

城市群视角下新冠肺炎疫情的时空扩散特征与影响因素

曹永旺^{a,b}, 刘 樱^{a,b}, 周春山^{a,b}

(中山大学 a. 地理科学与规划学院; b. 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广州 510275)

摘要: 采用各省份卫健委每日通报疫情数据, 结合空间自相关、地理探测器等方法, 从城市群视角分析 2020 年 1 月 21 日至 6 月 30 日新冠肺炎疫情在中国内地的时空扩散特征与影响因素。结果表明: (1) 新冠肺炎疫情的扩散可划分为 4 个阶段, 空间上呈现出圈层结构特征; 具有显著正空间集聚特征, 且空间集聚格局相对稳定。(2) 城市群内是疫情扩散的主要场所, 但变异系数在快速下降。累计确诊病例与城市群发育度具有正相关性。城市群内累计确诊病例的空间分布模式划分为弱中心城市群、弱单中心城市群、强单中心城市群、强多中心城市群 4 种类型。(3) 城市群内累计确诊病例与经济发展水平、医疗卫生水平、人口规模、交通联系强度、对外经济贸易水平均存在显著的正相关性, 其中医生数对累计确诊病例的空间分布解释力最强; 影响因素两两交互的解释力要高于单因素的解释力。

关键词: 新冠肺炎疫情; 时空扩散; 地理探测器; 城市群; 中国

中图分类号: K928.5

文献标志码: A

文章编号: 1003-2363(2021)03-0001-07

doi: 10.3969/j.issn.1003-2363.2021.03.001

0 引言

新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情自爆发后扩散迅速, 成为自 2003 年 SARS 后又一起严重的突发公共卫生事件, 对人民生命财产安全、经济社会发展带来巨大挑战, 引发各国、社会各界^[1]的高度重视与广泛关注。

学者们对新冠肺炎疫情的研究内容广泛。既有基于流行病学调查开展数理统计分析^[2-6], 也有依据每日公布的疫情数据开展建模预测分析、传染病基本再生数估算等^[7-8], 还有从政策层面提出抗击疫情方案、评估政策管控效应等^[9-10]。此外, 空间扩散也是疫情研究的一个重要方向。在疫情扩散规模与趋势方面, 王姣娥等将疫情的扩散划分为不同阶段, 归纳出邻近扩散、迁移扩散、等级扩散和廊道扩散等地理模式^[11]; 向云波等结合疫情扩散程度与人口流出的空间关系划分为 8 种管控区域^[12]; 王霞等评估了复工的可能时间节点及复工后再次爆发风险的影响^[13]。在疫情研究视角方面, 孙宇婷等基于百度搜索指数的分析认为, 公众对疫情的关注度存在时空差异与内容转换^[14]; 陈兴蜀等基于微博数据的分析发现, 网民对疫情的态度存在阶段与空间差异^[15]; 许小可等对比分析了疫情爆发前期武汉人口流动特征, 发现具有与往年相似的目的地人口流动特征, 为评估疫情风险、延缓疫情扩散提供参考^[16]。在疫情扩散影响因素方面, H. Xu 等发现疫情风险与温度、湿度具有明显的相

关性^[17]; L. Liu 认为疫情传播与地铁、污水、城市面积等具有相关性^[18]。在疫情扩散的潜在效应方面, M. Susanta 等发现“封城”期间空气质量得到明显改善^[19], 但疫情也对社会经济的各方面^[20-23]产生了深远影响。在疫情研究尺度方面, 既有对不同省份的疫情扩散规模^[24]、确诊平均用时^[25]等研究, 也有对单个省份^[26-27]或城市^[28-29]的疫情扩散特征分析, 还有对粤港澳大湾区疫情传播风险的适宜性评估^[30]。在研究方法方面, 既有采用地理信息系统^[31]、大数据技术等反映疫情时空扩散特征^[32], 也有应用地理知识图谱^[33]、五元组操作规则^[34]、面板回归模型、传染病动力学模型等推演疫情扩散趋势。在研究数据方面, 主要采用卫健委疫情数据以及微博数据、手机信令数据等多源地理时空大数据^[35]。

纵观已有研究, 更多关注疫情扩散的时间变化特征, 对空间扩散进程与差异性关注的较少; 多基于全国、省际、省份、城市等研究尺度, 而从城市群视角研究疫情扩散的成果较少; 研究时段主要集中在疫情爆发早期, 较长时段的疫情扩散特征研究较少。城市群作为各种要素流动频繁、人员联系紧密、交通网络发达的重要区域, 也是中国人口分布最密集的区域, 城市群内若出现较多的确诊病例, 将会加剧疫情扩散规模。基于此, 本研究以地级市为基本单元, 研究时段选取 2020 年 1 月 21 日至 6 月 30 日, 从城市群视角分析新冠肺炎疫情的时空扩散特征, 总结出不同空间分布模式, 并分析其影响因素, 为政府科学制定疫情防控措施提供参考。

1 研究区域、研究方法与数据来源

1.1 研究区域

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》提出要加快城市群建设发展, 包括京津冀、长三角、珠三角等 19 个城市群。长江中游城市群内的武汉市是疫情高发区, 疫情发展具有特殊性。因此, 本

