

影响新型冠状病毒肺炎省际传播与发展的因素： 基于中国 30 个省市的数据分析

漆翠芳¹, 杨力仁², 杨子轩³, 尚丽², 谢桂兰^{2,4}, 王瑞奇^{2,4}, 王珊珊⁵, 杨文方^{1*}

(1.西安交通大学第一附属医院妇产科/妇幼中心, 陕西西安 710061; 2.西安交通大学医学部公共卫生学院, 陕西西安 710061; 3.上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200030; 4.北京大学医学部, 北京 100191; 5.空军军医大学第一附属医院妇产科, 陕西西安 710032)

摘要: **目的** 探讨新型冠状病毒肺炎省际传播与发展的影响因素, 以期在重大传染病疫情爆发时, 为各地区地域性防控策略的制定提供依据。**方法** 回顾性收集截至 2020 年 2 月 25 日 24 时我国 30 个省市的新冠肺炎的确诊病例数, 各省市距湖北省的距离、武汉人口迁出比、GDP、人口密度、城镇人口数、交通客运量、旅客周转量等数据。以截至 1 月 29 日 24 时的以输入病例为主的累计确诊病例作为第一阶段病例集群, 以 1 月 30 日 0 时至 2 月 25 日 24 时的以续发病例为主的累计新增确诊病例作为第二阶段病例集群, 分别采用 Pearson 相关性分析与线性拟合回归评估人口迁徙、交通、经济等因素与新冠肺炎传播与发展的关联, 在线性拟合回归中采用多因素最优子集模型方法筛选与各省市新冠肺炎关联最密切的影响因素。**结果** 各省市距湖北省的距离, 与以输入病例为主的第一阶段病例集群和以续发病例为主的第二阶段病例集群均呈负线性关联 ($t=-3.654$ 、 -3.679 , 均 $P<0.050$)。武汉人口迁出比、GDP、城镇人口数、人口密度、交通客运量、旅客周转量, 均与第一阶段、第二阶段病例集群呈正线性关联 (均 $t>2.760$, 均 $P<0.050$)。GDP、武汉人口迁出比与以输入病例为主的第一阶段病例集群关联最为密切 ($t=3.962$ 、 8.736 , 均 $P<0.050$); 第一阶段病例集群、武汉人口迁出比、城镇人口数与以续发病例为主的第二阶段病例集群关联最为密切 ($t=4.734$ 、 3.491 、 2.855 , 均 $P<0.050$)。**结论** 各省市 GDP、武汉迁出人口比对以输入病例为主的疫情阶段影响最大; 而输入病例、武汉迁出人口比、城镇人口数对以续发病例为主的疫情阶段影响最大。政府在以输入病例为主的疫情爆发初期, 应考虑对高 GDP 和疫区迁出人口高比例地区, 加强疫情防控力度, 尽早、更加严格地限制该类地区的人口流动, 有效遏制疫情的爆发; 在以续发病例为主的疫情后期, 应重点依据各省市的输入病例、自疫区迁出人口比、城镇人口数指标, 分区域制定管制政策, 合理限制人群接触, 阻断疫情进一步发展。

关键词: 疫情爆发; 新型冠状病毒肺炎; 传播; 发展; 影响因素

中图分类号: 文献标志码: A

收稿日期: 2020-03-13 **修回日期:** 2020-04-02

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2019SF-100), 西安市科技计划项目 [201805098YX6SF32 (1)]

Supported by the Key R & D Project of Shaanxi Province (2019SF-100), the Science and Technology Project of Xi'an City [201805098YX6SF32 (1)]

通信作者: 杨文方, 主任医师/教授, E-mail: wenfang.yang@xjtu.edu.cn。杨力仁为共同第一作者。

The influencing factors of interprovincial transmission and development of COVID-19: Data analysis based on 30 provinces and cities in China

QI Cuifang¹, YANG Liren², YANG Zixuan³, SHANG Li², XIE Guilin^{2,4},
WANG Ruiqi^{2,4}, WANG Shanshan⁵, YANG Wenfang¹

(1. Obstetrics and Gynecology Department/Maternal& Child Health Center, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061; 2. School of Public Health, Xi'an Jiaotong University Health Science Center, Xi'an 710061; 3. Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030; 4. Peking University Health Science Center, Beijing 100191; 5. Obstetrics and Gynecology Department, The First Affiliated Hospital of Air Force Medical University, Xi'an 710032, China)

