



引文格式:李熙,曹汉瑞,巩钰.利用高分辨率夜光影像开展土叙地震灾害评估[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,48(10):1697-1705.DOI:10.13203/j.whugis20230093

Citation: LI Xi, CAO Hanrui, GONG Yu. Turkey-Syria Earthquake Assessment Using High-Resolution Night-time Light Images[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2023, 48(10): 1697-1705. DOI: 10.13203/j.whugis20230093

利用高分辨率夜光影像开展土叙地震灾害评估

李熙¹ 曹汉瑞¹ 巩钰¹

¹ 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉, 430079

摘要: 2023-02-06, 土耳其南部相继发生 Mw 7.8 和 Mw 7.5 地震, 土耳其和叙利亚两国遭受了重大人员伤亡和财产损失, 快速评估灾区受灾情况对地震应急救援和灾后重建具有重要意义。利用震前的可持续发展科学卫星1号夜光影像和震后的仰望一号夜光影像, 采用多元幂函数回归模型对两类影像进行了相对辐射定标, 使用定标后的影像对土耳其阿迪亚曼市和安塔基亚市-德芙内市进行了灾害评估。结果显示, 所提的相对辐射定标模型能有效提升异源夜光影像之间的可比性; 3座严重受灾城市在地震后出现大范围停电, 建成区内超过50%的区域灯光损失率高于80%, 建成区整体灯光损失率超过70%。结果表明, 异源高分辨率夜光影像能有效评估自然灾害对城市的影响, 评估结果可为当地政府部门应急决策及灾后重建提供帮助。

关键词: 土叙地震; 夜光遥感; 可持续发展科学卫星1号; 仰望一号; 灾害评估

中图分类号: P237

文献标识码: A

收稿日期: 2023-03-19

DOI: 10.13203/j.whugis20230093

文章编号: 1671-8860(2023)10-1697-09

Turkey-Syria Earthquake Assessment Using High-Resolution Night-time Light Images

LI Xi¹ CAO Hanrui¹ GONG Yu¹

¹ State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Objectives: The Turkey-Syria earthquake occurred on February 6th, 2023, and caused heavy casualties and property losses. This paper used high-resolution night-time light images to assess the damage of the affected cities. **Methods:** A multivariate power function regression model was used for intercalibration between sustainable development goals satellite-1 (SDGSAT-1) and Yangwang-1 night-time light images. And the disaster assessment was carried out in the cities of Adiyaman and Antakya-Defne in Turkey. **Results:** The results show that the power facilities of Adiyaman and Antakya-Defne were severely damaged in the earthquake. The light loss rate of more than half of the building area exceeded 80%, and the overall light loss rate of the building area exceeded 70%. Additionally, the light loss rate in the east of Adiyaman was higher than that in the west, and the light loss rate in the downtown area of Antakya-Defne was higher than that in the suburbs. **Conclusions:** The high-resolution night-time light images can effectively assess the impact caused by natural disasters, and the assessment results can also help local government departments guide emergency relief and reconstruction work after the earthquake.

Key words: Turkey-Syria earthquake; night-time light remote sensing; SDGSAT-1; Yangwang-1; disaster assessment

土耳其当地时间2023年2月6日凌晨4时17分, 南部加济安泰普省发生 Mw 7.8 地震; 当地时间下午1时24分, 邻近的卡赫拉曼马拉什

省发生 Mw 7.5 地震, 前后伴随多次余震, 土耳其境内多个省份以及叙利亚北部均受到此次地震的影响。根据土耳其灾害应急管理有关部门

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFE0126800); 国家自然科学基金(42271371)。

第一作者: 李熙, 博士, 教授, 主要研究方向为遥感图像处理与应用。lixixi@whu.edu.cn

和世界银行的数据,此次地震包括土耳其和叙利亚在内共造成至少 53 565 人死亡、129 794 人受伤,超过 340 亿美元的直接财产损失,190 万人因房屋受损而暂时无家可归,是至少一个世纪以来该区域经历的最强地震之一^[1-2]。

土叙地震发生后,欧盟委员会的应急响应协调中心、联合国卫星中心、美国宇航局喷气推进实验室和南加州理工学院的高级快速成像和分析团队等众多国际组织和团队立即启动卫星遥感技术,开展受灾情况分析,通过高分辨率可见光遥感技术和合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)成像技术评估土叙地震灾区基础设施受损情况,制作并发布了一系列遥感数据集,为土耳其和叙利亚震后救援工作提供了数据支持。虽然高分辨率可见光遥感和 SAR 成像技术能够反映灾后地表受损情况,如滑坡、泥石流、房屋倒塌、道路损毁等^[3-4],但难以反映灾区的社会经济情况,如城市的电力供应。

20 世纪 70 年代,科学家发现美国军事气象卫星计划(defense meteorological satellite program, DMSP)的线性扫描业务系统(operational line-scan system, OLS)可以记录无云情况下城镇夜间的灯光,夜光遥感由此而生。2011 年美国发射的 Suomi 国家极地轨道伙伴关系卫星(national polar-orbiting partnership, NPP)搭载了可见光红外成像辐射仪(visible infrared imaging radiometer suite, VIIRS),其昼/夜波段能以更高的分辨率和动态范围获取夜光影像,提升了夜光遥感数据质量。相比于普通的遥感卫星影像,夜光遥感影像能更多地反映人类活动^[5],目前已被广泛应用于社会经济参数估算^[6]、城市化监测等诸多社会经济研究中^[7-9]。若一个地区爆发了战争冲突或社会经济系统发生重大变化时,电力设施受损、难民流动等因素会导致该区域的夜间灯光(night-time light, NTL)急剧减弱^[10-11],因此可以用夜光遥感来评估战争带来的损失,如武汉大学团队将 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 结合,分析了叙利亚内战期间城市灯光动态变化,发现内战导致该国主要居住区损失了约 79% 的灯光^[12]。除此之外,地震、台风等重大自然灾害会在较短时间内造成较大的社会冲击,受灾区域会在灾后一段时间内出现大范围停电现象,故可以利用夜光遥感监测重大自然灾害造成的损失。如使用 DMSP/OLS 夜光影像评估 2001 年西印度地震^[13]、2008 年汶

