DOI：10.19789/j.1004-9398.2022.04.009
文献引用：庞宇欣，李昀卿，卢明华，等．湖北省新冠肺炎疫情扩散的时空过程及人文影响因素分析[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2022，43（4）：53-62+87. PANG Y X，LI Y Q，LU M H，et al. Analysis of the spatio-temporal process and humanistic influencing factors of COVID-19 spread in Hubei Province[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2022，43（4）：53-62+87.

湖北省新冠肺炎疫情扩散的时空过程及人文影响因素分析*

庞宇欣[1]，李昀卿[1]，卢明华[1**]，赵　璐[2]，周玲俐[2]

（1. 首都师范大学资源环境与旅游学院，北京　100048；
2. 首都师范大学地理空间信息科学与技术国际化示范学院，北京　100048）

摘要：新冠肺炎疫情爆发以来，持续影响民众的生产生活．本研究在分析湖北省新冠肺炎疫情扩散的时空过程的基础上，运用回归分析等方法对疫情传播的影响因素进行分析，并对疫情防控提出建议．研究表明：湖北省新冠肺炎疫情的发展经历了新增确诊病例缓慢上升、快速上升、波动下降、持续下降4个阶段；疫情严重区域主要集中在武汉市周边地区，且呈现出距离衰减的特点；疫情的传播和发展是多因素共同作用的结果，其中从武汉流入人口比例、人口规模、人均绿地面积、人均地区生产总值及城市至武汉距离5个因素影响较大，且从武汉流入人口比例为显著影响因子．希望本研究能为国内外疫情防控工作提供科学依据，帮助相关部门进一步改进防疫措施，有效控制疫情传播．

关键词：新冠肺炎疫情；扩散时空过程；影响因素；湖北省
中图分类号：R181.8；R563.1

Analysis of the spatio-temporal process and humanistic influencing factors of COVID-19 spread in Hubei Province*

PANG Yuxin[1]，LI Yunqing[1]，LU Minghua[1**]，ZHAO Lu[2]，ZHOU Lingli[2]

（1. College of Resource Environment and Tourism，Capital Normal University，Beijing　100048；
2. College of Geospatial Information Science and Technology，Capital Normal University，Beijing　100048）

Abstract：Since the outbreak of COVID-19，it has continued to impact on people's work and life. Based on the analysis of the spatio-temporal spread process of the COVID-19 in Hubei Province，this study used regression analysis and other methods to analyze the factors affecting the spread of the epidemic，and put forward recommendations for epidemic prevention and control. This study found that the development of COVID-19 in Hubei Province had gone through four stages of slow rise，rapid rise，decline with fluctuation，and continuous declination. The severely affected areas were mainly concentrated in the surrounding areas of Wuhan，and the distance was attenuated. The spread and development of COVID-19 was the result of a combination of many factors，among them，the proportion

收稿日期：2021-09-07
* 首都师范大学地理拔尖人才培育计划项目
** 通信作者：lmhannie@vip.sina.com

of the floating population from Wuhan, the size of the population, the per capita green area, the per capita GDP, and the distance from other cities to Wuhan were the five main factors. And the proportion of the floating population from Wuhan was a significant factor. We hope that this research can provide a scientific basis for domestic and international COVID-19 prevention and control and help relevant departments to improve COVID-19 prevention measures and effectively control the spread of COVID-19.

Keywords: COVID-19; spread spatio-temporal process; influencing factors; Hubei Province
CLC: R181.8; R563.1

0 引 言

新型冠状病毒肺炎(简称新冠肺炎)是由严重急性呼吸综合征冠状病毒2(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2)引起的一种急性呼吸道传染病[1].新冠肺炎涉及全世界200多个国家及地区,属于流行性疾病.我国自2019年12月在湖北省武汉市出现第1例病例,而后迅速发展.此次疫情爆发正处于春运时期,人口流动频繁且强度大,尽管在1月23日武汉实行了封城,但在封城前已有500多万人口流出武汉,存在新冠病毒携带者在封城管制前已输出到其他地区的情况,这给防治工作带来极大挑战[2-3].截至2020年4月4日,我国累计确诊人数超8万,累计死亡人数超3千,其中湖北省累计确诊67 803例[4].

新冠肺炎疫情扩散是时空演化与人地互动的地理过程,可从地理学视角深入探究.在省域及以上尺度的研究中,包括有湖北省、河南省以及全国的疫情扩散研究.在新冠肺炎疫情时空扩散过程及规律的探究中,有学者发现湖北省及全国的疫情发展均具有"S型曲线"的阶段性特征[5-8],且疫情的发展过程遵循地理邻近性,最终格局均呈现出显著的空间集聚特征,存在空间自相关[6-7,9-10];但也有学者认为湖北省疫情发展空间上出现多个中心,整体为随机分布,不具有显著的空间集聚特征[5].此外,还有学者探究了湖北省及全国疫情扩散的多种地理模式[8].在新冠肺炎疫情扩散的影响因素研究中,多数学者从人文因素进行探讨,侧重于人口流动和经济因素的影响,研究表明从武汉流出人口的流动[7-8,11-13]与社会经济指标[11,14]均对湖北省乃至全国的疫情扩散起到重要作用.也有学者认为交通出行方式[15]以及地理临近性、人口规模、交通网络、疫情防控管理等因素[8]对我国疫情扩散起到重要影响.

在有关湖北省疫情扩散的研究中,针对湖北省疫情时空演变及影响因素的综合研究较少,尚未建立更加综合的影响指标体系.因此,本文将基于已有研究成果,对湖北省疫情的扩散过程及最终格局特征进行分析,进一步从人口、交通及社会经济发展3方面进行影响因素的确定,形成一个较全面的指标体系,并尝试对不同的指标组合构建出多种分析模型,充分探讨疫情扩散的主要影响因素.湖北省是我国疫情爆发中心,对该地区疫情扩散的时空分布及影响因素进行研究,有利于了解新型冠状病毒的扩散规律及途径,可以丰富疫情相关领域的研究,同时有助于相关部门针对具体因素对防疫措施作出进一步的改进.

