

文章编号: 2096-4749(2023)04-0492-09

DOI:10.13320/j.cnki.hjfor.2023.0060

引文格式: 杨义炜,高牧寒,林腾.基于哨兵2号卫星影像的建瓯市森林扰动变化监测研究[J].林业与生态科学,2023,38(4): 492-499,506.

YANG Yiwei,GAO Muhan,LIN Teng. Research on forest disturbance dynamic monitoring of Jianou City based on Sentinel-2 satellite imagery[J]. Forestry and Ecological Sciences,2023,38(4):492-499,506.

# 基于哨兵2号卫星影像的建瓯市森林 扰动变化监测研究

杨义炜<sup>1</sup>,高牧寒<sup>2</sup>,林腾<sup>1</sup>

(1 福建省地质测绘院,福建 福州 350011;2 武汉大学 遥感信息工程学院,湖北 武汉 430070)

**摘要:**为及时有效地监测建瓯市森林扰动情况,以 Sentinel-2 多光谱影像与土地利用变更数据为数据源,采用扰动指数算法,对 2019、2020、2021 年建瓯市森林扰动区域进行识别并开展动态监测。结果表明:(1)建瓯市各时期森林扰动程度不尽相同,2020 年森林扰动程度最高;(2)在建瓯市森林变化状况方面,2 个时段森林扰动等级不变的区域面积占比达到 90%以上,而森林进一步受到破坏的地区主要分布于南部、东部乡镇;(3)2019-2020 年间森林受破坏较大的乡镇,在 2020-2021 年间均得到改善,可见建瓯市森林砍伐后的自然恢复或复植补种成效较好;(4)建瓯市森林各变化区分布具有显著的空间集聚性,且演变的方向差异明显。综上所述,建瓯市森林扰动在规模上年际变化差异明显,总体变化趋势向好;在空间上具有自相关性,各时期演变方向差异显著。

**关键词:** Sentinel-2;建瓯市;缨帽变换;森林扰动;遥感监测

**中图分类号:** S771.8 **文献标志码:** A

## Research on forest disturbance dynamic monitoring of Jianou City based on Sentinel-2 satellite imagery

YANG Yiwei<sup>1</sup>,GAO Muhan<sup>2</sup>,LIN Teng<sup>1</sup>

(1 Fujian Institute of Geological Survey and Drawing, Fuzhou 350011, China;

2 College of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to timely and effectively monitor the forest disturbance in Jianou City, on basis of Sentinel-2 multispectral imagery and land use change data, the disturbance index algorithm was used to identify and dynamically monitor the forest disturbance areas in Jianou City from 2019 to 2021. The results showed that: (1) The degree of forest disturbance in Jianou City was different in each period, and the forest disturbance degree was the highest in 2020. (2) In terms of forest change conditions in Jianou City, the rate of area that the same forest disturbance level in the two periods were over 90%, and the areas where forests had been damaged were mainly distributed in the southern and eastern townships. (3) Townships with more deforestation between 2019 and 2020 were improved between 2020 and 2021,

收稿日期:2022-07-30

基金项目:福建省地矿局生态地质项目(20210306)。

第一作者:杨义炜(1992-),男,福建福州人,硕士,工程师,研究方向为自然资源监测。

therefore, the natural restoration or replanting after deforestation had better results in Jianou City. (4) The distribution of forest changes had significant spatial agglomeration in Jianou City, and there were clear differences in the direction of evolution. In conclusion, the inter-annual variation of forest disturbance was obvious in Jianou City, and the overall trend of variation was good. The forest disturbance had the characteristics of spatial auto-correlation, and the evolution direction of spatial was significantly different.

**Keywords:** Sentinel-2; Jianou City; tasseled cap transform; forest disturbance; remote sensing monitoring

森林是地球生物圈的重要组成部分,也是人类社会赖以生存和发展的物质基础。随着人类的开发强度不断加大,全球森林植被遭到了频繁且大量的破坏<sup>[1-2]</sup>。而森林破坏只是人为扰动的缩影,森林火灾与病虫害等自然扰动造成的影响也不容忽视。以地面调查为主的森林资源监测,存在着工作量大、人工成本高、周期长等问题,难以满足森林资源动态变化监测的需求。随着遥感技术的发展,使多时序连续监测森林扰动情况成为可能。当前国内外学者对于森林扰动变化研究广泛,从不同方法的探索到应用对比,进行了总结与讨论,取得成果颇丰,其中基于缨帽变换反演的典型分量对森林火灾与人为砍伐等扰动识别较为敏感<sup>[3-16]</sup>。目前,基于缨帽变换的森林扰动识别研究多以 Landsat、MODIS 影像数据为主,针对多时期 Sentinel-2 影像数据的区域森林扰动研究较少,而 Sentinel-2 影像数据空间分辨率相较于 Landsat、MODIS 影像数据具有明显提高,有助于森林扰动的精细化识别。鉴此,本研究尝试基于 Sentinel-2 遥感影像数据,利用缨帽变换的扰动指数 DI 算法,对 2019、2020、2021 年建瓯市森林扰动情况进行监测,探究 3 年间建瓯市森林扰动的动态变化特征,并采用空间自相关的研究方法揭示森林扰动加重区与改善区空间分布格局,为建瓯市森林资源监管、开展区域生态空间规划提供基础数据和技术支撑。