收稿日期: 2020-08-14; 修回日期: 2021-01-29

基金项目: 国家社会科学基金项目(17BRK010)

作者简介: 曹永旺(1989-), 男, 山西吕梁市人, 博士研究生, 主要从事城市地理与区域规划研究, (E-mail) caoyw6@mail2.sysu.edu.cn。

通信作者: 周春山(1964-), 男, 河南信阳市人, 教授, 博士生导师, 主要从事城市地理与区域规划研究, (E-mail) zhouchou@mail.sysu.edu.cn。

研究以除长江中游城市群以外的其他 18 个城市群为研究对象。城市群范围参考国务院批复的城市群规划范围及《2016 中国城市群发展报告》所界定的范围^[36]。

1.2 研究方法

1.2.1 集聚度。集聚度指某地区的人口密度与全国人口密度的比值,反映某地区的集聚程度,与传统的密度、总量等指标相比更明晰直观^[37]。本研究通过城市群内累计确诊病例集聚度来反映不同城市群与全国 18 个城市群平均水平的差异。

1.2.2 变异系数。变异系数用于反映变量的变异(偏离)程度^[38]。本研究通过变异系数来反映累计确诊病例在不同时段、不同城市群的差异状况和其变异程度。

1.2.3 空间自相关。空间自相关是反映变量的观测值之间由于观测点在空间上的地理邻近而形成的相关性,可分为全局空间自相关和局部空间自相关^[39]。全局空间自相关指数 Moran's I 用于定量测度城市累计确诊病例变化量在全国的分布状态和集聚程度;局部空间自相关指数 Local Moran's I 则用于定量描述每个城市与其邻近城市间累计确诊病例变化量的相似或相关程度^[40]。

1.2.4 冷热点分析。冷热点分析用于识别累计确诊病例热点区和冷点区的空间分布,是局部自相关特征的一种度量方法^[41]。区域冷热点常用 Getis-Ord G_i^* 指数表征,若为正值,属于热点区;反之则为冷点区。

1.2.5 地理探测器。地理探测器用于度量空间分层异质性,空间分层异质性是指某种属性在不同类型或区域之间存在差异^[42]。地理探测器的核心思想是假设环境因子对于疾病有影响,则其与疾病的空间分布也存在相似性,常被用于研究疾病与环境因子之间的关联性^[43]。

1.3 数据来源

疫情数据来源于国家卫健委、各省份卫健委自 2020 年 1 月 21 日至 6 月 30 日的每日通报疫情信息。疫情通

报信息包含有本地确诊、境外输入确诊、境外输入关联、本地确诊关联等类型,为方便数据分析,将境外输入关联、本地确诊关联的病例统一纳入本地确诊病例范畴,境外输入确诊病例由于具有特殊性,暂不考虑在内。

经济数据主要来源于《中国城市统计年鉴 2018》。常住人口数据来源于《中国城市建设统计年鉴 2018》。

2 结果与分析

2.1 中国新冠肺炎疫情发展及分布

2.1.1 累计确诊病例具有阶段性。从时间上来说,累计确诊病例具有明显的阶段性特征(图 1)。根据每日新增确诊数的幅度,将全国(除湖北省)疫情大致分为 4 个阶段:①快速上升阶段(2020 年 1 月 21 日至 2 月 3 日),每日新增确诊数从 1 月 22 日的 80 例,迅速增加到 2 月 3 日的 882 例,是疫情增幅最快的时段;确诊病例的城市数也从 1 月 21 日的 21 个增加到 2 月 3 日的 293 个,疫情扩散的空间范围迅速拓展。②迅速回落阶段(2 月 4 日至 2 月 22 日),每日新增确诊数开始回落,且回落速度逐渐加快,在 2 月 17 日至 22 日之间的每日新增确诊数则在 20~100 例;该阶段主要是各城市的新增确诊数发生变动,而确诊病例的城市数则较少增加,截至 2 月 22 日,确诊病例的城市数达到 299 个。③平稳保持阶段(2 月 23 日至 6 月 10 日),随着疫情的逐步控制,每日新增确诊数很少,且从 3 月 7 日起陆续开始出现“零增长”现象;这一阶段,随着 4 月 8 日武汉解封,曾短暂出现过每日新增确诊数在 10~15 例之间,但更长时段则是“零增长”现象。④小幅增长阶段(6 月 11 日至 6 月 30 日),受北京新发地疫情影响,每日新增确诊数呈现出“先快后慢”的变化特征,但疫情影响的空间范围集中在京津冀城市群内;确诊病例的城市数基本没增加。截至 6 月 30 日,全国(除湖北省)累计确诊病例为 13 478 例。

