

陈诚,莫建飞,莫伟华,等. 2022年“龙舟水”期间桂林洪涝时空分布特征研究[J]. 气象研究与应用,2023,44(1):101-105.

Chen Cheng, Mo Jianfei, Mo Weihua, et al. Study on the spatial and temporal distribution characteristics of the dragon-boat precipitation in Guilin city in 2022[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(1): 101-105.

# 2022年“龙舟水”期间桂林洪涝时空分布特征研究

陈 诚<sup>1</sup>, 莫建飞<sup>1</sup>, 莫伟华<sup>1\*</sup>, 李明志<sup>2</sup>

(1.广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022; 2.百色市气象局, 广西 百色 533000)

**摘要:** 基于卫星遥感资料,对2022年桂林“龙舟水”期间的水体进行提取,利用GIS空间分析技术,对比2019—2021年洪涝时空分布,探索2022年罕见强“龙舟水”桂林洪涝的时空分布。结果表明,2022年桂林洪涝主要发生在6月,空间分布受地形影响明显,主要分布在湘江、漓江流域,而洛清江相对较轻,整体呈现北多、南少、东多、西少的分布格局。相比2019—2021年,2022年发生洪涝面积与2020年持平,比2019年、2021年更大,且洪涝发生速度比2020年更快。

**关键词:** 合成孔径雷达(SAR);洪涝监测;时间序列分析;时空分布格局

**中图分类号:** P426.616

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.1.17

## 引言

桂林位于南岭山系西南部,地处湘桂走廊南端,经度109°E~112°E,纬度24°N~27°N,境域南北长236km、东西宽189km,下辖6个城区、1个县级市和10个县,总面积2.76×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>,境内河网分布密集。桂林属于亚热带季风气候,年平均降雨量1887.6mm,降雨主要集中在4—7月,充沛的降雨使得暴雨成为桂林最主要的气象灾害,且常因此引发洪涝,造成严重的经济损失甚至人员伤亡<sup>[1-3]</sup>,对桂林旅游资源破坏严重。据统计,2022年广西遭遇罕见“龙舟水”,降雨主要集中在6月,降水时间长、范围广、强度大,造成桂林多条中小河流发生超警洪水。

随着对暴雨洪涝灾害研究的不断深入,致灾机理研究、致灾危险性区划、暴雨影响下的生态景观修复等工作已经取得显著的进展<sup>[4-6]</sup>。一些学者从水文的角度对洪涝的时空分布进行了讨论,影响地区洪涝时空分布特征的因素主要有气候条件、流域地形地貌、水系河网复杂程度等,为相关防汛工作的开展提供了重要参考,但基于水文获得洪涝的空间分布

的难度也较大<sup>[7-8]</sup>。随着卫星遥感技术成熟,一些学者利用遥感手段进行受灾空间分布的调查。如利用MODIS、FY3A、FY3B等光学遥感资料进行灾害面积的提取<sup>[9-11]</sup>,弥补了空间信息的不足。对于桂林等位于我国南方低纬的地区,光学遥感卫星无法穿透云层,实际难以获取可用的遥感数据进行监测。随着合成孔径雷达(SAR)卫星资料逐渐在淹没水体、洪涝灾害的评估等方面应用效果得到证实<sup>[12-14]</sup>,其全天候监测的能力得以展现,使得监测南方汛期洪涝淹没范围成为可能<sup>[15]</sup>。

本文利用遥感与地理信息技术,以Sentinel-1A为数据源,结合卫星资料的时空分辨率,选取4—7月为监测时段,对桂林2022年“龙舟水”期间的洪涝水体进行提取与分析,对比2019—2021年水体分布,讨论桂林洪涝水体的时空分布特征,为防灾减灾与生态修复工作提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 数据来源

(1)遥感数据:本研究选用Sentinel-1A合成孔

收稿日期:2022-12-01

基金项目:广西科技重点研发项目(桂科AB20159022)、广西气象科研计划项目(桂气科2022QN13)

