doi: 10.6046/zrzyyg.2023285

第37卷,第1期

2025年02月

引用格式:陈媛媛,严铄婷,颜瑾,等.基于 Landsat 时间序列影像和 LandTrendr 算法的浙江省丽水市森林扰动监测[J].自然资 源遥感,2025,37(1): 179-187.(Chen Y Y, Yan S T, Yan J, et al. Forest disturbance monitoring in Lishui City, China based on Landsat time series images and the LandTrendr algorithm [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2025, 37(1): 179-187.)

基于 Landsat 时间序列影像和 LandTrendr 算法的 浙江省丽水市森林扰动监测

陈媛媛1,严铄婷1,颜瑾1,郑思齐1,王昊1,朱杰1,2 (1.南京林业大学土木工程学院,南京 210037; 2.实景地理环境安徽省重点实验室,滁州 239004)

摘要:采用先进技术手段快速准确地获取森林扰动情况,对维护森林生态安全具有重要意义。该文以浙江省丽水 市为研究区域,获取了1992—2022年6—8月所有的 Landsat 影像,基于 GEE 平台上的 LandTrendr 算法分析了丽水 市森林扰动特征,对丽水市各县市的森林扰动情况进行时空分析,并探讨了坡度、海拔和降水等自然因素对森林扰 动的影响规律。研究发现,丽水市在1992—2022年30a间总体上呈现出植被干扰减少的趋势;丽水市西北部的龙 泉市和遂昌县是森林扰动最严重的地区,2008年是森林扰动最大的一年;此外,坡度平缓和海拔高的地区以及降 水量减少的年份都容易发生森林扰动。研究可为丽水市森林资源的保护和管理提供科学依据和参考意见。 关键词:时间序列:LandTrendr;谷歌地球引擎(GEE):森林扰动 文章编号: 2097-034X(2025)01-0179-09 中图法分类号: TP 79 文献标志码: A

0 引言

森林不仅对地球的生态平衡起着重要作用,也 是人类生产生活的重要基础[1]。由于社会经济的 快速发展、人类生活需求的增加和自然灾害的频发, 近些年全球各地森林受到了严重影响,森林结构遭 到破坏,功能发生退化^[2]。森林扰动会对生态系统 产生重要影响,包括生物多样性降低、生态系统功能 损失、土壤侵蚀和水源污染等,这些影响可能会导致 森林生态系统崩溃,进而影响气候变化[3]。因此, 加强对森林资源的管理和保护,改变森林资源下降 的趋势,是目前的工作重点。而监测和了解森林扰 动及其影响规律,对实现这一目标至关重要。

传统的森林干扰监测大多以实地调查为主,耗 时耗力、成本高、实时性差,并且人为主观性因素容 易造成测量精度较低[4]。近年随着遥感卫星技术 的不断发展,遥感影像数据已被证明有助于准确评 估和监测全球、区域和地方范围内的森林及其扰 动^[5-6]。相比于传统的人工实地测量方法,遥感技 术可以提供大范围、高时空分辨率的图像来监测森

林的动态变化情况[7-8],目不受昼夜及天气变化影 响,因此成为森林资源监测的重要手段。Landsat 遥 感数据的免费获取及其在时空分辨率上的优势,使 其成为长时序森林扰动动态遥感监测的主要数据源 之一^[9]。近些年,基于 Landsat 时间序列堆栈(landsat time series stack, LTSS)的森林干扰自动分析算 法迅速发展^[10].这些算法包括:针对森林生态系统 的干扰和恢复事件的基于 Landsat 的干扰和恢复趋 势检则算法(landsat-based detection of trends in disturbance and recovery, LandTrendr)^[11]、用于检测和 定位森林干扰事件的分离趋势和季节项的突变点算 法 (breaks for additive seasonal and trend, BFAST)^[12]、自动检测和识别土地覆盖和土地使用 变化的变化检测及分类算法(continuous change detection and classification, CCDC)^[13-14]以及检测和分 类森林生态系统的植被变化的植被变化追踪算法 (vegetation change tracker, VCT)^[15]等。这些都是基 于时间序列的遥感影像变化检测算法,需要对时间 序列进行分段和拟合,目前常用的算法是 LandTrendr和BFAST^[16]。BFAST算法可以检测渐进变化, 适合处理森林生长、退化等过程,但其缺点是对短期