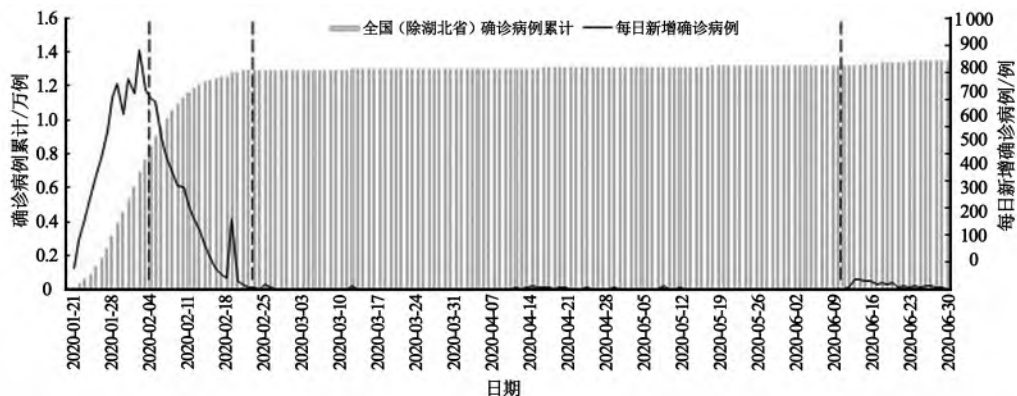


图 1 新冠肺炎疫情累计确诊病例的时间变化

Fig.1 Temporal variation chart of cumulative number of diagnosis of COVID-19

2.1.2 累计确诊病例空间分布上具有圈层结构性特点。从空间上来说,累计确诊病例呈现出圈层结构(图 2)。全国层面,累计确诊病例在湖北周边形成高值核心区,这符合地理学第一定律,即越靠近湖北省的城市就越容易累计确诊病例更多。地市尺度而言,累计确诊病

例除在湖北省周边的地市相对较多外,也在东部沿海地区的京津、沪杭、广深等形成高值中心。累计确诊病例较高的城市主要位于珠三角、长三角、成渝、京津冀、哈长、中原等城市群内。此外,累计确诊病例呈现出与胡焕庸线所揭示的人口分布规律高度一致性,高值区域基

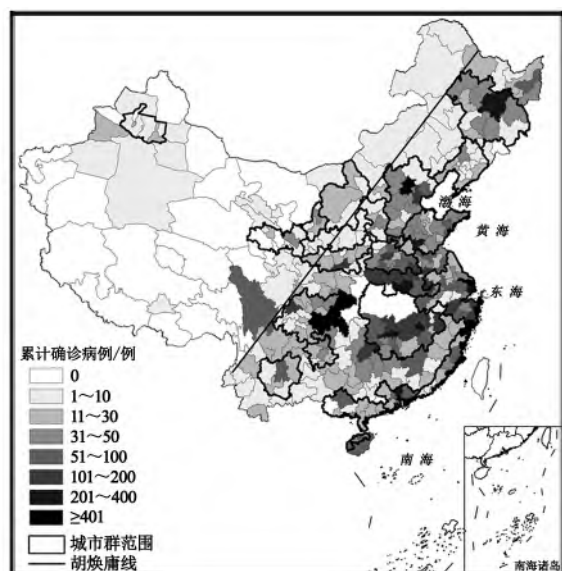


图2 6月30日累计确诊病例的空间分布

Fig.2 Spatial distribution pattern of cumulative number of diagnosis of COVID-19 in June 30

说明:底图来源于自然资源部标准地图服务网(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn>),审图号为GS(2019)1699。下同。

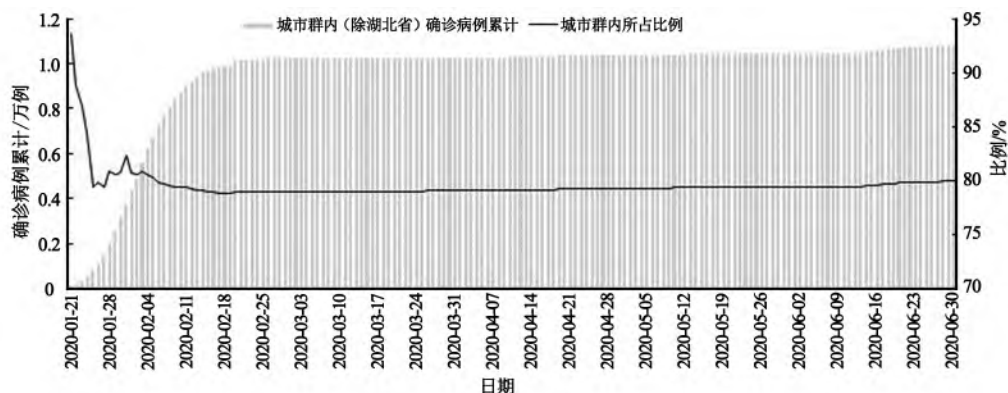


图3 城市群内累计确诊病例及其所占比例的时间变化

Fig.3 Temporal variation chart of cumulative number of diagnosis and its proportion in urban agglomerations

