

## 森林病虫害综合防治技术及生态安全评估

许洪斌

宽城满族自治县造字岭林场, 河北 承德 067600

**[摘要]**森林生态系统健康和稳定受森林病虫害这一重要影响因素左右且森林资源和生态环境也面临巨大威胁,文章综述森林病虫害综合防治技术发展现状并对化学防治、生物防治、物理防治等主要技术方法的优缺点和应用效果加以分析,重点探究生态调控、天敌利用、信息素诱控等生态友好型综合防治新技术的研究进展,同时就综合防治措施的生态安全性评估问题提出基于指标体系的定量评估法以全面评价防治措施的生态效益、经济效益和社会效益,研究显示将生态友好型技术和传统防治措施相结合的综合防治策略用于控制森林病虫害发生和蔓延很有效且能最大程度减少对生态环境的不良影响,以后的研究需要进一步完善综合防治技术体系并加强新型绿色防控技术的开发应用以及建立科学的生态安全评估体系,从而给森林病虫害可持续管理提供理论依据和技术支撑。

**[关键词]**森林病虫害; 综合防治; 生态友好; 生态安全评估; 可持续管理

DOI: 10.33142/nsr.v2i4.18727

中图分类号: S763

文献标识码: A

## Comprehensive Control Technology and Ecological Security Assessment of Forest Pests and Diseases

XU Hongbin

Kuancheng Manchu Autonomous County Zaoziling Forest Farm, Chengde, Hebei, 067600, China

**Abstract:** The health and stability of forest ecosystems are greatly affected by forest pests and diseases, and forest resources and ecological environment are also facing enormous threats. This article reviews the current development status of comprehensive forest pest and disease control technology and analyzes the advantages, disadvantages, and application effects of major technical methods such as chemical control, biological control, and physical control. It focuses on exploring the research progress of new eco-friendly comprehensive control technologies such as ecological regulation, natural enemy utilization, and pheromone induction. At the same time, a quantitative evaluation method based on an indicator system is proposed to comprehensively evaluate the ecological, economic, and social benefits of comprehensive control measures. Research has shown that a comprehensive prevention and control strategy that combines eco-friendly technologies with traditional prevention and control measures is effective in controlling the occurrence and spread of forest pests and diseases, and can minimize adverse effects on the ecological environment. Future research needs to further improve the comprehensive prevention and control technology system, strengthen the development and application of new green prevention and control technologies, and establish a scientific ecological security assessment system, in order to provide theoretical basis and technical support for sustainable management of forest pests and diseases.

**Keywords:** forest pests and diseases; comprehensive prevention and control; eco-friendly; ecological security assessment; sustainable management

### 引言

森林生态系统面临诸多胁迫因素,森林病虫害便是其中之一且威胁着全球森林资源可持续发展,因为联合国粮农组织(FAO)2021年全球森林资源评估报告表明全球每年大概3500万公顷森林被病虫害侵扰且直接经济损失超700亿美元。中国森林资源丰富且森林病虫害问题也得重视起来,国家林业和草原局数据发布显示2018到2022

年中国平均每年有1200万公顷森林受害且病虫害防治面积超3000万公顷并且重大林业有害生物灾害频发。全球气候变化加剧、国际贸易频繁以及人类活动干扰增多让外来入侵物种引入风险上升进而使森林病虫害发生范围变广、频率增多、危害加重且防治难度一直在加大。

传统森林病虫害防治大多依靠化学农药虽有一定防治成效但带来环境污染、生态破坏以及有害生物抗药性变

强等诸多问题。近年随着人类生态保护意识增强且可持续发展理念深化森林病虫害防治技术持续革新逐渐形成以生态安全为中心的综合防治体系该体系注重保障森林资源安全并最大程度守护生态环境使病虫害防治与生态系统健康达成双赢且不同防治措施的生态影响评估也愈发受关注如何科学客观评价防治措施的生态安全性以给合理防控策略制定提供依据是当下研究的热点与难点。所以探究森林病虫害综合防治技术发展状况评估其生态安全性对指导森林病虫害可持续管理推动森林生态系统健康维持国家生态安全有着重要理论意义与实践价值。本文想要系统整理森林病虫害综合防治技术发展情况剖析各种技术方法的利弊和应用成果并探寻综合防治措施的生态安全评估方法给森林病虫害可持续管理提供科学依据。

