

森林病虫害遥感监测与精准防治技术体系

宋展飞

东海县牛山果树综合实验站, 江苏 连云港 222300

摘要:随着全球气候变化与森林生态系统复杂化发展, 森林病虫害的发生频率与危害程度呈上升趋势。传统监测与防治手段受限于人力、时效和空间范围, 难以满足现代森林保护需求。本文围绕遥感技术在森林病虫害监测与防控中的应用, 系统分析当前主要技术路径, 探讨遥感与地面调查、智能算法结合的精准防治体系建设, 提出提升监测精度、优化防治策略的发展思路, 旨在为森林资源可持续经营与生态安全保障提供参考。

关键词: 森林病虫害; 遥感监测; 精准防治; 智能化管理; 生态保护

引言

森林作为重要的生态系统组成部分, 承担着涵养水源、固碳释氧、生物多样性保护等多重功能。但随着气候变暖、人类活动频繁和生物入侵加剧, 森林病虫害呈现出爆发频率高、蔓延速度快、破坏严重的趋势, 严重威胁生态安全。传统地面巡查监测受限于人力和地域条件, 效率低、预警滞后, 难以满足快速防控需求。遥感技术凭借大范围、实时性和多维信息优势, 为病虫害的快速识别与动态监测提供了新手段。通过高分辨率卫星影像、无人机航拍与多光谱数据应用, 可有效提高监测精度与时效。结合地面调查与人工智能分析, 可构建精准高效的防治体系。本文系统探讨森林病虫害遥感监测技术发展、应用现状与精准防控体系建设, 旨在促进遥感与防治技术深度融合, 助力森林资源保护与生态安全保障^[1]。

1 森林病虫害遥感监测技术的发展现状

1.1 卫星遥感技术在森林病虫害监测中的应用

卫星遥感作为宏观监测的重要手段, 具有覆盖范围广、定期观测、时效性强的特点, 广泛应用于森林病虫害的动态监测。通过高分辨

率卫星影像, 可以有效识别大范围林区中由于病虫害引起的植被变化, 如叶片脱落、颜色变异和树冠死亡等特征。不同波段的数据组合分析, 如红边波段与近红外波段, 能够增强对林木健康状况的识别精度, 辅助早期发现病虫害扩展趋势。利用时序遥感影像变化检测技术, 还可对病虫害发生发展过程进行动态追踪, 为灾害预警与防控决策提供可靠依据。

尽管卫星遥感技术在大尺度森林病虫害监测中展现了强大优势, 但仍存在空间分辨率受限、云层遮挡、数据获取周期较长等问题, 难以满足对局部小范围、突发性病虫害精准识别的需求。因此, 目前越来越多研究倾向于将卫星遥感与高分辨率航空或无人机遥感数据结合, 形成多尺度、多时相的综合监测体系, 以弥补单一遥感平台在细粒度识别与即时响应方面的不足, 提升整体监测精度与响应效率。

1.2 无人机与地面遥感技术的融合应用

无人机遥感因其机动性强、成像精度高、部署灵活, 成为近年来森林病虫害监测技术的重要补充手段。通过搭载多光谱、热红外或超光谱传感器, 无人机能够低空快速获取高分辨率影像, 精准识别初期病害迹象, 如局部叶色变化、温度异常与树体活力下降, 为病虫害早期诊断与分区防控提供精细数据支持。特别是

在山地、偏远林区或灾后急需评估的区域，无人机遥感展现出传统地面调查无法比拟的高效与可靠性。

为了进一步提升监测系统的综合性能，当前越来越多项目将无人机遥感与地面传感器、地面调查数据进行融合应用。通过建设地面观测点，实时采集植物生长状态、土壤湿度、气象参数等数据，与空中遥感信息进行校验与补充，可以显著提高病虫害识别的准确性与监测模型的稳定性。地空一体化、多源数据融合的监测体系，正成为森林病虫害遥感监测向智能化、精准化发展的重要方向，为后续精准防控策略制定打下坚实基础^[2]。

2 遥感数据处理与森林病虫害信息提取方法

2.1 遥感影像预处理与特征提取技术

为了提高森林病虫害监测的精度和可靠性，遥感影像在应用前需经过严格的预处理流程，包括辐射校正、大气校正、几何校正与影像配准等步骤。辐射校正可以消除传感器误差与光照条件变化的影响，大气校正有助于去除水汽、尘埃等对信号的干扰，而几何校正与配准则保证了不同时间、不同传感器影像之间的一致性。这些基础处理环节为后续病虫害特征提取与变化检测提供了标准化、可比性强的数据基础，是实现遥感精细化分析不可或缺的重要环节。

