

GEE平台下多源遥感影像对洪灾的监测

刘小燕^{1,2,3}, 崔耀平^{1,2,3}, 史志方^{1,3}, 付一鸣⁴, 闰亚迪^{1,3},
李梦迪^{1,3}, 李楠^{1,3}, 刘素洁⁵

1. 河南大学 黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004;

2. 河南省大气污染综合防治与生态安全重点实验室, 开封 475004;

3. 河南大学 地理与环境学院, 开封 475004;

4. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘察院, 郑州 450001;

5. 河南省地球物理空间信息研究院, 郑州 450009

摘要: 受限于洪灾时期的天气, 用于洪灾评估的遥感数据多为雷达影像或者航拍数据, 而众多夜间灯光和光学影像数据在评估洪灾时发挥的作用亟待进一步挖掘。本研究以7—8月份的阜阳为研究对象, 基于Sentinel-1、Sentinel-2及Landsat 8等卫星数据, 借助遥感大数据平台GEE (Google Earth Engine) 提取水体信息, 并利用夜间灯光数据建立的夜间灯光总强度TNL (Total Night-time Light) 和综合灯光指数CNLI (Compounded Night Light Index) 来探讨水体变化与夜间灯光之间的关系, 从而监测和评估洪灾动态。结果显示: (1) 阜阳7—8月南部水体分布变化明显, 特别是蒙洼蓄洪区水体面积明显增加, 7月31日水体面积达到最大值323 km², 比洪灾前水体面积多出6倍, 随后水体覆盖范围呈下降趋势, 该趋势与王家坝开闸蓄洪和泄洪的时间对应。(2) 基于夜间灯光指数TNL指数和CNLI指数对阜阳夜间灯光变化进行结合分析, 发现灯光指数的变化趋势与水体的变化趋势相反, 说明夜间灯光指数可以有效地反映出洪灾的变化过程。(3) 对数据较完整的阜阳东部的水体及夜间灯光指数进行结合分析, 进一步说明夜间灯光与水体数据均可用来监测洪灾。本研究以阜阳市今年的洪灾为例, 拓展了夜间灯光数据和光学影像的应用范围, 同时也证实了在经过严格的数据处理后, 基于Sentinel-1的雷达影像、Sentinel-2和Landsat 8的光学影像等多源遥感数据均可有效监测洪灾的变化情况, 在以后的洪灾监测中发挥重要的作用。

关键词: Google Earth Engine (GEE), 夜间灯光, 多源遥感, 洪灾, 哨兵, NPP-VIIRS DNB, Landsat

中图分类号: P2

引用格式: 刘小燕, 崔耀平, 史志方, 付一鸣, 闰亚迪, 李梦迪, 李楠, 刘素洁. 2023. GEE平台下多源遥感影像对洪灾的监测. 遥感学报, 27(9): 2179–2190

Liu X Y, Cui Y P, Shi Z F, Fu Y M, Run Y D, Li M D, Li N and Liu S J. 2023. Monitoring of floods using multi-source remote sensing images on the GEE platform. National Remote Sensing Bulletin, 27(9): 2179–2190 [DOI: 10.11834/jrs.20221063]

1 引言

如何快速获取洪灾信息并立即采取科学、快速、准确的应急决策是应急救援的主要任务之一。中国是一个自然灾害发生频繁的国家, 雨季时常会造成江淮等地的洪灾 (李曾中等, 2000)。洪灾爆发造成大面积区域淹没是动态变化的, 因此对洪灾区域进行快速动态监测十分必要。

遥感具有高效实时等优点, 已经广泛应用于洪灾的评估 (Van Westen, 2013; Boccardo和Tonolo, 2015; 黄淑娥等, 2003)。其中, 遥感数据中的光学和雷达影像主要用于识别和监测洪灾引起的地面结构变化和破坏 (曾玲方等, 2015; Martinis等, 2018; 苏亚丽, 2018; 湛南渝, 2020), 而洪灾在破坏建筑物和基础设施的同时, 会导致停电, 并减少人类活动, 这些都可能引起光线变化 (Feeny

收稿日期: 2021-02-23; 预印本: 2022-01-21

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 42071415); 中原青年拔尖人才项目; 信阳生态研究院2023年度开放基金(编号: 2023XYMS014)

第一作者简介: 刘小燕, 研究方向为遥感信息提取与城乡生态效应。E-mail: lxy@henu.edu.cn

通信作者简介: 崔耀平, 研究方向为遥感大数据和空间优化。E-mail: cuiyp@lreis.ac.cn

等, 2022); 一个地区的受灾程度与灯光的破坏范围有直接关系, 因此可以从夜间灯光数据中提取灾情信息 (张宝军, 2018)。夜间灯光影像数据是由于人类在地表生产生活所产生的独有信息数据 (Li 等, 2021)。目前, 世界上应用较多的夜间灯光数据有 1976 年美国发射的国防气象卫星 DMSP (The Defense Meteorological Program) 搭载的 OLS (Operational Line-Scan System) 传感器获取夜间灯光数据 (Liu 等, 2012; Ma 等, 2012)、2011 年美国宇航局发射的 Suomi NPP 携带可见光近红外成像辐射仪获取的 NPP-VIIRS (National Polar-orbiting Partnership Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) DNB (Day/Night Band) 数据 (Shi 等, 2014; Zhao 等, 2018) 和 2018 年武汉大学团队发射的“珞珈一号”卫星获取的夜间灯光数据 (厉飞等, 2021; 刘权毅等, 2021)。其中 DMSP/OLS 数据的空间分辨率为 30 rad/s (赤道约 1 km), NPP-VIIRS 具有比 DMSP/OLS 数据更高的时空分辨率, 近些年已经广泛被运用于灾害评估等方面。高义等 (2013) 研究发现 NPP-VIIRS DNB 数据具有实现人口和社会经济数据空间化的巨大潜力。郭磊等 (2020) 将夜间灯光数据与土地利用数据相结合, 建立人口和社会经济分布模型, 为流域洪灾损失评价提供手段。赵习枝 (2019) 利用夜间灯光数据可以反映出榆林洪灾造成的停电现象。Skoufias 等 (2020) 基于夜间灯光等数据构建灾害指数模型, 展示了如何快速找到不同灾害事件 (如洪水和海啸) 在全球范围内的相对经济影响; 王晓荣 (2021) 基于夜间灯光数据识别洪灾害前后灯光变化并对受灾人口定量评估。因此, 众多研究表明, 基于夜间灯光数据研究和分析灾害的危害是可行的。

基于雷达影像监测洪灾的运用较普遍 (孙亚勇等, 2017), 因为雷达影像不受云雨天气的影响, 但对于研究时间较短时间内水体的连续变化仍有缺失, 且无法有效区分洪灾退去短时间内潮湿土地与水体; 此外, 光学影像容易受到云雨等天气的影响, 会造成洪灾关键时期的变化无卫星覆盖。同时, 为了避免由于数据来源及处理方式的不同, 而造成对洪灾的监测不及时等问题的出现, 本研究借助遥感大数据平台 GEE (Google Earth Engine) 来获取水体信息。GEE 平台是一个全球尺度地理空间数据分析的云服务平台, 它集

成了多种地理空间数据并提供了超过一千种数据类型和算子, 无需下载数据就可以直接在线分析 (Perilla 和 Mas, 2020), 能够及时高效地监测灾害的动态变化。

综上所述, 本研究拟结合多源、多时相遥感数据信息 (Sentinel-1、Sentinel-2 和 Landsat 8) 从不同角度提取水体信息, 从而对洪灾的变化进行精确有效地监测, 与此同时, 借助日 NPP-VIIRS DNB 数据对洪灾的影响进行有效的评估, 进而说明雷达影像、光学影像和夜间灯光数据等多源遥感数据均可在监测洪灾中发挥重要作用, 为决策者和响应者提供支持, 让政府或公众可以直观地了解灾害的严重程度。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区域