收稿日期: 2023-09-12;修订日期: 2024-03-01

基金项目:国家自然科学基金项目"顾及空间异质性的城市用地邻里模式矢量 CA 建模与模拟"(编号:42101430)、江苏省自然科学基 金资助项目"顾及散射机理的极化 SAR 沿海湿地特征提取与分类识别"(编号: BK20180779)和实景地理环境安徽省重点 实验室开放基金项目"顾及用地管控特征的矢量元胞自动机建模与模拟研究"(编号: 2022PGE006)共同资助。 第一作者:陈媛媛(1988-),女,博士,讲师,主要从事森林信息提取、土地利用/土地覆被分类等研究。Email: cheny@ njfu.edu.cn。

和小规模的变化反应不敏感,需要多期影像,对遥感 影像质量要求较高,并且无法检测出再次干扰的过 程^[17]。LandTrendr 能够识别出小到中等规模的土 地覆盖变化,包括森林疾病、干旱和其他环境压力因 素引起的微妙变化,同时也可以检测到大规模的变 化,如采伐、火灾和森林病虫害等^[18]。但LandTrendr 算法需要大量的计算资源和时间,参数设置较复 杂。为了解决这一问题,Kennedy等^[19]在2018年将 LandTrendr 算法应用到GEE (Google Earth Engine) 平台上,有效降低了该算法对数据管理、预处理和计 算资源的需求。此外,目前的研究鲜有对森林扰动 影响因素的深入分析。因此,亟需基于GEE 平台构 建中高分辨率长时间序列进行森林扰动监测,并开 展扰动因素分析。

综上,本研究获取了浙江省丽水市 1992—2022 年 30 a 间 6—8 月所有的 Landsat TM/ETM+/OLI 时 间序列遥感影像数据堆栈,提取归一化燃烧率(normalized burn ratio, NBR)作为监测指数,利用 GEE 云 处理平台上的 LandTrendr 时间分割算法对丽水市 森林干扰监测,选取一定数量的样本点对该方法进 行精度评价,并在时间和空间 2 方面对森林扰动分 布特征进行统计与分析,最后探讨坡度、海拔和降水 等自然因素对森林扰动的影响。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

丽水市(E118°41′~120°26′,N27°25′~28°57′) 位于浙江省的西南部,东临温州市,北靠金华市和台 州市,西邻武夷山,南与福建省的宁德市和龙岩市接 壤。丽水市因其优越的地理位置和气候条件,拥有 丰富的森林资源。地处亚热带季风气候区,年平均 温度较适宜,四季分明,降雨量充沛,年均降水量为 1568.4 mm^[20]。丽水市总面积1.729 8 万 km²,森林 覆盖率高达 81.7%,是全国第二大森林城市。

为了解丽水市的森林分布情况,本文采用 MCD12Q1 土地利用/覆被产品辅助进行目视解译, 该数据空间分辨率为 500 m。如图 1 所示,丽水的 森林以常绿阔叶林和常绿针叶林为主,遍布全境,南 部更是连绵不断,呈现出华东地区特有的垂直分布 的植被类型,如常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、 山地灌丛等,森林多为次生林,但也有一些半原生的 自然植被保存较好,主要有马尾松、杉木、木荷、甜 槠、青冈、毛竹等树种。



1.2 数据源

本文利用地理云计算平台 GEE 提供的 1992— 2022 年间 Collection 2 Level-2 级别的 Landsat TM/ ETM+/OLI 地表反射率数据产品。对于云层较多的 年份,或有数据缺口的 Landsat7 ETM+ SLC-off 模式 图像的年份,则使用多张图像以提高可用像素的空 间覆盖率。在 LandTrendr 算法中,影像选择时保持 季节的一致性比无云更重要[21]。此外,为减少因物 候或太阳高度角变化引起的反射率变化,选取每年 6-8月云量小于10%的影像数据,每年2~4景,共 92 景。同时,为排除 LTSS 中的水体、云和云阴影等 因素对结果的影响,采取掩模的方法对其进行处理。 得到年份云量最小的影像,构成 30 a 的 LTSS。本文 的 30 m 分辨率地形数据 SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission)数字高程模型(digital elevation model, DEM) 来自美国地质勘测局(https://www. usgs.gov/),降水数据来自国家地球系统科学数据中 心(http://www.geodata.cn/)的1901-2022年中国 1 km 分辨率逐月降水量数据集。此外,本研究还结 合分类产品和高分辨率 Google Earth 影像随机选取 了 256 个地面样本点, 136 个地面样本点用于调整 最优实验参数,120个样本点用于实验结果的评估。

