doi: 10.6046/zrzyyg.2020340
引用格式: 王正,贾公旭,张清凌,等. COVID-19 疫情背景下 2020 年第一季度广东省二、三产业 GDP 空间分布变化分析[J]. 自然资源遥感,2021,33(3):184-193. (Wang Z, Jia G X, Zhang Q L, et al. Impacts of COVID-19 epidemic on the spatial distribution of GDP contributed by secondary and tertiary industries in Guangdong Province in the first quarter of 2020[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33(3):184-193.)

COVID-19 疫情背景下 2020 年第一季度广东省二、三产业 GDP 空间分布变化分析

王 正[1,2], 贾公旭[1,2], 张清凌[1,3], 黄 粤[1,2]
(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所,乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学,北京 100049; 3. 中山大学航空航天学院,广州 510275)

摘要: GDP 常被公认为是衡量国家经济状况的最佳指标,2020 年初中国遭受了较为严重的新型冠状病毒肺炎(COVID-19),给经济发展造成了严重的影响。为了精确分析 COVID-19 背景下中国广东省第一季度第二、三产业 GDP 产值(GDP_{23})的时空变化,本文将夜间灯光数据作为衡量 GDP_{23} 的指标,结合疫情实时监测数据和 POI 数据,分析可知 COVID-19 是造成城市总灯光强度下降的因素; 然后分析各种夜间灯光指数与不同的回归模型对广东省 GDP_{23} 的拟合情况,选取最优的指数与模型进行 GDP_{23} 的空间格网化并与 2019 年对比; 并根据 GDP_{23} 空间化模拟结果,从时空角度上分析广东省第一季度 GDP_{23} 在省域上受到 COVID-19 的影响并分析原因; 对受 COVID-19 影响最大的城市,利用 POI 数据统计分析得到受 COVID-19 影响大的行业类别,从而能够为广东省精准复工复产提供科学的指导。结果表明: 在空间上,2019 年和 2020 年的 GDP_{23} 分布具有较高的一致性,广州市、深圳市、东莞市和佛山市是广东省经济发展的心脏; 时间上与 2019 年进行对比,广东省 21 市均受到 COVID-19 不同程度的影响,受到影响最大的为经济较发达的城市,如深圳、广州、东莞和佛山市; 结合 POI 数据和 2019 年、2020 年的 GDP_{23} 差异空间分布,经济受到冲击最大的城市是广州市和中山市,其主导行业是购物、房地产和公司企业,GDP_{23} 增加最多的城市是韶关市和深圳市,其主导行业是金融、房地产和购物,省市政府应针对广州市和中山市的金融行业、生活服务行业和购物消费方面制定相应的政策,以精准帮助企业早日实现复工复产。

关键词: NPP-VIIRS 数据; 二三产业 GDP; 空间化; 广东省; POI 数据; COVID-19
中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2021)03-0184-10

0 引言

当前,我国新冠肺炎疫情防治工作已经进入常态化防控阶段,但是 2020 年第一季度 COVID-19 给我们的生产生活带来的负面冲击力依然历历在目,其中受到冲击力最大的当属服务业。因为 COVID-19 导致人员活动和集体活动受限、终端消费需求下降,具体体现在交通、旅游、餐饮、宾馆等服务业都出现“断崖式下跌”。为了更加直观详细地比较分析 COVID-19 对省域经济的影响情况,借助遥感技术大范围动态监测能力对省域经济受影响状况进行回顾性分析,对评估疫情的影响以及在未来制定更好的应对突发公共卫生事件的预案是十分有必要的。广东省自 1989 年起,其国内生产总值连续居全国第一(至 2019 年),是中国第一经济大省,占全国经济总量的 1/8。因此广东省受 COVID-19 的影响受到广泛关注。疫情期间广东省各地方政府陆续出台政策措施, 帮助企业渡过难关,加快恢复生产生活秩序,宏观的政策和调节力度能够推动经济社会平稳有序运行,但无法完全精准有效地帮扶到中小企业,因此要尽快推动分区分级的精准复工复产,这对中小企业非常重要。本文利用夜光遥感进行 GDP_{23} 空间格网化的研究对于精准复工复产具有较高参考价值,本研究也可为评估分析新冠疫情对其他国家和地区造成经济影响提供借鉴。

收稿日期: 2020-10-28; **修订日期:** 2021-03-17
基金项目: 国家重点研发计划项目“‘一带’核心区域生态环境安全检测与应急响应示范”(编号: 2017YFB0504204)及中国科学院百人计划(编号: Y674141001)共同资助。
第一作者: 王 正(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向为遥感图像信息提取。Email: emailwangz@163.com。
通信作者: 贾公旭(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向为遥感图像信息提取。Email: 854628263@qq.com。

在社会科学研究中,很多学者通过建立由美国国防气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program,DMSP)发射的 F－1 卫星上搭载的 OLS(Operational Linescan System)传感器(简称 DMSP－OLS)数据与 GDP 数据之间的关系[1－5],通过夜间灯光数据来客观地反映人类社会的工业生产、商业活动和能源消费,并用于度量地区经济的发展水平。但是,DMSP－OLS 数据中的像素过饱和和溢出现象削弱了灯光数据与社会经济数据的相关性,而新一代的夜间灯光数据可见光红外成像辐射仪(National Polar－orbiting Partnership's Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, NPP－VIIRS)却不存在上述问题[6]。因此,本研究在综合分析经济统计数据的基础上,建立 NPP－VIIRS 灯光数据与广东省 GDP_{23} 500 m 尺度的空间化模型[7],更加详实准确地模拟出广东省 GDP_{23} 空间分布状况,分析各市 2019 年与 2020 年 GDP_{23} 的变化,利用 POI 数据与 GDP_{23} 减少较大的 2 个城市的像元进行耦合[8],提取得到 GDP_{23} 差异较大区域的主要服务业类别。

1　研究区概况及数据源

1.1　研究区概况

广东省简称"粤",地处中国大陆最南部。东邻福建,北接江西、湖南,西连广西,南临南海。全境位于 N20°13′～25°31′和 E109°39′～117°19′之间。广东省境内陆地面积为 17.98 万 km^2,岛屿面积 1 592.7 km^2[9]。广东省属于东亚季风区,从南到北分别为中亚热带、南亚热带和热带气候,是中国光、热和水资源最丰富的地区之一。全省年平均气温约 22.3℃,年平均降水约 1 801.8 mm[10]。广东省是我国第一经济大省,在许多经济指标上均列全国第一。如地区生产总值、社会消费品零售总额、居民储蓄存款、专利申报量、进出口总额、旅游总收入等等。

