

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2022.04.007

基于多源遥感数据的蓄洪区洪涝遥感监测与分析

朱 辉¹,何祺胜¹,李金阳¹,陈 丽²

(1. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2. 江苏省水利科学研究院,江苏 南京 210017)

摘要:为科学治理蓄洪区洪涝灾害、有效降低经济损失,以安徽省蒙洼蓄洪区作为研究区域,选择哨兵一号、二号和高分系列卫星影像作为数据源,采用区域生长法快速提取洪水淹没范围,绘制洪涝灾害前后的水体变化监测图,并结合蒙洼蓄洪区的土地利用类型分布图,利用 GIS 技术分析 2020 年 7—8 月洪涝期间蒙洼蓄洪区各土地利用类型受灾情况以及总区域受灾情况的时空变化特征。结果表明:区域生长法结合多源卫星遥感数据,可以快速准确地提取洪涝灾害范围,实现洪涝灾害信息的时效性和高频次监测;蒙洼蓄洪区的重度受灾区域主要集中在中部和东北部地区,西南部地区受灾程度较轻,农田和养殖塘受灾程度最为严重,保庄圩和庄台受灾程度最轻;蒙洼蓄洪区受灾面积的时间变化与蓄洪措施具有很强的相关性,而与当地降水情况的相关性较弱。

关键词:洪涝灾害;区域生长法;土地利用;动态监测;蒙洼蓄洪区;安徽省

中图分类号:P237 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2022)04-0050-08

Remote sensing monitoring and analysis of flood in flood storage area based on multi-source remote sensing data

ZHU Hui¹, HE Qisheng¹, LI Jinyang¹, CHEN Li²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China)

Abstract: To scientifically control the flood disaster and effectively reduce economic losses in the flood storage area, taking the Mengwa flood storage area in Anhui Province as the research area, the satellite images of Sentinel 1, 2 and Gaofen series were selected as the data sources. The flood submerged area was extracted rapidly by using the region growing algorithm, and the detection maps of water body's changes during flood periods were plotted. Combined with the land-use type coverage map of Mengwa flood storage area, this study analyzed the spatiotemporal change characteristics of the disaster situation of various land-use types and the total regional disaster situation during July and August 2020 with the GIS technology in the Mengwa flood storage area. The results show that the region growing algorithm combined with multi-source remote sensing data can extract the flood area quickly and accurately, and realize the timeliness and high-frequency monitoring of flood information. In the Mengwa flood storage area, the severe disaster areas were mainly concentrated in the central and northeast regions, while the southwest areas were less affected. Farmland and aquaculture ponds were the most seriously affected, while Baozhuangwei and Zhuangtai were the least affected. There is a strong correlation between the time change of disaster area and flood storage measures, but weak correlation with the local precipitation.

Key words: flood disaster; region growing algorithm; land-use; dynamic monitoring; Mengwa flood storage area; Anhui Province

我国地域辽阔、自然地理和气候条件复杂、各地自然灾害频繁发生,并且在全球变暖以及人为干扰的影响下,极端降水频发^[1],导致洪涝灾害的发生。洪涝灾害被认为是最具破坏性、最广泛和最频繁的危害之一^[2-3],是自然灾害链中造成巨大损失的重要一环^[4-6],已成为制约经济社会持续健康发展的突出瓶颈^[7]。为了科学有效地应对洪涝灾害,降低灾害造成的经济财产损失,快速准确地提取洪涝灾害范围,尤其是近实时、高频次的洪涝动态监测制图,以及灾后对洪涝灾害受灾区域的时空变化特征进行详细准确的分析至关重要。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFE0128500);中央高校基本科研业务费专项(B200204005)

作者简介: 朱辉(1997—),男,硕士研究生,主要从事水文遥感研究。E-mail: 191309010017@hhu.edu.cn

通信作者: 何祺胜(1981—),男,副教授,博士,主要从事水文遥感、地表参数反演等研究。E-mail: heqis@hhu.edu.cn

引用本文: 朱辉,何祺胜,李金阳,等. 基于多源遥感数据的蓄洪区洪涝遥感监测与分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2022,50(4):50-57.
ZHU Hui, HE Qisheng, LI Jinyang, et al. Remote sensing monitoring and analysis of flood in flood storage area based on multi-source remote sensing data[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2022, 50(4): 50-57.