1 数据与方法

1.1 研究区概况

湖北省位于我国中部地区,共辖12个地级市、1个自治州、3个直管市、1个林区(图1).在疫情扩散时空过程的研究中,由于神农架作为省直管县,且是我国唯一的林区,该地区的各项指标具有特殊性(也含空值),因此将神农架林区排除;武汉市作为疫情最先发现地区,该地区疫情发展具有特殊性,从武汉流入人口比例成为研究的影响因素之一,因此为横向评估各城市及自治州受到从武汉流入人口比例的影响,将武汉市的数据去除.最终,将11个地级市、1个自治州及3个直管市作为研究区域.



图1 湖北省行政区域概况

截止2019年,湖北省常住人口为5 927万人,地区生产总值(GDP)为4.3万亿元,人均GDP约7.7万元,其中武汉市人均GDP最高,为14.6万元[16].地方一般公共预算支出7 970.2亿元,人均公共预算支出约为1.3万元,其中武汉市最高,为1.4万元[16].全省医师15.5万人,各市平均为0.5万~4.0万人[16].全省人均医师约0.002 6人,其中潜江市最多,为0.003 2人.

湖北省全省高速公路总里程达7 105 km,"四纵四横一环"高速公路骨架网基本形成,交通线路主要以武汉市为中心向外辐射,其中国家高速包括:京港澳高速、沪蓉高速、大广高速、沪渝高速、福银高速、沪武高速和武汉绕城高速等16条.孝感市、随州市、襄阳市及十堰市位于福银高速沿线,孝感市及咸宁市位于京港澳高速沿线,鄂州市、黄石市、宜昌市、恩施州位于沪渝高速沿线,黄石市也临属大广高速沿线,黄冈市位于沪武及沪蓉高速沿线.

1.2 数据来源

(1)新冠疫情数据.本文选用2020年1月9日—4月4日每日确诊病例及累计确诊病例作为该研究的疫情数据,以地级市、直管市及自治州为研究空间单元进行数据搜集与整理,数据来自湖北省卫生健康委员会每日通报的疫情数据(https://wjw.hubei.gov.cn/).

(2)人口数据.各地区人口规模数据来自《湖北省统计年鉴2020》,人口密度根据《湖北省统计年鉴2020》中人口规模和土地面积数据进行计算.流动人口数据通过百度迁徙平台(https://qianxi.baidu.com/)中各地区在2020年春运期间(1月10日—3月15日)从武汉迁出目的地比例(人口从武汉流出到各目的地的人数占从武汉流出总人口的比例)的数据获取,即认为是各地区从武汉流入人口比例数据.

(3)交通数据.交通在人口流动过程中起到重要作用,反映城市内部的交通可达性以及各地区与武汉的交通关联性.用城市建成区道路面积率反映各城市内部的交通状况,数据来源于《中国城市建设统计年鉴2019》以及《恩施州统计年鉴2019》.武汉到各城市的距离(指普通公路及高速公路)用来衡量武汉与其他各市间的交通关联性,该数据通过百度地图平台(https://map.baidu.com/)查找得到.

(4)社会经济数据.本研究以人均地区生产总值、人均医务人员、人均绿地面积、人均公共预算支出4项指标来反映各地区的社会经济发展水平.其中人均地区生产总值数据来源于《2020年湖北省统计年鉴》.其余3项分别以执业(助理)医师(以下简称医师)数、绿地面积、地区一般公共预算支出作为分子,人口规模数据作为分母进行计算得出.其中,医师数来源于《2020年湖北省统计年鉴》及《恩施州统计年鉴2019》《潜江市统计年鉴2019》《天门市统计年鉴2019》《仙桃市统计年鉴2019》,绿地面积是通过《中国城市建设统计年鉴2019》得出,地区一般公共预算支出是来自《湖北统计年鉴2020》.

(5)地图数据.湖北省行政区域地图矢量数据的最小尺度是市级地域尺度,底图数据来源于湖北省自然资源厅(http://zrzyt.hubei.gov.cn/),审图号为鄂S(2020)003号.交通线路(高速公路及高铁线路)、河流(长江干流及支流)数据,均来自于GEOFABRIK downloads(http://download.geofabrik.de/)网站.

1.3 研究方法

1.3.1 普通最小二乘法

普通最小二乘法[17-18](ordinary least squares,OLS)是较为常见的线性回归方法,是多数空间回归分析的基础.但当数据出现空间自相关时,OLS的分析结果无效,因此在进行OLS回归之前需要对研究的因变量进行空间自相关分析,即全局性莫兰指数(Moran's *I*)检验.

在分析前运用SPSS对所研究的变量进行*Z*-score标准化,以减小误差.基于ArcGIS10.2软件实现,首先通过空间统计工具-分析模式中的Moran's *I*进行分析,然后进行空间统计工具-空间关系建模中的OLS分析.

1.3.2 探索性回归

探索性回归法[19]作为数据发掘工具,当出现较多的影响因素时,可以找到解释变量组合的最优模型.该模型将所有解释变量所构成的模型逐一输入,得到通过OLS诊断的模型,该模型可以采用OLS方法进行分析.

在分析之前,先运用SPSS对研究变量进行*Z*-score标准化,以减小误差.在ArcGIS10.2软件中,通过空间统计工具-空间关系建模中的探索性回归工具进行分析,设定解释变量最小和最大数量分别为1和9,尽量将所有组合模型进行检验.

2　湖北省新冠肺炎疫情扩散的时空过程及格局

2.1　疫情发展时间变化

湖北省是我国疫情最严重的地区,2019年12月8日武汉首次出现不明原因27例肺炎病例,2020年1月9日病原检测结果初步评估专家组将该类病毒初步诊断为新冠病毒,当日武汉确诊新型冠状病毒感染的肺炎病例41例.截止到4月4日24时,湖北省累计病例67 803例,占当日全国累计病例的78.3%.

从1月9日将该病毒诊断为新冠病毒开始(图2),湖北省新增确诊病例开始逐渐增多,起初主要为武汉市病例的增加.1月20日,武汉市外(黄冈市)首次确诊12例.1月27日开始,疫情在湖北省全面爆发,确诊病例持续增长.新冠肺炎新增病例至2月4日增幅最大,2月4日—18日出现增幅波动下降趋势.其中,2月12日出现新增确诊病例的大幅度增加,主要是由于自2月12日起新冠疫情数据统计口径发生了改变,湖北省将临床诊断病例数纳入确诊病例数进行公布,其中2月12日新增确诊病例中包含13 332例临床病例.2月18日—27日内出现小幅度波动,总体呈下降趋势,但下降幅度较小.2月27—29日新增确诊病例出现上升趋势,此后新增确诊病例开始持续下降,3月18日湖北省新增确诊首次清零,3月23日及4月3日在武汉市分别出现1例本土病例,4月4日再次清零.

