

广西北部湾经济区城市群空间扩展研究

——基于夜间灯光数据

陈展图^{a,b}, 冯冰^a, 肖丽梅^a, 谢玲^{a,b}

(广西师范大学 a. 环境与资源学院; b. 广西生态脆弱区环境过程与修复重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 以2013年、2017年、2021年3期夜间灯光数据作为数据源,借助GIS技术提取规定阈值的灯光分布区域表征城市建成区范围,通过城市空间扩展强度指数、扩展速度、紧凑度、标准差椭圆等方法分析广西北部湾经济区城市群空间扩展特征、扩展格局,并借助灰色关联分析法探究城市群空间格局变化的驱动机制。结果表明:(1)从空间扩展特征看,广西北部湾城市群空间以外延式扩展为主,整体紧凑度偏低,外围轮廓紧凑性较差。(2)从空间扩展格局看,城市群空间逐步形成南宁—北海—钦州—防城港城镇发展轴,崇左、玉林作为重要节点城市同步扩展,初步形成协同发展格局。(3)城市群空间分布格局由“北—南”向“西北—东南”,最后向“东—西”方向逐步演变,标准差椭圆面积缩小,重心整体向西北方向(南宁)移动。(4)从驱动机制看,影响城市群空间扩展的主导因素是以地区生产总值为代表的经济发展。

关键词: 夜间灯光数据;城市群;空间扩展;驱动机制分析;广西北部湾经济区

中图分类号: TP79;F061.5;F291

文献标志码: A

文章编号: 1003-2363(2024)03-0077-06

doi:10.3969/j.issn.1003-2363.2024.03.012

0 引言

城市群集聚了区域主要生产要素,是新型城镇化战略下区域发展的主体^[1]。区域间的竞争越来越表现为城市群的竞争,但城市群的空间发展格局各不相同。广西北部湾经济区是中国与东盟自由贸易区连接的“桥头堡”和核心枢纽^[2],具有独特的区位优势和巨大的发展潜力,在国家发展总体战略中的地位与作用日益提升。

随着现代遥感技术以及地理信息技术的不断发展,其综合优势不断显现。因此,被广泛应用于气象观测、资源调查、环境监测等领域,在城市扩展研究方面也备受青睐^[3]。夜间灯光数据所拥有的空间属性使其在城市空间结构的研究上优于传统的统计数据,且能够实现不同空间尺度下城镇化发展格局及其变化的监测,广泛运用在城市空间扩展及演变、城市经济活动强度等方面的研究^[4-7]。基于夜间灯光数据研究城市群的空间演变规律与发展动向,对于优化城市空间格局、合理制定城镇发展战略等具有重要意义。

国内外学者利用夜间灯光数据,结合统计数据以及社会经济指标,运用GIS平台、引力模型、多维驱动力分析等,从城市空间扩展模拟、空间可视化及城市空间关

联度等角度,探讨城市时空格局演变特征、城市规模动态特征、空间扩展路径以及驱动机制等^[8-12]。司文涛等利用2000—2018年的夜间灯光数据探索京津冀城市群的城市化过程,证实了长时序夜光数据能有效且低成本地监测区域尺度上的城市化进程^[13];王腾波等通过夜间灯光数据揭示了京津冀协同发展的特征,发现《京津冀协同发展规划纲要》实施后京津冀地区的协同程度明显改善^[14];王利伟等基于夜间灯光数据的扩展强度指数等,定量揭示了转型期京津冀城市群时空扩展路径及其动力机制^[15];王春杨等基于夜间灯光数据研究了不同阶段的成渝城市群空间结构及其变动特征^[16];徐涛等对川渝地区城市1993—2018年的时空动态分布与发展趋势进行分析,发现川渝地区城市群规模不断扩大且以外延式扩展为主^[17];王彦开等基于夜间灯光数据,运用规模扩张指数、重心偏移模型和景观格局指数揭示呼包鄂城市群中心圈层式扩张的空间形态^[18]。总体来看,经济较发达地区的城市群研究层次丰富,内容深入。尽管近年来对中西部欠发达地区城市群的关注度有所提升,但关于广西北部湾经济区城市群空间结构的研究偏少。广西北部湾经济区城市群是国家“两横三纵”城镇化战略格局中沿海纵轴最南端的重要组成部分,对于完善我国城镇化整体格局有重要意义。本研究以时间序列夜间灯光数据(NPP-VIIRS)为基础,结合社会经济数据,分析广西北部湾经济区城市群空间结构的演变特征并揭示其机制,推动构建更合理的城市空间结构。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