要,是洪涝灾害治理领域研究的重要内容。

由于遥感技术的时效性和低成本性,卫星数据在洪涝灾害淹没范围提取中发挥了重要的作用^[8-11]。汤玲英等^[12]基于 Sentinel-1A SAR 数据,采用面向对象的方法提取广西壮族自治区桂林市临桂县会仙岩溶湿地区域的洪涝灾害淹没范围,绘制灾前、灾中、灾后水体变化监测图。苏亚丽等^[13]利用多源卫星遥感数据,采用一种基于 NDVI 变化特征值的方法对安徽省巢湖地区进行洪涝灾害动态信息的提取。Liu 等^[14]采用时空上下文学习的方法和 Modest AdaBoost 分类器,实现了在 HJ-1A 和 GF-4 影像上提取洪涝范围。Wan 等^[15]根据 SAR 影像,采用结合阈值自动选择、面向像元和面向对象分类以及双向区域增长的一种洪水自动提取混合方法对吉林省的洪涝灾害淹没范围进行提取。Abdelhakim 等^[16]采用 SAR 和 sentinel-2 训练监督分类器,实现洪水范围的自动提取。Son 等^[17]利用含水率模型(WFM),在 MODIS 影像中提取越南南方的洪涝灾害动态淹没范围。Xie 等^[18]引入大津算法,实现基于 Landsat 8 影像的洪水无监督自动提取。高伟等^[19]利用 MODIS 数据和达特茅斯洪水数据库,通过数据协同的方法对举水流域洪水范围进行时间序列分析。李思慧^[20]基于 GF-1 和 MODIS 遥感数据,结合地面气象观测数据和基础地理信息数据,对通辽市洪水范围进行提取及分析。上述研究注重于洪涝灾害信息提取的精确性,在洪涝灾害信息的时效性和高频次方面有所欠缺,而时效性和高频次对于快速制定响应计划和减小损失非常重要。在时效性方面,需要考虑信息提取方法的效率问题;在高频次方面,由于卫星的重访周期以及洪涝灾害期间云量较大,光学影像质量差,需要考虑数据源的选取问题。

蓄滞洪区是指河堤外洪水临时贮存的低洼地区及湖泊等,包括行洪区、分洪区、蓄洪区和滞洪区,是流域防洪工程体系中的重要组成部分,是减轻灾害损失、保障人民生命财产安全的重大工程。如鄱阳湖区设有康山、珠湖、黄湖、方洲斜塘 4 座蓄滞洪区,极大地提升了鄱阳湖区防洪体系的灾害防御能力^[21];大名泛区是承担着漳卫河系滞沥和漳河超量洪水分洪任务的蓄滞洪区^[22];位于安徽省阜阳市的蒙洼蓄洪区是淮河流域极其重要的防汛工程,从 1954—2020 年期间已开闸蓄洪 16 次,在淮河流域抗洪救灾中具有不可替代的地位。开闸蓄洪对蒙洼蓄洪区造成相当大的经济损失,据统计,2003 年蒙洼蓄洪区开闸蓄洪直接经济损失达 3.8 亿元,2007 年直接经济损失达 6 亿元,2020 年 7—8 月直接经济损失达 6.7 亿元。

基于此,本文借助遥感和 GIS 技术,以蒙洼蓄洪区为研究区,选取哨兵一号、二号和高分系列卫星影像作为数据源,采用区域生长算法对覆盖研究区的 9 景高质量遥感影像进行洪涝信息快速提取,分析洪涝期间蒙洼蓄洪区受灾区域的时空变化,并结合研究区的土地利用类型覆盖图,分析蒙洼蓄洪区各土地利用类型受灾情况的时空变化,以期蓄洪期间减灾救灾、降低蒙洼蓄洪区经济损失等提供参考。

1 研究区概况

蒙洼蓄洪区位于安徽省阜阳市阜南县境内(115°35′20″E ~ 115°56′38″E、32°25′1″N ~ 32°36′47″N),淮河干流洪河口至南照集间,南临淮河,北临蒙河分洪道,汛期四面环水^[23]。蒙洼蓄洪区东西长约 40 km,南北宽 2 ~ 10 km,呈西南—东北走向的狭长地带,地势由上游王家坝向下游曹台孜倾斜,由淮堤渐向蒙河分洪道倾斜^[24]。其总面积约 180.4 km²,设计蓄洪量 7.5 亿 m³,涉及 4 个乡镇,75 个行政村、131 座庄台、17 万余人,耕地面积约 13 160 hm²。图 1 为研究区 Landsat 8 OLI 7、3、2 波段遥感影像。

2020 年 7 月 20 日,由于淮河上游汛情紧张,王家坝闸开闸蓄洪,蒙洼蓄洪区第 16 次启用。7 月 23 日,王家坝闸关闸。8 月 1 日,经过 12 d 的蓄滞洪后,蒙洼蓄洪区退水闸正式开闸退水。

2 研究数据与研究方法

2.1 数据源

选取灾前、灾中质量较高的哨兵一号(Sentinel-1A)、二号(Sentinel-2A)数据和高分系列卫星(GF-1、GF-3

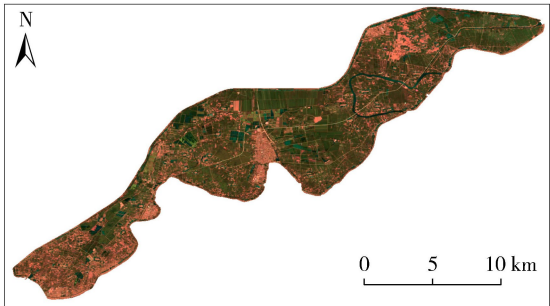


图 1 蒙洼蓄洪区 Landsat 8 OLI 遥感影像(7、3、2 波段)
Fig. 1 Landsat 8 OLI remote sensing image of Mengwa flood storage area (7, 3 and 2 bands)

和 GF-4)2020 年 7—8 月数据进行洪涝灾害淹没范围的提取,包括 7 月 8 日(灾前)、7 月 20 日、7 月 21 日、7 月 26 日、8 月 1 日、8 月 4 日、8 月 17 日、8 月 18 日和 8 月 24 日的影像,各影像数据的成像时间及级别见表 1,其他辅助数据包括 Google 高分辨率影像和研究区矢量边界。

