

基于遥感监测的退化林地更新造林成效动态评估方法研究

王力鹏

阜新市林业发展服务中心, 辽宁 阜新 123000

[摘要]为了有效监测与预警林地退化问题,保障林地生态系统的健康与功能,采用多源遥感数据与地面调查相结合的方法,将目光聚焦在我国中高纬度地区那些典型的林区之上,针对退化林地识别以及更新造林成效的动态评估,对其关键技术体系展开了一番细致的研究。在此过程中,构建起了一套退化林地识别指标体系,该体系把多时相光谱特征、纹理信息还有物候参数融合到了一起。还进一步发展出了一个造林成效量化评估模型,此模型是基于时间序列分解以及趋势检验来开展相关工作的。还对生态恢复过程所呈现出的时空异质性及其背后的驱动机制展开了系统的分析。通过这些研究,为提升林地生态恢复工程在精准管理方面的水平给予了相应的科学依据,并且也为其提供了有力的技术支撑。

[关键词]多源遥感数据;退化林地识别;动态监测;生态恢复力

DOI: 10.33142/ec.v8i6.17217

中图分类号: S718

文献标识码: A

Research on the Dynamic Evaluation Method of Afforestation Effectiveness in Degraded Forest Land Based on Remote Sensing Monitoring

WANG Lipeng

Fuxin Forestry Development Service Center, Fuxin, Liaoning, 123000, China

Abstract: In order to effectively monitor and warn of forest degradation issues, ensure the health and function of forest ecosystems, a combination of multi-source remote sensing data and ground surveys was adopted, focusing on typical forest areas in China's mid to high latitudes. A detailed study was conducted on the key technical system for identifying degraded forest land and dynamically evaluating the effectiveness of afforestation. During this process, a set of identification indicators for degraded forest land was constructed, which integrates multi temporal spectral features, texture information, and phenological parameters together. A quantitative evaluation model for afforestation effectiveness has been further developed, which is based on time series decomposition and trend testing to carry out related work. A systematic analysis was also conducted on the spatiotemporal heterogeneity and driving mechanisms behind the ecological restoration process. Through these studies, corresponding scientific basis has been provided to improve the level of precise management in forest ecological restoration projects, and strong technical support has also been provided.

Keywords: multi source remote sensing data; identification of degraded forest land; dynamic monitoring; ecological resilience

引言

森林生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分,承担着碳汇、水土保持和生物多样性保护等功能。然而,全球气候变化与人类活动导致林地退化问题日益严峻,亟需构建科学化、动态化的监测预警体系。林地退化这一现象正呈现出范围逐渐扩大的趋势,其退化程度也在不断加剧,此种情况已然形成了十分严峻的态势,给区域以及全球的生态平衡带来了持续存在的潜在威胁。当下急需去构建起一套技术体系,该体系要具备科学性、时效性以及可操作性,能够针对林地退化展开动态监测,同时对更新造林的成效予以精准评估,以此达成对退化状态实现早期识别的目标,做到对恢复进程实施实时跟踪,并且能够让管理策略达成动态优化的效果。

1 数据与方法

1.1 多源遥感数据选择与预处理

研究运用了时间跨度涵盖 2023 年至 2025 年的 Landsat9OLI-2、Sentinel-2MSI 以及高分六号卫星所获取的光学影像数据,这些数据出自美国地质调查局 USGS

地球探索者平台、欧洲航天局哥白尼开放访问中心以及中国资源卫星应用中心。所有的影像都经历了严谨的辐射定标处理,把原始的数字量化值转变为有明确物理意义的大气顶层表观反射率,随后运用 FLAASH 模型开展精准的大气校正,有效地消除了气溶胶散射以及水汽吸收等大气干扰因素给地表真实反射率信息还原带来的系统性偏差。对于不同空间分辨率的影像数据,采用了 Gram-Schmidt 光谱锐化方法来实施影像融合处理,成功创建了同时具备高空间分辨率和多光谱信息优势的融合数据集,为后续在精细尺度上开展地物识别与参数反演筑牢了影像数据的基础。尤其值得一提的是 2024 年推出的 Landsat9Level-2 级产品极大地提高了辐射定标的精度。

