引文格式：赵建才,王妍. 基于夜光遥感的江苏省城市格局动态发展研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(11): 20-23. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.11.004

基于夜光遥感的江苏省城市格局动态发展研究

赵建才[1]，王　妍[1]
（1. 江苏省测绘工程院，江苏 南京 210013）

摘　要：与人类活动息息相关的夜光遥感影像已被广泛应用于社会经济研究，在研究城市动态发展等方面具有极大的应用潜力。基于2012—2021年年均NPP/VIIRS夜光遥感影像，利用夜间灯光统计、位序—规模法则和标准差椭圆分析了江苏省城市化动态发展过程。结果表明，江苏省整体的夜光总量呈增长态势（增速为75.4%），其中苏北地区的增速最明显，盐城市高达174.5%，苏中和苏北地区夜光规模占比均有所上升；捷夫指数呈下降趋势，城市间呈分散型发展，结构愈加均衡；标准差椭圆面积有所增大，在空间上呈扩张趋势，椭圆重心向西北方向偏移。

关键词：夜光遥感；NPP/VIIRS；江苏省；城市化；时间序列
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）11-0020-04

Study on Urban Pattern Dynamic Development in Jiangsu Province Based on Nighttime Light Remote Sensing

ZHAO Jiancai[1], WANG Yan[1]
(1. Jiangsu Surveying and Mapping Engineering Institute, Nanjing 210013, China)

Abstract: Nighttime light highly related to human activities has been extensively applied in studying the spatio-temporal changes of urban pattern. Based on annual average NPP/VIIRS nighttime light remote sensing images from 2012 to 2021, we used the nighttime light statistics, rank-scale rule and standard deviation ellipse to analyze urban dynamic pattern in Jiangsu Province. The results show that the growth rate of nighttime lights in Jiangsu is 75.4%. The northern of Jiangsu Province shows the highest growth rate. The proportions of nighttime light in the middle and northern of Jiangsu Province have also increased. The q value is showing a downward trend, the scale of nighttime light is scattered, and the scale of development tends to be balanced. The area of standard deviation ellipse has increased, showing a spatial expansion trend, and the barycenter of ellipse has shifted towards the northwest direction.

Key words: nighttime light remote sensing, NPP/VIIRS, Jiangsu Province, urbanization, time series

夜光遥感是指卫星、气球、无人机等平台搭载的传感器在夜间无云情况下获取的夜间光源，如城镇灯光、生物质发光、火点等。相较于日间遥感，夜光遥感具有独特的、反映人类社会活动的能力[1]，在估算社会经济参数、分析城市化水平、评估受灾影响等方面具有优势。夜光遥感影像作为可信度高、易获得、经济成本低的数据，能够以较低的成本开展社会经济参数评估工作，为地区今后的发展方向提供有利的数据支撑和重要的决策依据。目前卫星夜光遥感影像中最常用的两个来源为DMSP/OLS夜光遥感影像和NPP/VIIRS夜光遥感影像。从1992年开始，DMSP/OLS持续提供年度夜光影像，直至2013年停止服务，因此该数据一直是夜光遥感研究中的主流数据，在城市建成区提取[2-3]、人类经济活动估算[4]、人口密度估算[5-6]等方面均有大量应用；而2012年发布的NPP/VIIRS数据具有更高的空间分辨率，更先进的校准系统，能够捕捉更细微的夜间灯光，包含年度影像、月度影像和每日影像。目前已有许多基于NPP/VIIRS夜光影像的研究[7-10]。

城市空间格局是夜光遥感领域的热门课题，我国学者针对长三角经济带[11]、粤港澳大湾区[12-13]、西南部地区[14-15]等区域进行了相关研究，并充分论证了夜光遥感与经济发展的高相关性。江苏省作为我国经济最活跃的省份之一，吸引了多位学者从夜光遥感视角研究其经济发展情况，但大多是基于省级尺度，作为长三角经济带的一部分进行研究[16-18]，少有以城市级尺度，在长时间序列上研究江苏省内部的发展状况。因此，本文基于NPP/VIIRS年度合成的夜光影像，通过夜间灯光统计、位序—规模法则和标准差椭圆深入探究江苏省2012—2021年城市动态发展和区域发展差异

收稿日期：2024-03-27。
第一作者简介：赵建才（1973—），高级工程师，注册测绘师，主要研究方向为航空摄影测量与测绘工程，E-mail：791080206@qq.com。