## 1 研究区概况与数据源

### 1.1 研究区概况

建瓯市隶属福建省南平市,空间区位上北邻建阳区,南接延平区、古田县,东靠政和县、屏南县,西与顺昌县交界。全市土地面积约 4 233 km<sup>2</sup>。建瓯市辖区内地势东南高、西南低,地形以山地、丘陵为主,气候属亚热带海洋性季风气候,四季分明,雨量充足;建瓯市森林覆盖面积广阔,是全国重点林业县

(市),根据建瓯市 2019 年土地利用变更数据显示,林地面积占全市土地面积的 74.15%。因此,建瓯市森林资源的扰动变化情况需重点关注。

### 1.2 数据源及预处理

本研究所采用的数据源主要包括 Sentinel-2 遥感影像数据。其中在 Sentinel-2 遥感影像数据选取方面,为有效监测 2019、2020、2021 年建瓯市森林扰动,综合考虑研究区影像覆盖程度与云量大小,共选用 2019 年 9 月、2020 年 11 月以及 2021 年 12 月 3 个时期 9 景影像数据。遥感数据为经过辐射校正和几何校正处理的 Level-1C 产品。本研究采用 Sen2Cor 软件对影像数据进行大气校正,获得地物真实反射率。利用 SNAP 软件进行波段重组,将 20 m 空间分辨率的短波红外数据重采样至 10 m 分辨率。2019 年建瓯市土地利用变更数据则是为了提取其中林地图斑,用于 2019、2020、2021 年建瓯市林地范围的影像裁剪。

## 2 研究方法

### 2.1 基于缨帽变换线性运算的森林扰动区识别

缨帽变换是根据多光谱遥感中土壤、植被等信息在多维光谱空间中的信息分布结构,对图像进行正交变换<sup>[17]</sup>。缨帽变换的 3 个典型分量(亮度、绿度、湿度)特征与许多生物物理参数有关,如:亮度与反照率,绿度与植被,湿度与土壤含水量等。由于缨帽变换依赖于传感器本身的波段特性,不同传感器之间的变换系数并不通用<sup>[18]</sup>。因此,本研究参考多种系数推导方法,最终采用施婷婷等人推演的缨帽变换方法与系数,计算研究区 Sentinel-2 数据的亮度、绿度、湿度等分量<sup>[19]</sup>。

扰动指数(DI)是对影像缨帽变换后生成的亮度、绿度、湿度 3 个分量进行线性的组合,用于识别森林冠层的扰动情况<sup>[1]</sup>。当森林受到扰动时,表现为亮度分量较高而绿度和湿度分量较低,DI 值越高

呈现区域受扰动程度越高<sup>[12]</sup>。具体公式如下：

$$DI = B_r - (G_r + W_r) \quad (1)$$

式中： $DI$  为扰动指数强度值； $B_r$ 、 $G_r$ 、 $W_r$  分别为经过标准化后的缨帽变换亮度、绿度和湿度分量。分量标准化的计算公式如下：

$$B_r = \frac{B - \mu_B}{\sigma_B} \quad (2)$$

式中： $\mu$  表示数值平均值； $\sigma$  表示数值标准差。

### 2.2 空间自相关分析

(1) 全局空间自相关指数 (Global Moran's I)。全局莫兰指数 (Global Moran's I) 是检验整个研究区内临近位置的单元属性值空间相关性的总体趋势<sup>[20]</sup>。其计算公式如下：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \times (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

式中： $I$  为全局莫兰指数值； $n$  是建瓯市村级单元个数； $W_{ij}$  是空间权重矩阵，空间相邻为 1，不相邻为 0； $X_i$  和  $X_j$  分别是区域  $i$  和  $j$  的属性 (本研究中指森林变化区图斑面积)； $\bar{X}$  是属性的均值。全局空间自相关指数结果范围在 -1 到 1 之间<sup>[20]</sup>。

(2) 空间格局分析。本研究选用局部空间热点分析指数 (Getis-Ord  $G_i^*$ ) 来进一步讨论森林扰动图斑的空间分布格局，结合 Jenks 最佳自然断点法将  $G_i^*$  的  $Z$  值得分从高到低分为热点区、次热点区、次冷点区以及冷点区。其计算公式如下：

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} X_j}{\sum_{j=1}^n X_j} \quad (4)$$

对 Getis-Ord  $G_i^*$  进行标准化  $Z$  值检验，则公式为：

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{Var(G_i^*)}} \quad (5)$$

式中： $G_i^*$  为村级单元  $i$  的统计量  $G_i$ ； $W_{ij}$  是空间权重矩阵，空间相邻为 1，不相邻为 0； $X_j$  分别是区域  $j$  的属性值； $E(G_i^*)$  和  $Var(G_i^*)$  分别是  $G_i^*$  的数学期望和方差<sup>[20]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 森林扰动区识别结果

根据扰动指数  $DI$  反演得到 2019 年 9 月、2020 年 11 月以及 2021 年 12 月森林扰动空间分布图，见

图 1 至图 3。



图 1 2019 年 9 月建瓯市森林扰动指数  $DI$  分布图  
Figure 1 Distribution of forest disturbance index in Jianou City in September 2019



