引文格式：刘亚静,周帅. 新冠疫情对中国城市的短期影响及城市恢复力评价[J]. 地理空间信息, 2024, 22(8): 28-32. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.08.006

新冠疫情对中国城市的短期影响及城市恢复力评价

刘亚静[1]，周　帅[1*]
（1. 华北理工大学 矿业工程学院，河北 唐山 063000）

摘　要：精准科学地评价中国城市受新冠疫情的短期影响及恢复情况并揭示其时空变化特征，可为“常态化”疫情防控阶段城市经济形势研判和城市恢复提供有力支撑。利用夜间灯光数据（NTL）、PMI人口迁徙数据、空气污染等多源数据构建疫情影响和恢复指标，以城市爆发疫情为基准，使用地理统计和同心环分析，对在不同时空尺度下对城市经济的异质性影响进行实证分析。结果表明，使用多源数据整合指标可以有效地反映疫情对城市造成的影响及城市恢复趋势；在空间分布上，住宅区及郊外受影响较小，中心商业区及工业区受影响较大。

关键词：新冠疫情；夜间灯光；人口迁徙；时空特征；同心环分析
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）08-0028-05

Short-term Impact of COVID-19 on Chinese Cities and Urban Resilience Evaluation

LIU Yajing[1], ZHOU Shuai[1]
(1. School of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063000, China)

Abstract: Accurate and scientific evaluation of the short-term impact and recovery of Chinese cities from COVID-19 and revealing its spatio-temporal change characteristics can provide strong support for the study and assessment of urban economic situation and urban recovery in the “normal” epidemic prevention and control stage. We used the multi-source data, such as VIIRS nighttime light, PMI population migration data and air pollution, to construct epidemic impact and recovery indicators. Based on the outbreak in cities, we used geographical statistics and concentric-ring analysis to conduct empirical analysis on the urban economy heterogeneity at different spatio-temporal scales. The results show that the multi-source data integration index can effectively reflect the impact of epidemic on the city and the trend of urban recovery. In terms of spatial distribution, residential areas and suburbs are less affected, while central business and industrial areas are more affected.

Key words: COVID-19, nighttime light, population migration, concentric-ring analysis

我国省、市、县、乡和村各级单位在新冠疫情爆发以来，均展开了一系列强有力的防控措施，旨在减少居民活动的频率和增加社会距离，从而防止疾病的传播[1-2]。国内外学者对于新冠疫情期间的研究大多聚焦在自然环境的时空变化，如张桂芹[3]发现疫情常态化管控下济南市春节前后$PM_{2.5}$中二次组分变化特征；Maria[4]以意大利北部城市为研究区域，对疫情封锁空气质量进行研究。但是冠疫情对社会经济和人类活动的影响更大也更隐蔽，栾峰[5]根据国家统计数据对疫情发展特征进行分析并提出针对性策略；Feng[6]使用我国和美国的国家统计数据对疫情发展及应对措施进行总结分析。统计数据虽然精准，但数据具有一定的滞后性，因此城市新冠疫情影响和恢复评价的“时效性”是需要解决的关键性问题。NTL已被证实可以有效地反映社会经济活动的动态和强度，被广泛用于城市扩展、城市经济、人口估计和灾害监测[7]，并可以代表城市经济活动的重要指标[8]。因此使用多源遥感数据和人口迁移等大数据为疫情影响的快速评估提供了新的可能。如张校源[1]以时间为基准，使用VIIRS数据，研究中国城市在新冠疫情刚爆发下的城市经济的时空差异；江泽霖[9]利用VIIRS，分析北京疫情受影响区域及疫情的控制与恢复状况，探索与人口密度等社会经济因素的关系；童昀[10]以百度人口迁移数据为基础，把中国分为四大区域，研究对城市影响及恢复情况；shao[11]以NTL为基础，以武汉市为例，研究疫情对城市工业的影响。

综上所述，新冠疫情不仅影响城市环境，更对经济和社会发展具有深远影响。在同一时间下，城市疫情爆发与否，是判断城市所受影响及恢复难易的重要因素，不容忽视，仅考虑疫情爆发的“空间性”