在特征提取阶段，基于植被指数（如 NDVI、SAVI）、红边指数、热红外特征等方法成为常用手段。通过监测植被光谱特征变化，可以有效识别病害区域与正常林分之间的差异。例如，当林木遭受虫害侵袭时，叶片色素下降、含水量减少，导致植被指数降低，红边位置发生位移。这些变化为病虫害识别提供了重要依据。利用主成分分析（PCA）、光谱分解、纹理分析等高级特征提取技术，还可以进一步提升微小病变区域的识别精度，满足复杂林地环境下的监测需求。

2.2 智能算法在病虫害遥感识别中的应用

随着机器学习与人工智能技术的发展，越来越多的智能算法被引入到遥感数据处理与森林病虫害识别中。支持向量机（SVM）、随机森林（RF）、卷积神经网络（CNN）等算法，能够根据大量已标注数据自动学习特征模式，提升病虫害分类与识别的准确率。与传统基于阈值或人工规则的方法相比，智能算法具有处理复杂异质性数据、挖掘深层次特征关系的明显优势，特别适用于林地异质性强、病害类型多样的实际场景^[3]。

在实际应用中，智能算法通常结合多源数据，包括光谱、热红外、激光雷达等，进行多特征融合与判别分析，以提高病虫害识别的精细化水平。例如，通过卷积神经网络对无人机航拍影像进行训练，可以实现对小面积病斑、零星虫害的快速准确识别，极大提升监测效率和空间精度。未来，随着深度学习、强化学习等新兴智能算法的不断进步，森林病虫害遥感监测将朝着更高自动化、更强适应性的方向加速发展^[4]。

3 森林病虫害精准防治体系构建路径

3.1 分区治理与差异化防控策略

基于遥感监测与地面调查数据，构建分区治理体系是实现森林病虫害精准防控的关键。通过病虫害发生的空间分布、严重程度和动态变化特征分析，可以将林区划分为重度危害区、潜在扩散区与安全监测区，针对不同区域制定差异化防治策略。在重度危害区，应优先集中人力物力，实施紧急喷洒、伐除清理等高强度干预措施；在潜在扩散区，则采取生物防控、物理阻隔与诱捕监测相结合的方法，防止病虫害蔓延扩散；而在安全区，主要以常规巡查与预警为主，保持林分健康状态。

分区治理不仅提高了防控资源的使用效率，也避免了全局性防治带来的资源浪费与生

态干扰。通过结合遥感实时监测与动态更新防治分区,可根据病虫害发展态势及时调整控制策略,实现由传统“全面防治”向“精准防治”转变,最大限度减少农药使用量与生态负荷。同时,分区治理有助于明确责任主体,提升各级林业管理部门与作业单位的协同防控能力,构建更加高效、灵活的病虫害防治体系。

3.2 智能化决策支持与应急响应机制

在精准防控体系中,建立智能化决策支持平台是提升防治效率与应急响应能力的重要保障。通过集成遥感监测数据、地面调查数据、气象环境数据及历史病虫害案例,利用大数据分析预测模型,可以实现病虫害发展趋势预测、防控效果评估与资源优化调度。基于智能决策系统,防控管理者能够实时掌握病虫害动态分布,科学制定防控计划,并根据实时变化调整作业方案,提高响应的针对性与时效性。

此外,应建立健全的森林病虫害应急响应机制,包括早期预警、快速响应、协同作战与后期评估等环节。依托智能决策平台,设置分级预警标准,一旦监测数据达到预警阈值,自动触发应急响应程序,迅速组织专业队伍、调配防控物资、开展现场作业。通过标准化、流程化的应急管理体系,可以有效压缩病虫害扩散时间窗,降低灾害损失。智能化决策与应急联动机制的建设,将推动森林病虫害防控工作从经验驱动转向数据驱动,为提升生态安全保障能力提供坚实支撑。

4 森林病虫害遥感监测与防治中的挑战与问题

4.1 数据获取与处理技术存在的局限性

尽管遥感技术在森林病虫害监测中展现出显著优势,但在实际应用中仍面临诸多挑战。高分辨率遥感影像受制于天气条件、成像时间窗口和传感器性能,存在数据获取不连续、空间分辨率与时间分辨率难以兼顾的问题。尤其在多云、雨季等气候条件下,光学遥感数据受

云层遮挡影响严重,导致监测盲区增加,影响整体监测覆盖率和数据时效性。虽然雷达遥感可以弥补部分气象影响,但其数据处理与解释难度较大,限制了广泛应用。

在数据处理环节,遥感影像的大数据量、高维度特性对存储、传输和处理能力提出了更高要求。现有的影像预处理、特征提取与分类识别流程仍存在计算复杂度高、自动化水平低、算法泛化能力不足等问题,导致监测成果的稳定性与一致性受限。此外,地面样本数据获取困难、样本不均衡等问题,也影响了智能算法训练效果,降低了病虫害识别的准确率和泛化能力,亟需通过技术创新加以突破^[5]。