图 2 2020 年 11 月建瓯市森林扰动指数  $DI$  分布图  
Figure 2 Distribution of forest disturbance index in Jianou City in November 2020



图 3 2021 年 12 月建瓯市森林扰动指数  $DI$  分布图  
Figure 3 Distribution of forest disturbance index in Jianou City in December 2021

由图 1 至图 3 可知，深绿色代表扰动指数  $DI$  低值区，棕色代表扰动指数  $DI$  高值区，总体上 3 个年度建瓯市均以扰动指数  $DI$  低值区分布为主，扰动指数

DI 高值区零星分布于建瓯市各街道与乡镇;结合被掩膜区域范围看,3个年度扰动指数 DI 低值区均较远离建设用地、耕地等人类活动密集区,围绕着市域外延部分及高海拔区域,而越邻近人类活动区域所呈现的扰动指数 DI 高值区越多,说明3个年度建瓯市森林受影响的变化特征较为相似。建瓯市3个年度扰动指数 DI 均值和标准差统计情况,见表1。

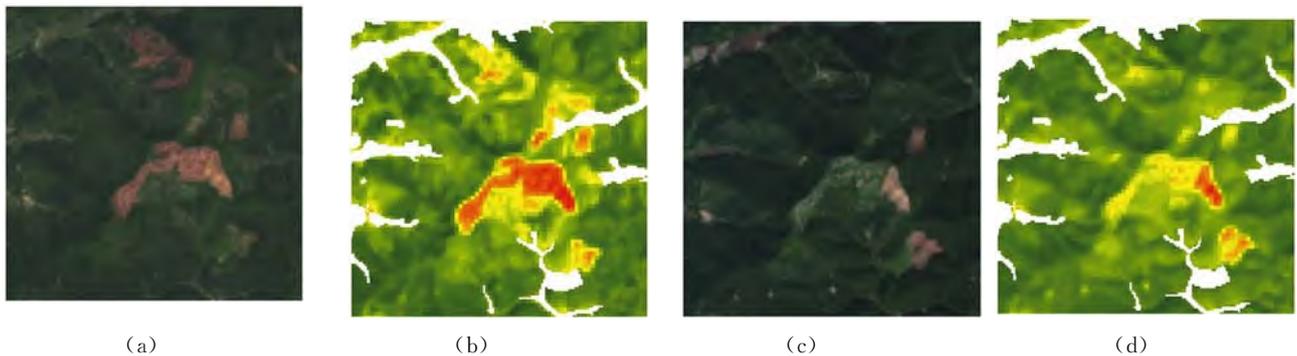
表1 建瓯市各时期扰动指数 DI 均值和标准差统计

Table 1 Statistics of the DI mean value and standard deviation of disturbance index in each period in Jianou City

时间 Time	2019年9月 September 2019	2020年11月 November 2020	2021年12月 December 2021
DI 指数均值	0.12	0.14	0.10
DI 指数标准差	0.04	0.06	0.05

由表1可知,2019年至2021年间扰动指数 DI 均值未有明显差异,整体变化趋势呈现先升后降的特征,由2019年的0.12上升至2020年的0.14,后降至2021年的0.10,其中2020年森林受扰动程度最高,说明2019年至2020年间建瓯市森林受破坏程度总体加重,而2020年至2021年间呈现转好趋势,扰动指数 DI 均值降幅为0.04,达2019年至2020年扰动指数 DI 均值升幅的2倍;从标准差来看,数值未发生较大幅动,均在0.05上下。可见,3个年度扰动指数 DI 数值整体波动程度相近。

从森林扰动区识别细节看,本研究以3个时期中林地前后变化显著区域为例,截取林地范围受砍伐以及复绿的局部原始影像图与 DI 指数反演特征图,见图4。



注:(a)和(b)是同一区域森林遭到破坏的影像变化图;(c)和(d)是反映同一区域的植被复绿情况。

图4 森林扰动 DI 指数变化特征局部示意图

Figure 4 Partial schematic diagram of change characteristics of the DI index of forest disturbance

由图4-(a)可知,影像图中部及北部多处林地被砍伐,且迹地边界痕迹明显,与周边植被覆盖区域差异较大;由图4-(b)可知,通过 DI 指数反演后,所得特征与影像图相吻合,在明显人类开发活动区域,整体森林扰动指数 DI 呈高值分布,而受地表植被疏密程度影响,对应森林扰动指数 DI 值也呈现相应值域区间,即森林植被覆盖程度越高,森林扰动指数 DI 值越低;反之,越高。

由图4-(c)可知,影像图中部及北部林地砍伐区域植被逐渐生长,但整体植被覆盖较为稀疏,部分仍可见裸土;由图4-(d)可知,通过 DI 指数反演

后,在植被恢复区域森林扰动指数 DI 值明显降低,与原影像图中植被覆盖特征一致。综上表明,森林扰动指数 DI 值能够较为客观地反映森林扰动的实际情况。

### 3.2 不同研究期建瓯市森林扰动指数分级评价

为了对不同时期建瓯市森林受扰动程度进行分析研究,对森林扰动指数 DI 值以0.2为间隔进行等密度分割,分为低、较低、中等、高、极高5个等级,并将3个年度各等级面积进行统计。建瓯市扰动指数 DI 分级面积统计表,见表2。

