

龚胜生, 莫慧. XXXX. 2020年湖南省COVID-19疫情的地理学分析. 热带地理, XX (XX): 1-15.

Gong Shengsheng, and Mo Hui. XXXX. Geographical Analysis of the COVID-19 Epidemic in Hunan Province, China in 2020. *Tropical Geography*, XX (XX): 1-15.

2020年湖南省COVID-19疫情的地理学分析

龚胜生, 莫 慧

(华中师范大学 可持续发展研究中心/城市与环境科学学院, 武汉 430079)

摘 要: 以发病数和发病率为依据, 利用 ArcGIS 10.3 软件和地理探测器, 探究湖南省 2020-01-21—02-28 间 COVID-19 疫情的时空变化及其影响因素, 结果显示: 1) 疫情演变具有时序阶段性。湖南省 COVID-19 流行过程可分为扩散期—鼎盛期—衰减期—消亡期 4 个阶段; 所有发病县区中 84.47% 的首发病例为武汉输入。2) 疫情传播具有交通依赖性。确诊患者和高发病率地区集中在铁路干线附近, “地级市早发、主城区多发” 特征明显。3) 疫情程度具有距离衰减性。邻近武汉的湘中、湘北、湘东北地区发病数和发病率最高。4) 疫情分布具有空间集聚性。发病数和发病率集聚水平先增大后保持高位, 疫情热点区位于长株潭及岳阳市, 冷点区位于湘西州。5) 疫情流行具有因子交互性。无风、寒冷、干燥的天气更利于疫情传播; 人口密度、路网密度和 GDP 是影响疫情空间分异的主要因素; 自然因子与社会因子的交互作用最强。6) 影响因子具有空间异质性。空间距离、人口密度对发病数和发病率两者的影响都有空间异质性, 空间距离对湘东北地区疫情的影响最大, 人口密度对湘西北、湘北地区疫情的影响最大; 人口流动性、卫技人员数仅对发病数的影响有空间异质性, 人口流动性的影响程度由北向南递减, 卫技人员数的影响程度以长株潭城市群为核心向外围圈层递减。

关键词: COVID-19 疫情; 传播路径; 时空格局; 影响因素; 湖南省

中图分类号: R181.8

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



随着全球变化和人类对自然干预的深化, 人类面临新型传染病的风险和威胁日益加大。人类进入第三个一千年以来, 新发现的传染病就有非典型肺炎(SARS)、中东呼吸综合征(MERS)、埃博拉出血热(EBHF), 等等。2019年12月下旬, 一种新型冠状病毒肺炎在湖北武汉市暴发, 2020-01-12, 世界卫生组织(WHO)将该病毒命名为2019-nCoV(后国际病毒分类委员会命名为SARS-CoV-2), 将该病症命名为COVID-19。18个月过去了, SARS-CoV-2病毒不断发生变异, COVID-19疫情依然在世界各地肆虐。截至2021-07-30零时, 中国累计确诊120 491人, 死亡5 635人, 全球累计确诊196 711 670人, 死亡4 247 067人^①, 已经酿成本世纪以来人类最大的瘟疫灾难。目前境外病毒扩散仍未停

止, 国内疫情防控形势依然严峻, 因此, 加强对COVID-19疫情演化规律及其影响因素的研究具有重要科学和现实意义。

2020年, 不同领域学者从不同视角对COVID-19疫情展开了大量研究。1) 临床医学研究。仅国内研究就包括患者的临床特征(夏文广等, 2020)、诊疗方案(于明坤等, 2020; 刘清泉等, 2020)、预防方式(吴安华等, 2020); 2) 疫情的经济社会影响研究。主要包括疫情对公众心理(许明星等, 2020)、公众行为(罗琳等, 2020)、公众舆情(孙宇婷等, 2020)、人口流动(杨冕等, 2020)、国内经济(张凯煌等, 2020)、贸易格局(夏启繁等, 2020)等的影响。3) 疫情的时空演化研究。在国外, Zahra (2020)、Wang (2020a) 等分别就

收稿日期: 2021-02-27; 修回日期: 2021-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171408); 国家社会科学基金项目(12&ZD145); 湖北省自然科学基金项目(2016CFA026)

作者简介: 龚胜生(1965—), 男, 湖南涟源人, 博士, 教授, 博导, 主要从事历史地理学、健康地理学和可持续发展研究, (E-mail) shshgong@mail.ccnu.edu.cn。

① <https://www.ennews.com/Home/Win/index>。

伊朗省域尺度和美国县域尺度分析了 COVID-19 疫情的分布变化。在国内,许多学者从全国尺度(赵序茅等,2020;李钢等,2020)、省域尺度(刘蒙等,2020;刘勇等,2020;王皎贝等,2020;陈晓等,2020)、市域尺度(刘郑倩等,2020;金安楠等,2020;蔺茂文等,2020)对 COVID-19 疫情的时空演化特征进行了大量研究。这些研究表明,COVID-19 疫情在省域尺度、市域尺度、街道尺度都具有显著的集聚特征。4) 疫情的影响因素研究。在国外,Yuan 等(2020)研究了“一带一路”沿线 127 个国家每日新增 COVID-19 病例与气象因子的非线性关系;Mollalo 等(2020)发现家庭收入、黑人女性比例和护士从业者比例对美国 COVID-19 发病率的的空间分异有显著影响;在国内,Liu 等(2020)发现低温、低湿天气会加速中国省会城市 COVID-19 的传播;Zhu 等(2020)发现 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、CO 等空气污染物与 COVID-19 新增病例呈显著正相关;王皎娥等(2020)发现地理邻近性、人口流动、人口规模、交通网络、疫情防控管理对 COVID-19 空间扩散具有显著影响;Xiong 等(2020)发现 COVID-19 累计确诊病例与人口、经济因素显著相关;梁泽等(2020)发现武汉周边城市 COVID-19 发病率更高且表现出距离衰减特征,经济发达地区的疫情控制效果较好;向云波等(2020)发现人口流动因素是影响疫情扩散的关键因素。这些研究证实,气温、湿度、风速、空气污染、空间距离等环境因素以及人口、经济、医疗等社会因素都会影响 COVID-19 的传播。

湖南省紧邻湖北省,是 COVID-19 疫情比较严重的省域,但现有研究仅胡世雄(2020)、王斌(2020)、毛弈韬(2020)等基于流行病学对其时空演化和影响因素进行了探讨,地理学视角的研究有待进一步完善。鉴于此,本文根据 2020-01-21—02-28 期间 1 018 例非境外输入确诊病例数据,采用县域尺度上的发病数和发病率指标,对湖南省 122 个县域 COVID-19 疫情的时空分布及其影响因素进行分析,以期能为今后的区域疫情防控提供科学依据和决策参考。

1 数据和方法

1.1 研究区域

湖南省北接 2020 年 COVID-19 疫情最严重的湖

北省,南邻人口流动最活跃的广东省,国土面积 21.18 万 km^2 ;据 2020 年第七次人口普查,湖南省常住人口为 6 644.49 万。地形以山地、丘陵为主,东、南、西三面环山,中北部低平,呈向北部洞庭湖平原开口的不对称马蹄形盆地;年均气温 $16\sim 18^{\circ}C$,年均降水量 1 200~1 700 mm,雨热同期,属典型亚热带季风气候,行政上辖 14 个地级行政区、122 个县级政区^②。为表述方便,文中将空间范围很小的县级单位进行合并(云龙示范区归入石峰区、岳阳经开区和南湖新区归入岳阳楼区、屈原管理区归入汨罗市、益阳高新区归入赫山区、金洞管理区归入祁阳县),并将全省分为湘西北、湘西南、湘东北、湘东南、湘北、湘中、湘南 7 个区域(图 1)。

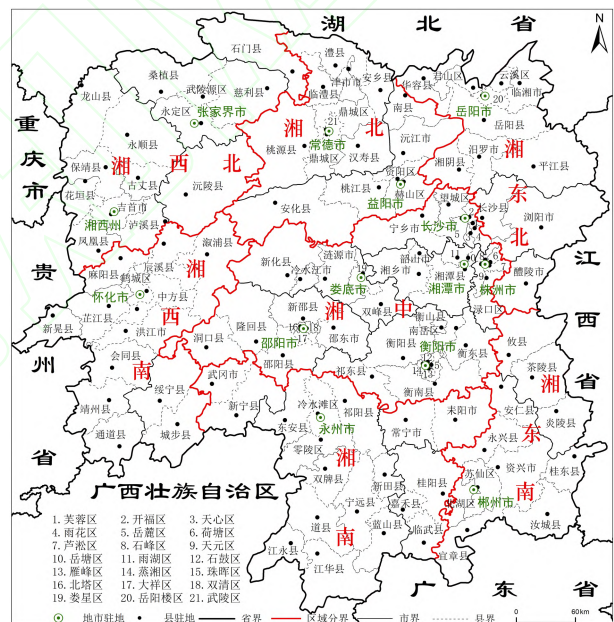


图 1 湖南省空间位置及区划

Fig.1 The location and division of Hunan Province

1.2 数据来源

1) 疫情数据。全部来自湖南省各地级行政区市政府或卫健委线上的官方疫情通报数据。从 2020-01-21 湖南出现首例 COVID-19 确诊病例起,至不再出现本土病例的 02-28 止,湖南省累计 COVID-19 确诊病例数(以下简称发病数)1 018 人,发病率仅为 1.47/10 万(以 2019 年末全省统计人口 6 918 万计,下同),累计死亡 4 例,病死率仅为 0.39‰。此后全年没有本土病例增加,仅有境外输入者数例,累计发病数居全国(含港澳台)的前

② 湖南省人民政府官网. <https://www.hunan.gov.cn/hnszf/jxxx/jxxx.html>.