Sentinel-1A 卫星于 2014 年 4 月 3 日发射,是欧洲空间局哥白尼计划发射的首颗环境监测卫星,在近极地太阳同步轨道上运行,轨道高度约 700 km,重访周期为 12 d。它搭载一台 C 波段合成孔径雷达,成像系统采用 4 种成像模式,分别为 WV(wave mode)、EW(extra-wide swath mode)、IW(interferometric wide swath)和 SW(strip map mode),极化方式为 VV/VH,其中 WV 模式为单极化成像,EW、IW 和 SW 模式均分为单极化和双极化成像。

Sentinel-2A 卫星是 2015 年发射的一颗新星高分辨率多光谱成像卫星,在可见光、近红外(VNIR)和短波红外(SWIR)光谱波段上设置有 13 个光谱波段(4 个 10 m 波段,6 个 20 m 波段,3 个 60 m 波段),主要用于陆地植被、土壤及水资源等在内的全球陆地观测^[25]。Sentinel-2A 卫星搭载一台多光谱成像仪,幅宽为 290 km,辐射分辨率为 12 bit,是第一个包含 3 条红边波段的陆地观测光学卫星。

GF-1 卫星是 2013 年发射的我国第一颗高分辨率对地观测卫星,搭载了 2 台高分辨率相机,分别是 1 台 2 m 空间分辨率的全色相机、1 台 8 m 空间分辨率的多光谱相机,以及 4 台 16 m 空间分辨率的中低分辨率多光谱宽幅相机。全色相机的重访周期为 4 d,多光谱相机的重访周期为 2 d,其中全色相机的波长范围为 0.45~0.90 μm,包含蓝色波段(0.45~0.52 μm)、绿色波段(0.52~0.59 μm)、红色波段(0.63~0.69 μm)和近红外波段(0.77~0.89 μm),幅宽大于 60 km;多光谱宽幅相机幅宽大于 800 km,因此 GF-1 影像具有探测范围大、空间分辨率高的优点。

GF-3 卫星是我国于 2016 年 8 月 10 日发射的首颗全极化雷达卫星,轨道高度为 755 km,轨道类型为太阳同步回归晨昏轨道,天线类型为波导缝隙相控阵,重访周期为 2~3 d^[26]。GF-3 卫星具有 12 种常规成像工作模式,4 种在轨试验工作模式,分辨率为 1~500 m,成像幅宽 10~650 km,具有单极化、双极化、全极化成像能力,最长单次成像时间 50 min。

GF-4 卫星是我国于 2015 年 12 月 29 日发射的第一颗地球同步轨道对地观测遥感卫星,搭载了一台可见光和近红外 50 m/中波红外 400 m 分辨率、幅宽大于 400 km 的凝视相机,通过面阵凝视方式成像,具备可见光、近红外和中红外同时成像的能力^[27]。

2.2 数据预处理

Sentinel-1 GRD 产品是经过多视和地理编码矫正处理的 SAR 数据,无需进行地理配准。使用欧洲航天局(European Space Agency)研发的 SNAP(Sentinel Application Platform)软件对其进行预处理,主要流程包括辐射校正、几何地形校正、去除噪声和后向散射系数影像转换,并重采样为 30 m 分辨率。

Sentinel-2 L1C 产品是已经过系统几何精校正的光学影像,无需再进行几何精校正。使用 SNAP 软件对其进行预处理,调用 SNAP 软件的 Sen2Cor 模块进行大气校正,然后对校正好的数据进行重采样。

GF-1 和 GF-4 影像属于光学影像,以 Sentinel-2 为基准进行几何校正,误差控制在 1 个像素以内。GF-3 影像属于雷达影像,使用航天宏图信息技术股份有限公司研发的 PIE-SAR(Pixel Information Expert for SAR)软件进行预处理,主要流程包括辐射定标、极化滤波、正射校正和地理编码,最后利用 ArcMap 将影像重采样为 30 m 分辨率。

2.3 土地利用分类

为了得到蒙洼蓄洪区土地利用类型分布图,用于分析研究区内各土地利用类型受灾情况及其时空变化特征,同时考虑到蒙洼蓄洪区面积较小,人类活动因素对其土地利用类型分布影响较大,故基于谷歌地球引擎(Google Earth Engine)云平台,参照 2020 年 4 月的 Google 影像进行目视解译,以确保解译结果的准确性。蒙洼蓄洪区的土地利用类型分为农田、养殖塘、庄台、保庄圩、河流、道路和其他,其土地利用类型分布图如图 2 所示。

表 1 遥感卫星 2020 年 7—8 月数据信息

Table 1 Data information of remote sensing satellite during July and August, 2020

卫星	成像时间	产品级别
Sentinel-1A	07 月 08 日	GRD
	08 月 01 日	
Sentinel-2A	08 月 17 日	Level-1C
GF-1	08 月 04 日	1A 级
	08 月 24 日	
GF-3	07 月 20 日	1A 级
	07 月 21 日	
	07 月 26 日	
GF-4	08 月 18 日	1A 级