作者简介:陈诚(1994—),男,工程师,研究方向为遥感数字图像处理。E-mail: ccf185@163.com

\* 通讯作者:莫伟华(1968—),女,正研级高级工程师,研究方向为生态遥感技术应用。E-mail:47562933@qq.com

径雷达影像作为遥感影像,该遥感数据来源于欧洲空间局 (ESA),工作波段为 C 波段,工作频率为 5.4505GHZ,重访周期为 12d,地面分辨率为 10m×10m。本研究共采用了 2022 年 4—7 月 10 个时相 19 景(其中 2022 年 6 月 19 日仅有 1 景影像)进行洪涝水体面积提取,并收集了 2019、2020 年 4—7 月其他 31 个时相 62 景影像进行对比分析,其中 2019、2020 年 10 个时相 20 景,2021 年 11 个时相 22 景。

(2)数字高程模型(DEM):数字高程模型空间分辨率为 30m×30m,来源于 NASA 航天雷达地形任务(SRTM)。

(3)基础地理信息数据:采用国务院自然灾害综合风险普查办公室提供的 1:250000 县级边界。

(4)气象数据:桂林国家气象观测站逐日雨量数据来源于广西壮族自治区气象局。

### 1.2 水体提取方法

对 SAR 数据的预处理步骤包括热噪声消除、轨道校正、边界噪声消除、辐射校正、裁剪、镶嵌、斑点噪声滤波、地形校正等步骤,所有预处理步骤均在 SNAP 9.0 中完成。其中斑点噪声滤波采用 Gamma 滤波器,地形校正采用距离多普勒(RD)几何校正,投影坐标系为 CGCS2000。

根据 SAR 影像的成像原理,不同地物在 SAR 影像中的后向散射系数存在差异,因此可根据 SAR 影像的后向散射系数对地物进行区分。由于微波在平静水面主要为镜面反射,对应的影像后向散射系数远低于非水体,因此可利用阈值法根据影像的后向散射系数对水体与非水体进行分类提取。对于设定的分类阈值,后向散射系数低于阈值的部分为水体,高于阈值的部分为非水体。

常用确定阈值的方法有双峰直方图阈值法、OTSU 法等,这些方法对图像本身有一定的要求,即当水体与非水体在图像直方图上的差异越明显,提取效果越佳。但从研究区实际来看,非水体面积显著大于水体面积,且由于山体阴影的存在,图像直方图双峰不明显,双峰直方图阈值法或 OTSU 阈值法难以确定分类阈值。因此,本文在双峰直方图阈值法的基础上,根据经验将设定分类阈值为-15db。另一方面,由于桂林市地形起伏较大,如喀斯特地区的石山等,在后向散射系数影像上存在阴影区,与水体后向散射系数特征类似,因此在利用阈值法分类的基础上,还需结合地形数据剔除阴影。本文利用卫星入射角信息与 DEM 模拟的局地入射角(LIA)信息,

将局地入射角度过大的部分认为是山体阴影进行阴影剔除,该阈值设定为 60°。通过以上方法获得每个时相的水体空间分布图。

### 1.3 地理信息处理与分析

经过阈值法获得的水体空间分布图,仍然存在部分山体阴影,因此需在 ArcMap 软件中进行进一步修正。对修正后的结果进行空间叠加运算,获得年度水体淹没频率分布图,并根据淹没频率对洪涝频率进行分级(表 1),其中高、中、低频率分别对应高、中、低频率洪涝水体。

表 1 水体洪涝频率分级表

淹没频率/%	分类
>80	常规水体
>50	高频率
>20	中频率
>0	低频率

## 2 结果与分析

### 2.1 洪涝水体时间分布特征

统计 2022 年遥感监测桂林全域水体总体面积与桂林国家气象观测站降雨量(图 1),结果表明,2022 年平均水体面积  $1.47\times10^4\text{hm}^2$ ,其中 4 月平均  $1.40\times10^4\text{hm}^2$ ,5 月平均  $1.44\times10^4\text{hm}^2$ ,6 月为  $1.63\times10^4\text{hm}^2$ ,7 月平均  $1.51\times10^4\text{hm}^2$ ,呈现单峰变化形势,峰值出现在 6 月 7 日。从面积增减上看,5 月 26 日—6 月 7 日之间剧烈增多,增多速率达到  $2211\text{hm}^2\cdot(12\text{d})^{-1}$ ,远高于监测时段平均水体变动幅度  $246\text{hm}^2\cdot(12\text{d})^{-1}$ 。