收稿日期：2023-03-02。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（52274166）。
第一作者简介：刘亚静（1977—），博士研究生，教授，从事GIS应用工作，E-mail：lyj2206@126.com。
通信作者：周　帅（1998—），硕士研究生，从事地理信息科学和遥感应用工作，E-mail：zs1037365988@163.com。

影响（在相同时间段，疫情对不同城市的影响），而忽略“时间性”（不同城市爆发疫情的时间），可能高估或低估部分城市的影响和恢复难度，导致对城市受影响程度和恢复能力的误判，使得研究区域不在同一对比维度。鉴于此，文章结合“时间性”和“空间性”，以爆发过严重的疫情、人口密度大、人口流动频率较高为标准，分别选取武汉市（2020年1月到2020年4月）、西安市（2021年11月到2022年2月）和南京市（2021年6月到2021年9月）3个新一线城市作为研究区域，从而提高数据精度；通过采集3个城市的VIIRS月度合成数据、城市每日人口迁徙数据和城市空气质量数据，把城市疫情发展分为4个阶段（初始阶段、爆发阶段、缓和阶段、恢复阶段）构建反映城市经济和人口活动的指标，剖析疫情对各个城市短期影响、城市恢复情况的时空特征，解决“时效性”问题；并使用同心环分析揭示城市中心到外围不同空间结构受到的影响。以期为监测疫情防控措施的有效性提供数据支持，并反映每个城市的时空恢复特征，预测城市未来的恢复趋势，为疫情防控与经济社会恢复发展提供科学支撑，为大数据在重大突发公共卫生事件中的应用提供方法与案例借鉴。

1　研究区域及数据来源

1.1　研究区域

近2 a在中国很多城市内皆爆发过疫情，考虑到城市大小、经济规模以及医疗水平等因素，选取武汉、南京和西安三个城市作为研究区域。

1.2　数据来源

VIIRS具有城市核心区灯光指数饱和度高 *DN* 值较为准确的优点，可以以更高的空间和辐射分辨率检测NTL，并几乎消除了困扰传统卫星计划饱和、开花和缺乏星上校准的3个关键问题。根据3个城市疫情爆发的时间，选取科罗纳多矿业学院的佩恩研究所的地球观测小组的月度合成VIIRS数据。百度迁徙数据（PMBD）来源于百度慧眼平台，使用Python软件挖掘实现。新冠疫情数据包括现有确诊，数据来源于新冠疫情实时跟踪网站，由于数据的不准确性，因此通过与各地卫健委公布数据和中华人民共和国国家卫生健康委员公布数据进行校对，对缺失部分补充以保证时间序列连续性与真实性。行政区划的数据类型主要分为全国省、市区划数据，来源于全国地理信息资源目录服务系统。空气污染数据包括3个城市控点的AQI值和6种大气污染物（$PM_{2.5}$、PM_{10}、O_3、SO_2、NO_2和CO）浓度数据，来自中国环境监测总站；对$PM_{2.5}$等5种污染物求当日平均浓度作为日均浓度，O_3则以日最大8 h浓度作为日均浓度

1.3　数据预处理

根据3个城市疫情爆发和结束的时间选取VIRS数据范围。基础数据准确性是影响实验的关键，对VIRS月度合成数据进行校正，从而保证VIRS数据的准确性。再把VIRS数据的投影至Albers坐标系，并采用最邻近法重采样至500 m，从而消除灯光影像畸变的问题。为了消除月光、火光、地面反射和废弃燃料等光源而造成灯光辐射值异常，需要使用DMSP提取VIIR的有效光[12]。

2　研究方法

新冠疫情对城市的影响评价可以通过城市影响指标和城市恢复指标来进行构建，而城市影响指标和城市恢复指标可以用人口指数和灯光指数来构建。利用人口迁徙数据和NTL数据构建城市恢复评价指标，可以有效的解决“时效性”和“差异性”这2个问题[1,10]，对城市受疫情影响程度、空间差异和演变进行定量化描述。

2.1　城市影响指标构建

灯光影响指数（NTLL），使用差值比值运算，其能够减少因NTL基底差异大造成的影响，将灯光变化限制在疫情影响因素，在空间上更有可比性。

$$\mathrm{NTLL}=\frac{\mathrm{MNLI}_{i,t}-\mathrm{MNLI}_{j,t}}{\mathrm{MNLI}_{j,t}}\times 100\% \tag{1}$$