2.2.2 累计确诊病例呈现以城市群为核心相对稳定的正空间集聚格局(图4)。根据全局自相关 Moran's I 指数分析中国城市累计确诊病例的空间集聚特征。Moran's I 指数在2月5日和6月30日分别为0.075, 0.053; Z 统计量分别为8.224, 5.992, Z 值均大于1.96, 达到显著水平; P 值均小于0.001。这表明中国城市累计确诊病例在不同时段均具有显著的正空间集聚特征, 但空间集聚程度在逐渐缩小。进一步对其局部自相关(LISA)分析后发现, 累计确诊病例的空间集聚格局未发生改变, 显著性的区域均位于城市群内。高高集聚是最主要的类型, 且集中分布在长江中下游地区, 城市数量占比从2月5日的7.85%略微下降为6月30日的7.77%。高低集聚是居于其次的类型, 但零散分布在各地; 城市数量始终为4个, 分别为北京市、成都市、重庆市和哈尔滨市。低高集聚的城市数量较少, 主要为景德镇市、丽水市和舟山市, 集中分布在长江下游地区。需要注意的是, 低低集聚在研究时段内未出现(图4a)。冷

本位于胡焕庸线以东地区, 而在胡焕庸线以西地区总体上稀少。同时, 随着疫情扩散速度的加快, 确诊病例的城市数从早期集中在城市群内核心城市, 逐渐向城市群内其他城市以及城市群外周边城市进行扩散; 自2月5日确诊病例的城市数增加到296个, 后续主要是城市的累计确诊病例有所变动, 截至6月30日, 确诊病例的城市数增加到300个。

2.2 城市群新冠肺炎疫情时空扩散特征

2.2.1 城市群是疫情扩散的主要场所。作为疫情扩散的主要场所, 城市群内累计确诊病例所占比例从2020年1月21日到6月30日的变化呈现出“大幅度下降—波动上升—波动下降—长时段稳定—小幅上升”的趋势。疫情爆发初期, 对疫情认识不足, 管控措施不到位, 病情迅速蔓延, 确诊病例的城市数迅速增多, 1月21日城市群内累计确诊病例所占比例为93.65%。此后, 随着政策管控效果的逐渐显现, 城市群内每日新增确诊数逐渐减少, 新增确诊病例主要发生在城市群外。截至6月30日, 城市群内累计确诊病例达到10771例, 所占比例为79.92%, 城市群是疫情扩散的主要场所(图3)。

热点分析后发现, 累计确诊病例的空间集聚格局未发生改变。热点区格局相对稳定, 集中分布在东中部地区的扇形区域, 尤其在海峡西岸、长三角、珠三角、中原等城市群内。冷点区格局则略微有所变动, 存在显著的空间集聚性, 零散分布在黑龙江、内蒙古、甘肃、四川、云南等地。热点区域、冷点区域、非显著区域的数量均发生一定变化, 分别从2月5日的37.54%, 15.70%, 46.76%演变为6月30日的35.47%, 13.18%, 51.35%, 这表明累计确诊病例的核心区域均有所缩小(图4b)。

2.2.3 城市群发育程度越高, 其面临的疫情风险越大。按照发育程度, 将中国的城市群划分为较低水平城市群、中等偏下水平城市群、中等偏上水平城市群、较高水平城市群^[44]。结果表明, 城市群发育程度越高, 累计确诊病例也越多, 两者具有正相关性。截至2020年6月30日, 较低水平城市群、中等偏下水平城市群、中等偏上水平城市群、较高水平城市群的累计确诊病例在18个城市群中所占比例分别为3.45%, 21.71%, 27.91%,

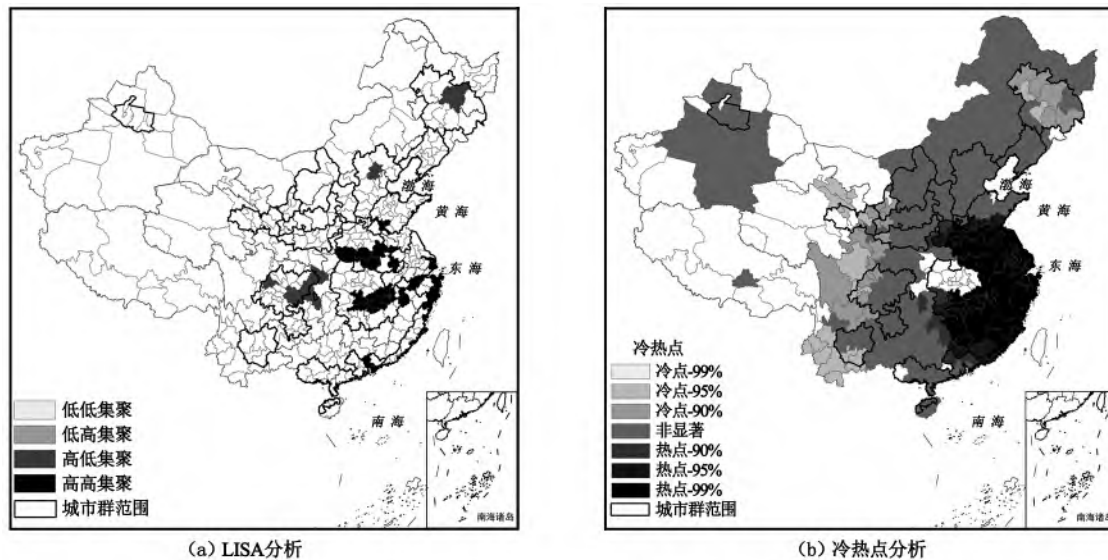


图 4 截至 6 月 30 日累计确诊病例的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution pattern of cumulative number of diagnosis in China in June 30