阜阳市位于安徽省西北部, 黄淮海平原南端, 淮北平原西部 $32^{\circ}25'N-34^{\circ}04'N$, $114^{\circ}52'E-116^{\circ}49'E$, 全市总面积达 10118.17 km^2 。阜阳市北部与黄河决口扇形地相连, 南部与江淮丘岗区隔淮河相望, 地势平坦。阜阳市地势西北高而东南低, 自西北向东南略有倾斜。阜阳市南临淮河, 旱涝灾害频繁, 表现出气候明显的变异性。

2020 年 7 月安徽遭遇长时间大规模降雨, 大部分降水都排入淮河。位于安徽省阜阳市的王家坝闸以上至淮河源头桐柏山 364 km 为淮河上游; 王家坝闸以下至江苏省洪泽湖的三河闸共 490 km 为淮河中游, 落差仅 16 m, 况且淮河中游河道狭窄弯曲, 支流众多, 洪水宣泄不畅。由于持续的强降雨, 水位上涨增加了溃堤的风险, 为了避免内涝和溃堤, 降低淮河主干道的压力, 进而选择王家坝泄洪来降低淮河水位。

2.2 研究时间

2020 年 7 月 20 日 08:32 淮河水位到达最高 29.75 m, 超保证水位 0.45 m, 王家坝正式开闸放水, 蒙洼蓄洪区启用蓄洪。到了 8 月 1 日 09:30, 曹台孜闸 28 孔闸门全部开启, 蓄洪区正式开闸退洪。基于此, 本研究将研究时间分为 4 段: (1) 7 月 1 日至 20 日 (0701—0720, I 阶段), 这一阶段主要是雨水聚集形成洪水的前期; (2) 7 月 21 日至 31 日 (0721—0731, II 阶段), 这一阶段是基于蒙洼

蓄洪区洪水聚集期间, 水体面积的变化, 以及蒙洼区内人类活动的影响变化; (3) 8月1日至25日 (0801—0825, III阶段), 这一阶段是泄洪期间; (4) 8月26日至31日 (0826—0831, IV阶段), 这一阶段是研究区经历过暴雨洪水之后, 恢复到正常生活。

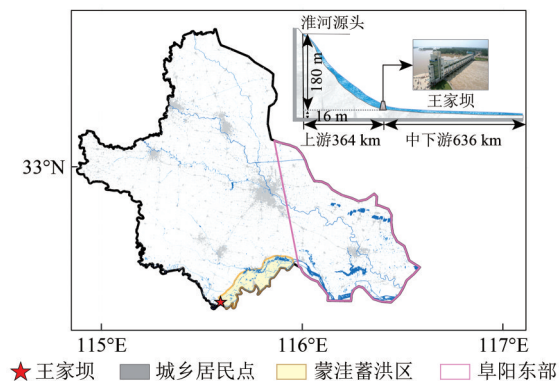


图1 研究区分布

Fig. 1 Study area

2.3 数据来源与处理

日 NPP-VIIRS DNB 数据: 该数据来自国家地球物理数据中心 (<https://www.ngdc.noaa.gov/> [2021-02-23]). NPP-VIIRS DNB 数据在目前已有的夜间灯光数据中具有较高的时空分辨率, 即时间分辨率为 1 d, 空间分辨率为 500 m, 但该数据没有过滤火光、极光等噪音 (Cao 等, 2013), 本研究平滑了噪音以提升数据精度。

云分数数据 CF (Cloud Fraction) (Sihler 等, 2017) 是基于 GEE 集成的数据集中 Sentinel-5P (Shikwambana, 2021) 产品数据。Sentinel-5P 是欧洲航天局于 2017 年发射的一颗全球大气污染监测卫星。卫星搭载的对流层观测仪 TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument) 加强了云的观测。卫星扫描宽度可达 2600 km, 时间分辨率为 1 d, 空间分辨率为 7 km。

水体数据是通过 GEE 平台集成的不同影像 (Sentinel-1A、Sentinel-2A/2B 以及 Landsat 8), 并通过波段运算提取研究区 7—8 月所有水体分布数据。Sentinel-1A: Sentinel-1 作为欧洲航天局 ESA (European Space Agency) 哥白尼计划于 2014 年 4 月 3 日发射升空 (杨魁 等, 2015), 经过半年试运营后, 2014 年 10 月开始对外发布数据。单颗星轨道

周期为 12 d, 两颗卫星重访周期为 6 d。它是基于 C 波段 (微波) 的成像系统, 对水体变化的监测有着重要意义 (黄萍 等, 2018; Washaya, 2018)。Sentinel-2 是高分辨率多光谱成像卫星, 携带多光谱成像仪 MSI (Multispectral Imager), 一颗卫星的重访周期为 10 d, 两颗互补, 重访周期为 5 d。Landsat 8 是由美国航空航天局 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 发射, 波段 1—7 和 9—11 的空间分辨率为 30 m, 卫星每 16 d 可以实现一次全球覆盖。在 GEE 平台下, 3 种传感器获取阜阳 7—8 月所有影像共 155 景影像 (其中 43 景为 Sentinel-1、98 景 Sentinel-2 和 17 景为 Landsat 8 影像)。经过过去云和影像完整性等一系列筛选后, 可用影像共 78 景 (其中 18 景为 Sentinel-1、48 景 Sentinel-2 和 14 景为 Landsat 8 影像)。

2.4 研究方法

2.4.1 夜间灯光指数

常用的夜间灯光指数有夜间灯光总强度 TNL (Total Night-time Light) 和综合灯光指数 CNLI (Compounded Night Light Index) (李晓雪 等, 2020; 李峰 等, 2016)。TNL 是指行政单元内夜间灯光 DN 值总和, CNLI 由区域的平均夜间灯光强度与区域夜间灯光面积两者决定。

$$TNL = \sum_{i=DN_{min}}^{DN_{max}} (DN_i \times n_i) \quad (1)$$

$$CNLI = \frac{TNL}{(DN_{max} \times N_L)} \times \frac{A_N}{A} \quad (2)$$

式中, DN_i 和 n_i 分别表示行政区域内第 i 级灰度像元值和像元数; N_L 和 A_N 分别代表行政区域内像元总数和所占据的面积, A 表示行政区域总面积。

2.4.2 水体提取

徐涵秋 (2005) 提出改进的归一化差分水指数 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) 是利用 Landsat 8 的绿波段和短波红外波段识别水体。为达到精确提取水体的目的, 本研究参考高分影像, 通过先验知识和目视解译 (吴效勇 等, 2020), 经过反复试验, 最后得到最优阈值, 以确保在最大限度提取水体信息的同时降低对其他地物的误提率 (Xia 等, 2019; 王大钊 等, 2019)。

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{MIR}}{\text{Green} + \text{MIR}} \quad (3)$$

式中, Green代表绿波段, MIR代表短波红外波段。

Feyisa 等 (2014) 提出的 AWEI 指数 AWEI (Automatic Water Extraction Index) 提取水体的精度较高, 总精度可达 98.01%, 因此这里基于 Sentinel-2 影像提取水体采用 AWEI 指数。表达式为

$$\text{AWEI}_{\text{nsh}} = \frac{4 \times (\text{Green} - \text{SWIR1})}{0.25 \times \text{NIR} + 2.75 \times \text{SWIR2}} \quad (4)$$

$$\text{AWEI}_{\text{sh}} = \text{Blue} + 2.5 \times \text{Green} - 1.5 \times (\text{NIR} + \text{SWIR1}) - 0.25 \times \text{SWIR2} \quad (5)$$