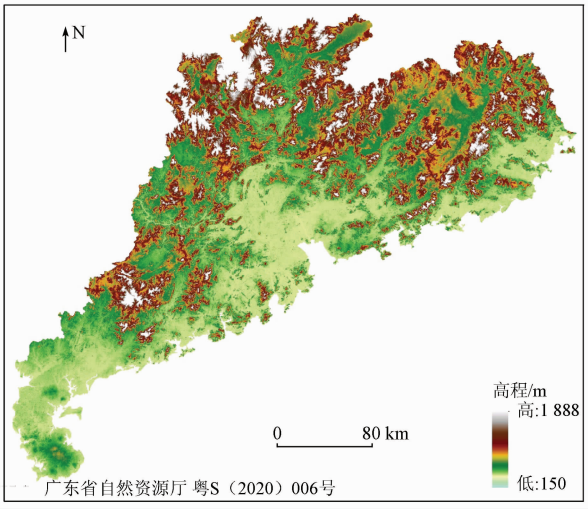

图 1　广东省概况图

Fig. 1　General map of Guangdong Province

1.2　数据源及其处理

数据源包括夜光遥感数据(NPP－VIIRS)、基础地理数据和 POI 数据,以及 2020 年第一季度广东省各市的疫情监测数据,如表 1 所示。基础地理数据包括广东省市级行政边界数据和广东省各市第一季度 GDP_{23} 的增长值;夜间灯光数据(NPP－VIIRS)影像分辨率较高(500 m)且消除了灯光过饱和现象,本文使用的是广东省 2019 年和 2020 年的 1—3 月的日平均数据;POI 通过百度地图 API 接口获取,共计编码、类型、名称、地址、精度、纬度和类别 7 个字段。为更好地进行精准复工复产评价,本文选择了与 GDP_{23} 相关的 6 类数据,分别是购物、生活服务、文化传媒、金融、房地产和公司企业,共获取广州市 15 455 条、韶关市 10 854 条、深圳市 33 622 条和中山市 11 555 条数据,数据信息丰富且较为精准。广东省第一季度疫情实时监测数据来自于 2020 年第一季度疫情期间广东省卫健委通报。

表 1　数据源描述

Tab. 1　Description of data source

数据名称	数据来源
NPP－VIIRS 夜间灯光数据	NOAA/NGDC(http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download daily.html)
广东省各市第二、三产业 GDP 增量	广东省各市的统计局官网
广东省市级边界行政区矢量图	ENVI APP Store(www.envi-idl.com/appstore)
深圳市、广州市、韶关市和中山市 POI 数据	百度地图 API 接口
广东省第一季度疫情实时监测数据	广东省卫健委通报

原始夜间灯光数据文件为 NASA 标准化处理的 NPP－VIIRS 夜光数据产品 VPN46A2,该产品为日平均产品,处理级别较高[11]。本研究利用数据自带的质量评价波段去除数据集中质量较差的像元,形成质量较高的稳定灯光日数据,并筛选了工作日影像进行了季度均值合成。两幅图像的原始坐标系均为地理坐标系,为使得投影变形最小,转换成 Albers 投影,以双线性采样法重采样成 500 m 格网大小,采用双线性的方法是使图像平滑,可抑制图像中可能存在的孤立极大值像元,即去除了部分高值噪声。

2　广东省疫情数据分析及灯光变化

广东省首例病例于 2020 年 1 月 19 日在深圳发

现,之后病例数持续增长,本文搜集了广东省各市自1月19日后的每日新增和现存病例数,并对现存病例以空间化显示,见图2。由图2可知,自深圳市发现病例之后,其周边城市也迅速发现病例,如广州市、东莞市和惠州市等;且在整个第一季度时间范围内,广州市和深圳市一直是省内病例数存在较高的地区,云浮市是唯一病例为0的地区,在2月底至3月份的病例清零过程中,广东省的边缘城市率先完成了清零,之后又出现病情反复现象。

