文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4678 /（中图刊号）：650GL004

松材线虫病综合防控与生态修复技术集成

梁国峰　况军萍
江西省上高县林业局
DOI:10.12238/as.v8i8.3191

[摘　要] 松材线虫病作为一种极具危险性的森林病害,给森林生态系统带来了严重的破坏。本文深入探讨了松材线虫病的发生机制与传播途径,详细阐述了包括监测预警、检疫除害、物理防治、化学防治、生物防治等在内的综合防控技术,同时对生态修复技术集成,如森林生态系统受损评估、生态修复的原则与目标、植被恢复技术、生物多样性保护技术以及生态系统功能恢复技术等内容进行了系统研究。旨在为松材线虫病的有效防控和森林生态系统的恢复提供全面、科学的理论依据和技术支持。
[关键词] 松材线虫病；综合防控；生态修复技术集成
中图分类号：R532.1　文献标识码：A

Integrated prevention and control of pine wilt disease and ecological restoration technology

Guofeng Liang　Junping Kuang
Forestry Bureau of Shanggao County, Jiangxi Province

[Abstract] Pine wilt disease, as a highly dangerous forest disease, has caused serious damage to forest ecosystems. This article delves into the mechanism and transmission pathways of pine wilt disease, detailing comprehensive prevention and control technologies including monitoring and early warning, quarantine and pest control, physical control, chemical control, and biological control. At the same time, it systematically studies the integration of ecological restoration technologies, such as forest ecosystem damage assessment, principles and objectives of ecological restoration, vegetation restoration technology, biodiversity conservation technology, and ecosystem function restoration technology. Intended to provide comprehensive and scientific theoretical basis and technical support for the effective prevention and control of pine wilt disease and the restoration of forest ecosystems.
[Key words] pine wilt disease; Comprehensive prevention and control; Integration of ecological restoration technology

森林生态系统在维护全球生态平衡、提供生态服务、促进经济发展等方面发挥着至关重要的作用。然而,松材线虫病的出现却给松属森林带来了毁灭性的打击。松材线虫病自发现以来,迅速在全球多个国家和地区蔓延,导致大量松树死亡,严重破坏了森林景观,影响了生态系统的稳定性和生态服务功能的正常发挥。

我国自20世纪80年代首次发现松材线虫病以来,该病在部分地区不断扩散,对我国的松林资源和生态环境构成了巨大威胁。因此,加强松材线虫病的综合防控以及受损森林生态系统的修复工作迫在眉睫。开展松材线虫病综合防控与生态修复技术集成的研究,对于保护我国森林资源、维护生态安全、促进经济社会可持续发展具有重要的现实意义。

1 松材线虫病的发生机制与传播途径

1.1松材线虫的生物学特性

松材线虫属于滑刃目滑刃科伞滑刃属,是专性寄生线虫,虫体细长。其形态特征在不同发育阶段有差异,幼虫期和成虫期形态明显不同。松材线虫生存与繁殖能力较强,可在松树木质部中以薄壁细胞和树脂道细胞为食。在适宜环境下,繁殖速度快,能在短时间内大量积累,对松树造成严重危害。它对环境有一定适应范围,适宜在温暖湿润环境中生存,温度过高或过低、湿度不适都会影响其生长、繁殖和传播能力。

1.2松材线虫病的致病机理

松材线虫侵入松树后,会引发复杂病理变化。它通过松树伤口或气孔进入树体并迅速扩散,破坏木质部的薄壁细胞和树脂道细胞。松材线虫分泌的多种酶会分解松树细胞的细胞壁和细胞间质,导致细胞死亡,破坏松树水分和养分运输系统,使松树出现失水症状。同时,其侵染会引发松树免疫反应,松树产生防御物质抵抗入侵,但松材线虫能适应并克服防御机制,继续繁殖扩散,最终导致松树生理功能衰退直至死亡。