表2 建瓯市扰动指数DI分级面积统计表

Table 2 Statistical table of disturbance index DI graded area in Jianou City

DI 分级 DI index grading	2019 年 面积/km <sup>2</sup> Area of 2019	2019 年 百分比/% Proportion of 2019	2020 年 面积/km <sup>2</sup> Area of 2020	2020 年 百分比/% Proportion of 2020	2021 年 面积/km <sup>2</sup> Area of 2021	2021 年 百分比/% Proportion of 2021
1	3 047.685 4	96.652 7	2 805.923 8	88.985 6	3 004.390 0	95.279 6
2	102.701 6	3.257 0	329.776 1	10.458 3	144.143 8	4.571 3
3	2.719 5	0.086 2	16.477 1	0.522 5	4.591 6	0.145 6
4	0.118 6	0.003 8	0.986 3	0.031 3	0.104 5	0.003 3
5	0.010 0	0.000 3	0.071 8	0.002 3	0.005 2	0.000 2

注:1为低扰动等级,涵盖0.0~0.2区间内DI值;2为较低扰动等级,涵盖0.2~0.4区间内DI值;3为中等扰动等级,涵盖0.4~0.6区间内DI值;4为高扰动等级,涵盖0.6~0.8区间内DI值;5为极高扰动等级,涵盖0.8~1.0区间内DI值。

由表2可知,2019、2020、2021年3个时期建瓯市森林扰动特征如下:(1)2019年至2021年间建瓯市整体森林扰动状态均以低扰动(1级)为主,3个年度该等级面积分别为3 047.685 4、2 805.923 8、3 004.390 0 km<sup>2</sup>,分别占总面积的96.652 7%、88.985 6%、95.279 6%;森林扰动高、极高等级占比最低,该2个等级(4级和5级)水平面积之和分别仅占总面积的0.004 1%、0.033 6%、0.003 6%。可见,3年间,建瓯市森林受扰动程度总体处于低水平,以2020年为转折点,森林扰动情况呈现一定波动;(2)在森林扰动等级为低(1级)的区域,2019年至2020年间呈现下降趋势,面积减少了241.760 0 km<sup>2</sup>,降幅达7.930 0%。在2020年至2021年间呈现上升趋势,面积增加了198.470 0 km<sup>2</sup>,增幅为7.070 0%。在森林扰动等级为较低、中、高、极高(2级、3级、4级、5级)的区域,在2019年至2021年间均表现出先增后减现象,该现象与低扰动等级(1级)区域的变化特征相反,二者呈现此消彼长的特

征。可见,在2019—2020年间,建瓯市森林受到一定破坏,低扰动等级面积降幅大,中、高扰动等级面积增幅高;而2020—2021年间建瓯市森林正逐步恢复,低扰动等级面积增幅高,中、高扰动等级面积出现较大降幅。

### 3.3 森林扰动指数变化分析

为了研究建瓯市森林扰动的变化情况,本研究在分级基础上进行差值处理,提取2019—2020年、2020—2021年2个时段建瓯市森林扰动指数DI动态变化值,并对各差值等级的面积进行统计,其中正值表示森林扰动程度进一步加重,其值越大,代表森林受扰动加重程度越大;零值表示森林情况保持稳定不变;负值表示森林扰动等级降低,森林生态得到改善,其值越小,代表森林得到改善越明显。

(1)2019—2020年建瓯市森林扰动动态变化分析。2019—2020年森林扰动变化检测情况,见表3;2019—2020年各街道乡镇森林扰动面积比例,见图5。

表3 2019—2020年森林扰动变化检测

Table 3 Change detection of forest disturbance from 2019 to 2020

类别 Category	级差 Range	级面积/km <sup>2</sup> Area of range	类面积/km <sup>2</sup> Area of category	类比例/% Proportion of category
改善	-4	0.008 5	12.716 5	0.400 0
	-3	0.038 9		
	-2	0.094 2		
	-1	12.574 9		
不变	0	2 875.464 5	2 875.464 5	91.190 0
加重	1	260.110 5	265.054 1	8.410 0
	2	4.601 1		
	3	0.328 7		
	4	0.013 8		

由表 3 可知,2019—2020 年间,建瓯市森林得到改善的区域面积为 12.716 5 km<sup>2</sup>,占总面积的 0.400 0%;等级不变的区域面积为 2 875.464 5 km<sup>2</sup>,占总面积的 91.190 0%;而森林扰动加重区域面积为 265.054 1 km<sup>2</sup>,占总面积的 8.410 0%,其规模要高于森林得到改善的区域。