变化，为后续相关决策提供参考。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

江苏省地处东部沿海地区，南接浙江省和上海市、北接山东省、西接安徽省，是长江三角洲的重要省份之一，总面积为10.72万 km^2，2021年末总人口为8 505.4万人，GDP位列全国第二。截至2021年，江苏省下辖13个地级市，从地理纬度上分为苏南（南京、苏州、无锡、常州、镇江）、苏中（扬州、泰州、南通）和苏北（徐州、淮安、盐城、连云港、宿迁）3个部分。近年来江苏省以“强富美高”为目标，着力推动长三角一体化发展，加强区域协同发展。从经济水平来看，以南京、苏州为代表的苏南地区发展较为亮眼，而苏中和苏北地区的经济发展略显薄弱。因此，深入了解江苏省内部的城市空间格局变化和区域间的发展水平差异可为政府决策提供必要参考。

1.2　研究数据与预处理

本文采用的数据包括夜光遥感数据和行政区划矢量数据。夜光遥感数据来源于地球观测组织发布的年均NPP/VIIRS夜光遥感数据的VCM版本，完全去除了受杂散光影响的像元DN值，空间分辨率为500 m，经过云层掩膜，校正了大气影响。数据预处理时去除由于陆地反射月光造成的整体照亮效果。根据经验，设置反射月光的阈值为0.3 $nW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$，将像元夜光值都减去该阈值，再将为负的夜光值设置为0。行政区划数据来源于全国地理信息资源目录服务系统的1∶100万基础地理数据，利用GB/T 13989–2012《国家基本比例尺地形图分幅和编号》进行分幅。

2　研究方法

2.1　夜间灯光统计

夜间灯光是由人类生活和生产活动引起的，因此其变化趋势与地区的经济发展密切相关，可作为衡量经济状况的指标。夜光总量和增长率是常用的表现夜光时序变化的变量，计算公式为：

$$L = \sum x_i \tag{1}$$

$$r = \frac{L_{2021} - L_{2012}}{L_{2012}} \times 100\% \tag{2}$$

式中，L 为一幅影像的夜光总量；x_i 为影像上第 i 个像元的夜光值；r 为增长率；L_{2021}、L_{2012} 分别为2021年和2012年平均影像的夜光总量。

2.2　位序—规模法则

位序—规模法则是通过城市规模与其位序的关系探究一个城市体系的发展是趋于集中还是分散，计算公式为：

$$L_i = L_1 \times i^{-q} \tag{3}$$

将等式两边作对数变换，则有：

$$\lg L_i = \lg L_1 - q \lg i \tag{4}$$

式中，L_i 为位序为 i 的城市规模；i 为城市位序；$|q|$ 为捷夫指数。

$|q|$ 值是规模和位序关系的反映，以各城市的夜光总量表征规模。若 $|q|$ 值小于1，说明城市体系中各部分差距不大，位序第一的城市具有较小的吸附能力，各城市分散发展；若 $|q|$ 值大于1，说明位序排名靠前的城市与其他城市具有较大的规模差异，位序第一的城市吸附其他城市的能力较强，城市体系呈集中发展；若 $|q|$ 值等于1，则是位序—规模法则的理想状态，即位序第一的城市与位序排名最末的城市的规模比值是城市的总数量，是城市体系发展最均衡的时刻。$|q|$ 值随时间呈递减趋势时，城市体系趋于分散发展，中小城市发展更快；反之，城市体系趋于集中发展，大城市发展更快。

2.3　标准差椭圆分析

标准差椭圆可通过重心位置、方位角、长短半轴等参数表征数据的方向和分布。椭圆的重心代表地理数据空间分布的均值。椭圆的长半轴指向数据的分布方向；短半轴表示数据范围，短半轴越短，表明数据的向心性越大，反之则数据的离散性越大。椭圆的扁率代表数据的方向性，值越大，方向性越明显。椭圆的方位角代表数据主趋势的发展方向。本文利用ArcGIS平台的标准差椭圆工具进行分析，椭圆大小选择一阶标准差椭圆，约包含聚类中68%的要素。

3　研究结果与分析

3.1　夜间灯光统计结果

各地级市夜光总量及其增长率的变化趋势反映了江苏省夜间灯光的发展变化情况。2012—2021年13个地级市的夜光总量见图1，夜光增长率见图2，可以看出，各地级市的夜光总量均为正向增长，夜光总量增长超过一倍的城市有5个，均位于苏北（盐城、宿迁、连云港）和苏中地区（扬州、泰州）；苏州、无锡、常州3个苏南城市的夜光增长率均低于50%；苏州的夜光总量始终遥遥领先于其他地级市；

南京取代了无锡，夜光总量位列第二。从夜光总量的统计结果来看，以苏州为核心区的苏南城市保持着夜光总量的平稳增长，而苏北和苏中地区夜光增长率较高，侧面反映出苏南地区作为江苏省经济最发达地区，其发展已臻于成熟，增量空间较小；苏中和苏北城市发展虽然不如苏南地区，但整体经济水平的提升带动了产业发展，它们表现出更大的发展潜力。