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4678 /（中图刊号）：650GL004

1.3松材线虫病的自然传播与人为传播途径

松材线虫病自然传播主要依靠媒介昆虫,在我国,松墨天牛是主要传播媒介。松墨天牛羽化时体表携带大量松材线虫,当其飞到健康松树上取食或产卵时,线虫便进入健康松树体内完成传播。其他一些天牛科昆虫也可能携带,但传播能力较弱,自然传播速度受媒介昆虫飞行能力和活动范围限制。人为传播是该病扩散的重要途径,木材调运、包装材料使用等人类活动可能导致远距离传播。带有松材线虫的木材及制品若未经严格检疫处理被调运,易将病害引入新区域,感染线虫的木质包装材料也会成为传播隐患。

2 松材线虫病综合防控技术体系

2.1监测预警技术体系

2.1.1地面调查技术。地面调查作为最基础的监测手段,需要建立专业化的调查队伍。调查人员应当配备专业工具包,包括显微镜、取样工具等设备。调查路线规划要科学合理,采用网格化布点方式,确保覆盖所有风险区域。调查过程中要详细记录松树异常症状,如针叶变色、树脂分泌异常等,并采集样本进行实验室检测。调查频率应根据病害发生程度确定,重点区域每季度至少开展一次全面调查。

2.1.2空中监测技术。空中监测技术主要包括无人机航拍和卫星遥感两种方式。无人机航拍具有灵活性强、分辨率高的特点,适合小范围精准监测。飞行方案要包括航线规划、航拍参数设置等,航拍图像通过专业软件进行分析处理。卫星遥感技术适用于大范围监测,利用多光谱和高光谱数据,结合植被指数分析,可以识别潜在病害区域。要建立定期获取和更新遥感数据的机制,确保监测的时效性。

2.1.3物联网实时监测。物联网监测系统通过在林区布设传感器网络,实时采集环境参数和树木生理指标。传感器节点要合理分布,重点监测温度、湿度、土壤水分等关键指标。系统要具备数据自动传输和分析功能,设置预警阈值,当监测数据异常时自动发出预警信号。这种技术可以实现24小时不间断监测,大大提高预警的及时性。

2.2检疫除害技术体系

2.2.1木材检疫技术。木材检疫要建立标准化的操作流程,包括现场查验、取样检测等环节。检疫人员要经过专业培训,熟悉松材线虫的形态特征和检测方法。取样要有代表性,重点检查木材的裂缝和虫孔部位。检测方法除了传统的显微镜观察外,还可以采用分子生物学技术,如PCR检测,提高检测的准确性和效率[1]。

2.2.2热处理技术。热处理是有效的除害方法,要建立规范的热处理工艺。处理温度一般控制在60℃以上,处理时间不少于60分钟。热处理设施要配备温度监控系统,确保各处温度达到要求。处理后的木材要抽样检测,确认线虫已被完全杀灭。热处理过程中要注意安全防护,防止火灾等事故发生。

2.2.3熏蒸处理技术。熏蒸处理要选择合适的熏蒸剂,如溴甲烷等。处理时要密闭空间,确保熏蒸剂浓度达到有效水平。处理时间根据木材厚度和环境温度确定,一般需要24小时以上。熏蒸后要充分通风,确保熏蒸剂完全挥发。操作人员要佩戴防护装备,防止中毒。要定期检测熏蒸效果,确保处理质量。

2.3物理防治技术体系

2.3.1病死树清理技术。病死树清理要制定详细的操作规范。清理时要将整株树木移除,包括根系部分。清理后的木材要及时处理,可以采用粉碎、焚烧等方法。清理过程中要注意防止线虫扩散,运输时要采取密闭措施。清理工作完成后,要对场地进行消毒处理,杀灭残留的线虫。