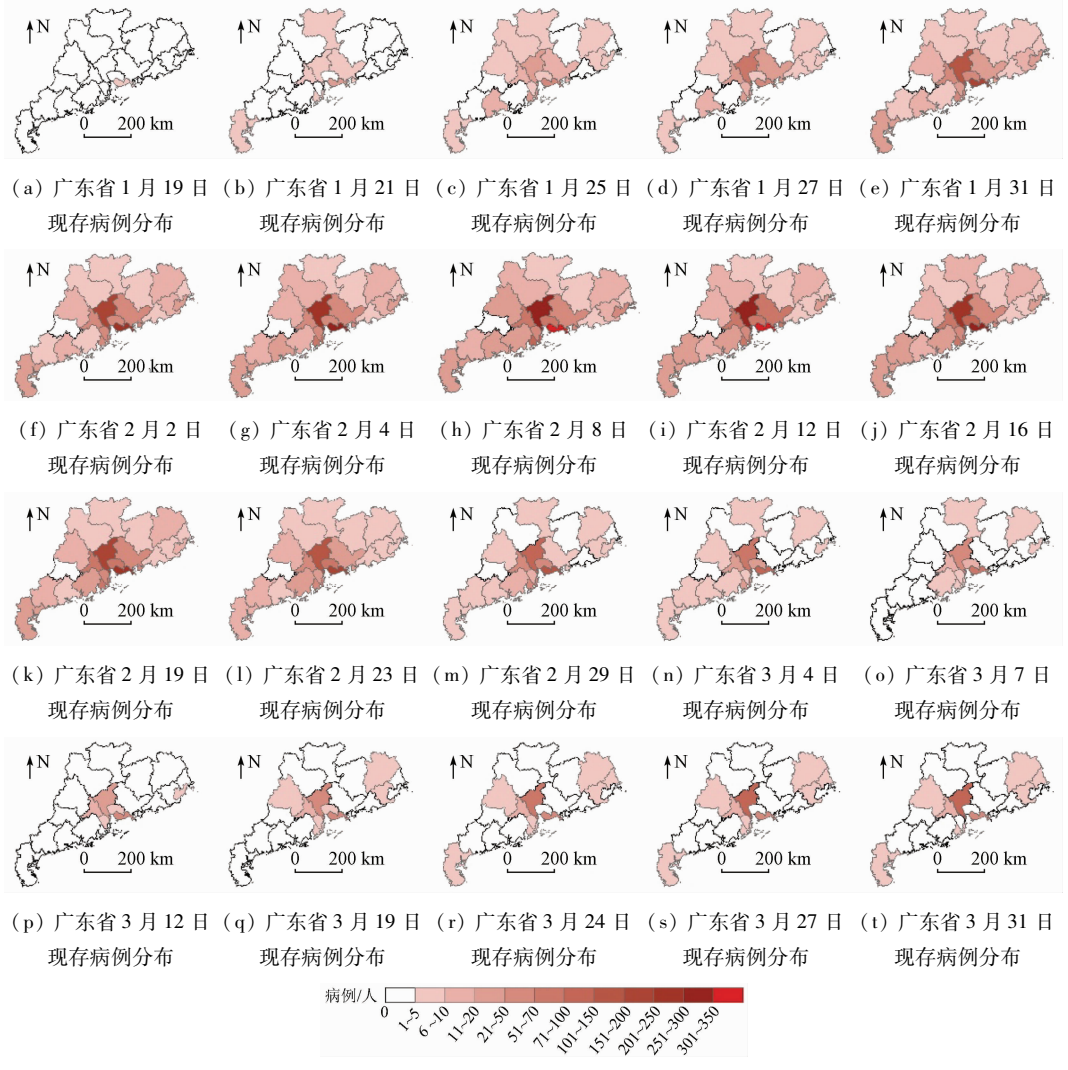

图2 广东省现存病例空间分布变化

Fig. 2 Spatial distribution of existing cases in Guangdong Province

根据研究时间范围内的稳定夜间灯光日数据的时间分布,按照时间间隔为10 d提取广东省2020年第一季度的各市总夜间灯光指数值,结合各市对应夜间灯光数据日期的日新增病例数,分析灯光变化与病例数的关系,见图3。图3中红色线是广东省日平均新增病例,绿色线是广东省日平均灯光总值,可以看出,自1月19日出现病例以来,灯光总值开始降低,这是因为防疫政策公布,限制居民活动范围导致的结果;新增病例数在1月30日左右达到峰值,但并不能直接反映到灯光总值上,因为随着防疫政策的加深,居民的活动是逐步受到限制,各大商场及娱乐场所的歇业也有一个缓冲的过程,所以灯光总值是一个持续降低的过程;广东省于2月5日起,逐步对口罩加工厂等与防疫相关的企业进行复工复产,之后疫情逐步稳定后,省政府逐步放宽复工复产的企业类型,于3月12日(第71天)政府公布复工复产率达到51%,图3中自3月起,省平均总灯光指数呈现出稳定增长的趋势,说明政府的复工复产政策得以执行,但是灯光总值还未能够达到1月初的水平,且随着城市的正常建设与发展,区域灯光总值应该是持续稳定增长的,因此,为了判断复工复产的重点行业,本文结合POI数据从需要复工复产的行业入手,为精准复工复产提供科学指导。

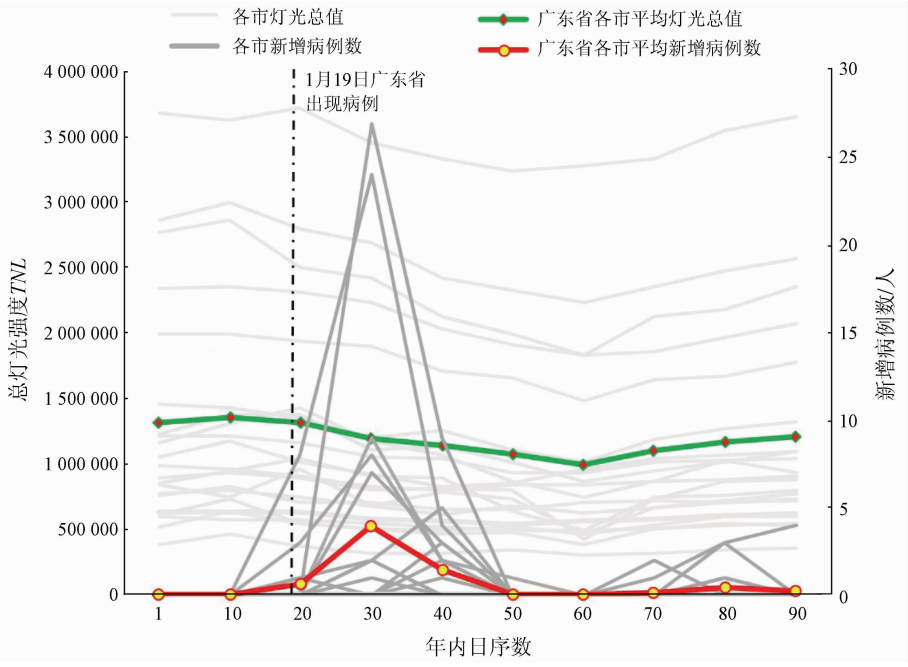

图 3　广东省各市日新增病例和总灯光强度的时间序列变化图

Fig. 3　Time series change chart of daily new cases and city TNL in Guangdong Province

3　研究方法

本文通过建立夜间灯光数据与 GDP_{23} 之间的回归模型[12],对广东省 2019 年、2020 年第一季度 GDP_{23} 进行空间格网化,对 COVID－19 疫情背景下广东省 2020 年第一季度 GDP_{23} 空间格局的变化进行对比分析。作为第二产业的工业、建筑业和以服务业为主的第三产业都与城市夜间灯光强度有较为紧密的关系,第二、三产业的生产总值与夜间灯光数据之间的关系的建模结果要优于单独建模的结果[6]。因此本文用夜间灯光数据对广东省第二、三产业生产总值之和建立关系。

3.1　不同灯光指数与 GDP_{23} 的回归分析

灯光指数是表征夜间灯光强度的指标,目前反映社会经济水平的常用灯光指数指标有总灯光强度(TNL)、平均灯光强度(I)、灯光面积比(S)、线性加权综合灯光指数(L)和综合灯光指数($CNLI$)[13－15]。