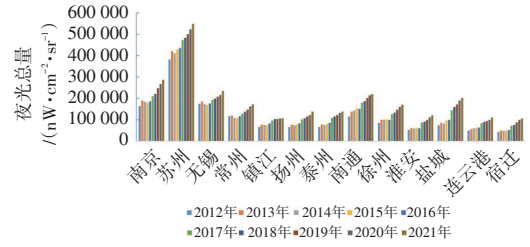


图1 2012—2021年江苏省地级市夜光总量变化统计

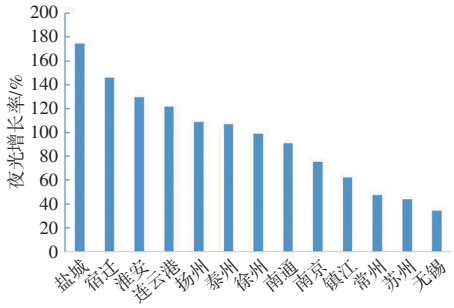


图2 2012—2021年江苏省地级市夜光增长率

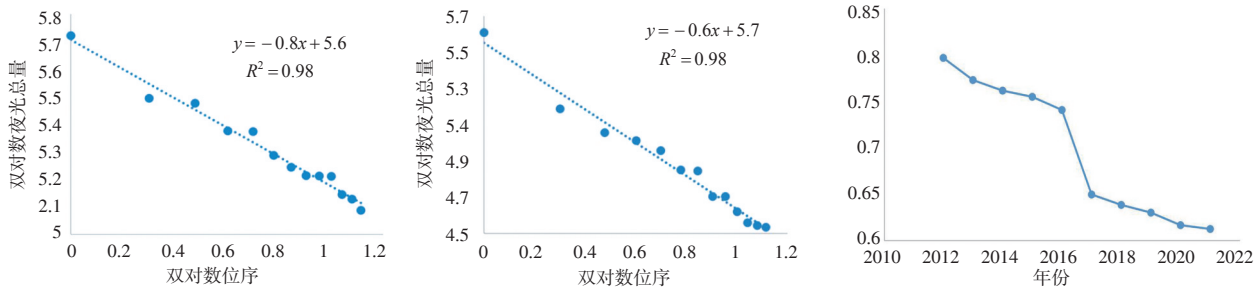
从江苏省3个区域的夜光总量占比来看，苏南地区占比由62%降至53%，苏中占比由17%升至19%，苏北地区占比由21%升至28%，表明苏南作为江苏省经济最发达地区，为江苏省贡献了超过一半的夜光总量，而苏中和苏北虽然在经济体量上仍与苏南存在较大差距，但经济发展速度快，地区间的发展差异正在缩小。

3.2 位序—规模法则结果

2012—2021年江苏省地级市基于夜光总量的位序—规模双对数结果见表1，研究期内 $|q|$ 值的时序变化见图3，R^2 均在0.97以上，P 值均小于0.01，通过显著性检验。总体看来，$|q|$ 值在0.61~0.8之间，且呈逐年下降趋势，说明各城市之间发展均衡，中小城市的发展速度快于大城市；核心地区的垄断地位不断减弱，其辐射带动作用不断增强，对周边城市的影响力不断扩散；城市体系内部的分散趋势大于集中趋势，江苏省总体呈分散型发展、结构均衡。

表1 2012—2021年江苏省城市位序—规模双对数回归结果

年份	$\lg P_1$	$\|q\|$	R^2	首位城市
2012	5.56	0.80	0.98	苏州
2013	5.60	0.77	0.98	苏州
2014	5.58	0.76	0.98	苏州
2015	5.59	0.75	0.96	苏州
2016	5.59	0.74	0.97	苏州
2017	5.62	0.65	0.97	苏州
2018	5.63	0.64	0.97	苏州
2019	5.66	0.63	0.98	苏州
2020	5.68	0.62	0.97	苏州
2021	5.70	0.61	0.98	苏州



a 2012年 b 2021年 c $|q|$ 值走向

图3 2012—2021年位序—规模回归与 $|q|$ 值变化

3.3 标准差椭圆分析结果

2012年、2021年夜光规模标准差椭圆的变化情况见表2，江苏省椭圆方向总体表现为北（略偏西）—南（略偏东）。从江苏省全域来看，标准差椭圆面积由50 033.20 km²增至53 793.42 km²，增长率为7.5%，表明夜光规模的离散程度进一步加大，城市体系间分散发展的趋势大于集中发展的趋势。椭圆重心位于苏中地区（扬州—泰州交界处），重心向西北偏移了13.41 km，反映了苏中和苏北地区经济增长的拉动作用，如西北部的徐州，其权重随着夜光规模增大而上升。方位角变化较小，由135.89°增至137.18°；长轴由191.94 km增至192.94 km，增长率为0.5%；短半轴由81.06 km增至86.22 km，增长率为6.4%；扁率由0.58减至0.55，表明短半轴方向（西南—东北方向）的扩张力量更强，夜光规模的方向性有分散趋势。从地级市尺度来看，除淮安（缩小率2.84%）和宿迁