2.3.2诱捕器设置技术。诱捕器设置要考虑天牛的活动规律。诱捕器要选择合适的位置,一般设置在林缘或林间空地。引诱剂要定期更换,保持引诱效果。诱捕器要定期检查,清理捕获的天牛,记录捕获数量。诱捕器的密度要根据天牛种群密度确定,一般每公顷设置3-5个。诱捕季节要覆盖天牛的整个活动期。

2.4化学防治技术体系

2.4.1树干注射技术。树干注射要选择合适的药剂,如甲维盐等。注射孔的位置和深度要准确,确保药剂能有效扩散。注射时间要选择树木生长旺盛期,利于药剂吸收。注射后要封堵注射孔,防止药剂流失和病菌侵入。要控制注射剂量,避免对树木造成伤害。注射效果要定期评估,调整防治方案。

2.4.2喷雾防治技术。喷雾防治要选择高效低毒的药剂。喷雾时间要掌握在天牛羽化高峰期。喷雾要均匀覆盖树冠,特别是新梢部位。喷雾设备要定期维护,确保雾化效果。喷雾作业要注意天气条件,避免大风或雨天作业。要轮换使用不同作用机理的药剂,防止天牛产生抗药性。

2.5生物防治技术体系

2.5.1天敌昆虫利用技术。天敌昆虫的释放要科学规划。释放前要评估天牛种群密度,确定释放量和时间。释放点要合理分布,确保覆盖整个防治区域。释放后要定期监测天敌的定殖情况和防治效果。要保护天敌的自然栖息地,促进其自然繁殖。天敌昆虫的运输和释放要注意温湿度控制,确保存活率。

2.5.2微生物防治技术。微生物菌剂的选择要考虑环境适应性。施用方法可以包括喷雾、灌根等。施用时间要选择适宜的温度和湿度条件。施用剂量要准确控制,确保防治效果。施用后要定期检测线虫数量变化,评估防治效果。要注意微生物菌剂的保存条件,保持菌种活力。可以尝试不同菌种的组合使用,提高防治效果。

3 生态修复技术集成

3.1森林生态系统受损评估体系

3.1.1植被受损评估方法。在开展生态修复工作之前,必须对受损林区进行系统评估。植被评估可采用分层抽样法,根据地形、海拔等因素设置代表性样地。每个样地面积建议为20m×20m,记录树种组成、胸径、树高等指标。同时采用无人机航拍技术获取林分三维结构数据,通过影像分析计算林冠开度、叶面积指数等参数。这些数据可为后续修复方案制定提供科学依据。

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4678 /（中图刊号）：650GL004

3.1.2生物多样性评估指标。生物多样性评估应重点关注关键物种的变化情况。采用标准样线法调查鸟类、哺乳动物等脊椎动物,设置红外相机监测点位。无脊椎动物调查采用陷阱法,在样地内均匀布设陷阱。植物多样性调查记录样方内所有维管植物种类及其多度。通过计算Shannon-Wiener指数、Pielou均匀度指数等,量化评估生物多样性受损程度。

3.1.3生态系统功能评估技术。生态系统功能评估需建立多指标体系。水源涵养功能可通过土壤渗透率、持水量等参数评价；土壤保持功能依据侵蚀模数、土壤有机质含量等指标；碳汇功能则通过生物量调查和土壤碳储量测定来评估。建议采用遥感反演与地面调查相结合的方法,提高评估效率和准确性。

3.2生态修复的原则与目标体系

3.2.1修复基本原则。生态修复工作必须遵循三大原则：首先是因地制宜原则,根据立地条件选择适生树种;其次是循序渐进原则,分阶段实施修复措施；最后是协同治理原则,统筹考虑生态、经济和社会效益。这些原则确保修复工作的科学性和可持续性。

3.2.2分级修复目标。根据受损程度制定差异化的修复目标。轻度受损区域以自然恢复为主,3年内恢复原有植被结构的80%；中度受损区域需人工辅助恢复,5年内达到原有功能的90%；重度受损区域要实施系统修复,8-10年重建稳定的生态系统[2]。目标设定要量化可考核,便于后期评估。