在疫情发展过程中,可以依据新增确诊病例数将湖北省疫情发展的时间变化过程分为4个阶段:缓慢上升阶段(1月9日—1月27日),该阶段每日新增确诊病例平均为79例,前期(1月20日以前)均为武汉市内病例增长,至1月27日疫情已经波及至湖北全省;快速上升阶段(1月28日—2月4日),该阶段湖北省每日新增确诊病例平均为1 554例,2月4日新增确诊病例达3 156例;波动下降阶段(2月5日—18日),该阶段每日新增确诊病例呈现波动下降,且总体降幅较大,从3 156例下降至1 693例;持续下降阶段(2月19日—4月4日),该阶段每日新增确诊病例呈下降趋势直至新增确诊病例为零,也出现轻微波动,总体下降幅度相对上一阶段明显减小,从631例缩减至0例.

2.2　疫情扩散空间格局变化

2.2.1　新增病例的空间格局变化

基于ArcGIS10.2软件,选择1月27日、2月4日和2月18日分别代表湖北省疫情发展4个阶段的分界点,将分界点新增确诊病例的空间格局进行可视化,将新增确诊病例数据按照自然间断法(natural break)进行划分,见图3.

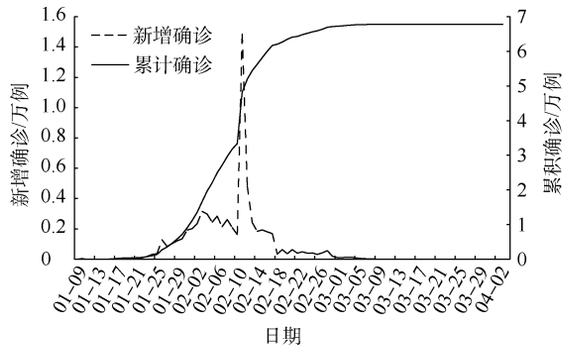


图2　湖北省确诊病例的时序变化

注:2月12日因病例诊断标准调整,故当日数据变化大.

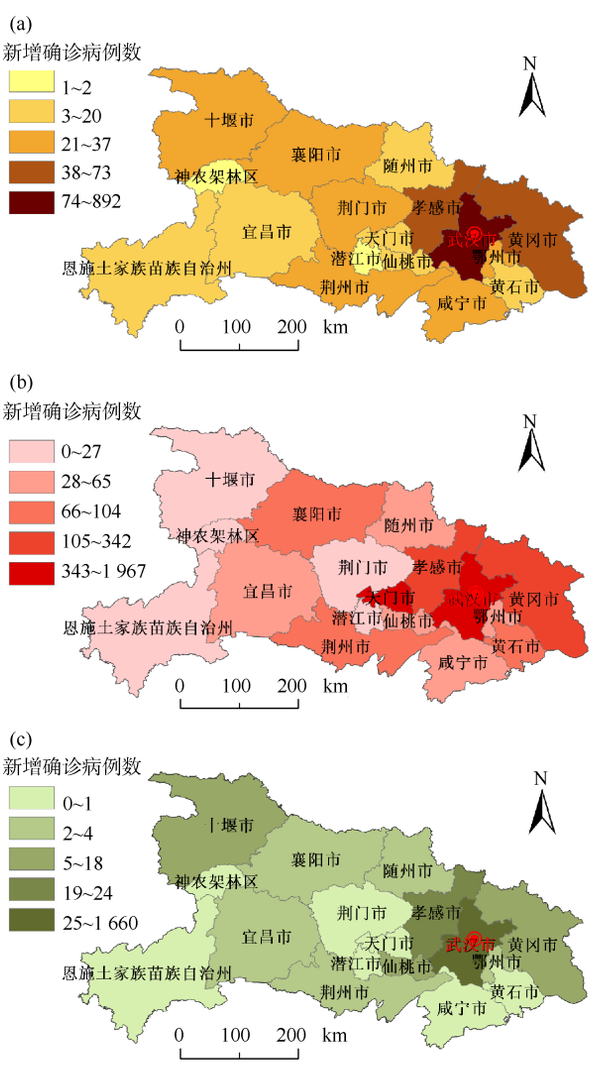


图3　湖北省新增确诊病例数的空间格局变化

(a)1月27日;(b)2月4日;(c)2月18日

从时空格局上看,湖北省疫情最早集中在武汉市爆发,先以武汉市内扩散为主.1月20日后,疫情开始向其他各市进行扩散,首先扩散至武汉市东部相邻的黄冈市,当日出现确诊病例12例;1月22日疫情波及荆州市、荆门市,当日荆州市出现确诊病例6例、荆门市出现1例;1月23日疫情在孝感市、宜昌市、十堰市首次出现,当日孝感市确诊病例22例,宜昌市、十堰市均为1例;1月24日鄂州市、随州市均首次出现新冠肺炎疫情,当日确诊病例数分别为1和5例;1月25日襄阳市、黄石市、咸宁市均首次出现确诊病例,该日3市确诊病例分别为2、31和43例,且该日湖北省12个地级市均出现新冠肺炎疫情;截止到1月27日,全省各地区均出现新增病例,疫情在湖北省内全面爆发,疫情的扩散过程主要表现为先向东部、东北部后向西部地区扩散,见图3(a).

根据图3(b),新增确诊病例的上升阶段疫情的扩散格局主要以湖北省东部地区的武汉市和黄冈市为主,并且有逐渐向西部转移的趋势,疫情严重地区主要集中在武汉市及其周边地区,且呈现出南多北少的空间格局.在确诊病例的下降阶段,全省各地区的新增确诊病例均出现波动下降,黄石市、咸宁市等多个城市最早出现零新增,该阶段疫情中心转移至武汉市及其以西的孝感市、十堰市,见图3(c).直至4月4日,湖北省全省无新增病例.