ABSTRACT: Objective To explore the factors affecting the interprovincial transmission and development of novel coronavirus disease 2019(COVID-19) in China, with a view to providing recommendations for the formulation of preventive and control measures according to the actual conditions in different regions during the outbreak of the severe infectious disease. **Methods** We collected the total number of confirmed cases of COVID-19 in 30 provinces and cities in China by the end of 24:00 February 25, 2020. Then we also collected the distance from each region to Hubei province, the proportion of population moving out from Wuhan city from January 1 to January 23, population density, urban population, traffic passenger volume, passenger turnover volume and other relevant data of each region. The cumulative confirmed cases including the most of imported cases by the end of 24:00 January 29, 2020 were taken as the first-stage cases cluster, and the cumulative newly confirmed cases including the most of secondary cases from 0:00 January 30 to 24:00 February 25, 2020 were taken as the second-stage cases cluster. Pearson bivariate correlation and linear fitting regression method were adopted to analyze the effects of population migration, transportation, economy and other factors on the transmission and development of COVID-19 in different regions. In the linear fitting regression, the multi-factor optimal subset model was used to screen the factors most closely related to COVID-19. **Results** The distance from each region to Hubei province was negatively correlated with the first-stage cases cluster with the most of imported cases and the second-stage cases cluster with the most of secondary cases ($t=-3.654, -3.679$, both $P<0.001$). The proportion of population moving out from Wuhan, GDP, urban population, traffic passenger volume, and passenger turnover volume were positively correlated with the first-stage and second-stage cases cluster (all $t>2.760$, all $P<0.050$). GDP and the proportion of population moving out from Wuhan were most closely related to the first-stage cases cluster with the most of imported cases ($t=3.962, 8.736$, all $P<0.050$). The first-stage cases cluster, the proportion of population moving out from Wuhan, and urban

population were most closely related to the second-stage cases cluster with the most of secondary cases($t=4.734, 3.491, 2.855$, all $P<0.050$). **Conclusion** GDP and the proportion of population moving out from Wuhan city had the greatest impact on the stage with the most of imported cases. The imported cases, the proportion of population moving out from Wuhan and the urban population had the greatest impact on the stage with the most of secondary cases. In the early stage of epidemic outbreak with the most of imported cases, the government should consider strengthening the prevention and control of the epidemic in areas with high level of GDP and high proportion of population moving out from the epidemic area. The flow of population should be restricted more strictly as soon as possible in order to effectively curb the outbreak of the epidemic. In the later-stage of epidemic with the most of secondary cases, regionalized control policies should be formulated mainly according to the indicators of imported cases, the population proportion from the epidemic area, and the urban population. Finally, the contact of population should be restricted reasonably to prevent further development of the epidemic.

KEY WORDS: epidemic outbreak; novel coronavirus disease 2019(COVID-19); transmission; development; influencing factor

2019年12月,湖北武汉陆续发现多例新型冠状病毒肺炎(coronavirus disease 2019, COVID-19),因病毒显著的人传人特性致使其伴随着高度且密集的人口流动迅速蔓延,构成了全球突发公共卫生事件^[1-3]。为控制疫情,1月23日武汉市“封城”,离汉通道关闭,全国各省市相继启动突发公共卫生事件I级应急响应^[4],春节假期延长,部分社会活动停止。截至2020年3月10日24时,我国累计确诊病例80778例,死亡人数达3046例(<http://www.nhc.gov.cn>)。新发传染病的爆发,除了疫情自身所带来的疾病损害、病例死亡外,还会在社会中引起极大的恐慌,并造成巨大的经济损失,严重威胁人类健康与社会发展^[5-6]。故探索新冠肺炎爆发、流行的影响因素并进行针对性防控尤为重要。本研究基于社会发展与人口流动背景,结合我国疫情防控的实际情况,探讨人口迁徙、交通、经济等因素对各省市新冠肺炎传播与发展的影响,并建立最优子集模型,以期为新发传染病的防控提供新思路,科学协助疫情防控,降低对健康、社会的影响。

1 资料与方法

1.1 研究对象

1.1.1 疫情数据 2020年1月26日至2020年2月29日,基于国家卫健委、各省市卫健委(<http://www.nhc.gov.cn>)等官方渠道,回顾性收集截至2020年2月25日24时我国除湖北省、香港、澳门、台湾外30个省级行政区的新冠肺炎相关数据。因香港、澳门、台湾实行特殊管理政策,而湖北地区为疫区,故分析时排除在外。