10 位。

2) 其他数据。人口数据和经济数据皆来自于湖南省各地统计年鉴和统计公报。路网交通数据来源于国家基础地理信息中心官方网站^③，交通道路类型包括铁路、高速公路、国道、省道、县道等，县域交通密度采用 ArcGIS10.3 软件从交通道路矢量图上获取。气象数据来源于中国气象数据网^④，疫情期间采用逐日平均值。

1.3 研究方法

1) 空间自相关。空间自相关用来分析空间依赖性，即研究对象属性值与空间位置之间的相互关系程度 (Goodchild, 1986)。全局空间自相关能够表示出研究对象属性值在整个区域范围内的空间特征，并反映其邻域属性值的相似度。文中采用 Global Moran's I 分析湖南省 COVID-19 疫情的全局空间特征。具体计算公式如下：

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

式中： I 为全局莫兰指数； x_i 、 x_j 为第 i 、 j 个县级行政单元新冠肺炎累计确诊病例的观测值； $\bar{x}$ 为累计确诊病例观测值的平均值； n 为湖南省县级行政单元个数； w_{ij} 为要素 i 和 j 之间空间权重，用来度量空间单元之间的邻接关系； S^2 为累计确诊病例观测值的方差。 $I \in [-1, 1]$ ， $I > 0$ ，表示空间正相关，数值越大，表明空间集聚性越强； $I < 0$ ，表示空间负相关，数值越大，表明空间集聚性越差。全局空间自相关只能反映整体空间关联特征，揭示研究对象的空间异质性还需要采用局域自相关。热点分析可进一步探测到属性值在空间集聚的位置以及地区之间的相关程度，排除全局空间自相关分析的局部不稳定性 (张松林等, 2007)。文中采用 Getis-Ord G^* 指数来表征局部空间自相关程度，用于识别不同空间单元的热点区与冷点区，计算公式如下：

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d) x_j}{\sum_{j=1}^n x_j} \quad (2)$$

式中： d 为距离尺度； $w_{ij}(d)$ 为县级行政单元 i 和 j

之间的空间权重。自相关分析在 ArcGIS10.3 软件中完成。

2) 地理探测器。地理探测器能探测地理事物或地理现象分布的空间分异性，揭示这种分异性背后的驱动因子 (王劲峰等, 2017)。该方法最早被用于探究疾病风险的影响机理 (Wang et al., 2010)。文中使用因子探测器探究单个因子对 COVID-19 发病数分布的解释力度，使用交互作用探测器说明因子间交互作用的强度，使用 q 值大小衡量因子作用程度，具体公式如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (3)$$

式中： $h=1, 2, 3, \dots, L$ ， L 为因变量或自变量的分类或分区数； N_h 为第 h 个子区域单元数量； N 为湖南省县域数量，即 122； σ_h 和 σ 分别表示第 h 个子区域和湖南省全域 COVID-19 确诊病例的方差。 $q \in [0, 1]$ ， q 值越大，说明该因子对因变量的解释力度越强。在实际操作中，需要对自变量数据进行离散化，然后采用自然断裂点法经过多次试验得出在通过 0.01 置信度检验的前提下 q 值最大的分类方式。

3) 地理加权回归。地理加权回归模型 (GWR) 是对普通线性回归模型的拓展，它将数据的空间特性纳入回归模型，使模型同时具有线性回归特性和空间相关性 (Fotheringham et al., 1996)。与传统最小二乘法 (OLS) 回归模型只注重因素整体差异性相比较，地理加权回归模型可以估计出解释变量在不同空间位置的影响程度，反映参数在不同区域的空间平稳性。文中利用 ArcGIS10.3 中的地理加权工具构建模型，其基础模型结构如下：

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中： (u_i, v_i) 为第 i 个采样点的坐标； $\beta_k(u_i, v_i)$ 是第 i 个采样点上的第 k 个回归参数，是地理位置的函数，取决于空间权重矩阵； $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 。

本文利用 ArcGIS10.3 中的地理加权工具构建模型，经过多次试验比较得到最佳参数设置，最后选择高斯核函数的固定距离法创建更加平滑的核表面，使用最小信息准则决定最佳带宽，具体公式如下：

^③ <http://www.ngcc.cn/ngcc/>

^④ <http://data.cma.cn/>

$$W_{ij} = \exp \left[- \left(\frac{d_{ij}}{b} \right)^2 \right] \quad (5)$$

式中： W_{ij} 为第*i*个地区和第*j*个地区之间的权重； d_{ij} 为第*i*个地区和第*j*个地区之间的距离； b 为带宽，利用AIC优化的最优带宽模型公式如下（王少剑，等，2020）：

$$AIC = 2n \ln(\sigma) + n \ln(2\pi) + n \frac{n + \text{tr}(S)}{n - 2 - \text{tr}(S)} \quad (6)$$

式中： n 表示地区数量； $\text{tr}(S)$ 表示地理加权的*S*矩阵的迹，是带宽的函数； σ 表示误差项估计的标

准离差。最优带宽即为AIC最小值所对应的带宽。

2 湖南省 COVID-19 疫情时空分布

2.1 湖南省 COVID-19 疫情时间变化

2.1.1 省域总体演变 2020年湖南省 COVID-19 疫情持续 39 d，波及 103 个县域。依据累计确诊病例、逐日新增病例和累计发病县数、逐日新增发病县数的变化情况，选取这些数据变化的转折点作为分段的时间节点，将整个疫情过程分为 4 个阶段（图 2）展开剖析。

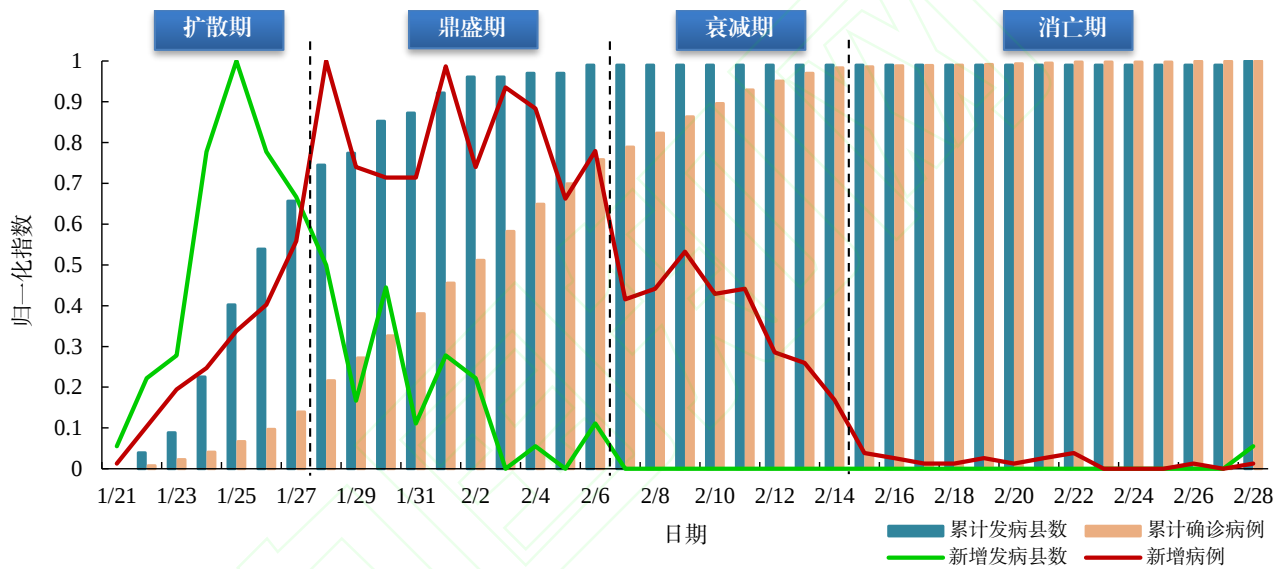


图2 湖南省 COVID-19 逐日新增和累计确诊病例变化

Fig.2 The number changes of daily newly increased and cumulative confirmed cases of COVID-19 in Hunan

1) 第一阶段（1月21日—27日）：疫情扩散期——从第一个病例报告日到新增病例数达到最大日的时期。期间平均每日新增发病县 9.71 个，累计发病县 68 个，占最终总发病县数的 66.02%；每日新增发病数不超过 50 人，平均每日新增患者 20.57 人，累计发病数从 0 增至 144 例。期间恰逢中国重大传统节日除夕（1月24日）和春节（1月25日），属于春运稠密期和走亲访友期，大量在鄂流动人口回家过年和拜年访友，由此疫情范围迅速扩大，疫情广度达 55.74%。

2) 第二阶段（1月28日—2月6日）：疫情鼎盛期——从新增病例最大日到累计发病县数接近最大日的时期。期间每日新增发病县不超过 10 个，平均每日新增 3.4 个，累计发病县 102 个，占最终总发病县数的 99.03%，疫情广度达 83.61%，疫情分布的

空间格局基本形成；平均每日新增患者 62.80 人，累计发病人数从 144 例飙升至 772 例。该时期为春节假期，一方面，无症状感染者或潜伏期患者的走亲访友仍在很大程度上加重了疫情的扩散；另一方面，疫情扩散期病毒感染者度过潜伏期开始相继出现临床症状，以致每日新增病例居高不下。

3) 第三阶段（2月7日—14日）：疫情衰减期——从新增县数最少日到新增病例降至最低水平的时期。由于自前一阶段以来政府实施了严格的居家隔离和社区防控管理，故在本阶段疫情防控效果开始显现，表现在：一是无新的县域被侵染，疫情主要在已被侵染的县域内部传播；二是确诊病例虽然每日仍有新增，平均每日新增 28.63 人，但新增人数逐渐减少，最后降至数例，出现转折点。新增病例主要为当地人员密切接触已染病患者所致。

4) 第四阶段(2月15日—28日): 疫情消亡期——新增病例和新增县数处于双低、累计确诊病例和累计发病县数处于最高的时期。此间仅出现1个新增发病县, 每日新增发病数不超过3例, 14 d 总共仅增加17例。说明此阶段疫情传播途径已基本被阻断, 且大部分确诊患者治愈出院, 疫情控制取得了决定性胜利。

2.1.2 县域时序演变 湖南省122个县级政区中, 103个被 COVID-19 侵染, 流行广度达84.43%。以首例患者论, 其中仅13个县域(12.62%)为省内蔓延染及, 其余90个县域(87.38%)均为省外输入, 由武汉市输入的为87个(84.47%), 由湖北麻城市、浙江省、广东东莞市输入的各为1个。