1)总灯光强度(total night light,TNL),行政单元内灯光 DN 值的总和。

2)平均灯光强度 I,夜间灯光总强度占最大灯光强度的比率。

3)灯光面积比 S,灯光面积与行政单元面积之比。

4)综合灯光指数(compounded night light index,CNLI),平均灯光强度与灯光面积比的乘积。

计算公式分别为:

$$TNL = \sum_{i=DN_{\min}}^{DN_{\max}} (DN_i \times n_i) \quad , \tag{1}$$

$$I = TNL/(DN_{\max} \times N_L) \quad , \tag{2}$$

$$S = A_n/A \quad , \tag{3}$$

$$CNLI = I \times S \quad , \tag{4}$$

$$L = p_1 I + p_2 S \quad , \tag{5}$$

式中:ND_i 和 n_i 分别为行政单元内第 i 级灰度像元值和像元数;N_L 和 A_n 分别为行政单元在 $[DN_{\min}, DN_{\max}]$ 区间的像元总数和所占据的面积;A 为行政单元面积;L 为 I 和 S 的函数;p_1 和 p_2 分别为指标 I 和 S 的权重,通过多元线性拟合的方式求出 p_1 和 p_2 的值分别为 0.9 和 0.1,即:

$$L = 0.9I + 0.1S \quad 。 \tag{6}$$

线性和幂函数模型是分析夜间灯光数据常用的回归模型,本文基于线性和幂函数模型对 5 种夜间灯光指数与广东省 21 个市 GDP_{23} 进行拟合分析,得出广东省 GDP_{23} 与夜间灯光指数的最佳拟合函数,并进行 GDP_{23} 的空间化,公式为:

$$GDP_{23} = a \times x_{\text{light}} + b \quad , \tag{7}$$

$$GDP_{23} = a \times x_{\text{light}}^{\ b} \quad , \tag{8}$$

式中:a 和 b 为回归系数,x_{light} 为灯光指数,公式为:

$$\ln GDP_{23} = a \times \ln x_{\text{light}} + b \quad 。 \tag{9}$$

式(9)是式(8)的线性表达形式。利用广东省 21 个

市的 *TNL*，*I*，*S*，*L* 和 *CNLI* 这 5 种灯光指数与 GDP_{23} 统计数据根据式(7)、(9)进行回归，回归结果如表 2 所示。由表 2 可知 *TNL* 灯光指数和 GDP_{23} 之间具有良好的幂函数关系，如图 4 和图 5 所示，拟合得到的 2019 年和 2020 年第一季度 GDP_{23} 线性形式的幂函数模型见式(10)，(11)，可用其来进行 GDP_{23} 的空间化，公式为：

$$\ln GDP_{23} = 1.608 \times \ln TNL - 15.090 , \quad (10)$$

$$\ln GDP_{23} = 1.654 \times \ln TNL - 16.173 。 \quad (11)$$

表 2 2019 年、2020 年 GDP_{23} 与灯光数据指标的回归模型参数

Tab. 2 Regression model parameters for 2019 and 2020 between GDP_{23} and night – time data indicators

年份	变量 1/(*Y*)	变量 2/(*X*)	拟合函数类型	拟合优度 R^2	F 得分
2019 年	GDP_{23}	*I*	线性	0.563	24.486
		S	线性	0.086	1.790
		aI + *bS*	线性	0.563	24.484
		CNLI	线性	0.563	24.462
		TNL	线性	0.809	80.266
	$\ln GDP_{23}$	ln*I*	幂函数	0.622	31.205
		ln*S*	幂函数	0.176	4.058
		ln(*aI* + *bS*)	幂函数	0.634	32.891
		ln*CNLI*	幂函数	0.621	31.116
		ln*TNL*	幂函数	0.837	97.309
2020 年	GDP_{23}	*I*	线性	0.551	23.303
		S	线性	0.055	1.099
		aI + *bS*	线性	0.551	23.303
		CNLI	线性	0.551	23.303
		TNL	线性	0.735	52.743
	$\ln GDP_{23}$	ln*I*	幂函数	0.614	30.239
		ln*S*	幂函数	0.089	1.863
		ln(*aI* + *bS*)	幂函数	0.628	32.093
		ln*CNLI*	幂函数	0.614	30.226
		ln*TNL*	幂函数	0.841	100.718

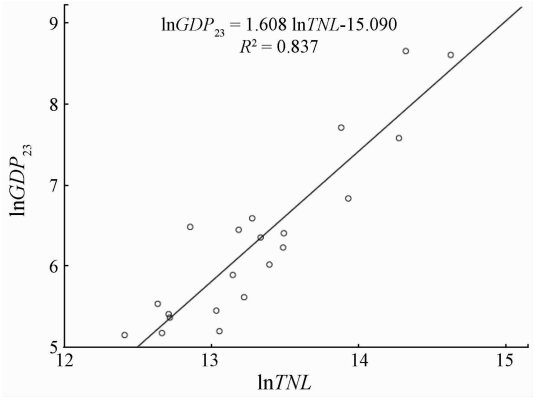

图 4 2019 年 GDP_{23} 与 *TNL* 的幂函数回归模型

Fig. 4 Regression model of linear function between GDP_{23} and *TNL* in 2019

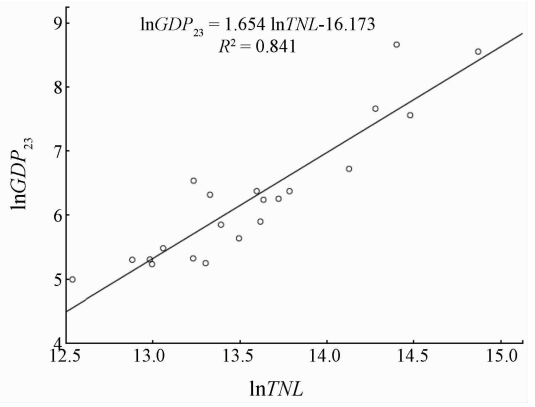

图 5 2020 年 GDP_{23} 与 *TNL* 的幂函数回归模型

Fig. 5 Regression model of linear function between GDP_{23} and *TNL* in 2020

3.2 省域 GDP 空间化建模方法

对社会经济数据空间化时，格网尺度大小对最终模拟结果有着重要的影响，格网尺度并非越小越好。研究表明，国家和全球格网尺度为 1 km 或 5 km，省市区域的格网尺度在 100 ~ 1 000 m 之间为佳。确定格网尺度的原则为：在顾及地理数据尺度的前提下，既要反映社会经济数据的原始分布状态，又要反映出其连续分布的现实[16,17]。鉴于广东省经济发达且经济活动密度高，结合夜间灯光数据的空间分辨率，本次研究选用了 500 m 格网尺度。采用式(7)和式(8) 模拟得到广东省 2019 年和 2020 年第一季度 GDP_{23} 的空间分布。