式中，NTLI为NTL均值；i 为对应疫情爆发开始到结束中间每一个月；j 为对应疫情爆发开始前一个月；t 为某个城市。

人口影响指数（PLI）由人口迁入影响指数（PMII）和人口迁出影响指数（PEII）的均值来表示。

$$\mathrm{PLI}=\frac{\mathrm{PMII}+\mathrm{PEII}}{2} \tag{2}$$

$$\mathrm{PMII}=\frac{MI_{a,t}-MI_{b,t}}{MI_{b,t}}\times 100\% \tag{3}$$

$$\mathrm{PEII}=\frac{EI_{a,t}-EI_{b,t}}{EI_{b,t}}\times 100\% \tag{4}$$

式中，MI 为人口迁入指数；EI 为人口迁出指数，a 和 b 为城市同一年月相邻的2 d，且 $a>b$ 。

2.2　城市恢复指标构建

灯光恢复指数（NLRI）是衡量城市疫情后恢复程度评价指标，其评价因子不仅仅有疫情爆发相邻月份的夜光灯光指数，还加入了相邻年份同期月份的NTL

指数。NLRI除了可以分析疫情期间短时间城市恢复情况，相比往年的恢复情况同样具有指导恢复的意义。

$$NLRI=\frac{MNLI_{i,t}}{MNLI_{i',t}}-\frac{MNLI_{j,t}}{MNLI_{j',t}} \tag{5}$$

式中，i、i'分别为相邻年份同期月份，其中i'为上1 a时间；i、j为同一年内相邻两月份且$i>j$。

人口恢复指数（PRI）只能反映城市恢复程度，无法揭示城市恢复正常水平的绝对距离。并且某些城市恢复程度较高，但绝对缺口仍然较大，距离完全恢复距离较大，安全风险较高。因此以恢复缺口（RGI）作为衡量城市恢复的另一个指标。

$$PRI=MI_{a,t}/MI_{a',t} \tag{6}$$

$$RGI=\frac{MI_{x,t}-MI_{z,t}}{T_{x-z}} \tag{7}$$

式中，$MI_{x,t}$为t城市x时间的人口迁入指数；$MI_{z,t}$为t城市z时间的人口迁入指数；x和z是城市同期时间，其中x为公历，z为农历。

3 结果与分析

3.1 新冠疫情回顾

自2020年1月新冠疫情开始在中国传播至今，我国大多城市皆受到新冠疫情的影响。

疫情期间，随着疫情防控措施的展开，各城市人口迁移水平急剧下降，疫情确诊病例逐步的受到控制；人口迁徙指数随着新冠疫情确诊人数的增加而减少；且在疫情发生和结束时期，人口迁徙指数会出现一个“报复性”峰值。起始阶段，南京市和西安市人口迁移指数皆在稳定范围之内，武汉市是中国第一个发生疫情的城市，疫情防控措施没有经验，因此在疫情起始阶段人口迁出指数达到峰值；爆发阶段，3个城市的指标都显示出来自政府强有力的干预效果，如人口迁移指数显著减少，家庭隔离以及社会和经济活动的停止；缓和阶段，随着时间的推移，防控措施的影响不断加深，确诊病例随之减少，社会经济和人类活动有序恢复；恢复阶段，城市逐渐恢复工作和生产，人口逐渐返回其居住和工作的城市，社会和经济活动逐渐恢复，疫情防控进入“常态化”。

武汉市是我国发生疫情的第一座城市，其防控措施及医治措施均独自摸索，确诊病例人数清零时间长，持续4个月之久。随着疫情在各大城市的不断发生，防控措施、医疗水平和人民防疫意识不断提高，疫情在城市中的影响时间不断减少，城市恢复速度不断加快。

3.2 城市疫情指标分析

3.2.1 城市灯光和人口迁移影响指标分析

疫情起始阶段，武汉市、西安市和南京市月度灯光影响指数均值分别为–6%、–4%、3%，月度人口迁移影响指数分别为–62%、–21%、–8%。西安市和南京市的灯光影响指数呈下降趋势，武汉市灯光影响指数呈上升趋势。考虑到武汉市春运、西安市国庆假期和南京市五一假期的影响，所以3个城市的人口迁移指数在合理范围内。武汉市疫情起始阶段之前为春节，春运人口流动量大、城市经济活跃，灯光均值明显变大，表明在疫情起始阶段城市未受影响或下降幅度较小。