首例 COVID-19 患者2020-01-21在长沙市开福区确诊, 患者由武汉市青山区输入。到1月23日武汉封城当天, 长沙市的开福区、雨花区、长沙县、浏阳市、芙蓉区、怀化市的鹤城区, 湘潭市的岳塘区, 株洲市的攸县, 郴州市的宜章县, 永州市的零陵区、冷水滩区、宁远县, 岳阳市的岳阳楼区, 娄底市的双峰县、新化县、冷水江市等16个县域都有了确诊患者。这些患者主要分布在地级市城区, 其中1例(冷水滩区)为省内邻域传播, 其它15县首例患者皆存在武汉暴露史。

武汉封城后, 湖南不再有新的武汉返归人员, 但因 SARS-CoV-2 发病存在10~14 d 左右的潜伏期, 故湖南省大面积暴发疫情出现在武汉封城后的一周内。武汉封城后的第1—7天(1月24—30日), 湖南省染疫县域从之前的16个迅速扩展到88个, 全省14个地市均受到程度不一的侵染。新增72个县域中, 仅8个为省内近邻蔓延所致, 1个为湖北麻城市输入, 其余传染源均直接来自武汉。武汉封城后的第8~14 d(1月31日—2月6日), 湖南省染疫区域有所扩大, 染疫县域从88个增至102个, 新增14个县域主要分布在交通较偏僻、且距离武汉市较远的张家界市和永州市。2月6日, 湖南省的疫情格局已基本定型, 此后直至2月28日, 湖南省最后一个病例在益阳市资阳区确诊, 使染疫区

域达到103个县域。

从湖南省 COVID-19 疫情在县域空间上的蔓延时序(图3)不难看出, 京广铁路和湘黔铁路是湖南省疫情传播的“大动脉”。总体来看, 疫情具有“地级市早发、主城区多发”的特征, 这是因为地级市都有铁路与武汉相通, 交通快捷便利, 人员流动性强, 而各城市主城区人口密集, 且武汉返还或迁入人员较多。

2.2 湖南省 COVID-19 疫情的空间分布

2.2.1 疫情县域分布变化 疫情具有蔓延性, 其分布格局随时间变化而变化(表1)。总体来看, 疫情主要沿铁路干线蔓延, 铁路枢纽所在城市确诊病例分布最密集, 铁路沿线城市岳阳市、长沙市和株洲市的主城区发病率最高, 湘中、湘北、湘东北地区为疫情严重区(图4、5)。



图3 湖南省各县域首例 COVID-19 确诊病例来源地及传播路径
Fig.3 The source place and transmission path of the first COVID-19 confirmed case of counties in Hunan Province

表 1 湖南省 122 县域 COVID-19 发病数

Table 1 Statistics on COVID-19 cases of 122 counties in Hunan Province

发病数/例	2020-01-27		2020-02-06		2020-02-14		2020-02-28	
	染疫县数/个	占比/%	染疫县数/个	占比/%	染疫县数/个	占比/%	染疫县数/个	占比/%
1~5	64	52.46	57	46.72	49	40.16	49	40.16
6~10	4	3.28	26	21.31	24	19.67	24	19.67
11~15	0	0.00	9	7.38	12	9.84	13	10.66
16~30	0	0.00	5	4.10	11	9.02	11	9.02
31~50	0	0.00	3	2.46	4	3.28	3	2.46
>50	0	0.00	2	1.64	2	1.64	3	2.46
合计	68	55.74	102	83.61	102	83.61	103	84.43

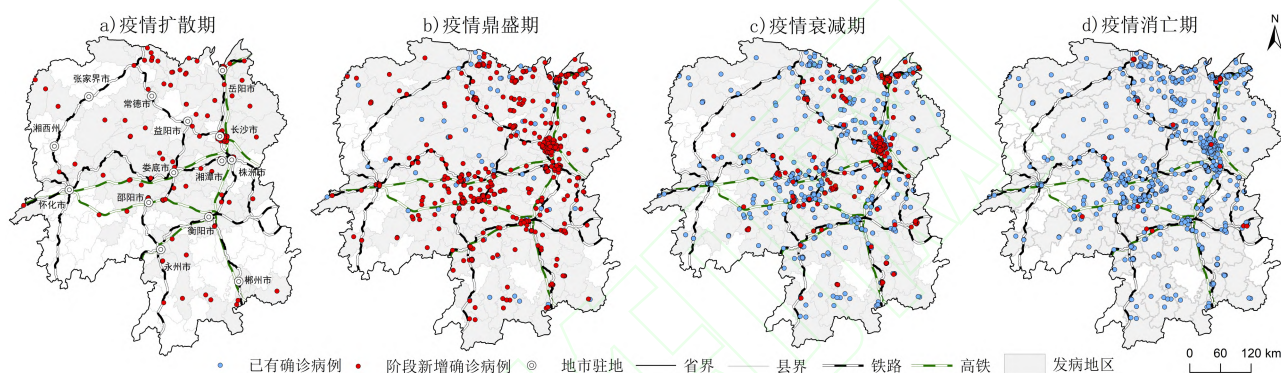


图 4 湖南省 COVID-19 疫情各阶段发病数分布

Fig.4 Distribution of COVID-19 cases in the four stages in Hunan Province

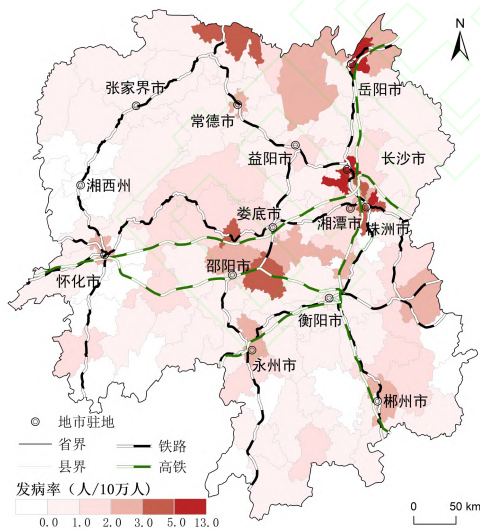


图 5 湖南省 COVID-19 发病率的县域差异

Fig.5 County-level difference of COVID-19 incidence in Hunan Province

第一阶段末 (1月27日), 湖南省除张家界市未受到侵染外, 其余 13 个地市共 68 个县域出现确诊病例 (图 4-a), 疫情广度已高至 55.74%。各县域发病数均在 10 人以下, 排名前五依次为: 长沙市开福区 (9 例)、怀化市鹤城区 (9 例)、岳阳市岳阳楼

区 (6 例)、常德市澧县 (6 例) 和邵阳市邵东市 (5 例)。全省发病率平均为 0.21/10 万, 排名前五依次为: 怀化市鹤城区 (1.45/10 万)、长沙市开福区 (1.35/10 万)、常德市澧县 (0.77/10 万)、长沙市芙蓉区 (0.68/10 万)、株洲市荷塘区 (0.68/10 万)。

第二阶段末 (2月6日), 疫情已蔓延至湖南省大部分地区 (图 4-b), 疫情广度达 83.61%。确诊病例排名前五依次为: 长沙市芙蓉区 (65 例)、岳阳市岳阳楼区 (51 例)、长沙市开福区 (42 例)、长沙市岳麓区 (38 例) 和邵阳市邵东市 (32 例), 合占全省病例总数的 20.53%。全省发病率平均为 1.12/10 万, 排名前五依次为: 长沙市芙蓉区 (11.03/10 万)、长沙市开福区 (6.32/10 万)、岳阳市岳阳楼区 (5.59/10 万)、株洲市荷塘区 (4.74/10 万)、娄底市冷水江市 (4.30/10 万)。整体而言, 湘东北、湘中、湘北地区疫情较严重, 湘中的长株潭城市群是湖南省经济和交通最发达的区域, 娄底、邵阳高速交通路网密集, 是武汉通往湘西和湘南的必经之地; 湘东北的岳阳和湘北的常德与疫情中心地湖北省接壤, 受疫情邻近扩散影响程度高。

第三阶段末 (2月14日), 与上一阶段相比,

湖南省染疫县域没有变化(图4-c)。确诊病例超过30例的县域达6个,排名前五依次为:岳阳市岳阳楼区(75例)、长沙市芙蓉区(71例)、长沙市开福区(50例)、长沙市岳麓区(46例)和邵阳市邵东市(37例)。全省发病率平均为1.45/10万,排名前五依次为:长沙市芙蓉区(12.04/10万)、岳阳市岳阳楼区(8.23/10万)、长沙市开福区(7.52/10万)、岳阳市云溪区(7.28/10万)、株洲市荷塘区(7.11/10万)。整体而言,湘中、湘北、湘东北仍然是疫情严重区,新增病例主要分布于铁路干线附近,染病者虽然同样主要是来自武汉的第一代感染者,但本地近邻传播的第二代感染者明显增多。

第四阶段末(2月28日),与上一阶段相比,湖南省染疫区域变化不大,仅新增1个县域,新增17个确诊病例全部分布在铁路沿线,且基本都是本地近邻传播的第二代感染者(图4-d)。确诊病例超过30例的县域仍然为6个,排名前五依次为:岳阳市岳阳楼区(78例)、长沙市芙蓉区(71例)、长沙市开福区(51例)、长沙市岳麓区(51例)及邵阳市邵东市(46例)。全省发病率平均为1.47/10万,与上一阶段末相比,排名前五中的长沙市芙蓉区、岳阳市云溪区、株洲市荷塘区的发病率没有变化,岳阳市岳阳楼区(8.55/10万)、长沙市开福区(7.67/10万)的发病率略有升高。不论是从发病数看还是从发病率看,湘中、湘东北、湘北都是疫情严重区。全期总发病率排名前十县域为芙蓉区、岳阳楼区、开福区、云溪区、荷塘区、岳麓区、冷水江市、邵东市、雨花区、澧县、芦淞区、天元区(见图5)。