根据桂林国家气象观测站的逐日雨量数据,桂林 4—7 月累计暴雨日数为 13 日,其中有 4 日单日雨量超过 100mm,分别为 4 月 25 日、6 月 4 日、6 月 5 日以及 6 月 21 日,5—6 月累计雨量 1243.8mm,占

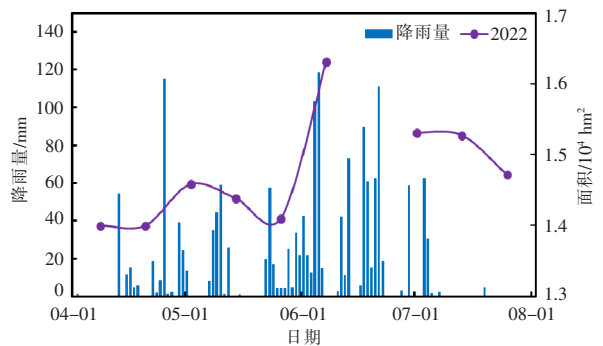


图 1 2022 年水体面积变化图

4 月—7 月总雨量的 74.87%。统计影像间隔(12d)期间的累积雨量,5 月 26 日—6 月 7 日累积雨量为 409mm,占 4—7 月总雨量的 25%,累积雨量与水体面积相关程度较高,Pearson 相关系数达到 0.75,其中 4—6 月相关系数为 0.94,与水体面积变化有较高的相关性。

对比 2019—2022 年同期水体面积(图 2)、面积最大出现时间与平均水体面积(表 2),总体而言,水体面积 4—5 月均较为稳定,5 月中旬开始逐渐增大,至 6 月达到最高,7 月开始下降。按年份看,最大水体面积出现时间一致,即在 6 月上旬水体面积达到最大。按年度最大水体面积看,2019—2022 年期间,2020 和 2022 年的水体面积较大,且 2020 年略高于 2022 年。对比年平均水体面积,2022 年平均水体面积  $1.47\times 10^4\text{hm}^2$ ,四年平均水体面积为  $1.45\times 10^4\text{hm}^2$ ,标准差  $\sigma=534\text{hm}^2$ ,除 2021 年平均水体面积显著低于其他年份( $-2\sigma$ )外,其余年份平均水体面积无显著差异。表明 2022 年遭受罕见“龙舟水”的背景下桂林全域水体面积较 2019—2021 年差异性不大,即洪涝发生的时间、受灾面积与 2020 年接近,但强于 2019 与 2021 年。

从面积变化速率来看,2019—2021 年水体面积呈现周期性波动的趋势,呈现快涨快消的特点,对比水体最大面积相似的 2020 年,5 月 24 日—6 月 5 日平均水体变化速率达到  $2100\text{hm}^2\cdot(12\text{d})^{-1}$ ,低于 2022

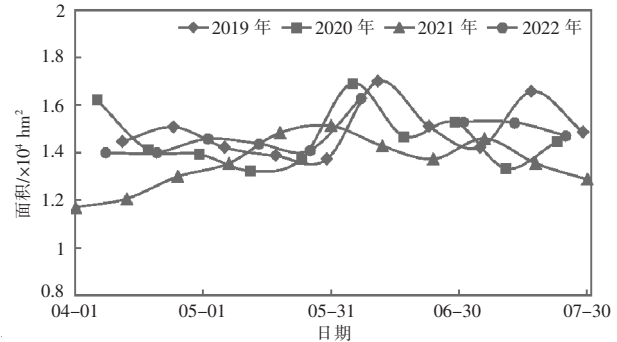


图 2 2019—2022 年水体面积变化对比图

表 2 时间序列水体面积统计

年份	最大值 / $\times 10^4\text{hm}^2$	最大值出现 时间	年平均 / $\times 10^4\text{hm}^2$
2022 年	1.63	06-07	1.47*
2021 年	1.51	05-31	1.36
2020 年	1.69	06-05	1.47
2019 年	1.70	06-11	1.50