2 研究方法

2.1 光谱指数选取

归一化植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)^[22-23],NBR^[5,24]和缨帽变换湿度指 数(tasseled cap wetness,TCW)常被作为监测森林扰 动的指数和指标^[24-25]。Kennedy 等^[19,26]研究表明 NBR 对森林植被干扰的捕捉特征比 NDVI 和 TCW 第1期

更为明显^[27],因此本研究采用中值法重构目标年份 6—8月最小云量的合成影像,从年合成影像中提取 NBR 指数构建时间序列数据来进行森林干扰监测。 其计算公式为:

$$NBR = \frac{B_{\rm nir} - B_{\rm swir2}}{B_{\rm nir} + B_{\rm swir2}} , \qquad (1)$$

式中: B_{nir} 为近红外波段反射率; B_{swir2} 为 Landsat 数据第二个短波红外波段反射率。

2.2 LandTrendr 检测方法

LandTrendr 算法是一种基于多波段 Landsat 影像时间序列的变化检测方法,它通过分析像素的光谱历史中的单一观点(如波段或指数),来识别光谱轨迹中持久变化或稳定时期的断点,并记录变化发生的年份^[26]。利用该算法对 NBR 时间序列数据进行分割的主要步骤为:

1) 对每个像素的 NBR 时间序列进行分割,识别 光谱轨迹中持久变化或稳定时期的断点,并记录变 化发生的年份。

2)将分割结果输出为一个多维栅格数据集,其 中每个像素都存储一组模型信息,用于描述该像素 随时间变化的历史记录。

3)使用变化分析的栅格检测工具,根据分割结 果生成一个包含每个像素变化信息的栅格。

4)利用多维光谱空间来预测土地覆盖类型、变 化过程和转变用于检测变化。

为了保证 LandTrendr 算法在丽水市森林扰动 监测中的准确性,本文结合地面样本点数据对分割 结果进行参数调整与优化,表1是本文最终实验中 LandTrendr 方法的参数设置。

表 1	L	Land	rend	lr 参数	
Tab.1	L	andTr	endr	naramete	r

参数	参数含义	取值
Max Segments	分割最大单元数目	7
Spike Threshold	初始阶段拟合的折点数	0.9
Vertex Count Overshoot	可超过的顶点数量	3
Prevent One Year Recovery	是否阻止一年后恢复的情况	True
Recovery Threshold	恢复是否具有上升(正)趋势	0.5
p-value Threshold	回归分析中 F 检验的 p 值,超过该值的话,则认为该像元没有发生变化	0.05
Best Model Proportion	简单模型的选择规则,如果超过该 值,则被选中	0.75
Min Observations Nee- ded	拟合中需要的最少观测数	6

2.3 时空分析方法

本文利用 GEE 平台和 DEM 数据,结合丽水市 1992—2022 年的森林扰动分布图和行政边界矢量 图,对森林扰动的面积、地形分布和变化趋势进行了 分析。具体步骤如下:

首先,将已经处理好的行政边界矢量图数据上 传到 GEE 云平台,并与森林扰动分布图叠加,利用 GEE 的空间分析功能,统计各行政区域的森林扰动 面积,并绘制森林扰动分布图。

然后,根据《森林资源规划设计调查技术规 程》,将坡度分为平坡[0,5)°、缓坡[5,15)°、斜坡 [15,25)°、陡坡[25,35)°、急坡[35,45)°和险坡 [45,90)°共6个等级^[28]。丽水市海拔范围为7~ 1929 m^[29],本文将海拔分为7个等级:[7,200) m, [200,400) m,[400,600) m,[600,800) m,[800, 1000) m,[1000,1200) m和[1200,1929] m^[30], 并与 DEM 数据叠加,利用 GEE 的地形分析功能,统 计不同地形区域的森林扰动面积,并绘制森林扰动 地形分布图。