1.1.2 人口迁徙、交通、经济等数据 基于百度地图(<https://map.baidu.com/>)与《中国统计年鉴(2019)》(<http://www.stats.gov.cn/>)收集相关数据,主要包括:①武汉人口迁出比(%):

2020年1月1日至2020年1月23日,自武汉迁出前往各省市的人口数占武汉迁出人口总数的比例;②距湖北省的距离(km):以各省市行政中心距湖北省武汉市的最短高速公路里程数计算;③人口密度(人/平方公里):(2018年)单位面积(平方公里)土地上居住的人口数;④国内生产总值(万亿)(gross domestic product, GDP):国家(地区)一定时期内(2018年)经济活动中所生产出的全部最终成果;⑤交通客运量(万人):各地区一定时期内(2018年)铁路、公路、水运途径实际运送的旅客数量;⑥旅客周转量(亿人公里):各地区一定时期内(2018年)运送旅客数量与平均运距的乘积;⑦城镇人口数(百万人):(2018年)各地区城镇户口总人数。此外,基于《中国统计年鉴》收集了2014年至2017年的经济、交通等相关数据,并将其与2018年数据进行相关性分析,以分析年鉴数据的稳定性及2018年数据的代表性。

国家卫生健康委员会确定,病例和密切接触者的数据收集和分析工作是对公共卫生事件爆发的持续调查的一部分,因此可豁免机构审查委员会的审批要求^[7]。

1.2 思路与方法

1.2.1 病例集群的划分 以输入病例为主的第一阶段病例集群:指各省市以外来输入病例为主的确证病例集群。2020年1月23日,武汉市“封城”,随后春节假期来临,全国相继启动I级应急响应并按照各级政府要求进行居家隔离,人口流动度降至最低,各省市来自武汉等地区的输入病例流入基本停止。故以1月23日24时为时间节点进行划分,此前各省市的确证病例以外来输入为主。结合新型冠状病毒的潜伏期中位数为4.8天,1月22日以后从发病到确诊的时间缩短至1天^[7-8],因此,以截至1月29日24时各省市的累计确证病例定义为以输入病例为主的第一阶段病例集群。

以续发病例为主的第二阶段病例集群:各省市以续发病例(与输入病例密切接触相关的确证病例)为主的确证病例集群。自我国1月24日春节假期来临并实行严密疫情管控后,人口流动度幅度显著下降,各省市外来病例的流入基本停止,此后确证病例以本地续发病例为主。2月19日,国家卫健委制定了《省级及以下启动和调整新冠肺炎疫情防控应急响应的有关意见》,截至2月26日全国半数以上省市企业复工率达80%以上^[9],全国人口流动显著增加,此期间确证病例受各省市外来输入病例的影响最低。因此,以1月30日0时至2月25日24时的累计新增确证病例定义为以续发病例为主的第二阶段病例集群。

1.2.2 方法 研究基于人口流动,疫情管控实际情况,对以输入病例为主的第一阶段病例集群与以续发病例为主的第二阶段病例集群展开分析,此阶段前后确证病例的构成不同。以各省市人口迁徙、交通、经济等因素为自变量,以输入性病例为主的第一阶段病例集群为因变量进行分析,探讨新冠肺炎省际间传播的影响因素。其次,以各省市第一阶段病例集群、人口迁徙、交通、经济等因素为自变量,以续发病例为主的第二阶段病例集群为因变量进行分析,明确新冠肺炎后续发展的影响因素。

1.3 统计学分析 采用 ArcGISv10.2 描绘我国各省市新冠肺炎疫情的全国基本特征图。采

用 SPSS 18.0 统计学软件进行数据分析, 所有变量为连续变量。采用 Pearson 相关性分析评估变量间的关联性, 利用散点图初步判断变量间的趋势, 除人口密度外, 所有变量与以输入病例为主的第一阶段病例集群存在线性趋势, 满足线性拟合回归分析条件, 对人口密度进行对数转换 (Ln) 后, 人口密度与第一阶段病例集群存在线性趋势, 满足线性拟合回归分析条件。进一步采用线性拟合回归进行变量间分析, 并在线性拟合回归中采用多因素最优子集模型方法筛选与各省市新冠肺炎传播与发展最为密切的影响因素。 $P < 0.050$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 疫情基本情况 本研究最终纳入除湖北省, 香港、澳门、台湾地区以外的 30 个省级行政区数据进行分析, 对 30 个省市的新冠肺炎疫情数据进行可视化处理, 见图 1。