\*2022 年 6 月 19 日数据不完整,统计时忽略该时相水体面积

年 5 月 26 日—6 月 7 日水体变化速率,表明 2022 年“龙舟水”洪涝发生速度较 2020 年更快。

基于单时相水体面积,按年度水体洪涝频率分级并对比 2019—2022 四年累计的频率分级,2022 年低频率洪涝水体占桂林市域面积的 0.27%,中频率为 0.12%,高频率为 0.08%,常规水体为 0.40%。对比其余年份,按年度水体面积统计结果见表 3,2022 年洪涝水体面积处于第二位,最大为 2020 年,最小为 2019 年,洪涝发生面积较 2020 年小。对比单时相水体面积,去除年度常规水体因素,2022 年单时相洪涝水体面积在  $3297\sim 5612\text{hm}^2$  之间,其中 4 月平均洪涝水体  $3297\text{hm}^2$ ,5 月平均洪涝水体  $3655\text{hm}^2$ ,6 月平均洪涝水体  $5612\text{hm}^2$ ,7 月平均洪涝水体  $4398\text{hm}^2$ ,按月计均高于 2019—2022 年平均。

表 3 年度水体面积统计(单位: $\times 10^4\text{hm}^2$ )

年份	常规水体	洪涝水体	累计水体
2022 年	1.09	1.30	2.39
2021 年	0.94	1.28	2.22
2020 年	1.05	1.43	2.48
2019 年	1.14	1.18	2.32
2019—2022 年	1.07	2.18	3.25

从各级水体面积来看(图 3),2022 年洪涝水体占总水体面积的 54.4%,四年洪涝水体占总水体范围的 67.07%,显著多于常规水体。其中高频率占总水体 9.2%,中频率占 10.7%,低频率占 47.2%,表明低频率洪涝影响面积最大。按年份对比,2020 年低频率洪涝面积比例明显高于其他年份,2022 年略低于 2020 年。

基于水体提取结果的对比,2022 年桂林发生洪涝主要为 6 月,2022 年“龙舟水”期间桂林地表水体持续偏多,部分水体淹没持续时间增长,监测淹没频率上升,有少部分中、高频率洪涝水体转移至常规水

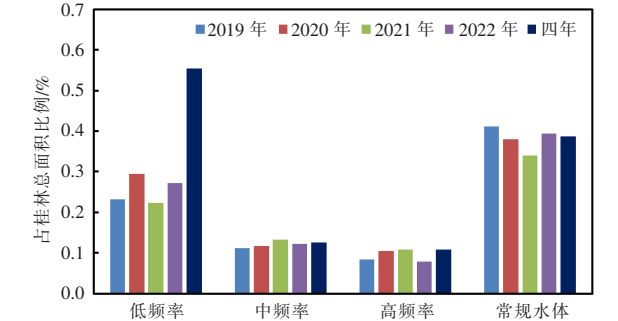


图 3 水体洪涝频率分级面积比例

体。相比 2019—2021 年,2022 年洪涝灾害面积与近三年相比并未增大。

## 2.2 洪涝水体空间分布

基于 2022 年水体提取结果进行叠加分析,桂林市洪涝水体主要分布在全州县,其次为临桂区。从高、中、低频率洪涝水体的分布上来看,高频率洪涝水体主要分布在坑塘水库、河道等常规水体外围的淹没区;中频率洪涝水体主要分布在高频率洪涝水体的外围,以及部分低洼地区的耕地;低频率洪涝水体则广泛分布在桂林市各地。对比 2019—2022 年叠加分析结果,2022 年低频率洪涝水体分布偏东、偏南。

分区县看(图 4),2022 年桂林市洪涝水体主要分布在临桂区( $2.83 \times 10^3 \text{hm}^2$ ),其次是全州县( $2.29 \times 10^3 \text{hm}^2$ )与灵川县( $1.23 \times 10^3 \text{hm}^2$ ),其余区县洪涝水体面积较小( $<1.0 \times 10^3 \text{hm}^2$ )。相比 2019—2021 年,中、

高频率水体面积各县区差异不大,表明四年期间发生中频率、高频率洪涝的区域相近,而低频率水体空间分布存在差异。

对比 2019—2021 年结果,利用 Pearson 相关系数统计各县区洪涝水体与常规水体的相关性,低频率与常规水体呈现弱正相关关系( $0.56, P < 0.05$ ),高频率呈现强正相关关系( $0.95, P < 0.001$ ),表明常规水体更多的地区发生洪涝的面积更大,且高频率洪涝水体与常规水体密切相关。