46.93%, 较高水平城市群的累计确诊病例是较低水平城市群的 13.61 倍。采用“连续 14 天新增累计确诊病例”作为城市群疫情风险等级划分的标准, 并按照“连续 14 天新增累计确诊病例”为 0, [1, 10], (10, 20], (20, 50], ≥ 51 例的幅度将城市群划分为低风险区、较低风险区、中风险区、较高风险区、高风险区 5 种类型。计算结果表明, 城市群的发育度越高, 城市群内出现高风险区的比例越高。1 月 21 日至 6 月 30 日, 京津冀、珠三角、长三角城市群处于高风险区域的持续时间比例分别为 30.41%, 16.89%, 16.22%, 兰西、滇中、呼包鄂榆城市群的高风险区持续时间比例分别为 3.38%, 5.41%, 0.00% (图 5)。

2.2.4 城市群内累计确诊病例的变异程度呈快速下降趋势。全部时段 18 个城市群变异系数为 0.253, 而疫情发展的快速上升、迅速回落、平稳保持、小幅增长 4 个阶段的变异系数分别为 0.847, 0.137, 0.010, 0.013, 呈快速下降趋势。个别城市群受突发疫情的影响, 变异系数会出现增高的波动, 如黔中、哈长、京津冀城市群等。

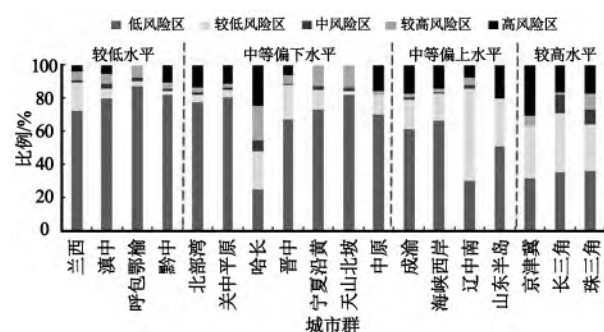


图 5 城市群疫情风险等级时长所占比例

Fig. 5 Proportion of epidemic risk levels in urban agglomerations

2.2.5 城市群内累计确诊病例的空间分布呈现不同的模式。以城市群内累计确诊病例的集聚度、首位度为维度, 按照集聚度为 1、首位度为 2 的标准, 将 18 个城市群的累计确诊病例空间分布模式归纳总结为弱中心城市群、弱单中心城市群、强单中心城市群、强多中心城市群 (表 1)。弱中心城市群的数量最多, 强单中心城市群、弱单中心城市群的数量次之, 强多中心城市群的数量最少。

表 1 中国城市群累计确诊病例空间分布模式

Tab. 1 Spatial distribution pattern of cumulative number of diagnosis in urban agglomerations in China

空间分布模式	集聚度	首位度	城市群数量/个	城市群
弱中心城市群	<1	<2	7	呼包鄂榆城市群、黔中城市群、北部湾城市群、晋中城市群、宁夏沿黄城市群、天山北坡城市群、辽中南城市群
弱单中心城市群	<1	≥ 2	4	关中平原城市群、哈长城市群、滇中城市群、兰西城市群
强单中心城市群	≥ 1	≥ 2	4	京津冀城市群、海峡西岸城市群、成渝城市群、山东半岛城市群
强多中心城市群	≥ 1	<2	3	珠三角城市群、长三角城市群、中原城市群

2.3 城市群内疫情扩散的影响因素

2.3.1 变量选择与模型构建。采用地理探测器来分析疫情扩散的影响因素。首先, 构建影响因素指标体系, 对各影响因素进行极值标准化处理; 其次, 利用地理探测器对城市群内累计确诊病例的驱动力进行分析。其中, 因变量为城市群内每个城市的累计确诊病例。分别

选取截至 3 月 4 日、6 月 30 日的累计确诊病例来分析不同时段影响因素的差异性, 并判断影响因素是增强还是减弱。自变量主要包含 5 种类型、13 个指标 (表 2)。

2.3.2 主导因子探测分析。从相关关系、地理探测器来分析累计确诊病例时空分布格局与影响因素的关系。Pearson 相关性分析表明, 累计确诊病例与实际利用外资

表2 累计确诊病例的空间分异影响因子探测结果

Tab.2 Statistics of detection results of spatial differentiation influencing factors of cumulative number of diagnosis

类型	指标	3月4日		6月30日	
		<i>q</i> 统计量	<i>P</i> 值	<i>q</i> 统计量	<i>P</i> 值
人口规模	常住人口规模	0.231	0.000	0.221	0.000
	户籍人口规模	0.241	0.000	0.230	0.000
对外经济贸易水平	实际使用外资额	0.168	0.000	0.163	0.000
	进出口贸易额	0.239	0.000	0.219	0.000
医疗卫生水平	医院卫生院数	0.159	0.000	0.158	0.000
	医院卫生院床位数	0.317	0.000	0.297	0.000
	医生数	0.347	0.000	0.322	0.000
交通联系强度	城市对外客运总量	0.267	0.000	0.253	0.000
	城市实有公交车与出租车运营数	0.220	0.000	0.210	0.000
	城市内部客运总量	0.179	0.000	0.174	0.000
经济发展水平	GDP 总量	0.336	0.000	0.311	0.000
	人均 GDP	0.107	0.002	0.106	0.002
	第三产业占 GDP 比重	0.152	0.000	0.154	0.000