2.2.2　累计病例的空间格局

利用ArcGIS10.2软件对湖北省新冠疫情的最终格局进行可视化,利用自然间断点(natural breaks)的方式将数据划分为5类,得到截至4月4日的湖北省累计确诊病例分布(图4).

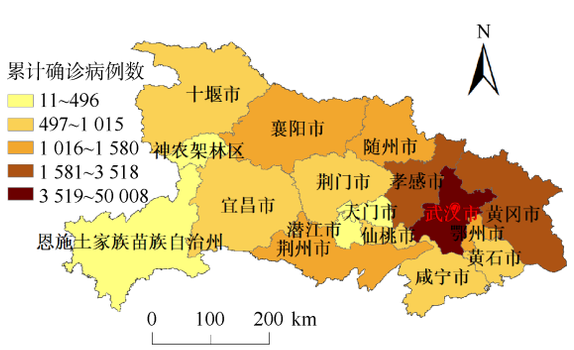


图4　截至4月4日湖北省累计确诊病例分布

截至4月4日,疫情最严重地区为武汉市,累计确诊50 008人,占湖北全省的73.76%,湖北省的疫情变化主要由武汉市疫情状况所决定.除武汉外孝感市的累计病例最多,超3 500人,所占比例为5.19%.其余大部分城市的累计确诊比例占全省的2.00%以下.其中,恩施土家族苗族自治州、潜江市、天门市及神农架林区的累计确诊较少,以神农架林区为最少,约为0.02%.可见,疫情严重区域主要集中在武汉市周边地区,呈现距离衰减的趋势.

3　湖北省新冠肺炎疫情空间格局的人文影响因素

3.1　研究变量

本文以湖北省除武汉市及神农架林区以外的15个城市为研究区域,选取了10个指标作为研究变量(表1).其中,被解释变量为累计确诊病例数,该变量作为衡量疫情严重程度的指标.截至到2020年4月4日,湖北省(除武汉市)累计确诊病例共计17 795例.根据表1,湖北省累计确诊病例在各地区的差异较大,且离散程度较强.

首先,新冠病毒为“人传人”,新冠肺炎疫情的大范围扩散与人口大规模流动密切相关[20].因此选用人口数据中的从武汉流入人口比例进行研究.人作为疫情扩散的主体,除了人口流动外,还有很多因素会影响疫情扩散,例如宏观上的人口规模、微观上的个人防护等[21].由于微观层面的数据难以获取,在宏观的角度本文还选取了人口规模、人口密度2个指标作为解释因素.根据表1中标准差和方差,各市的人口密度及人口规模数据差异均较大.流动人口方面,从武汉流入人口比例的总和为69.41%,可见从武汉流出人口大多是在湖北省内.

其次,在人口流动过程中,交通载体起到了重要作用,城市间交通体系的完善反而会促使疫情扩散.一是选用各城市的建成区道路面积率来反映城市内部的交通可达性,探究城市内部交通体系的完善程度对疫情扩散的影响.同时,空间邻近效应使疾病在城市之间不断扩散[11],根据地理学第一定律,地理邻近性会影响区域的空间关联性,这种空间关联性是疫情空间传播的重要基础.由于公路运输已是现代社会的主导交通方式,影响着城市空间的相互作用[5,22].因此,二是选择各城市至武汉距离来反映各城市与武汉的交通距离远近.城市建成区道路面积率在随州市为最小,孝感市最大.城市至武汉距离上,恩施土家族苗族自治州距离最远,孝感市距离最近.2个指标在各市间均存在较明显

的差异,且均接近正态分布.

同时,根据流行病学的研究,传染病传播分为生态过程(ecologic process)和社会过程(social process),城市的社会经济发展水平与上述2种传播过程的关系十分密切,尤其对以社会过程为主体的传播方式有着重要的影响,并最终影响城市中人群的总体确诊病例数[11,23].人均生产总值反映了经济发展的水平,通过影响人口流动的强度进而影响疫情的发展[24].而人均医务人员的数量、人均公共预算支出以及人均绿地面积分别反映出该地区的医疗服务水平、公共财政投入、绿色空间配置等指标,这3个方面均在一定程度上影响了突发性传染病发生后城市对居民健康的保障能力[11].这4个指标在各市均相差较小,且数据均接近正态分布.

3.2 OLS结果

由于地理空间对象常出现自相关,导致距离越相近的地理事物其相似性越强[24].因此,空间数据可能会出现空间依赖性,需通过Moran's I来反映空间自相关状况.在对数据进行回归前,运用ArcGIS对累计确诊病例数进行全局性Moran's I检验,得到Moran's I为−0.047,标准差异(Z)得分为0.247,显著性水平(P)值为0.805,表明数据在空间中为随机分布,不存在空间自相关,因此可以直接采用传统的回归模型.

在进行普通最小二乘法分析前,通过探索性回归选择合理模型.人口密度、人口规模、从武汉流入人口比例、城市建成区道路面积率、城市至武汉距离、人均地区生产总值、人均绿地面积、人均医务人员、人均公共预算支出9个因子与累计确诊之间的探索性回归全局汇总,其中校正可决系数(R^2)值用于测量模型的性能和拟合程度,该模型可以解释85.32%的现象.表2中探索性回归得到经过修正的Akaike信息准则(AICc)和Jarque-Bare P(JB)值指示残差呈正态分布.K(BP)为Koenker的标准化Breusch-Pagan P值,其结果表明模型中解释变量在地理空间和数据空间中与因变量的一致关系.并且,方差膨胀因子(variance inflation factor,VIF)测量出解释变量中不存冗余,各解释变量间不存在多重共线性.因此,模型均可用于OLS模型分析,通过残差空间自相关的测量(SA),空间模式呈随机状态,模型效果较好.

经过探索性回归分析得到8个通过模型(表2),均通过检验可以成为OLS分析的模型.

模型通过减少贡献较低的指标,逐步分析出影响疫情传播的主要因素,表3中模型Ⅰ和Ⅱ为探索性回归的最大校正模型,模型Ⅲ和Ⅳ为探索性回归中的通过模型七和八(表2).根据OLS多个模型结果(表3):从武汉流入的人口比例、人均地区生产总值、人口规模、城市建成区道路面积率、人均医务人员对疫情的扩散呈现正相关关系;而人均绿地面积、城市至武汉距离、人均公共预算支出对疫情扩散呈现负相关关系.

