

doi: 10.6046/zrzyyg.2020380

引用格式: 李家艺, 徐永明, 崔炜萍, 等. 基于珞珈一号夜光遥感数据的南京市夜间光污染监测[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(2): 289–295. (Li J Y, Xu Y M, Cui W P, et al. Monitoring of nighttime light pollution in Nanjing City based on Luojia 1–01 remote sensing data[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(2): 289–295.)

基于珞珈一号夜光遥感数据的南京市夜间光污染监测

李家艺, 徐永明, 崔炜萍, 吴雨阳, 王 晶, 苏博阳, 吉 蒙

(南京信息工程大学遥感与测绘工程学院, 南京 210044)

摘要: 为获取城市内部精细的光污染分布特征, 基于珞珈一号夜光遥感影像对南京市的夜间光污染进行监测。利用地表反射率与建筑覆盖度将珞珈一号的表观辐射亮度修正为地表入射亮度, 结合实地观测照度构建多种经验模型计算南京市夜间照度, 并基于计算得到的夜间照度分析南京市的夜间光污染分布状况。结果表明, 三阶多项式模型精度最高, 判定系数 R^2 为 0.87, 平均绝对误差为 4.71 lx。南京市夜间照度在 0~55 lx 之间, 空间分布差异性明显。总体而言, 照度高值区域主要集中在主城区, 由主城区向四周呈递减趋势; 其中鼓楼区与秦淮区光污染最严重, 超过 70% 的面积比例存在轻度以上光污染; 郊区的光污染程度较弱, 光污染最弱的三个区依次是高淳区、溧水区与六合区, 存在光污染的面积比例不足 4%。南京市部分区域表现出极高的照度 (30 lx 以上), 这些区域包括大型商场、大型工厂、交通枢纽、道路以及部分住宅区, 需要注意的是, 除了交通枢纽和大型工厂附近几乎无居民区外, 其他区域附近都存在较多的居民区。文章探索了基于珞珈一号遥感影像监测城市夜间光污染的方法, 为南京市的光污染整治工作提供了数据支撑, 也为其他地区的光污染监测提供了科学参考。

关键词: 珞珈一号卫星; 夜间光污染; 照度; 南京市

中图法分类号: TP 79; X 87 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097–034X(2022)02–0289–07

0 引言

电灯的出现给人们的生活带来了极大的便利, 提高了生产与生活的效率, 促进了社会经济发展^[1]。然而人造光源的普遍运用在给人们带来便捷的同时, 也带来了负面影响——夜间光污染。夜间光污染是指过于明亮的夜间环境对生态和人们的生活造成的不良影响。有研究指出, 夜间光污染会影响动植物的自然生活规律, 破坏生态系统平衡; 对于人类而言它会干扰生物钟, 破坏内分泌平衡, 导致生理和心理问题; 过量的夜间照明也消耗了不必要的电力, 造成能源的极大浪费^[2–12]。因此对城市夜间光污染进行管理和整治显得尤为重要^[13]。

对光污染进行有效的整治首先需要获取准确的光污染空间分布信息。目前监测光污染的主要手段是实地观测, 使用天空质量仪 (sky quality meter, SQM)、照度计等设备在某些特定地点开展观测, 通

过观测环境照度来表征城市的光污染程度^[14–19]。实地观测准确性很高, 但想获得足够的数据需要耗费极大的人力物力, 有限的样点观测数据又不足以充分反映大范围尺度的光污染空间分布信息。随着遥感技术的发展, 遥感以其大范围同步观测的优势逐渐成为监测光污染的有效手段, 以国防气象卫星计划的线性扫描系统 (defense meteorological satellite program/operational linescan system, DMSP/OLS) 和极轨卫星系统的可见光红外成像辐射计 (national polar-orbiting partnership/visible infrared imaging radiometer suite, NPP/VIIRS) 为代表的夜光遥感数据已经被用于光污染监测。Elvidge 等^[20]指出, NPP/VIIRS 数据能够区分出色温为 600~6 000 K 的大面积地面光源; Bennie 等^[21]利用 NPP/VIIRS 数据对欧洲的光污染变化规律进行了研究, 指出欧洲夜空在逐渐变亮, 而很多发达城市的夜空亮度却在逐年降低。然而, 由于 DMSP/OLS 与 NPP/VIIRS 空间分辨率较低 (分别为 5 km 和 750 m), 无法很好地反映

收稿日期: 2020–12–01; 修订日期: 2021–05–20

基金项目: 江苏省青蓝工程优秀青年骨干教师资助项目 (编号: R2019Q03)、教育部人文社会科学研究青年基金项目“基于夜光遥感和机器学习的连片特困区贫困空间识别研究” (编号: 17YJCZH205) 和江苏省环境监测科研基金项目“夜光遥感与社会经济关联分析及其在环境监测中的初步应用” (编号: 1903) 共同资助。

