

doi: 10.6046/zrzyyg.2023257

引用格式: 李睿锴, 赵宗泽, 汤晓洁, 等. 夜光遥感新冠疫区主要城市经济时空分析[J]. 自然资源遥感, 2025, 37(1): 243–251.
(Li R K, Zhao Z Z, Tang X J, et al. Spatiotemporal analysis of economy in China's primary cities affected by the COVID-19 pandemic based on remote sensing of night light[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2025, 37(1): 243–251.)

夜光遥感新冠疫区主要城市经济时空分析

李睿锴¹, 赵宗泽¹, 汤晓洁², 张嘉芸¹, 王冠¹, 张丽娟¹

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000; 2. 郑州工商学院, 郑州 451400)

摘要: 新型冠状病毒肺炎疫情(下文简称“新冠疫情”)对我国经济产生了重大影响。该研究基于 NPP-VIIRS 夜间灯光(night time light, NTL)数据, 选取 5 个曾发生大规模聚集性疫情的国内主要城市, 建立 NTL 指数与国内生产总值(gross domestic product, GDP)统计值的拟合模型, 反演经济月度变化情况, 得到 GDP 空间化数据, 并利用月度间 GDP 密度差值分析经济空间变化趋势。得出主要结论如下: ①利用 NTL 指数进行 GDP 空间化得到的 GDP 预测值相对误差较小, 能够直观清晰地反映出城市经济受疫情影响情况; ②受到人员流动政策影响, 大多数城市边缘区域在疫情初期和后期经济出现衰退, 在疫情中期经济出现增长, 而中心区经济在疫情中期出现衰退, 在疫情初期受影响较小且疫情后期恢复增长迅速; ③城市中心区域经济抵御疫情影响能力强于边缘区域。

关键词: 夜间灯光指数; 新冠疫情; 国内主要城市; GDP 空间化; 经济时空变化

中图分类号: TP 79; P 237 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2025)01-0243-09

0 引言

新型冠状病毒肺炎疫情(下文简称“新冠疫情”)对我国经济发展产生了广泛影响^[1]。夜间灯光(night time light, NTL)遥感利用传感器获取地表夜间灯光亮度的辐射值, 可以反映出区域内的经济活动强度; 国内生产总值(gross domestic product, GDP)能够客观评价社会经济发展程度, 但传统 GDP 只能反映宏观经济情况, 不能反映区域的内部差异^[2]。通过 NTL 指数进行 GDP 空间化在一定程度上可以弥补传统 GDP 统计方法的不足, 近年来被广泛研究^[3-8]。刘杨等^[9]基于 NPP-VIIRS NTL 数据和兴趣点(point of interest, POI)数据, 对北京市进行了 GDP 空间化研究; Dai 等^[10]发现 NPP-VIIRS NTL 数据相较于 DMSP/OLS 数据, 在省级和市级尺度下的 GDP 模拟精度更高; 孙久文等^[11]基于 NPP-VIIRS NTL 数据和高德人口迁徙数据对长三角城市群的空间结构进行了研究; 李翔等^[12]基于珞珈一号 NTL 数据, 对广东省进行了 GDP 空间化研究, 发现珞珈一号 NTL 数据在第二、三产业发达地区有更强的适用性。

目前, 大部分基于 NTL 数据的 GDP 空间化研究采用年度数据进行分析^[13], 且 NTL 数据在疫情期间经济研究领域应用较为广泛。江泽霖等^[14]基于逐日 NTL 影像, 研究了北京市疫情变化情况; 陶金花等^[15]通过遥感手段对疫情期间复工复产情况进行监测; Elvidge 等^[16]表明灯光变暗主要与人员流动情况有关; Liu 等^[17]利用 NTL 遥感分析新冠疫情对环境的影响, 得出疫情期间 NTL 指数降低且大多数省份的空气质量提升的结论; Shao 等^[18]证明了使用 NTL 监测工作恢复程度的可能性; 裴韬等^[19]对疫情期间 NTL 指数建模进行了研究。通过以上研究得出, NTL 遥感可以较好地反映出疫情对城市经济时空变化的影响。因此, 本研究选取年度 GDP 和年度 NTL 指数建立拟合模型, 将模型代入月度合成 NTL 数据, 经过校正, 进行 GDP 空间化, 分析城市内部经济时空变化, 研究国内主要城市在疫情影响下的 GDP 空间分布情况和发展规律。我国在 2019 年 12 月最早受到疫情影响, 初期疫情主要分布在湖北省, 后逐渐扩散到全国范围。2020 年 4 月, 第一批全国范围内疫情流行结束。此后, 疫情在全国一些重点城市出现聚集性流行, 流行时间跨度在 1 个月至多个月不等。本文主要选取武汉市、南

收稿日期: 2023-08-28; 修订日期: 2023-12-05

基金项目: 河南理工大学基本科研业务费专项项目(自然科学类)“3D 特征神经网络灾区建筑物损伤分类”(编号: NSFRF210313)资助。

第一作者: 李睿锴(2003-), 男, 本科, 主要从事夜光数据处理与分析工作。Email: liruikaistudy@163.com。

通信作者: 赵宗泽(1988-), 男, 博士, 讲师, 主要从事遥感数据处理与分析研究。Email: zzz0212@foxmail.com。

京市、西安市、长春市和上海市 5 个国内主要城市,利用夜光遥感对曾发生大规模聚集性疫情的这 5 个城市进行 GDP 空间化,分析受疫情影响期间经济时空变化情况,以及疫情对城市内部不同区域经济的影响。本文利用 GDP 密度差值变化趋势分析不同区县受疫情影响程度差异,为疫情期间经济研究提供新的方法。