川大地震^[14]、2010 年海地大地震^[15]以及使用 NPP/VIIRS 夜光影像评估 2012 年美国极端天气^[16]、2017 年波多黎各飓风^[17]等自然灾害的损失情况。

受限于 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 夜光影像的空间分辨率(分别约为 1 000 m 和 500 m),通常将其应用于地区尺度的灾害评估,难以对城市内部受灾情况进行更精细的评估。为了开展基于夜光遥感的土叙地震灾害评估,分析城市内部受灾情况,本文使用了具有更高分辨率的可持续发展科学卫星 1 号(sustainable development goals satellite-1, SDGSAT-1)和仰望一号(Yangwang-1)夜光影像(约为 40 m),首先构建多元回归模型对两类夜光影像进行相对辐射定标,使两类影像的像素值具有可比性;然后通过对比地震前后两期夜光影像,对土耳其阿德亚曼市和安塔基亚市-德芙内市进行灾害评估。

1 研究区与数据

1.1 研究区域

阿德亚曼市和安塔基亚市-德芙内市是此次地震的重灾区,受强震影响,市内许多房屋被毁,大量民众无家可归,交通系统整体瘫痪。其中阿德亚曼市位于土耳其东南部,是阿德亚曼省省会,拥有数十万人口,地震使该市千余栋建筑倒塌;安塔基亚市是土耳其南部哈塔伊省省会,靠近叙利亚边境,拥有超过 20 万人口,是土耳其重要的农业区中心,据统计,当地约有 80% 的建筑物在此次地震中损毁^[2,18];德芙内市在安塔基亚市南部,城区和安塔基亚市城区相连,因此本文将安塔基亚市和德芙内市作为一个整体进行分析。考虑到叙利亚境内主要城市在震后夜间灯光变化较小^[19],且 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像重叠区域有限,本文仅选取土耳其境内城市进行评估^[20]。

1.2 夜光遥感数据

中国科学院研制的 SDGSAT-1 旨在对全球可持续发展目标提供相关指标监测与评估^[21],目前已经在道路提取^[22]、船舶检测^[23]、城市照明^[24]等领域展开应用。SDGSAT-1 搭载了热红外、微光和多谱段成像仪,通过 3 个载荷全天时协同观测,其中微光成像仪具备夜间成像能力。在本文中,震前影像使用了 SDGSAT-1 微光成像仪红、绿、蓝 3 个波段获取的夜光影像,成像时间为 2022-08-22,数据来源于可持续发展大数据国际

研究中心(<http://www.sdgsat.ac.cn/>)。本文使用的 SDGSAT-1 夜光影像包括左片(A片)和右片(B片),影像覆盖范围如图 1 所示。

Yangwang-1 可见光太空望远镜是中国首个可见光太空望远镜,可进行小行星观测、太空碎片观测、移动目标监测,同时具有夜间对地遥感监测能力,可以获取较高空间分辨率的夜光影像,为城市测绘、路网提取、灾害监测等提供数据支持^[25]。在本文中,震后影像使用了成像于 2023-02-09 和 2023-02-11 的 Yangwang-1 夜光影像,数据由起源太空科技有限公司提供,影像覆盖范围如图 1 所示。SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像的像素均用数字值(digital number, DN)表示,两类影像参数见表 1。

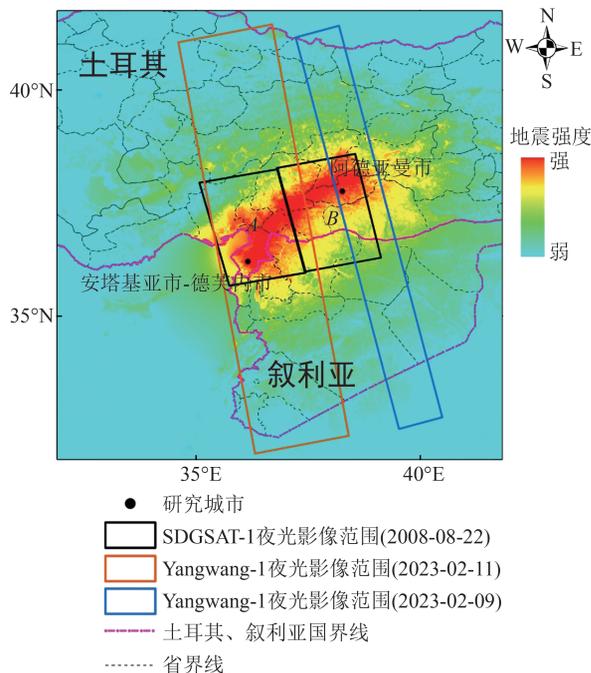


图 1 夜光影像范围

Fig. 1 Range of Night-time Light Images

本文使用了第二版的全球 30 m 分辨率的时间序列不透水面精确测绘产品(irsip.whu.edu.cn/resources/resources_en_v2.php)。不透水表面一般指人工结构,如停车场、道路、屋顶、开放空间等,可用于提取城市范围^[26],该产品提供了 1972—2019 年全球范围 30 m 分辨率的不透水面数据,在后续分析中被用于提取阿达曼市和安塔基亚市-德芙内市建成区范围。