2.4 水体提取

利用遥感技术获取大范围水体的空间信息具有很大的优势,目前水体提取较为常用的方法主要有单波段阈值法、水体指数法、谱间关系法、监督分类法以及区域生长法。

①单波段阈值法是利用水体在近红外波段反射率较低、易与其他地物区分的特点,根据确定的分类阈值进行水体提取^[28]。②水体指数法是根据水体和其他地物类型的光谱特征,选取相应波段进行代数运算,从而在影像上突出水体信息,通过阈值分析提取水体。该方法常用的水体指数有归一化差异水体指数 (NDWI)、改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 和修订型归一化差异水体指数 (RNDWI) 等。③谱间关系法是通过分析地物的光谱曲线特征,利用逻辑判别运算进行水体提取^[29]。上述 3 种方法操作流程简单,但易受到阴影、建筑物等地物的影响,且水体指数法和谱间关系法不能用于雷达影像。④监督分类法是根据选取的训练区样本,建立和训练分类器,利用分类器进行图像分类。该方法虽然精度较高,但需要选取样本,耗时过长,且同样不能用于雷达影像。⑤区域生长法是目前应用较为广泛的图像分割方法之一,思路简单,只需提供若干种子点即可完成,能够提供良好的边界信息,产生较好的分割结果及较快的分割速度^[30-31]。该方法侧重于集中连片水体的提取,适合洪涝水体这类大范围水体的快速提取^[32]。

本文选择区域生长法进行水体提取。区域生长法适合于光学和雷达影像,其基本思想是根据事先定义的准则将像素点聚合在一起,即以一组种子点作为生长的起点,根据定义的准则,将种子点周围的像素点与种子点进行对比,合并具有相似性质 (光谱特征或纹理特征等) 的像素点,并继续向外生长,直到没有满足同质准则的相邻像素点为止,然后进行区域合并以减少区域的数量^[33]。

选择合适的种子点是区域生长法水体提取精度的关键因素,合适的种子点应该符合以下条件:①必须位于水体之内,最好位于水体的中央区域;②应选择在水体区域内,并且种子点的像素值在该区域内具有一定的代表性,否则会导致聚类结果的区域过小,影响水体提取的效率。若影像上水体区域的光谱反射或后向散射不均匀,需要将影像进行分块后再进行水体提取。

合适的阈值是水体提取的另一关键因素。区域生长法的阈值代表在同一景影像中用于判别像素点是否同质的光谱信息或后向散射信息的差值。阈值过小将导致聚类结果的区域太小,影响水体提取的效率;阈值过大将导致其他地物被划分在水体之中,降低水体提取的精度。图 3(a) ~ (c) 分别为基于 2020 年 8 月 1 日

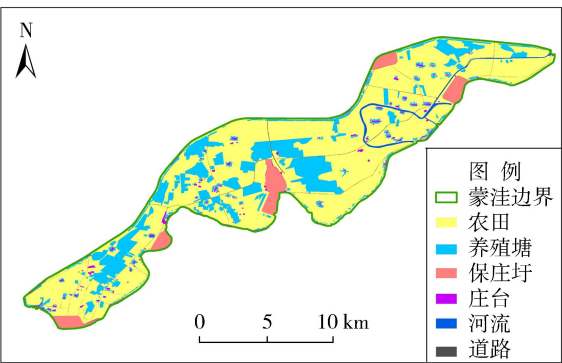


图 2 蒙洼蓄洪区土地利用类型

Fig. 2 Land-use type of Mengwa flood storage area

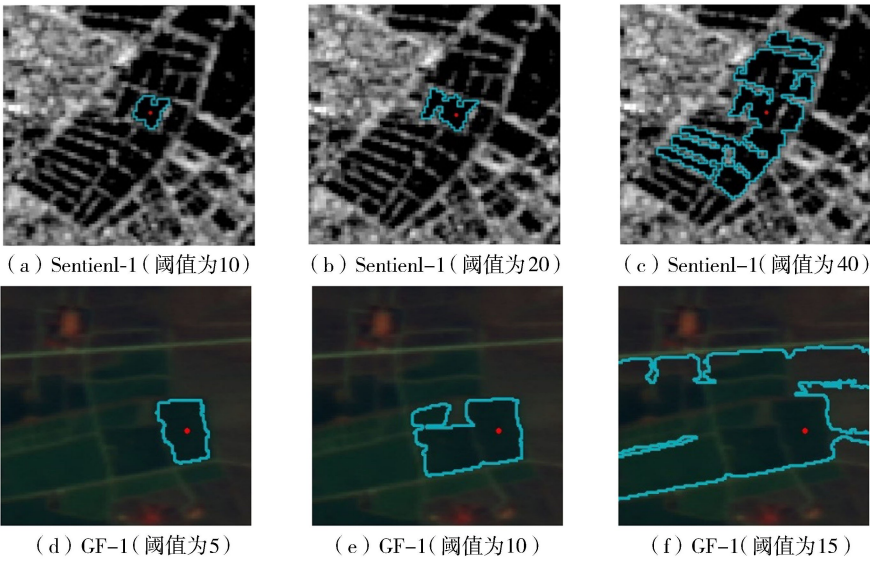


图 3 区域生长法水体提取结果

Fig. 3 Water extraction results of region growing algorithm

Sentinel-1 雷达影像,选择同一种子点(红色点),阈值设为 10、20 和 40 时,区域生长法提取的水体(图中蓝色边框),图 3(d)(e)分别为基于 2020 年 8 月 4 日 GF-1 光学影像,选择同一种子点,阈值设为 5、10 和 15 时,区域生长法提取的水体。由图 3(a)~(c)可以看出,对于 Sentienl-1 影像,20 是水体提取较为合适的阈值,阈值为 10 时聚类结果的区域偏小,阈值为 40 时其他地物被划分在水体之中,提取精度不高;而对于图 3(d)(e)的 GF-1 影像,10 是较为合适的阈值。

