

基于夜光遥感的沈阳市城市扩展特征分析

王洋 张丹华 么宁

沈阳建筑大学 交通工程学院

DOI:10.12238/gmsm.v5i1.1316

[摘要] 监测城市扩张动态变化对合理规划城市空间格局,实现区域可持续发展具有重要意义。基于2005–2020年夜光遥感数据和统计数据,采用参考比较法提取沈阳市建成区范围,利用数学统计和标准差椭圆分析方法研究沈阳市建成区时空演变格局,结果表明:沈阳市建成区夜光总量年均增长率为12.87%,夜光增量分为:高速增长(2005–2010年)、稳定增长(2015–2020年)和低速增长(2010–2015年)三个阶段;沈阳市建成区扩张呈“同心圆”模式,建成区夜间灯光分布呈“南(略偏西)–北(略偏东)”的格局,重心向东南方向移动1.27km;建成区扩张速率为22.63%,扩张强度达到0.53,二者变化趋势呈“√”型。

[关键词] 夜光数据; 城市扩张; 标准差椭圆; 时空格局

中图分类号: P2 文献标识码: A

Analysis of Urban Expansion Characteristics of Shenyang Based on Nighttime Light Remote Sensing

Yang Wang Danhua Zhang Ning Yao

School of Transportation and Geomatics Engineering Shenyang Jianzhu University

[Abstract] Monitoring the dynamic changes of urban expansion is of great significance for rational planning of urban spatial pattern and realizing regional sustainable development. Based on the nighttime remote sensing data and statistical data from 2005 to 2020, the reference comparison method is used to extract the scope of Shenyang built-up area, and the mathematical statistics and standard deviation ellipse analysis method are used to study the temporal and spatial evolution pattern of Shenyang built-up area. The results show that the average annual growth rate of the total nighttime light amount in Shenyang built-up area is 12.87%, and the nighttime light increment is divided into: high-speed growth (2005–2010), stable growth (2015–2020) and low-speed growth (2010–2015). The expansion of the built-up area in Shenyang is in the "concentric circle" mode, the night light distribution in the built-up area is in the pattern of "south (slightly by west) – north (slightly by east)", and the center of gravity moves 1.27km to the southeast. The expansion rate of the built-up area is 22.63%, and the expansion intensity reaches 0.53. The change trend of the two shows a "√" type.

[Key words] the nighttime light data; urban expansion; standard deviation ellipse; temporal and spatial pattern

引言

改革开放以来,我国城市化水平不断提高,按照诺瑟姆城市化发展规律曲线,我国城市化处于发展的加速阶段,正经历着人类历史上前所未有的最大规模和最快速率的城市化进程^[1-2]。随着城市化进程的加快,城市土地利用无序扩张、环境污染和交通拥堵等“城市病”越来越严重,严重影响城市可持续发展^[3]。因此,分析研究城市发展格局,对于确定合理的城市用地布局,避免城市盲目扩张,

实现区域的可持续发展具有重要的战略意义。

在众多遥感数据中,美国国防气象卫星搭载的可见光线性扫描系统(Defense Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System, DMSP/OLS)和美国国家极轨卫星搭载的可见红外成像辐射仪(Suomi National Polar Orbiting Partnership/Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, NPP/VIIRS)所获取的遥感影像作为一种

长时间序列的夜光数据,具有数据量小、获取便利以及能够有效反映多维城市扩张特征等优点,被广泛应用于城市扩张研究中^[4]。Yang等^[3]借助DMSP/OLS数据提取北京市建成区面积,探讨1993–2013年北京大都市发展的空间特征,得出了北京市的空间形态在扩张和集约之间交替变化的结论,李桂华等^[5]、Zheng等^[6]和Xiao等^[7]利用夜光数据分别研究了山东半岛城市群、长江中游城市群和中国三大城市群的城市扩张特征,Xu等^[8]对