本文中行政区划数据来源于全球行政区划数据库(<https://gadm.org/>),图 1 中地震强度分布图来源于美国地质调查局。

表 1 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像参数

Tab. 1 Parameters of SDGSAT-1 and Yangwang-1 Night-time Light Images

参数	SDGSAT-1	Yangwang-1
光谱范围/nm	全色:444~910	全色:420~700
	蓝:424~526	
	绿:506~612	
	红:600~894	
量化位数/bits	≥12	12
空间分辨率/m	全色:10	38
	红绿蓝:40	
幅宽/km	300	78
过境时间(当地时间)	~21:30	~22:50
单位	中国科学院	起源太空科技有限公司
发射日期	2021-11-05	2021-06-11

2 灾害评估方法

2.1 影像预处理

本文对 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 两类异源夜光影像进行预处理,主要步骤如下:

1)几何配准。由于两类夜光影像之间存在几何偏差,需要首先对其进行几何配准。在两类影像的重叠区域人工选取 15 对控制点,使控制点主要分布在城市的交叉路口且均匀分布,采用二次多项式模型进行校正,并使几何配准的均方根误差小于 40 m。

2)背景值剔除。受到影像噪声、地表反射月光等影响,两类夜光影像中无灯光区域的 DN 值(背景值)不为 0,可能为后续分析带来了误差,因此需要剔除两类影像中的背景值。结合 Google Earth 影像,在夜光影像范围内选取山地、水体、森林等无照明设施的区域,将该区域内 DN 值的第 90 百分位数作为背景值阈值,将影像中小于该阈值的 DN 值设置为 0。对 SDGSAT-1 夜光影像的红、绿、蓝波段以及 Yangwang-1 夜光影像均进行上述背景值剔除操作。

3)影像重采样。将两类夜光影像重采样至相同空间分辨率,考虑到 2023-02-11 成像的 Yangwang-1 夜光影像具有更大的测摆角度,实际空间分辨率略有降低,因此将 SDGSAT-1 夜光影像 A 片和 2023-02-11 的 Yangwang-1 夜光影像重采样至 50 m 分辨率,SDGSAT-1 夜光影像 B 片和 2023-02-09 的 Yangwang-1 夜光影像重采样至 40 m 分辨率。

2.2 相对辐射定标

为了使 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像

具有相等水平的DN值进行比较,本文将Yangwang-1夜光影像作为基准影像,对SDGSAT-1夜光影像的A片和B片分别进行相对辐射定标,基于几何配准后的SDGSAT-1和Yangwang-1夜光影像,在两类影像的重叠部分(图1)选取受灾程度较小的城市作为相对定标区域。对于SDGSAT-1夜光影像A片,选择了土耳其科赞和卡迪尔利两座相邻的城市作为定标区域;对于SDGSAT-1夜光影像B片,选择了土耳其马拉蒂亚市作为定标区域。上述定标区域的SDGSAT-1和Yangwang-1夜光影像如图2所示。

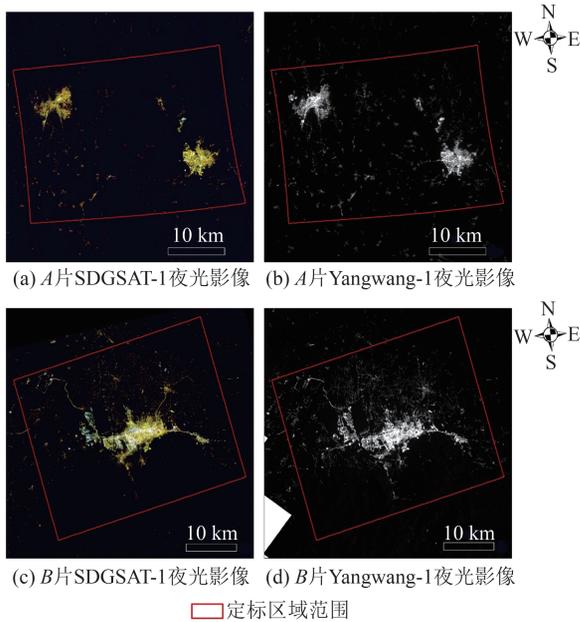


图2 定标区域SDGSAT-1和Yangwang-1夜光影像
Fig. 2 SDGSAT-1 and Yangwang-1 Night-time Light Images of the Intercalibration Field

SDGSAT-1和Yangwang-1夜光影像的空间分辨率和量化位数接近,但SDGSAT-1夜光影像是红、绿、蓝三波段影像,而Yangwang-1夜光影像是单波段灰度影像,为了统一影像形式,需要将SDGSAT-1三波段影像通过多元回归模型转换为单波段影像^[27]。选择稳定像素作为训练样本来求解夜光影像的相对辐射定标模型是相关研究中常用的策略^[12, 28],但是地震使城市部分电力设施损坏,无法将定标区域内的所有像素作为训练样本,因此本文利用稳健回归方法剔除样本中的异常值(即回归时的离群点)^[29]。以SDGSAT-1夜光影像A片为例,相对辐射定标流程如图3所示,具体操作步骤如下:

1)在定标区域使用预处理后的SDGSAT-1和Yangwang-1夜光影像,设SDGSAT-1夜光

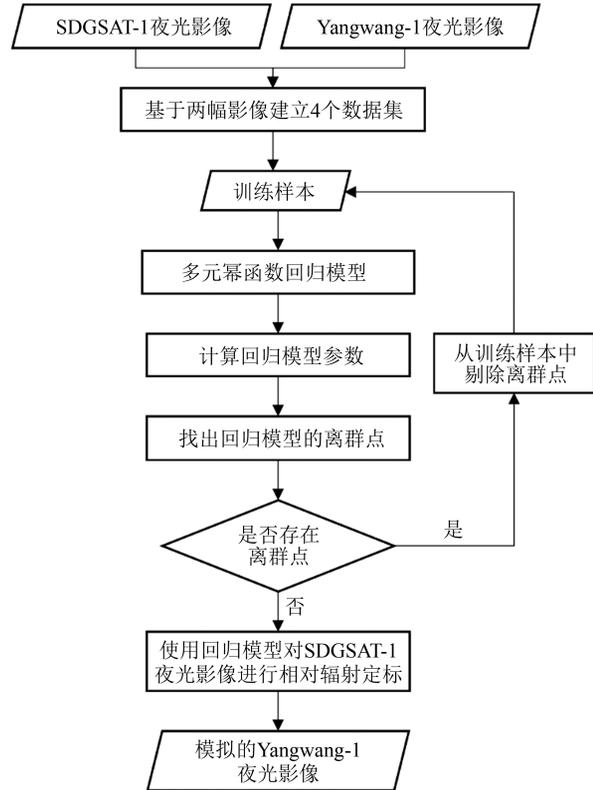


图3 相对辐射定标流程图

Fig. 3 Flowchart of Intercalibration Process

影像红、绿、蓝波段DN值分别构成数据集 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ 、 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ 和 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$,设Yangwang-1夜光影像DN值构成数据集 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$,其中 n 为定标区域内像素总数目,将这4个数据集作为训练样本。

2)将4个训练样本输入一个多元幂函数回归模型,计算式为:

$$y = a_1 x_1^{b_1} + a_2 x_2^{b_2} + a_3 x_3^{b_3} \quad (1)$$

式中, x_1 、 x_2 和 x_3 分别表示 R 、 G 、 B 3个样本中的元素; y 表示样本 W 中的元素; a_1 、 a_2 、 a_3 、 b_1 、 b_2 、 b_3 表示回归模型的参数。利用最小二乘法拟合该多元幂函数曲线,计算回归模型的参数。

3)将 R 、 G 、 B 3个样本输入到由步骤2)所得参数确定的多元幂函数回归模型中,计算样本 W 对应的预测值,记为 \hat{W} 。计算 W 和 \hat{W} 的差值集合 $\Delta W = |W - \hat{W}|$,并计算 ΔW 的标准差 $S_{\Delta W}$ 。然后定义离群点为集合 $\{(w_i, r_i, g_i, b_i) : \Delta W_i > m S_{\Delta W}\}$,其中 ΔW_i 是集合 ΔW 中的第 i 个元素, m 是一个常数值,本文将 m 设定为3.5。如果没有新的离群点,执行步骤5)。

4)通过移除样本 W 、 R 、 G 、 B 中的离群点来更新训练样本,并返回步骤2)。

5)将参数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 b_1 、 b_2 、 b_3 确定的多元幂函

数模型作为相对辐射定标模型,对 SDGSAT-1 夜光影像中的所有像素进行校正,得到定标后 SDGSAT-1 夜光影像,即模拟的 Yangwang-1 夜光影像。

2.3 分区统计

城市内部受灾情况可以由灯光损失率表示,本文在阿德亚曼市和安塔基亚市-德芙内市范围内创建分辨率为 500 m 的网格,每个网格内的灯光损失率 L 的计算式为:

$$L = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (2)$$

式中, T_1 和 T_2 分别表示该网格内地震前、后的夜间灯光总量。区域夜间灯光总量 T 的计算式为:

$$T = \sum_{i=1}^N p_i \quad (3)$$

式中, p_i 表示区域内第 i 个像素的 DN 值, N 表示网格内的像素总数目。值得注意的是,本文使用的地震前影像为模拟的 Yangwang-1 夜光影像,地震后影像为 Yangwang-1 夜光影像。

3 结果与分析

3.1 相对辐射定标

根据 §2.2 中所提方法,SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像的相对辐射定标结果见表 2。迭代结束时回归模型 R^2 均高于 0.9 ($p < 0.01$),表明

该多元幂函数回归模型适合用于 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像之间的相互校正。

表 2 相对辐射定标结果

Tab. 2 Results of Intercalibration

模型	参数	SDGSAT-1 夜光影像 A 片	SDGSAT-1 夜光影像 B 片
多元幂函数回归模型	a_1	1.693 5	6.301 5
	b_1	0.914 1	0.739 9
	a_2	1.475 0	3.942 1
	b_2	0.934 5	1.003 7
	a_3	$1.452 1 \times 10^{-6}$	$3.086 6 \times 10^{-3}$
	b_3	3.544 9	2.193 0
	R^2	0.938 5	0.940 2
训练样本像素数		380 905	805 277
离群点剔除百分比/%		11.78	13.83

本文通过比较定标区域沿某一纬度每个像素的 DN 值,来评估相对辐射定标前 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像的 DN 值分布特征。以 SDGSAT-1 夜光影像 B 片的定标区域为例, DN 值纬向分布如图 4 所示。由图 4 可以看出, SDGSAT-1 夜光影像的 3 个波段与 Yangwang-1 夜光影像之间 DN 值变化趋势相似, DN 值在中心城区处达到峰值,但两类夜光影像的 DN 值在数值上差距较大,在相对辐射定标前无法直接比较。