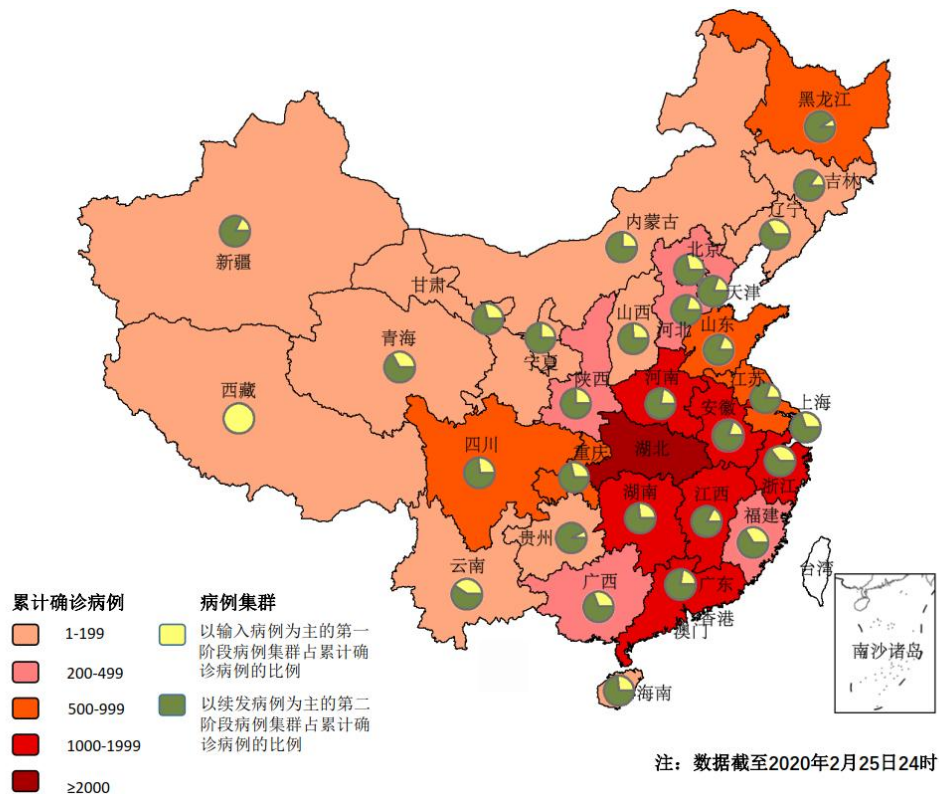


图 1 我国 30 个省市新型冠状病毒肺炎确诊病例的基本分布图

Fig.1 Basic distribution of confirmed cases of COVID-2019 among 30 provinces and cities in China

2.2 病例集群与影响因素的 Pearson 相关性分析 在相关性分析中, 人口密度与以输入病例为主的第一阶段病例集群无显著相关性 ($r=0.162$, $P=0.391$), 各省市距湖北省的距离与

第一阶段病例集群负性相关 ($r=-0.568$, $P=0.001$), 其余因素与第一阶段病例集群正性相关 (均 $r>0.650$, 均 $P<0.001$); 在以续发病例为主的第二阶段病例集群的分析中, 第一阶段病例集群与第二阶段病例集群密切相关 ($r=0.892$, $P<0.001$), 其余因素与第二阶段病例集群的关联同各因素与第一阶段病例集群间的关联基本保持一致, 详情见表 1。

表 1 病例集群与人口迁徙、交通、经济等因素的相关性分析

Tab.1 The correlation analysis between cases cluster and influencing factors of population migration, transportation and economy

影响因素	第一阶段病例集群		第二阶段病例集群	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
第一阶段病例集群			0.892	<0.001
武汉人口迁出比	0.705	<0.001	0.811	<0.001
距湖北省的距离	-0.568	0.001	-0.571	0.001
人口密度	0.162	0.391	0.120	0.529
城镇人口数	0.698	<0.001	0.783	<0.001
GDP	0.669	<0.001	0.706	<0.001
交通客运总量	0.737	<0.001	0.754	<0.001
交通客运总量-铁路	0.763	<0.001	0.767	<0.001
旅客周转量	0.711	<0.001	0.813	<0.001
旅客周转量-铁路	0.661	<0.001	0.766	<0.001