## 1 森林病虫害综合防治技术

### 1.1 化学防治技术

在森林病虫害防治里,化学防治是最传统的也是应用最广的技术,靠施农药直接杀死或者抑制有害生物,近些年这一技术在高效、低毒、低残留方面有了很明显的进步,2020—2023 年新型的选择性杀虫剂像酰胺类、双酰胺类和氟苯甲酰胺类等林业病虫害防治里的应用大幅增加,这些药剂靶标专一性强、用量少且对环境友好,中国林科院植物保护研究所 2022 年的调查数据显示,在松材线虫病防治中新型药剂的应用面积超总面积的 35%且平均防治效果提高了 20%、环境风险降低了 40%。

精准施药与科学用药在现代化学防治技术中越发受到重视,并且大面积森林病虫害防治方面无人机超低容量喷雾技术有了突破性应用,这一技术不但能提升作业效率、削减药液用量,而且可减轻对森林下层植被和土壤的影响<sup>[1]</sup>。2023 年林业病虫害防治统计数据 displays,在中国林业病虫害防治中无人机施药技术覆盖率已达到 30%,与传统地面喷雾相比,药液用量减少 50%~70%且防治成本也降低了 25%。另外,像缓释剂型、微胶囊制剂这类新型制剂技术也让化学农药的利用率和持效期大大提高,从而减少了施药次数以及环境暴露风险。

### 1.2 生物防治技术

有益生物及其代谢产物被用于生物防治技术以控制森林病虫害,这是生态友好型防治不可或缺的一部分,并且近五年间森林病虫害防治中微生物防治剂和天敌昆虫的应用范围持续扩大。到 2023 年中国登记的林业用生物农药将近 150 种且每年应用面积超 300 万公顷,像苏云金芽孢杆菌、白僵菌、绿僵菌这类微生物制剂在防治松毛虫、杨小舟蛾等关键林业害虫时效果不错、防治效率能达到 70%~85%。国

家林草局 2022 年的数据表明,2018 年中国森林病虫害防治中生物农药占比为 15%,到了 2023 年这一比例涨至 28%。

在天敌资源开发利用上有了重要进展,像赤眼蜂、捕食螨、瓢虫这类天敌昆虫的人工繁育技术和田间释放技术有了突破,2021—2023 年中国每年释放赤眼蜂防治森林害虫的面积超 50 万公顷且防效平均在 75%以上,昆虫信息素技术的应用潜力巨大,松墨天牛、杨小舟蛾等关键林业害虫的性信息素已能工业化生产并大规模应用,研究数据显示信息素诱捕技术跟传统化学防治比起来能减少 60%~80%的农药用量并且对有益昆虫的危害也能大大降低,开发利用生态友好型生物农药是森林病虫害防治的未来方向<sup>[2]</sup>。

## 2 森林病虫害综合防治的生态影响

### 2.1 对森林生态系统的影响

森林病虫害综合防治措施对森林生态系统有多方面影响,有积极作用也有潜在风险,中国森林生态系统定位观测网络 2020—2023 年的数据显示科学施行综合防治措施可有效维持森林生态系统的稳定性与多样性,应用生物防治、物理防治这类生态友好型技术后防治区域里生物多样性指数平均提高 12%且森林生态系统服务功能评估值提升 15%~20%,而那些过度依赖化学防治的地方生物多样性指数下降了 8%~15%并且生态系统恢复周期延长了 30%~50%。