2.2.2 疫情空间格局演化 1) 整体空间格局演化。对湖南省1月25日—2月28日各县域 COVID-19 发病数和发病率逐日进行全局自相关分析(图6),结果显示,莫兰指数 I 均 >0 ,除1月25日(发病数、发病率)和1月26日(发病率)未通过 $p<0.01$ 显著性检验,其余所有时间点均通过了显著性检验,说明湖南省 COVID-19 疫情的分布具有显著的集聚性。发病数与发病率全局莫兰指数变化趋势一致,其中,1月27日—2月14日,莫兰指数 I 均呈上升趋势,说明疫情分布的集聚性不断加强。2月15日—28日,莫兰指数 I 基本平稳,发病数莫兰指数保持在0.51以上,发病率莫兰指数保持在0.65,说明疫情分布的集聚性没有改变。期间湖南省各级政府采取系列严控人员流动的措施,疫情传播得到有效阻断,17个新增病例分散分布于铁路沿线(见图4-

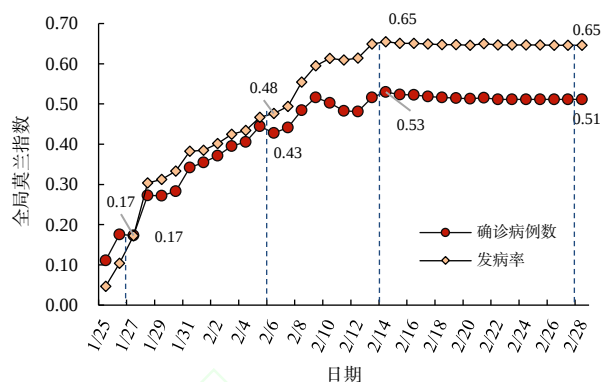


图6 湖南省 COVID-19 确诊病例数和发病率
全局莫兰指数变化

Fig.6 Global Moran's I changes of COVID-19 cases and incidence in Hunan Province

d), 不似之前新增病例团块状分布于少数中心城市(见图4-a、b、c), 因此, 发病数集聚性又略有下降。

2) 局部空间格局演化。对湖南省4个阶段末的发病数和发病率进行局部自相关分析, 得到冷热点分布格局(图7)。

第一阶段末(1月27日), 湖南省 COVID-19 发病数热点区分布在湘中长株潭、湘东北岳阳市和湘北常德市、湘西南怀化市等20个县区, 冷点区在湘南耒阳市(图7-a); 发病率热点区分布在上述区域的22个县区, 冷点区分布在湘西州花垣县、怀化市会同县、衡阳市耒阳市和郴州市安仁县(图7-b)。

第二阶段末(2月6日), 从发病数看, 湘北临澧、津市、安乡3县域及湘西南辰溪县热点消失, 湘东北岳阳市出现云溪区、岳阳楼区、临湘市、岳阳县4个新热点区, 湘中长株潭地区热点加强, 湘东北、湘中热点区连成一片; 湘西北吉首市成为新的冷点区(图7-c)。从发病率看, 冷热点格局与发病数大致相似, 湘东北岳阳市和湘中长株潭、邵阳市双清区等20个县区为热点区, 湘西吉首市和古丈县为冷点区(图7-d)。

第三阶段末(2月14日), 从发病数看, 湘东北湘阴县和汨罗市热点消失, 湘中、湘东北热点区分离, 但湘中长株潭、湘东北岳阳市热点区进一步加强, 冷点区扩大为湘西北吉首市和古丈县(图7-e)。从发病率看, 新增湘中湘潭县和湘东北醴陵市为热点区, 湘东北云溪区、岳阳楼区和岳阳县热点区加强, 湘西州花垣县重新成为冷点区(图7-f)。

第四阶段(2月15日—28日), 湖南省发病数

和发病率的冷热点格局保持不变,进入消亡阶段,空间格局不再变化(图7-g、7-h)。由于发病数和发病率均为累加,因此,此阶段的冷热点分布实际上代表了湖南省整个疫情期间冷热点分布,即湖南省东北部是全省疫情最严重的地区,其中,长株潭热点区的省会城市长沙,是全省人口最密集、人口流

动性最大、与武汉联系最密切的城市群;岳阳市北部热点区与湖北省接壤,是湖南与湖北联系的北大门,武汉疫情向南蔓延,此地首当其冲。湘西吉首市和古丈县之所以成为疫情冷点区,主要是其地理位置比较偏僻,人口规模和人口流动均较少、且距离长沙和武汉都相对较远。

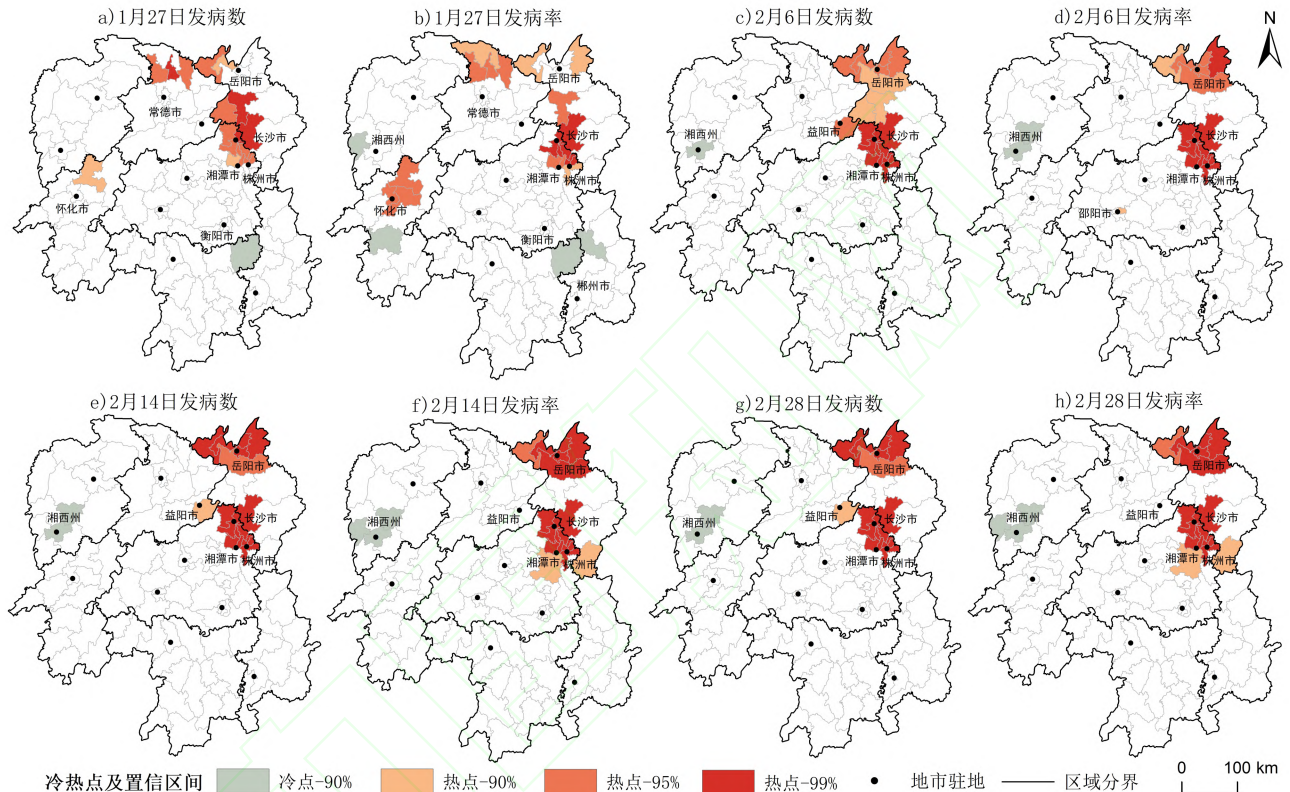


图7 湖南省COVID-19发病数(a、c、e、g)和发病率(b、d、f、h)冷热点分布

Fig.7 Cold and hot spots of COVID-19 cases (a、c、e、g) and incidence (b、d、f、h) in Hunan Province

3 湖南省COVID-19疫情流行的影响因子

3.1 COVID-19疫情影响因子的选取

3.1.1 自然地理因子 1) 气象因子。SARS-CoV-2可通过飞沫传播,自然环境中气象因素是影响呼吸道传染病流行的关键因素,文中参照湖北省手足口病流行的因子(龚胜生等, 2020a),选取平均风速(x_1)、平均气温(x_2)、平均相对湿度(x_3)、平均日照时数(x_4)等气象因子进行分析。

2) 距离因子。疫情传播服从距离衰减的地理学第一定律,地理邻近性对疫病扩散的作用也不可忽视。从前文可知,湖南省103个发病县中,首发病例由武汉输入的占84.47%,因此,文中选择各县

驻地与武汉市中心的空间距离(x_5)来衡量疫情的邻近扩散效应。

3.1.2 社会经济因子 1) 人口因子。接触感染也是SARS-CoV-2传播的一大途径,人口流动和人口规模对疫情流行也有着不可忽视的影响。文中选用常住人口与户籍人口的差值、差值和常住人口的比率(x_6 、 x'_6)表征人口的流动规模和强度,用路网密度(x_7)表征人口流动的能力,用人口密度(x_8)表征人口规模。

2) 经济因子。防控政策能有效控制传染源、切断传播途径、阻止疫情进一步扩散,经济实力与医疗卫生资源是政府防控疫情流行重要条件。文中选取GDP、人均GDP(x_9 、 x'_9)、地方财政收入、人

均可支配收入 (x_{10} 、 x'_{10}) 表征县域或人均经济实力; 用卫技人员数、每万人卫技人员数 (x_{11} 、 x'_{11})、医疗床位数、每万人医疗床位数 (x_{12} 、 x'_{12}) 表征县域总体或人均的医疗卫生资源水平。

3.2 COVID-19 疫情时间变化的影响因子

如前所述, 在疫情消亡期, 湖南省疫情发展受人为抑制的影响程度已远大于受自然气象的影响程度, 因此, 选择 1 月 21 日—2 月 14 日逐日新增病例数与逐日平均风速 (图 8-a)、平均气温 (图 8-b)、平均相对湿度 (图 8-c)、平均日照时数等进行皮尔逊相关性分析, 结果表明: 平均风速 ($r=-0.481$, $P<0.05$)、平均气温 ($r=-0.376$, $P<0.1$)、平均相对湿度 ($r=-0.424$, $P<0.05$) 均与新增病例数成显著中度负相关, 平均日照时数与新增病例数并无显著相关性 ($P>0.1$), 说明寒冷、干燥、无风的天气状况更有利于 COVID-19 的传播。