1.2 退化林地识别指标体系

构建起了一套多维度且多尺度的退化林地识别综合指标体系。在光谱方面,着重对归一化差异植被指数 NDVI、增强型植被指数 EVI 这类对植被光合作用活性以及叶绿素含量变化极为敏感的植被指数展开了重点计

算,而这些指数恰恰能够作为反映植被生长状况出现退化的直接光谱依据。从空间结构维度来讲,针对影像的灰度共生矩阵纹理特征进行了细致挖掘,像同质性、对比度、熵等这些特征,对于树冠结构呈现出破碎化的情况、林下植被覆盖度有所降低等退化表现有着独特的时间刻画能力^[1]。就时间维度而言,全面提取了关键物候参数,比如生长季开始日期 SOS、生长季结束日期 EOS、生长季长度 LOS 还有生长季内最大 NDVI 值等等,物候特征出现的异常偏移情况乃是识别林地生理功能出现衰退的关键时序信号。依据上述所提及的多维特征集合,运用了随机森林这种具备较强鲁棒性并且分类精度颇高的机器学习算法,在 GoogleEarthEngine 云平台成功实现了大范围退化林地的自动识别以及空间制图工作。

1.3 地面验证与样本设计

依照空间分层抽样的原则并力求实现典型退化类型全覆盖,在所划定的研究区域里系统性地设置了 245 个有着明确地理坐标的固定验证样地,且每个样地的面积都严格把控在 30m×30m,以此来与中等分辨率卫星影像的像元尺度相匹配。在 2023 年至 2025 年这连续三个生长季的峰值时段,有序组织开展了一致性的地面详查活动,其调查内容包含了样地当中优势树种的具体组成情况、乔木层的郁闭度状况、灌木层以及草本层的盖度情况、枯落物的实际厚度,还有那些肉眼能够清晰辨别的退化表现,像是林木出现枯梢的情况、病虫害的相关症状、土壤遭受侵蚀的程度等等。与此还借助差分 GPS 设备精准测定出样地中心点的坐标,以此保证地面调查所获取的数据和同一时期经过该区域上空的卫星影像在空间位置方面能够达成亚像元级别的精确匹配,进而为遥感分类得出的结果以及参数反演模型给出的结论提供具备极高可靠性的地面真值验证数据。

2 动态评估模型构建

2.1 造林成效评价框架

确立了以生态恢复力作为核心导向的造林成效综合评价框架。该框架挑选了植被覆盖度 FVC、地上生物量 AGB、叶面积指数 LAI 以及景观连通性指数等关键生态参数当作核心量化指标,这些指标从植被覆盖程度、物质积累能力、光合作用效率以及生境空间格局等方面来综合呈现退化林地经过人工干预之后生态系统结构与功能的恢复状况。在时间方面,创新性地引入了变化检测技术 ChangeDetection,尤其是基于密集时间序列影像的 LandTrendr 算法,此算法可以有效地对时间序列进行分割,检测出造林干预事件发生的具体时间点,并且量化干预前后各个生态参数在短期也就是 1 至 3 年以及中长期即 5 年以上的恢复轨迹与速率,达成恢复成效的动态追踪与量化评定^[2]。同时,该评价框架还注重考虑社会经济因素,如造林成本、当地居民参与度以及政策执行情况等,这些因素虽难以直接通过遥感手段获取,但对于全面评估造林成效同样是至关重要的。为了将这些非遥感因素纳入到评

价体系中,研究团队设计了问卷调查与访谈相结合的地面调查方案,收集造林项目在实施过程中的社会经济数据,进而与遥感监测结果相结合,共同构成造林成效综合评价的数据基础。在遥感监测与地面调查的基础上,生态学、林学、经济学等多领域专家共同参与,从不同角度对造林成效进行深入剖析,确保评价结果的全面性和准确性。通过跨学科合作,不仅可以深化对造林成效的理解,还能为制定科学合理的生态恢复策略提供有力支持。