3.3植被恢复技术体系

3.3.1乡土树种筛选技术。通过查阅历史植被资料、调查周边健康林分,筛选出适应当地环境的乡土树种。建立树种适应性评价指标体系,包括生长速率、抗逆性、繁殖能力等指标。优先选择具有较强天然更新能力的树种,确保长期稳定性。

3.3.2混交林配置技术。采用“乔木+灌木+草本”的立体配置模式。乔木层选择3-5个优势树种,株行距根据树种特性确定；灌木层选择耐荫品种,种植密度为乔木的2-3倍；草本层以本地野生花卉为主。这种配置可形成稳定的群落结构。

3.4生物多样性保护技术体系

3.4.1关键物种保护技术。识别生态系统中的关键物种,如传粉昆虫、种子传播动物等。为其营造适宜的栖息环境,保留枯立木作为巢穴,设置饮水点[3]。对珍稀濒危物种实施重点保护,建立隔离保护小区。

3.4.2生态廊道建设技术。在修复区域与周边健康林分之间建立宽度不小于50m的生态廊道。廊道内种植蜜源植物、浆果植物等,为野生动物提供食物和迁徙通道。廊道走向要顺应动物活动规律。

3.5生态系统功能恢复技术

3.5.1土壤改良综合技术。采用“生物+工程”的综合改良措施。工程措施包括修建梯田、水平沟等；生物措施包括种植绿肥植物、接种菌根菌等。改良后土壤有机质含量应达到健康林分的80%以上。

3.5.2水文功能提升技术。通过微地形改造增加地表粗糙度,延缓径流。在坡面设置渗滤池,促进雨水下渗。选择深根性树种,增强土壤固持能力。这些措施可显著提升林分的水源涵养功能。

3.5.3碳汇功能增强技术。建立碳汇林经营模式。选择高碳汇树种如栎类、松类等,采用目标树经营法,保留生长健壮的个体[4]。定期疏伐,促进林木生长,最大化碳固定效率。同时加强枯落物管理,增加土壤碳储量。

4 结论与展望

4.1研究结论

松材线虫病作为一种危害严重的森林病害,其致病机制和传播方式具有显著复杂性。本研究通过系统分析病原体的生物学特征和致病过程,揭示了病害发生发展的内在规律。在防控策略方面,研究提出了以监测预警为基础、检疫处理为保障、综合防治为手段的技术体系,这些措施在实际应用中需要相互配合才能发挥最大效用。

4.2未来展望

当前在松材线虫病防控领域仍存在诸多亟待解决的问题。未来研究应着重从以下几个方面展开：首先需要深化对病原体致病机理的认识,为防控技术创新提供理论基础;其次要开发新型防治技术,包括高效环保的化学药剂和稳定的生物防治方法;同时要提升监测预警系统的智能化水平。此外,加强国际合作交流也是应对这一全球性病害的重要途径。松材线虫病是一个全球性的问题,各国在防控和生态修复方面都有不同的经验和技术。通过国际合作,可以共享信息和资源,共同应对松材线虫病的挑战,为保护全球森林生态系统做出贡献。

[参考文献]

[1]陈瀚林.基于疫木处理技术的松材线虫病综合防控策略[J].现代园艺,2025,48(14):91-93.

[2]薛照宇,孟庆高,李博,等.松材线虫病根治困难原因分析[J].河南林业科技,2025,45(02):43-45.

[3]郦毅成.松材线虫病综合治理中的生物防治技术创新与应用[J].中国林业产业,2025,(05):75-76.

[4]冯育林.林业病虫害防治意义及松材线虫病综合防治技术分析[J].种子世界,2025,(06):210-212.

作者简介：

梁国峰(1973--),男,汉族,江西吉安人,本科,工程师9级,研究方向：林业。