式中, Blue 为蓝波段; SWIR 1 和 SWIR 2 为短波红外波段。AWEInsh 用来剔除与水体容易混淆的黑色建筑地表, AWEIsh 进一步剔除 AWEInsh 中不能剔除的阴影, 从而提高水体提取的精度。

基于雷达影像提取水体是利用微波范围内水

体较低的后向散射特性来进行识别, 通常采用阈值法。本研究采用大津法 (OTSU) 提取水体数据 (Otsu, 1979)。该算法假设一副图像由前景色和背景色组成, 阈值可以将前景色和背景色尽可能的分开 (王磊和段会川, 2008)。

2.4.3 相关性分析

本研究将相同时间节点的水体面积和夜间灯光总强度按照时间顺序, 进行相关性分析:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

式中, x , y 分别表示水体面积和夜间总灯光强度。

基于以上数据及方法对研究区水体的变化和夜间灯光变化进行分析 (图 2), 综合分析和评估多源遥感数据对灾害监测能力。

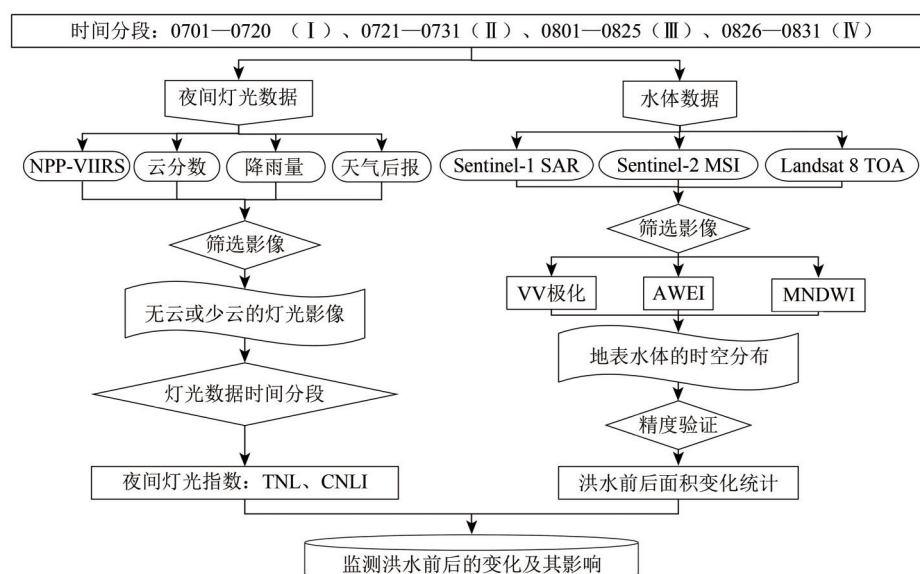


图2 数据处理流程图

Fig. 2 Flow chart

3 研究结果

3.1 夜间灯光指数变化分析

受7—8月云雨等天气的影响, 阜阳夜间灯光数据的质量不佳, 为了避免此影响, 本研究对夜间灯光数据进行预处理, 设置云分数数据<0.3为无云 (Kato等, 2011), 之后与 NPP-VIIRS DNB 数据进行叠加分析, 并参考7—8月降雨量, 筛选出阜阳7—8月无云或少云的夜间灯光数据 (图3)。之后, 分别统计4个时间段内夜间灯光数据的平均值, 最终获

得4幅精度较高的夜间灯光数据 (图4)。这样做有两个优点: 首先对多幅影像数据求平均可以填补由于噪音的干扰产生的空值; 其次, 由于扫描角度的差异和大气的影导致夜间灯光数据的强度发生波动, 通过求相近时间段夜间灯光的平均值可以平滑这些波动。但是由于7月21日至31日持续的强降雨导致这一时间段的夜间灯光数据质量较差, 最终挑选出两幅噪音相对于其他时间较小的夜间灯光数据 (0724、0731), 7月24日阜阳北部和7月31日南部夜间灯光噪音较大, 将两幅影像无噪音地区进行拼接能够弥补该时段内数据缺失。