2.3 病例集群与影响因素的单因素线性拟合回归分析 在以输入性病例为主的第一阶段病例集群的单因素线性拟合回归分析中, 各省市距湖北省的距离与第一阶段病例集群存在负线性关联 ($t=-3.654$, $P<0.001$), 而武汉人口迁出比、人口密度、GDP 等均与第一阶段病例集群存在正线性关联 (均 $t>2.760$, 均 $P<0.050$), 见表 2; 对以续发病例为主的第二阶段病例集群的分析中, 各省市距湖北省的距离与第二阶段病例集群存在负线性关联 ($t=-3.679$, $P<0.001$), 第一阶段病例集群、武汉人口迁出比、人口密度、GDP 等均与第二阶段病例集群存在正线性关联 (均 $t>2.760$, 均 $P<0.050$)。详情见表 3。

表 2 第一阶段病例集群与影响因素的单因素线性拟合回归分析

Tab.2 Single linear fitting regression analysis between the first-stage cases cluster and influencing factors

影响因素	回归系数 B (95% CI)	t	P
武汉人口迁出比	65.162 (39.767, 90.556)	5.256	<0.001
距湖北的距离	-0.079 (-0.123, -0.035)	-3.654	<0.001
人口密度*	33.202 (9.912, 56.493)	2.920	0.007
城镇人口数	3.964 (2.391, 5.536)	5.163	<0.001
GDP	29.049 (16.571, 41.527)	4.769	<0.001
交通客运总量	0.002 (0.001, 0.003)	5.775	<0.001
交通客运总量-铁路	0.011 (0.008, 0.015)	6.251	<0.001
旅客周转量	0.140 (0.087, 0.194)	5.350	<0.001
旅客周转量-铁路	0.214 (0.120, 0.307)	4.667	<0.001

注: 人口密度*为经 Ln 对数转换后的数据

表 3 第二阶段病例集群与影响因素的单因素线性拟合回归分析

Tab.3 Single Linear fitting regression analysis between second-stage cases cluster and influencing factors

影响因素	回归系数 B (95% CI)	t	P
第一阶段病例集群	2.630 (2.114, 3.145)	10.456	<0.001
武汉人口迁出比	221.128 (159.481, 282.775)	7.338	<0.001
距湖北省的距离	-0.233 (-0.363, -0.103)	-3.679	<0.001
人口密度*	95.842 (26.777, 164.908)	2.843	0.008
城镇人口数	13.101 (9.074, 17.127)	6.665	<0.001
GDP (万亿)	90.321 (55.274, 125.367)	5.279	<0.001
交通客运总量	0.006 (0.004, 0.008)	6.078	<0.001
交通客运总量-铁路	0.034 (0.023, 0.044)	6.330	<0.001
旅客周转量	0.729 (0.493, 0.966)	6.315	<0.001
旅客周转量-铁路	0.214 (0.120, 0.307)	4.667	<0.001

注: 人口密度*为经 Ln 对数转换后的数据。

2.4 病例集群的多因素最优子集模型分析 在线性拟合回归的多因素最优子集模型分析中, GDP、武汉人口迁出比与以输入病例为主的第一阶段病例集群关联密切, 回归模型中的多因

素自变量无显著多重共线性,模型的代表性好、可解释的变异度高(容忍度=0.688、0.860,调整后 $R^2=0.832$, $F=70.138$, $P<0.001$),GDP、武汉人口迁出比越高的地区第一阶段确诊病例越多($t=3.962$ 、 8.736 , $P<0.050$)。而第一阶段病例集群、武汉人口迁出比、城镇人口数组成的多因素集合与以续发病例为主的第二阶段病例集群关联密切,回归模型中的多因素自变量无显著多重共线性,模型的代表性好、可解释的变异度高(容忍度=0.378、0.488、0.496,调整后 $R^2=0.883$, $F=74.072$, $P<0.001$),第一阶段病例集群病例越多、武汉人口迁出比越高、城镇人口数越多的地区第二阶段确诊病例越多($t=4.734$ 、 3.491 、 2.855 , 均 $P<0.050$),见表4。