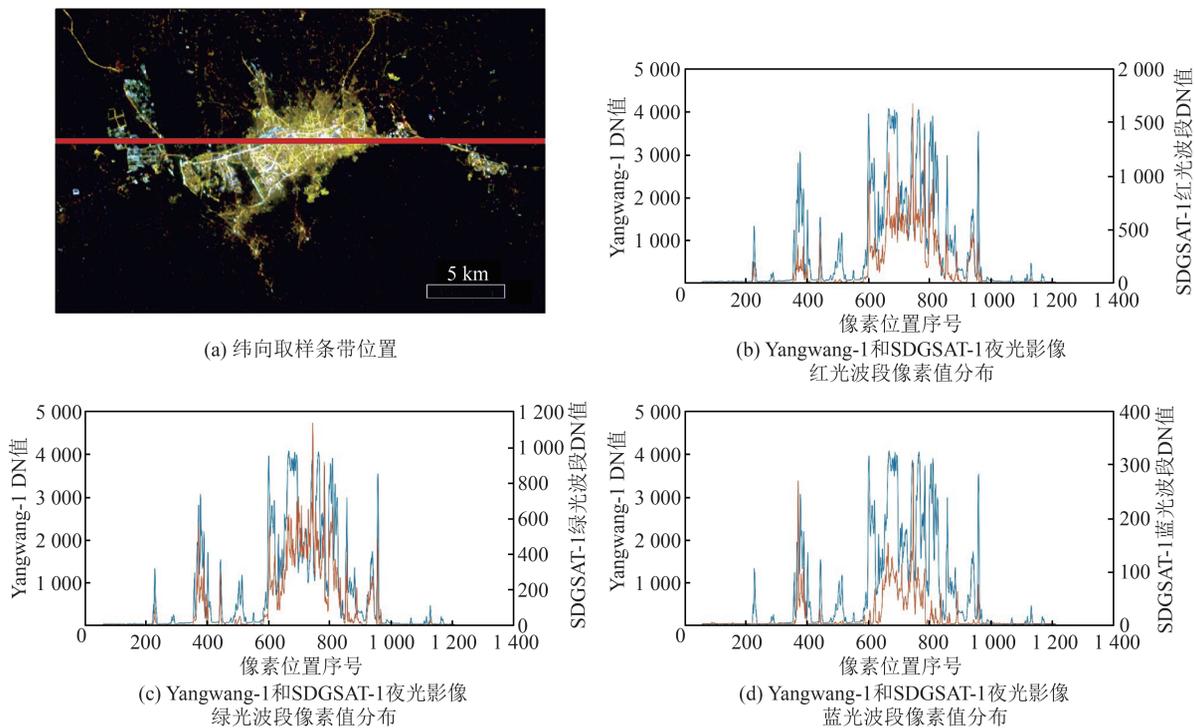


图 4 SDGSAT-1 夜光影像 B 片定标区域 DN 值纬向分布图

Fig. 4 Distribution of DN Values Along Latitude in the Intercalibration Field of SDGSAT-1 Night-time Light Image B

本文使用表2中的参数对SDGSAT-1夜光影像进行相对辐射定标,得到模拟的Yangwang-1夜光影像,并使用§2.1中所提方法剔除模拟的Yangwang-1夜光影像中的背景值。

图5为模拟的Yangwang-1夜光影像和Yangwang-1夜光影像的DN值纬向分布,取样条带位置与图4(a)一致。由图5可以看出,模拟的Yangwang-1夜光影像与Yangwang-1夜光影像的DN值变化趋势一致,并且在数值上相似。该结果表明,经过相对辐射定标后,SDGSAT-1和Yangwang-1夜光影像之间具有可比性。

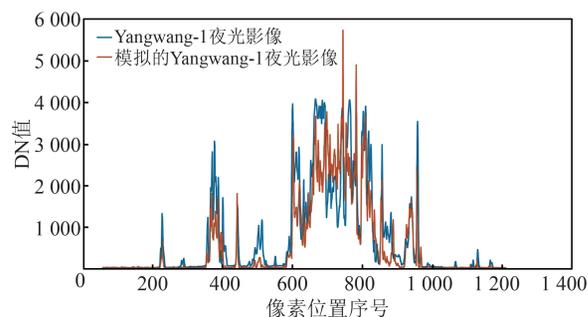


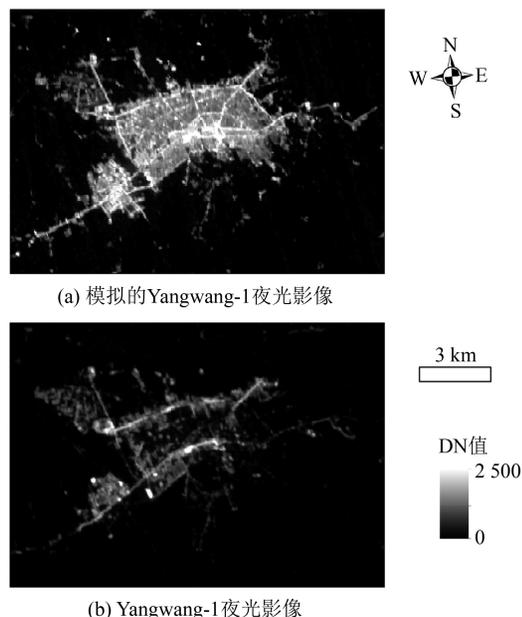
图5 模拟的Yangwang-1夜光影像和Yangwang-1夜光影像DN值纬向分布图

Fig. 5 Distribution of DN Values Along Latitude of the Simulated and Real Yangwang-1 Night-time Light Images

3.2 灾害评估

图6为土耳其阿德亚曼市地震前后夜光影像对比,其中震前影像为模拟的Yangwang-1夜光影像,震后影像为Yangwang-1夜光影像。图6显示地震后该市整体灯光损失严重,大部分居民区陷入黑暗,但部分主要道路灯光得以保留。为了评估城市内部灯光损失差异,本文使用分辨率为500 m的网格分区计算城市内部灯光损失率,分区统计结果如图7所示,其中无灯光区域表示震前影像中灯光总量为0的区域。结合阿德亚曼市不透水面数据,将不透水面积超过网格面积20%的网格定义为城市建成区,建成区范围如图7所示。基于网格分区统计的结果对建成区进行灾害评估,阿德亚曼市建成区灯光损失率直方图如图8所示。研究发现,阿德亚曼市建成区整体灯光损失率为75.6%,建成区内灯光损失率超过80%的区域面积占建成区总面积的54.6%,阿德亚曼市东部灯光损失率高于西部,西北部工业区灯光损失率相对较低,约为32%。