呈现正相关关系表明该解释变量对疫情扩散起到促进的作用.从武汉流入人口比例、人均地区生产总值、人口规模在回归模型中的回归系数均为正值,呈现出较显著的正相关,促进疫情的扩散.其中,从武汉流入人口比例对疫情扩散的贡献最大,回归系数为0.449~0.711,因此当某地区从武汉流入人口比例增加1%,该地区会增加约0.449~0.711个病例数.其次,人均地区生产总值也促使疫情发展,当人均地区生产总值每增加1万元,会导致病例增加0.242~0.344例.同时,人口规模也为一定程度上促使疫情的扩散,回归模型中系数在0.134~0.475,影响程度次于上述2个指标.

表1 研究变量

变量类型	变量/单位	平均值±标准误差	标准差	方差	偏度	峰度	最小值	最大值
被解释变量	累计确诊病例/人	1 185.600±237.635	920.360	847 055.100	1.620	2.445	198.000	3 518.000
解释变量	人口密度/(人·m^2)	362.477±41.286	159.900	25 568.070	0.307	−1.039	143.580	663.970
	人口规模/万人	323.880±46.648	180.669	32 641.190	0.303	−1.173	96.610	633.300
	从武汉流入人口比例/%	4.627±0.817	3.166	10.021	1.621	2.113	1.250	12.040
	城市建成区道路面积率/%	15.157±1.252	4.847	23.498	1.059	1.202	8.950	26.867
	城市至武汉距离/km	201.647±36.375	140.880	19 847.040	1.144	0.485	60.800	520.700
	人均地区生产总值/万元	6.603±0.591	2.291	5.248	0.512	−0.501	3.426	10.783
	人均绿地面积/(hm^2·万人$^{-1}$)	11.572±1.345	5.209	27.131	−0.263	−0.487	1.937	19.644
	人均医务人员数量/人	0.002±0.000	0	0	0.544	−0.630	0.002	0.003
	人均公共预算支出/万元	0.830±0.088	0.341	0.117	−0.843	−0.404	0.171	1.217

表2 探索性回归通过模型

模型	解释变量	R^2值	AICc	JB	K(BP)	VIF	SA
模型一	人均绿地面积	0.55	36.64	0.99	0.09	1.00	0.14
模型二	人口规模 城市至武汉距离	0.72	32.00	2.39	0.25	1.08	0.95
模型三	城市至武汉距离 人均绿地面积	0.70	33.33	0.87	0.39	1.00	0.44
模型四	城市建成区道路面积率 人均绿地面积	0.67	34.41	0.50	0.35	1.07	0.71
模型五	人口规模 人口密度	0.59	38.01	0.65	0.26	1.13	0.52
模型六	城市道路面积率 人均医务人员	0.53	39.77	0.71	0.17	1.00	0.60
模型七	从武汉流入人口比例 人均地区生产总值 人均绿地面积	0.86	25.29	0.20	0.37	2.70	0.79
模型八	人口规模 城市至武汉距离 人均绿地面积	0.80	30.57	0.42	0.28	2.21	0.54

注:R^2值为校正可决系数;AICc为经过修正的Akaike信息准则;JB为Jarque-Bera P值;K(BP)为Koenker的标准化Breusch-Pagan P值;VIF为方差膨胀因子;SA为残差空间自相关的测量(全局性Moran's I P值).

表3 模型回归系数与统计判断

指标	OLS	模型Ⅰ	模型Ⅱ	模型Ⅲ	模型Ⅳ
人口密度	−0.088	—	—	—	—
人口规模	0.134	0.174	0.175	0.475*	—
从武汉流入人口比例	0.535	0.449*	0.497*	—	0.711*
城市建成区道路面积率	0.091	0.105	—	—	—
城市至武汉距离	−0.231	−0.239	−0.266	−0.550*	—
人均地区生产总值	0.331	0.242	0.259	—	0.344*
人均绿地面积	−0.500	−0.437*	−0.438*	−0.405*	−0.476*
人均医务人员	0.045	—	—	—	—
人均公共预算支出	−0.069	—	—	—	—
截距	0.000 002	0.000 002	0.000 002	0.000 001	0.000 002

注:*表示P<0.1;—表示无数据;OLS为普通最小二乘法.

呈现负相关关系表明该解释变量对疫情发展起到抑制作用.人均绿地面积及城市至武汉距离在回归模型中的回归系数均为负值,呈现出明显的负相关,抑制疫情的扩散.其中,人均绿地面积对疫情的扩散呈现出最为显著的抑制作用,回归系数介于−0.500~−0.405,因此当某地区的人均绿地面积增加1 hm^2/万人,病例会减少0.400~0.500例.其次,至武汉距离越远确诊病例数会相应减少0.231~0.550例.而人口密度、城市建成区道路面积率、人均医务人员、人均公共预算支出这4个指标的贡献较小,回归系数<0.100.

4 讨 论

从武汉流入人口比例是影响累计确诊病例空间分布的重要因素,该变量在5种模型中回归系数均最大(0.449~0.711),且在多个模型中从武汉流入人口比例在概率值及稳健概率呈现统计显著性,表明从武汉流入某地区的人口越多,该地区的疫情会更为严重,即累计确诊人数越多.此次疫情爆发于我国的春运时期,该时期人口大规模流动,人口流动作为疫情扩散最直接的原因,将新冠病毒扩散

至武汉市以外的其他地区.相关研究表明,流动人口可能为病毒携带者,将各种病菌、病毒等传播至原本无病源的地区,成为病毒的传播者;流动人口到达目的地后暴露在流入地的病源中,成为由病毒引发疾病的受害者;并且流动人口在陌生环境内,对当地的环境、饮食和风俗习惯、生活方式等不适应,也会导致免疫力下降,从而更容易受到感染.人口流动是促使疫情大规模扩散的重要因素[25-26].因此从武汉流入人口比例作为关键因子,对疫情的扩散有重要的影响.

人口规模会促使疫情扩散,且在部分模型中该指标的概率值及稳健概率呈现统计显著性,因此表明人口规模大的地区疫情扩散更严重.根据研究表明,人口规模对传染病的接触率起到决定作用,在人口密集地区,人口数量增加一倍可能会使接触人数增加一倍[27-28].而人口密度回归系数及显著性均较小,对疫情传播的影响不显著.