森林群落结构和功能受防治措施的影响特别明显,中国林科院 2021—2023 年在各类森林中做的对比研究显示,用综合防治策略的森林垂直结构复杂程度提高了且林下植被覆盖率增加了 20%~30%、凋落物分解速度提升了 15%、碳氮循环更活跃了,这些改变有助于森林生态系统自我调节能力以及抗病虫害能力的增强,不过研究还发现,面积大强度高的某些防治措施也许会把森林生态系统的食物网结构破坏掉从而使次生害虫爆发,国家林业和草原局 2023 年发布的森林健康评估报告点明,维护森林生态系统健康的关键是那种注重生态平衡的综合防治策略<sup>[3]</sup>。

### 2.2 对非靶标生物的影响

评估生态安全性时,森林病虫害防治措施对非靶标生物的影响是个重要考量指标,2019—2023 年的监测数据表明不同防治措施给非靶标生物带来的影响差别很大,用传统广谱性化学农药防治的地方昆虫多样性指数降低了 30%~50%、传粉昆虫数量减少了 40%~60%、土壤动物群落结构也变得简单了,而生物防治区域呢,非靶标昆虫多样性的降低幅度没超过 10%且恢复速度还很快,一般 30~45d 就能恢复到防治之前的水平,2022 年发表的一个涵盖中国主要林区的大型研究显示信息素诱控技术对非靶标生物几乎没有影响,这是当下最有生态安全性的防治技术之一。