疫情爆发阶段，3个城市的月度灯光影响指数均达到峰值，分别为–11%、–22%、–8%，且都呈现下降趋势，相较于起始阶段灯光影响指数减少了5%、18%和5%，疫情的爆发使得各地政府开展防疫措施，灯光处于最暗阶段。月度人口迁移影响指数分别为–95%、–48%、–28%，相较于起始阶段人口迁移影响指数减少了33%、27%、20%。可以看出疫情爆发期火车站、机场、高速公路以及街道都处于封锁状态，人们停止了日常活动，人口大量留在家中。疫情爆发阶段城市经济及人口迁徙处于骤降阶段，下降速度逐渐增加。

疫情缓和阶段，3个城市的灯光影响指数分别为1%、–15%、–2%，呈上升趋势，较爆发阶段增加了12%、7%、6%。可以看出在此阶段，随着各地医护人员驰援以及方舱医院建设等活动，确诊病例不断减少，致使灯光指数增加。月度人口迁移影响指数分别为–92%、–84%、–76%，其中武汉市较于爆发阶段增加了3%，西安市和南京市较爆发阶段减少了36%、48%。可以看出，疫情防控措施更严格，核酸检测证明和通行证等政策的不断出现，使得人口迁移变得困难。疫情缓和阶段城市经济及人口迁徙仍然处于下降阶段，但是，下降速度趋于减缓。

疫情恢复阶段，3个城市的月度灯光影响指数分别为4%、1%、9%，相较于爆发阶段增长了12%、23%、17%，可以看出随着各城市现有确诊病例的“清零”，城市生产生活逐渐步入正轨，全国复工复产的全面实施。月度人口迁移影响指数分别为–75%、24%、–20%，相较于爆发阶段增长了20%、24%、8%，说明在恢复阶段以及以后，逐步解除了了火车站、飞、机场、高速公路及街道封锁；相较于起始阶段，其月度人口迁移影响指数减少了13%、3%、12%，说明疫情管控并没有完全解除，人们的出行仍

在受到影响。疫情恢复阶段城市经济及人口迁徙数据仍处于上升阶段，上升速度不断增加，但是同比与上一年同期水平较为缓慢。

3.2.2　城市灯光和人口迁移恢复缺口指标分析

武汉市、西安市和南京市3个城市的人口恢复缺口在爆发阶段和缓和阶段处于最低值，且皆为负值，在爆发阶段人口恢复缺口下降速度呈上升趋势，而缓和阶段则呈下降趋势。3个城市的人口恢复缺口在恢复阶段处于最高值，其中武汉市没有南京市和西安市的人口恢复缺口高，可以看出疫情的“常态化”，使得很多城市历经疫情的磨难，防控措施的不断积累，人口迁徙恢复安全风险不断降低。3个城市的灯光恢复指数皆呈“正-负-负-正”趋势，且最小值都在爆发阶段和缓和阶段，说明城市在疫情爆发阶段和缓和阶段相比于城市去年同月份城市没有发展，在恢复阶段城市发展速度较历史同时期缓慢。

3.3　疫情防控期大气污染情况

如图1所示，武汉疫情期间和同期2019年的空气质量7大指标的平均浓度变化情况对比，除了O_3，其他空气污染指标同比2019年均有下降，AQI值平均降幅为19.81%，一级优天气增加了24 d，二级良天气增加了2 d，三级轻度污染天气减少了11 d，四级中度污染天气减少了11 d，五级重度污染天气减少了4 d。污染物浓度指标NO_2平均下降34.29%，SO_2下降30.82%，，$PM_{2.5}$下降25.76%，PM_{10}下降21.79%，CO下降14.81%，O_3增加22.41%。由于武汉春运的影响，出行量大幅度的增加，在2019年12月NO_2、CO、$PM_{2.5}$、SO_2和O_3均比2018年同期有所增加；而随着疫情防控的开展，除O_3以外，其他空气污染指标在疫情爆发阶段和缓和阶段均下降；在恢复阶段SO_2同历史同期增幅较大，AQI和O_3均有小幅度上升，$PM_{2.5}$、PM_{10}、NO_2和CO均有所下降，表明随着城市的恢复，工人不断复工、工业复产，但是疫情对工业、工厂的影响时间较长，工业、工厂恢复难度较大。