最后,以5 a 为时间步长,利用 GEE 的时间序列 分析功能,分析 1992—2022 年丽水市森林扰动的年 度变化特征,并绘制森林扰动变化趋势图。

3 结果与分析

3.1 算法精度评估

为了评估 LandTrendr 算法预测干扰年份的精 度,本研究用随机生成的120个样本点结合高分辨 率 Google Earth 影像进行了目视解译。图 2(a)— (c)分别为 2007 年、2008 年和 2009 年样本区域的 森林干扰情况,从图2(a)—(c)的Landsat影像中可 以看出,框选的森林区域中,大部分区域的变化持续 时间为1a,少部分为2a,与LandTrendr 变化检测得 到的森林干扰持续时间结果(图 2(d))相符合。图 3(a)—(c)显示了样本区域的森林变化发生年份, 从图 3(a) 中可以看出, 2003 年发生变化的样本点 在 LandTrendr 干扰起始年份结果中(图 3(d))呈蓝 色,图3(b)2005年发生变化的样本点在LandTrendr 干扰起始年份结果中(图3(d))呈灰色,图3(c) 2009 年发生变化的样本点在 LandTrendr 干扰起始 年份结果中(图3(d))呈绿色。从 LandTrendr 算法 的干扰结果得到预测干扰年份,通过对样点区域进 行目视解译得到实际干扰年份,并对预测结果和实 际结果进行拟合,结果如图4所示。从中可知 Land-Trendr 算法的预测效果较好,样本点大部分分布在 一条直线上,表明预测值与实际值接近,但也存在一

些偏差,主要表现为实际干扰年份被高估的情况,也 有少部分被低估的情况。预测精度较高,线性拟合 方程的斜率为 0.96,决定系数 *R*²为 0.97。





Fig.4 Assessment of forest disturbance accuracy

3.2 丽水市森林扰动分布特征

3.2.1 森林扰动时空分布特征

1992—2022年的丽水市森林干扰总体空间分 布如图 5 所示。从干扰起始年份(图 5(a))可以看 出,干扰多发生在西北地区,特别是龙泉市和遂昌 县,这2个地区的干扰面积分别占全市的18.81%和 17.6%,其次是庆元县、景宁畲族自治县和青田县。 东北部发生的干扰较少,如莲都区和缙云县,中部云 和县是发生干扰最小的地区,其干扰面积仅占全市 的 5.74%。从干扰持续时间(图 5(b))可以看出大 部分干扰持续时间较短,都在1~5 a之间。莲都区 的干扰持续时间长达10 a 以上的地方较多,整体来 看西南地区朝东北地区干扰持续时间呈增加的趋 势,且长时间干扰都发生在城镇周围。从干扰程度 (图 5(c))可以看出人口密集的城镇周边是森林干 扰程度较高的区域,如莲都区、龙泉市区、遂昌县城 的城区周围等,这些地区由于城镇化、工业化、交通 建设等原因,对森林造成了较大的压力和破坏。莲 都区作为丽水市经济最发达的地区,部分区域干扰 程度严重。



Fig.5 Overall distribution of forest disturbance in Lishui City

经统计得出的森林干扰年际变化如图 6 所示, 扰动的发生随时间变化没有明显的规律,总体呈现 出波浪状。发生森林干扰有 2 次大峰值,分别是 1992 年(187.88 km²)和 2008 年(190.54 km²),分别 占森林扰动总面积的 6.94%和 7.03%,6 次小峰值分 别是 1997 年(119.28 km²)、2000 年(88.73 km²)、 2004 年(153.78 km²)、2011 年(122.87 km²)、2014 年(117.60 km²)和 2021 年(76.76 km²)。发生干扰 最小的年份为 1993 年(14.13 km²),占森林扰动总 面积的 0.52%,其次为 1994 年和 1999 年,分别占森 林扰 动总 面积的 0.75% 和 1.42%。总体来看, 1992—2012 年期间平均干扰面积为 68.09 km²,是 年平均干扰最小、干扰趋势下降较小(斜率最大)的 时间段。后 10 a(2013—2022 年)平均干扰面积相 比其他时间段明显干扰严重,是年均干扰面积最大 的时间段,达到 120.84 km²,但干扰趋势的斜率最 小,表明其干扰呈下降趋势更为明显,受干扰的森林 面积越来越少。





3.2.2 不同市区县森林扰动分布特征

为了探究丽水市各市县森林扰动的时空变化特征,本文统计了丽水市各市区县的扰动面积及比例,如图7所示。30 a 间森林扰动总面积排前三的分别是龙泉市(509.24 km²)、遂昌县(476.50 km²)和青田县(368.99 km²),占总扰动面积的 50.05%。总扰动面积最小的分别是云和县(155.32 km²)、缙云县(219.23 km²)和莲都区(227.44 km²),占总扰动面积的 22.24%。从时间分布看,大部分市区县的森林在 2003—2012年间扰动大幅增加,其中后 5 a 森林扰动面积最大,达到 608.78 km²,占总面积的