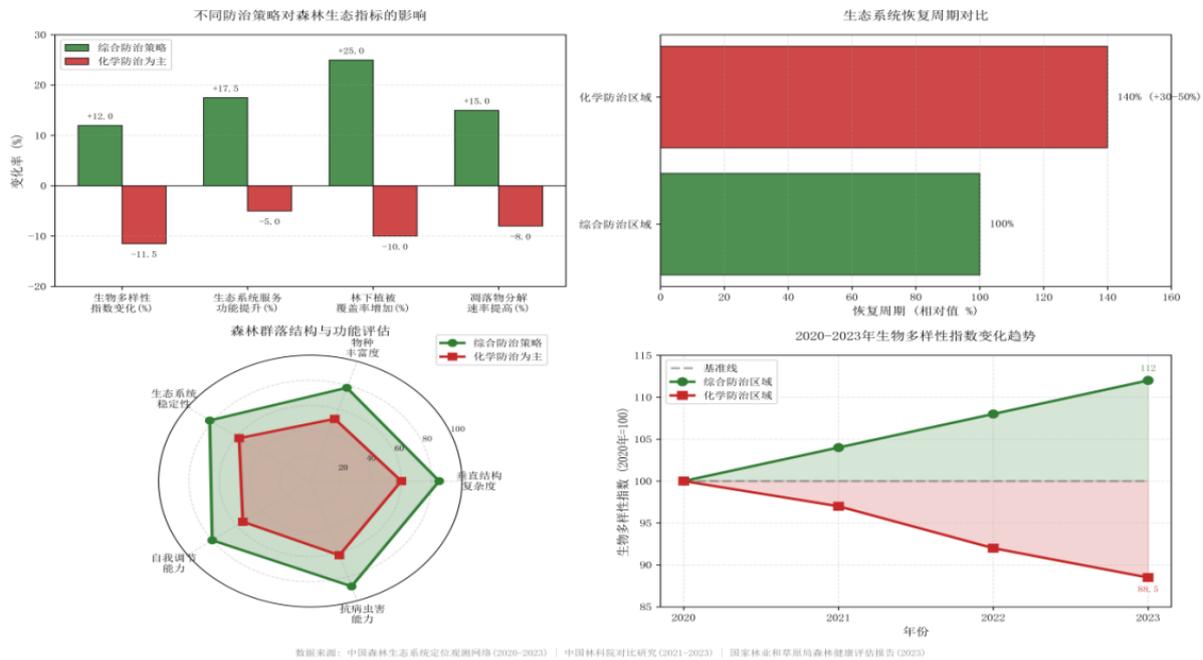


图1 森林病虫害综合防治对生态系统影响的多维度评估

生态系统中像蜜蜂、瓢虫这类有益昆虫是关键物种，所以它们对防治措施的敏感性备受关注。中国农科院2020—2023年开展调查研究，结果显示新型选择性杀虫剂跟传统农药相比对蜜蜂的急性毒性降低了70%~95%，而像Bt制剂这样的微生物制剂对授粉昆虫几乎没有毒性且对付鳞翅目害虫的防治效率能达到80%以上。物理防治措施里的太阳能杀虫灯改进了光谱设计后对益虫的误杀率明显降低，最新的智能杀虫灯设计能够把非靶标昆虫的捕获率控制在5%以内。上述进步显示森林病虫害防治技术朝着更精准、更生态友好的方向发展从而最大程度地减少对非靶标生物的负面影响。

### 2.3 对土壤和水环境的影响

生态安全评估的重要组成部分包括森林病虫害防治措施对土壤和水环境的影响，在中国主要林区，2020—2023年中国环境监测站开展的监测表明，传统化学农药土壤残留时长与浓度较五年前有下降但依旧是主要环境风险因素，因为高毒农药在土壤里的半衰期能达到30~90d，会显著抑制土壤微生物群落使土壤酶活性平均下降25%~40%，而像新型低毒农药和生物农药这类则不同，在土壤中降解速度较快，半衰期一般在7~15d以内，对土壤生物活性影响小且持续时间短。

水环境受防治措施影响主要体现在农药流失与淋溶上，南方林区2021—2023年的水质监测数据显示，常规喷雾施药后降雨时林区小流域水体检出农药概率为

45%~65%，浓度水平跟用药量、地形和降雨强度关系紧密，而像精准靶向喷施、缓释剂型这类改进的施药技术可大幅减少农药流失，水体检出率能降低50%还多，生物防治和物理防治措施对水环境污染几乎没有，是水源保护区森林病虫害防治的首选技术，中国林科院2023年发布的研究成果表明，综合运用多种生态友好型防治技术，不但能将森林病虫害防治给水环境带来的风险降80%以上，还可保持较高的防治效果。

## 3 森林病虫害综合防治的生态安全评估

### 3.1 评估指标体系

科学合理地构建森林病虫害综合防治生态安全评估的指标体系很重要，因为这能全面体现防治措施给生态环境、经济发展以及社会稳定带来的综合影响，在森林生态系统的完整性与可持续性原则指导下，本研究构建起涵盖生态效益、经济效益、社会效益这三个维度的评估指标体系（如表1所示），其中生态效益指标着重查看防治措施对森林生态系统结构和功能的影响，例如生物多样性、非靶向生物影响、生态系统恢复能力之类的，而经济效益指标聚焦于防治成本、防治效果、森林资源保护价值，社会效益指标涉及人类健康风险、公众接受度、技术适用性等方面，中国林业和草原局发布数据显示，2018—2022年中国森林病虫害每年平均发生面积超800万公顷，所以有效的生态安全评估在指导综合防治上意义非凡。

**表 1 森林病虫害综合防治生态安全评估指标体系**

一级指标	二级指标	指标描述	权重
生态效益	生物多样性影响	防治措施对森林生态系统物种丰富度和群落结构的影响程度	0.15
	非靶向生物影响	防治措施对天敌、传粉者等有益生物的危害程度	0.12
	生态系统恢复能力	防治后森林生态系统自我修复和恢复的速度和质量	0.13
经济效益	防治成本	单位面积防治所需的人力、物力和财力投入	0.10
	防治效果	病虫害种群控制程度及持续时间	0.15
	森林资源保护价值	防治措施所保护的林木及生态服务价值	0.10
社会效益	人类健康风险	防治措施对人类健康的潜在危害	0.10
	公众接受度	当地社区和公众对防治技术的认可程度	0.08
	技术适用性	防治技术在不同条件下的适应性和推广价值	0.07