3.3 COVID-19 疫情空间分异的影响因子

3.3.1 疫情空间格局演化 利用地理探测器对湖南省各县累计发病数、发病率进行气象因子、人口因子、经济因子、距离因子的单因子探测和多因子交互作用分析, 结果表明 (表 2):

1) 从单因子作用看, 各因子对湖南省 COVID-19 疫情发病数的作用强度由大到小排序为: 卫技人员数 (x_{11}) > 人口密度 (x_8) > GDP (x_9) > 路网密度 (x_7) > 医疗床位数 (x_{12}) > 空间距离 (x_5) > 人均可支配地方财政收入 (x_{10}) > 平均相对湿度 (x_3) > 平均气温 (x_2) > 流动人口 (x_6) > 平均风速 (x_1); 对湖南省 COVID-19 发病率的作用强度由大到小排序为: 路网密度 > 人口密度 > 人均 GDP (x'_9) > 人均可支配收入 (x'_{10}) > 空间距离 > 平均气温 > 每万人卫技人员数 (x'_{11}) > 平均风速 > 流动人口比率 (x'_6) > 每万人医疗床位数 (x'_{12}) > 平均相对湿度。平均日照时数均未通过显著性检验。说明人口因子、医疗因子、经济因子、地理因子都是影响疫情县域分异的重要因子, 其中人口密度、路网密度和 GDP、人均 GDP 对发病数和发病率的空间分异都有较大影响。

2) 从因子交互作用看, 湖南省 COVID-19 疫情的流行, 一是存在非线性增强和双因子增强两种类型, 所有双因子的交互作用都大于单因子的作用; 二是自然地理因子与社会经济因子的交互作用大于自然地理因子之间、社会经济因子之间的交互作用, 其中, 空间距离和路网密度、人口密度、卫技

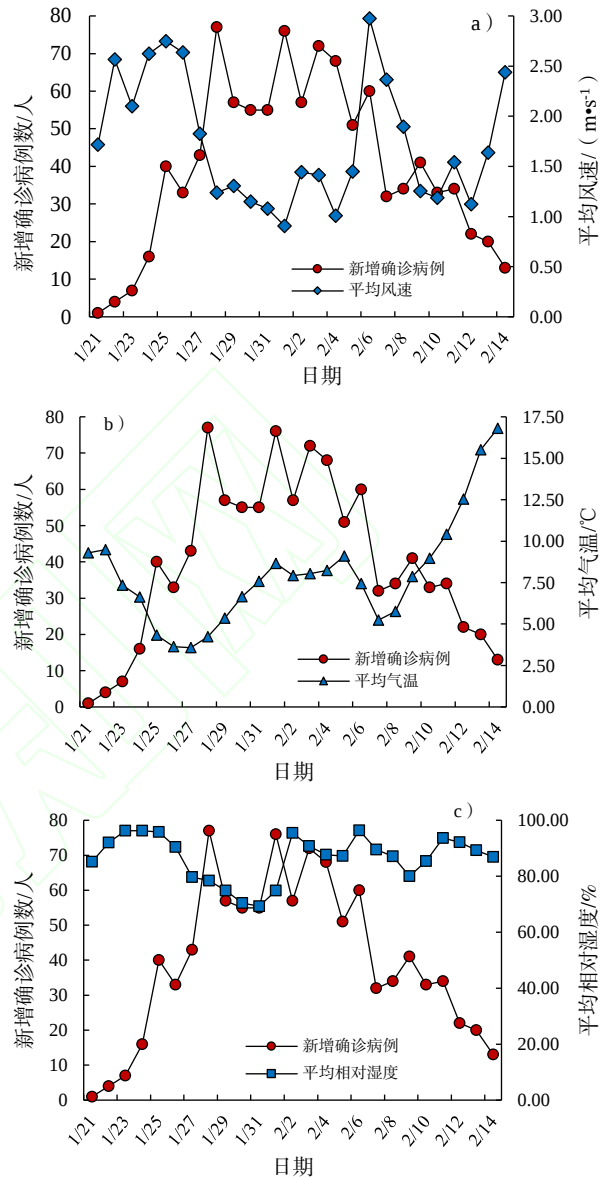


图 8 湖南省 COVID-19 新增发病数与气象因子 (a. 平均风速; b. 平均气温; c. 平均相对湿度) 逐日变化情况

Fig.8 Daily change between COVID-19 newly cases and meteorological variables(a. average wind speed; b. average temperature; c. average relative humidity) in Hunan Province

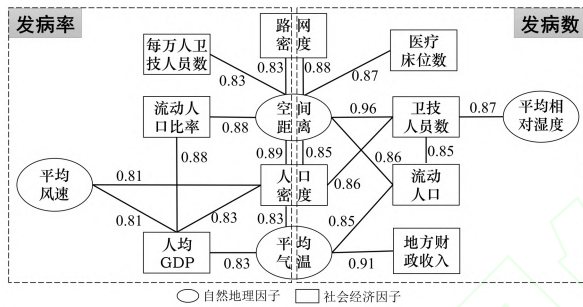
人员数 (每万人卫技人员数)、流动人口 (流动人口的比率) 的交互, 对发病数和发病率都有较强的影响作用 (见表 2)。说明湖南省 COVID-19 疫情空间格局的形成是自然地理因子和社会经济因子共同作用的结果, 且社会经济因子主要通过空间距离发挥作用 (图 9)。

3) 从因子作用强度来看, 气象因子 ($x_1 \sim x_3$)、医疗资源 ($x_{11} \sim x_{12}$) 对发病数的影响大于对发病率

表2 湖南省 COVID-19 发病数和发病率的影响因子 q 值Table 2 The q value of variables of COVID-19 cases and incidence in Hunan

发病数	x_1	x_2	x_3	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	发病率	x_1	x_2	x_3	x_5	x'_6	x_7	x_8	x'_9	x'_{10}	x'_{11}	x'_{12}
x_1	0.18											x_1	0.21										
x_2	0.58	0.29										x_2	0.64	0.35									
x_3	0.76	0.73	0.30									x_3	0.47	0.60	0.15								
x_5	0.62	0.74	0.85	0.38								x_5	0.66	0.80	0.50*	0.37							
x_6	0.60	0.85	0.85	0.86	0.28							x'_6	0.71	0.74	0.50	0.88	0.21						
x_7	0.67	0.74*	0.79	0.88	0.79	0.46						x_7	0.72*	0.78*	0.72	0.83*	0.68*	0.55					
x_8	0.64*	0.72*	0.80	0.85*	0.82	0.54*	0.47					x_8	0.81	0.83*	0.76	0.89*	0.71*	0.68*	0.55				
x_9	0.66	0.72*	0.78	0.83*	0.62*	0.75*	0.71*	0.46				x'_9	0.81	0.83	0.74	0.80*	0.88	0.76*	0.83*	0.47			
x_{10}	0.49*	0.91	0.74	0.82	0.72	0.72*	0.80*	0.66*	0.35			x'_{10}	0.76	0.75*	0.70	0.80*	0.76	0.69*	0.75*	0.74*	0.44		
x_{11}	0.74*	0.78*	0.87	0.96	0.85	0.84*	0.86*	0.74*	0.77*	0.56		x'_{11}	0.68	0.72	0.63	0.83	0.73	0.74*	0.71*	0.77	0.71	0.21	
x_{12}	0.72	0.78	0.84	0.87	0.69*	0.80*	0.83*	0.70*	0.77*	0.62*	0.44	x'_{12}	0.59	0.68	0.57	0.81	0.68	0.73*	0.68*	0.65*	0.71	0.33*	0.19

注：所有因子均通过0.01置信度检验，*表示双因子增强，其余为非线性增强。



图注：横线上数值为因子交互作用 q 值。

图9 湖南省 COVID-19 疫情的因子交互作用
排名前十位关联图

Fig.9 Correlation diagrams of the top 10 variables' interaction of COVID-19 in Hunan Province

的影响，人口因子 ($x_6 \sim x_8$)、经济实力 ($x_9 \sim x_{10}$) 对发病率的影响大于对发病数的影响，而地理距离 (x_5) 对发病数和发病率的影响基本相同。不论发病数还是发病率，路网密度、人口密度与其他因子的交互作用都以双因子增强为主，发病数中经济实力、医疗资源与其他因子以双因子增强为主，尤其是与其他社会因子之间的交互。发病率的双因子增强较发病数少，说明湖南省 COVID-19 发病率受到因子叠加作用的影响更大。

3.3.2 疫情市域空间分异的影响因子 研究表明，疫病扩散与人口流动关系密切，“人口流动是疫灾流行的加速器”（龚胜生等，2017；2020b）。考虑到 COVID-19 的潜伏期和人口流动的实际情况，我们将各地市从春运开始（1月10日）到武汉封城后第四天、湖南省疫情流行第一阶段末（1月27日）的百度迁徙数据作为人口流动强度，以之与各地市发病总数进行相关分析，结果显示：地市尺度上，发病数与人口流动呈显著性高度正相关 ($P < 0.01$)，

人口迁徙总强度 ($r=0.87$)、人口迁入指数 ($r=0.84$)、人口迁出指数 ($r=0.83$) 都是如此，发病率与人口迁徙总强度也呈现出显著正相关性 ($r=0.67$, $P < 0.01$)，说明人口流动在地市尺度上的空间分异是 COVID-19 疫情在地市尺度上的空间分异的重要影响因素。发病数与卫技人员数 ($r=0.83$, $P < 0.01$)、人均 GDP ($r=0.76$, $P < 0.01$) 呈显著高度正相关，与平均风速 ($r=0.52$, $P < 0.1$) 呈较显著中度正相关，与空间距离呈较显著中度负相关 ($r=-0.62$, $P < 0.05$)，说明市域尺度上，COVID-19 发病数与流动人口和医疗条件关系最为密切，其次是经济水平及空间距离，与气象因子关联性较微弱。