额、常住人口规模、医院卫生院数、医院卫生院床位数、医生数等均呈正向相关性,且通过了0.01的显著性检验。采用地理探测器的分异及因子探测,得到各影响因素对累计确诊病例的空间分异性解释力(*q*统计量)及其显著性(*P*值)。此外,对比分析3月4日、6月30日的影响因子探测结果,发现这些影响因子的解释力均表现为略微降低,但未改变整体特征(表2)。以6月30日的地理探测器结果为例,对累计确诊病例空间分异性的解释力由大到小依次为医生数(0.322)、GDP总量(0.311)、医院卫生院床位数(0.297)、城市对外客运总量(0.253)、户籍人口规模(0.230)、常住人口规模(0.221)、进出口贸易额(0.219)、城市实有公交车与出租车运营数(0.210)、城市内部客运总量(0.174)、实际利用外资额(0.163)、医院卫生院数(0.158)、第三产业所占GDP比重(0.154)、人均GDP(0.106)。其中,医生数对累计确诊病例的空间分布解释力最强。累计确诊病例在空间上的分布与医疗卫生水平有关,医生数越多、医院卫生院床位数越多的城市,医疗卫生水平越高,对疫情病例的检测、确诊更为迅速,使累计确诊病例呈现较高态势。经济发展水平越高的城市,GDP总量、城市对外客运总量也越大,由于其对人口具有较高的吸引力,促进人口集聚,加之这些城市往往都是交通网络的重要节点,承担着区域之间较高的对外客运总量,增强了人口流动性,使累计确诊病例相对较多。人口规模也与累计确诊病例存在紧密关联性,人口总量越多的城市,累计确诊病例也越高,这符合疫情空间分布的基本规律。需要注意的是,由于这次疫情主要发生在春运期间,受返乡过节的影响,部分大城市的人口外流,也使得户籍人口规模要比常住人口规模对累计确诊病例的空间分布解释力更高。城市内部交通联系越为紧密,运营车辆越多的城市意味着城市内部人口流动性越强,为人口快速流动提供便利条件,这在一定程度上加快了疫情的传播扩散,使累计确诊病例呈现较高态势。对外经济贸易水平越高的城市,由于城市发展的活力越高,具有较高的进出口贸易额、实际利用外资额,随着资金、人

流、物流等的加强,也使城市中的人口感染几率提高,累计确诊病例较多。

2.3.3 因子间的交互作用。进一步分析不同影响因素对累计确诊病例的空间分布是否具有交互作用,以及有多大程度的解释力,通过地理探测器交互作用探测来得到两两交互的探测结果。结果表明,累计确诊病例的空间分异性是由多种因素共同作用形成的,且两两因素交互的解释力要高于单因素的解释力。其中,医生数∩实际利用外资额的*q*值最大,为0.509;城市对外客运总量∩GDP总量、医生数∩城市对外客运总量、GDP总量∩实际利用外资额的*q*值次之,分别为0.473、0.465、0.462。此外,交互探测结果为“双因子增强”的类型较多,所占比例为87.18%;“非线性增强”的类型相对较少,仅出现10次,所占比例为12.82%;且“非线性增强”类型尤其出现在与“人均GDP水平”“实际利用外资额”这两个影响因子中。这也反映出,城市群内的人口规模、经济发展水平、医疗卫生水平、交通联系强度、对外经济贸易水平,在一定程度上增强了疫情扩散的控制能力,具有更为明显的空间分布解释力。

3 结论与建议

3.1 结论

2020年1月21日至6月30日,新冠肺炎疫情的扩散可划分为快速上升、迅速回落、平稳保持、小幅增长4个阶段。累计确诊病例在不同时段均表现为显著正空间集聚特征,且空间集聚格局相对稳定,显著性的区域全部位于城市群内。城市群内是疫情扩散的主要场所,城市群发育度与累计确诊病例具有正相关性,城市群发育度越高,累计确诊病例越多,成为高风险区的概率越高。城市群内累计确诊病例的变异系数快速下降,城市群内累计确诊病例的空间分布呈现不同的分布模式。城市群内累计确诊病例与医疗卫生水平、人口规模、交通联系强度、经济发展水平、对外经济贸易水平均呈显著的正相关性。因子两两交互的解释力高于单因子的解释力,其中医生数∩实际利用外资额的解释力最强。

3.2 建议

城市群内的核心城市具有人流、物流的重要集散作用,也是区域重要的交通枢纽网络节点城市,更加需要加强对人员、物资等各种要素的监控、预防与及时处理,防止由其造成的疫情快速扩散。此外,由于境外输入确诊数不断增多,在中国的边境口岸城市,也需要更加重视对疫情的监管和防控,除严密监管人员流动外,更要加强对各种物资尤其是冷链物资的监管与预防,做好不同地区和行业的差异化政策管控与防治。