2.2 多时相数据分析模型

就长时间序列的生态参数数据集展开分析,像年际最大 NDVI 序列这类数据,运用稳健的时序分解办法来细致剖析。使用季节性-趋势分解方法 STL,把原始的时间序列数据拆解成趋势项、季节项以及剩余项这三个部分,清楚地将由造林措施推动的长期恢复趋势信号剥离出来。接着,采用 BFAST 监测方法去检测时间序列里的突变点,这些突变点一般与重要的营林活动或者自然干扰事件相对应。对于提取出来的长期趋势项,运用非参数的 Mann-Kendall 趋势检验法对其变化趋势的统计显著性加以评估,并且计算 Theil-Sen 斜率来量化趋势变化的幅度大小,进而科学地判定造林后生态系统恢复的稳定性以及持续性。

2.3 不确定性分析与精度验证

为了对模型精度以及结果可靠性展开全面评估,系统地推进了不确定性分析相关工作。凭借独立验证样本集,着手构建起混淆矩阵,并且依照此矩阵来计算总体精度 OA、生产者精度 PA、用户精度 UA 以及 Kappa 系数等一系列经典的精度评价指标。着重对分类误差以及参数反演误差在空间分布方面所呈现出的特征展开分析,同时深入探讨误差来源,像是不同传感器之间存在的辐射一致性方面的差异、混合像元所产生的效应、物候期匹配出现的偏差等等,还要考量这些因素有可能给最终评估结论带来的影响^[3]。另外还专门针对空间尺度效应对于结果产生的影响予以评估,也就是在分析评估单元从像元尺度到小班尺度再到景观尺度进行转换之际,去考察评估结论的稳定性以及是否具备可外推的特性。所有的精度评价结果都得借助地面独立验证数据来加以严格的校验。

3 结果与讨论

3.1 退化林地空间分布特征

依据 2025 年最新的识别情况来分析,在研究的这片区域当中,那些呈现出中度及以上的退化程度的林地,其总面积经过估算大约为 1850 平方公里,这一面积大概占到该区域森林总面积的 7.8%,而且这个数据和同期省级林业部门所公布的公报数据基本上是相吻合的。从空间分布的格局方面来看,退化林地所形成的斑块有着十分显著的空间聚集特性,主要集中在区域的西南部低山丘陵地带,还有就是中东部靠近主要交通干线的森林边缘区域,在这些区域往往面临着更为频繁的人为干扰方面的压力,像是择伐、林下采集、旅游活动等情况,或者更容易受到周期

性干旱这类自然胁迫所产生的影响。借助高分辨率影像进行目视解译之后能够进一步发现,退化斑块的内部常常会出现树冠覆盖变得稀疏、林下植被趋于单一化甚至地表出现裸露化等典型的退化景观方面的特征。国家林草局在2024年发布的监测报告显示,和此区域类似的地区,其退化率存在着年均0.3%的波动情况。

3.2 造林成效动态变化规律

对2015年至2025年期间实施更新造林的区域展开动态评估可发现,造林之后生态系统所呈现出的响应有着颇为明显的阶段性特点。在造林完成后的短期响应阶段,也就是造林后1至3年这个时间段里,大概有72.5%的造林地块,其植被覆盖度FVC以及NDVI值都呈现出一种快速上升的积极趋向,平均每年的增长率分别能够达到8.3%和0.05,这无疑反映出在植被重建刚开始的时候,冠层得以迅速恢复的那种良好成效。不过,当进入到长期稳定性评估阶段,也就是造林后5年及以上的这个阶段时,不同地块所取得的成效便开始出现较为显著的分化情况:只有大约58.1%的地块能够保持稳定或者持续朝着更好的方向去改善,而这些地块通常都位于那些立地条件相对不错,并且后期管护措施比较到位的区域,像是补植、抚育、防火防虫等措施执行得力的地方;与此还有大约26.4%的地块则出现了恢复进程停滞不前,甚至指标值还出现回落的迹象,在土壤较为贫瘠、水分条件较差的阳坡中上坡位,以及遭受了后续干扰,比如放牧、火灾等情况的地块,这种表现就显得格外突出。