表4 病例集群影响因素的最优子集模型分析

Tab.4 Optimal subset model analysis of influencing factors on the cases cluster

影响因素	模型中因素				最优子集模型参数		
	回归系数	容忍度	t	P	调整后 R^2	F	P
第一阶段病例集群							
GDP	12.948	0.688	3.962	0.010	0.832	70.138	<0.001
武汉人口迁出比	54.931	0.860	8.736	<0.001			
第二阶段病例集群							
第一阶段病例集群	1.441	0.378	4.734	<0.001	0.883	74.072	<0.001
武汉人口迁出比	86.466	0.488	3.491	0.002			
城镇人口数	4.302	0.496	2.855	0.008			

3 讨 论

新发传染病是公共卫生领域长期广泛关注的问题^[10]。近年来,高速的人口流动和经济贸易促进了传染病的快速传播,新发传染病以前所未有的速度涌现^[11]。短短20年内,冠状病毒已在人类社会引发三次疫情,包括2003年由SARS冠状病毒引起的重症急性呼吸综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS)、2015年由MERS冠状病毒引起的中东呼吸综合征(Middle East respiratory syndrome, MERS)以及此次的新型冠状病毒肺炎^[12, 13]。新冠病毒对所有人群易感且潜伏期长,并且在潜伏期已具有显著的传染性^[7],严重威胁人类健康。

重大传染病除对健康造成影响外,还可导致社会恐慌与巨大的经济损失。SARS爆发致中国大陆死亡348人,病死率6.53%,中国香港的病死率高达16.98%^[14]。而此次疫情波及范围更广,已在世界范围内大流行,死亡已达数万人。中国自武汉“封城”与全国启动I级应急响应后,大部分城市近乎封闭状态,经济活动减少、实体经济受到严重影响,春节期间仅餐饮、娱乐行业的直接经济损失超过1万亿元^[15]。人口流动的管制可在短时间内最大程

度地降低疫情传播,但同时给社会经济、生活带来的影响却不容小觑。因此,探索疫情在各地区间传播与发展的影响因素,因地制宜地对不同地区采取经济及社会活动管控,一方面可避免因防控力度不足带来生命健康损失,另一方面可有效降低疫情防控相关的社会经济损失。在重大、紧急疫情下,这一举措对国民生产与生活维稳等至关重要。

近年来,研究者通过数学、计算机建模来计算传染病的传播动力学参数、评估隔离措施的有效性等,在疫情防控方面发挥了巨大作用^[16-18],但现今高度的人口流动与社会发展已然成为新发传染病爆发的新鲜动力,基于此,本研究首次结合可量化的人口迁徙、交通、经济等因素,探索新冠肺炎传播与发展的影响因素并构建其最优子集模型,有利于今后相关部门根据可视化的数据进行疫情防控,对丰富传染病防控领域的学术成果、高效指导防控实践、降低社会无谓损失意义重大。

研究发现,各省市据湖北省的距离、武汉人口迁出比、人口密度、GDP、交通等因素均与以输入性病例为主的第一阶段病例集群、以续发病例为主的第二阶段病例集群密切相关,第一阶段病例集群与第二阶段病例集群密切相关。在最优子集模型分析中:GDP、武汉人口迁出比的多因素组合与第一阶段病例集群关联密切,而第一阶段病例集群、武汉人口迁出比、城镇人口数组成的多因素集合与第二阶段病例集群关联密切。在疫情传播过程中,疫区人口迁出比反映了各地区的病例输入,而GDP是地区生产力与社会生态的核心指标,反应地区的基础建设、政府管理与产业结构等。地区GDP越高,其薪资水平、交通发达度、第三产业占比高,人才需求量大,对外来人口的吸引力大,人口流动必然增加,并且分析显示GDP与各因素的关联密切(附表1)。故综合了多因素共同作用、易于可视化的GDP与武汉人口迁出比与第一阶段病例集群密切相关;在第二阶段病例集群的分析模型中,第一阶段病例集群与武汉人口迁出比可反映外来输入病例的人群基数,是影响续发病例的最主要因素。而城镇人口数在一定程度上可反映地区内部人口的密集程度、流动力度等,人群接触几率增大,续发病例增加。故第一阶段病例集群、武汉人口迁出比、城镇人口数的多因素集合与第二阶段病例集群密切相关。此外,我们对最优子集模型进行了参数检验。分析显示,回归模型均具有统计学意义,模型的代表性好、自变量与病例集群的回归关系密切($F=70.138, 74.072, P<0.001$),模型中自变量可解释的变异度高(调整后 $R^2=0.832, 0.883$),且自变量间无显著多重共线性(容忍度均 >0.1),模型的构建具有一定意义。