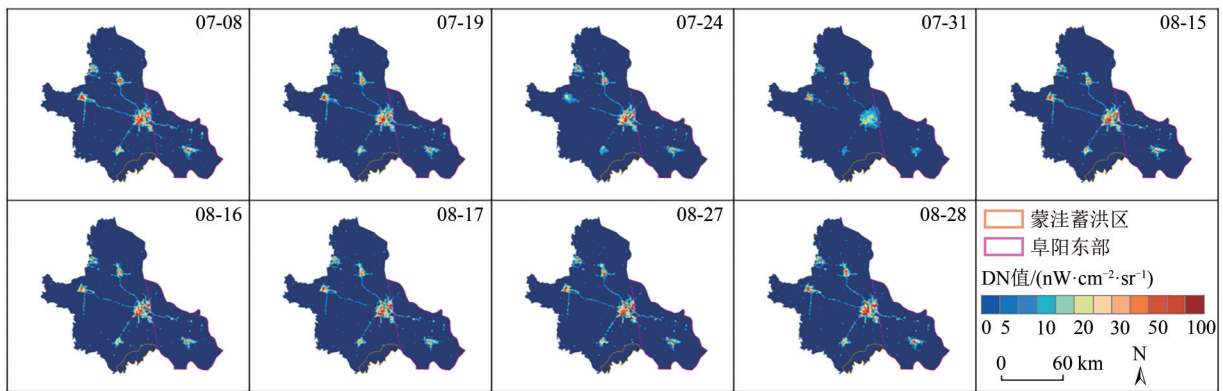


图3 研究时间段内无云或少云的夜间灯光数据

Fig. 3 Night light data with no or few clouds during the study period

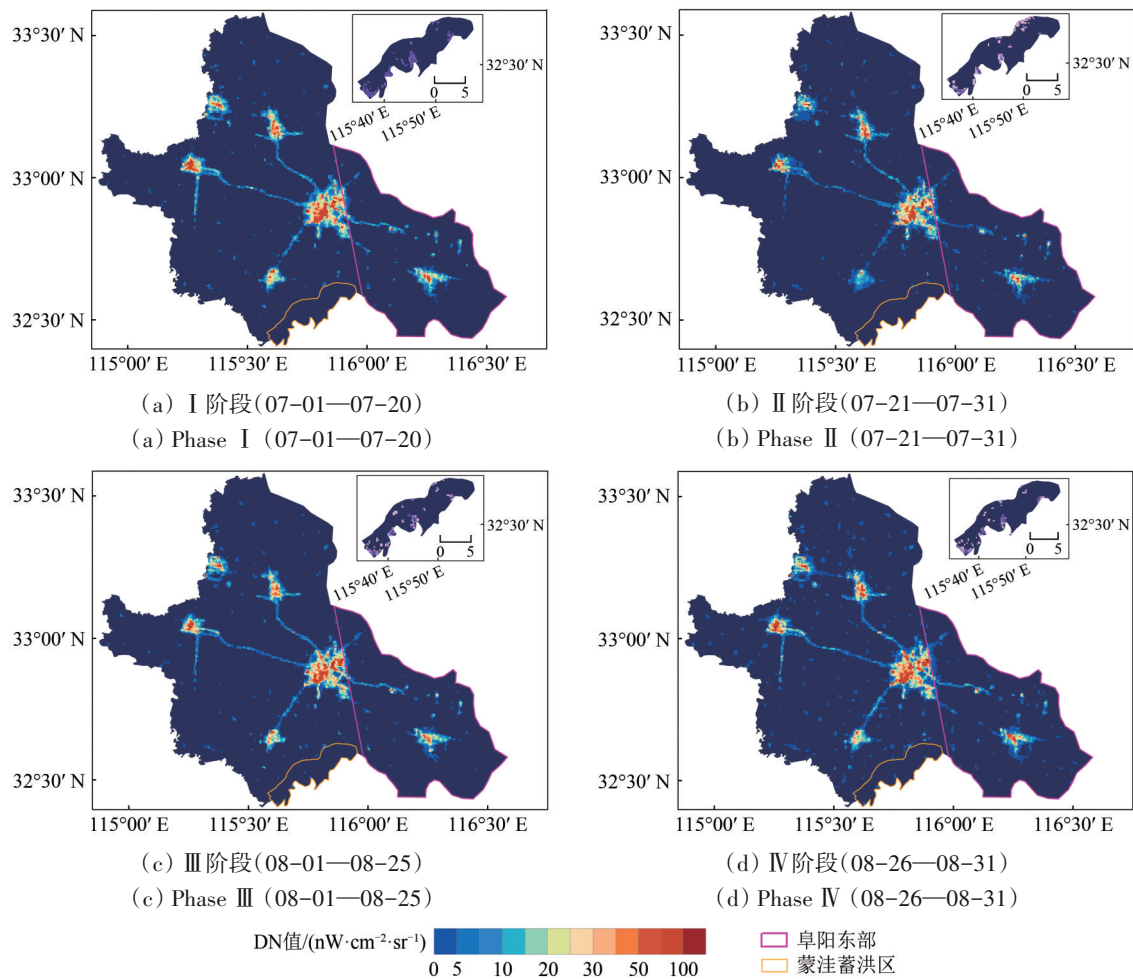


图4 4个时间段夜间灯光变化

Fig. 4 Night light changes in four time periods

统计阜阳、阜阳城乡区及非城乡区4个时间段的夜间灯光指数 (TNL指数和CNLI指数) (图5)。从图5 (a) 中的TNL指数看出, 阜阳的TNL指数最高, 特别是I阶段, TNL指数达到了16373; 蒙洼蓄洪区的夜间灯光指数最低, 最低为III阶段的808。从4个阶段的TNL指数变化中可以看出:

4个区域的I阶段的TNL指数高于其他阶段, II、III阶段处于低值, 到了IV阶段, TNL指数升高。从图5 (b) 中的CNLI指数看出, 阜阳及非城乡区的CNLI指数值较小, 且两者的变化趋势为: I至III阶段指数持续减小, 到了IV阶段指数增大; 而城乡区及蒙洼蓄洪区的CNLI指数值相对较高, 两

者的变化趋势分别为：城乡区的CNLI指数 I 至 II 阶段急剧减小，之后两个阶段指数增大；蒙洼

蓄洪区 I 至 III 阶段指数逐渐减小，到了IV阶段指数增大。

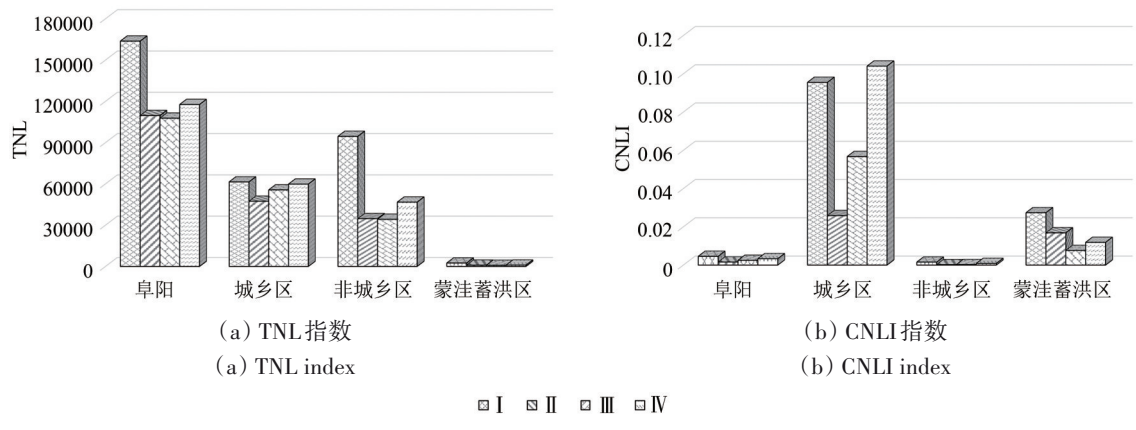


图5 研究区夜间灯光指数变化分析
Fig. 5 Analysis of changes in lighting index at night in the study area

综合两个指数变化可以看出蒙洼蓄洪区的夜间灯光指数的变化为：I 至 III 阶段指数持续减小，到了IV阶段指数有所增大；其变化趋势与水体的变化趋势相悖：即夜间灯光指数 I 阶段处于高值，II、III 阶段处于低值，到了IV阶段指数增大；水体变化为 I 阶段处于低值，II、III 阶段水体面积到达最大值，到了IV阶段水体面积减小。

3.2 水体数据分析

3.2.1 水体精度验证

采用 AWEI 指数方法分别基于 GEE 平台和 GIS 软件提取 Sentinel-2 2020 年 8 月 17 日的水体信息。图中蓝色水体为两种平台共同提取的部分，红色部分为基于 GIS 软件提取出来的多余部分水体信息。通过细节对比发现，基于 GIS 软件提取的水体信息更加完整，但这样造成狭小道路信息无法剔除，而基于 GEE 平台具有处理数据方便快捷且可以剔除非水体的细节等优点，能够对极端事件做出快速及时的反应，因此本研究通过 GEE 平台对洪水进行快速高效监测（图 6）。

本研究首先验证了 Sentinel-1A 提取水体精度，这里用 2020 年 7 月 20 日 Sentinel-1A 提取的水体面积为 660.22km²，国家对地观测科学数据中心 ([http://39.106.90.21/\[2021-02-23\]](http://39.106.90.21/[2021-02-23])) 提供的安徽阜阳市 2020 年 7 月 20 日水体面积为 657.8 km²，说明基于 Sentinel-1A 提取水体效果较好，且能够清晰

表达出水体的分布，尽管在部分区域提取的水体边界效果不佳（图 7（a）），且洪水退去的短时间内土壤湿度较高，容易造成水体提取过大。基于此，为了验证基于 GEE 提取水体的精度，分别选择 3 种传感器（Sentinel-1：8 月 25 日、Sentinel-2：8 月 27 日、Landsat 8：8 月 28 日）提取的部分水体与高分影像（2020 年 4 月 9 日）进行对比，结果显示基于 3 种传感器都能较好提取水体信息。

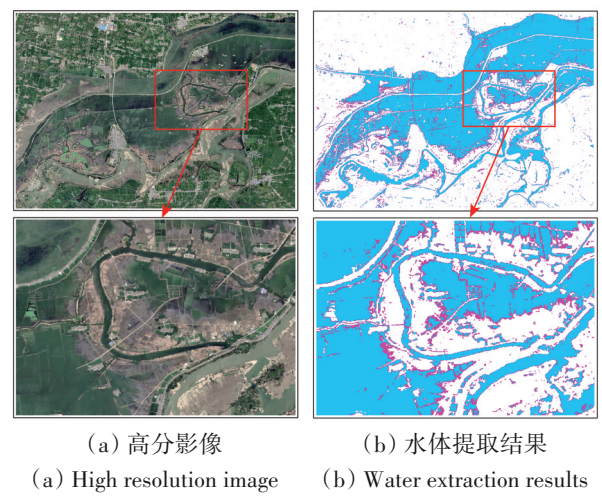


图6 分别基于GEE平台和GIS软件采用同样方法提取水体细节对比(蓝色为两者共同提取水体信息,红色为两者水体之间的差异信息)

Fig. 6 Comparison of water body details extracted by the same method based on GEE platform and GIS software (The Blue is the water body information extracted by both, and red is the difference information between the two water bodies)