1 研究区概况及数据源

自疫情流行以来,在多个城市曾发生过大规模聚集性疫情。本文选取的国内主要城市及研究时间段如表 1 所示。新冠疫情发展的时间线为:2020 年初在我国范围内大规模爆发;2020 年 1—2 月,全国

表 1 研究城市及时间段
Tab.1 Research cities and time periods

城市	疫情严重时间段	疫情发展过程
湖北省武汉市	2020 年 1—4 月	2019 年 12 月 8 日通报首例病例,2020 年 1 月 23 日开始管控,3 月 17 日起援鄂医疗队陆续撤离,4 月 8 日解除离汉管控
江苏省南京市	2021 年 7—8 月	2021 年 7 月 20 日报告首例病例,7 月 22 日起开始管控,8 月 19 日全域转为低风险地区
陕西省西安市	2021 年 12 月—2022 年 1 月	2021 年 12 月 9 日报告首例病例,12 月 23 日开始管控,2022 年 1 月 23 日全域转为低风险地区
吉林省长春市	2022 年 2—4 月	2022 年 3 月初发现病例,3 月 20 日新增病例速度达到顶点,进行管控,4 月下旬疫情得到逐步控制
上海市	2022 年 3—5 月	2022 年 3 月 1 日报告首例病例,3 月 13 日起疫情快速扩散,4 月 1 日实施管控,6 月 1 日解除管控

病例迅速增加,湖北省疫情尤为严重;2020 年 2—3 月,病例数逐步下降;2020 年 4 月底,开始进入常态化疫情防控阶段。综上,本文研究时间段选取 2019 年 12 月—2022 年 11 月。

本文选取的 NTL 数据为 NPP-VIIRS NTL 数据,如表 2 所示。相比于 DMSP/OLS 数据,NPP-VIIRS 的传感器更加灵敏,空间分辨率更高(750 m)。

表 2 数据来源
Tab.2 Data sources

数据类型	数据来源
NPP-VIIRS NTL 数据	美国国家海洋大气管理局 NOAA 下属的 NCEI 国家环境信息中心
行政区划数据	中国科学院资源环境科学与数据中心
年度 GDP 统计资料	《中国城市统计年鉴》
月度 GDP 统计资料	各地市《统计年鉴》

在时间跨度方面,NPP-VIIRS NTL 数据提供的月度合成数据和年度合成数据符合研究所需。为了对 GDP 进行空间化,还需要用到行政区划数据和 2012—2022 年各城市年度 GDP 统计资料。

2 研究方法

2.1 数据预处理

根据 NPP-VIIRS NTL 影像和中国地级市行政区划数据提取得到研究选取的 5 个地级市的 NTL 影像,如图 1 所示。对 NTL 影像进行重投影并将影像重采样至 500 m 网格。NPP-VIIRS NTL 数据虽然排除了受杂散光影响的数据,但由于其传感器可以捕捉微弱灯光,会受到背景噪声的干扰。因此需

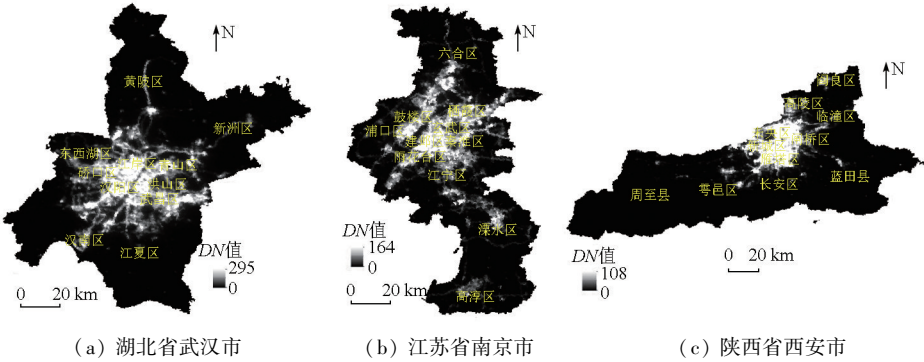


图 1-1 研究区域 NTL 影像
Fig.1-1 NTL images of the study areas

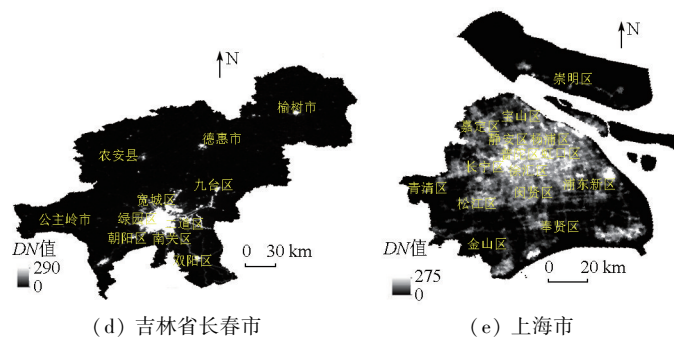


图 1-2 研究区域 NTL 影像

Fig.1-2 NTL images of the study areas

要设置 NTL 最大阈值,当 NTL 辐射值大于最大阈值时,设置其数值等于最大阈值,以剔除辐射值过高的异常像元。同时,将 NTL 辐射值无值或负值的数据设置为 0。