22.49%,之后的年份逐渐减少。2013—2022年干扰 面积逐渐下降,前5a,尤其是青田县、遂昌县、景宁 畲族自治县和龙泉市较2008—2012年大幅减少 14.64%,7.89%,7.83%和7.74%。从空间分布来看 丽水市的森林干扰主要集中在西南部和东北部的地 理位置,这些地区容易发生森林火灾、泥石流等问 题。由于各市区县的面积不一样大,计算了各市区 县的干扰面积占各市区县的森林面积比值,发现遂 昌县的干扰情况最为严重,达18.67%,其次依次为 松阳县、龙泉市、云和县、莲都区、青田县、缙云县和 庆云县,受干扰最轻的是景宁畲族自治县。







3.3 森林干扰驱动因素

3.3.1 不同坡度的森林干扰情况

将坡度分为6级分别统计森林干扰情况,见图 8,丽水市的森林扰动主要发生在斜坡(821.81 km²),

其次是缓坡(737.19 km²)和陡坡(518.48 km²),[5, 35)。的坡度上发生的干扰占总森林干扰面积的 82.59%,斜坡上发生的干扰面积是平坡的2.8倍,是 急坡的6.3倍。当坡度在[15,25)。之间,随着坡度 越来越陡峭,干扰面积也大幅减少,大于45°后基本 没有干扰的发生,险坡上发生的干扰面积占总干扰 面积的0.41%。从图8也可以看出各种坡度的森林 干扰面积和该坡度总面积成正比,从各个坡度所受 干扰占坡度面积的百分比可知,发生扰动频繁的区 域是平坡,随着坡度的增加扰动频度降低,但是在险 坡时扰动频度又向上增长。





3.3.2 不同海拔的森林干扰情况

对丽水市不同海拔上的森林干扰进行统计见图 9。可以看出,丽水市森林干扰主要发生在[400, 1200) m的海拔范围,其中,[1000,1200) m的海 拔是干扰的高发区,扰动面积为608 km²,占总扰动 面积的23.86%,其次是[400,600) m的海拔区域, 为560.78 km²,占总干扰面积的22%,海拔低于200 m 和大于1200 m的地区发生的干扰较小,合起来不 超过11%。除了1992—1997年间在海拔[1000, 1200) m的地区发生过大面积干扰,其他干扰主要 发生在2003—2013年间。森林干扰面积占该海拔 面积的百分比总体上是随海拔增加而增加的,表明 森林干扰在高海拔区域发生的更加频繁,但海拔大 于1200 m的地区,干扰急剧减少。从图9也可看 出,随着年份增长,各海拔地区的干扰都明显减少, 这也表明我国的各项森林资源保护政策逐渐见效。



Fig.9 Forest disturbance at different altitudes in Lishui City

3.3.3 降水对森林扰动分布的影响

降水也可能成为影响森林干扰的驱动因素之一,如图 10 所示,总体上来看,降水量和干扰面积大 致呈负相关的关系,当降水减少时干扰面积增加,降 水增大时干扰面积减少。2010 年是 30 a 间降水最 多的一年,达到 2 015.7 mm,此年的干扰面积也相比 上一年大幅下降。前 10 a 的降水量占总降水量的 35.81%,中间 10 a 占 30.88%,后 10 a 占 33.30%,干 扰面积占总干扰面积比依次为 28.91%,42.34%和 28.75%。降水的变化是下降—上升,干扰面积是上 升—下降,符合负相关的关系。





Fig.10 Characteristics of annual disturbance area ratio and average annual precipitation over time in Lishui City

第1期

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文基于 LandTrendr 算法对 NBR 指数构成的 时间序列数据进行处理,得到丽水市森林干扰情况, 发现该区域森林干扰在一些年份出现了峰值(图 6)。1992年、1997年、2004年、2008年和 2021年是 丽水市森林干扰面积较大的年份,这些年份都发生 了严重的森林火灾、洪涝灾害、山体滑坡等自然灾 害,造成严重的森林破坏。2014年是丽水市森林干 扰面积开始明显下降的转折点,这一年丽水市实施 了以生态、休闲、养生为主题的旅游品牌建设,提高 了森林资源的保护意识和水平,减少了人为的破坏 和干扰。