2008年1月,国务院批准实施《广西北部湾经济区发展规划》。广西北部湾经济区位于我国沿海西南端,

收稿日期:2023-10-23;修回日期:2024-02-26

基金项目: 广西哲学社会科学规划研究课题项目(21FYJ057);2022年度珠江—西江经济带发展研究院科学研究基金项目(ZX2022012);广西师范大学2024年度国家社科基金培育项目(2024PY020)

作者简介: 陈展图(1985-),男,广西梧州市人,副研究员,博士,主要从事国土资源、区域发展研究,(E-mail) chenzhantu@sina.com。

通信作者: 谢玲(1990-),女,新疆库尔勒市人,讲师,博士,主要从事城乡融合发展研究,(E-mail) 1428375964@qq.com。

包括南宁、北海、钦州、防城港、玉林和崇左 6 个地级市(图 1),陆域面积 7.34 万 km²。地处华南经济圈、西南经济圈和东盟经济圈的结合部,是我国西部大开发地区唯一的沿海区域,也是我国与东盟国家陆海相连的枢纽,战略地位突出^[19]。2008 年,GDP 为 3 090.41 亿元,常住人口 2 043.38 万人,城市建成区面积 387.1 km²;2021 年,GDP 达 12 148.78 亿元,常住人口 2 297.63 万人,城市建成区面积 674 km²。

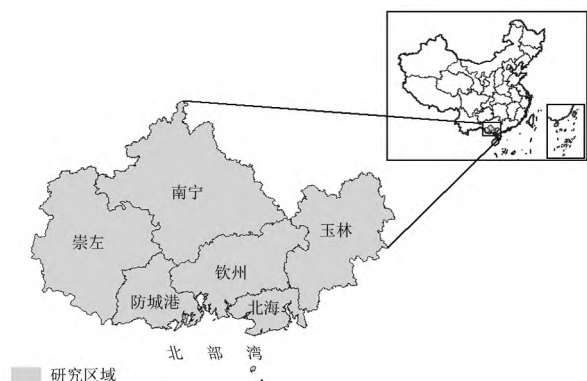


图 1 广西北部湾经济区区位

Fig.1 Location of

Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

说明:基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2020)4619 的标准地图制作,底图无修改。下图同。

1.2 数据来源

目前应用较广泛的夜间灯光数据主要有 DMSP/OLS 与 NPP-VIIRS 两大类,考虑到数据的持续性及可获取性,采用 NPP-VIIRS(分辨率为 500 m×500 m)夜间灯光数据,分别选取 2013 年、2017 年、2021 年 3 个时间节点数据进行分析。本研究以城市建设用地面积作为参考数据,基于灯光阈值提取出城市建成区面积与统计数据中的建成区面积进行对比,使得所设定灯光阈值的所有区域面积约等于城市建设用地面积^[20-22]。

社会经济数据主要包括 2013 年、2017 年、2021 年各地级市的地区生产总值、固定资产投资(不含农户)、社会消费品零售总额、实际外商直接投资、市镇人口等数据,数据来源于相应年份的《广西统计年鉴》。

2 技术路线与研究方法

2.1 技术路线

从空间扩展特征、扩展格局、扩展驱动机制 3 个方面分析北部湾经济区城市空间扩展情况。首先,基于 ArcGIS 平台与数理分析方法相结合,通过计算建成区扩展强度、扩展速度、紧凑度,分析北部湾经济区城市群空间扩展特征,并叠加提取面积得出 2013—2021 年北部湾经济区城市群空间扩展时空进程,基于标准差椭圆和椭圆重心分布直观展示空间演变格局;其次,运用灰色关联法从经济发展、外源力、行政力等方面系统分析北部湾经济区城市群空间扩展的驱动因素。