但研究仍存在以下局限性:①我们未能成功获取各地区真正的输入病例与续发病例,采用以输入性病例为主的病例集群与以续发病例为主的病例集群进行分析,这可能对研究的结果产生影响。真实的输入与续发病例是更应该关注的,我们期望在疫情爆发期间,各部门能及时对确诊病例进行分类与管控,完善数据库,必将利于更好的疫情防控;②研究采用的交通、经济等因素为2018年数据,而非疫情期间的真实数据。在现有基础之上,我们仅获得了2018年的最新数据进行分析。因此,我们对近5年的数据进行分析显示,近年来年鉴内各数据相关性大(均 $r>0.950, P<0.001$,见附表2),稳定性好,2018年的数据在一定程度

上可反映疫情期间各地区的经济、交通情况趋势,故采用其替代真实数据进行分析。在数据进行更新时,我们将再次进行数据分析以明确各影响因素对疫情的真实作用;③研究的样本例数较少,对数据的稳健性产生影响,影响分析结果。本研究通过各种途径,最终仅获得了30个省市的完整数据进行分析,我们期望今后获取更为全面的数据进行分析,提升数据的稳健性。

综上,各省市GDP、武汉迁出人口比对以输入病例为主的疫情阶段影响最大;而输入病例、武汉人口迁出比、城镇人口数对以续发病例为主的疫情阶段影响最大。在新发传染病以输入病例为主的爆发初期,政府应严密监测各地区自疫区迁出人口数量,结合各省市GDP指标,利用模型推断疫情的传播程度,对不同地区实行区域化的疫情防控,特别对高GDP地区与疫区迁出人口占比高的地区,应该尽早、更加严格地限制人口流动,有效遏制疫情在这些地区的爆发。在以本地续发病例为主的疫情后期,在考虑外来输入病例数量与自疫区迁出人口数量的同时,对城镇人口较多的局部区域,应加强区域内部人口流动管制,有效减少人群接触机率,阻断疫情的进一步扩散。通过本次新型冠状病毒影响因素模型的探索,一方面,我们期望可以通过可视化指标合理分析疫情的省际传播、发展程度,有效阻止疫情播散,竭力保障人民群众的生命健康安全;另一方面需探索精准化、地域化的疫情防控措施,采取分阶段的、因地制宜的疫情防控举措,既利于降低疫情所致社会经济损失,更利于疫情基本控制后国民经济与生产活动的迅速恢复。

最后,我们向全国奋战在抗击疫情一线的医护人员及其他行业工作人员致敬!

参考文献:

- [1] ZHU N, ZHANG D, WANG W, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019[J]. *N Engl J Med*, 2020, 382(8):727-733.
- [2] HUANG C, WANG Y, LI X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China[J]. *Lancet*, 2020, 395(10223):497-506.
- [3] 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/OL]. *电子科技大学学报*, 1-6[2020-03-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200213.2002.002.html>.
- XU XK, WEN C, ZHANG GY, et al. The geographical destination distribution and effect of outflow population of Wuhan when the outbreak of the 2019-nCoV pneumonia[J/OL]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 1-6[2020-03-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200213.2002.002.html>.
- [4] 张琳. 新冠肺炎疫情传播的一般增长模型拟合与预测[J/OL]. *电子科技大学学报*, 1-4[2020-03-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200219.1816.004.html>.
- ZHANG L. Fitness of the generalized growth to the 2019 novel coronavirus data[J/OL]. *Journal of*

University of Electronic Science and Technology of China, 1-4[2020-03-11].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200219.1816.004.html>.

[5] 肖巍. 打赢“新冠”阻击战: 保护公共健康就是保护全球健康[N]. 中国妇女报, 2020-02-18(005).

XIAO E. Winning “blocking battle” of novel coronavirus disease: protecting public health is protecting global health[N]. China Women’s News, 2020-02-18(005).

[6] 赵泽宽. 有效应对新冠肺炎疫情保持经济社会平稳健康发展[N]. 中国经济时报, 2020-02-17(004).

ZHAO ZK. Responding to the epidemic of COVID-2019 effectively, maintain economic and social development stably and healthy[N]. China Economic Times, 2020-02-17(004).