图 8 和图 9 分别从坡度和海拔的角度分析。坡 度小于 5°的地区是人类活动最频繁和最强烈的地 方,人类开垦土地和发展经济(如农业、林业、旅游 等),在这个坡度范围内发生的干扰最为严重。随 着坡度的增长,这些区域一般是山地或丘陵地带,人 类活动相对较少,森林较为完整和稳定。大于 45° 的坡度一般较为陡峭,坡度较大,土壤较薄,易发生 水土流失和滑坡等自然灾害,影响森林稳定性和连 续性。从海拔来看,在[1000,1200) m海拔的地区 干扰最为频繁,海拔1000m以上的地区气温较低, 湿度较大,容易形成云雾和露水,导致森林长期湿润 度过高,不利于森林生长和抵抗病虫害。这一区域 仍然是丽水市森林保护和管理的重点区域。相关部 门需要平衡好经济发展和生态保护之间的关系,加 强对森林资源的合理利用和科学管理,提高森林扰 动的监测和预警能力,减少森林扰动的发生和扩散, 保障森林生态系统的健康和可持续。

从降水的角度出发,根据丽水市年干扰面积比 和年均降水量随时间变化特征分析(图10)可知,降 水的多少会影响森林的生长和抵抗力,并进一步影 响火灾和虫害的发生。降水量和干扰面积大致呈负 相关的关系,这意味着当降水减少时,森林更容易受 到干旱、火灾或虫害的影响,从而导致干扰面积增 加;而当降水增大时,森林更有利于保持水分和健 康,从而减少干扰面积。

4.2 结论

为了探究丽水市森林变化的动态特征,本研究 以 1992—2022 年间的 Landsat 遥感影像作为数据 源,提取了 NBR 指数构建时间序列数据,基于 GEE 平台的 LandTrendr 算法对丽水市的森林进行了长 时间序列的监测和分析,获取了丽水市各市区县的 森林干扰情况数据,并对其进行了统计和对比。进 一步,探讨了影响森林干扰的自然因素,主要包括坡 度、海拔和降水等。通过对这些因素与干扰数据的 相关性分析。得到如下结论:

1) 丽水市西北部的龙泉市在研究期间内的森林干扰面积最大,达到了 509.24 km²; 而干扰情况 最严重的是遂昌县,其森林干扰率高达 18.67%。

2) 在时间上, 丽水市森林干扰面积最大的一年 是 2008 年, 达到了 190.54 km²; 1993 年是森林干扰 面积最小的一年, 仅有 14.13 km²。

3)坡度平缓的地区,森林干扰较为严重,随着 坡度的增加,干扰情况逐渐减小,当坡度大于 45° 时,基本没有干扰情况发生;高海拔处的森林相较 于低海拔更易受到干扰,尤其是在[1000,1200)m 的海拔区间,干扰面积最大;降水量和干扰存在一 定的负相关关系。

本文研究可为部门加强森林资源监测、制订森林资源规划策略提供一定的科学依据和参考意见。

参考文献(References):

- [1] De Marzo T, Pflugmacher D, Baumann M, et al. Characterizing forest disturbances across the Argentine Dry Chaco based on Landsat time series [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2021, 98:102310.
- [2] Chen Y, Luo G, Maisupova B, et al. Carbon budget from forest land use and management in Central Asia during 1961—2010[J].Agricultural and Forest Meteorology, 2016, 221:131-141.
- He L H, Zhou Y K, Yang Q. Characteristics of spatial-temporal changes in vegetation coverage in Yan' an region during 2000—2013[J].Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(11):174-179.
- [4] Almeida D R A, Stark S C, Chazdon R, et al. The effectiveness of LiDAR remote sensing for monitoring forest cover attributes and landscape restoration [J]. Forest Ecology and Management, 2019, 438:34-43.
- [5] Li M,Zuo S,Su Y, et al.An approach integrating multi-source data with LandTrendr algorithm for refining forest recovery detection [J].Remote Sensing, 2023, 15(10):2667.
- [6] 王 燕,朱婷茹,何立恒.森林资源遥感调查研究进展[J].现代 测绘,2022,45(6):1-6,60.
 Wang Y,Zhu T R,He L H.Research progress on forest resources inventory based on remote sensing[J].Modern Surveying and Mapping,2022,45(6):1-6,60.
- [7] 王 平.南通市生态环境遥感监测及其动态变化研究[J].环境监控与预警,2012,4(6):42-45.
 Wang P.Study on dynamic changes of remote sensing and application to ecological environment monitoring in Nantong[J].Environmental Monitoring and Forewarning,2012,4(6):42-45.
- [8] 杨强,王婷婷,陈昊,等.基于 MODIS EVI 数据的锡林郭勒盟 植被覆盖度变化特征[J].农业工程学报,2015,31(22):191-198,315.