在利用式(10)、(11)进行 GDP_{23} 的空间化时，TNL 被替换为空间化格网范围内的 TNL，本研究中为一个像元，空间化后误差较大，需要利用 GDP_{23} 的实际产值通过线性调整进行校正[6]，公式为：

$$GDP_c = GDP_j \times \left(\frac{GDP_r}{GDP_R}\right) , \quad (12)$$

式中：GDP_c 为校正后格网 j 空间化模拟 GDP_{23}；GDP_j 为校正前直接利用式(10)、(11)模拟的格网 *j* 的 GDP_{23}；GDP_r 和 GDP_R 分别为模拟的和实际的城市的 GDP_{23}。

3.3 精准复工复产建模方法

根据广东省 2019 年和 2020 年第一季度 GDP_{23} 的空间分布可以计算得到广东省 2019 年至 2020 年的 GDP_{23} 的差异空间分布。根据广东省 2019 年和 2020 年的 GDP_{23} 的空间化结果，可知 GDP_{23} 增加最大的两个城市(韶关市和深圳市)和 GDP_{23} 减少最大的两个城市(广州市和中山市)，结合 2019 年和 2020 年 GDP_{23} 差异空间和 4 个城市的 POI 数据，通过空间分析得到影响 GDP_{23} 变化的行业类别，统计各市影响 GDP_{23} 的不同行业的差异，得出应精确复工复产的行业，从而为省市政府精确复工复产提供

辅助性的建议。

4　结果分析

4.1　空间化结果

利用式(10)—(12)对广东省 2019 年与 2020 年第一季度 GDP_{23}进行空间化模拟,模拟结果见图 6 和图 7。GDP_{23}空间化的结果可以从两个方面来反映广东省 GDP_{23}的情况。从空间上,2019 年和 2020 年的 GDP_{23}空间分布具有很好的一致性,且广东省 GDP_{23}高密度区域集中分布在广州、深圳、佛山和东莞 4 个城市,这与统计数据结果相同。其他城市 GDP_{23}的密度则相对均衡,每个城市都有一个 GDP_{23} 密度高的中心区域,这个中心区域一般就是城市的商业中心。广东省 21 个城市中,广州和深圳的 GDP_{23}最高,但 2 个城市的 GDP_{23}高密度区域面积占比存在差别。深圳市 GDP_{23}的高密度区域面积占比将近 80%,而广州市 GDP_{23}的高密度区域面积占比仅 40%。从 2 座城市的发展历程来看,深圳市是从改革开放的经济特区发展起来的,因此全市大部分地区是近几十年新建成以二三产业为主导的区域,所以高密度区域面积占比很大。广州市为广东省省会,历史悠久,在一二三产业上都有悠久的历史发展,而且广州市的山地、丘陵、平原等地貌均有分布且山地分布在东北部区域,这也与 GDP_{23}空间化模拟结果相符合,因此广东省虽然 GDP_{23}高密度区域面积大,但占比却远不及深圳。

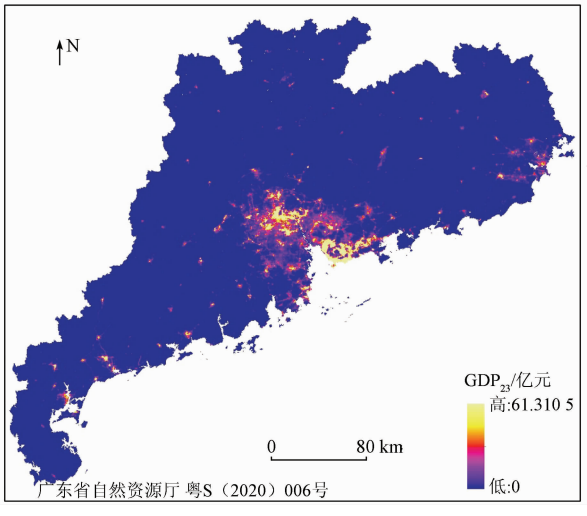

图 6　2019 年第一季度广东省 500 m 空间分辨率 GDP_{23}图

Fig. 6　The GDP_{23} spatial distribution map of Guangdong Province with 500 m spatial resolution in First quarter of 2019

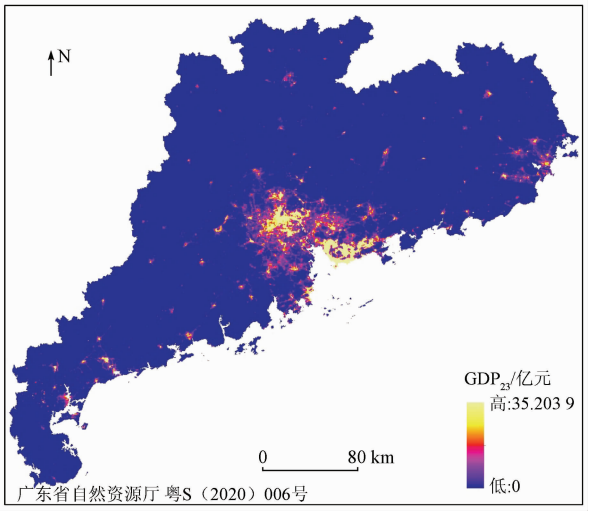

图 7　2020 年第一季度广东省 500 m 空间分辨率 GDP_{23}图

Fig. 7　The GDP_{23} spatial distribution map of Guangdong Province with 500 m spatial resolution in First quarter of 2020

在时间上,对 2019 年和 2020 年广东省第一季度的 GDP_{23}空间化模拟结果进行差值运算,如图 8 所示,其中正值表示 2020 年 GDP_{23}相对于 2019 年增加的产值,负值表示 2020 年 GDP_{23}相对于 2019 年减少的产值。从图 8 可以看出,GDP_{23}密度增加和减少比较剧烈的格网呈现出团块聚集相间的分布模式,GDP_{23}增加和减少所占的像元数目较为均衡,但 GDP_{23}增加和减少的像元值差异较大,变化程度最大的正是经济较为发达的城市(广州、深圳、东莞和佛山)。这表明越是经济发达的地区,其经济受到 COVID－19 的冲击影响也越大。值得注意的是虽然有些格网显示经济出现正增长,但是这并不能表示这些格网区域未受到疫情冲击,有可能只是经济增长减少。