第一作者: 李家艺 (1998–), 男, 本科, 研究方向为环境遥感。Email: jiayi_li4015@qq.com。

通信作者: 徐永明 (1980–), 男, 博士, 教授, 研究方向为环境遥感。Email: xym30@263.net。

城市内部光环境的细节特征,更适合对大尺度的光污染进行监测。2018 年,我国发射了世界上第一颗专业夜光遥感卫星——“珞珈一号”卫星(LJ 1-01)。该卫星提供了 130 m 分辨率的夜光遥感影像,相较于 DMSP 和 VIIRS 大幅度提高了分辨率,为开展城市尺度的精细夜间光污染监测提供了可能。本研究以南京市为研究区,结合 LJ 1-01 数据与实测夜间照度数据构建多种经验模型计算南京市的夜间照度,并基于计算得到的夜间照度对南京市的夜间光污染分布状况进行分析,为南京市的光污染整治提供参考。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

南京是江苏省省会城市,全市下辖 11 个区,总面积 6 587.02 km²(图 1)。2017 年建成区面积 1 398.69 km²,常住人口为 833.5 万人,城镇化率为 82.29%,主城已完全城镇化。随着经济的发展,南京市的夜晚也越来越亮,为了美化城市,大量装饰灯、泛光照明和广告牌遍布城市各个角落。然而由于缺乏统一的夜间灯光规划管理,部分地区为了追求绚丽豪华的效果而整夜灯火通明,而没有考虑过亮的夜间环境对周边居民身心健康的不良影响,因此对南京市的夜间光污染进行监测和整治很有必要。

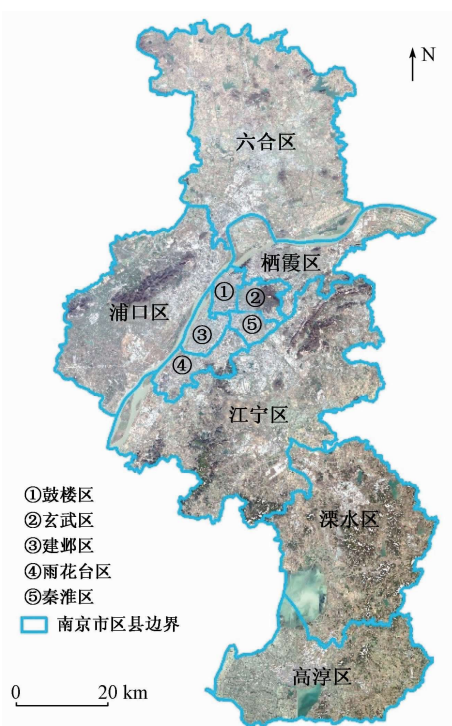


图 1 南京市行政区划图

(底图为高分一号 WFV B3(R), B2(G), B1(B) 合成影像)

Fig. 1 Administrative divisions of Nanjing City

1.2 遥感数据源及其预处理

本研究采用 2018 年 11 月 23 日 22:30 成像

的 LJ 1-01 夜光遥感影像(图 2),数据来源为高分湖北中心(<http://www.hbeos.org.cn>)。LJ 1-01 遥感影像空间分辨率达到 130 m,成像波段范围为 480~800 nm,幅宽达到 260 km^[22-23]。

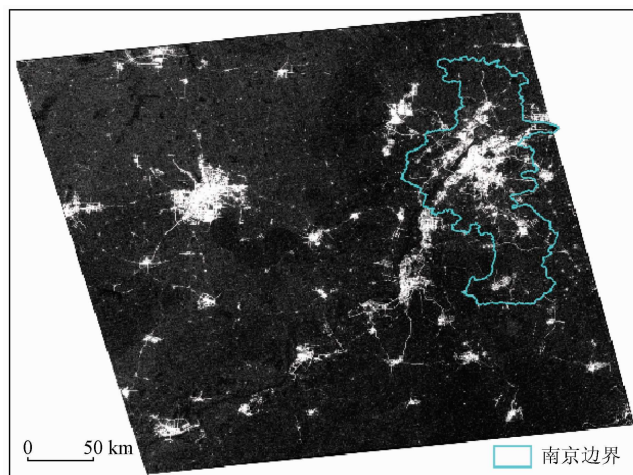


图 2 2018 年 11 月 23 日 LJ 1-01 夜光遥感影像

Fig. 2 LJ 1-01 image acquired on 23 November 2018

基于官网提供的辐射定标方程对 LJ 1-01 遥感影像进行辐射定标,将灰度值转化为辐射亮度值,公式为:

$$L = DN^{3/2} \cdot 10^{-10}, \quad (1)$$

式中: L 为辐射亮度值, $W/(m^2 \cdot Sr \cdot \mu m)$; DN 为图像灰度值。

LJ 1-01 遥感影像存在约 700~800 m 的定位偏差,选取具有准确地理定位的 Landsat8 OLI 图像为基准图像对其进行几何纠正。基于控制点均匀分布、同一控制点所在区域基本没有变化的原则,选择地物特征较为明显的道路交叉口和轮廓清晰的建筑物作为地面控制点。基于选择的 49 个控制点,利用二阶多项式模型建立坐标转换方程,使用双线性插值法进行重采样,总体配准误差为 0.58 个像元。

本研究采用高分一号(GF-1)数据提取地表反射率,基于天地图获取的 1:25 万建筑轮廓矢量数据(<https://www.tianditu.gov.cn/>)提取建筑覆盖度,利用地表反射率与建筑覆盖度将 LJ 1-01 获取的表观辐射亮度修正为地表入射亮度。GF-1 数据的成像日期为 2018 年 12 月 18 日,数据来源为中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com/CN/>)。其搭载的 WFV 传感器包含蓝光、绿光、红光和近红外 4 个波段,空间分辨率达到 16 m。基于官网提供的定标公式与各波段定标参数对 GF-1 WFV 数据进行辐射定标,利用 Flaash 模型进行大气校正得到各波段反射率。GF-1 WFV 数据同样存在地理定位偏差,选取具有准确地理定位的 Landsat8 OLI 图像为基准图像对其进行几何纠正。基于选择的 60

个控制点,利用二阶多项式模型建立坐标转换方程,使用双线性插值法进行重采样,总体配准误差为0.39像元。

1.3 实测数据

本研究于2018年12月以及2019年1月晴朗无云的夜晚在南京市选择典型区域进行光照强度的测量,观测时间为20:30—23:00。选用GM1040型照度计,其测量量程为0~200 000 lx,可以接收观测方向180°立体角内的光线。根据之前的研究^[24],光具有很强的方向性,单一方向的观测值之间具有明显差异,不能很好地表征地表光环境,而取水平正交的4个方向观测值的平均值则能在很大的程度上减小误差。因此本研究在每一个观测点将照度计悬置于离地面1.8 m处,在前、后、左、右4个正交方向记录照度,并记录观测点经纬度数据,取4个方向的照度平均值作为这个点的照度。考虑到珞珈一号影像分辨率为130 m,单个样点数据不足以很好地表征整个像元的照度信息,将130 m×130 m范围内的4个点的照度值取平均作为该像元的平均照度值。

在实地观测过程中发现户外广告屏幕画面变化以及路上汽车远光灯等会对照度观测值产生影响,导致实测照度值与卫星影像对应像元值产生较大误差,对观测结果进行人工筛查,去除误差大的样点,最终保留44个样点。

2 研究方法

2.1 表观辐射亮度修正为地表入射亮度

LJ 1-01 传感器接收的辐射信号是由城市夜间灯光照射到地面后被反射的亮度,而影响夜间光环境的主要因素是地面入射亮度并非是反射亮度。由于地面反射率的差异,入射亮度与反射亮度之间同样存在差异;此外,每个像元内的光信号主要来自

地面,建筑物顶部几乎没有灯光,需要剔除建筑物顶部的信号,因此基于地表反射率与建筑覆盖度将传感器的表观辐射亮度修正为地表入射亮度,通过地表入射亮度计算夜间照度。

LJ 1-01 的成像波段范围与 GF-1 WFV 的4个波段成像范围大致一致。因此取 GF-1 WFV 的4个波段反射率均值作为地表反射率,公式为:

$$Ref = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{4}, \quad (2)$$

式中: Ref 为 LJ 1-01 成像波段对应的地表反射率; R_1 , R_2 , R_3 与 R_4 分别为 GF-1 WFV 的4个波段反射率。

基于天地图提取的矢量建筑物轮廓数据,分别计算每个像元对应的130 m×130 m范围内的建筑物覆盖面积,得到每个像元的建筑覆盖度。

传感器的表观辐射亮度可以用地表入射亮度乘以地表反射率来表示,考虑到建筑物顶部几乎没有灯光,因此再乘以每个像元对应的非建筑物覆盖比例,去除建筑物顶部信号,公式为:

$$L_0 = L_{\downarrow} \cdot Ref \cdot (1 - Fb), \quad (3)$$

式中: L_0 为 LJ 1-01 表观辐射亮度, $10^{-6} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$; $L_{\downarrow}$ 为地表入射亮度, $10^{-6} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$; Fb 为建筑覆盖度。