· 186 ·

Yang Q, Wang T T, Chen H, et al.Characteristics of vegetation cover change in Xilin Gol League based on MODIS EVI data [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015,31(22):191-198,315.

[9] 钟 莉,陈芸芝,汪小钦.基于 Landsat 时序数据的森林干扰监测 [J].林业科学,2020,56(5):80-88.

Zhong L, Chen Y Z, Wang X Q. Forest disturbance monitoring based on time series of landsat data[J].Scientia Silvae Sinicae, 2020,56(5):80-88.

- [10] 沈文娟,李明诗,黄成全.长时间序列多源遥感数据的森林干扰 监测算法研究进展[J].遥感学报,2018,22(6):1005-1022.
 Shen W J,Li M S,Huang C Q.Review of remote sensing algorithms for monitoring forest disturbance from time series and multi-source data fusion[J].Journal of Remote Sensing, 2018,22(6):1005-1022.
- [11] Cohen W B, Yang Z, Kennedy R.Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync— Tools for calibration and validation[J].Remote Sensing of Environment, 2010, 114(12):2911-2924.
- [12] Verbesselt J, Zeileis A, Herold M. Near real-time disturbance detection using satellite image time series [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 123:98-108.
- [13] Zhu Z, Woodcock C E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data [J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 144:152-171.
- [14] 秦 乐,何 鹏,马玉忠,等.基于时空谱特征的遥感影像时间序 列变化检测[J].自然资源遥感,2022,34(4):105-112.doi:10.
 6046/zrzyyg.2021351.

Qin L, He P, Ma Y Z, et al. Change detection of satellite time series images based on spatial – temporal – spectral features [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (4): 105 – 112. doi: 10. 6046/zrzyyg.2021351.

- [15] Huang C, Goward S N, Masek J G, et al. An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114 (1):183-198.
- [16] 苏文瑞,田 佳,杨泽康,等.基于 GEE 和 LandTrendr 的宁夏"三山"森林干扰监测[J].中国水土保持科学(中英文),2022,20
 (6):41-49.
 Su W R, Tian J, Yang Z K, et al. Monitoring of forest disturbance in

"Three Mountains" of Ningxia based on GEE and LandTrendr[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2022, 20(6):41-49.

- [17] DeVries B, Verbesselt J, Kooistra L, et al. Robust monitoring of small-scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series [J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 161:107-121.
- [18] Mugiraneza T, Nascetti A, Ban Y. Continuous monitoring of urban land cover change trajectories with landsat time series and Land-Trendr-Google Earth Engine cloud computing [J]. Remote Sensing, 2020, 12(18):2883.
- [19] Kennedy R, Yang Z, Gorelick N, et al.Implementation of the Land-Trendr algorithm on Google Earth Engine [J]. Remote Sensing, 2018,10(5):691.
- [20] 官王飞,徐建恩,叶 珊,等.丽水市"十三五"期间林木采伐现 状分析[J].福建林业科技,2022,49(3):111-115,124.

Guan W F,Xu J E,Ye S,et al.Current situation analysis of forest cutting in Lishui City during the 13th Five-Year Plan[J].Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2022, 49(3):111-115,124.

- [21] Shen J, Chen G, Hua J, et al. Contrasting forest loss and gain patterns in subtropical China detected using an integrated LandTrendr and machine – learning method [J]. Remote Sensing, 2022, 14 (13):3238.
- [22] 王 塞,王思诗,樊风雷.基于时间序列分割算法的雅鲁藏布江 流域 NDVI(1985—2018)变化模式研究[J].生态学报,2020, 40(19):6863-6871.

Wang S, Wang S S, Fan F L. Change patterns of NDVI (1985—2018) in the Yarlung Zangbo River basin of China based on time series segmentation algorithm [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40 (19):6863-6871.