图9为土耳其安塔基亚市-德芙内市地震前后的夜光影像。图9显示地震后安塔基亚市-德芙内市出现大面积停电,大部分道路供电出现中断,东北部小镇断电情况尤为明显。



(a) 模拟的Yangwang-1夜光影像

(b) Yangwang-1夜光影像

图6 阿德亚曼市地震前后夜光影像对比

Fig. 6 Comparison of the Night-time Light Images Before and After the Earthquake in Adiyaman

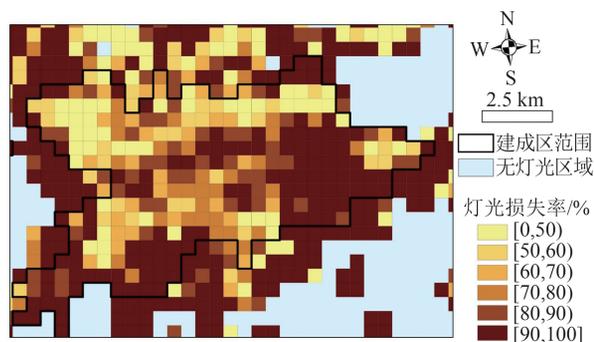


图7 阿德亚曼市灯光损失率分区统计

Fig. 7 Zonal Statistics of Light Loss Rate in Adiyaman

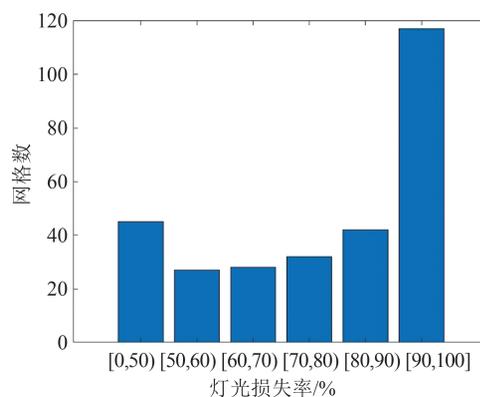


图8 阿德亚曼市建成区灯光损失率直方图

Fig. 8 Histogram of Light Loss Rate in Built-up Areas of Adiyaman

图10为安塔基亚市-德芙内市灯光损失率分区统计结果。图10显示市中心城区灯光损失率高于郊区,灯光损失不显著的区域分布在城市外围,震前灯光强度更高的区域损失了更多灯光。

安塔基亚市-德芙内市建成区选取方法和阿德亚曼市一致,建成区范围如图 10 所示。图 11 为安塔基亚市-德芙内市建成区灯光损失率直方图。研究发现,安塔基亚市-德芙内市建成区整体灯光损失率为 82.7%,建成区内灯光损失率超过 80% 的区域面积占建成区总面积的 51.3%。结果表明,阿德亚曼市和安塔基亚市-德芙内市在此次地震中受灾严重,大部分电力设施遭到破坏。

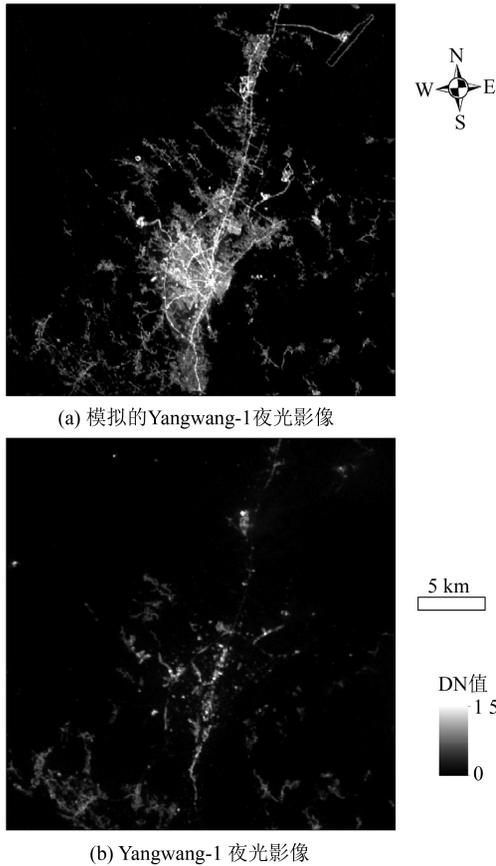


图 9 安塔基亚市-德芙内市地震前后夜光影像对比
Fig. 9 Comparison of the Night-time Light Images Before and After the Earthquake in Antakya and Defne

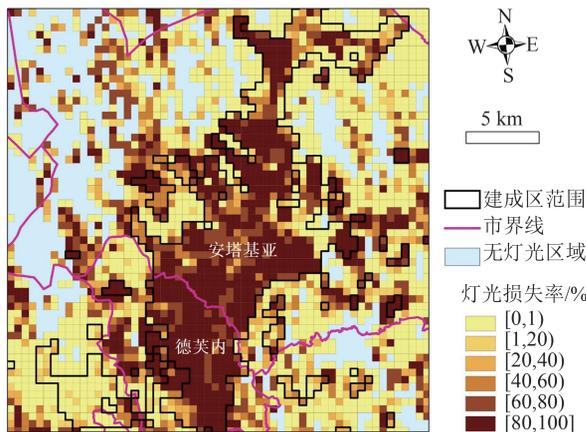


图 10 安塔基亚市-德芙内市灯光损失率分区统计
Fig. 10 Zonal Statistics of Light Loss Rate in Antakya and Defne