2.2 提取灯光指数并构建拟合模型

通过对比其他研究,发现总灯光亮度 (total night light, TNL) 和平均灯光亮度 (mean night light, MNL) 与 GDP 的拟合精度普遍较高。本研究主要选取 TNL 和 MNL 指数进行城市 GDP 空间化研究, TNL 和 MNL 指数计算公式为:

$$TNL = \sum_{i=0}^M DN_i n_i, \quad (1)$$

$$MNL = \frac{1}{N} \times \sum_{i=0}^M DN_i n_i, \quad (2)$$

式中: DN_i 为区域中灰度值为 i 的像素; M 为区域中最大灰度值; n_i 为区域中灰度值为 i 的数量; N 为区域中像素总数。

迄今为止,单一的线性模型难以满足对经济数据的预测,为了更好地拟合 GDP 数据与 NTL 指数之间的关系,许多研究构建了各种数学模型来模拟分析经济发展变化的趋势。其中,回归模型能够准确反映出各因素间相关程度和拟合程度,故本研究选用回归模型对 GDP 数据进行拟合分析。利用决定系数 R^2 评价 GDP 和 NTL 指数的拟合程度,选取拟合程度最好的回归模型作为最终的 GDP 空间化模型;利用年度 GDP 空间化模型,对月度 GDP 进行反演,模拟月度经济变化情况。

2.3 GDP 空间化方法

将 GDP 模拟值细化到每一个像素中,进行 GDP 空间化,生成 GDP 密度图。根据 GDP 空间化模型,生成研究区域城市的 GDP 预测值,利用 GDP 预测值和 GDP 统计值之间的相对误差 (relative error, RE) 评价 GDP 空间化的精度。RE 值的绝对值越低,说明 GDP 预测值的精度越高,空间化模型的效果越好,即:

$$RE = (GDP_p - GDP_t) / GDP_t \times 100\%, \quad (3)$$

式中: GDP_p 为 GDP 预测值; GDP_t 为 GDP 统计值。

由于上述拟合模型结果是基于城市层面上建立的,当使用该模型将模拟的 GDP 细化为每个像素时,如果直接使用公式进行分配,产生的误差比较大,因此需对 GDP 预测值进行像素级校正,计算公式为:

$$GDP_{Ti} = GDP_i \frac{GDP_t}{GDP_p}, \quad (4)$$

式中: GDP_{Ti} 为像素 i 的最终 GDP 模拟值; GDP_i 为回归模型得到的像素 i 的预测 GDP 模拟值。

根据生成的 GDP 密度图,利用公式得出月度间 GDP 差值分布,公式为:

$$GDP_D = GDP_n - GDP_{n-1}, \quad (5)$$

式中: GDP_D 为月度间 GDP 差值; GDP_n 为第 n 月模拟 GDP 结果; GDP_{n-1} 为第 $n-1$ 月模拟 GDP 结果。 GDP_D 为正值时,说明第 n 月经济相较于前一月增长; GDP_D 为负值时,说明第 n 月经济相较于前一月下降。

3 结果与分析

3.1 GDP 空间化

选取 2012—2021 年 NPP-VIIRS NTL 年度合成数据,对灯光数据进行预处理,得到研究区域的 MNL 指数,并与 GDP 统计数据建立模型, GDP 空间化模型如表 3 所示。

表 3 研究区域 GDP 空间化模型

Tab.3 The spatial model of GDP in the study area

城市	GDP 空间化模型	R^2
湖北省武汉市	$y = 262.09x - 102.98$	0.952 8
江苏省南京市	$y = 210.19x - 248.23$	0.925 1
陕西省西安市	$y = 250.80x - 278.10$	0.912 7
吉林省长春市	$y = 133.70x + 255.07$	0.936 6
上海市	$y = 511.55x - 4\ 178.10$	0.906 7

为了对 GDP 预测值的精度进行评价,选取绝对相对误差(absolute relative error, ARE),即相对误差的绝对值,参考 Zhao 等^[20]的研究方法,将研究区域城市 GDP 预测值的 ARE 划分为 3 个等级:ARE 小于 15% 为高精度;ARE 为 [15, 30]% 为中精度;ARE 大于 30% 为低精度。由表 4 可知,研究区域的 5 个城市 2012—2021 年共计 10 a 间进行 GDP 空间化得到的 GDP 模拟值中,低精度数据共 1 个,占比 2%;中精度数据共 2 个,占比 4%;高精度数据共 47 个,占比 94%。且中精度数据和低精度数据集中在 2013 年,研究所选取的时间段的 GDP 预测值均为高精度数据。结果表明,利用 GDP 空间化对研究区域城市 GDP 进行预测的精度很高,具有良好的可

靠性。根据 GDP 空间化结果,生成 GDP 密度图,如图 2 所示。

表 4 研究区域 GDP 预测值的相对误差
Tab.4 Relative error of GDP forecast values in the study area (%)

年份	湖北省 武汉市	江苏省 南京市	陕西省 西安市	吉林省 长春市	上海市
2012 年	1.66	11.71	0.73	-10.27	-7.17
2013 年	14.99	17.37	30.67	6.35	15.77
2014 年	-5.20	3.60	6.03	2.58	-6.90
2015 年	0.99	-7.02	-8.05	6.03	7.74
2016 年	-4.77	-11.48	-7.63	-0.73	-7.04
2017 年	-0.79	-3.52	-4.00	4.61	9.16
2018 年	-5.12	-4.52	-3.27	-2.09	2.17
2019 年	-5.31	-3.63	-3.33	1.15	-1.40
2020 年	7.11	2.86	-6.20	-4.76	-1.61
2021 年	0.88	2.68	5.45	-1.72	-6.88