2.2 研究方法

2.2.1 扩展强度指数和扩展速度

扩展强度指数能够反映城市扩展的强弱,对城市扩展程度进行量化比较,使不同时期的城市扩展速度具有可比性^[20]。计算公式为: $I = (A_t - A_0) / A_0 / T$ 。式中: I 为扩展强度指数; A_0, A_t 分别为基期年和末期年城市建成区面积; T 为时间跨度。扩展速度反映城市扩展的快慢^[23],计算公式为: $V = (A_t - A_0) / A_0$ 。式中: V 为城市扩展速度。

2.2.2 紧凑度指数

紧凑度主要反映城市外围轮廓形态在空间上的集聚程度,是城市空间形态的重要指标,取值范围为 $[0, 1]$ 。紧凑度指数越趋近于 1,城市形状越紧凑,反之则越松散^[20]。紧凑度指数与城市建成区面积和周长有关。

2.2.3 标准差椭圆分析

标准差椭圆可揭示研究区城市空间扩展的方向^[24]。椭圆重心为空间分布的平均中心,椭圆的面积表示地理要素空间分布的集中或分散程度,面积越大表明夜间灯光的空间分布越分散,反之表明夜间灯光越集中^[25]。椭圆的长半轴表示分布的方向,短半轴表示分布的范围,长短半轴值的差距越大(扁率越大),表示方向性越明显。反之,如果长短半轴值越接近,表示方向性越不明显。长短轴长度相等,则要素分布没有方向性。

2.2.4 灰色关联分析

灰色关联分析是衡量系统(因素)间关联程度的一种方法。城市空间的扩展主要受到社会、经济、政策、市场、投资等因素的综合影响^[15,20-21]。本研究将广西北部湾经济区城市空间扩展的驱动因子主要归为经济发展、行政力、市场力、内源力、外源力 5 类,分别用地区生产总值、固定资产投资(不含农户)、社会消费品零售总额、市镇人口、实际外商直接投资 5 个指标表示(表 1)。对各指标数据进行无量纲化处理后,计算由夜间灯光数据提取的建成区面积和各指标无量纲化后之间的灰色关联度,其取值范围为 $[0, 1]$,数值越大说明灰色关联度越大,意味着城市扩张与驱动因子的联系越紧密。

表 1 驱动因子与指标涵义

Tab.1 Meaning of driving factors

驱动因子	指标	内涵
经济发展	地区生产总值	经济发展是城市空间扩展的主要推动力
行政力	固定资产投资(不含农户)	行政力主要指政府投资对城市空间扩展的助推力量
市场力	社会消费品零售总额	市场力指市场对区域生产要素进行有效配置
内源力	市镇人口	城市人口增加成为城市空间扩展的重要内部因素
外源力	实际外商直接投资	全球化背景下外商投资成为推动城市空间扩展不可或缺的力量

3 结果与分析

3.1 夜间灯光数据分析

夜间灯光数据经过分析处理后提取得到城市建成

区面积并进行叠加(图2)。2013—2021年,广西北部湾经济区城市建成区面积表现为增加趋势,总体扩大了148 km²。其中,南宁扩展面积最大,达到57 km²,北海为21 km²,玉林和防城港均为19 km²,钦州为17 km²,崇左为15 km²,广西北部湾经济区城市群空间扩展逐步形成了防城港、钦州港、北海港三港聚集于北部湾北面的带状环绕发展格局,并以南宁为核心形成南宁—北海—钦州—防城港城镇发展轴,崇左、玉林作为重要节点同步进行城市扩展,初步形成了协同发展格局。

3.2 空间扩展特征分析

3.2.1 扩展强度与速度

2013—2021年广西北部湾经济区城市建成区扩展强度与扩展速度保持同步增长趋势(表2)。南宁、北海、玉林在2013—2017年以及2017—2021年均持续增加,防城港、钦州、崇左2017—2021年的扩展强度及速度较2013—2017年有所降低。从扩展强度来看,2013—2021年崇左、防城港、北海、玉林、南宁和钦州的扩展强度依次递减;从扩展速度来看,2013—2021年崇左、防城港、北海、玉林、南宁、钦州的建成区扩展速度依次递减。自《广西北部湾经济区发展规划》实施以来,得益于政策红利,经济区强化城市分工,致力于打造特色鲜