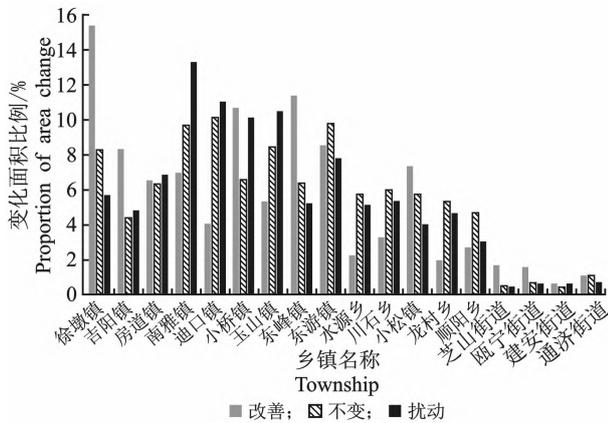


图 5 2019—2020 年各街道乡镇森林扰动面积比例  
Figure 5 Proportion of disturbed forest area in each street town from 2019 to 2020

由图 5 可知,2019—2020 年各街道乡镇森林扰动变化程度高低不一。从改善区域面积占比大小来看,徐墩镇森林改善区域面积最大,占比为 15.36%,其次为小桥镇与东峰镇,2 个乡镇森林改善区域面积占比相近,分别为 11.40%与 10.68%,其他街道乡镇的森林改善区面积占比均在 10%以内;从加重区域面积占比大小来看,南雅镇森林受破坏规模最大,占比为 13.27%,其次为迪口镇、玉山镇以及小桥镇,3 个乡镇森林状况变差区域面积占比相近,分别为 11.00%、10.45%与 10.10%,其他街道乡镇的面积占比则均在 10%以内;该时期森林扰动加重规模虽高于森林得到改善的区域,但在主城区范围内森林恢复面积总体要高于森林扰动加重区。因此,该时期的森林扰动来自于各乡镇的发展与供应。

(2)2020—2021 年建瓯市森林扰动动态变化分析。2020—2021 年森林扰动变化检测情况,见表 4;2020—2021 年各街道乡镇森林扰动面积比例,见图 6。

表 4 2020—2021 年森林扰动变化检测

Table 4 Change detection of forest disturbance from 2020 to 2021

类别 Category	级差 Range	级面积/km <sup>2</sup> Area of range	类面积/km <sup>2</sup> Area of category	类比例/% Proportion of category
改善	-4	0.001 2	238.398 9	7.560 0
	-3	0.024 5		
	-2	1.103 7		
	-1	237.269 5		
不变	0	2 888.604 2	2 888.604 2	91.610 0
加重	1	25.255 1	26.232 0	0.830 0
	2	0.950 7		
	3	0.021 4		
	4	0.004 8		

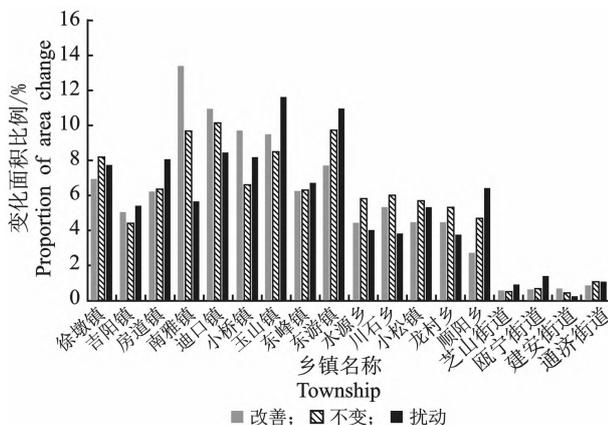


图 6 2020—2021 年各街道乡镇森林扰动面积比例  
Figure 6 Proportion of disturbed forest area in each street town from 2020 to 2021

由表 4 可知,在 2020—2021 年间,建瓯市森林扰动进一步加重的区域面积为 26.232 0 km<sup>2</sup>,占总面积的 0.830 0%;等级不变的区域面积为 2 888.604 2 km<sup>2</sup>,占总面积的 91.610 0%;而森林得到改善的区域面积为 238.398 9 km<sup>2</sup>,占总面积的 7.560 0%,其规模要高于森林扰动加重区域。

由图 6 可知,2020—2021 年各街道乡镇森林变化程度不尽相同。从改善区域面积占比大小来看,南雅镇森林改善区域面积最大,占比为 13.41%,其次为迪口镇,该乡镇森林改善区域面积占比为 10.90%,其他街道乡镇的森林改善区面积占比均在 10%以内,与上一时段对比发现,2019—2020 年间受森林受破坏较大的乡镇,在 2020—2021 年间均得

到改善;从扰动加重区域面积占比大小来看,玉山镇森林受破坏规模最大,占森林受扰动总面积的11.60%,其次为东游镇,该乡镇森林状况变差区域面积占比为10.98%,其他街道乡镇森林扰动加重区域面积占比均在10%以内;除建安街道外,该时期主城区其他街道森林扰动加重的区域要高于森林改善区域,与2019—2020年森林变化状况恰相反。

综上所述,3个年度建瓯市森林受到破坏面积较高的地区主要为南部、东部乡镇,而森林改善区主要来自于上年度森林受到破坏的乡镇。可见,建瓯市森林砍伐后的植被自然恢复或树木复植补种成效较好。