3.3.3 疫情因子作用强度的空间分异 采用 SPSS17.0 将 16 个影响因子进行逐步回归分析，通过 0.01 置信度检验与共线性诊断的影响因子，发病数有空间距离、流动人口、人口密度、卫技人员数，发病率有空间距离、人口密度，采用 ArcGIS 10.3 对这些因子分别与发病数、发病率进行地理加权回归分析，均具有良好的拟合效果（发病数 $R^2=0.75$ ，发病率 $R^2=0.61$ ），空间异质性显著。其中，空间距离对湖南省疫情格局的影响呈显著负相关，影响程度从东北往西南梯度递减，即距离武汉较近的岳阳市受到影响最大，距武汉较远的湘西地区受到影响最小，说明疫情传播的空间邻近性强（图 10-a、b）。流动人口对湖南省疫情格局的影响以纬向分异为主，对湘东北地区的影响程度最大，对湘南和湘东南地区的影响最小（图 10-c）。人口密度对湖南省疫情格局的影响纬向分异特征明显，影响程度由北往南梯度递减，北部地区受到的影响最大，南部地区受到的影响较小（图 10-d、e）。卫技人员数对湖南省疫情格局的影响呈同心圆状，影响程度以长株潭为中心，圈层状向四周递减，说明

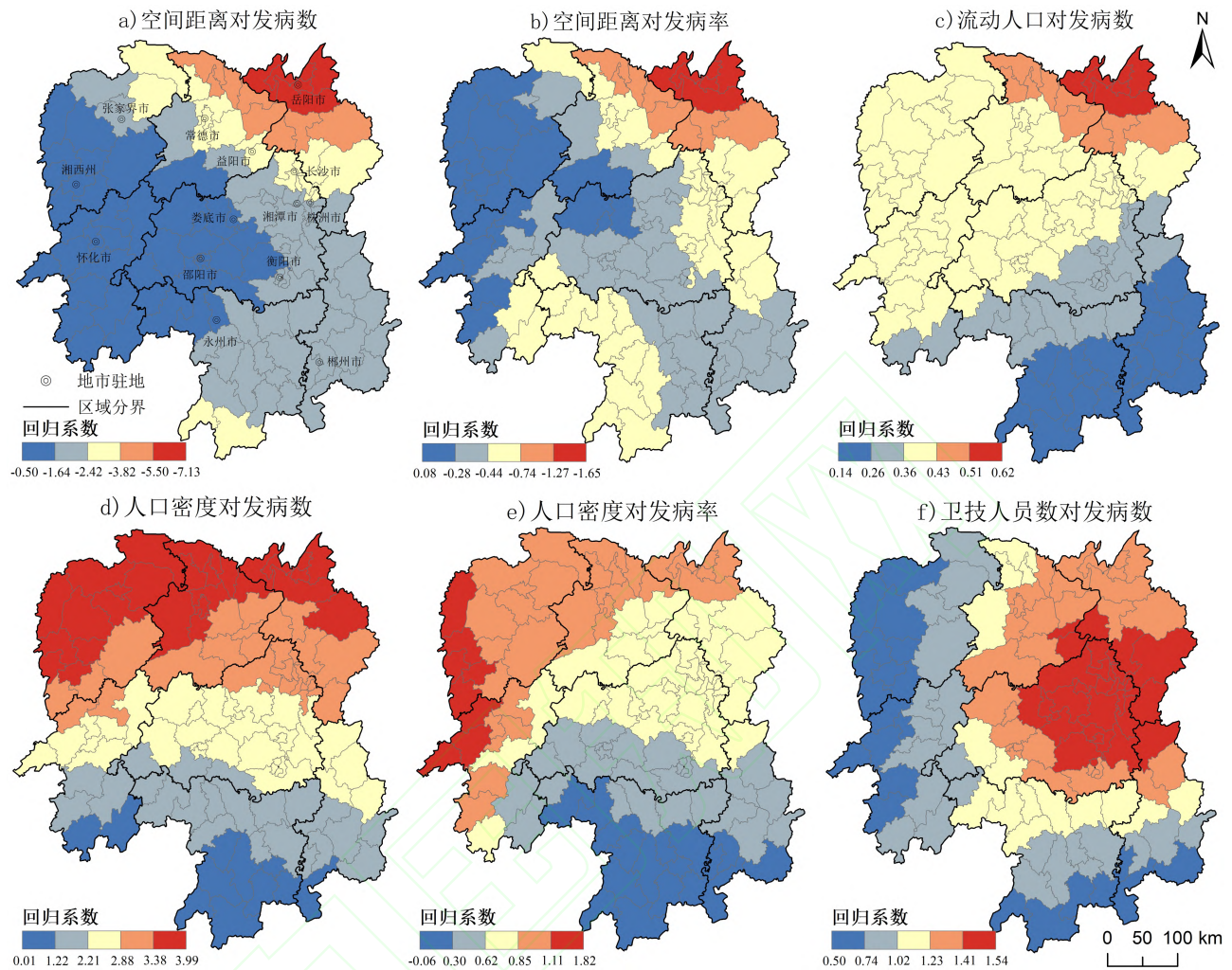


图10 湖南省COVID-19发病数和发病率影响因子回归系数在县域尺度上的空间分异

Fig.10 Spatial differentiation at county level of regression coefficient of variables of COVID-19 cases and incidence in Hunan Province

医疗卫生资源对城市群地区的影响程度最大，卫技人员短缺会导致疫情的加剧，医疗资源的不足是长株潭地区成为疫情严重区的一个重要原因（图10-f）。

4 结论与讨论

本文主要从县域尺度对2020年湖南省COVID-19发病数和发病率的时空演化及其影响因素进行分析，通过空间自相关、地理探测器、地理加权回归等分析，获得以下初步结论：

1) 疫情演变具有时序阶段性。疫情经历了扩散期、鼎盛期、衰减期和消亡期4个阶段。全省122个县域有103个被侵袭，84.47%的首发病例由武汉市输入，疫情主要在武汉封城后一周时间内暴发。

2) 疫情传播具有交通依赖性。疫情主要沿铁路干线扩散和分布，铁路枢纽所在城市确诊病例分布最密集，铁路沿线城市岳阳市、长沙市和株洲市的主城区发病率最高，呈现出“地级市早发、主城区多发”的传播特征。

3) 疫情程度具有距离衰减性。各地COVID-19疫情的严重程度，无论是发病数还是发病率，都表现出与疫源地的地理邻近性和距离衰减性，据武汉市较近的湘中、湘东北、湘北地区都是疫情严重区，较远的湘西北、湘西南、湘南、湘东南地区疫情相对较轻。

4) 疫情分布具有空间集聚性。疫情的集聚性随着时间推移逐渐提高，到衰减期末达到最高，消亡期虽略有降低，但仍保持着较高的集聚水平。湘东北岳阳市和湘中长沙株洲城市群为疫情热点区，湘

西北地区为疫情冷点区。

5) 疫情影响具有因子交互性。疫情流行期间, 寒冷、干燥、无风的天气有利于疫情传播; 人口密度、路网密度、GDP (总量和人均) 是影响疫情空间分异的主要因子; 自然地理因子与社会经济因子的交互作用>社会经济因子之间的交互作用>自然地理因子之间的交互作用。

6) 影响因子具有空间异质性。疫情流行期间, 空间距离、人口密度对发病数和发病率的影响都具有显著的空间异质性, 流动人口、卫技人员数仅对发病数的影响有显著的空间异质性。空间距离、人口流动对湘东北、湘北地区疫情的影响程度最大; 人口密度对疫情的影响程度具有纬度分异性, 影响程度由北向南递减; 卫技人员数对疫情的影响程度具有圈层分异性, 以长株潭城市群为核心向外围梯度递减。

与已有研究相比, 本研究结论与其他学者的研究仍存在不同之处, 如王皎贝等 (2020) 得出陕西省由于地形阻隔, 其 COVID-19 的发病数分布为“远鄂单核”模式, 而湖南省因为紧邻湖北, 邻近传播现象显著, 其发病数分布为“近鄂多核”模式 (见图 4-d)。部分学者 (王姣娥等, 2020) 考虑到了人口流动、地理邻近性、交通道路、医疗水平等单个因素带来的疫情风险, 但忽略了因子之间的交互作用对疫情产生的叠加效应, 尤其是自然地理因子。研究表明, 寒冷、干燥、无风天气更有利于 COVID-19 传播, 这与 Chin (2020)、Wu (2020)、Wang (2020b) 等对国家尺度的研究结果一致。同时, 疫情除了具有地理接壤的“近邻式传播”特征外, 还具有依托交通线路的“跳跃式传播”, 故严防传染源从疫源地沿交通线输入是关键。研究也表明, 卫技人员数是湖南省 COVID-19 发病数的第一影响因子, 路网密度是湖南省 COVID-19 发病率的第一影响因子, 疫情时空格局是自然地理因子和社会经济因子综合作用的结果, 这说明, 增补卫生技术人员、实施交通检疫隔离、因地因时制宜实施防控, 是有效应对疫情冲击重中之重的措施。

参考文献 (References):

陈晓, 黄宇金, 李佳慧, 汪诗洋, 裴韬. 2020. COVID-19 疫情时空聚集性特征及影响因素分析——以重庆市为例. 地理科学进展, 39 (11): 1798-1808. [Chen Xiao, Huang Yujin, Li Jiahui, Wang Shiyang and Pei Tao. 2020. Clustering Characteristics of COVID-19 Cases and Influencing Factors in Chongqing Municipality. *Progress in Geography*, 39(11): 1798-1808.]

Chin A W H, Chu J T S, Perera M R A, Hui K P Y, Yen Huiling, Chan M C W, Peiris M and Poon L L M. 2020. Stability of SARS-CoV-2 in Different Environmental Conditions. *The Lancet Microbe*, 1 (4): 10. doi:10.1016/S2666-5247(20)30003.

Fotheringham A Stewart, Charlton M and Brunsdon C. 1996. The Geography of Parameter Space: An Investigation of Spatial Non-Stationarity. *Geographical Information Systems*, 10(5): 605-627.

龚胜生, 李孜沫. 2017. 清代山西地区疫灾时空分布研究. 干旱区资源与环境, 31 (6): 1-7. [Gong Shengsheng and Li Zimo. 2017. Temporal-Spatial Distribution of Epidemic Disasters of Shanxi in the Qing Dynasty. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 31(6): 1-7.]