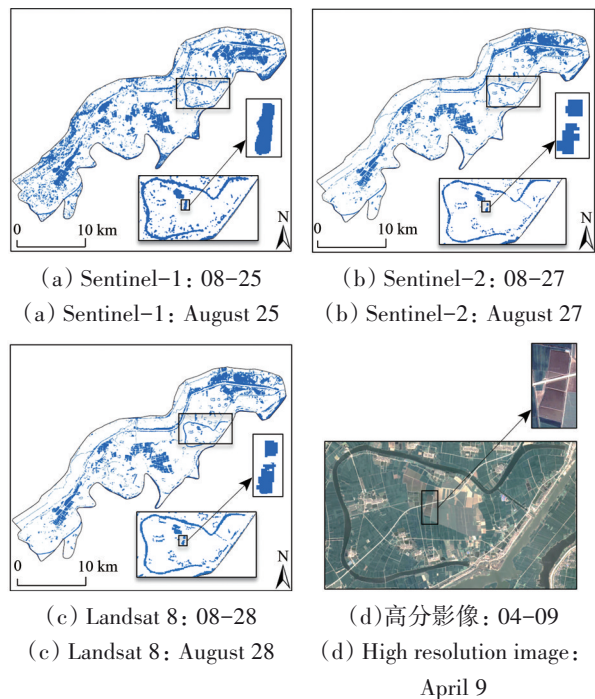


图7 基于不同传感器提取水体精度验证

Fig. 7 Verification of the accuracy of water extraction based on different sensors

3.2.2 蒙洼蓄洪区水体变化统计分析

为了监测蒙洼蓄洪区水体的面积变化,本研究单独对蓄洪区范围内的水体进行统计。由于Sentinel-1、Sentinel-2及Landsat 8对水的表现力度不同,因此对于不同传感器提取的水体进行单独

分析。Landsat 8受限于时间跨度难以表现出蒙洼蓄洪区蓄洪前后水体变化。图8(a)、(b)分别统计基于Sentinel-1、Sentinel-2提取的蒙洼蓄洪区水体变化,其中灰色图框是基于Sentinel-1提取的蒙洼蓄洪区2020年5月(洪灾前)水体总面积为28 km²。I至III阶段水体面积变化趋势为先上升后下降(图8(a)),且II阶段水体面积到达最大值,即:7月31日水体面积达到323 km²,比洪水来之前的水体面积多出6倍;对Sentinel-2提取水体面积统计(图8(b)),4个阶段的水体面积变化趋势同样为先上升后下降,即7月8日蓄洪区的水体面积与洪灾前水体的面积近似,之后水体面积持续上升,到了8月1日蒙洼蓄洪区开始泄洪,水体面积持续降低,直至恢复至洪灾前的水平。因此,基于Sentinel-1和Sentinel-2提取的水体不同时间段的面积变化与蒙洼蓄洪区蓄洪和泄洪的日期一致。

3.3 夜间灯光指数与水体的综合分析

为了更加准确地了解夜间灯光与水体面积变化之间的关系,本研究选择既有夜间灯光数据且水体数据无缺失的日期,并对夜间灯光强度和水体面积进行相关性分析(图9)。统计发现夜间灯光强度与水体面积变化呈负相关,且均通过显著性检验。

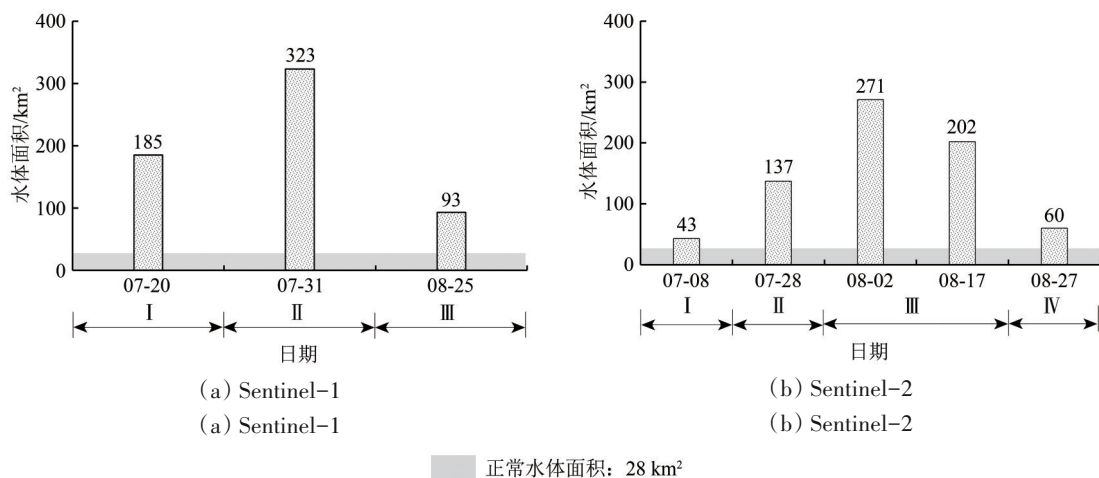


图8 蒙洼蓄洪区连续时间段内水体变化统计

Fig. 8 Statistics of water body changes in the Mengwa Flood Diversion Project during consecutive time periods

由于获取阜阳东部水体时间分布较密集,为了验证基于多源遥感影像对洪灾的监测和评估的能力,单独对阜阳东部的水体面积及夜间灯光指数之间的变化关系进行分析。

基于Sentinel-1和Sentinel-2两个传感器对阜阳东部长时间序列水体面积进行统计(图10)。其中灰色部分是基于Sentinel-1提取的阜阳东部洪灾前的水体面积,为237 km²。I至II阶段阜阳东部

水体面积逐渐增大,到了7月31日(Ⅱ阶段末)面积到达最大值,为818 km²,与洪灾前的面积相比,面积增加了2.5倍,之后,Ⅲ阶段水体面积有所减小;基于Sentinel-2获取的水体Ⅰ至Ⅲ阶段面积逐渐增大,Ⅳ阶段面积减小。

对阜阳东部、城乡区及非城乡的TNL指数及CNLI指数进行统计分析(图11)。阜阳东部及其非城乡地区的TNL指数变化趋势为先下降后上升,即Ⅰ至Ⅲ阶段指数持续减小,到了Ⅳ阶段指数增大。而城乡区Ⅰ至Ⅱ阶段指数减小,之后阶段指数恢复到Ⅰ阶段水平。阜阳东部及其城乡区和非城乡区的CNLI指数整体呈现出先下降后上升的趋势,而城乡区CNLI指数只有Ⅱ阶段处于低值,为0.003,

其余阶段无明显变化,其值在0.006之间轻微波动;非城乡地区CNLI指数的变化趋势为:Ⅰ至Ⅲ阶段指数逐渐减小,到了Ⅳ阶段指数增大。

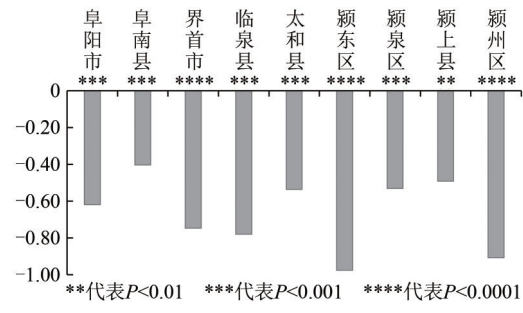


图9 阜阳夜间灯光强度和水体面积的相关性分析
Fig.9 Correlation analysis of night light intensity and water area in Fuyang