3.3 驱动因素分析

造林成效的时空分异是由复杂多样的自然因素以及人为因素共同推动形成的。从自然因素层面来讲,年际降水量存在波动情况,尤其是生长季的关键时段,在5月至7月期间出现的干旱事件,经证实是限制造林成效、甚至致使恢复进程发生逆转的关键气候胁迫要素,2023年夏季出现的极端干旱状况使得研究区域西南部大约15%的新造林地幼苗成活率出现了明显下滑的情况;局部地区爆发的松毛虫害同样给部分人工纯林的健康状况带来了极为严重的威胁。就人为因素而言,造林工作完成之后,持续开展管护工作的投入力度以及所采取管理措施的科学合理性显得尤为重要,相关数据表明,那些实施了封山育林并结合定期抚育的地块,其长期恢复稳定性指数相较于仅仅采取简单造林却未跟进管护的地块要高出大概35.7%;与此周边社区活动所带来的干扰强度,像过度放牧、采集非木质林产品等行为,也对新生林分的恢复进程产生了颇为明显的负面作用。

3.4 方法局限性及改进方向

本研究构建起的方法体系虽说具备一定的创新性,然而却存在着一些局限性。当下所依赖的光学遥感数据很容易受到云雨天气的干扰,如此一来便使得在获取关键物候期的高质量影像数据方面出现了缺口,进而对时序分析的

连续性产生了影响。就林下植被恢复状况以及土壤有机质变化等这些属于地下或者微观层面的生态过程而言,现有的遥感技术手段在对其加以表征的时候,其能力依旧有所欠缺。除此之外,该模型在刻画高度异质化的景观当中退化与恢复过程所呈现出的非线性响应以及阈值效应等方面,表现得还比较薄弱^[4]。在未来针对这一情况的改进方向应当着重于:将多平台、多源的数据加以深度融合,比如像激光雷达LiDAR、高光谱还有哨兵雷达数据等等,以此来提升对森林三维结构以及生理生化参数的反演能力;去发展那种能够将过程机理模型耦合起来的模型,像是把生态过程模型和数据驱动模型融合形成的混合评估框架,从而增强对生态系统复杂响应的模拟与预测能力;进一步深化对社会-生态系统耦合的研究,把人为管理决策行为及其背后的社会经济驱动因素更为系统地纳入到评估框架当中。

4 结束语

此次研究构建起一套评估体系,该体系以天地协同为基础,借助多时相分析来对退化林地更新造林成效展开动态评估。通过实证分析,本文得以揭示出造林成效在时空方面的动态规律,同时也将其背后所存在的自然驱动机制以及人为驱动机制都呈现了出来。这一研究成果一方面给科学评估区域生态恢复工程的效果带来了可以实际操作的技术工具,另一方面还为优化造林规划设计以及后期的适应性管理给予了极为关键的决策依据。不过要清楚,森林生态系统的恢复实在是一个相当漫长的过程,并且这个过程还充满了诸多不确定性,它无疑是一个复杂的系统工程。那么针对其成效评估而言,那就必须得秉持着动态的、多维度的以及长期的观点去开展相关工作。在未来,持续不断地推进遥感定量反演技术方面的发展,将多学科的知识加以融合,同时进一步强化长期定位监测网络所起到的支撑作用,这将会是提高退化生态系统恢复成效评估的精度、进一步加深对恢复生态学的认知并且最终能够服务于生态文明建设实践的一条必经之路。

【参考文献】

- [1]王珍香,肖海,全思湘,等.长株潭绿心中央公园核心区林地生态系统碳储量估算与分析[J].测绘通报,2025(5):15-20.
- [2]郑妍,徐增燕.遥感技术在森林资源调查中的运用分析[J].林业科技情报,2024,56(4):92-95.
- [3]余昌财.无人机遥感技术在林地确权调处中的创新应用与探讨[J].农业科技创新,2025(3):57-59.
- [4]王晓红,辛守英,张薇,等.基于主成分分析下贝叶斯优化卷积神经网络模型人工林树种识别的研究[J].森林工程,2025,41(2):298-311.

作者简介:王力鹏(1992.5—),毕业院校:上饶师范学院,所学专业:园林,当前就职单位名称:阜新市林业发展服务中心,就职单位职务:专技十一级。