1992-2013年中国城市化水平进行了评估,全面探测了城市发展的时空动态和未来趋势。结果表明,1992-2013年间,中国城市化和城市动态经历了剧烈波动,尤其是沿海和大都市地区。

本文以2005—2020年DMSP/OLS和NPP/VIIRS夜光遥感影像数据为数据源,利用夜光规模、城市扩张指数和标准差椭圆等综合分析沈阳市城市发展格局时空演变特征,该研究对了解沈阳城市空间格局发展过程、评估城市未来发展趋势,指导区域城市空间规划具有较好的参考意义^[9]。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

沈阳市位于辽宁省中部,是东北地区政治、经济、文化和商业贸易中心,共辖13个县级行政区,面积达到12860 km²。北部为辽北丘陵,地势向西、南逐渐开阔平展(图1)。沈阳属于温带半湿润大陆性季风气候。2021年辽宁省统计年鉴显示,2020年沈阳市年平均气温为9.2℃,年平均相对湿度为63.3%,年均降水量为62.6mm。根据第七次全国人口普查结果,沈阳市常住人口为907.3万人,城镇化率高达84.50%。

1.2 数据来源

①夜光遥感数据。DMSP/OLS数据和NPP/VIIRS数据均来自于美国国家海洋与大气管理局(National Ocean and Atmospheric Administration, NOAA)下属的美国国家地球物理数据中心(National Geophysical Data Center, NGDC)。DMSP/OLS第4版数据有3种类型,分别是:稳定灯光数据、辐射定标平均灯光数据和非辐射定标夜间平均灯光数据。本文使用稳定灯光数据,其包含城市、城镇和其他持续照明场所的稳定灯光,空间分辨率约为1km^[11]。

NPP/VIIRS月数据空间分辨率约为0.5km,包括两种类型:VCMFG和VCMFLFG^[12]。由于VCMFG数据不包含任何杂散光影响,本文使用此数据作为城市建成区提取的数据源。

②统计数据。本文使用的建成区面积数据和社会经济数据来源于《辽宁省统计年鉴》。

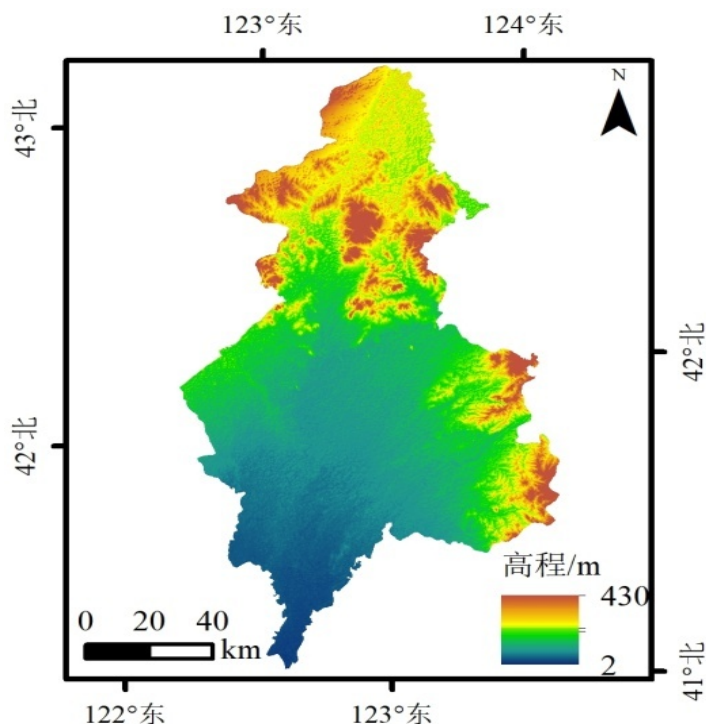


图1 研究区地理位置示意图

2 研究方法

2.1 城市建成区提取

本文使用参考比较法实现沈阳市建成区的提取。参考比较法是利用现有的统计数据,将设定的阈值提取出来的建成区面积与统计数据的建成区面积差值最小时的阈值作为最佳阈值,从而提取建成区范围的方法,计算公式如下:

$$\begin{cases} S(DN_i) = \sum_{DN_t=DN_i}^{DN_{max}} S(DN_t) \\ |\Delta S_i| = |S - S(DN_i)| \\ |\Delta S_{i-1}| > |\Delta S_i| < |\Delta S_{i+1}| \end{cases} \quad (1)$$