[7] YANG Y, LU Q, LIU M, et al. Epidemiological and clinical features of the 2019 novel coronavirus outbreak in China[J]. medRxiv, 2020.02.10.20021675[2020-03-11]. <https://doi.org/10.1101/2020.02.10.20021675>.

[8] LI Q, GUAN X, WU P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia[J]. N Engl J Med, 2020, 382(13):1199-1207.

[9] 全国最新复工地图[EB/OL]. http://app.21jingji.com/html/2020yiqing_fgfc/, 2020-03-01, 2020-03-11.

The latest map of production resumption in China[EB/OL]. http://app.21jingji.com/html/2020yiqing_fgfc/, 2020-03-01, 2020-03-11.

[10] BECKER NG, GLASS K, LI Z, et al. Controlling emerging infectious diseases like SARS[J]. Math biosci, 2005, 193(2):205-221.

[11] 徐致靖, 祖正虎, 许晴, 等. 传染病动力学建模研究进展[J]. 军事医学, 2011, 35(11):828-833.

XU ZJ, ZU ZH, XU Q, et al. Research advances in modeling infectious disease[J]. Military Med Sci, 2011, 35(11):828-833.

[12] ZHANG L, LIU Y. Potential interventions for novel coronavirus in China: A systematic review[J]. J Med Virol, 2020, 92(5):479-490.

[13] CHAN JF, KOK KH. Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan[J]. Emerg Microbes Infect, 2020, 9(1):221-236.

[14] 戴应基, 曾文霞. SARS 流行状况及预防[J]. 旅行医学科学, 2004, 10(4):43-47.

DAI YJ, ZENG WX. Epidemic character and prevention in SARS[J]. Sci Trav Med, 2004, 10(4):43-47.

[15] 罗志恒. 新冠疫情对经济、资本市场和国家治理的影响及应对[J]. 金融经济, 2020

(2):8-15.

LUO ZH. The impact of novel coronavirus disease on economy, capital market, national governance and its responding[J]. Finance Econom, 2020 (2):8-15.

[16] PEAK CM, CHILDS LM, GRAD YH, et al. Comparing nonpharmaceutical interventions for containing emerging epidemics[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2019, 114(15):4023-4028.

[17] ZHAO S, MUSA SS, LIN Q, et al. Estimating the unreported number of novel coronavirus (2019-nCoV) cases in China in the first half of January 2020: A data-driven modelling analysis of the early outbreak[J]. J Clin Med, 2020, 9(2):388.

[18] 范如国, 王奕博, 罗明, 等. 基于 SEIR 的新型肺炎传播模型及拐点预测分析[J/OL]. 电子科技大学学报, 1-6[2020-03-7]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200221.1041.002.htm>.

FAN RG, WANG YB, LUO M, et al. SEIR-based novel pneumonia transmission model and inflection point prediction analysis[J/OL]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1-6[2020-03-7]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200221.1041.002.htm>.

附表 1. GDP 与各影响因素的关联性分析

Supplemental Tab.1 The correlation analysis between GDP and other influencing factors

统计值	据湖北省的距离	人口密度 ^{**}	城镇人口数	交通客运总量	交通客运总量-铁路	旅客周转量	旅客周转量-铁路
<i>r</i>	-0.428	0.546	0.938	0.777	0.902	0.808	0.696
<i>P</i>	0.006	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：人口密度^{**}为经 Ln 对数转换后的数据

附表 2 2018 年统计年鉴内指标与近 4 年内各指标的相关性分析表

Supplemental Tab.2 The correlation analysis between factors in 2018 and factors in recent 4 years in the statistical yearbook

指标	统计值	2017 年	2016 年	2015 年	2014 年
人口密度	<i>r</i>	1.000	1.000	1.000	1.000
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
城镇人口	<i>r</i>	0.997	0.997	0.996	0.995
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
GDP	<i>r</i>	1.000	0.998	0.99	0.989
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
交通客运总量	<i>r</i>	0.997	0.985	0.968	0.953
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
交通客运总量-铁路	<i>r</i>	0.959	0.987	0.978	0.961
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
旅客周转量	<i>r</i>	0.999	0.996	0.991	0.986
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
旅客周转量-铁路	<i>r</i>	0.998	0.995	0.992	0.982
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

(编辑 张 敏)