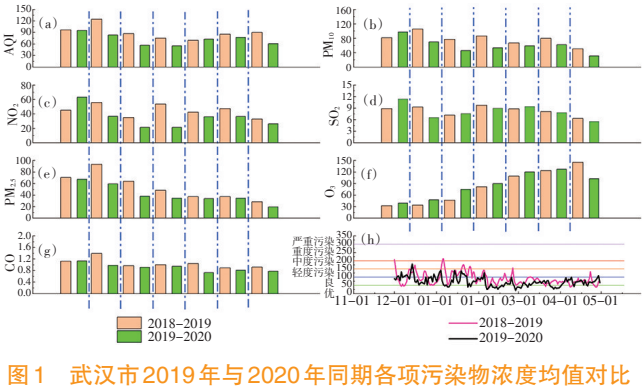
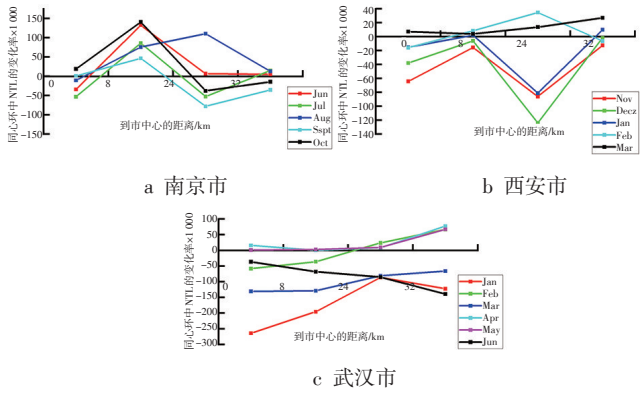


图1　武汉市2019年与2020年同期各项污染物浓度均值对比

3.4　NTL空间结构变化

对3个城市的NTL指数均值使用同心环分析方法，对中心商业区、住宅区、工业区及郊外区域（8 km、8~24 km、24~32 km及32 km以外）进行分析。如图2，3个城市的中心商业区和工业区的NTL均有所减少；南京市住宅区有极大幅度增长，西安市住宅区趋于缓平趋势，武汉市住宅区处于减少状态，这很可能是由于人口在疫情防控措施施展之前大幅度流失及人口被困在固定区域导致；3个城市郊外区域均处于较为稳定状态；城市中心是城市人口和经济活动最密集的区域，城市的封锁减少了人口的集中和活动的强度，人口集中在住宅区，郊外区域人口密度、防控力度较小。因此疫情对城市中心商业区和工业区影响较大，住宅区和郊外区域受到的影响较小。按照时间变化来看，武汉市和西安市的城市中心商业区和工业区灯光恢复趋势均比住宅区和郊外区域快，住宅区和郊外区域灯光指数逐步恢复正常。



a 南京市　　b 西安市

c 武汉市

图2　城市环状区域灯光指数变化率

4　结　论

文章使用多源数据融合以解决“时效性”问题，结合“时间性”和“空间性”，分析不同城市以及同一城市不同区位下疫情期间NTL、人口和空气质量指标变化的空间特征，疫情对各城市的影响以及城市恢复程度的时空特征。结果表明：新冠疫情对于城市的影响一般在3个月左右。城市恢复在2个月左右；随着疫情的常态化，其城市疫情防控措施不断地改善，疫情对城市的影响时长也会逐渐减少，城市恢复速度也在不断增加；城市灯光指数、城市人口迁徙指数和城市空气污染指数跟新冠疫情的强度均呈负相关性；在新冠疫情爆发期和恢复期的前几天，城市人口迁徙会出现断崖式波动；距市中心不同距离的区域，NTL受疫情的影响强度及恢复速度也不相同，城市中心区及工业区所受影响幅度大于住

宅区和郊外区域；城市住宅区域灯光指数会出现增长趋势，而市中心区域会有明显的减少；NTL强度与确诊病例并无关系，但NTL强度和变化趋势可以反映人口的时空变化及疫情防控措施的及时性与有效性。