其中 DN_i 为设定的阈值, DN_{max} 为DN值的最大值, $S(DN_i)$ 表示DN值为 t 时对应区域的面积, ΔS_i 表示DN值等于 i 时,提取建成区面积与统计数据中建成区面积的差值。

2.2 城市夜光规模统计方法

夜光总量 T ,增长率 r 分别为:

$$T = \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$r = \frac{T_b - T_a}{T_a} \times 100\% \quad (3)$$

式中, x_i 为第 i 个像元的DN值, T_b 和 T_a 分别为某一时间段内末期和初期的夜光总量。

2.3 城市扩张空间特征研究

标准差椭圆空间统计方法能够精确地揭示地理要素空间分布整体特征^[13]。标准差椭圆相关参数:重心、方位角、标准差椭圆长短轴计算公式见文献^[13-14]。

2.4 城市扩张数量特征研究

扩张速率和扩张强度指数广泛用于城市扩张变化研究中,扩张速率表示在研究期间内,城市建成区扩张面积的年均变化率,城市扩张强度表示某一时期内研究区城市建成区扩张的面积占全部土地面积的比例,用以表达单位时间内城市扩张的强弱和快慢^[15]。计算公式如下:

$$\begin{cases} K = \frac{S_b - S_a}{S_a} \times \frac{1}{t} \times 100\% \\ U = \frac{S_b - S_a}{A} \times \frac{1}{t} \times 100\% \end{cases} \quad (4)$$

式中, K 表示扩张速率, U 表示扩张强度指数, S_b 表示末期城市建成区的面积, S_a 表示初期城市建成区的面积, A 表示全部土地面积, t 表示研究时长。

表1 提取面积与统计面积误差分析

	2005年	2010年	2015年	2020年
提取面积/km ²	297	417	434	633
统计面积/km ²	310	412	465	649
误差值/km ²	-13	5	-31	-16
误差率/%	-4.19	1.21	-6.67	-2.47

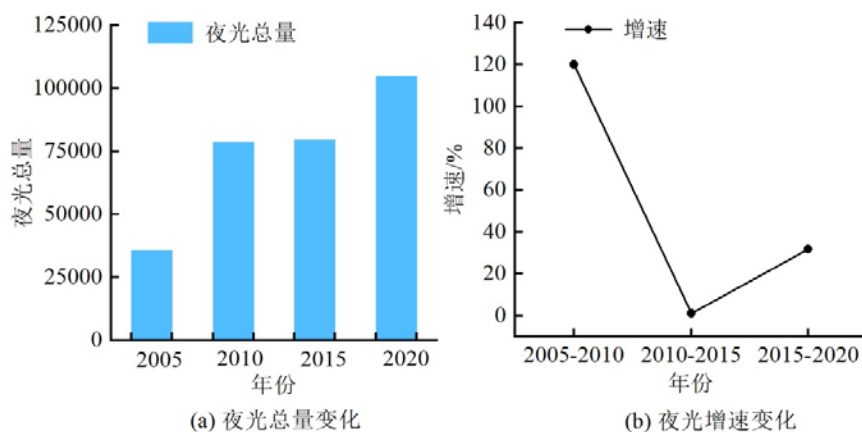


图2 夜光规模变化

3 结果分析

3.1 建成区提取结果分析

研究利用参考比较法获取最佳阈值提取沈阳市建成区范围,将统计数据与提取的建成区面积进行对比(表2),研究发现误差分别为-4.19%、1.21%、-6.67%和-2.47%,2015年提取建成区面积的误差最大,误差率为-6.67%,小于10%,在合理范围内。