交通指标中城市至武汉距离对疫情传播产生一定影响,主要由于疫情传播具有空间临近效应,因此至武汉距离越近的地区疫情越严重,而距离武汉较远的地区疫情状况相对较轻.有研究认为:交通运输线路可以承载大量的人口流动,孝感市、黄石市、鄂州市、黄冈市、咸宁市等距离武汉市较近,具有很高区位优势的地区,由于人口流动更为频繁,使疫情发展更严重[29].而城市建成区道路面积率对疫情传播的影响较小,其主要影响各市区内的人口流动,来影响疫情在城市内的传播.

社会经济发展指标中人均绿地面积对疫情传播有重要抑制作用,该指标反映了城市总体绿化程度[11],在多个模型中概率及稳健概率呈现统计显著性.因此城市绿化程度较好的地区对疫情的传播有良好的控制作用.有研究显示,城市绿色空间对传染病的传播具有多重效应,其中绿地面积可以通过对空气中病毒的传播进行控制,并且能缓解心理压力[30].尤其是对于呼吸系统健康,可以有效减少人体暴露的风险[29].同时城市绿地可为居民锻炼身体提供场所,有益于身心健康,提高居民的身体素质[31-33].因此,增加城市绿地比例,一定程度上有利于防止传染病的爆发和传播.人均地区生产总值对疫情扩散有一定促进作用.GDP是重要的经济指标,用来衡量地区经济发展水平.有研究表明,人口迁移的主要地域指向与主要迁入地的经济发展水平高度相关且呈现正向关系[34-39].GDP较高的地区就业机会较多,对人才的需求量较大且收入较高,并且具有较为完善的交通体系和综合交通枢纽,吸引人口流入并促使人口流动加剧,使得疫情传播速度加快.同时有学者认为,经济的发展促进了人口城市化发展[40],经济发展是推动城市化发展的原始动力,并且二者之间存在对数正比关系,其作用机制较为复杂[41-42].因此,经济发展水平和城市化推动了人群在空间上的聚集,人与人之间的联系更加紧密,提高了传染病疫情的传播速度[43].而人均医务人员和人均公共预算支出的影响较小,主要由于在湖北省爆发疫情时,全国集中人力物力进行支援,且与受到省外医务援助力量的投入有关,因此该指标对疫情发展不起到决定性作用.

5 结论与建议

5.1 结论

湖北省是我国疫情最先爆发的省份,也是疫情最严重的地区.本文对新冠肺炎疫情的扩散过程和空间格局进行研究,并分析了空间格局的影响因素.研究表明:湖北省新冠肺炎疫情的发生发展分为新增确诊病例缓慢上升、快速上升、波动下降和持续下降4个阶段.在扩散过程中,最早以武汉市内扩散为主;而后呈现出先向东部及东北部扩散后向西部扩散的趋势;当疫情逐步得到控制后,黄石市及咸宁市等城市确诊病例数最早出现下降,疫情中心以武汉市及其以西的孝感市、十堰市等城市为主.4月4日实现湖北省全省零新增的态势,最终疫情空间格局主要集中在武汉市及周边地区,且呈现出距离衰减的趋势.

根据空间回归分析结果:在疫情发展过程中,从武汉流入人口比例成为最重要的因素之一,武汉流出的人口加重了各地区疫情的发展,对疫情扩散起到了显著的影响.人均绿地面积对疫情的发展起到较为重要的抑制作用,人均绿地面积较多的地区,疫情发展较轻.同时,由于疫情传播的主要途径为呼吸道飞沫传播和接触传播[44].因此,一个地区的人口规模影响了该地区内人口流动的强度,进而对疫情发展产生影响.人口规模越大的地区,其内部人口流动越频繁,促使该地区的疫情快速发展.除此之外,城市至武汉距离和人均地区生产总值也对疫情发展产生作用.公路运输作为重要的交通方式,在疫情的区际传播中起到了“桥梁”的作用,距离武汉较近或与武汉之间交通便利的地区疫情相

对更为严重.同时,经济发展是我国人口迁徙的主要动力,促进地区的人口流动.对于人均地区生产总值较高的城市社会发展水平普遍较高,使得该地区吸引人口的流入,加大人口流动强度,因此该地区疫情普遍较为严重.在一定程度上,城市建成区道路面积率为疫情的区内传播起到了促进作用,道路面积率较高的地区内部交通可达性较好,促进了研究地区内的人口流动,导致疫情恶化.而人口密度、人均医务人员数量及人均公共预算支出的对湖北省的疫情扩散影响相对较弱.

与前人研究对比.在疫情扩散的时间维度上,本文得出的疫情发展阶段与已有研究所探究的疫情变化趋势相一致,时间段的划分也基本一致,有关疫情扩散过程及最终空间格局相似[5,8].但本文还根据不同阶段疫情发展的时空格局变化进行分析,并阐述了疫情中心的转移趋势.在影响因素分析上,与多数学者研究结果类似,认为从武汉流出人口、人口规模及人均GDP加速了疫情的发展[7-8,11-13,45],而人均绿地面积有助于疫情防控[46-48].本研究还证实,城市至武汉距离对湖北省疫情发展也起到一定作用.相较于其他研究,本文选择了更加综合和全面的影响因素指标,发现同一方面的指标间存在相关性,当人口、交通、社会经济发展3个方面各包含1个指标时的综合分析结果更加显著.本研究也存在一些不足之处:一方面,在湖北省疫情爆发时各地进行了人力、财力和物力的支援,而这部分的医务人员数量和捐款总额数据未纳入到研究中,使得2个指标在回归分析时可能出现偏差.另一方面,由于数据收集的限制,本文缺少对其他各个城市之间及城市内部的人口流动对疫情影响的探究,也未探讨省际之间的人口流动对湖北省疫情传播发展的影响.

5.2 建议

根据上述研究结果,本文对疫情防控提出以下几点建议:

(1)从武汉流入人口是最关键的因素,因此在防疫工作中要严格把控我国及我国各地区的出入关口,对城市边界制定和实施合理的管控制度,有效的限制人口流动强度.并且充分利用人口流动大数据,加强跨区域、跨部门的协作,实时同步人口流出地与流入地的相关信息,对人口流动的方向及强度进行精准、动态的监测和统计分析,充分把握各地区的人口流向,更好地追踪病例和控制疫情.同时应重点关注疫情的潜伏期,进行科学的流入人员隔离.目前关于疫情潜伏期和再生数等研究的结论尚未统一和明确,因此应把握好入境人员的隔离天数,境外人员入境后需要(14+7)、(14+7+7)或(14+14) d等隔离时间的要求[49-50].并且做好相关的检测,包括核酸检测和抗体检测等.