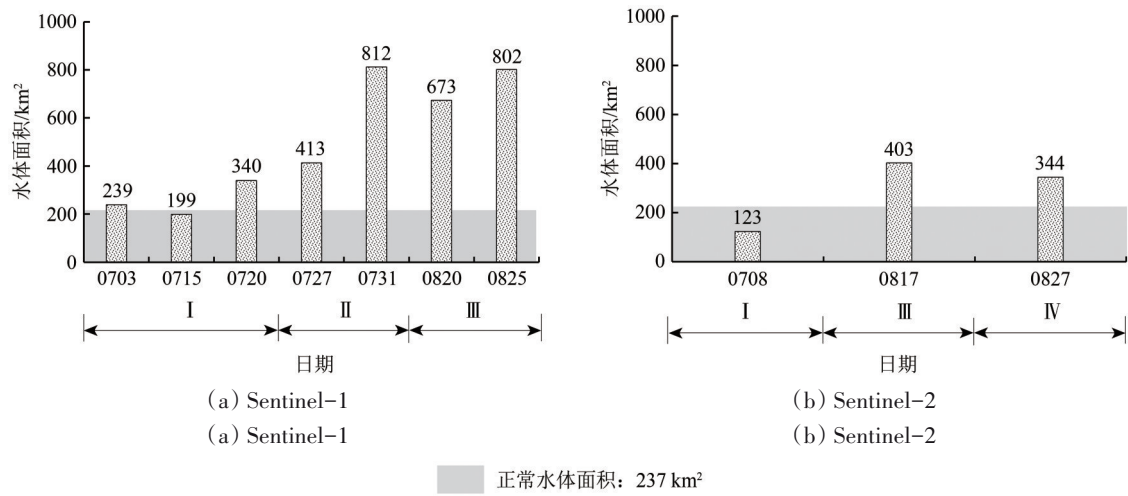


图10 阜阳东部连续时间段水体变化统计分析
Fig. 10 Statistical analysis of water body changes during consecutive periods in eastern Fuyang

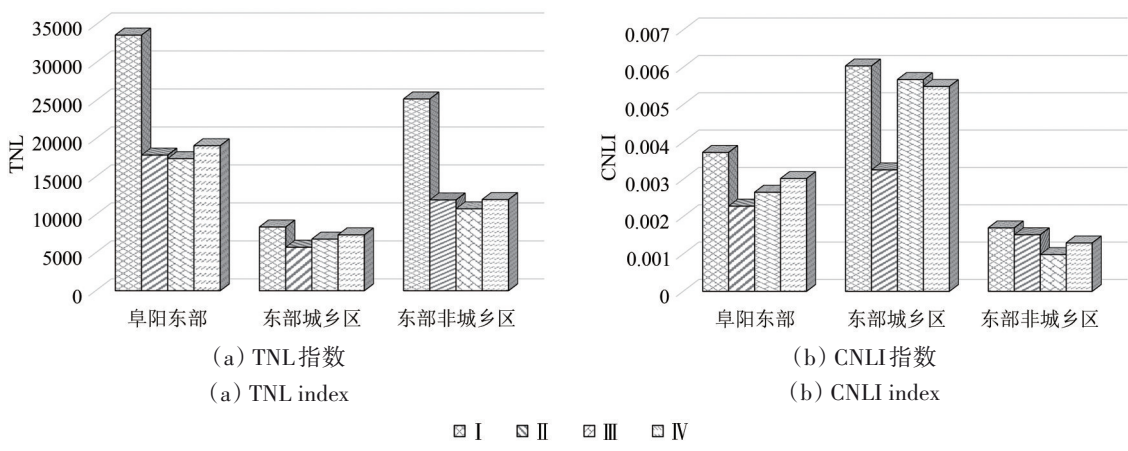


图11 阜阳东部4个时间段夜间灯光指数变化分析
Fig. 11 Analysis of night light index changes in four time periods in eastern Fuyang

通过对阜阳东部4个阶段长时间序列下水体面积变化及夜间灯光指数结合分析,可以发现两者

的变化趋势相悖,即夜间灯光指数变化为:Ⅰ阶段的指数处于较高值,到了Ⅱ、Ⅲ阶段指数处于

4个阶段的低值,之后到了IV阶段,指数有所增大;而水体面积变化趋势为:I至II阶段面积增大,III至IV阶段面积减小,充分说明了夜间灯光指数监测洪灾动态的可行性。

4 结 论

本研究基于夜间灯光数据、Sentinel-1、Sentinel-2以及Landsat 8卫星传感器的监测数据,并借助GEE平台提取阜阳7—8月较高时间精度的水体空间分布数据,并通过水体的空间分布变化发现7—8月阜阳南部水体面积变化明显,特别是蒙洼蓄洪区,水体面积变化趋势为先上升后下降;提取不同时间段水体的面积变化与蒙洼蓄洪区蓄洪和泄洪的日期一致。同时,洪灾影响人类活动,可表现为夜间灯光强度的降低。研究表明,NPP-VIIRS DNB的日数据可以用来评估洪水的影响。然而,单纯用夜间灯光数据评估洪灾目前还存在局限性:首先,洪灾总是伴随着强降雨和大量云层,这影响灯光强度变化;其次,暴风雨和洪水会导致地表反射率的变化,从而导致地表反射的光线减少。基于此,为了尽可能减少这些误差,本研究基于云分数据,对日NPP-VIIRS DNB数据进行处理,经过筛选及均值平滑等处理,最终获得4个时间段的4幅夜间灯光影像,并综合两个夜间灯光指数(TNL和CNLI)分析研究区夜间灯光指数变化趋势与水体面积的变化关系,发现两者的变化趋势相反,说明经过严格的夜间灯光数据处理之后,其也具备对洪灾进行监测及评估的能力。综上,本研究结合了Sentinel-1的雷达数据、Sentinel-2和Landsat 8以及夜间灯光的光学数据等多源遥感数据详细的监测了洪灾的变化过程。

洪灾是一个短时间内的变化过程,因此其对时间要求较高,而雷达数据具有较强的穿透能力,它不受云雨等天气的影响,并且具有高时空分辨率,普遍用在洪灾的监测,即便如此也可能缺失某一关键时间节点洪灾动态变化数据,且无法区分洪水退去后短时间内的潮湿土壤与水体的区别,因此本研究结合了光学影像对洪水的变化情况进行有效监测;与此同时,夜间灯光可以通过灯光强度的变化来反映洪水对人们活动的影响;此外,本研究发现灯光强度的变化与洪水变化具有较强的相关性,这也进一步证明了基于夜间灯光、光学影像和雷达影像等多源遥感数据具有监测洪灾

的能力。

针对当前频发的极端天气本研究旨在发现:对洪灾的有效监测就需要结合多个遥感影像分析,目前大多数研究仅考虑雷达影像对洪灾的监测,这会造成某一关键时间节点数据的缺失而对监测结果精度造成干扰。与此同时,不同遥感影像之间有各自的优缺点,多源数据结合分析提高了研究时间精度和变化结果的准确性。短期夜间灯光特别是每天夜间灯光的变化可以有效监测洪灾的快速变化过程,本研究采用的夜间灯光的空间分辨率为500 m,这主要是是由于洪水的覆盖面积较大,且洪灾造成的停电是大面积的,因此本研究并未对夜间灯光数据的分辨率进行进一步的优化。本研究主要对灾后评估提供意见,后续将进一步挖掘数据之间的融合及夜间灯光对洪水的评估能力,进一步结合多源数据优化精度并将研究区放在城市地区,分析郑州市区的2021年7.20洪水事件的影响,以期在时间和空间上提高对灾前、灾中及灾后的实时监测与评估的能力,为决策者和响应者提供支持。

参考文献(References)