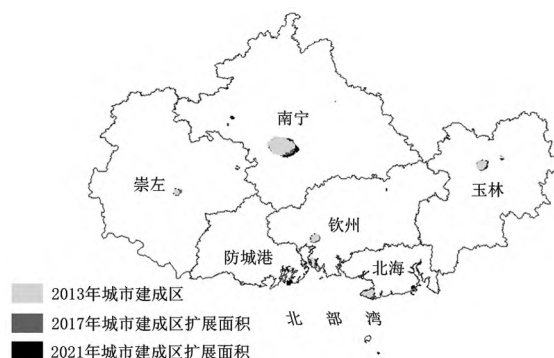


图2 基于夜间灯光数据的

2013—2021年广西北部湾经济区城市建成区扩展过程

Fig. 2 Expansion process of the urban built-up area of Guangxi Beibu Gulf Economic Zone based on night-time lighting from 2013 to 2021

明、竞争力强、整体协调的空间格局。其中,扩展较快的城市,如防城港,充分利用自身港口优势,重点投资建设防城港(港口)、企沙港,推动沿海地区发展;崇左发挥区位优势,依靠边境经济合作带动边境口岸城镇的建设实现城市扩展。此外,受珠三角产业转型升级的辐射,对承接产业转移地区的城市建设提出了新要求,推动了玉林、北海城市空间扩展。

表2 广西北部湾经济区城市建成区扩展强度与扩展速度

Tab. 2 Expansion intensity and expansion rate of urban built-up area in the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

指标	时期	南宁	北海	防城港	钦州	玉林	崇左	总体
扩展强度指数	2013—2017年	0.021	0.022	0.079	0.037	0.018	0.087	0.030
	2017—2021年	0.025	0.051	0.043	0.010	0.048	0.056	0.031
	2013—2021年	0.024	0.039	0.068	0.024	0.035	0.082	0.032
扩展速度	2013—2017年	0.086	0.088	0.314	0.148	0.074	0.348	0.119
	2017—2021年	0.101	0.203	0.174	0.040	0.192	0.226	0.125
	2013—2021年	0.196	0.309	0.543	0.193	0.279	0.652	0.258

3.2.2 紧凑度

广西北部湾经济区城市群紧凑度远低于1,且各城市的紧凑度变化不一(表3)。南宁紧凑度处于增长状态,由2013年的0.130增长到2021年的0.601,是唯一一个高于0.500的城市,属于外延式转向内部填充式扩展。北海紧凑度整体呈先升后降特点,2017年最高,结合建成区扩展进程(图2)看,除了持续打造北海港外,2017年后北海着重推进铁山港区的发展,鉴于整体紧凑度较低判断其为外延式扩展。防城港、钦州皆呈现先降后升的特点,防城港主要向东、向北以及企沙港方向扩展,钦州重点向南拓展钦州港,其中两个港口的建设都

表3 2013—2021年广西北部湾经济区城市空间扩展紧凑度

Tab. 3 Compactness of urban space expansion in the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone from 2013 to 2021

年份	南宁	北海	防城港	钦州	玉林	崇左	总体
2013	0.130	0.195	0.206	0.115	0.132	0.202	0.069
2017	0.187	0.206	0.165	0.112	0.168	0.190	0.080
2021	0.601	0.164	0.213	0.125	0.148	0.188	0.100

沿海岸线展开,属于外延式扩展。整体而言,广西北部湾经济区城市建成区空间扩展以外延式扩展为主,建成区外围轮廓紧凑性较差,城市结构属于较松散状态,但总体紧凑度不断提高表明仍在发展优化的阶段。

3.3 标准差椭圆和重心迁移分析

2013—2021年,随着广西北部湾经济区城市群城市建成区面积不断扩大,其空间格局也发展演变(图3)。从椭圆的长轴方向变化可知,广西北部湾经济区城市群3个时期的空间格局表现为2013年的北—南方向、2017年的西北—东南方向、2021年的东—西方向。广西北部湾经济区城市群早期(2013年前)空间格局以北—南方向为主导,这与早期广西以桂林—柳州—南宁—北部湾为重点的纵向发展轴相一致;后期(2013年后)随着珠江—西江经济带建设的不断推进以及全面融入粤港澳大湾区战略的实施,广西与广东生产要素、基础设施等互联互通不断强化,东—西横向的作用力不断增强并超过北—南纵向的作用力,以至于2021年实现了北—南方向向东—西方向的转变。