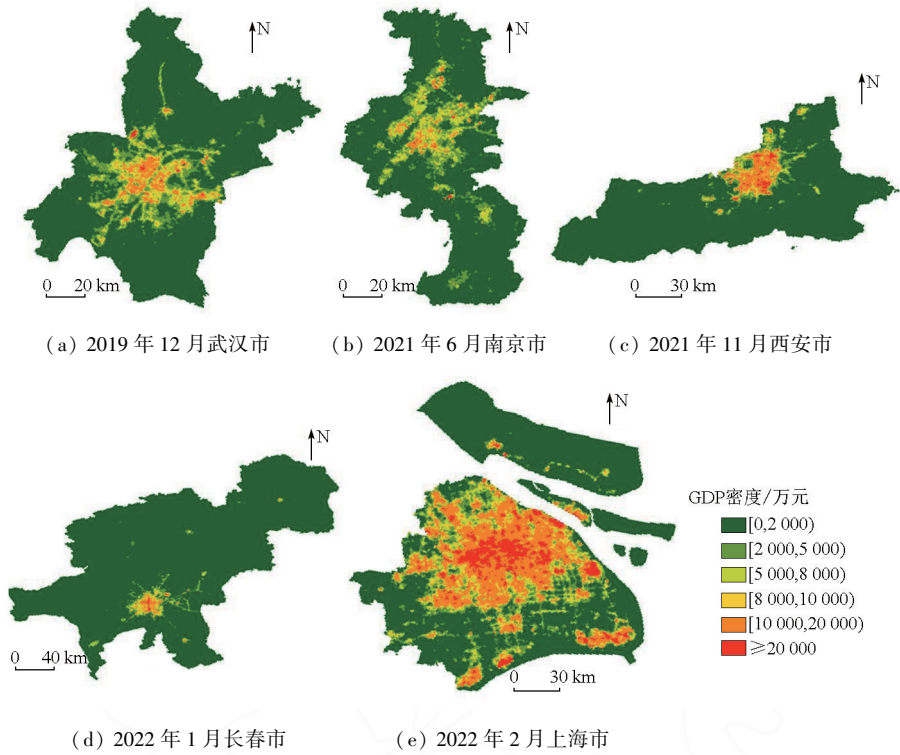


图 2 研究区域 GDP 密度图

Fig.2 GDP density map in the study area

为了对 GDP 空间化的精度进行验证,利用 2012—2021 年各市统计年鉴中分区县生产总值与 GDP 空间化值进行对比。由于上海市、长春市统计年鉴中缺失大量区县数据,且各市在 2012—2021 年间存在区县合并、拆分等情况导致统计数据与空间化数据区划范围不一致,故选取武汉市、南京市、西安市中各 4 个行政区划范围稳定的区县进行精度验证,验证结果如表 5 所示。根据表 5 中数据可知,各区县 GDP 统计值与 GDP 空间化值之间 R^2 均在 0.8 以上,且一半以上数据 R^2 超过 0.9,说明 GDP 空间化精度较高,可以较好地反映出经济空间变化情况。

表 5 GDP 空间化精度验证

Tab.5 Accuracy verification of GDP spatialization

区县名	R^2	区县名	R^2
西安市长安区	0.951 9	西安市灞桥区	0.873 0
西安市雁塔区	0.912 4	西安市未央区	0.935 6
南京市玄武区	0.899 0	南京市江宁区	0.903 3
南京市溧水区	0.948 8	南京市栖霞区	0.880 0
武汉市东西湖区	0.947 8	武汉市洪山区	0.908 1
武汉市江岸区	0.845 0	武汉市武昌区	0.847 6

3.2 国内主要城市疫情期间经济变化分析

武汉市经济空间变化情况如图 3 所示,2019 年 12 月—2020 年 1 月,武汉市西部经济受疫情影响较

小,其他区域整体下降;2020年1—2月,城市中心区GDP密度增加,西部区域经济出现下降;2020年2—3月,随着援鄂医疗队陆续撤离武汉,GDP密度再次显著降低;2020年3—4月,大规模疫情流行结束,经济开始恢复增长。武汉市各区县GDP变化趋势如图4所示。武昌区、青山区、江岸区、汉阳区等中心城区受疫情影响经济波动较大,东西湖区、蔡甸区等城市边缘区受疫情影响经济波动幅度较小。中

心城区经济恢复速度快于城市边缘区。结合武汉疫情实际情况,武昌区、江岸区等地初期受疫情影响较为严重,GDP密度下降较多。由于援鄂医疗队支援武汉,2020年2月武汉市GDP密度呈现明显增长趋势,尤其是城市中心区GDP密度明显增加。2020年3月,随着援鄂医疗队大规模撤离,除江汉区外,经济全部出现衰退趋势。2020年4月,各区县经济恢复增长,中心区恢复速度快于城市边缘区域。