4.2 防控体系协同不足与标准体系缺失

当前我国森林病虫害遥感监测与精准防治体系建设尚处于探索阶段,存在部门分工不清、信息共享不足的问题。由于林业、应急管理、气象等部门各自独立开展相关工作,缺乏统一的协调机制和数据共享平台,导致监测资源重复投入,信息更新滞后,难以形成高效联动的监测防控体系。不同地区在病虫害遥感识别标准、防治分区划定、防控作业规范等方面也缺乏统一标准,影响了数据互认与成果应用,制约了全国范围内的统一指挥与应急响应效率。

此外,在精准防治环节,针对不同林型、病虫种类、灾害等级的差异化防控策略体系尚不健全,存在“一刀切”或经验式作业的问题,影响了防控效果与资源利用效率。要真正实现遥感监测与精准防控的有效衔接,亟需加强跨部门、跨区域合作,完善标准制定与更新机制,推进遥感数据标准化、监测流程规范化、防治措施科学化,构建统一协调、反应迅速、资源共享的现代森林病虫害防控体系。

5 森林病虫害遥感监测与精准防治的发展趋势与优化建议

5.1 多源遥感与智能分析技术融合应用

未来森林病虫害遥感监测将朝着多源数据融合与智能化分析方向发展。单一传感器的数据难以全面反映复杂林地病虫害变化,因此,整合光学遥感、雷达遥感、热红外成像、激光雷达(LiDAR)等多源数据,形成多角度、多维度、多尺度的综合监测体系,将成为提升监测精度的重要趋势。通过多源数据互补,可在不同天气条件下持续获取稳定数据,提高监测时效性与空间覆盖率,同时提升对不同病虫害类型与发展阶段的识别能力。

智能分析技术的深度应用也是重要发展方向。随着深度学习、迁移学习等算法在遥感领域应用日益成熟,基于海量样本训练的智能模型可以实现更加精准的病虫害识别与变化检测。未来,应加强智能化病虫害识别系统开发,结合自动特征提取、时序变化分析与动态预警模型,提高监测自动化水平,降低人工干预成本,推动遥感监测从“发现变化”向“预测变化”转型,提前部署防控资源,提升防灾减灾效能。

5.2 精准防控技术体系完善与综合防治模式创新

精准防控技术体系的完善将是提升森林病虫害治理水平的核心环节。未来,应根据遥感监测数据动态调整防控分区,实施量化、标准化、智能化的差异化防治作业。推广无人机精准施药、智能诱捕系统、生物防治剂定点

释放等新型防控技术,减少农药使用总量,提高施药精准度,兼顾生态保护与病虫害控制效果。同时,应开发集成监测、决策、执行一体化的防控作业平台,实现防控流程可视化管理与效果实时评估。

综合防治模式创新也是提升整体防控效能的重要方向。应将森林健康经营理念融入病虫害治理全过程,通过优化林分结构、提升生物多样性、增强森林生态系统稳定性,从源头上提高林地抗逆性,降低病虫害暴发风险。结合遥感监测与生态系统健康评估,构建以“预防为主、防治结合”为核心的综合治理体系,实现从灾后应急控制向常态化预警预防转变。通过多技术协同、多部门合作,推动森林病虫害监测与精准防治体系向智能化、规范化、生态化方向持续升级。

结论

森林病虫害遥感监测与精准防治技术体系的发展,有效提升了监测效率与防控科学性。通过多源数据融合、智能分析与分区治理策略的应用,实现了病虫害早发现、快预警、准防控。当前仍需突破数据处理、标准体系与产业协同等瓶颈。未来,随着技术创新与管理模式优化,森林病虫害防控将向智能化、系统化、生态化方向持续演进,为森林资源可持续经营与生态安全提供有力保障。

参考文献

- [1] 张雪, 范慧珠, 张琳琳, 等. 无人机在林业中的应用[J]. 林业勘查设计, 2025, 54(02): 74-77.
- [2] 李董, 汤启国, 王红波, 等. 农作物重大病虫害预警与应急防控技术研究现状与趋势[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2025, 6(01): 25-40.
- [3] 李海亮, 李亦晴, 戴声佩, 等. 我国智慧林业关键技术研究进展[J]. 热带作物学报, 2024, 45(11): 476-486.
- [4] 杨帆, 王山宁, 王泽华, 等. 枣树害虫现状、防治技术及未来研究展望[J/OL]. 环境昆虫学报, 1-19.
- [5] 韦伊. 旅游开发过程中的传统村落保护研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.