（缩小率9.18%）的椭圆面积略有缩小外，其他地级市均有所增长，南京作为江苏省省会，10年间城市内部各区域发展更加均衡，椭圆面积增长率达24.65%，在13个地级市中位居首位。南京、苏州、常州、无锡、镇江这5个苏南城市的椭圆重心均往南部偏移，偏移距离最大的常州达到5.69 km，最小的苏州为0.35 km；而除连云港外的苏中和苏北城市，其椭圆重心均往北部偏移，偏移距离最大的宿迁达到6.67 km，最小的盐城则为3.1 km，表明苏南地区受苏州、上海的辐射影响，整体呈现往南的发展方向，苏北和苏中地区近年来着力发展北部薄弱地区，卓有成效，且根据江苏省全域的椭圆重心偏移情况，向北的力量强于向南的力量，江苏省内部的南北差距正在缩小，城市间的发展趋于平衡。

表2　江苏省及其地级市标准差椭圆参数变化

地区	年份	方位角/(°)	面积/km²	长半轴/km	短半轴/km	扁率	重心移动距/km	重心方向
江苏	2012	135.89	50 033.20	191.94	81.06	0.58	13.41	西北
	2021	137.18	53 793.42	192.94	86.22	0.55		
南京	2012	173.85	2 118.88	34.76	19.91	0.43	3.02	东南
	2021	168.07	2 641.28	40.72	19.65	0.52		
苏州	2012	21.85	4 143.77	45.32	29.67	0.35	0.35	西南
	2021	19.40	4 146.78	43.69	30.06	0.31		
无锡	2012	61.14	2 652.55	38.54	21.72	0.44	4.92	西南
	2021	60.76	2 890.26	42.58	21.90	0.49		
常州	2012	63.06	2 149.54	37.25	19.19	0.48	5.69	西南
	2021	62.98	2 359.76	37.72	20.11	0.47		
镇江	2012	82.33	1 551.99	29.40	16.80	0.43	1.95	东南
	2021	81.09	1 743.82	30.43	18.25	0.40		
扬州	2012	179.41	3 086.17	44.66	22.69	0.49	4.37	西北
	2021	3.13	3 368.17	48.02	22.81	0.52		
泰州	2012	159.56	2 837.00	46.62	19.55	0.58	5.48	西北
	2021	164.51	2 883.02	49.26	19.61	0.60		
南通	2012	115.95	3 900.21	51.42	23.92	0.53	3.43	东北
	2021	115.98	4 294.30	55.40	24.63	0.56		
徐州	2012	104.82	6 111.96	65.16	29.66	0.54	3.24	西
	2021	104.80	6 571.09	68.65	31.73	0.54		
淮安	2012	35.67	2 556.41	50.03	16.30	0.67	3.62	东北
	2021	32.00	2 483.69	47.53	17.27	0.64		
盐城	2012	149.26	5 968.00	69.36	25.97	0.63	3.10	东北
	2021	149.50	6 256.98	69.61	27.76	0.60		
连云港	2012	113.03	3 590.41	36.92	30.84	0.16	2.85	东南
	2021	107.90	3 706.53	37.34	31.41	0.16		
宿迁	2012	42.84	3 853.03	45.63	27.29	0.40	6.67	东北
	2021	50.18	3 499.42	41.89	27.10	0.35		

4　结　语

本文以江苏省为研究区，基于NPP/VIIRS年均夜光遥感影像，采用夜间灯光统计、位序—规模法则和标准差椭圆分析了城市空间格局变迁和区域发展差异。结果表明，2012—2021年江苏省整体夜光总量呈增长态势，增长率达75.4%，苏北和苏中地区的夜光增长率显著高于苏南地区，且两个地区的夜光占比均有所上升；$|q|$值小于1且逐年下降，江苏省整体呈分散型发展，发展重心往北部偏移，城市间的发展差距趋于平衡；苏南5市的发展重心向南偏移，苏中和苏北城市的发展重心则向北偏移，各城市内部分散发展趋势大于集中发展趋势，发展差异逐步缩小。然而，本文尚有不足之处：夜光影像500 m的空间分辨率可能对结果精度有一定影响，且在地级市尺度上进行研究，并未开展区县级尺度的研究，这些局限性将在今后的研究中进一步完善和精进。

（下转第37页）