[23] 于森, 贾明明, 陈高, 等. 基于 LandTrendr 算法海南东寨港红 树林扰动研究[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(2):42-49. doi:10.
 6046/zrzyyg.2022235.

Yu S, Jia M M, Chen G, et al. A study of the disturbance to mangrove forests in Dongzhaigang, Hainan based on LandTrendr [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2):42-49.doi: 10.6046/zrzyyg.2022235.

- [24] Qiu D, Liang Y, Shang R, et al. Improving LandTrendr forest disturbance mapping in China using multi-season observations and multispectral indices[J].Remote Sensing, 2023, 15(9):2381.
- [25] 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.doi;10.6046/gtzyyg.2015.01.01.
 Yang C,Shen R P.Progress in the study of forest disturbance by remote sensing[J].Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(1);1-8.doi;10.6046/gtzyyg.2015.01.01.
- [26] Kennedy R E, Yang Z, Cohen W B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. Land-Trendr—Temporal segmentation algorithms [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(12):2897-2910.
- [27] 殷崎栋,柳彩霞,田 野.基于 Landsat 时序影像和 LandTrendr 算法的森林保护区植被扰动研究——以陕西柴松和太白山保护区为例[J].生态学报,2020,40(20):7343-7352.
 Yin Q D, Liu C X, Tian Y. Detecting dynamics of vegetation disturbance in forest natural reserve using Landsat imagery and LandTrendr algorithm: The case of Chaisong and Taibaishan Natural Reserves in Shaanxi, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40 (20):7343-7352.
- [28] 陈海喜,钟九生,兰安军,等.基于地形地貌因子的贵州省 NDVI 时空变化分析[J].贵州科学,2019,37(2):36-43. Chen H X,Zhong J S,Lan A J,et al.Analysis of temporal and spatial variation of NDVI in Guizhou Province based on landform factors[J].Guizhou Science,2019,37(2):36-43.
- [29] 维基百科编者.丽水市[G/OL].维基百科,2024(20240201) [2024-02-01].https://zh.wikipedia.org/w/index.php? title=% E4%B8%BD%E6%B0%B4%E5%B8%82&oldid=80740233. Wikipedia editor. Lishui City [G/OL]. Wikipedia, 2024 (20240201)[2024-02-01].https://zh.wikipedia.org/w/index. php? title=%E4%B8%BD%E6%B0%B4%E5%B8%82&oldid =80740233.
- [30] 尹 雄,陈帮乾,古晓威,等.基于 GEE 平台 LandTrendr 算法的

第1期

海南岛森林扰动快速监测方法及分析[J].地球信息科学学报,2023,25(10):2093-2106. Yin X, Chen B Q, Gu X W, et al. Rapid monitoring of tropical forest disturbance in Hainan Island based on GEE platform and Land-Trendr algorithm[J].Journal of Geo–Information Science, 2023, 25 (10):2093-2106.

Forest disturbance monitoring in Lishui City, China based on Landsat time series images and the LandTrendr algorithm

CHEN Yuanyuan¹, YAN Shuoting¹, YAN Jin¹, ZHENG Siqi¹, WANG Hao¹, ZHU Jie^{1,2}

(1. College of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Anhui Province Key Laboratory of Physical Geographic Environment, Chuzhou 239004, China)

Abstract: The rapid and accurate acquisition of forest disturbances using advanced technological methods is of great significance for maintaining forest ecological security. In this study, all Landsat images of Lishui City, China from June to August from 1992 to 2022 were acquired. Based on the LandTrendr algorithm on the Google Earth Engine (GEE) platform, this study analyzed the characteristics of forest disturbances in the city. A spatiotemporal analysis of forest disturbances across various counties and cities within Lishui was conducted, and the influence patterns of natural factors including slope, elevation, and precipitation on forest disturbances were also explored. The results indicate that vegetation disturbances in Lishui City generally decreased over the 30 years. Spatially, the most severe forest disturbances occurred in Longquan City and Suichang County located in northwestern Lishui City. Temporally, 2008 witnessed the most severe forest disturbances. In addition, areas with gentle slopes and high elevations, as well as years with reduced precipitation, were more sensitive to forest disturbance over the 30 years. This study will provide a scientific basis and reference for the preservation and management of forest resources in Lishui City.

Keywords: time series; LandTrendr; Google Earth Engine (GEE); forest disturbance

(责任编辑:李瑜)