### 3.4 森林扰动区空间格局分布

为更好反映建瓯市森林扰动加重区与森林改善区的空间分布,本研究将不同区域图斑面积分别赋值到对应建瓯市村级范围内,作为评估单元,开展全

局空间自相关以及空间热点的分析研究。

(1)全局空间自相关分析。通过GeoDa软件计算全局Moran's I值可得,2019—2020年、2020—2021年2个时段建瓯市森林扰动加重区图斑规模的全局Moran's I值分别为0.477、0.480,森林改善区图斑规模的全局Moran's I值分别为0.399、0.458。2个时段的空间自相关系数均大于0,且Moran's I的正态统计量Z值均超过0.05置信水平临界值,表明无论是改善区还是加重区的图斑规模作为评估因子,均呈现出正的空间自相关性,具有较显著的空间集聚分布。

(2)空间热点分析。为了进一步研究不同评估因子所呈现的森林变化区空间格局演变过程。本研究计算森林扰动加重区与森林改善区2个时段热点指数Getis-Ord  $G_i^*$ ,生成建瓯市森林变化区冷热点空间格局演变图,见图7。

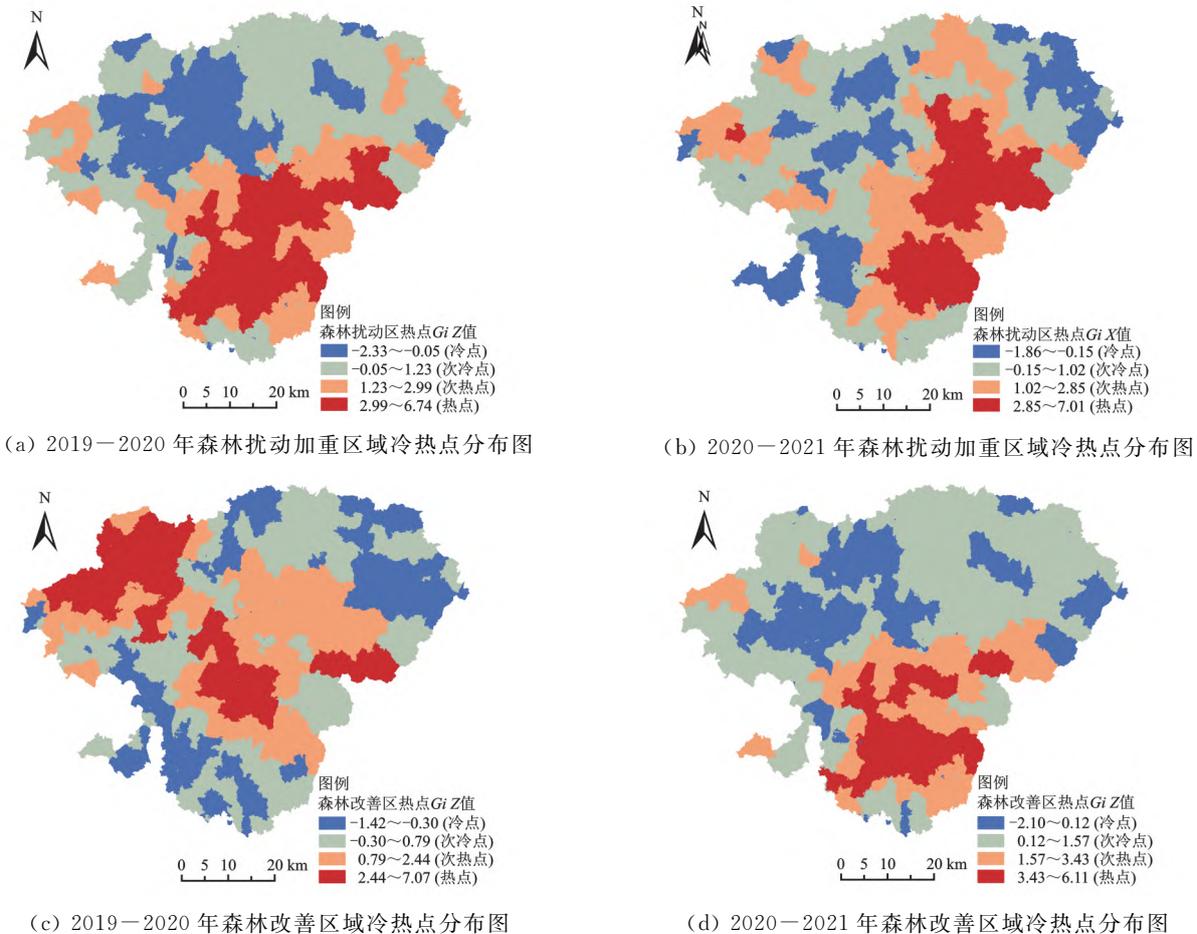


图7 2019—2021 建瓯市森林扰动加重区与改善区 Getis-Ord  $G_i^*$  空间分布图

Figure 7 Getis-Ord  $G_i^*$  spatial distribution map of forest disturbance aggravated area and improvement area from 2019 to 2021