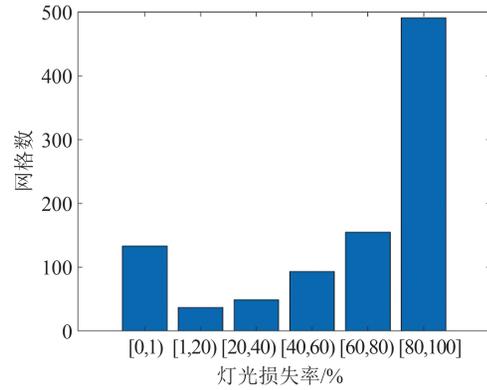


图 11 安塔基亚市-德芙内市建成区灯光损失率直方图
Fig. 11 Histogram of Light Loss Rate in Built-up Areas of Antakya and Defne

4 讨 论

本文对土耳其受灾城市进行评估的 NTL 数据源是 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像,已有研究证明,SDGSAT-1 夜光影像与全景照度有较强的相关性^[24],表明 SDGSAT-1 夜光影像可以反映人造光和人类活动的特征,并且可以作为城市公共空间照明的数据依据,也有研究证明 Yangwang-1 夜光影像可以在精细尺度上监测人类活动和社会经济扰动^[25]。因此,来源于 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像的 NTL 数据在反映城市照明和社会经济方面具有较高的可信度,地震导致的夜间灯光损失能够作为受灾程度的代理变量。

SDGSAT-1 卫星微光成像仪的全色波段空间分辨率为 10 m,红、绿、蓝波段空间分辨率为 40 m, Yangwang-1 夜光影像的空间分辨率约为 40 m。为了提升 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像之间的可比性,并减小灯光损失率的统计误差,本文选择了与 Yangwang-1 夜光影像空间分辨率接近的 SDGSAT-1 夜光影像。在计算灯光损失率时,本文使用了分辨率为 500 m 的网格,其分辨率相较于两类夜光影像有所降低。由于两类夜光影像存在辐射误差和几何偏差,提升网格的分辨率(如提升至 50 m)可能会降低网格内灯光损失率统计的准确度。同时,使用分辨率降低的网格进行统计可以减弱数据噪声的影响,并且能够反映地区经济的宏观空间分布^[30]。

受限于 SDGSAT-1 和 Yangwang-1 夜光影像的重叠范围,本文仅选取土耳其境内 3 座城市进行分析。除此之外,本文仅从夜间灯光的角度评估土叙地震受灾城市,尚未和其他卫星手段得到的结果进行对比,未来可以联合分析城市灯光损失情况和日间高分辨率影像或 SAR 影像得到的地

表受损情况,从而进行更全面的灾害损失评估。

5 结 语

2023-02-06土耳其南部发生的地震对周边城市造成了巨大破坏,本文利用夜光影像对灾区进行灾害评估。由于卫星轨道、重访周期等限制,很难在震后短期内获得同源夜光影像,为尽早开展灾区评估工作,本文使用SDGSAT-1和Yangwang-1两类异源夜光影像开展分析,通过多元幂函数回归模型,对SDGSAT-1和Yangwang-1高分辨率夜光影像进行相对辐射定标,定量评估了土叙地震后阿德亚曼市和安塔基亚市-德芙内市的受灾情况。结果表明,城市电力设施在此次地震中严重受损,建成区内超过50%的区域灯光损失率高于80%,建成区整体灯光损失率超过70%,其中阿德亚曼市东部灯光损失率高于西部,安塔基亚市-德芙内市中心城区灯光损失率高于郊区。

基于异源夜光影像进行灾害评估是未来开展灾害应急评估的常用手段,利用异源夜光影像能提高灾区观测频率,弥补同源夜光影像不足。研究证明异源高分辨率夜光影像能有效评估地区受灾情况,成果可为当地政府部门指导应急救援及灾后重建提供帮助。在未来研究中,需要以减少异源夜光影像的形式差异、提升可比性为目标,进一步改进异源夜光影像的相对辐射定标算法,同时,也可以继续基于高分辨率夜光影像,对受灾城市灾后恢复情况进行监测和评估。