采用区域生长法初步提取水体之后,参照对应影像,通过目视解译进行验证,并使用 ArcGIS 软件对提取的水体进行人工修改,得到高精度的水体矢量数据。

3 结果与分析

3.1 水体提取结果

采用区域生长法提取水体,并结合目视解译进行人工修改,得到研究区的水体分布数据。图 4(a)~(j)分别为蒙洼蓄洪区 2020 年 7 月 8 日、7 月 20 日、7 月 21 日、7 月 23 日、7 月 26 日、8 月 1 日、8 月 4 日、8 月 17 日、8 月 18 日和 8 月 24 日的水体范围。其中 7 月 23 日缺少高质量的遥感影像提取水体,但由于该日王家坝闸关闸,理论上 7 月 23 日是受灾最严重的一天,因此根据 7 月 21 日和 26 日的水体,使用 ArcGIS 进行叠加操作,以此作为 7 月 23 日当天的水体。

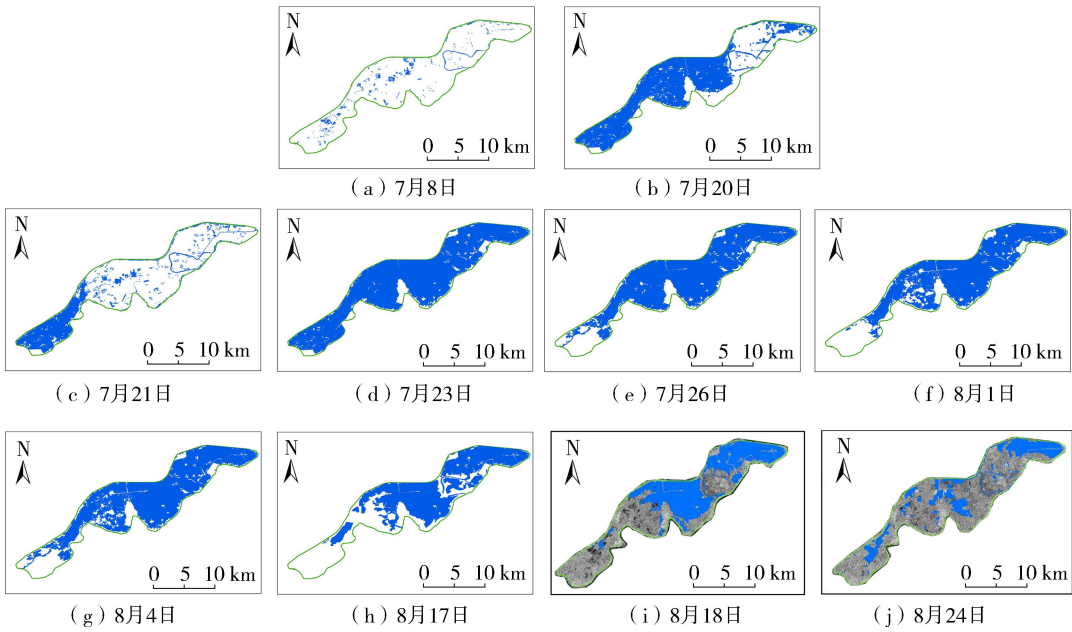


图 4 蒙洼蓄洪区水体提取分布

Fig. 4 Extraction distribution of water body in Mengwa flood storage area

3.2 受灾区域的空间变化特征

根据提取的蒙洼蓄洪区水体分布数据,分析受灾区域的空间变化特征。使用 ArcGIS 软件的空间分析模块,对除 7 月 8 日(灾前)外的所有水体矢量数据进行空间分析,得到蒙洼蓄洪区各个区域淹没持续时间分布图,以此判断各个区域的受灾程度。蒙洼蓄洪区淹没持续时间分布如图 5 所示。

根据研究区的最大淹没历时,设淹没历时大于 20 d 的区域为重度受灾区,5~20 d 为中度受灾区,小于 5 d 为轻度受灾区。从图 5 可以看出,蒙洼蓄洪区中部和东北部地区受灾情况较为严重,淹没历时均达 20 d 以上,为重度受灾区;轻度受灾区和中度受灾区大部分位于蒙洼蓄洪区的西南部地区;无受灾区,即未淹没的区域,大部分分布在蒙洼蓄洪区的圈堤附近,少

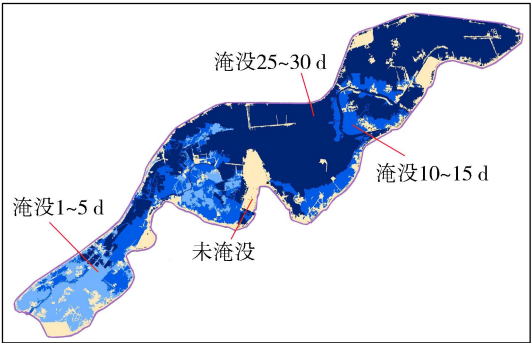


图 5 蒙洼蓄洪区淹没时间分布

Fig. 5 Distribution of inundation time in Mengwa flood storage area

部分分布比较广泛,无规律。

结合蒙洼蓄洪区的地域特征和土地利用类型分布图,分析蓄洪区受灾区域空间变化特征的原因:①蒙洼蓄洪区的地势由上游王家坝向下游曹台孜倾斜,西南高,东北低,蓄洪期间洪水汇聚在地势低的区域,因此蓄洪区轻度受灾区和中度受灾区大部分位于西南部,重度受灾区位于中部和东北部;②保庄圩是由新建圩堤和淮师大堤连接起来形成的圩区,庄台是截面为正梯形的土台,地势较高,皆可有效预防洪涝灾害。无受灾区的地理位置与蓄洪区内的保庄圩和庄台的分布基本一致,因此蒙洼蓄洪区内的无受灾区基本是保庄圩和庄台。