基于卫星的NTL数据、人口迁徙数据和空气污染数据可以及时、有效地检测公共卫生突发事件（如大范围流行病）引起的社会和经济活动的动态变化，也可以用来反映每个城市的时空恢复特征，预测城市未来的恢复趋势，人口迁徙数据、NTL和空气污染数据之间的高度一致性，表明了研究结果的可靠性，此外多源数据拟合的变化趋势可以为监测流行病预防和控制的有效性提供措施。

参考文献

[1] 张校源,王浩,宁晓刚,等. 新冠疫情暴发对城市经济影响的时空差异分析[J]. 测绘科学,2022,47(4):189-198

[2] 张云飞. 统筹推进“美丽中国”建设和“健康中国”建设:基于防控新型冠状病毒感染肺炎疫情阻击战的思考[J]. 福建师范大学学报(哲学社会科学版),2020,64(2):21-26,167

[3] 张桂芹,白浩强,李彦,等. 疫情常态化管控下济南市春节前后$PM_{2.5}$中二次组分变化特征[J]. 环境化学,2021,39(2):1-14

[4] Maria C C, Alessandro A, Bertanza, et al. Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the Effects on Air Quality?[J]. Science of the Total Environment,2020(10):732-379

[5] 栾峰,张引,秦楷洲,等. 重大疫情的区域传播特征及其规划策略:2019新型冠状病毒肺炎疫情反思[J]. 城市规划,2021,45(3):57-70

[6] Feng Z,Xiao C,Li P,et al. Comparison of Spatio-temporal Transmission Characteristics of COVID-19 and Its Mitigation Strategies in China and the US[J]. Journal of Geographical Sciences,2020,30(12):1 963-1 984

[7] Levin N,Zhang Q L. A Global Analysis of Factors Controlling VIirs Righttim Light Levels from Densely Populated Areas[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 190: 366-382

[8] Hu T, Huang X. A Novel Locally Adaptive Method for Modeling the Spatiotemporal Dynamics of Global Electric Power Consumption Based on DMSP-OLS Nighttime Stable Light Data[J]. Applied Energy,2019,240:778-792

[9] 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

[10] 童昀,马勇,刘海猛. COVID-19疫情对中国城市人口迁徙的短期影响及城市恢复力评价[J]. 地理学报,2020,75(11):2 505-2 520

[11] 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):78-82

[12] 李雪萍,贡璐. DMSP/OLS和VIIRS/DNB夜间灯光影像的校正及拟合[J]. 测绘通报,2019(7):138-146

（上接第27页）

[13] 姜昀呈,孙立坚,王涛涛,等.兰州市中心城区犯罪分布与城市环境的关系[J].测绘科学,2021,46(5):167-174

[14] Cabrera-Barona P F, Jimenez G, Melo P. Types of Crime Poverty Population Density and Presence of Police in the Metropolitan District of Quito [J].ISPRS International Journal of Geo-Information,2019,8(12):558-562

[15] 赵梓渝,刘大千,肖建红,等.基于犯罪模式理论的犯罪出行空间特征与影响因素:以长春市南关区扒窃为例[J].地理研究,2021,40(3):885-899

[16] 张春霞,周素红,柳林,等.建成环境对星级酒店内被盗的影响:以ZG市中心城区为例[J].地理科学进展,2020,39(5):829-840

[17] 王勇. 再论环境犯罪的修订:理念演进与趋势前瞻[J]. 重庆大学学报(社会科学版),2021,27(5): 197-207

[18] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134

[19] 刘彦随,李进涛.中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. 地理学报,2017,72(1):161-173

[20] 胡雪瑶,张子龙,陈兴鹏,等. 县域经济发展时空差异和影响因素的地理探测:以甘肃省为例[J]. 地理研究,2019,38(4):772-783

[21] 王争鸣.“丝绸之路经济带”铁路通道发展战略研究[J]. 铁道工程学报,2014,56(1): 24-31

[22] 张威. 社会解组理论视角下青少年犯罪的社区预防[J]. 青少年犯罪问题,2016,34(6): 41-49

[23] 刘大千,修春亮. 国内外犯罪地理学研究进展评析[J]. 人文地理,2012,27(2):38-44

[24] 王娜,吴健生,彭子凤.基于多源大数据的深圳市生活性服务业空间格局及影响因素研究[J].热带地理,2021,41(5):956-967