### 3.2 评估方法

层次分析法(AHP)与模糊综合评价法相结合的方法被用于森林病虫害综合防治生态安全评估以克服单一评估方法的局限性,其评估有四个主要步骤,首先借助专家咨询和层次分析法确定评价指标体系及其权重来明确各指标相对重要性,其次构建模糊评价矩阵并将定性和定量指标经隶属函数转成可比较的模糊量,然后开展多层次模糊综合评价从单指标评价至一级指标综合评价再到最终综合安全指数的计算,最后依据评价结果划分安全等级,生态安全状况一般会被划分为优秀(0.8~1.0)、良好(0.6~0.8)、一般(0.4~0.6)、较差(0.2~0.4)和危险(0~0.2)这五个等级<sup>[4]</sup>。

为了提高评估的科学性和可操作性,在具体实施时采用标准化与归一化处理让不同量纲的指标具备可比性。定量指标例如生物多样性指数、非靶向生物死亡率等的数据来源于实地监测和实验,而像公众接受度、技术适用性这样的定性指标数据则靠问卷调查和专家评分得到,并且评估时还考量了时间维度,设定了短期(1年内)、中期(1~3年)、长期(3年以上)的评估周期以便全面把握防治措施的生态安全动态变化趋势。

### 3.3 案例分析

本研究为验证所构建生态安全评估体系的实用性,选取中国南方集体林区2019—2021年实施的松材线虫病综合防治项目(该项目建设采用化学防治、生物防治和林分结构调整相组合的综合防治策略)作为分析案例,由于国家林业和草原局数据显示松材线虫病是我国危害极为严重的森林病虫害之一且2021年全国受灾面积超15万公顷、

每年造成的经济损失超50亿元,所以针对这个项目依照构建好的评估指标体系收集相关数据,如防治区域内生物多样性监测数据、非靶向生物影响调查结果、防治成本核算、防治效果评估以及当地民众满意度调查等。

采用层次分析与模糊综合评价方法计算后,综合防治项目中生态效益指数达0.72、经济效益指数为0.68、社会效益指数为0.65且综合安全指数最终是0.69,处于“良好”安全等级。经深入分析可知,该项目在生物多样性保护以及森林资源价值保护上做得不错,但非靶向生物保护和公众接受度有待提高,并且所用部分化学农药给天敌昆虫和水生生物带来一定负面影响,此外由于防治成本高,导致部分林农持续施行综合防治措施的意愿不强。这个案例分析显示,依据多维指标体系进行的生态安全评估能有效地甄别出综合防治措施的长处和短处,从而为优化防治策略给予科学依据。

## 4 结论

森林病虫害综合防治生态安全评估的理论框架和方法体系由本研究构建起来,从而提供了科学评价防治措施环境友好性和可持续性的技术支撑。研究显示,有效的生态安全评估需综合考量生态、经济、社会这三个维度的指标并用层次分析、模糊综合评价等方法进行量化分析。案例分析的结果表明,这个评估体系能较全面地反映综合防治措施的生态安全状况、识别出潜在风险,给优化防治策略提供决策方面的参考<sup>[5]</sup>。以后的研究要再进一步完善指标体系,提升评估方法的精确度和实用性,并且要加强不同类型森林病虫害防治措施在生态安全评估方面的实践工作。近五年的研究数据显示,森林生态系统健康管理从传统的“重防治轻评估”正在转变为“防治与评估并重”,这一趋势对森林资源可持续利用以及生态系统服务功能持续发挥很重要。

### 【参考文献】

- [1]张旭.森林病虫害的发生特点及综合防治技术[J].农业灾害研究,2021(7):27-28.
- [2]曾莉梅.浅析森林病虫害的发生特征及综合防治技术[J].种子科技,2018(5):90-91.
- [3]张涛,姬雪芹,徐玉坤,等.浅析森林病虫害的发生特点及综合防治技术[J].现代农村科技,2018(9):38.
- [4]樊巍,苑静,赵波.森林病虫害的发生特点及综合防治技术[J].农业与技术,2019(23):76-77.
- [5]潘树峰.森林病虫害的发生特点及综合防治技术[J].种子科技,2021(9):84-85.

作者简介:许洪斌(1990.11—),单位名称:宽城满族自治县造字岭林场,毕业学校:河北农业大学,专业:林业。