龚胜生, 王无为, 陈红缨, 黄建武. 2020a. 湖北省手足口病流行的地理特征及其影响因子. 地理科学, 40 (6): 999-1009. [Gong Shengsheng, Wang Wuwei, Chen Hongying and Huang Jianwu. 2020a. Geographical Characteristics and Influencing Factors of the Prevalence of Hand, Foot and Mouth Disease in Hubei Province. *Scientia Geographica Sinica*, 40(6): 999-1009.]

龚胜生, 谢海超, 陈发虎. 2020b. 2200 年来我国瘟疫灾害的时空变化及其与生存环境的关系. 中国科学: 地球科学, 50 (5): 719-722. [Gong Shengsheng, Xie Haichao and Chen Fahu. 2020b. Spatiotemporal Change of Epidemics and Its Relationship with Human Living Environments in China over the Past 2200 Years. *Scientia Sinica: Terrae*, 50(5): 719-722.]

Goodchild M. 1986. *Spatial Autocorrelation Concepts and Techniques in Modern Geography*. Norwich: UK, Geo Books.

胡世雄, 徐巧华, 罗垲炜, 杨浩, 孙倩莱, 刘子言, 赵善露, 曾舸, 张恒娇, 戴志辉, 肖洁华, 高立冬. 2020. 湖南省新型冠状病毒肺炎感染者流行病学特征分析. 实用预防医学, (4): 385-388. [Hu Shixiong, Xu Qiaohua, Luo Kaiwei, Yang Hao, Sun Qianlai, Liu Ziyang, Zhao Shanlu, Zeng Ge, Zhang Hengjiao, Dai Zhihui, Xiao Jiehua and Gao Lidong. 2020. Epidemiological Characteristics of Patients with Coronavirus Disease 2019 in Hunan province. *Practical Preventive Medicine*, (4): 385-388.]

金安楠, 李钢, 王皎贝, 徐婷婷, 于悦, 胡志恒, 杨佳辰. 2020. 深圳市新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 疫情时空演化与防控对策. 陕西师范大学学报 (自然科学版), 48 (3): 18-32. [Jin An'nan, Li Gang, Wang Jiaobei, Xu Tingting, Yu Yue, Hu Zhiheng and Yang Jiachen. 2020. Spatio-Temporal Evolution and Control Strategies of COVID-19 Epidemic in Shenzhen, China. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 48(3): 18-32.]

李钢, 王皎贝, 徐婷婷, 高兴, 金安楠, 于悦. 2020. 中国 COVID-19 疫情时空演化与综合防控. 地理学报, 75 (11): 2475-2489. [Li Gang, Wang Jiaobei, Xu Tingting, Gao Xing, Jin An'nan and Yu Yue. 2020. Spatio-Temporal Evolution Process and Integrated Measures for Prevention and Control of COVID-19 Epidemic in China. *Acta Geographica Sinica*, 75(11): 2475-2489.]

梁泽, 王玥瑶, 孙福月, 梁琛瑜, 李双成. 2020. 我国城市新冠肺炎发病率的地理分布格局: 人口迁徙与社会经济因素的影响.

- 环境科学研究, 33 (7): 1571-1578. [Liang Ze, Wang Yueyao, Sun Fuyue, Liang Chenyu and Li Shuangcheng. 2020. Geographical Pattern of COVID-19 Incidence of China's Cities: Role of Migration and Socioeconomic Status. *Research of Environmental Sciences*, 33(7): 1571-1578.]
- 蒯茂文, 刘天, 田克卿, 江鸿, 曾旻敏, 王丽, 殷俊, 雷若倩, 姚梦雷, 黄继贵. 2020. 荆州市新型冠状病毒肺炎时空分布特征分析. 上海交通大学学报 (医学版), 40 (5): 566-572. [Lin Maowen, Liu Tian, Tian Keqing, Jiang Hong, Zeng Minmin, Wang Li, Yin Jun, Lei Ruqian, Yao Menglei and Huang Jigui. 2020. Spatial-Temporal Distribution of Coronavirus Disease 2019 in Jingzhou City. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Medical Science)*, 40(5): 566-572.]
- Liu Jiangtao, Zhou Ji, Yao Jinxi, Zhang Xiuxia, Li Lanyu, Xu Xiaocheng, He Xiaotao, Wang Bo, Fu Shihua, Niu Tingting, Yan Juan, Shi Yanjun, Ren Xiaowei, Niu Jingping, Zhu Weihao, Li Sheng, Luo Bin and Zhang Kai. 2020. Impact of Meteorological Factors on the COVID-19 Transmission: A Multi-City Study in China. *Science of The Total Environment*, 726: 8. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138513.
- 刘蒙, 徐洪吕, 袁敏, 刘志荣, 伍晓艳, 张一, 马丽娅, 龚磊, 甘虹, 刘雯雯, 陶舒曼, 宗巧, 杜亚楠, 陶芳标. 2020. 安徽省新型冠状病毒肺炎流行与疫情时空变化分析. 中华预防医学杂志, 54 (6): 630-633. [Liu Meng, Xu Honglu, Yuan Min, Liu Zhirong, Wu Xiaoyan, Zhang Yi, Ma Liya, Gong Lei, Gan Hong, Liu Wenwen, Tao Shuman, Zong Qiao, Du Yanan and Tao Fangbiao. 2020. Analysis on Epidemic Situation and Spatiotemporal Changes of COVID-19 in Anhui. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 54(6): 630-633.]
- 刘清泉, 夏文广, 安长青, 李旭成, 王玉光, 苗青, 杨丰文, 张伯礼. 2020. 中西医结合治疗新型冠状病毒肺炎作用的思考. 中医杂志, 61 (6): 463-464. [Liu Qingquan, Xia Wenguang, An Changqing, Li Xucheng, Wang Yuguang, Miao Qing, Yang Fengwen and Zhang Boli. 2020. Reflection on Effects of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine on Coronavirus Disease 2019(COVID-19). *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 61(6): 463-464.]
- 刘勇, 杨东阳, 董冠鹏, 张航, 苗长虹. 2020. 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. 经济地理, 40 (3): 24-32. [Liu Yong, Yang Dongyang, Dong Guanpeng, Zhang Hang and Miao Changhong. 2020. The Spatio-Temporal Spread Characteristics of 2019 Novel Coronavirus Pneumonia and Risk Assessment Based on Population Movement in Henan Province: Analysis of 1243 Individual Case Reports. *Economic Geography*, 40(3): 24-32.]
- 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. Analysis of the Spatio-Temporal Characteristics and Transmission Path of COVID-19 Cluster Cases in Zhuhai. *Tropical Geography*, 40(3): 422-431.]
- 罗琳, 曾晓进, 廖欣, 杨应乾. 2020. 新冠肺炎疫情期公众疾病认知、应对方式及锻炼行为调查. 中国公共卫生, 36 (2): 156-159. [Luo Lin, Zeng Xiaojin, Liao Xin and Yang Yingqian. 2020. Disease Cognition, Coping Style and Exercise Behavior among the Public during Novel Coronavirus Epidemic: An Online Survey. *Chinese Journal of Public Health*, 36(2): 156-159.]
- 毛羿韬, 曾慧卉, 王颖, 肖巨雄, 杨威, 周高峰, 廖伟华. 2020. 湖南省2019冠状病毒病疫情流行情况. 中南大学学报 (医学版), 45 (5): 576-581. [Mao Yitao, Zeng Huihui, Wang Ying, Xiao Juxiong, Yang Wei, Zhou Gaofeng and Liao Weihua. 2020. Epidemic Features of Coronavirus Disease 2019 in Hunan Province. *Journal of Central South University (Medical Science)*, 45(5): 576-581.]
- Mollalo A, Vahedi B and Rivera K M. 2020. GIS-Based Spatial Modeling of COVID-19 Incidence Rate in the Continental United States. *Science of The Total Environment*, 728: 138884. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138884.
- 孙宇婷, 肖凡, 周勇, 田广增. 2020. 新型冠状病毒肺炎疫情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. 热带地理, 40 (3): 375-385. [Sun Yuting, Xiao Fan, Zhou Yong and Tian Guangzeng. 2020. Spatial-Temporal Distribution and Influence Mechanism of Internet Public Attention on COVID-19: A Case Study on the Baidu Searching Index. *Tropical Geography*, 40(3): 375-385.]
- 王斌, 耿娟, 张荣光, 昌帅磊, 陈帅印, 杨海燕, 郝园林, 段广才. 2020. 湖南省新型冠状病毒肺炎流行特征与临床特征. 中华疾病控制杂志, 24 (7): 830-834. [Wang Bin, Geng Juan, Zhang Rongguang, Chang Shuailei, Chen Shuaiyin, Yang Haiyan, Xi Yuanlin and Duan Guangcai. 2020. Epidemiological and Clinical Characteristics of COVID-19 in Hunan Province. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 24(7): 830-834.]
- 王姣娥, 杜德林, 魏冶, 杨浩然. 2020. 新冠肺炎疫情的空间扩散过程与模式研究. 地理研究, 39 (7): 1450-1462. [Wang Jiao'e, Du Delin, Wei Ye and Yang Haoran. 2020. The Development of COVID-19 in China: Spatial Diffusion and Geographical Pattern. *Geographical Research*, 39(7): 1450-1462.]
- 王皎贝, 李钢, 王建坡, 强靖淇, 朱丹丹. 2020. 陕西省 COVID-19 疫情时空演化与风险画像. 热带地理, 40 (3): 432-445. [Wang Jiaobei, Li Gang, Wang Jianpo, Qiang Jingqi and Zhu Dandan. 2020. Spatio-temporal Evolution and Risk Profiling of the COVID-19 Epidemic in Shanxi Province. *Tropical Geography*, 40(3): 432-445.]
- Wang Jinfeng, Li Xinhui, Christakos George, Liao Yilan, Zhang Tin, Gu Xue and Zheng Xiaoying. 2010. Geographical Detectors-based Health Risk Assessment and Its Application in the Neural Tube Defects Study of the Heshun Region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(1): 107-127.
- 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 72