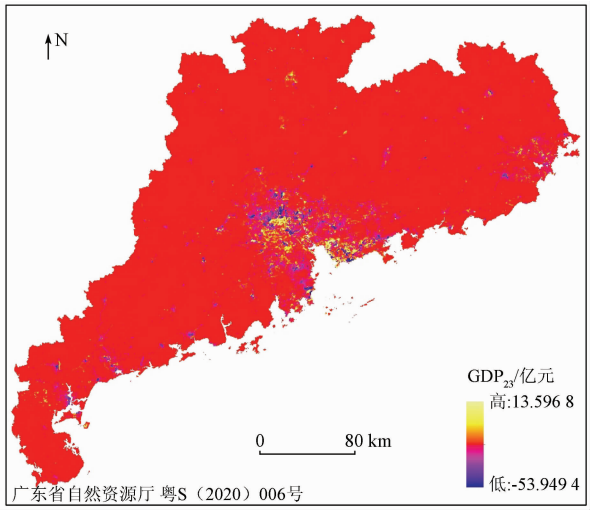

图 8　广东省 2019 年与 2020 年第一季度的 GDP_{23}的差异的空间分布

Fig. 8　Spatial distribution of GDP_{23} difference between 2019 and 2020 in Guangdong Province

对广东省 21 个市 2019 年和 2020 年 GDP_{23}的空

间化模拟结果与实际统计值进行误差分析，结果见表 3。根据表 3 可知对 2019 年和 2020 年广东省各市的 GDP_{23} 的模拟精度都很高，相对误差均 < 1%，能够满足对 2019 年和 2020 年 GDP_{23} 对比分析的精度需求。这说明夜间灯光数据是对 GDP 参数进行空间化的良好数据源。

表 3 广东省各市 2019 年和 2020 年 GDP_{23} 模拟值和实际统计值的相对误差

Tab. 3 The relative error between the simulated value and the actual statistical value of GDP_{23} in 2019 and 2020 for each city in Guangdong Province

城市	2019 年			2020 年		
	统计值/亿元	空间化值/亿元	相对误差/%	统计值/亿元	空间化值/亿元	相对误差/%
汕尾	181.76	181.76	<1	190.12	190.12	<1
惠州	932.62	932.62	<1	829.63	829.63	<1
佛山	2 232.24	2 232.24	<1	2 124.19	2 124.19	<1
梅州	234.06	234.06	<1	204.74	204.74	<1
韶关	177.71	177.71	<1	240.11	240.11	<1
河源	214.85	214.85	<1	187.22	187.22	<1
汕头	509.36	509.36	<1	511.82	511.82	<1
东莞	1 960.61	1 960.61	<1	1 917.62	1 917.62	<1
中山	730.26	730.26	<1	585.97	585.97	<1
江门	607.4	607.40	<1	585.33	585.33	<1
阳江	254.75	254.75	<1	200.28	200.28	<1
湛江	576.75	576.75	<1	519.91	519.91	<1
茂名	633.91	633.91	<1	553.56	553.56	<1
肇庆	363.19	363.19	<1	346.56	346.56	<1
清远	276.2	276.20	<1	280.1	280.1	<1
潮州	224	223.31	<1	201.2	201.2	<1
揭阳	412.99	412.99	<1	364.04	364.04	<1
云浮	173.31	173.31	<1	147.83	147.83	<1
广州	5 462.54	5 462.54	<1	5 182.22	5 182.22	<1
深圳	5 728.2	5 728.20	<1	5 780.38	5 780.38	<1
珠海	656.48	656.48	<1	688.98	688.98	<1

4.2 精准复工复产评价结果

通过表 3 可知 2019—2020 年 GDP_{23} 产值增加最多的 2 个城市为韶关市和深圳市，减少最多的 2 个城市为广州市和中山市。为了进一步分析原因，提取这 4 个城市 GDP_{23} 变化较大像元对应处的 POI 数据，对各市 GDP_{23} 变化较大像元对应处的 POI 数据进行统计分析，得到影响 GDP_{23} 的不同行业类别 POI 分布百分比，如图 9 和图 10 所示。可以看出，尽管广州市和中山市同样发生经济衰退，但是广州市在生活服务行业、文化传媒行业和金融行业占比上均高于中山市，中山市在购物消费、房地产和公司企业上高于广州市，2 个城市经济衰退的原因不同，故针对 2 个城市的复工复产政策也不同。此外，同样为经济增长的深圳市和韶关市在增长原因上也不相同，深圳市在金融和文化传媒行业上占比都高于韶关市，在生活服务行业和公司企业占比上低于韶关市，房地产行业和购物对两市经济增长的贡献度基本相同。

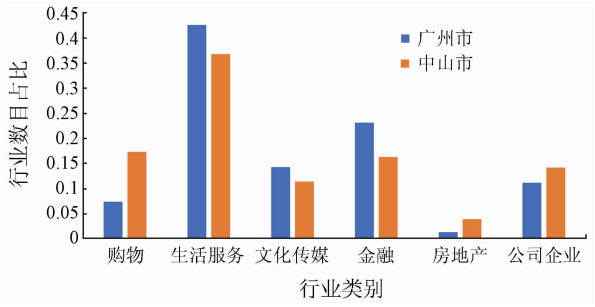

图 9 广州 – 中山经济衰退差异

Fig. 9 Guangzhou – Zhongshan economic recession difference

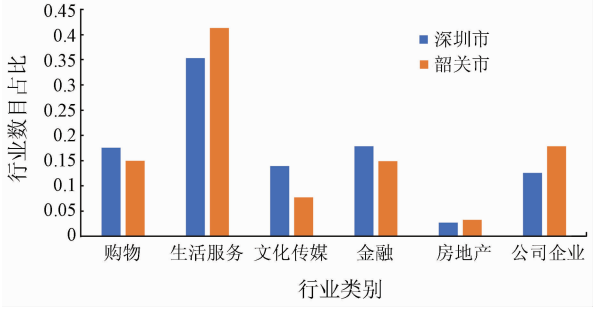

图 10 深圳 – 韶关经济增长差异

Fig. 10 Shenzhen – Shaoguan economic growth difference

5 结论与讨论

本文利用 2019 年和 2020 年广东省疫情实时监测数据、夜间灯光数据、GDP_{23} 统计数据对 GDP_{23} 进行空间化模拟和时空变化分析，再结合 POI 数据对广东省 2019 年和 2020 年 GDP_{23} 变化较大（增加和减少）的重点城市进行空间分析，为省市政府精准复工复产提出意见和建议。

