVID-19 outbreak, emergency management and control should involve many scientific fields (including medicine, geographic & information technology, computer science, psychology, and behavioral science) in order to achieve timely and effective prevention and control measures that rely on such multi-disciplinary joint action.

**Keywords:** COVID-19; Zhuhai; aggregation; spatio-temporal characteristics; transmission path