3.3 受灾区域的时间变化特征

根据提取的蒙洼蓄洪区水体分布数据,统计出蒙洼蓄洪区 2020 年 7 月 20 日、7 月 21 日、7 月 23 日、7 月 26 日、8 月 1 日、8 月 4 日、8 月 17 日、8 月 18 日和 8 月 24 日的淹没面积分别为 38.08 km²、102.33 km²、150.29 km²、133.09 km²、125.02 km²、119.61 km²、91.80 km²、76.99 km²和 40.14 km²。可以看出,受灾期间以 7 月 23 日的淹没面积最大,20 日水体面积最小;23 日之前淹没面积呈上升趋势,23 日之后呈下降趋势。

综上,总结研究区受灾区域时间变化特征为:①7 月 20 日,西南部最先受灾,并逐渐向东北部延伸,淹没面积增长明显,至 7 月 23 日达到最大值;②7 月 26 日,西南部开始退洪,总体淹没面积逐渐下降,下降趋势不大;③8 月 4 日开始,淹没面积明显下降,至 8 月 18 日,淹没面积下降至最大淹没面积的一半以下。

蒙洼蓄洪区启用各措施的时间是 7 月 20 日开始蓄洪,23 日王家坝闸关闸、8 月 1 日开始退洪,上述淹没面积时间变化特征与蒙洼蓄洪区开展蓄洪措施的时间基本吻合。

3.4 各土地利用类型受灾情况的时空变化特征

根据图 2,使用 ArcGIS 计算出各土地利用类型的面积为:农田 120.7 km²,养殖塘 37.7 km²,保庄圩 9.6 km²,庄台 5.7 km²,河流 2.1 km²,道路 1.4 km²,其他 6.1 km²。可以看出,农田是蒙洼蓄洪区面积最大的土地利用类型,养殖塘其次,而其余土地利用类型的面积相对于农田和养殖塘都较小,蓄洪前后其受灾面积不会发生明显变化。此外,农田和养殖塘是蒙洼蓄洪区的主要经济来源,其洪涝灾害受灾情况与造成的经济损失密切相关,而保庄圩和庄台不会受洪涝灾害的影响,因此主要分析农田和养殖塘这两种土地利用类型的淹没面积时间变化。

表 2 为 2020 年 7 月 8 日、7 月 20 日、7 月 21 日、7 月 23 日、7 月 26 日、8 月 1 日、8 月 4 日、8 月 17 日、8 月 18 日和 8 月 24 日蒙洼蓄洪区内农田、养殖塘淹没面积的时间变化。由表 2 可以看出,蒙洼蓄洪区农田和养殖塘的淹没面积在 7 月 23 日达到最大值,分别为 109.01 km²和 35.30 km²,23 日之前淹没面积呈上升趋势,23 日之后淹没面积呈下降趋势;7 月 20 日至 8 月 18 日农田和养殖塘的平均淹没面积分别为 74.77 km²和 24.19 km²,占各自总面积的 61.95% 和 64.16%,受灾情况均较为严重。

由图 2 可以看出,农田和养殖塘在蓄洪区内的分布相对均匀,因此其淹没面积的时间变化特征与总区域淹没面积的时间变化特征基本一致。此外,农田在蓄洪区的东北部地区分布较多,养殖塘在蓄洪区的中部地区分布较多,而东北部和中部地区均为重度受灾区,因此农田和养殖塘受灾情况均较为严重。

4 结 论

a. 区域生长算法能够高效精确地识别大面积连片的水体,并且适用于光学和雷达影像;该算法结合多源卫星遥感数据能够实现洪涝灾害动态监测的时效性和高频次。

b. 2020 年 7 月 20 日至 8 月 18 日蒙洼蓄洪区平均受灾面积约 105 km²。蒙洼蓄洪区中部区域为受灾面积最大的区域,其次是东北部区域,最小是西南部区域。基于蒙洼蓄洪区西南部地势高、东北部地势低的地域特征,结合蒙洼蓄洪区受灾区域的空间变化特征,风险较高的区域主要位于蒙洼蓄洪区的中部和东北部;

表 2 蒙洼蓄洪区农田、养殖塘淹没面积时间变化
Table 2 Temporal variation of inundated area of farmland and aquaculture pond in Mengwa flood storage area

日期	农田淹没面积/km ²	养殖塘淹没面积/km ²
7 月 8 日	0	0
7 月 20 日	21.91	8.2
7 月 21 日	63.34	27.41
7 月 23 日	109.01	35.30
7 月 26 日	97.26	30.72
8 月 1 日	94.12	26.78
8 月 4 日	90.83	24.75
8 月 17 日	65.40	21.97
8 月 18 日	56.32	18.41
8 月 24 日	16.03	3.54