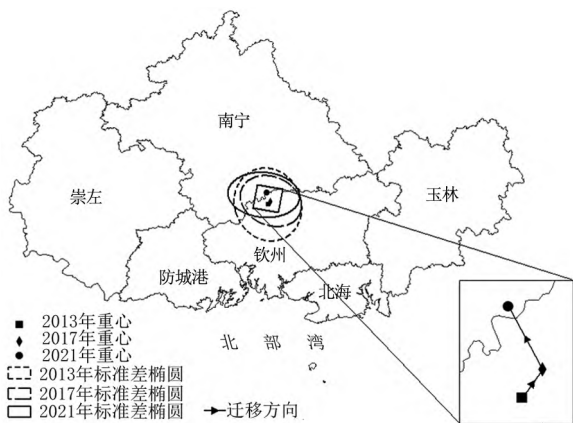


图 3 2013 年、2017 年、2021 年

广西北部湾经济区城市建成区标准差椭圆及重心迁移

Fig. 3 Standard deviation ellipse and center of gravity migration of the urban built-up area of Guangxi Beibu Gulf Economic Zone in 2013, 2017 and 2021

(1) 从椭圆面积变化来看,2013—2017 年椭圆面积由 $6\,794\text{ km}^2$ 减小至 $3\,922\text{ km}^2$,表明城市灯光趋于集中,该阶段城市空间扩展以南宁、钦州为主,分别扩展了 25 km^2 , 13 km^2 ,广西北部湾经济区城市空间扩展不平衡;2017—2021 年椭圆面积由 $3\,922\text{ km}^2$ 增大至 $4\,232\text{ km}^2$,灯光趋向中小城市分散,除南宁外,北海、玉林的城市扩展面积较上一阶段增加,其余 3 座城市也有不同程度的扩展。近年来,沿海的北海、钦州、防城港三市不断推进一体化建设,城市建成区面积持续增加,玉林、崇左也在珠江—西江经济带的建设中不断发展。

(2) 从椭圆重心移动来看,2013—2017 年重心从 $108^\circ44'24''\text{E}$, $22^\circ24'00''\text{N}$ 移至 $108^\circ45'36''\text{E}$, $22^\circ25'48''\text{N}$,向东北方向移动约 3.91 km ;2021 年移至 $108^\circ43'48''\text{E}$, $22^\circ30'00''\text{N}$,向西北方向移动约 8.00 km 。因此,整体呈现向西北方向(南宁)移动特点,且 2017—2021 年比 2013—2017 年移动的距离更远、速度更快,主要原因是作为经济区核心城市和广西首府的南宁集聚能力强大,承担着加强与粤港澳大湾区合作、西部陆海新通道建设等重大任务,特别是在广西强首府战略驱动下,多年来在城市建设中持续投入,起到了重要的拉动作用。

3.4 基于灰色关联的城市扩展驱动机制分析

夜间灯光总量与地区生产总值高度相关^[26]。一般而言,城市经济越发达,对人口的吸引力就越强;外商投资和政府固定资产投资不仅能促进产业结构的调整和升级,同时能提供更多的就业岗位,吸引人口向城市集聚;市镇人口的增加对城市空间、基础设施等的需求量就相应增加,城市就需要扩展以满足新增人口的住房等需求,人口的增加也会拉动消费,促进市场的繁荣;社会消费品零售总额高在一定程度上表明城镇居民的支配收入高,在食物消费支出得到有效解决的情况下,居民可能更愿意将钱花在投资上。上述因素均可促进城市化进程,使得城市建成区面积增加。