总体而言,洪涝水体分布主要沿湘江、漓江分布,行政区划上沿全州—兴安—灵川—临桂—阳朔分布,与湘桂走廊基本一致。洛清江洪涝水体分布相对较少。桂林市洪涝水体呈现东北多、西北少,东南多、西南少的分布特征,与桂林市地貌地形特征的反映基本一致。

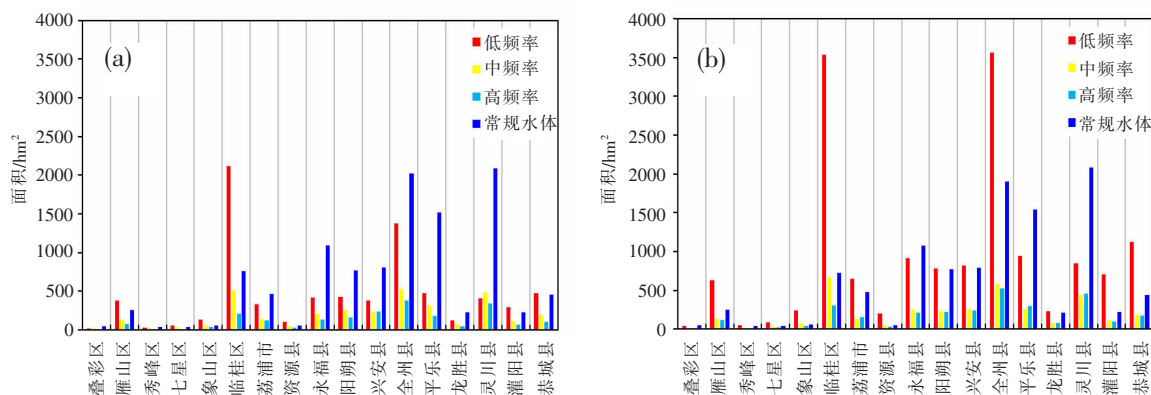


图 4 洪涝频率区县图

(a)2022 年;(b)2019—2022 四年累计

## 3 结论

桂林地处暴雨区,常年受洪涝灾害的影响,除 2021 年灾害较轻外,其余年份均发生了较大范围的洪涝灾害。根据桂林市 256 个气象观测站 5 月 1 日—6 月 30 日的降雨量统计数据,有 223 个站点观测到雨量相比 2020 年偏多,平均偏多 52%,偏多站数占总观测站数的 87%,2022 年是四年以来降雨最多的年份。考虑雨量的空间分布,相比 2020 年,平乐、灌阳、阳朔等地雨量偏多,永福、兴安与 2020 年持平,雨量的空间分布不均匀使得桂林市 2022 年“龙舟水”期间洪涝面积并未较其他年份偏大,但低频率洪涝水体分布偏东、偏南。连续的降雨过程可能造成洪涝区域水体减退缓慢,使得地表淹没时间延长,进而对农作物、自然植被造成更严重的破坏,对

漓江生态旅游造成影响也可能较常年更重。

从 2022 年桂林洪涝监测结果来看,洪涝在除山区以外的范围均有分布,与近三年相比,2019—2022 年,桂林市洪涝水体在时间和空间上均存在差异性。由于桂林独特的地形特征,地表水体主要来源于本地区的降雨,受区域外降雨影响小,5—6 月暴雨过程是导致桂林发生洪涝灾害的首要因素。区县间的洪涝面积差异可能与地形相关,如山区洪涝灾害可能以山洪为主,地面留存积水较少,遥感监测难度较大,而全州、临桂则以农田积涝为主,地面积水能够被卫星遥感监测到。

总体而言,本文利用 Sentinel-1A 遥感影像对桂林市 2022 年 4—7 月的水体分布进行了提取,并根据分级分析桂林洪涝灾害的时空分布,并与 2019—2021 年进行对比,得出以下结论:2022 年桂林洪涝



面积峰值主要出现在 6 月上旬, 6 月平均洪涝水体面积  $5612\text{hm}^2$ , 最大水体面积达到  $1.63 \times 10^4\text{hm}^2$ 。桂林市境内洪涝灾害广泛分布, 受地形影响明显, 主要沿湘江、漓江分布, 洛清江相对较轻, 整体呈现东北多、西北少, 东南多、西南少的分布特征。以行政区划分, 2022 年临桂区洪涝面积最大, 其次是全州县, 资源、龙胜最小。相比 2019—2021 年, 2022 年桂林“龙舟水”洪涝面积持平, 洪涝出现时间相近, 但空间分布有差异。