对上式进行逆运算,得到地表入射亮度,公式为:

$$L_{\downarrow} = \frac{L_0}{(1 - Fb) \cdot Ref}. \quad (4)$$

图3给出了实测夜间照度(Ev)分别与 LJ 1-01 表观辐射亮度和修正后地表入射亮度之间的散点图。从图中可以看出,实测照度与地表入射亮度相关系数达到0.91,高于实测照度和辐射亮度的相关系数(0.89),表明修正后的地表入射亮度与地面实测照度相关性更好,更适合用于计算夜间照度。

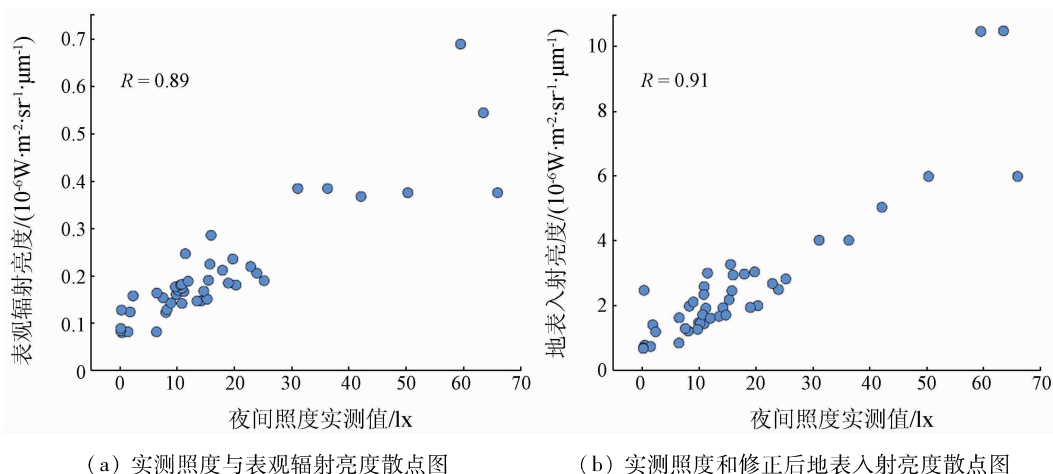


图3 实测照度与表观辐射亮度和修正后地表入射亮度散点图

Fig.3 Scatter plot of Radiance and surface incident luminance with observed illuminance

2.2 统计模型形式

以修正后的地表入射亮度 $L_{\downarrow}$ 为自变量, 实测地面照度 Ev 为因变量建立统计模型。统计模型选择了一元线性回归模型、二阶多项式回归模型、三阶多项式回归模型、指数回归模型与对数回归模型(表 1)。

表 1 统计模型形式
Tab.1 Equations of empirical models

回归模型	回归方程
一元线性回归模型	$Ev = aL_{\downarrow} + b$
二阶多项式回归模型	$Ev = a_1 L_{\downarrow}^2 + a_2 L_{\downarrow} + b$
三阶多项式回归模型	$Ev = a_1 L_{\downarrow}^3 + a_2 L_{\downarrow}^2 + a_3 L_{\downarrow} + b$
指数回归模型	$Ev = e^{(aL_{\downarrow} + b)}$
对数回归模型	$Ev = a \ln(L_{\downarrow}) + b$

2.3 模型精度检验

本研究采用留一交叉验证的方法对模型精度进行验证。其基本思想是每次从 N 个样本集中取出一个样本作为验证集, 剩下的 $N-1$ 个样本作为训练集, 重复进行 N 次, 依次取遍所有数据作为验证集, 最后将所有数据的平均误差作为最终误差的估计。以判定系数 R^2 与平均绝对误差 (mean absolute error, MAE) 来作为评价模型精度的指标, 计算公式分别为:

$$MAE = \frac{1}{m} \sum |y_i - \hat{y}_i|, \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}, \quad (6)$$

式中: y_i 为样本值; $\hat{y}_i$ 为相对应的模型预测值; $\bar{y}$ 为样本平均值; m 为样本总数。

3 结果与分析

3.1 模型表现

从 5 种模型的遥感估算值和实地观测值之间的散点图(图 4)可以看出, 5 种模型的判定系数 R^2 在 0.42~0.87 之间, MAE 在 4.71~23.18 lx 之间。其中, 三阶多项式模型 R^2 最高, 达到 0.87, MAE 为所有模型最小, 为 4.71 lx。因此采用三阶多项式模型反演南京市夜间照度, 其公式为:

$$Ev = -0.22L_{\downarrow}^3 + 2.96L_{\downarrow}^2 - 1.15L_{\downarrow} + 3.56, \quad (7)$$

式中: Ev 为实测地面照度, lx; $L_{\downarrow}$ 为修正后地表入射亮度, $10^{-6} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ 。