- Boccardo P and Tonolo F G. 2015. Remote sensing role in emergency mapping for disaster response//Engineering Geology for Society and Territory-Volume 5. Switzerland: Springer: 17-24 [DOI: 10.1007/978-3-319-09048-1_3]
- Cao C Y, Shao X and Upreti S. 2013. Detecting light outages after severe storms using the S-NPP/VIIRS day/night band radiances. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 10(6): 1582-1586 [DOI: 10.1109/lgrs.2013.2262258]
- Feeny S, Trinh T A and De Silva A. 2022. Detecting disasters and disaster recovery in Southeast Asia: findings from space. Natural Hazards Review, 23(2): 04021065 [DOI: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000532]
- Feyisa G L, Meilby H, Fensholt R and Proud S R. 2014. Automated Water Extraction Index: a new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 140: 23-35 [DOI: 10.1016/j.rse.2013.08.029]
- Gao Y, Wang H, Wang P T, Sun X Y and Lü T T. 2013. Population spatial processing for Chinese coastal zones based on census and multiple night light data. Resources Science, 35(12): 2517-2523 (高义, 王辉, 王培涛, 孙晓宇, 吕婷婷. 2013. 基于人口普查与多源夜间灯光数据的海岸带人口空间化分析. 资源科学, 35(12):

- 2517-2523)
- Guo L, Shu Q Y and Li J. 2020. Flood disaster loss assessment based on NPP-VIIRS night lights. *Water Resources Development Research*, 20(2): 62-68 (郭磊, 舒全英, 李军. 2020. 基于NPP-VIIRS夜间灯光的洪水灾害损失评估. 水利发展研究, 20(2): 62-68) [DOI: 10.13928/j.cnki.wrdr.2020.02.014]
- Huang P, Xu X H and Li D L. 2018. Rapid extraction of water area in Poyang Lake based on Sentinel-1 satellite images. *Journal of Water Resources Research*, 7(5): 483-491 (黄萍, 许小华, 李德龙. 2018. 基于Sentinel-1卫星数据快速提取鄱阳湖水体面积. 水资源研究, 7(5): 483-491) [DOI: 10.12677/JWRR.2018.75054]
- Huang S E, Zhang Y Z and Gu X Q. 2003. Poyanghu flood disaster system study basing on remote sensing and geographical information system. *Jiangxi Meteorological Science & Technology*, 26(4): 44-46 (黄淑娥, 章毅之, 辜晓青. 2003. 基于遥感(RS)和地理信息系统(GIS)的鄱阳湖区洪涝灾害研究. 江西气象科技, 26(4): 44-46) [DOI: 10.3969/j.issn.1007-9033.2003.04.014]
- Kato S, Rose F G, Sun-Mack S, Miller W F, Chen Y, Rutan D A, Stephens G L, Loeb N G, Minnis P, Wielicki B A, Winker D M, Charlack T P, Stackhouse P W, Xu K M and Collins W D. 2011. Improvements of top-of-atmosphere and surface irradiance computations with CALIPSO-, CloudSat-, and MODIS-derived cloud and aerosol properties. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D19): D19209 [DOI: 10.1029/2011jd016050]
- Li F, Mi X N, Liu J and Liu X Y. 2016. Spatialization of GDP in Beijing using NPP-VIIRS data. *Remote Sensing for Land and Resources*, 28(3): 19-24 (李峰, 米晓楠, 刘军, 刘小阳. 2016. 基于NPP-VIIRS夜间灯光数据的北京市GDP空间化方法. 国土资源遥感, 28(3): 19-24) [DOI: 10.6046/gtzyyg.2016.03.04]
- Li F, Yan Q W, Zou Y J and Liu B L. 2021. Extraction accuracy of urban built-up area based on nighttime light data and POI: a case study of LuoJia 1-01 and NPP/VIIRS nighttime light images. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 46(6): 825-835 (厉飞, 闫庆武, 邹雅娟, 刘保丽. 2021. 利用夜间灯光POI的城市建成区提取精度研究——以珞珈一号01星和NPP/VIIRS夜间灯光影像为例. 武汉大学学报(信息科学版), 46(6): 825-835) [DOI: 10.13203/j.whugis.20190266]
- Li N, Cui Y P, Fu Y M, Liu X Y, Run Y D, Li M D, Chen L Y, Xia H M and Lu H L. 2021. Contribution of anthropogenic CO₂ in China to global radiative forcing and its offset by the ecosystem during 2000—2015. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1488(1): 56-66 [DOI: 10.1111/nyas.14505]
- Li X X, Ma X P, Liu A G and Zhu R. 2020. Variation of night light index based on NPP-VIIRS Data: a case study on the Xiahe M_s5.7 earthquake. *China Earthquake Engineering Journal*, 42(5): 1232-1235, 1269 (李晓雪, 马小平, 刘岸果, 朱瑞. 2020. 基于NPP-VIIRS数据的夜间灯光指数变化分析——以夏河M_s5.7地震为例. 地震工程学报, 42(5): 1232-1235, 1269) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.05.1232]
- Li Z Z, Qian C H and Sun C R. 2000. A preliminary analysis on the relationship between the cross-equatorial flow and the heavy rainfall over Yangtze and Huaihe river in 1991. *Acta Meteorologica Sinica*, 58(5): 628-636 (李曾中, 钱传海, 孙除荣. 2000. 1991年江淮暴雨与越赤道气流关系初步分析. 气象学报, 58(5): 628-636) [DOI: 10.11676/qxxb2000.064]
- Liu Q Y, Zhan Q M, Li J S, Yang C and Liu W. 2021. Extracting built-up areas using LuoJia-1A nighttime light imageries in Wuhan, China. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 46(1): 30-39 (刘权毅, 詹庆明, 李建松, 杨晨, 刘稳. 2021. 珞珈一号夜间灯光影像在建设用地区提取中的应用: 以武汉市为例. 武汉大学学报(信息科学版), 46(1): 30-39) [DOI: 10.13203/j.whugis.20190376]
- Liu Z F, He C Y, Zhang Q F, Huang Q X and Yang Y. 2012. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. *Landscape and Urban Planning*, 106(1): 62-72 [DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.02.013]
- Ma T, Zhou C H, Pei T, Haynie S and Fan J F. 2012. Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: a comparative case study from China's cities. *Remote Sensing of Environment*, 124: 99-107 [DOI: 10.1016/j.rse.2012.04.018]
- Martinis S, Plank S and Ćwik K. 2018. The use of Sentinel-1 time-series data to improve flood monitoring in arid areas. *Remote Sensing*, 10(4): 583 [DOI: 10.3390/rs10040583]
- Otsu N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1): 62-66 [DOI: 10.1109/tsmc.1979.4310076]
- Perilla G A and Mas J F. 2020. Google earth engine-GEE: a powerful tool linking the potential of massive data and the efficiency of cloud processing. *Investigaciones Geográficas*, 101: e59929 [DOI: 10.14350/rig.59929]
- Shi K F, Yu B L, Huang Y X, Hu Y J, Yin B, Chen Z Q, Chen L J and Wu J P. 2014. Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: a comparison with DMSP-OLS data. *Remote Sensing*, 6(2): 1705-1724 [DOI: 10.3390/rs6021705]
- Shikwambana L. 2021. Emissions of toxic gases and aerosols in southern Africa observed during the 2019 JJASO period. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 14(4): 481-490 [DOI: 10.1007/s11869-