蒙洼蓄洪区内的农田和养殖塘受灾均较为严重,原因在于农田在蓄洪区的东北部分布较多,养殖塘在蓄洪区的中部分布较多,均为高风险、受灾严重地区。

c. 蒙洼蓄洪区受灾情况的时间变化特征与蓄洪措施存在有很强的相关性。洪涝灾害期间连续降雨,云量较多,7月23日没有高质量的光学影像,而由于重访周期的原因同样没有相应雷达影像,因此7月23日的水体覆盖数据是叠加合成的数据,在后续研究中可增加更多的卫星影像,确保数据的获取。

参考文献:

[1] 王辉,吴文俊,王广,等. 昆明市极端降水事件演变特征及城市效应[J]. 水资源保护,2021,37(4):61-68. (WANG Hui, WU Wenjun, WANG Guang, et al. Evolution characteristics of extreme precipitation events and its urban effect in Kunming City [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(4): 61-68. (in Chinese))

[2] SANYAL J, LU X X. Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon Asia: a review[J]. Natural Hazards, 2004, 33(2): 283-301.

[3] BERZ G, KRON W, LOSTER T, et al. World map of natural hazards-a global view of the eistribution and intensity of significant exposures[J]. Natural Hazards, 2001, 23: 443-465.

[4] 刘永志,唐雯雯,张文婷,等. 基于灾害链的洪涝灾害风险分析综述[J]. 水资源保护,2021,37(1):20-27. (LIU Yongzhi, TANG Wenwen, ZHANG Wenting, et al. Review of flood disaster risk analysis based on disaster chain[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 20-27. (in Chinese))

[5] 黄国如,罗海婉,卢鑫祥,等. 城市洪涝灾害风险分析与区划方法综述[J]. 水资源保护,2020,36(6):1-6. (HUANG Guoru, LUO Haiwan, LU Xinxiang, et al. Study on risk analysis and zoning method of urban flood disaster[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(6): 1-6. (in Chinese))

[6] 徐宗学,任梅芳,陈浩. 我国沿海城市洪潮组合风险分析[J]. 水资源保护,2021,37(2):10-14. (XU Zongxue, REN Meifang, CHEN Hao. Analysis on urban flooding risk caused by flood tide combination in coastal cities[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(2): 10-14. (in Chinese))

[7] 张建云,王银堂,刘翠善,等. 中国城市洪涝及防治标准讨论[J]. 水力发电学报,2017,36(1):1-6. (ZHANG Jianyun, WANG Yintang, LIU Cuishan, et al. Discussion on the standards of urban flood and waterlogging prevention in China[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2017, 36(1): 1-6. (in Chinese))

[8] LI Linyi, CHEN Yun, YU Xin, et al. Sub-pixel flood inundation mapping from multispectral remotely sensed images based on discrete particle swarm optimization[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 101: 10-21.

[9] TICEHURST C J, CHEN Y, KARIM F, et al. Using MODIS for mapping flood events for use in hydrological and hydrodynamic models; experiences so far [C]//The 20th International Congress on Modelling and Simulation. Adelaide: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2013: 1-6.

[10] KWAK Y, PARK J, YOROZUYA, et al. Estimation of flood volume in Chao Phraya River Basin, Thailand, from MODIS images coupled with flood inundation level[C]//The 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Munich: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012: 887-890.

[11] KHAN S I, HONG Y, WANG J H, et al. Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria Basin: implications for hydrologic prediction in ungauged basins[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(1): 85-95.

[12] 汤玲英,刘雯,杨东,等. 基于面向对象方法的 Sentinel-1A SAR 在洪水监测中的应用[J]. 地球信息科学学报,2018,20(3):377-384. (TANG Lingying, LIU Wen, YANG Dong, et al. Flooding monitoring application based on the object-oriented method and sentinel-1A SAR data[J]. Journal of Geo-Information Science, 2018, 20(3): 377-384. (in Chinese))

[13] 苏亚丽,郭旭东,雷莉萍,等. 基于多源卫星遥感的暴雨灾情时空动态信息的提取[J]. 地球信息科学学报,2018,20(7):1004-1013. (SU Yali, GUO Xudong, LEI Liping, et al. Spatio-temporal synamics of the impacts of rainstorm disaster on crop growing using multi-satellites remote sensing[J]. Journal of Geo-Information Science, 2018, 20(7): 1004-1013. (in Chinese))

[14] LIU Xiaoyi, SAHLI H, MENG Yu, et al. Flood inundation mapping from optical satellite images using spatiotemporal context learning and modest AdaBoost[J]. Remote Sensing, 2017, 9(6): 617.

[15] WAN L, LIU M, WANG F, et al. Automatic extraction of flood inundation areas from SAR images: a case study of Jilin, China during the 2017 flood disaster[J]. International Journal of Remote Sensing, 2019, 40(13): 5050-5077.

[16] ABDELHAKIM B, RAFFAELLA G. A novel fully automated mapping of the flood extent on SAR images using a supervised classifier[J]. Remote Sensing, 2019, 11(7): 779.

[17] SON N T, CHEN C F, CHEN C R. Weekly flood monitoring with multitemporal moderate resolution imaging spectroradiometer

data using water fraction model[J]. Journal of Applied Remote Sensing,2014,8(1):83581.

[18] XIE Huan,LUO Xin,XU Xiong, et al. Evaluation of Landsat 8 OLI imagery for unsupervised inland water extraction[J]. International Journal of Remote Sensing,2016,37(8):1826-1844.