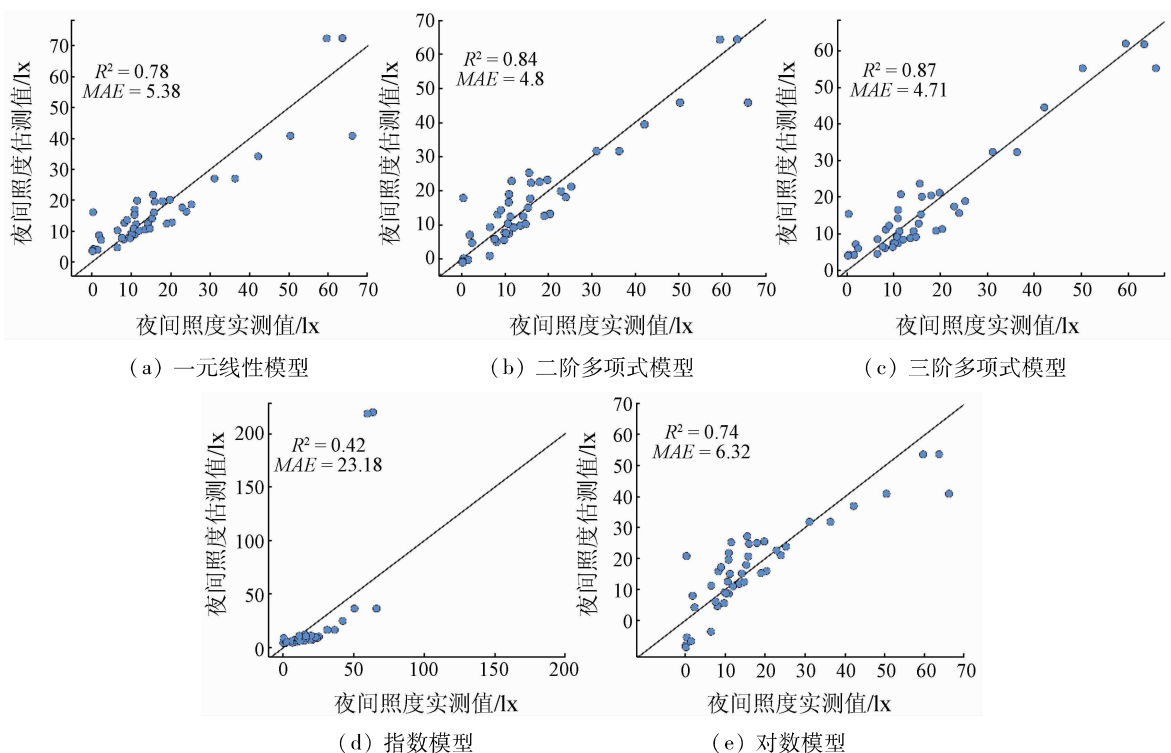


图 4 不同模型估算值和实地观测值之间散点图

Fig.4 Scatter plots between observed and estimated horizontal Ev from five empirical models

3.2 光污染分析

基于三阶多项式模型得到南京市夜间照度空间分布图(图 5)。从图中可以看出, 南京市夜间照度总体分布在 0~55 lx 之间, 空间分布差异性明显。

夜间照度高值区主要分布在南京市主城区, 包括玄武区、秦淮区、鼓楼区、建邺区、雨花台等老城区, 并向东延伸至栖霞的仙林地区, 向南延伸至江宁的九龙湖地区; 长江以北的浦口到六合一带形成了低次

于主城区的次级夜间照度高值区域；除了中心城区外,各区的主城区的照度明显高于周边地区,形成多个零散的高照度区域。

从图中可以发现南京市部分区域表现出极高的照度,结合 Google Earth 发现这些区域包括大型商场、大型工厂、交通枢纽、道路以及部分住宅区,比如

新街口,南京钢铁厂、禄口国际机场、江北大道以及仙林湖住宅区等地的照度都达到了 25 lx 以上。需要注意的是,交通枢纽和大型工厂附近几乎无居民区,过高的夜间亮度影响不大;但其他区域都有较多的居民区,如新街口等大型商业区、老门东等旅游区以及仙林湖等新兴居民区附近都有较多的住宅分布。