致谢:感谢可持续发展大数据国际研究中心提供SDGSAT-1开放科学计划数据;感谢起源太空科技有限公司提供Yangwang-1数据。

参 考 文 献

- [1] De Groeve T, Santini M, Necmioglu O, et al. M 7.8 and M 7.5 Earthquakes in Turkey and Syria Update of the Ec-Jrc Scientific Analysis [R]. ISPRA: European Commission, 2023.
- [2] Gunasekera R, Ishizawa Escudero O A, Daniell J E, et al. Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report: February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes — Turkey Report [R]. Washington, D. C. : World Bank Group, 2023.
- [3] Xu Chong, Dai Fuchu, Chen Jian, et al. Identification and Analysis of Secondary Geological Hazards Triggered by a Magnitude 8.0 Wenchuan Earthquake [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(4): 745-762. (许冲, 戴福初, 陈剑, 等. 汶川Ms 8.0地震重灾区次生地质灾害遥感精细解译[J]. *遥感学报*, 2009, 13(4): 745-762.)
- [4] Han Bingquan, Liu Zhenjiang, Chen Bo, et al. Co-seismic Deformation and Slip Distribution of the 2022 Luding Mw 6.6 Earthquake Revealed by InSAR Observations [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, 48(1): 36-46. (韩炳权, 刘振江, 陈博, 等. 2022年泸定Mw 6.6地震InSAR同震形变与滑动分布[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2023, 48(1): 36-46.)
- [5] Chen Yulun, Chen Danni, Li Xi. Analysis of Night Light Patterns Using Urban Public Camera [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(8): 1318-1327. (陈宇伦, 陈丹妮, 李熙. 利用城市公共摄像头分析夜间灯光变化规律[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2022, 47(8): 1318-1327.)
- [6] Li Xi, Gong Yu. Evaluation of China's Aid to Central Asia from the Perspective of Night-time Light Remote Sensing [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20220478. (李熙, 巩钰. 夜间灯光遥感视角下的中国对中亚地区援助效果评估[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20220478.)
- [7] Li Deren, Li Xi. An Overview on Data Mining of Nighttime Light Remote Sensing [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2015, 44(6): 591-601. (李德仁, 李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. *测绘学报*, 2015, 44(6): 591-601.)
- [8] Levin N, Kyba C C M, Zhang Q, et al. Remote Sensing of Night Lights: A Review and an Outlook for the Future [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 237: 111443.
- [9] Zhang Lin, Li Xi. Analysis on Disparity of Regional Development in Pakistan Under Perspective of Nighttime Light Remote Sensing [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(2): 269-279. (张霖, 李熙. 夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2022, 47(2): 269-279.)
- [10] Li X, Li D R. Can Night-time Light Images Play a Role in Evaluating the Syrian Crisis? [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2014, 35(18): 6648-6661.
- [11] Zheng Y M, Shao G F, Tang L N, et al. Rapid Assessment of a Typhoon Disaster Based on NPP-VIIRS DNB Daily Data: The Case of an Urban Agglomeration Along Western Taiwan Straits, China [J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(14): 1709.

- [12] Li X, Li D R, Xu H M, 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 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 38(21): 5934-5951.
- [13] Kohiyama M, Hayashi H, Maki N, et al. Early Damaged Area Estimation System Using DMSP-OLS Night-time Imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(11): 2015-2036.
- [14] Li X, Zhan C, Tao J B, et al. Long-term Monitoring of the Impacts of Disaster on Human Activity Using DMSP/OLS Nighttime Light Data: A Case Study of the 2008 Wenchuan, China Earthquake [J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(4): 588.
- [15] Li X, Liu Z M, Chen X L, et al. Assessment of the Impact of the 2010 Haiti Earthquake on Human Activity Based on DMSP/OLS Time Series Nighttime Light Data [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2019, 13(4): 044515.
- [16] Cao C Y, Shao X, Uprety S. Detecting Light Outages After Severe Storms Using the S-NPP/VIIRS Day/Night Band Radiances [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2013, 10(6): 1582-1586.
- [17] Román M O, Stokes E C, Shrestha R, et al. Satellite-based Assessment of Electricity Restoration Efforts in Puerto Rico After Hurricane Maria [J]. *PLoS One*, 2019, 14(6): e0218883.
- [18] Gunasekera R, Ishizawa Escudero O A, Daniell J E, et al. Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report : Mw 7.8 Turkey-Syria Earthquake—Assessment of the Impact on Syria : Results as of February 20, 2023 [R]. Washington DC : World Bank Group, 2023.
- [19] United Nations Satellite Centre. Light Loss Assessment Following the Marash / Antep Earthquake (6 February 2022, Mw 7.8) Using Night-Time Light Imagery [R]. Geneva: UNOSAT, 2023.
- [20] Li Xi, Gong Yu, Cao Hanrui. Rapid Response to Turkey-Syria Earthquake Using Night-time Light Remote Sensing [J]. *Acta Geodetica et Cartographica Sinica*, 2023, 52(5): 697-705. (李熙, 巩钰, 曹汉瑞. 夜光遥感在土叙地震应急响应中的应用 [J]. *测绘学报*, 2023, 52(5): 697-705.)
- [21] Guo H D, Dou C Y, Chen H Y, et al. SDGSAT-1: The World's First Scientific Satellite for Sustainable Development Goals [J]. *Science Bulletin*, 2023, 68(1): 34-38.
- [22] Chang D K, Wang Q J, Yang J Y, et al. Research on Road Extraction Method Based on Sustainable Development Goals Satellite-1 Nighttime Light Data [J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(23): 6015.
- [23] Li L Y, Jiang L Y, Zhang J W, et al. A Complete YOLO-based Ship Detection Method for Thermal Infrared Remote Sensing Images Under Complex Backgrounds [J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(7): 1534.
- [24] Lin Z, Jiao W, Liu H, et al. Modelling the Public Perception of Urban Public Space Lighting Based on SDGSAT-1 Glimmer Imagery: A Case Study in Beijing, China [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 88: 104272.
- [25] Zhu X L, Tan X Y, Liao M L, et al. Assessment of a New Fine-resolution Nighttime Light Imagery from the Yangwang-1 ("Look up 1") Satellite [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2022, 19: 1-5.
- [26] Huang X, Song Y, Yang J, et al. Toward Accurate Mapping of 30-m Time-Series Global Impervious Surface Area (GISA) [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, 109: 102787.
- [27] Yin Z M, Li X, Tong F, et al. Mapping Urban Expansion Using Night-time Light Images from Luojia1-01 and International Space Station [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2020, 41(7): 2603-2623.
- [28] Elvidge C, Ziskin D, Baugh K, et al. A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data [J]. *Energies*, 2009, 2(3): 595-622.
- [29] Li X, Chen X L, Zhao Y S, et al. Automatic Intercalibration of Night-time Light Imagery Using Robust Regression [J]. *Remote Sensing Letters*, 2013, 4(1): 45-54.
- [30] Christopher N H D, Muller J P, Morley J G. Mapping Regional Economic Activity from Night-Time Light Satellite Imagery [J]. *Ecological Economics*, 2006, 57(1): 75-92.