- (1): 116-134. [Wang Jinfeng and Xu Chengdong. 2017. Geodetector: Principle and Prospective. *Acta Geographica Sinica*, 72(1): 116-134.]
- 王少剑, 高爽, 陈静. 2020. 基于GWR模型的中国城市雾霾污染影响因素的空间异质性研究. *地理研究*, 39 (3): 651-668. [Wang Shaojian, Gao Shuang and Chen Jing. 2020. Spatial Heterogeneity Study of the Influencing Factors of Chinese Urban Haze Pollution Based on the GWR Model. *Geographical Research*, 39(3): 651-668.]
- Wang Yun, Liu Ying, Struthers James and Lian Min. 2020a. Spatiotemporal Characteristics of COVID-19 Epidemic in the United States. *Clinical Infectious Diseases*, 72(4): 643-651. DOI: 10.1093/cid/cia934.
- Wang Jingyuan, Tang Ke, Feng Kai, Lin Xin, Lv Weifeng, Chen Kun and Wang Fei. 2020b. High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19. (2020-03-09) [2021-02-24]. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3551767>.
- 吴安华, 黄勋, 李春辉, 李六亿. 2020. 医疗机构新型冠状病毒肺炎防控中的若干问题. *中国感染控制杂志*, 19 (2): 99-104. [Wu Anhua, Huang Xun, Li Chunhui and Li Liuyi. 2020. Novel Coronavirus (2019-nCoV) Pneumonia in Medical Institutions: Problems in Prevention and Control. *Chinese Journal of Infection Control*, 19(2): 99-104.]
- Wu Yu, Jing Wenzhan, Liu Jue, Ma Qiuyue, Yuan Jie, Wang Yaping, Du Min and Liu Min. 2020. Effects of Temperature and Humidity on the Daily New Cases and New Deaths of COVID-19 in 166 Countries. *Science of the Total Environment*, 729: 7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139051.
- 夏启繁, 杜德斌, 段德忠, 黄晓东. 2020. 全球抗病毒药品贸易格局演化及其对新冠肺炎疫情防控的启示. *地理研究*, 39 (11): 2429-2448. [Xia Qifan, Du Debin, Duan Dezhong and Huang Xiaodong. 2020. The Evolution of Global Trade in Antiviral Drug and Revelation for COVID-19 Prevention and Control. *Geographical Research*, 39(11): 2429-2448.]
- 夏文广, 安长青, 郑婵娟, 张继先, 黄敏, 王喻, 杨丰文, 段璨, 李正良, 刘清泉, 张伯礼. 2020. 中西医结合治疗新型冠状病毒肺炎 34 例临床研究. *中医杂志*, 61 (5): 375-382. [Xia Wenguang, An Changqing, Zheng Chanjuan, Zhang Jixian, Huang Min, Wang Yu, Yang Fengwen, Duan Can, Li Zhengliang, Liu Qingquan and Zhang Boli. 2020. Clinical Observation on 34 Patients with Novel Coronavirus Pneumonia (COVID-19) Treated with Intergrated Traditional Chinese and Western Medicine. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 61(5): 375-382.]
- 向云波, 王圣云. 2020. 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. *热带地理*, 40 (3): 408-421. [Xiang Yunbo and Wang Shengyun. 2020. Spatial Relationship between Epidemic Spread and Population Outflow of the Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) That Impacted Chinese Urban Public Health Classification. *Tropical Geography*, 40 (3): 408-421.]
- Xiong Yongzhu, Wang Yunpeng, Chen Feng and Zhu Mingyong. 2020. Spatial Statistics and Influencing Factors of the COVID-19 Epidemic at both Prefecture and County Levels in Hubei Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11): 3903. doi: 10.3390/ijerph17113903.
- 许明星, 郑蕊, 饶俪琳, 匡仪, 杨舒雯, 丁阳, 李江龙, 李纾. 2020. 妥善应对现于新冠肺炎疫情中“心理台风眼效应”的建议. *中国科学院院刊*, 35 (3): 273-282. [Xu Mingxing, Zheng Rui, Rao Lilin, Kuang Yi, Yang Shuwen, Ding Yang, Li Jianglong and Li Shu. Proposals for Coping with "Psychological Typhoon Eye" Effect Detected in COVID-19. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 35(3): 273-282.]
- 杨冕, 谢泽宇. 2020. 新冠肺炎疫情防控对中国人口流动的影响——基于百度地图迁徙大数据的实证研究. *人口研究*, 44 (4): 74-88. [Yang Mian and Xie Zeyu. 2020. Impacts of Fighting COVID-19 on China's Population Flows: An Empirical Study Based on Baidu Migration Big Data. *Population Research*, 44(4): 74-88.]
- 于明坤, 柴倩云, 梁昌昊, 丁砚秋, 林子宜, 高佳琪, 王涵, 张立山, 刘建平, 费宇彤. 2020. 新型冠状病毒肺炎中医预防及诊疗方案汇总分析. *中医杂志*, 61 (5): 383-387. [Yu Mingkun, Chai Qianyun, Liang Changhao, Ding Yanqiu, Lin Ziyi, Gao Jiaqi, Wang Han, Zhang Lishan, Liu Jianping and Fei Yutong. 2020. An Analyze of the Traditional Chinese Medicine Prevention and Treatment Interventions for COVID-19. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 61(5): 383-387.]
- Yuan Jie, Wu Yu, Jing Wenzhan, Liu Jue, Du Min, Wang Yaping and Liu Min. 2020. Non-Linear Correlation between Daily New Cases of COVID-19 and Meteorological Factors in 127 Countries. *Environmental Research*, 193: 110521. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110521.
- 张凯煌, 千庆兰. 2020. 新冠疫情对中国经济的影响及政策讨论——来自上市企业的证据. *热带地理*, 40 (3): 396-407. [Zhang Kaihuang and Qian Qinglan. 2020. The Impact of COVID-19 on China's Economy and Discussion of Policies-Evidence from Listed Companies. *Tropical Geography*, 40 (3): 396-407.]
- 张松林, 张昆. 2007. 局部空间自相关指标对比研究. *统计研究*, (7): 65-67. [Zhang Songlin and Zhang Kun. 2007. Contrast Study on the Local Indices of Spatial Autocorrelation. *Statistical Research*, (7): 65-67.]
- 赵序茅, 李欣海, 聂常虹. 2020. 基于大数据回溯新冠肺炎的扩散趋势及中国对疫情的控制研究. *中国科学院院刊*, 35 (3): 248-255. [Zhao Xumao, Li Xinhai and Nie Changhong. 2020. Backtracking Transmission of COVID-19 in China Based on Big Data Source, and Effect of Strict Pandemic Control Policy. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 35(3): 248-255.]
- Zahra Arab-Mazar, Ranjit Sah, Rabaan Ali A, Kuldeep Dhama and Rodriguez-Morales Alfonso J. 2020. Mapping the Incidence of the COVID-19 Hotspot in Iran-Implications for Travellers. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 34: 3. DOI: 10.1016/j.tmaid.2020.101630.

Zhu Yongjian, Xie Jinggui, Huang Fengming and Cao Liqing. 2020.
Association between Short-Term Exposure to Air Pollution and
COVID-19 Infection: Evidence from China. *Science of The Total*

Environment, 727: 138704. DOI: 10.1016/j. scitotenv. 2020.
138704.

Geographical Analysis of the COVID-19 Epidemic in Hunan Province, China in 2020

Gong Shengsheng, and Mo Hui

(College of Urban and Environmental Sciences // Research Institute of Sustainable Development,
Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: The COVID-19 epidemic spread globally at the start of 2020, resulting in a wide range of diffusion of infectious diseases. At present, SARS-CoV-2 is still prevalent worldwide, and it is of great practical significance to strengthen the study on the COVID-19 epidemic. Based on the COVID-19 confirmed cases and incidence, this article explored both the temporal and spatial distribution pattern of COVID-19 in Hunan Province and its influencing variables between January 21 and February 28, 2020 by using ArcGIS 10.3 and GeoDetector. The results show that: 1) The epidemic evolved with temporal phasing. The epidemic in Hunan Province can be divided into four basic stages: the diffusion period, peak period, decay period, and the stagnant period. The first COVID-19 confirmed case of 84.47% affected counties was imported from Wuhan; 2) The epidemic spread as a result of transportation convenience. The confirmed COVID-19 cases were concentrated near major railway lines, which were also high-incidence areas. The epidemic occurred "early in prefecture-level cities and frequently in urban areas"; 3) the extent of the epidemic has distance attenuation. The COVID-19 cases and high-incidence areas were mainly distributed in the middle, north, and northeast of Hunan, in regions in proximity to Wuhan; 4) the epidemic was distributed with spatial aggregation. The agglomeration level of cases and incidences increased first and then remained high. The hot spots identified are in Changzhutan and Yueyang City, while the cold spots are in Xiangxi Prefecture; 5) the epidemic prevalence was of variable interaction. Wind-free, cold and dry weather was more conducive to the spread of the epidemic; population density, road network density and GDP were the main factors affecting the epidemic spatial differentiation; and the strongest variable interaction happened between natural and social factors. 6) the influencing variables of the COVID-19 epidemic have spatial heterogeneity. The impacts of spatial distance and population density have spatial heterogeneity on both the reported cases the total infections rates of COVID-19, spatial distance has the greatest impact in northeast Hunan, and population density has the greatest impact in northwest and northern Hunan; but the mobility of population and the number of health technicians only have spatial heterogeneity of impacts on the reported cases of COVID-19, the impact of population mobility is diminishing from north to south in Hunan, and the influence of the number of health technicians decreases gradually with the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan city agglomeration as the core to the outer circle. The paper's conclusions are consistent with other scholars' studies in other regions, confirming that the epidemic not only spreads significantly in neighboring areas, but there are also "jump spreads" to distant cities that rely on the transportation network in Hunan. It is evident that restricting the entry of residents of affected areas plays a key role in COVID-19 prevention and control, and moreover, allocating plentiful health technicians, executing rigorous transport quarantine, and adopting compatible preventing measures with local and temporal conditions, are the top priorities in effectively responding to the impact of the COVID-19 epidemic.

Keywords: COVID-19 epidemic; transmission path; spatial-temporal pattern; influencing variables; Hunan Province