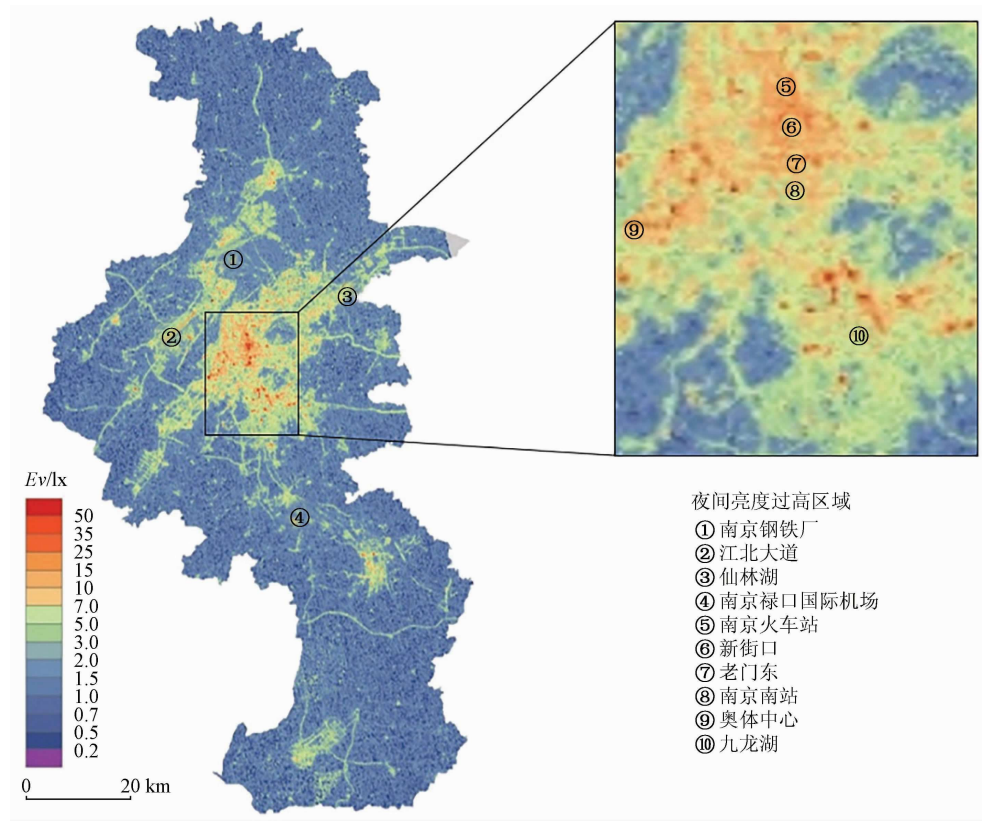


图 5 南京夜间照度空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of the nighttime horizontal illuminance over Nanjing City

参考国际照明委员会 (International Commission on illumination, CIE) 在《建筑立面光侵害限制值控制表》中提出的标准^[25],将南京市夜间光污染程度分为 5 个等级(表 2)。

表 2 不同等级光污染分级标准

Tab. 2 Classification standards for light pollution of different grades

等级	光污染程度	照度值/lx
0 级	无光污染	< 2.00
1 级	轻度光污染	[2.00 ,5.00)
2 级	中度光污染	[5.00 ,10.00)
3 级	重度光污染	[10.00 ,25.00]
4 级	严重光污染	>25.00

对南京市各个区光污染程度面积占比进行统计 (图 6)。结果表明,南京市主城区的光污染程度较高,包括玄武区、秦淮区、鼓楼区、建邺区以及雨花台区,中度以上光污染面积占比超过 15%;其中鼓楼区和秦淮区的光污染最严重,超过 70% 的面积占比存在光污染,光污染程度远高于其他各区。这些区主要分布在南京市中心位置,道路交通布局紧密,经

济发展水平较高,大型商业区也都汇集于此,大量的商业照明和景观照明造成夜间照度较高。

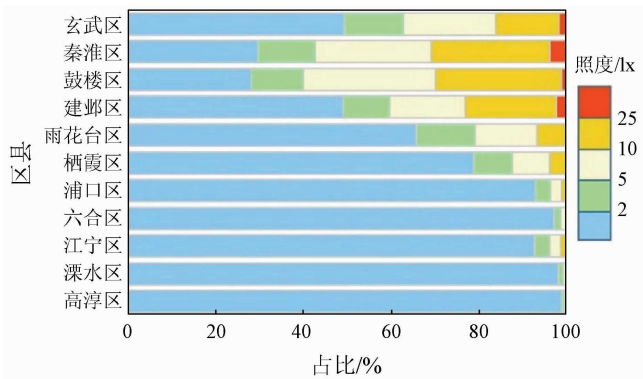


图 6 各区不同等级夜间光污染面积占比

Fig. 6 Area proportion of each light pollution level in 11 districts of Nanjing City

与主城区相比,南京市郊区的光污染程度相对较弱,栖霞区、浦口区、江宁区、六合区、溧水区以及高淳区的无光污染面积占比达到 80%;其中高淳区、溧水区与六合区光污染程度最低,97% 以上的面积比例无光污染。这几个区的占地面积相对较大,