3.2 城市夜光规模变化分析

2005、2010、2015和2020年夜光遥感影像统计沈阳市夜光总量和增速的变化见图2。研究发现2005-2020年,沈阳市夜间灯光显著增长,年均增长率为12.87%。从各时间段看,沈阳市夜光规模增长分为三个阶段:①高速增长阶段(2005-2010年),该时期内,夜光总量由35793增加到78740,增长率达到119.99%,远超其他时间段;②平稳增长阶段(2015-2020年),夜光总量由2015年的79615增长到2020年的104926,夜光增长率为21.79%;③低速增长阶段(2010-2015年),夜光增量仅为875,夜光增速仅为1.11%。

3.3 城市空间格局演变特征

沈阳市城市空间格局演变情况见图

3。从图中可以看出沈阳市建成区扩展为“同心圆”模型,夜间灯光分布呈现“南(略偏西)-北(略偏东)”的格局。2005-2020年,沈阳市夜间灯光标准差椭圆面积由1197.60km²上升到2517.82km²,增长率为110.24%,呈现空间扩张的趋势。建成区夜间灯光规模重心坐标向东南方向移动约1.47km。方位角由42°增大到45°,标准差椭圆长轴的伸缩幅度较大,表明推动沈阳市建成区夜间灯光演变的主要拉动力量为南北向。

3.4 城市扩张变化分析

沈阳市城市扩展信息情况见图4,可以看出沈阳市建成区扩张速率和扩张强度变化趋势呈“√”型。2010-2015年,沈阳市建成区扩展速率和扩张强度最低,分别为0.81%和0.03,2015-2020年,扩张速率和扩张强度达到顶峰,分别为9.17%和0.31。这可能是由于2013-2015年,人均城市绿地面积减少,生态环境遭到破坏,而城镇化和生态环境保护属于相互促进关系^[16],因而沈阳市扩张速率和扩张强度最低。而2016年,沈阳技术产业开发区升级为国家自主创新示范区,2018年,辽宁省建立沈抚改革创新示范区,吸引了大量的人口和企业,人口的

聚集和企业的落户导致城市不断扩张,因而在2015-2020年,沈阳市建成区扩张速率和扩张强度达到最大值。从整个研究期看,沈阳市建成区扩张较为强烈,扩张速率为22.63%,扩张强度达到0.53。