[19] 高伟,沈秋,李梦璠,等. 基于多源遥感数据的洪涝淹没范围时序监测分析[J]. 测绘与空间地理信息,2018,41(7):8-10. (GAO Wei,SHEN Qiu,LI Mengfan, et al. Analysis of time-serial monitoring of flood extent based on multi-source remote sensing data[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2018,41(7):8-10. (in Chinese))

[20] 李思慧. 基于 GF-1 的暴雨洪涝灾害定量分析:以通辽市“8·3”暴雨为例[J]. 现代农业,2019(9):94-96. (LI Sihui. Quantitative analysis of rainstorm flood disaster based on GF-1-Take “8·3” rainstorm in Tongliao City for example[J]. Modern Agriculture,2019(9):94-96. (in Chinese))

[21] 雷声. 2020 年鄱阳湖洪水回顾与思考[J]. 水资源保护,2021,37(6):7-12. (LEI Sheng. Review and reflection on Poyang Lake flood in 2020[J]. Water Resources Protection,2021,37(6):7-12. (in Chinese))

[22] 吴滨滨,喻海军,穆杰,等. 考虑下渗的河道与蓄滞洪区洪水演进过程模拟[J]. 水资源保护,2019,35(6):68-75. (WU Binbin,YU Haijun,MU Jie, et al. Flood simulation in river and flood storage-detention area considering infiltration[J]. Water Resources Protection,2019,35(6):68-75. (in Chinese))

[23] 张晓蕾,宋豫秦. 淮河流域行蓄洪区的演化及湿地恢复驱动力研究[J]. 水利水电技术,2014,45(2):22-27. (ZHANG Xiaolei,SONG Yuqin. Succession theory and driving forces of wetland restoration in Huaihe flood retention areas[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2014,45(2):22-27. (in Chinese))

[24] 张晓蕾,雷添杰,宋豫秦,等. 基于情景分析的蓄滞洪区土地利用方式优化模拟研究:以蒙洼蓄洪区为例[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(2):55-66. (ZHANG Xiaolei,LEI Tianjie,SONG Yuqin, et al. Scenario-based optimization and simulation of land use in flood detention basins: a case study of Mengwa[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2019,17(2):55-66. (in Chinese))

[25] GASCON F,BOUZINAC C,THEPAUT O, et al. Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status[J]. Remote Sensing (Basel,Switzerland),2017,9(6):581-584.

[26] 雷志斌,孟庆岩,田淑芳,等. 基于 GF-3 和 Landsat 8 遥感数据的土壤水分反演研究[J]. 地球信息科学学报,2019,21(12):1965-1976. (LEI Zhibin,MENG Qingyan,TIAN Shufang, et al. Soil moisture retrieval study based on GF-3 and Landsat 8 remote sensing data[J]. Journal of Geo-Information Science,2019,21(12):1965-1976. (in Chinese))

[27] 范一大,吴玮.“高分四号”发射成功 助力防灾减灾事业[J]. 中国减灾,2016(3):48-49. (FAN Yida,WU Wei. “Gaofen 4” launched successfully Help disaster prevention and mitigation[J]. Disaster Reduction in China,2016(3):48-49. (in Chinese))

[28] 王海波,马明国. 基于遥感的湖泊水域动态变化监测研究进展[J]. 遥感技术与应用,2009,24(5):674-684. (WANG Haibo,MA Mingguo. A review of monitoring change in lake water areas based on remote sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application,2009,24(5):674-684. (in Chinese))

[29] 丁莉东,吴昊,王长健,等. 基于谱间关系的 MODIS 遥感影像水体提取研究[J]. 测绘与空间地理信息,2006(6):25-27. (DING Lidong,WU Hao,WANG Changjian, et al. Study of the water body extracting from MODIS images based on spectrum-photometric method[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2006(6):25-27. (in Chinese))

[30] 王秋萍,张志祥,朱旭芳,等. 图像分割方法综述[J]. 信息记录材料,2019,20(7):12-14. (WANG Qiuping,ZHANG Zhixiang,ZHU Xufang. Comprehensive summary of image segmentation[J]. Information Recording Materials,2019,20(7):12-14. (in Chinese))

[31] 孔俊,王佳男,谷文祥,等. 基于区域的自动种子区域生长法的彩色图像分割算法[J]. 东北师大学报(自然科学版),2008,40(4):47-51. (KONG Jun,WANG Jianan, GU Wenxiang, et al. Automatic SRG based region for color image segmentation[J]. Journal of Northeast Normal University,2008,40(4):47-51. (in Chinese))

[32] 范一大,和海霞,李博,等. 基于 HJ-1 CCD 数据的洪涝灾害范围动态监测研究:黑龙江省抚远县为例[J]. 遥感技术与应用,2016,31(1):102-108. (FAN Yida,HE Haixia,LI bo, et al. Research on flood disaster extent dynamics monitoring using HJ-1 CCD-A case study in Fuyuan of Heilongjiang Province,Northeastern China[J]. Remote Sensing Technology and Application,2016,31(1):102-108. (in Chinese))

[33] CHEN Hejun,DING Haiqiang,HE Xiongxiang, et al. Color image segmentation based on seeded region growing with Canny edge detection[C]//International Conference on Signal Processing. Ningbo:Institute of Electrical and Electronics Engineers,2015:683-686.