人口密度低,在职能上以发展生态服务型经济为主;城市建筑面积占有率相对较低,更多的是用于自然植被景观建设,生态环境较好;同时各区远离市中心,交通布局相对发散,大型商业区较少,夜间照度也相对较低。

4 结论

基于 LJ 1-01 遥感数据计算南京市夜间照度,并通过夜间照度分析南京市的夜间光污染分布状况,得到以下结论:

1) 相较于直接利用卫星辐射亮度反演夜间照度,修正后的地表入射亮度与实测照度相关系数更高,达到 0.91,表明基于地表入射亮度可以获取更准确的夜间照度。

2) 交叉验证结果表明,三阶多项式模型精度最高, R^2 为 0.87,MAE 为 4.71 lx,精度较为理想。

3) 南京市的夜间照度在 0~55 lx 之间,空间分布差异性明显。整体上,主城区的夜间照度高于郊区,由主城区向四周呈递减趋势。除主城区之外,各辖区的城区也形成了多个零散的高值区。在城市内部,部分区域表现出极高的照度(30 lx 以上),这些区域包括大型商场、大型工厂、交通枢纽、道路以及部分住宅区。大型工厂以及交通枢纽附近几乎无居民区,影响相对较小,但其他区域附近都存在居民区,需要进行合理整治。

4) 玄武区、秦淮区、鼓楼区、建邺区以及雨花台区等中心主城区光污染程度较高,以秦淮区和鼓楼区的光污染程度最高,光污染区域面积占比分别达到 77% 和 78%。郊区的光污染程度较轻,光污染面积比例普遍低于 12%,其中高淳区、溧水区与六合区低于 4% 的面积比例存在光污染,相较于其他各区光污染程度最轻。

利用遥感数据与实测数据相结合的方式可以获取详细的城市夜间光污染分布信息,但是本研究还存在一些不足,比如所采用的照度计灵敏度不够,无法准确测量暗区域的照度值,虽然引起我们关注的是高亮度区域。此外,由于多种因素限制,无法测得更多的数据来获取更准确的模型。利用夜光遥感数据来进行城市尺度的夜间光污染研究仍处于探索阶段,有待未来进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] Stevens R G, Blask E D, Brainard C G, et al. The role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases[J]. *Environmental Health Perspect*, 2007, 115 (9): 1357 - 1362.
- [2] Jason J, Chalmers M Francis. The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouse[J]. *Journal of Avian Biology*, 2003, 34 (4): 328 - 333.
- [3] Stevens R G. Light - at - night, circadian disruption and breast cancer: Assessment of existing evidence[J]. *International Journal of Epidemiology*, 2009, 38 (4): 963 - 970.
- [4] Yurk H, Tirtos A W. Experimental attempts to reduce predation by halibut seals on out - migrating juvenile salmonids[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2000, 129 (6): 1360 - 1366.
- [5] Callaway T, Olsen R N, Mitchell D M. The economics of global light pollution[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69 (3): 685 - 665.
- [6] Kohyama J. A newly proposed disease condition produced by light exposure during night: Asynchrony - tion[J]. *Brain & Development*, 2009, 31 (4): 255 - 273.
- [7] Pulgar José, Zeballos Danae, Vargas Juan, et al. Endogenous cycles, activity patterns and energy expenditure of an intertidal fish is modified by artificial light pollution at night (ALAN)[J]. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 2019, 244: 197 - 201.
- [8] Navara K J, Nelson R J. The dark side of light at night: Physiological, epidemiological, and ecological consequences[J]. *Journal of Pineal Research*, 2007, 43 (3): 215 - 224.
- [9] Lyytimäki J, Rinne J. Voices for the darkness: Online survey on public perceptions on light pollution as an environmental problem[J]. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2013, 10 (2): 127 - 139.
- [10] Bedrosian T A, Nelson R J. Influence of the modern light environment on mood[J]. *Molecular Psychiatry*, 2013, 18 (7): 751 - 757.
- [11] Kooijman S, van den Berg R, Ramkisoensing A, et al. Prolonged daily light exposure increases body fat mass through attenuation of brown adipose tissue activity[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112 (21): 6748 - 6753.
- [12] 张悦, 徐永明, 熊文成, 等. 夜间光污染的遥感监测及防治措施浅析[J]. *环境监测与预警*, 2019, 11 (5): 108 - 112.
Zhang Y, Xu Y M, Xiong W C, et al. Remote sensing monitoring and prevention measures of night light pollution[J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2019, 11 (5): 108 - 112.
- [13] 代学民, 张克明, 卢颖. 张家口市夜间照明光污染现状分析及对策研究[J]. *河北建筑工程学院学报*, 2018 (2): 88 - 93.
Dai X M, Zhang K M, Lu Y. Analysis on the current situation and countermeasures of light pollution in the urban area of Zhangjiakou[J]. *Journal of Hebei Institute of Architecture and Civil Engineering*, 2018 (2): 88 - 93.
- [14] Kyba C C M, Ruhtz T, Fischer J, et al. Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems[J]. *PloS One*, 2011, 6 (3): e17307.
- [15] Pun C S J, So C W, Leung W Y, et al. Contributions of artificial lighting sources on light pollution in Hong Kong measured through a night sky brightness monitoring network[J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2014, 139: 90 - 108.
- [16] Dobler G, Ghandehari M, Koonin S E, et al. Dynamics of the urban lightscape[J]. *Information Systems*, 2015, 54: 115 - 126.
- [17] Katz Y, Levin N. Quantifying urban light pollution: A comparison between field measurements and EROS - B imagery[J]. *Remote*