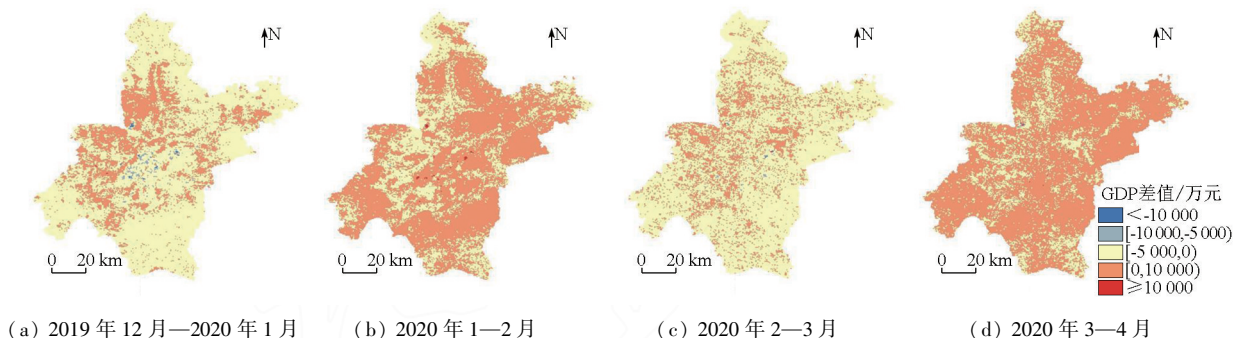


图3 武汉市经济空间变化情况

Fig.3 Changes of economic space in Wuhan

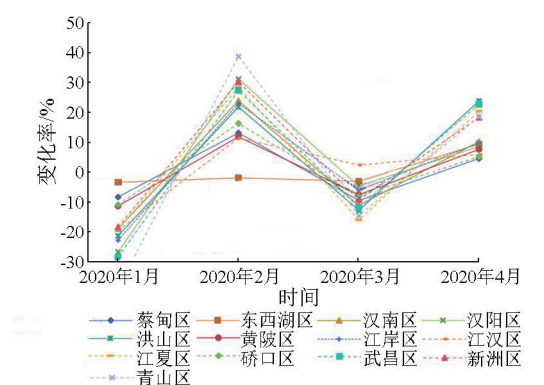


图4 武汉市各区县GDP变化趋势

Fig.4 GDP trend of Wuhan districts and counties

南京市经济空间变化情况如图5所示,2021年6—7月,南京市经济出现明显衰退趋势,其中城市中心区(鼓楼区、江宁区等)经济受疫情影响较小,城市边缘区域(高淳区等)经济受疫情影响较大;2021年7—8月,城市中心区经济在疫情中后期受

影响出现衰减,城市边缘区域经济开始恢复增长。南京市各区县GDP变化趋势如图6所示。疫情初期,除中心区中的鼓楼区、秦淮区外,其他区域均出现经济衰减。中心区内江宁区(疫情传播点南京禄口机场所在区)和建邺区出现经济衰减;边缘区高淳区、浦口区经济衰减最为严重。随着疫情发展,鼓楼区、秦淮区受疫情影响经济出现衰减,城市边缘区(六合区、溧水区等)经济恢复增长。

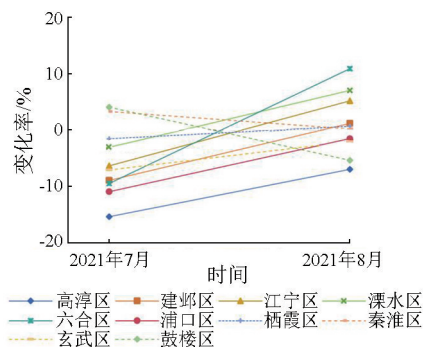


图6 南京市各区县GDP变化趋势

Fig.6 GDP Trend of Nanjing districts and counties

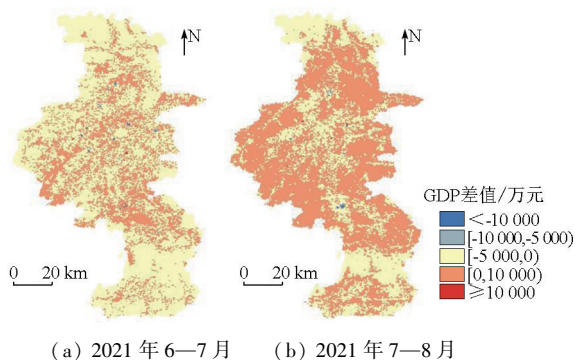


图5 南京市经济空间变化情况

Fig.5 Changes of economic space in Nanjing

西安市经济空间变化情况如图7所示,西安市2021年11—12月,经济出现明显衰退趋势,其中城市中心区(长安区、雁塔区等)经济受疫情影响较小,城市边缘区域(蓝田县、临潼区等)经济受疫情影响较大;2021年12月—2022年1月,中心区受影响经济出现衰减,城市东部和西北部边缘区域开始恢复增长;2022年1—2月,疫情后期城市大部分区域经济恢复增长,中心区增长速度最快,西南部和东部边缘区域出现经济衰退。西安市各区县GDP

变化趋势如图 8 所示。疫情初期,中心区内新城区、碑林区、鄠邑区经济保持增长,中心区内受疫情影响严重的雁塔区、长安区出现经济衰减。边缘区蓝田县、周至县经济衰减最为严重。随着疫情发展,由于