本文利用 Sentinel-1A 遥感数据进行水体淹没制图, 但受制于遥感数据 12d 的时间间隔, 实际水体面积峰值、增减速度可能存在低估。在空间上, 由于植被对微波的反射和阻挡, 监测林下水体难度较大, 当林地遭受洪涝灾害时, 可能提取到的洪涝水体面积偏低, 桂林市遭受洪涝灾害影响可能较监测结果更为严重。

#### 参考文献:

- [1] 李向红, 唐桥义, 伍静, 等. 桂林中小河流洪涝气象风险预警系统设计[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 42–46.
- [2] 伍秀莲. 桂林主要气象灾害对旅游的影响及防御对策[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(1): 88–90.
- [3] 彭波. 基于 GIS 的广西中小流域洪涝监测研究[D]. 桂林: 广西师范学院, 2012.
- [4] 黄晓远, 李谢辉. 基于 CMIP6 的西南暴雨洪涝灾害风险未来预估[J]. 应用气象学报, 2022, 33(2): 231–243.
- [5] 鲁芳, 刘艳丽, 朱士江, 等. 2020 年主汛期我国暴雨洪涝灾害概况分析与初步思考[J]. 水电能源科学, 2022, 40(5): 68–71, 150.
- [6] 黄敏敏. 基于 Sentinel-1/2 数据的寿光市洪涝灾害监测与预测研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2022.
- [7] 李莹, 赵珊珊. 2001—2020 年中国洪涝灾害损失与致灾危险性研究[J]. 气候变化研究进展, 2022, 18(2): 154–165.
- [8] 李茂松, 李森, 李育慧. 中国近 50 年洪涝灾害灾情分析[J]. 中国农业气象, 2004, 25(1): 38–41.
- [9] 莫伟华. 基于 EOS/MODIS 卫星数据的洪涝灾害遥感监测应用技术研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006.
- [10] 黄永璘, 农民强, 孙涵. 基于 FY-3A/MERSI 的洪涝灾害遥感监测初探[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(2): 59–61, 112.
- [11] 李健, 任红玲, 刘实, 等. 2010 年夏季吉林省特大暴雨洪涝灾害遥感监测信息的定量分析[J]. 吉林气象, 2012(2): 38–41.
- [12] 谷娟, 秦怡, 王鑫, 等. 鄱阳湖水体淹没频率变化及其湿地植被的响应[J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7718–7726.
- [13] 周晗. 基于 Sentinel1/2 的斯里兰卡洪涝淹没范围提取研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所), 2018.
- [14] 孙亚勇, 黄诗峰, 李纪人, 等. Sentinel-1A SAR 数据在缅甸伊洛瓦底江下游区洪水监测中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(2): 282–288.
- [15] 周帆, 张文君, 雷莉萍, 等. GF-3 与 Sentinel-1 洪灾淹没信息提取[J]. 地理空间信息, 2021, 19(6): 17–21, 4.

## Study on the spatial and temporal distribution characteristics of the dragon–boat precipitation in Guilin city in 2022

Chen Cheng<sup>1</sup>, Mo Jianfei<sup>1</sup>, Mo Weihua<sup>1\*</sup>, Li Mingzhi<sup>2</sup>

(1. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China;

2. Baise Meteorological Bureau, Guangxi Baise 533000, China)

**Abstract:** Based on the remote sensing data from satellites, the spatial and temporal distribution of water bodies in Guilin in 2022 during the dragon–boat precipitation period was extracted, and the flooding was graded according to the frequency of inundation using GIS spatial analysis technology, and the distribution characteristics of flooding in the past three years were compared and analyzed. The results show that the flooding in Guilin in 2022 occurred in June, mainly distributed along with the Xiangjiang River and Lijiang River, and that along with the Luoqing River was relatively light, showing an overall distribution pattern of more in the north, less in the south, more in the east and less in the west. Compared to 2019—2021, the area of flooding that occurred in 2022 was the same as in 2020, larger than in 2019 and 2021, but flooding occurred at a faster rate than in 2020.

**Key words:** Synthetic aperture radar (SAR); flood monitoring; time series analysis; spatial and temporal distribution pattern