1）广东省夜间灯光强度受疫情影响具有较为明显的变化，灯光数据强度变化的节点与疫情发展变化的节点基本一致，而夜间灯光数据强度与经济活动强度直接相关，因此可以利用夜间灯光数据反映疫情对经济活动的影响。

2）NPP – VIIRS 夜间灯光 GDP_{23} 空间化方法可以精确估算广东省 GDP_{23} 产值，反映广东省 21 个市的经济空间分布特征。研究结果表明：GDP_{23} 与各市 NPP – VIIRS 总灯光强度呈现较强的幂函数关系；从 500 m 格网分辨率的 GDP_{23} 空间化模拟精度上来看，校正后分配在每个格网的 GDP_{23} 之和与各个地市统计 GDP_{23} 总量的相对误差均小于 1%，模拟

精度较高。

3)从广东省 GDP_{23} 的空间分布来看,无论是 2019 年第一季度还是 2020 年第一季度,广东省的 GDP_{23} 空间分布都表现出了一致性,即 2019 年的高值区在 2020 年依旧是高值区,说明广东省 GDP_{23} 高值区的行业占广东省 GDP_{23} 的比重较大,即使受到了较大影响,依然属于高值区。

4)根据广东省 2019 年至 2020 年的 GDP_{23} 差异的空间分布,广东省 21 市的 GDP_{23} 高密度区域的值大都减少,这反映出疫情对广东省第二三产业的影响很大,在空间上疫情影响的范围比较广; 从值上来看,对原 GDP_{23} 高密度的城市 GDP_{23} 影响较大。这一结果也表明广东省的经济结构,即具有较强经济活力的区域是受疫情影响比较大的行业。在防控政策的影响下,这些行业收到比较严重的冲击。

5)尽管广州市和中山市在 2020 年都出现经济衰退现象,但是原因不同。广州市作为广东省省会,是广东省的政治中心和行政管理中心,基于这样的属性下,城市的发展则更多的表现在文化传媒和生活服务上,而中山市则更加注重购物、房地产和一些公司企业上。由于受到新型冠状病毒的冲击,使人们出行受限和收入降低,从而极大的降低了这些行业产生的 GDP_{23} 值,进而广州市和中山市出现经济倒退现象。因此,在疫情已经得到稳定控制的现在,省市政府可以对广州市通过促进市民购物消费和分阶段实施公司企业复工复产来实现 GDP 的回升,对中山市可以通过促进市民投资理财和帮助市民提升生活品质上来实现 GDP 的回升。

6)当前中国的疫情已经稳定,COVID－19 疫情防控已经转入常态化,经济活动已经基本恢复到疫情前的水平。但是本研究仍然具有意义,特别是在全球 COVID－19 仍在大流行的阶段,对于评估其他国家乃至全球经济受 COVID－19 的影响程度以便合理制定国际贸易政策仍具有参考意义。

本研究也存在一定的不足,对于 2019 年和 2020 年的 GDP_{23} 对比分析只从增长与减少的角度进行考虑,没有考虑经济增长模型对 2020 年的 GDP 进行校正,因为增加的区域并不能说明疫情没有造成影响,只能说明没有造成经济衰退。利用 POI 数据进行受疫情影响的行业分析的准确性需要进一步验证。最后,对造成经济正增长和负增长差异的产业结构原因也有待进一步研究。

志谢: 衷心感谢中国科学院地理与资源研究所裴韬研究员的建设性意见和建议,感谢中山大学刘迪博士的帮助与支持。

参考文献(References):

[1] 徐梦洁,陈 黎,刘焕金,等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的长江三角洲地区城市化格局与过程研究[J]. 国土资源遥感,2011,23(3):106－112. doi:10.6046/gtzyyg.2011.03.19.
Xu M J,Chen L,Liu H J,et al. Pattern and process of urbanization in the Yangtze Delta based on DMSP/OLS data[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2011,23(3):106－112. doi:10.6046/gtzyyg.2011.03.19.

[2] 王晓慧,肖鹏峰,冯学智,等. 基于 DMSP/OLS 数据的中国大尺度城镇用地信息提取[J]. 国土资源遥感,2013,25(3):159－164. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.26.
Wang X H,Xiao P F,Feng X Z,et al. Extraction of large－scale urban area information in China using DMSP/OLS nighttime light data[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2013,25(3):159－164. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.26.

[3] 陈 征,胡德勇,曾文华,等. 基于 TM 图像和夜间灯光数据的区域城镇扩张监测——以浙江省为例[J]. 国土资源遥感,2014,26(1):83－89. doi:10.6046/gtzyyg.2014.01.15.
Chen Z,Hu D Y,Zeng W H,et al. TM image and nighttime light data to monitoring regional urban expansion:A case study of Zhejiang Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2014,26(1):83－89. doi:10.6046/gtzyyg.2014.01.15.

[4] Elvidge C D,Baugh K E,Kihn E A,et al. Relation between satellite observed visible－near infrared emissions,population,economic activity and electric power consumption[J]. International Journal of Remote Sensing,1997,18(6):1373－1379.

[5] Elvidge C D,Imhoff M L,Baugh K E,et al. Night－time lights of the world:1994－1995[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2001,56(2):81－99.

[6] 李 峰,米晓楠,刘 军,等. 基于 NPP－VIIRS 夜间灯光数据的北京市 GDP 空间化方法[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):19－24.
Li F,Mi X N,Liu J,et al. Spatialization of GDP in Beijing using NPP－VIIRS data[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2016,28(3):19－24.

[7] 郭永德,高金环,马洪兵. Suomi－NPP 夜间灯光数据与 GDP 的空间关系分析[J]. 清华大学学报(自然科学版),2016,56(10):1122－1130.
Guo Y D,Gao J H,Ma H B. Spatial correlation analysis of Suomi－NPP nighttime light data and GDP data[J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science edition),2016,56(10):1122－1130.

[8] 于丙辰,刘玉轩,陈 刚. 基于夜光遥感与 POI 数据空间耦合关系的南海港口城市空间结构研究[J]. 地球信息科学学报,2018,20(6):854－861.
Yu B C,Liu Y X,Chen G. Urban spatial structure of port city in south China Sea Based on spatial coupling between nighttime light data and POI[J]. Journal of Geo－Information Science,2018,20(6):854－861.