管控措施,中心区人口回流周至县,周至县经济出现增长。除周至县外其他区域受疫情影响经济出现衰减,中心区衰退速度最快。疫情后期,所有区县经济恢复增长。

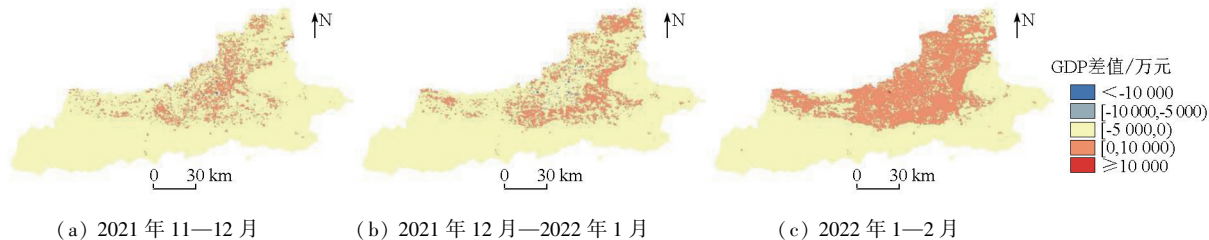


图 7 西安市经济空间变化情况

Fig.7 Changes of economic space in Xi'an

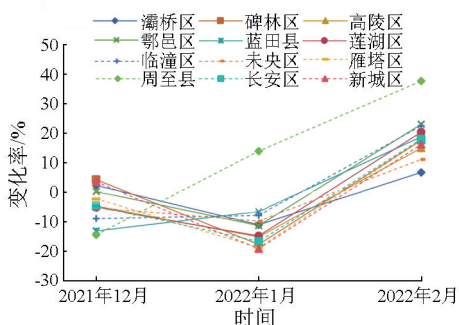


图 8 西安市各区县 GDP 变化趋势

Fig.8 GDP trend of Xi'an districts and counties

长春市经济空间变化情况如图 9 所示,长春市 2022 年 1—2 月,城市中心区(朝阳区、二道区等)经济初期受疫情影响较小,中心区附近受疫情影响经

济衰减显著;2022 年 2—3 月,经济整体出现衰减,中心区附近经济开始恢复增长;2022 年 3—4 月,除城市西南部边缘区域外,经济开始恢复增长趋势,中心区恢复速度最快。长春市各区县 GDP 变化趋势如图 10 所示。在疫情初期,城市边缘区(公主岭市、农安县)经济受影响小,经济保持增长,其他区域经济出现衰退。城市中心区(二道区、南关区等)经济衰退幅度最大。随着疫情发展,2022 年 3 月中旬新增病例速度达到顶点,进行静态管理,各区县均出现经济衰退。疫情后期,2022 年 4 月下旬疫情逐步得到控制,各区县经济衰减速度减缓,逐步恢复经济增长。

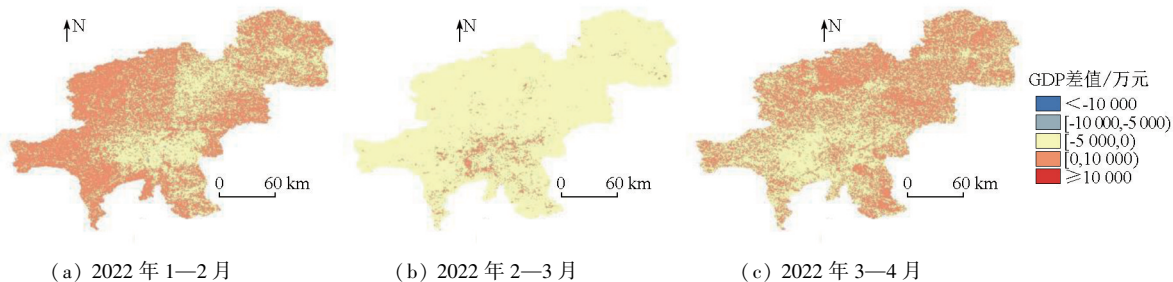


图 9 长春市经济空间变化情况

Fig.9 Changes of economic space in Changchun

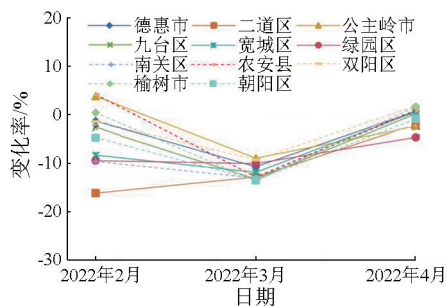


图 10 长春市各区县 GDP 变化趋势

Fig.10 GDP trend of Changchun districts and counties

上海市经济变化情况如图 11 所示,上海市 2022 年 2—3 月,城市边缘区域经济出现衰减,中心

区(虹口区、杨浦区等)受影响较小;2022 年 3—4 月,整体经济衰减,边缘区域经济衰减减慢,中心区衰减速度快于边缘区;2022 年 4—5 月,整体经济恢复增长,中心区增长速度快于边缘区域。上海市各区县 GDP 变化趋势如图 12 所示。在疫情初期,各区县经济仍保持增长,城市边缘区(嘉定区、崇明区)增速快于城市中心区。随着疫情发展,2022 年 4 月 1 日起实施全域静态管理,各区县经济出现衰退,城市中心区(黄浦区、虹口区、静安区等)受影响大于城市边缘区。疫情后期,除崇明区外,城市中心区经济恢复增长较快。