3.4.1 影响区域城市空间扩展的主导因子

在区域尺度上,2013—2017 年行政力、经济发展、市场力、内源力、外源力对经济区整体的城市空间扩展影响作用依次减弱(表 4),行政力和经济发展的关联系数分别为 0.764 , 0.759 ,是推动广西北部湾经济区城市建成区扩张的主要因子,表明该阶段政府调控下的城市资源配置和地区经济发展对建成区扩展具有重要影响,政府发挥着导向作用。2017—2021 年,各驱动因子关联系数发生明显变化,外源力的关联系数(0.715)最大,表明该阶段外商投资对城市扩展的影响凸显,经济区对外开放程度和外资投入显著提高。2013—2021 年,关联系数最大的因子是经济发展(0.680),其次是市场力(0.633),再次是外源力(0.630),且外源力是研究期内关联系数不断增大的因子。经济发展是推动城市空间扩展的根本力量,政府的资源配置则起到优化调整功能。自北部湾开发开放战略实施以来,全国及广西的生产要素不断向该区域倾斜和聚集,该区域的经济增长速度明显高于广西其他区域。2021 年,广西北部湾经济区生产总值占广西的比例达 49.1% ,社会消费品零售总额占广西的比例达 51.7% ,实际外资直接投资占广西的比例达 76.78% 。

表 4 广西北部湾经济区城市建成区驱动因子关联系数

Tab. 4 Correlation coefficient of driving factors of urban built-up areas in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone

时期	地区生产总值(经济发展)	固定资产投资(行政力)	社会消费品零售总额(市场力)	实际外商直接投资(外源力)	市镇人口(内源力)
2013—2017 年	0.759	0.764	0.720	0.486	0.661
2017—2021 年	0.581	0.465	0.529	0.715	0.586
2013—2021 年	0.680	0.619	0.633	0.630	0.621

3.4.2 驱动因子的扩展影响:内源力为主导因子

在城市尺度上,灰色关联分析结果(表 5)表明,2013—2021 年以市镇人口为代表的内源力是推动广西北部湾经济区各城市空间扩展的主要驱动因子,且在除崇左外的 5 个城市中关联系数位居首位,说明市镇人口的增加为推动各城市建成区空间扩展提供了核心动力。2013—2021 年,广西北部湾经济区内部各城市产业经济快速发展,各地政府不断推进户籍制度的深化改革,推动城市新区健康发展,在集聚产业的同时集聚人口,这些举措极大地促进了人口的自由流动,吸引了人口向城镇集聚。2013—2021 年,广西北部湾经济区市镇人口增加了 363.59 万人,其中,南宁增加最多,达到 221.16 万人,这与南宁作为首府城市、经济发展水平高以及宽松的落户政策有紧密关系。市镇人口与南宁城市建成区紧凑度也呈现高度相关,Pearson 相关系数达 0.997 。市镇人口增加最少的防城港则增加了 18.43 万人。人口规模的增加推动城市空间的扩展以满足新增人口对生产、生活及生态空间的需求。

表5 2013—2021年广西北部湾经济区各市建成区驱动因子关联系数
Tab.5 Correlation coefficient of driving factors of built up
areas of each city in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone from 2013 to 2021

城市	地区生产总值 (经济发展)		固定资产投资 (行政力)		社会消费品零售总额 (市场力)		实际外商直接投资 (外源力)		市镇人口 (内源力)	
	2013— 2017年	2017— 2021年	2013— 2017年	2017— 2021年	2013— 2017年	2017— 2021年	2013— 2017年	2017— 2021年	2013— 2017年	2017— 2021年
南宁	0.769	0.534	0.735	0.449	0.730	0.524	0.732	0.490	0.792	0.758
北海	0.798	0.638	0.880	0.693	0.834	0.640	0.536	0.640	0.988	0.968
防城港	0.980	0.985	0.993	0.987	0.979	0.970	0.816	0.802	0.998	0.991
钦州	0.801	0.559	0.810	0.465	0.796	0.624	0.857	0.704	0.962	0.859
玉林	0.908	0.857	0.898	0.742	0.876	0.802	0.828	0.518	0.976	0.979
崇左	0.893	0.775	0.729	0.437	0.857	0.534	0.551	0.381	0.796	0.671

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)从空间扩展特征看,2013—2021年广西北部湾经济区城市群空间以外延式扩展为主并保持稳定增加,但整体紧凑度偏低,外围轮廓紧凑性较差。