(2)交通的日益便捷,在各地区内部及各地区间出现强度较大的人口流动,因此要对交通站点进行严格的疫情防控,针对不同的交通方式策划合理的疫情管控措施.并且要科学地使用交通大数据对交通运输及交通网络的监测和统计,以更好地追踪和限制人口的流动.同时随着交通运输的发展,公共交通工具已经成为居民的主要出行方式.而公共交通均处于较为密闭的空间,容易增加病毒的传播机会,可能出现聚集性感染[51].所以相关部门及人员要加强合作,保障公共交通设施内的通风换气及消毒工作,并针对不同环境进行科学安排,确保公共交通出行中的疫情防控工作能够严格实施.

(3)应在城市内建设公共健康单元,积极完善各种促进健康的设施及资源.相关部门要重视城市绿地的健康服务价值,增加、保护及合理布局城市绿地面积,保证适当的绿地面积,推进健康城市的治理.有研究显示街头绿地平均访问密度最高[52],因此加强此类绿地的基础设施建设以及健身功能强化等.同时要完善各地区的疫情防控机制和应急管理体系,加强公共卫生技术的开发,做好技术战略储备.在面对突发公共卫生事件时,能够及时、有效地进行应对和防治.对高风险类型的场所,尤其是居民生活物资的直接供应地点,要严格把控所售商品及销售手段,并加强消毒等防疫措施.

(4)各地区要对居民进行防疫工作和防护知识的科普,增强居民素质和疫情防范意识.倡导居民尽量减少出行或合理出行,降低人口流动性,减少人口密度及人口规模对疫情传播的风险,在主动配合地区各项防疫工作的基础上做好个人防护.并且相关部门要正确引导市民对城市公共健康单元建设工作及城市绿地保护工作给予支持和帮助.

参 考 文 献

[1] 世界卫生组织(WHO).2019冠状病毒病(COVID-19)基本信息[EB/OL].(2020-10-12)[2021-05-25].https://www.who.int/zh/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19.

[2] 周成虎,裴韬,杜云艳,等.新冠肺炎疫情大数据分析与区域防控政策建议[J].中国科学院院刊,2020,35(2):200-203.
[3] 宋元林,白春学.新型冠状病毒(2019-nCoV)肺炎流行期间呼吸科门诊质控上海专家共识[J].复旦学报(医学版),2020,47(2):143-150.
[4] 国家卫生健康委员会.截至4月4日24时新型冠状病毒肺炎疫情最新情况[EB/OL].(2020-04-05)[2021-05-25]. http://www. nhc. gov. cn/yjb/s7860/202004/4f4e36d54fc941d48f6ce6554514075e.shtml.
[5] 吕振华,程绍文.基于Crystal Ball和GIS的湖北省新冠疫情时空特征研究[J].华中师范大学学报(自然科学版),2020,54(6):1059-1071.
[6] 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.
[7] 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.
[8] 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.
[9] 刘勋,孟秋雨,张鸿,等.湖北省新型冠状病毒肺炎疫情的时空分布特征初步分析[J].实用预防医学,2020,27(8):902-905.
[10] 巫细波,张小英,葛志专,等.我国COVID-19疫情时空演变特征研究:基于314个城市329天面板数据[J].地域研究与开发,2021,40(1):1-6.
[11] 梁泽,王玥瑶,孙福月,等.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[J].环境科学研究,2020,33(7):1571-1578.
[12] SONG W Y, ZANG P, DING Z X, et al. Massive migration promotes the early spread of COVID-19 in China: a study based on a scale-free network [J]. Infectious Diseases of Poverty,2020,9(1):109.
[13] CHEN Y, CHEN M, HUANG B, et al. Modelling the spatiotemporal association between COVID - 19 transmission and population mobility using geographically and temporally weighted regression [J]. GeoHealth,2021,5:e2021GH000402.
[14] LIU S, QIN Y, XIE Z, et al. The spatio-temporal characteristics and influencing factors of Covid-19 spread in Shenzhen, China: an analysis based on 417 cases [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2020,17:7450.
[15] ZHANG Y,ZHANG A,WANG J. Exploring the roles of high-speed train, air and coach services in the spread of COVID-19 in China[J]. Transport Policy,2020,94:1-24.
[16] 湖北省人民政府.湖北省2019年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2020-03-23)[2021-04-16].http://www.jl. gov. cn/sj/sjcx/ndbg/tjgb/202004/t20200403_7024695.html.
[17] WANG S J, FANG C L, MA H T, et al. Spatial difference sand multi-mechanism of carbon footprint based on GWR model in provincial China[J]. Journal of Geographical Sciences,2014,24(4):612-630.
[18] YANG H T, LU X Z, CHERRY C, et al. Spatial variations inactive mode trip volume at intersections: a local analysis utilizing geographically weighted regression [J]. Journal of Transport Geography, 2017, 64:184-194.
[19] 张子威,黄秋昊,陆羽,等.中国居民预期寿命及其影响因素的空间差异分析[J].地球信息科学学报,2021,23(9):1575-1585.
[20] 国家卫生健康委员会流动人口服务中心课题组.新冠肺炎防控要重点关注流动人口的聚集与流动[EB/OL].(2020-02-18)[2021-05-30].http://www.ldrk.org.cn/rsf/site/nmpw/zonghexinxi/info/2020/76733.html
[21] 曾永明,骆泽平,杨敏,等.人口流动与城市早期新冠肺炎疫情空间扩散及分布关系研究[J].人口与社会,2020,36(5):69-84.
[22] 王明苹,杨仕勇,王成新,等.高速公路对城市群空间相互作用的影响研究:以山东半岛城市群为例[J].华南师范大学学报(自然科学版),2010(4):117-121.
[23] 王兰.建构"公共健康单元"为核心的健康城市治理系统:应对2020新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J].城市规划,2020,10(2):9.
[24] TOBLER W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit Region[J]. Economic Geography, 1970,46(2):234-240.
[25] 杨华磊,吴远洋,蔺雪钰.新冠状病毒肺炎、人口迁移与疫情扩散防控[J].中国管理科学,2020,28(3):1-10.
[26] 任飞斐,傅鸿鹏,刘民,等.人口流动的分类及其对传染病传播的影响[J].卫生软科学,2010,24(3):272-276.
[27] GREENHALGH D, LIANG Y, MAO X. SDE SIS epidemic model with demographic stochasticity and varying population size [J]. Applied Mathematics and Computation,2016,276:218-238.
[28] ZHOU J, HETHCOTE H W. Population size dependent incidence in models for diseases without immunity [J]. Journal of Mathematical Biology,1994,32(8):809-834.
[29] 廖文悦,孙美薇,余楚滢,等.基于多源数据的湖北省COVID-19疫情时空扩散影响因子分析[J].热带地理,2021,41(1):12-24.
[30] 马明,蔡镇钰.健康视角下城市绿色开放空间研究:健康效用及设计应对[J].中国园林,2016(11):66-70.