由图7-(a)可知,2019—2020年建瓯市森林扰动加重区构成的热点区主要集中于南部地区,次热

点区的分布特征总体上均围绕着热点区向外延伸过渡;由7-(b)可知,2020—2021年热点区则主要分

布于建瓯市东部以及南部地区,空间边界形态相较于上一时段更为聚集。可见,2019—2021年间森林扰动加重区域空间格局逐步由带状连片分布变为集中分布,演变方向的重心逐渐由南至东;由图7-(c)可知,2019—2020年建瓯市森林扰动改善区构成的热点区主要集中于西北部、中部以及东部地区,热点斑块之间相互分离;由图7-(d)可知,2020—2021年热点区则更集中分布于南部地区;可见,2019—2021年间森林扰动改善区空间格局由离散变为集中,从演变的方向来看,森林改善区的空间格局总体上由西北部向东南部演变。

#### 4 讨论

森林作为重要的陆地生态系统,具有物种多样、结构复杂等特点,当森林植被受到人为、自然等因素扰动时,从叶片到冠层均会发生特有的表观变化,相对应的在遥感影像层面上,光谱特征同样会发生不同程度的变化,运用单一遥感反演指数无法概括复杂的光谱信息变化,应开展不同反演方法的对比分析<sup>[5]</sup>。当前针对 Landsat、MODIS 遥感影像缨帽变换分量构建的扰动指数  $DI$  已在多个区域有过研究,均取得较好的应用效果<sup>[1,12,14-15]</sup>。虽然目前基于 Sentinel-2 影像构建的扰动指数  $DI$  应用较少,但通过本研究表明该方法对森林扰动识别同样具有较好的监测能力。

随着我国航天领域的发展,适用于不同应用场景的卫星发射升空,填补了我国在亚米级高分领域及高光谱领域的空白。在今后的研究中,以国内外多遥感数据源为应用视角,探索不同星载传感器缨帽变换系数的推导方法<sup>[21-23]</sup>。并比较不同卫星遥感影像构建的扰动指数  $DI$  与其他森林扰动监测方法之间的识别能力,进一步印证扰动指数  $DI$  的实用效果。

#### 5 结论

本研究基于 Sentinel-2 遥感影像数据,通过扰动指数法与空间自相关分析了 2019、2020、2021 年建瓯市森林扰动变化情况,得出以下结论。

(1)建瓯市在 2019、2020、2021 年森林扰动指数  $DI$  均值分别为 0.12、0.14、0.10,表现出先增加后降低的特征,并且通过等密度分割法对建瓯市森林扰动指数  $DI$  影像进行分级统计可知,3 个时期建瓯市森林受扰动程度总体处于低水平,低扰动的等级

规模呈现先下降后上升趋势,而其他等级则均表现为先上升后下降,与低扰动等级呈现出此消彼长的变化特征。

(2)将等密度分割影像进行差值处理,研究 2 个时段建瓯市森林变化状况发现,建瓯市森林受到破坏的地区主要为南部、东部乡镇,而森林改善区主要来自于上年度森林受到破坏的乡镇。可见,建瓯市森林砍伐后的土地自然恢复或复植补种成效较好。

(3)利用全局自相关分析,得出建瓯市森林扰动加重区与改善区分布具有显著的空间集聚性,结合空间冷热点分析可知,建瓯市森林各变化区冷热点空间分异明显,热点区空间逐步聚集;从演变的方向来看,3 年间建瓯市森林改善区的空间格局总体上由西北部向东南部演变,而森林扰动加重区域的空间格局整体集中于东部及南部乡镇,需引起重点监测。

综上所述,建瓯市森林扰动在规模上年际变化差异明显,总体变化趋势向好;在空间上森林扰动加重区与改善区具有显著空间自相关性,3 年间加重区主要分布于建瓯市南部、东部乡镇,改善区则主要分布于西北部及东南部,形成演变方向各异的发展态势。

#### 参考文献:

- [1] 杨辰. 区域森林植被扰动遥感监测研究——以武宁县为例[D]. 南京:南京信息工程大学,2013.
- [2] 孙自法. 国际最新研究:全球对农业和林业商品的需求上升导致森林被砍伐[J]. 中国食品,2021(8):160.
- [3] 曾庆伟,武红敢. GF-6WV 黄边波段在森林扰动监测中的应用潜力研究[J]. 北京测绘,2020,34(2):208-213.
- [4] 祝善友,张莹,张海龙,等. Landsat 卫星图像用于大面积森林扰动监测的研究进展[J]. 国土资源遥感,2014,26(2):5-10.
- [5] 杨辰,沈润平. 森林扰动遥感监测研究进展[J]. 国土资源遥感,2015,27(1):1-8.
- [6] 李洛晔,沈润平,李鑫慧,等. 基于 MODIS 时间序列森林扰动监测指数比较研究[J]. 遥感技术与应用,2016,31(6):1083-1090.
- [7] 周妍妍,郭晓娟,邹明亮,等. 基于扰动指数的天水南部植被扰动时空序列研究[J]. 生态科学,2019,38(1):102-110.
- [8] SCHROEDER T A, WULDER M A, HEALEY S P, et al. Mapping wildfire and clearcut harvest disturbances in boreal forests with Landsat time series data[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(6):1421-1433.
- [9] HAI S M, JONÁSOVÁ, LANGHAMMER J, et al. Comparison of two types of forest disturbance using multitemporal Landsat TM/ETM+ imagery and field vegetation data[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(4):835-845.