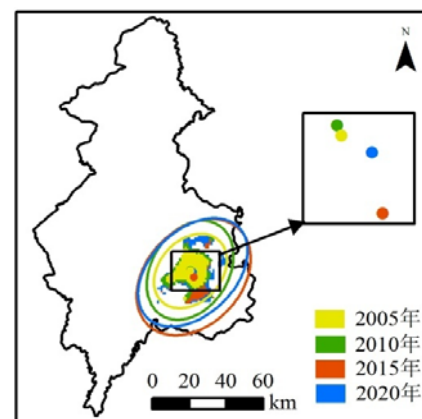


图3 沈阳市城市化空间过程

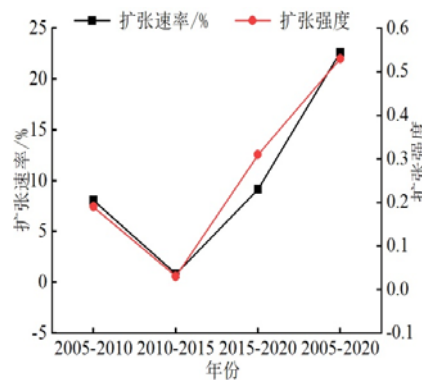


图4 沈阳市城市扩展信息变化

4 结语

本文基于2005-2020年夜光遥感数据和统计数据,借助参考比较法提取城市建成区范围,从夜光规模、扩张强度、扩张速率和标准差椭圆,对沈阳市建成区城市扩张时空演变格局进行了分析。2005-2020年间,城市建成区夜光总量年均增长率为12.87%,沈阳市建成区呈“同心圆”模式扩张,建成区夜间灯光在具有明显的南北轴向性,呈现“南(略偏西)-北(略偏东)”的格局,重心向东南方向移动1.47km;近15年来,建成区面积扩张速率为22.63%,扩张强度达到0.53,扩张速率和扩张强度的变化趋势呈“√”形状。

虽然本研究利用夜光遥感数据和统

计数据监测沈阳市城市扩张动态变化,为区域空间规划提供了相关支持,但仍存在局限性,夜光遥感数据存在“过饱和”现象,DN值大于63的仍以63来表示,因此夜光总量的统计具有一定的误差,接下来应重点解决该问题。

[参考文献]

[1]孙钦珂,周亮,申如如,等.基于DMSP/OLS数据的长江经济带城市用地空间分异特征[J].遥感信息,2019,34(4):79-86.

[2]马廷.夜光遥感大数据视角下的中国城市化时空特征[J].地球信息科学学报,2019,21(01):59-67.

[3]YANG Y, MA M, ZHU X, et al. Research on spatial characteristics of metropolis development using nighttime light data: NTL based spatial characteristics of Beijing[J]. Plos one,2020,15(11):e0242663.

[4]路春燕,许燕婷,林晓晴,等.基于DMSP/OLS夜间灯光数据的环渤海城市群时空演变研究[J].国土资源遥感,2019,31(04):218-226.

[5]李桂华,范俊甫,周玉科,等.基于VIIRS夜间灯光数据的山东半岛城市群

发展特征研究[J].遥感技术与应用,2020,35(06):1348-1359.

[6]ZHENG W, KUANG A, LIU Z, et al. Analysing the spatial structure of urban growth across the Yangtze River Middle reaches urban agglomeration in China using NPP-VIIRS night-time lights data[J].GeoJournal,2021:1-18.

[7]XIAO P, WANG X, FENG X, et al. Detecting China's urban expansion over the past three decades using nighttime light data[J].IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing,2014,7(10):4095-4106.

[8]XU P, LIN M, JIN P. Spatio-temporal Dynamics of Urbanization in China Using DMSP/OLS Nighttime Light Data from 1992 - 2013[J].Chinese Geographical Science,2021,31(1):70-80.

[9]万意,陈云浩,李京.基于DMSP/OLS数据的河南省城市空间格局及动态扩张分析[J].地理与地理信息科学,2019,35(1):89-94+2.

[10]陈旭.辽宁沿海经济带主体功

能区划分研究[D].大连:辽宁师范大学,2014.

[11]张大成.基于夜光遥感的杭州湾城市群发展轨迹研究[D].杭州:浙江大学,2019.

[12]LI X,LD D,XU H,et al.Intercalibration between DMSP/OLS and VIIRS night-time light images to evaluate city light dynamics of Syria's major human settlement during Syrian Civil War. International Journal of Remote Sensing [J],2017,38(21):5934-5951.

[13]李德仁,余涵若,李熙.基于夜光遥感影像的“一带一路”沿线国家城市发展时空格局分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(06):711-720.

[14]吴玮怡,钟凯文,许剑辉.广东省县域经济差异时空演化及影响因素研究[J].测绘科学,2021,46(06):156-163.

[15]葛媛媛,韩磊,赵永华,等.1984—2016年西安市城市扩张时空度量分析[J].生态学杂志,2019,38(5):1491-1499.

[16]王彦彬,张杰,黄玉芳,等.沈阳市新型城镇化发展水平评价及对策研究[J].中国管理信息化,2019,22(23):120-124.