(2)从空间扩展格局看,2013—2021年广西北部湾经济区城市群空间扩展逐步形成了防城港、钦州港、北海港三港环绕北部湾北面的带状环绕发展格局,并逐步形成以南宁为核心的南宁—北海—钦州—防城港城镇发展轴,崇左、玉林作为重要节点同步扩展,初步形成了协同发展格局;城市群空间演变格局由“北—南”方向向“西北—东南”方向,再向“东—西”方向演变,重心整体向西北方向(南宁)移动。

(3)从驱动机制看,2013—2021年广西北部湾经济区空间扩展表现为以地区生产总值为代表的经济发展为主导因子、内部各城市以市镇人口为代表的内源力为主要驱动因子的特征。经济发展不仅推动了城市空间的扩展,而且吸引了更多人口流向城镇,使各城市的市镇人口实现不同程度的增加,城镇新增人口对生产、生活等的空间需求又促进了城市建成区的进一步扩展。

4.2 讨论

广西北部湾经济区城市群发展较为迅速,空间格局发生明显变动。广西北部湾经济区城市群空间扩展受区域发展战略的影响明显,主要原因是广西以南宁为核心,实施“南向、北联、东融、西合”全方位开放战略,在传统的“南向、北联”纵向方向不断强化的同时,“东融、西合”日见成效,尤其是在珠江—西江经济带、全面融入粤港澳大湾区、强首府等重大区域发展政策驱动下,东西横向的作用力超过南北纵向的作用力,最终推动经济区城市建成区标准差椭圆由“南—北”方向向“东—西”方向转变,且椭圆重心向南宁移动。但广西北部湾经济区城市扩展的整体紧凑度偏低,外围轮廓紧凑性较差,需要加强内涵建设,走精明增长道路。

本研究也存在研究周期短、对未来城市空间扩展趋势缺乏预测的不足,需要在后续研究中加以完善。

参考文献:

- [1] 姚士谋,朱英明,陈振光. 中国城市群[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2001:3-10.
- [2] 杨迺裕. 广西北部湾经济区新型城镇化发展途径研究[J]. 学术论坛,2012,35(6):133-137.
- [3] 毛卫华,胡德勇,曹冉,等. 利用MODIS产品和DMSP/OLS夜间灯光数据监测城市扩张[J]. 地理研究,2013,32(7):1325-1335.
- [4] 谈明洪,吕昌河. 以建成区面积表征的中国城市规模分布[J]. 地理学报,2003,58(2):285-293.
- [5] 陈瑞. NPP-VIIRS夜间灯光数据提取城镇方法及应用研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2021:60-65.
- [6] 张远生,曹智伟,韦蔚,等. 黄河流域夜间灯光数据与社会经济发展指标的时空耦合关系研究[J]. 测绘通报,2021(10):20-27.
- [7] TAN Z X, XIANG S M, WANG J Y, et al. Identification and Measurement of Shrinking Cities Based on Integrated Time-Series Nighttime Light Data: An Example of the Yangtze River Economic Belt [J/OL]. Remote Sensing, 2023, 15: 3797 [2023-10-10]. <https://doi.org/10.3390/rs15153797>.
- [8] 杨眉,王世新,周艺,等. DMSP/OLS夜间灯光数据应用研究综述[J]. 遥感技术与应用,2011,26(1):45-51.
- [9] VASSILIS T, DEMETRIS S. Exploring Regional and Urban Clusters and Patterns in Europe Using Satellite Observed Lighting[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2020, 47(4): 553-568.
- [10] GOLDBLATT R, STUHLMACHER M F, TELLMAN B, et al. Using Landsat and Nighttime Lights for Supervised Pixel-based Image Classification of Urban Land Cover [J]. Remote Sensing of Environment: An Interdisciplinary Journal, 2018, 205: 253-275.
- [11] HASI B, HABURA B, YOSHIKI Y. Assessing Nighttime Lights for Mapping the Urban Areas of 50 Cities across the Globe[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2019, 46(6): 1097-1114.
- [12] ZHENG Y M, HE Y R, ZHOU Q, et al. Quantitative E-