(下转第 506 页)

- [13] 鲁敏,姜凤岐,宋轩. 容器苗质量评定指标的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(6):763-765.
- [14] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2006:122-123.
- [15] 陶文文,蒋文伟,赵丽娟. 3个钩钟柳品种叶绿素荧光特性比较[J]. 浙江农林大学学报,2011,28(3):367-371.
- [16] 徐味. 不同育苗基质对棕榈容器苗生长、生理及抗性的影响[D]. 贵阳:贵州大学,2018.
- [17] 艾娟娟,厚凌宇,邵国栋,等. 林业废弃物基质配方特性及其对柚木生长的影响[J]. 浙江农林大学学报,2018,35(6):1027-1037.
- [18] 武亚敬,毕君,高红真. 不同污泥含量香菇渣作基质对油松生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(12):51-54.
- [19] 骆漫,杨康,韦小丽. 育苗基质对榉树容器苗质量的影响[J]. 经济林研究,2020,38(1):231-236.
- [20] 严巍,杨瑞卿,胡永红. 不同栽培基质条件对4种行道树苗木根系生长的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(4):192-198.
- [21] 王艺,王秀花,张丽珍,等. 不同栽培基质对浙江楠和闽楠容器苗生长和根系发育的影响[J]. 植物资源与环境学报,2013,22(3):81-87.
- [22] 刘泽茂,杨晓玥,吴文,等. 不同容器和基质配比对榉树容器苗生长的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2022,42(1):68-75.
- [23] 林霞,郑坚,陈秋夏,等. 无柄小叶榕容器育苗轻型基质配方筛选[J]. 浙江林学院学报,2008,25(3):401-404.
- [24] 黄斌,罗志高. 不同栽培基质对油茶幼苗生长的影响[J]. 内蒙古林业调查设计,2021,44(1):40.
- [25] 安玉光,孙建文. 不同基质配方对文冠果容器育苗的影响[J]. 湖南农业科学,2021(10):20-23,26.
- [26] 胡小京,曾燕颖,敖飞雄,等. 不同栽培基质对两种石斛生长及生理的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2019,44(11):29-35.
- [27] 张鹏程. 不同配比椰糠复合基质对黄瓜生长发育的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [28] ABAD M, NOGUERA P, PUCHADES R, *et al.* Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 82(3):241-245.
- [29] 刘娟,刘凯,张长坤,等. 不同比例椰糠替代泥炭栽培基质对夏季辣椒幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学,2019,47(24):57-59,62.
- [30] 孙熹,严荣斌,赵玉清,等. 不同轻基质处理对火力楠容器苗生长的影响[J]. 广西林业科学,2020,49(2):254-257.

(责任编辑:郭丽娟)

(上接第499)

- [10] 张友静,方有清. K-T变换的林学意义及其在森林蓄积量估算中的应用[J]. 环境遥感,1992(3):163-171.
- [11] WULDER M A, SKAKUN R S, KURZ W A, *et al.* Estimating time since forest harvest using segmented Landsat ETM+ imagery [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 93(1/2):179-187.
- [12] HEALEY S P, COHEN W B, YANG Z Q, *et al.* Comparison of tasseled cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97(3):301-310.
- [13] 杨辰,沈润平,郁达威,等. 利用遥感指数时间序列轨迹监测森林扰动[J]. 遥感学报,2013,17(5):1246-1263.
- [14] 张宇欣,倪静,杨存建,等. 基于扰动指数的岷江上游森林扰动时间序列研究——以理县为例[J]. 浙江林业科技,2017,37(3):48-53.
- [15] 吴立叶. 区域森林扰动遥感监测研究——以江西省为例[D]. 南京:南京信息工程大学,2014.
- [16] 吴伯林. 建瓯市创建省级森林城市的现状与建议[J]. 乡村科技,2018(3):67-68.
- [17] 吴群英,苗彦平,陈秋计,等. 基于 Sentinel-2 的荒漠化矿区生态环境监测[J]. 采矿与岩层控制工程学报,2022,4(1):91-98.
- [18] LIU Q S, LIU G H, HUANG C, *et al.* Comparison of tasseled cap transformations based on the selective bands of Landsat 8 OLI TOA reflectance images[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2015, 36(2):417-441.
- [19] SHI T T, XU H Q. Derivation of tasseled cap transformation coefficients for Sentinel-2 MSI at-sensor reflectance data[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2019, 12(10):4038-4048.
- [20] 杨义炜. 晋江市城乡建设用地空间格局演变研究[D]. 福州:福州大学,2018.
- [21] 施婷婷,徐涵秋,王帅. ZY-3 MUX 传感器数据的缨帽变换系数推导[J]. 遥感学报,2019,23(3):514-525.
- [22] 王帅,徐涵秋,施婷婷. GF-1 WFV2 传感器数据的缨帽变换系数反演[J]. 地球科学进展,2018,33(6):641-652.
- [23] 李博伦,童超普,颜晓元. Landsat 8 陆地成像仪影像的缨帽变换推导[J]. 测绘科学,2016,41(4):102-107.

(责任编辑:刘元元)