[9] 宁 波. 广东简介[N/OL]. 中国日报,2009－10－09(10)[2020－10－20]. http://www.chinadaily.com.cn/dfpd/2009－10/09/content_8772777_2.html.
Ning B. Introduction of Guangdong[N/OL]. China Daily,2009－10－09(10)[2020－10－20]. http://www.chinadaily.com.cn/dfpd/2009－10/09/content_8772777_2.html.

[10] 陈继奋,刘蔚琴,李文媛. 2018 年广东省气候概况[J]. 广东气象,2019,41(6):5 - 8.
Chen J F,Liu W Q,Li W Y. A summary of the climate in Guangdong Province in 2018[J]. Guangdong Meteorology,2019,41(6):5 - 8.

[11] 周 翼,陈 英,刘 洋,等. NPP - VIIRS 年度夜间灯光数据的合成方法与验证[J]. 遥感信息,2019,34(2):62 - 68.
Zhou Y,Chen Y,Liu Y,et al. Generation and verification of NPP - VIIRS annual nighttime light data[J]. Remote Sensing Information,2019,34(2):62 - 68.

[12] Li X,Xu H,Chen X,et al. Potential of NPP - VIIRS nighttime light imagery for modeling the regional economy of China[J]. Remote Sensing,2013,5(6),3057 - 3081.

[13] 韩向娣,周 艺,王世新,等. 夜间灯光遥感数据的 GDP 空间化处理方法[J]. 地球信息科学学报,2012,14(1):128 - 136.
Han X T,Zhou Y,Wang S X,et al. GDP spatialization in China based on nighttime imagery[J]. Journal of Geo - information Science,2012,14(1):128 - 136.

[14] 卓 莉,史培军,陈 晋,等. 20 世纪 90 年代中国城市时空变化特征——基于灯光指数 CNLI 方法的探讨[J]. 地理学报,2003(6):893 - 902.
Zhuo L,Shi P J,Chen J,et al. Application of compound night light index derived from DMSP/OLS data to urbanization analysis in China in the 1990s[J]. Acta Geographica Sinica,2003(6):893 - 902.

[15] 陈 晋,卓 莉,史培军,等. 基于 DMSP/OLS 数据的中国城市化过程研究——反映区域城市化水平的灯光指数的构建[J]. 遥感学报,2003,7(3):168 - 175.
Chen J,Zhuo L,Shi P J,et al. The study on urbanization process in China based on DMSP/OLS data:Development of a light index for urbanization level estimation[J]. Journal of Remote Sensing,2003,7(3):168 - 175.

[16] 叶 靖,杨小唤,江 东. 乡镇级人口统计数据空间化的格网尺度效应分析——以义乌市为例[J]. 地球信息科学学报,2010,12(1):40 - 47.
Ye J,Yang X H,Jiang D. The grid scale effect analysis of town leveled population statistical data spatialization[J]. Journal of Geo - information Science,2010,12(1):40 - 47.

[17] 李月娇,杨小唤,王 静. 基于景观生态学的人口空间数据适宜格网尺度研究——以山东省为例[J]. 地理与地理信息科学,2014,30(1):97 - 100.
Li Y J,Yang X H,Wang J. Grid size suitability of population spatialization distribution in Shandong Province based on landscape ecology[J]. Geography and Geo - information Science,2014,30(1):97 - 100.

Impacts of COVID - 19 epidemic on the spatial distribution of GDP contributed by secondary and tertiary industries in Guangdong Province in the first quarter of 2020

WANG Zheng[1,2], JIA Gongxu[1,2], ZHANG Qingling[1,3], HUANG Yue[1,2]

(1. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi* 830011, *China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; 3. *School of Aeronautics and Astronautics, Sun Yat - sen University, Guangzhou* 510275, *China*)

Abstract: Gross Domestic Product (GDP) is commonly regarded as the best measure of a country's economic health. In 2020, China suffered from a relatively serious COVID - 19 epidemic, which had a huge impact on economic development. This paper aims to accurately analyze the spatial and temporal variation pattern of the GDP contributed by the second and tertiary industries in Guangdong Province, China in the first quarter under the background of the epidemic. To this end, the remote sensing data of night - time light was taken as an indicator of GDP contributed by the secondary and tertiary industries (GDP 23). By combining the real - time monitoring data of the epidemic and point of interest (POI) data of Guangdong Province, the authors firstly determined that the epidemic was the factor that caused the decrease in urban total night light intensity (TNLI). Then they analyzed the fitting of various night light indices and different regression models to the GDP 23 of Guangdong Province. Based on this, the optimal index and model were selected for the spatial grid partition of GDP 23 and the comparison of GDP 23 with that in 2019. Afterward, the authors analyzed the impacts of COVID - 19 on GDP 23 of Guangdong Province in the first quarter and the reasons from spatial - temporal perspectives according to the spatial simulation results of GDP 23. For the cities most affected by the epidemic, the most affected industries were obtained through the statistical analysis of POI data, aiming to scientifically guide the precise resumption of work and production in Guangdong Province. The results are as follows. The spatial distribution of GDP 23 in 2019 was highly consistent with that in 2020, and the heart of Guangdong's economic development consisted of Guangzhou,

Shenzhen, Dongguan, and Foshan cities in the two years. In terms of temporal distribution, 21 cities in Guangdong Province were affected by COVID－19 at different degrees in 2020 compared to 2019. Among them, the cities with relatively developed economies were affected the most, including Shenzhen, Guangzhou, Dongguan, and Foshan. According to POI data and the spatial distribution difference of GDP 23 between 2019 and 2020, the cities having suffered the biggest economic impacts were Guangzhou and Zhongshan, where the leading industries included shopping, real estate, and enterprises and companies, while the cities with the highest increased amplitude of GDP 23 included Shaoguan and Shenzhen, where the leading industries consisted of finance, real estate, and shopping. Therefore, the provincial and municipal governments should formulate corresponding policies on the financial industry, life service industry, and shopping consumption in Guangzhou and Zhongshan cities, in order to accurately assist enterprises and companies to early resume work and production.

Keywords: NPP－VIIRS data; GDP contributed by secondary and tertiary industries; spatialization; Guangdong Province; POI data; COVID－19

(责任编辑: 李 瑜)