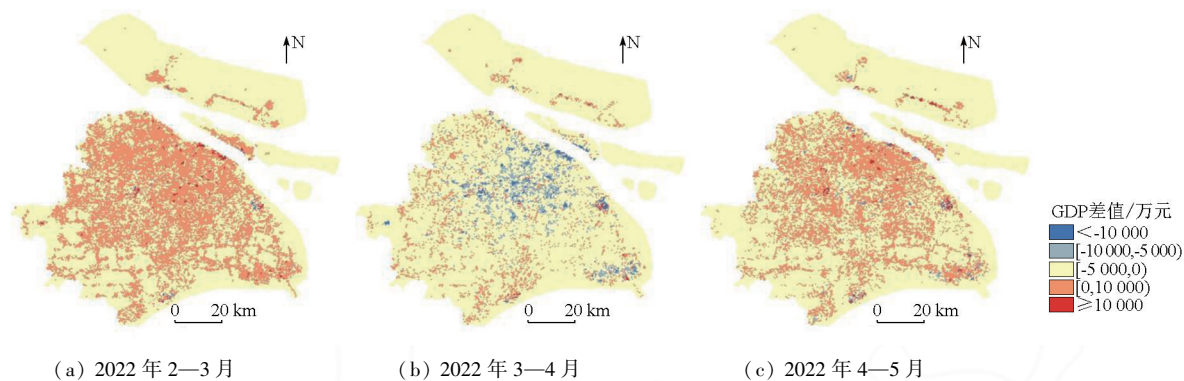


图 11 上海市经济变化情况

Fig.11 Changes of economic space in Shanghai

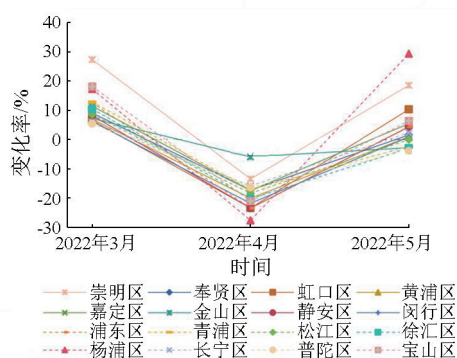


图 12 上海市各区县 GDP 变化趋势

Fig.12 GDP trend of Shanghai districts and counties

通过对国内主要城市的分析,发现国内主要城市的中心区域在疫情初期受到的影响较小,城市边缘区域受到影响较大(长春市由于中心区域存在经济开发区,经济开发区在初期受影响较大,其他边缘区域受影响较小);在疫情中期,城市普遍采取控制人员流动政策后,城市中心区受影响较大,边缘区域相较于初期略有增长;在疫情后期,城市中心区迅速恢复增长,边缘区域普遍增速较慢甚至出现负增长。

4 结论

本研究以 5 个新冠疫情期间发生过大规模聚集性疫情的国内主要城市为例,利用 GDP 统计数据 and NTL 数据进行 GDP 空间化。通过校正后的 GDP 空间化数据,可以分析出我国各地级市的经济发展情况和城市间经济发展的差异。通过多时相性分析,分析出我国城市经济发展的时空演化,继而研究新冠疫情对我国经济的影响。主要结论如下:

1) NTL 指数与 GDP 统计值之间相关性较高,拟合效果较好。研究表明:在线性模型中, MNL 和 GDP 拟合程度较好,可以很好地进行 GDP 空间化。经线性校正得到的 GDP 预测值结果可靠, ARE 较小,可以用于 GDP 空间变化分析。通过年度模型反演月度 NTL 指数得到的 GDP 密度图具有较好的时

效性,可以更加直观地反映出城市经济的变化趋势,用以分析城市经济变化的驱动因素,可以作为城市经济变化分析的数据基础。

2) 通过选取受疫情影响严重的城市及时间段,分析新冠疫情对国内主要城市经济空间变化的影响,得出结论:在疫情初期,城市中心区域受疫情影响程度较小,城市边缘区域受疫情影响较大;在疫情中期,由于采取控制人员流动和实施静默管理的措施,城市中心区域经济开始受到影响,初期受影响较大的区域开始逐步恢复经济;在疫情后期,人员流动得到恢复,城市中心区域经济增长较快,经济迅速恢复,城市边缘区域经济恢复较慢。说明城市中心区域经济抵御影响的能力强于边缘区域,且疫情后中心区域经济恢复速度明显强于边缘区域。

3) GDP 空间化模拟值变化趋势与管控政策高度相关,在实施静态管理措施后, GDP 空间化模拟值会迅速出现衰减,在疫情得到控制后, GDP 空间化模拟值会迅速恢复。疫情严重的区县相较于其他区县经济衰退更加明显。

4) 本研究展示了夜光遥感可以有效监测公共卫生突发事件所采取的疫情防控措施对城市经济活动造成的影响,可为今后遇到公共卫生突发事件时政府决策提供参考和数据支撑。

参考文献 (References):

- [1] 张清敏. 新冠肺炎疫情与全球卫生外交[J]. 当代世界, 2020 (4): 35-41.
Zhang Q M. Global health diplomacy in COVID-19 epidemic[J]. Contemporary World, 2020(4): 35-41.
- [2] Yue W, Gao J, Yang X. Estimation of gross domestic product using multi-sensor remote sensing data: A case study in Zhejiang Province, East China[J]. Remote Sensing, 2014, 6(8): 7260-7275.
- [3] 李德仁, 李 熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44 (6): 591-601.
Li D R, Li X. An overview on data mining of nighttime light remote