- 020-00952-1]
- Sihler H, Wagner T, Beirle S, Grzegorski M, Hörmann C, Lang R, Lampel J and Penning de Vries M. 2017. Accurately retrieving effective cloud fractions and effective cloud height from GOME-2 and OMI measurements for the verification of Sentinel 5(P) algorithms//EGU General Assembly Conference Abstracts. [s.l.]: EGU
- Skoufias E, Strobl E and Tveit T B. 2020. Flood and tsunami damage indices based on remotely sensed data: an application to Indonesia. *Natural Hazards Review*, 21(4): 04020042 [DOI: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000325]
- Su Y L. 2018. Research on Multi-Source Satellite Remote Sensing Monitoring Method of Cultivated Land Rainstorm and Flood Disaster. Xian: Xi'an University of Science and Technology (苏亚丽 . 2018. 耕地暴雨洪水灾害多源卫星遥感监测方法研究. 西安: 西安科技大学)
- Sun Y Y, Huang S F, Li J R, Li X T, Ma J W and Qu W. 2017. The downstream flood monitoring application of Myanmar Irrawaddy River based on Sentinel-1A SAR. *Remote Sensing Technology and Application*, 32(2): 282-288 (孙亚勇, 黄诗峰, 李纪人, 李小涛, 马建威, 曲伟. 2017. Sentinel-1A SAR数据在缅甸伊洛瓦底江下游区洪水监测中的应用. 遥感技术与应用, 32(2): 282-288) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2017.2.0282]
- Van Westen C J. 2013. Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management//Treatise on Geomorphology. San Diego: Academic Press, 3: 259-298 [DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00051-8]
- Wang D Z, Wang S M and Huang C. 2019. Comparison of Sentinel-2 imagery with Landsat8 imagery for surface water extraction using four common water indexes. *Remote Sensing for Land and Resources*, 31(3): 157-165 (王大钊, 王思梦, 黄昌. 2019. Sentinel-2和Landsat8影像的四种常用水体指数地表水体提取对比. 国土资源遥感, 31(3): 157-165) [DOI: 10.6046/gtzyyg.2019.03.20]
- Wang L and Duan H C. 2008. Application of Otsu' method in multi-threshold image segmentation. *Computer Engineering and Design*, 29(11): 2844-2845, 2972 (王磊, 段会川. 2008. Otsu方法在多阈值图像分割中的应用. 计算机工程与设计, 29(11): 2844-2845, 2972) [DOI: 10.16208/j.issn1000-7024.2008.11.030]
- Wang X R. 2021. Rapid Assessment of Natural Disaster Impact based on NPP-VIIRS Nighttime Remote Sensing Data. Xiamen: Xiamen University of Technology (王晓荣. 2021. 基于NPP-VIIRS夜光遥感数据的自然灾害影响快速评估. 厦门: 厦门理工学院)
- Washaya P. 2018. Using Coherence Change-Detection with Sentinel-1 for Natural and Man-Made Disaster Monitoring in Urban Areas. Wuhan: Wuhan University (Washaya P. 2018. 使用 Sentinel-1 的相干变化检测技术实现城市地区的自然灾害和人为灾害监测. 武汉: 武汉大学)
- Wu X Y, Wang X Q, Ding L, Dou A X and Chen Z H. 2020. Monitoring and assessment of dam break flood disaster in Laos based on SAR images. *Journal of Catastrophology*, 35(1): 211-215 (吴效勇, 王晓青, 丁玲, 窦爱霞, 陈子翰. 2020. 基于光学与SAR影像的老挝溃坝洪涝灾害监测与评估. 灾害学, 35(1): 211-215) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.039]
- Xia H M, Zhao J Y, Qin Y C, Yang J, Cui Y P, Song H Q, Ma L Q, Jin N and Meng Q M. 2019. Changes in water surface area during 1989-2017 in the Huai River Basin using Landsat data and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(15): 1824 [DOI: 10.3390/rs11151824]
- Xu H Q. 2005. A study on information extraction of water body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*, 9(5): 589-595 (徐涵秋. 2005. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. 遥感学报, 9(5): 589-595) [DOI: 10.11834/jrs.20050586]
- Yang K, Yang J B and Jang B R. 2015. Sentinel-1 satellite overview. *Urban Geotechnical Investigation and Surveying*, (2): 24-27 (杨魁, 杨建兵, 江冰茹. 2015. Sentinel-1 卫星综述. 城市勘测, (2): 24-27) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-8262.2015.02.006]
- Zeng L F, Li L and Wan L H. 2015. SAR-based fast flood mapping using Sentinel-1 imagery. *Geomatics World*, 22(5): 100-103, 107 (曾玲方, 李霖, 万丽华. 2015. 基于 Sentinel-1 卫星 SAR 数据的洪水淹没范围快速提取. 地理信息世界, 22(5): 100-103, 107) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-1586.2015.05.020]
- Zhan N Y. 2020. Research on Remote Sensing Monitoring and Evaluation of "Typhoon-Heavy Rain" Flood Disaster. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China (湛南渝. 2020. "台风—暴雨"洪涝灾害遥感监测与评估研究. 成都: 电子科技大学) [DOI: 10.27005/d.cnki.gdzku.2020.001035]
- Zhang B J. 2018. Analysis of the inter-annual variation of nighttime lights in the most affected area of Wenchuan earthquake from 2003 to 2013. *Journal of Catastrophology*, 33(1): 12-18, 22 (张宝军. 2018. 2003-2013年汶川地震极重灾区夜间灯光年际变化分析. 灾害学, 33(1): 12-18, 22) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.01.003]
- Zhao X Z, Yu B L, Liu Y, Yao S J, Lian T, Chen L J, Yang C S, Chen Z Q and Wu J P. 2018. NPP-VIIRS DNB daily data in natural disaster assessment: evidence from selected case studies. *Remote Sensing*, 10(10): 1526 [DOI: 10.3390/rs10101526]
- Zhao X Z. 2019. The Assessment of the Correlation between Poverty and Natural Disasters based on Multi-Source Data. Shanghai: East China Normal University (赵习枝. 2019. 基于多源数据的贫困度与自然灾害相关性评估. 上海: 华东师范大学)

Monitoring of floods using multi-source remote sensing images on the GEE platform

LIU Xiaoyan^{1,2,3}, CUI Yaoping^{1,2,3}, SHI Zhifang^{1,3}, FU Yiming⁴, RUN Yadi^{1,3}, LI Mengdi^{1,3},
LI Nan^{1,3}, LIU Sujie⁵

1. Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Henan University,
Kaifeng 475004, China;

2. Key Laboratory of Integrative Prevention of Air Pollution and Ecological Security of Henan province, Kaifeng 475004, China;

3. School of Geography and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475004, China;

4. Institute of Geology and Exploration, Henan Geology and Exploration Bureau, Zhengzhou 450001, China;

5. Henan Institute of Geophysics and Spatial Information, Zhengzhou 450009, China

Abstract: Limited by the weather during floods, the remote sensing data used for flood assessments are mostly radar images or aerial data, and the role of numerous night lights and optical image data in flood assessments needs to be further explored. This paper took Fuyang from July to August as the research area, based on the monitoring data of Sentinel-1, Sentinel-2, and Landsat 8 and extracted water body information with the help of Google Earth Engine. This paper used night light data (NPP-VIIRS DNB) to establish the total night-time light (TNL) and compounded night light (CNLI) to explore the relationship between water changes and night lights to monitor and evaluate the effect of floods. Results showed the following: (1) The distribution of water bodies in the southern part of Fuyang changed remarkably from July to August, especially the water bodies in the Mengwa Flood Diversion Project increased substantially. On July 31, the water body area reached the maximum of 323 km², which was six times larger than the water body area before the flood, and then the coverage of water bodies was declining. This trend corresponded to the time of flood storage and discharge of Wangjiaba gate. (2) The combined analysis of Fuyang night light index TNL index and CNLI index found the change trend of the light index was opposite to that of the water body, indicating the night light index can effectively reflect the changing of flood disasters. (3) Analyzing the water body and night light index of eastern Fuyang with relatively complete data further showed night light and water body data can be used to monitor floods. This paper expanded the application range of night light data and optical images and confirmed that after rigorous data processing, multisource remote sensing data such as radar image based on Sentinel-1, optical image based on Sentinel-2, and Landsat 8 can effectively monitor the change of flood disaster and play an important role in flood monitoring in the future.

Key words: Google Earth Engine (GEE), night lights, multi-source remote sensing, flood disaster, Sentinel, NPP-VIIRS DNB, Landsat

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 42071415)