(下转第87页)

hydrogel embedded with Ag/Ag@AgCl/ZnO nanostructures[J]. ACS Nano,2017,11(9):9010-9021.
[40] HU C,ZHANG F,KONG Q,et al. Synergistic chemical and photodynamic antimicrobial therapy for enhanced wound healing mediated by multifunctional light-responsive nanoparticles[J]. Biomacromolecules,2019,20(12):4581-4592.
[41] WANG Y F,MENG H M,SONG G S,et al. Conjugated-polymer-based nanomaterials for photothermal therapy [J]. ACS Applied Polymer Materials, 2020, 2(10):4258-4272.
[42] WANG H, ZHOU S, GUO L, et al. Intelligent hybrid hydrogels for rapid in situ detection and photothermal therapy of bacterial infection[J]. ACS Applied Materials & Interfaces,2020,12(35):39685-39694.
[43] KONG Y, HOU Z, ZHOU L, et al. Injectable self-healing hydrogels containing CuS nanoparticles with abilities of hemostasis, antibacterial activity, and promoting wound healing[J]. ACS Biomaterials Science & Engineering,2021,7(1):335-349.
[44] HUANG S, LIU H, LIAO K, et al. Functionalized GO nanovehicles with nitric oxide release and photothermal activity-based hydrogels for bacteria-infected wound healing[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12(26):28952-28964.
[45] ZHAO C, CHEN R, CHEN Z, et al. Bioinspired multifunctional cellulose nanofibril-based in situ liquid wound dressing for multiple synergistic therapy of the postoperative infected wound [J]. ACS Applied Materials & Interfaces,2021,13(43):51578-51591.

(责任编辑:王 媛)

(上接第62页)

[31] 王兰,廖舒文,王敏.影响呼吸系统健康的城市绿地空间要素研究:以上海市某中心区为例[J].城市建筑,2018(9):10-14.
[32] 丁向阳,董桂萍.论生态城市绿地系统的综合效益[J].地域研究与开发,2005(3):53-56.
[33] 李秉毅,张琳. SARS爆发对我国城市规划的启示[J].城市规划,2003,27(7):71-72.
[34] 秦志琴.山西省迁移人口空间格局变化及其经济因素分析[J].地域研究与开发,2015,34(1):166-171.
[35] 鲁奇,王国霞,杨春悦,等.流动人口分布与区域经济发展关系若干解释(1990、2000)[J].地理研究,2006,25(5):765-774+949.
[36] 蔡建明,王国霞,杨振山.我国人口迁移趋势及空间格局演变[J].人口研究,2007,31(5):9-19.
[37] 王桂新,刘建波.长三角与珠三角地区省际人口迁移比较研究[J].中国人口科学,2007(2):87-94+96.
[38] 刘盛和,邓羽,胡章.中国流动人口地域类型的划分方法及空间分布特征[J].地理学报,2010,65(10):1187-1197.
[39] 吕晨,樊杰,孙威.基于ESDA的中国人口空间格局及影响因素研究[J].经济地理,2009,29(11):1797-1802.
[40] 卢丽文,张毅,李永盛.中国人口城镇化影响因素研究:基于31个省域的空间面板数据[J].地域研究与开发,2014,33(3):54-59.
[41] 许学强,周一星,宁越敏.城市地理学[M].北京:高等教育出版社,1996:39-45.
[42] 梁进社.城市化与国民经济发展之关系的理论分析[J].自然资源学报,1999,14(4):351-354.
[43] TONG M X, HANSEN A, HANSON-EASEY S, et al. Perceptions of malaria control and prevention in an era of climate change: a cross-sectional survey among CDC staff in China[J]. Malaria Journal,2017,16(1):136.
[44] 王宣焯,廖聪慧,李志慧,等.广东省新型冠状病毒肺炎早期流行与时空分布情况初步分析[J].热带医学杂志,2020,20(4):427-430+571.
[45] 漆翠芳,杨力仁,杨子轩,等.影响新型冠状病毒肺炎省际传播与发展的因素:基于30个省市的数据分析[J].西安交通大学学报(医学版),2020,41(5):757-763.
[46] 付彦荣,贾建中,王洪成,等.新冠肺炎疫情期间城市公园绿地运行管理研究[J].中国园林,2020,36(7):32-36.
[47] 王琳,赵俊三.城市群新冠疫情时空分布格局与分异机制的地理探测[J].生态学报,2020,40(19):6788-6800.
[48] 王志鹏,王薇.新冠肺炎(COVID-19)疫情下居住区绿地对居民心理健康影响的实证研究[J].景观设计学,2020,8(6):46-59.
[49] 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.
[50] 牛方曲,辛钟龄,王芳.基于交通管控效应的中国COVID-19疫情扩散的时空特征及其危险性[J].热带地理,2021,41(1):1-11.
[51] SHEN J,DUAN H,ZHANG B,et al. Prevention and control of COVID-19 in public transportation: experience from China[J]. Environmental Pollution,2020,266:115291.
[52] 李双金,马爽,张永民.郑州主城区公园绿地可达性与访问偏好匹配度的空间格局研究[J].地域研究与开发,2019,38(2):79-85.

(责任编辑:李拓宇)