- sensing[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2015, 44(6):591-601.
- [4] 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(Science and Technology)*, 2016, 56(10):1122-1130.
- [5] 顾鹏程, 王世新, 周艺, 等. 基于时间序列 DMSP/OLS 夜间灯光数据的 GDP 预测模型[J]. *中国科学院大学学报*, 2019, 36(2):188-195.
- Gu P C, Wang S X, Zhou Y, et al. Estimation of GDP based on long time series of DMSP/OLS nighttime light images[J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 36(2):188-195.
- [6] 陈颖彪, 郑子豪, 吴志峰, 等. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(2):205-223.
- Chen Y B, Zheng Z H, Wu Z F, et al. Review and prospect of application of nighttime light remote sensing data[J]. *Progress in Geography*, 2019, 38(2):205-223.
- [7] 余柏菡, 王丛笑, 宫文康, 等. 夜间灯光遥感与城市问题研究: 数据、方法、应用和展望[J]. *遥感学报*, 2021, 25(1):342-364.
- Yu B L, Wang C X, Gong W K, et al. Nighttime light remote sensing and urban studies: Data, methods, applications, and prospects[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2021, 25(1):342-364.
- [8] 韩向娣, 周艺, 王世新, 等. 夜间灯光遥感数据的 GDP 空间化处理[J]. *地球信息科学学报*, 2012, 14(1):128-136.
- Han X D, 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.
- [9] 刘杨, 李宏伟, 杨斌程, 等. 基于遥感数据和 POI 数据的 GDP 空间化研究——以北京市为例[J]. *地域研究与开发*, 2021, 40(2):27-32, 39.
- Liu Y, Li H W, Yang B C, et al. Spatialization of GDP based on remote sensing data and POI data: A case study of Beijing City[J]. *Areal Research and Development*, 2021, 40(2):27-32, 39.
- [10] Dai Z, Hu Y, Zhao G. The suitability of different nighttime light data for GDP estimation at different spatial scales and regional levels[J]. *Sustainability*, 2017, 9(2):305.
- [11] 孙久文, 周孝伦. 多维视角下的长三角城市群空间结构及其影响因素——基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据和高德人口迁徙数据[J]. *经济地理*, 2023, 43(5):78-88.
- Sun J W, Zhou X L. Spatial structure and influencing factors of the Yangtze River Delta urban agglomeration from a multidimensional perspective: Based on NPP-VIIRS nighttime lighting data and Gaode's population migration data[J]. *Economic Geography*, 2023, 43(5):78-88.
- [12] 李翔, 朱江, 尹向东, 等. 利用珞珈一号夜间灯光数据的广东省 GDP 空间化[J]. *遥感信息*, 2021, 36(2):40-45.
- Li X, Zhu J, Yin X D, et al. Spatializing GDP of Guangdong Province based on LuoJia No.1 night light data[J]. *Remote Sensing Information*, 2021, 36(2):40-45.
- [13] Zhao Z, Tang X, Wang C, et al. Analysis of the spatial and temporal evolution of the GDP in Henan Province based on nighttime light data[J]. *Remote Sensing*, 2023, 15(3):716.
- [14] 江泽霖, 邓健, 栾海军, 等. 基于逐日夜间灯光遥感的新冠肺炎疫情变化信息快速提取——以北京市为例[J]. *测绘通报*, 2022(7):43-48.
- Jiang Z L, Deng J, Luan H J, et al. Rapid extraction of COVID-19 information based on nighttime light remote sensing: A case study of Beijing[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2022(7):43-48.
- [15] 陶金花, 范萌, 顾坚斌, 等. 新冠病毒疫情期间复工复产卫星遥感监测[J]. *遥感学报*, 2020, 24(7):824-836.
- Tao J H, Fan M, Gu J B, et al. Satellite observations of the return-to-work over China during the period of COVID-19[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2020, 24(7):824-836.
- [16] Elvidge C D, Ghosh T, Hsu F C, et al. The dimming of lights in China during the COVID-19 pandemic[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(17):2851.
- [17] Liu Q, Sha D, Liu W, et al. Spatiotemporal patterns of COVID-19 impact on human activities and environment in mainland China using nighttime light and air quality data[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(10):1576.
- [18] Shao Z, Tang Y, Huang X, et al. Monitoring work resumption of Wuhan in the COVID-19 epidemic using daily nighttime light[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2021, 87(3):195-204.
- [19] 裴韬, 王席, 宋辞, 等. COVID-19 疫情时空分析与建模研究进展[J]. *地球信息科学学报*, 2021, 23(2):188-210.
- Pei T, Wang X, Song C, et al. Review on spatiotemporal analysis and modeling of COVID-19 pandemic[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2021, 23(2):188-210.
- [20] Zhao M, Cheng W, Zhou C, et al. GDP spatialization and economic differences in South China based on NPP-VIIRS nighttime light imagery[J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(7):673.

Spatiotemporal analysis of economy in China's primary cities affected by the COVID-19 pandemic based on remote sensing of night light

LI Ruikai¹, ZHAO Zongze¹, TANG Xiaojie², ZHANG Jiayun¹, WANG Guan¹, ZHANG Lijuan¹

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. Zhengzhou Technology and Business University, Zhengzhou 451400, China)

Abstract: The Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) pandemic significantly affected China's economy. This study investigated China's five cities that witnessed large-scale COVID-19 outbreaks based on NPP-VIIRS night

light (NTL) data. A fitting model between the NTL index and GDP statistics was established. This model can reflect the monthly economic variations, yielding the spatial distribution of GDP. Finally, this study analyzed the trend in the spatial variations of the economy in the five cities during the COVID-19 pandemic by analyzing the differences in monthly GDP density. The results indicate that the GDP predicted using the GDP spatialization based on the NTL index exhibited relatively small errors and can reflect the impacts of the COVID-19 pandemic on the urban economy in an intuitive and clear manner. Under the influence of mobility policies, the marginal areas of most of the cities experienced economic recession in the early and late stages of the pandemic, with economic growth observed in the middle stage of the pandemic. In contrast, the central areas of the cities experienced economic recession in the middle stage of the pandemic, were subjected to minor impacts in its early stage, and witnessed a rapid economic recovery in its late stage. Additionally, the economy in the central areas of the cities was more resistant to the impacts of the pandemic than that in their marginal areas.

Keywords: night light index; COVID-19; major cities in China; GDP spatialization; spatiotemporal economic changes

(责任编辑: 陈 庆)