由于地理信息系统、大数据在这次疫情实时监控与动态追踪过程中发挥出重要作用,后续除继续对疫情的流行病学特征研究外,也要更加重视各种时空大数据、地理信息技术等在流行病学研究中的重要性,还要关注疫情对心理学、行为学、社会科学等其他领域的研究,对疫情可能造成的其他影响进行预判。

参考文献:

- [1] 中国地理学会秘书处. 中国地理学者在抗击新冠肺炎疫情中发挥重要作用[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 1106–1107.
- [2] GUAN W J, NI Z Y, HU Y, *et al.* Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China[J]. The New England Journal of Medicine, 2020, 382(18): 1–13.
- [3] 中国疾病预防控制中心新型冠状病毒肺炎应急响应机制流行病学组. 新型冠状病毒肺炎流行病学特征分析[J]. 中华流行病学杂志, 2020, 41(2): 145–151.
- [4] LI Q, GUAN X H, WU P, *et al.* Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-infected Pneumonia[J]. The New England Journal of Medicine, 2020, 382(13): 1–9.
- [5] WU F, ZHAO S, YU B, *et al.* A New Coronavirus Associated with Human Respiratory Disease in China[J]. Nature, 2020, 579: 265–269.
- [6] ZHOU P, YANG X L, WANG X G, *et al.* A Pneumonia Outbreak Associated with a New Coronavirus of Probable Bat Origin[J]. Nature, 2020, 579: 270–273.
- [7] JOSEPH T W, KATHY L, GABRIEL M L. Nowcasting and Forecasting the Potential Domestic and International Spread of the 2019–nCoV Outbreak Originating in Wuhan, China: A Modelling Study[J]. The Lancet, 2020, 395: 689–697.
- [8] TANG B, WANG X, LI Q, *et al.* Estimation of the Transmission Risk of the 2019–nCoV and Its Implication for Public Health Interventions[J]. Journal of Clinical Medicine, 2020, 9(2): 46201–46213.
- [9] ZHAO W W, ZHANG J Z, MEADOWS M E, *et al.* A Systematic Approach is Needed to Contain COVID–19 Globally[J]. Science Bulletin, 2020, 65(11): 876–878.
- [10] TIAN H Y, LIU Y H, LI Y D, *et al.* An Investigation of Transmission Control Measures during the First 50 Days of the COVID–19 Epidemic in China[J]. Science, 2020, 368(6491): 638–642.
- [11] 王姣娥, 杜德林, 魏冶, 等. 新冠肺炎疫情的空间扩散过程与模式研究[J]. 地理研究, 2020, 39(7): 1450–1462.
- [12] 向云波, 王圣云. 新冠肺炎疫情扩散与人口流动的空间关系及对中国城市公共卫生分类治理启示[J]. 热带地理, 2020, 40(3): 408–421.
- [13] 王霞, 唐三一, 陈勇, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情影响下武汉及周边地区何时复工? 数据驱动的网络模型分析[J]. 中国科学: 数学, 2020, 50(7): 969–978.
- [14] 孙宇婷, 肖凡, 周勇, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情影响公众关注度的时空差异与影响因素——基于百度搜索指数的分析[J]. 热带地理, 2020, 40(3): 375–385.
- [15] 陈兴蜀, 常天祐, 王海舟, 等. 基于微博数据的“新冠肺炎疫情”舆情演化时空分析[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2020, 57(2): 409–416.
- [16] 许小可, 文成, 张光耀, 等. 新冠肺炎爆发前期武汉外流人口的地理去向分布及影响[J]. 电子科技大学学报, 2020, 49(3): 324–329.
- [17] XU H, YAN C H, FU Q Y, *et al.* Possible Environmental Effects on the spread of COVID–19 in China[J]. Science of the Total Environment, 2020, 731: 139211(1–7).
- [18] LIU L. Emerging Study on the Transmission of the Novel Coronavirus (COVID–19) from Urban Perspective: Evidence from China[J]. Cities, 2020, 103: 102759(1–11).
- [19] SUSANTA M, SWADES P, KRISHNA G G. Effect of Lock-down Amid COVID–19 Pandemic on Air Quality of the Megacity Delhi, India[J]. Science of the Total Environment, 2020, 730: 139086(1–23).
- [20] 祝坤福, 高翔, 杨翠红, 等. 新冠肺炎疫情对全球生产体系的冲击和我国产业链加速外移的风险分析[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(3): 283–288.
- [21] 王少华, 王璐, 王梦茵, 等. 新冠肺炎疫情对河南省旅游业的冲击表征及影响机理研究[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(2): 1–7.
- [22] 王庆生, 刘诗涵. 新冠肺炎疫情对国内游客旅游意愿与行为的影响[J]. 地域研究与开发, 2020, 39(4): 1–5.
- [23] 单卓然, 林卉, 袁满, 等. 新冠疫情期间武汉市线下网购出行管控效应实证分析[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 96–102.
- [24] MUNIZ R K, CHOWELL G, CHEUNG C H, *et al.* Doubling Time of the COVID–19 Epidemic by Province, China[J]. Emerging Infectious Diseases, 2020, 26(8): 1912–1914.
- [25] 张新, 林晖, 朱长明, 等. COVID–19 疫情早期中国确诊时间的时空特征及动态过程分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(6): 791–797.
- [26] 刘逸, 李源, 黎卓灵, 等. 新冠肺炎疫情在广东省的扩散特征[J]. 热带地理, 2020, 40(3): 367–374.
- [27] 刘勇, 杨东阳, 董冠鹏, 等. 河南省新冠肺炎疫情时空扩散特征与人口流动风险评估——基于1243例病例报告的分析[J]. 经济地理, 2020, 40(3): 24–32.