- valuation of Urban Expansion Using NPP-VIIRS Night-time Light and Landsat Spectral Data[J/OL]. Sustainable Cities and Society, 2022, 76: 103338 [2023 - 10 - 10]. DOI:10.1016/j.scs.2021.103338.
- [13] 司文涛,张宁慧,叶海鹏,等. 基于长时间序列夜间灯光数据的京津冀城市群城市化过程[J]. 资源科学, 2022, 44(10): 2114 - 2124.
- [14] 王腾波,张英,翟亮,等. 夜间灯光视角下京津冀地区协同发展特征研究[J]. 测绘科学, 2022, 47(8): 166 - 173.
- [15] 王利伟,冯长春. 转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制: 基于夜间灯光数据方法[J]. 地理学报, 2016, 71(12): 2155 - 2169.
- [16] 王春杨,吴国誉,张超. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的成渝城市群空间结构研究[J]. 城市发展研究, 2015, 22(11): 20 - 24.
- [17] 徐涛,于欢,孔博,等. 基于夜间灯光数据的川渝城市群建成区时空动态[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(35): 15152 - 15159.
- [18] 王彦开,赵渺希,荣丽华. 基于夜间灯光数据的呼包鄂城市群空间扩张特征及驱动力研究[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(3): 43 - 49.
- [19] 王尧,杨建锋,孟旭光. 广西北部湾经济区国土开发风险评估研究[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(6): 143 - 148.
- [20] 史海金,吴文恒,李研,等. 基于夜间灯光影像数据的黄河流域中心城市建成区空间扩展及动力因子分析[J]. 中国沙漠, 2021, 41(6): 235 - 248.
- [21] 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.
- [22] 张词谦,洪亮. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的中原城市群建成区时空扩张与驱动因子分析(1992—2012年)[J]. 光源与照明, 2022(1): 55 - 57.
- [23] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81 - 87.
- [24] 依木然孜·艾孜孜,阿里木江·卡斯木,图尔荪阿依·如孜,等. 夜光遥感数据的西部地区城市扩展时空变化[J]. 测绘科学, 2022, 47(8): 174 - 185.
- [25] 王成港,宁晓刚,王浩,等. 利用夜间灯光数据的城市群格局变化分析[J]. 测绘科学, 2019, 44(6): 176 - 186.
- [26] 旷开金,郑开焰,陈锐,等. 基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据的福建省县域经济发展时空演化研究[J]. 地域研究与开发, 2023, 42(4): 29 - 35.

Spatial Expansion of Urban Agglomerations in Guangxi Beibu Gulf Economic Zone Based on Night-time Lighting Data

CHEN Zhantu^{a,b}, FENG Bing^a, XIAO Limei^a, XIE Ling^{a,b}

(a. College of Environment and Resources; b. Guangxi Key Laboratory of Environment Processes and Remediation in Ecologically Fragile Regions, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: This study used the night-time lighting data of 2013, 2017 and 2021 as the data source, with the help of GIS technology to extract the light distribution area with the specified threshold to characterize the scope of the urban built-up area. Through the urban spatial expansion intensity index, expansion rate, compactness, standard deviation ellipse and other indicators to analyze its spatial expansion characteristics and expansion pattern, and combined with the grey correlation analysis method to explore the driving mechanism of urban spatial pattern change. The results show that: (1) From the perspective of spatial expansion characteristics, the urban space in the study area is dominated by epitaxial expansion, the overall compactness is low and the peripheral contour compactness is poor. (2) From the perspective of spatial expansion pattern, the urban space of the study area has gradually formed the Nanning-Beihai-Qinzhou-Fangchenggang urban development axis. Chongzuo City and Yulin City, as important node cities, have expanded synchronously and initially formed a coordinated development pattern. (3) The urban spatial distribution pattern gradually evolved from ‘north-south’ to ‘northwest-southeast’, and finally to ‘east-west’. The area of the standard deviation ellipse decreased, and the center of gravity moved to the northwest (Nanning) as a whole. (4) From the perspective of driving mechanism, the dominant factor affecting the expansion of urban space in the study area is the economic development represented by regional GDP.

Key words: night-time lighting; urban agglomerations; spatial expansion; driving mechanism analysis; Guangxi Beibu Gulf Economic Zone