- Sensing of Environment, 2016, 177: 65–77.
- [18] Koll  th Z. Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2010, 218(1): 012001.
- [19] 苏晓明, 郝占国, 张明宇. 呼和浩特城市夜空光污染特征研究[J]. 照明工程学报, 2015, 26(4): 124–128.
- Su X, Hao Z, Zhang M. Study on the characteristics of light pollution in the night sky of Hohhot City[J]. Journal of Lighting Engineering, 2015, 26(4): 124–128.
- [20] Elvidge C D, Baugh K E, Zhizhin M, et al. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights[J]. Proceedings of the Asia–Pacific Advanced Network, 2013, 35: 62.
- [21] Bennie J, Davies T W, Duffy J P, et al. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights[J]. Scientific Reports, 2014, 4: 3789.
- [22] 郭 晗. 珞珈一号科学试验卫星[J]. 卫星应用, 2018(7): 70.
- Guo H. LuoJia-1 scientific experiment satellite[J]. Satellite Application, 2018(7): 70.
- [23] 王 磊, 陈锐志, 李德仁, 等. 珞珈一号低轨卫星导航增强系统信号质量评估[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(12): 2191–2196.
- Wang L, Chen R Z, Li D R, et al. Signal quality assessment of LuoJia-1 LEO satellite navigation enhancement system[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(12): 2191–2196.
- [24] Li J, Xu Y, Cui W, et al. Investigation of nighttime light pollution in Nanjing, China by mapping illuminance from field observations and LuoJia 1-01 imagery[J]. Sustainability, 2020, 12(2): 681.
- [25] Commission Internationale de L  clairage. Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations: Technical Report; CIE 150[R]. 2003.

Monitoring of nighttime light pollution in Nanjing City based on LuoJia 1-01 remote sensing data

LI Jiayi, XU Yongming, CUI Weiping, WU Yuyang, WANG Jing, SU Boyang, JI Meng

(School of Remote Sensing and Geomatics Engineering, Nanjing University of Information
Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: To obtain the distribution of nighttime light pollution on a city scale, this study monitors the nighttime light pollution in Nanjing City based on LuoJia 1-01 nighttime light remote sensing images. The apparent radiance of the remote sensing images was converted into the surface incident luminance according to surface reflectance and building coverage ratio. Based on this and the illuminance values observed in the field, various empirical models were established to calculate the nighttime illuminance of Nanjing City. Finally, the distribution of nighttime light pollution in Nanjing City was analyzed according to the calculated nighttime illuminance. The results show that the third-order polynomial regression model had the highest accuracy, with a determination coefficient of 0.87 and a mean absolute error (MAE) of 4.71 lx. The nighttime illuminance in Nanjing City varied in the range of 0~55 lx, with obvious spatial distribution differences. In general, the areas with high illuminance were mainly concentrated in the main urban area and the illuminance showed a decreasing trend from the main urban area to the surrounding area. Light pollution was the most serious in Gulou and Qinhuai districts, where light pollution covered more than 70% in terms of area. The light pollution in the suburb was relatively weak, and the three districts with the weakest light pollution included Gaochun, Lishui, and Liuhe districts successively, where light pollution covered less than 4% in terms of area. Some areas in Nanjing City showed extremely high illuminance (> 30 lx), including large shopping malls, large factories, traffic hubs, roads, and some residential areas. It should be noted that there are many residential areas near these places except for traffic hubs and large factories. This study explored a method of monitoring urban light pollution at night based on LuoJia 1-01 remote sensing data. It will provide data support for the light pollution control and management in Nanjing City and a scientific reference for the light pollution monitoring in other areas.

Keywords: LuoJia 1-01 data; nighttime light pollution; illuminance; Nanjing City

(责任编辑: 张 仙)