- [28] 刘郑倩,叶玉瑶,张虹鸥,等. 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[J]. 热带地理, 2020,40(3): 422-431.
- [29] 赵宏波,魏甲晨,王爽,等. 大城市新冠肺炎疫情风险评估与精准防控对策——以郑州市为例[J]. 经济地理, 2020,40(4): 103-109, 124.
- [30] 夏吉喆,周颖,李珍,等. 城市时空大数据驱动的新型冠状病毒传播风险评估——以粤港澳大湾区为例[J]. 测绘学报, 2020,49(6): 671-680.
- [31] ZHOU C H, SU F Z, PEI T, *et al.* COVID-19: Challenges to GIS with Big Data [J]. *Geography and Sustainability*, 2020,1(1): 77-87.
- [32] SARWAR S, WAHEED R, SARWAR S, *et al.* COVID-19 Challenges to Pakistan: Is GIS Analysis Useful to Draw Solutions? [J]. *Science of the Total Environment*, 2020,730: 139089(1-7).
- [33] 蒋秉川,游雄,李科,等. 利用地理知识图谱的 COVID-19 疫情态势交互式可视分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020,45(6): 836-845.
- [34] 应申,徐雅洁,窦小影,等. 地理位置关联的 COVID-19 传播时空分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020,45(6): 798-807.
- [35] 刘张,千家乐,杜云艳,等. 基于多源时空大数据的区域迁徙人群多层次空间分布估算模型——以 COVID-19 疫情期间自武汉迁出人群为例[J]. 地球信息科学学报, 2020,22(2): 147-160.
- [36] 方创琳,鲍超,马海涛. 2016 中国城市群发展报告[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [37] 袁锦标,曹永旺,倪方舟,等. 中国县域人口集聚空间格局及影响因素的空间异质性研究[J]. 地理与地理信息科学, 2020,36(3): 25-33.
- [38] 丁悦,蔡建明,任周鹏,等. 基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素[J]. 地理科学进展, 2014,33(5): 657-666.
- [39] 陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J]. 地理研究, 2009,28(6): 1449-1463.
- [40] ANSELIN L. Local Indicators of Spatial Association - LISA [J]. *Geographical Analysis*, 1995,27(2): 93-115.
- [41] 胡雪瑶,张子龙,陈兴鹏,等. 县域经济发展时空差异和影响因素的地理探测——以甘肃省为例[J]. 地理研究, 2019,38(4): 772-783.
- [42] 王劲峰,徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017,72(1): 116-134.
- [43] 李浩,张明鑫,汪冉. 区域地理环境因素对宁夏泾源县儿童呼吸系统疾病的影响[J]. 地理研究, 2019,38(12): 2889-2898.
- [44] 张国俊,黄婉玲,周春山,等. 城市群视角下中国人口分布演变特征[J]. 地理学报, 2018,73(8): 1513-1525.

Spatiotemporal Diffusion Characteristics and Influencing Factors of COVID-19 Epidemic from the Perspective of Urban Agglomeration

CAO Yongwang^{a,b}, LIU Ying^{a,b}, ZHOU Chunshan^{a,b}

(*a. School of Geography and Planning, b. Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-Simulation, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China*)

Abstract: The spatiotemporal diffusion characteristics and influencing factors of COVID-19 epidemic in China were analyzed systematically from the perspective of urban agglomeration from January 21 to June 30 in 2020 year, using the methods of spatial autocorrelation, geographical detector, and so on. The data of epidemic number was offered by Provincial Health Committee. The results are shown in the following: ① the spreading process of COVID-19 epidemic in China mainly experienced four stages, namely, stage I: rapid rise; stage II: fast fall; stage III: stable maintenance and stage IV: small growth. Besides, cumulative number of diagnosis of COVID-19 epidemic has shown spatial circle structure, and significant positive spatial agglomeration characteristics. ② As the main place for spreading of COVID-19 epidemic, the urban agglomeration have showed rapidly decreasing trend of coefficient of variation. The scale of cumulative number of diagnosis of COVID-19 has shown positive correlation with the development level of urban agglomeration. In addition, the spatial distribution pattern of cumulative number of diagnosis in urban agglomeration can be divided into four types, namely, type I: weak central urban agglomeration, type II: weak single center urban agglomeration, type III: strong single center urban agglomeration and type IV: strong multi center urban agglomeration. ③ The study found that economic development ability, medical and health care ability, population size, traffic connection strength and foreign economic and trade level have significant positive correlation on the spatial diffusion scale of COVID-19. The number of doctors has the strongest explanatory power on the spatial distribution of the cumulative number of diagnosis. Besides, the explanatory power of influencing factors is higher in mutual factor than single factor.

Key words: COVID-19 epidemic; Spatiotemporal diffusion characteristics; geographical detector; urban agglomeration; China