

森林病虫害防治中天敌昆虫的筛选与规模化应用探讨

霍 莹

长春市净月潭实验林场 吉林长春 130000

摘 要：本文聚焦森林病虫害防治中天敌昆虫的筛选与规模化应用。针对化学防治带来的生态问题，系统阐述天敌昆虫筛选的生物学、生态学、安全性标准。结合生物防治技术发展趋势，提出优化繁育技术、创新应用模式、完善产业体系等规模化应用策略，探讨其面临的挑战与解决方案，旨在为构建绿色高效的森林病虫害防治体系提供参考，助力森林生态系统可持续发展。

关键词：森林病虫害防治；天敌昆虫；筛选标准

引言

森林作为陆地生态系统的主体，对维持生态平衡意义重大。森林病虫害频发严重威胁森林健康。传统化学防治虽能快速控制虫害，但引发环境污染、生物多样性受损等问题。天敌昆虫防治作为绿色生物防治手段，具有可持续性和生态友好性。但目前在天敌昆虫筛选科学性和规模化应用效率上存在不足。因此，深入研究天敌昆虫筛选与规模化应用，对推动森林病虫害绿色防控至关重要。

一、森林病虫害防治现状与问题

（一）病虫害发生特点与趋势

近年来，全球气候变暖导致森林生态系统稳定性下降，病虫害呈现出“爆发频率高、危害范围广、跨国传播快”的特点。据国家林业和草原局统计，我国每年森林病虫害发生面积超1.7亿亩，其中松材线虫病、美国白蛾等外来入侵物种通过木材贸易、苗木运输等途径加速扩散，已对18个省份的森林资源造成严重破坏。本土病虫害如松毛虫、光肩星天牛也因气候适宜性增强，呈现周期性大爆发态势。以云南松林区为例，2022-2024年松毛虫连续三年大发生，受灾面积累计达800万亩，直接经济损失超15亿元。此外，极端天气事件频发，导致树木抗逆性降低，进一步加剧了病虫害的危害程度。

（二）传统防治手段的局限性

化学防治仍是当前森林病虫害防治的主要手段，约占防治总面积的60%。虽然化学农药能够在短时间内降低虫口密度，但长期使用带来的负面效应日益凸显。数据显示，我国森林害虫对有机磷、拟除虫菊酯类农药的

抗性普遍提高2-5倍，部分地区棉铃虫对氯氰菊酯的抗性倍数甚至超过100倍。同时，化学农药的广泛使用破坏了土壤微生物群落结构，导致土壤肥力下降；农药残留通过雨水冲刷进入水体，威胁水生生物生存，长江流域部分湖泊因农药污染导致浮游生物数量减少30%以上。此外，化学防治还会误杀蜜蜂、鸟类等有益生物，打破森林生态系统的生物链平衡，引发次生灾害。

（三）生物防治的发展需求

随着“双碳”目标推进和生态文明建设深化，生物防治技术迎来发展机遇。据市场研究机构预测，全球生物防治市场规模将从2023年的85亿美元增长至2030年的180亿美元，年复合增长率达11.5%。我国林业部门明确提出，到2025年生物防治占森林病虫害防治总面积的比例需提升至40%。天敌昆虫防治作为生物防治的核心技术，具有特异性强、环境友好、防治效果持久等优势。例如，释放肿腿蜂防治天牛，可使虫口减退率达70%-80%，且不会对其他生物造成伤害。但目前我国天敌昆虫防治应用面积不足森林病虫害发生面积的15%，亟需通过技术创新和规模化推广，填补市场缺口。

二、天敌昆虫筛选标准与方法

（一）生物学特性筛选指标

生物学特性是筛选天敌昆虫的基础依据。首先，繁殖能力是关键指标，需优先选择产卵量大、世代周期短的物种。如七星瓢虫单雌产卵量可达500-1000粒，一年可繁殖4-5代，能快速建立种群优势。其次，捕食或寄生效率决定防治效果，例如管氏肿腿蜂对光肩星天牛幼虫的寄生率可达85%以上，可有效控制天牛危害。此外，天敌昆虫的耐饥饿能力、抗逆性也需纳入考量，沙漠食

蚜蝇在食物短缺时可存活20天以上,适合在干旱地区应用。筛选时还需关注其生长发育对温度、湿度的要求,确保在目标区域能够正常繁衍。

(二) 生态学适应性考量

生态学适应性决定天敌昆虫在目标森林生态系统中的生存与繁衍能力。需综合评估其与本地气候、植被的匹配度,例如在北方寒温带森林,应选择耐低温的天敌昆虫,如蝎蛉科昆虫可在-10℃环境下存活;在热带雨林,则需筛选耐高温高湿的物种。同时,要研究天敌昆虫与林间其他生物的生态关系,避免引入可能对本地物种构成威胁的“超级捕食者”。以美国引入中华大刀螳防治害虫为例,因缺乏生态评估,该物种对本土昆虫多样性造成破坏,导致部分珍稀蝴蝶种群数量下降。此外,还需考虑天敌昆虫的扩散能力,确保其能够有效覆盖防治区域。

(三) 安全性评估要点

安全性评估是引入天敌昆虫的必要环节,需遵循“预防为主、风险可控”原则。首先进行实验室安全性测试,通过选择性喂食实验,验证其对非靶标生物的影响,如释放瓢虫防治蚜虫时,需确保其不会捕食本地蜜蜂幼虫。其次开展小范围野外试验,监测天敌昆虫在自然环境中的种群动态、扩散范围及生态影响,持续跟踪1-2个生命周期。如我国在引入花绒寄甲防治松褐天牛前,在浙江、福建等地进行了为期3年的安全性试验,确认其对本地生态系统无负面影响后才推广应用。此外,还需建立风险预警机制,一旦发现潜在威胁,立即启动应急处置方案。

三、天敌昆虫规模化应用技术

(一) 高效繁育技术优化

高效繁育技术是实现天敌昆虫规模化应用的基础与核心,其突破对于满足森林病虫害防治的大量需求至关重要。在人工饲料研发方面,科研人员通过模拟天敌昆虫的天然食物营养成分,取得了显著进展。以瓢虫为例,新型人工饲料以酵母提取物、昆虫蛋白为主要原料,并添加维生素、氨基酸、脂肪酸等营养物质,不仅使瓢虫成活率提高至85%,而且其产卵量、孵化率与取食天然蚜虫时相近。这种人工饲料的应用,摆脱了对天然寄主的依赖,使瓢虫能够实现周年化、工厂化生产,极大提升了产能。智能化繁育设备的广泛应用,更是为天敌昆虫繁育带来了革命性变化^[1]。基于物联网技术的自动化饲养系统,集成了温湿度传感器、光照控制器、气体监测仪等设备,能够实时采集繁育环境数据,并通过智能

算法自动调节环境参数。例如,在肿腿蜂繁育过程中,该系统可将环境温度精确控制在25-28℃,相对湿度维持在60%-70%,光照周期设定为12小时光照、12小时黑暗,使肿腿蜂的繁育周期从传统的60天缩短至45天,单批次产量提高50%,且蜂群的活力和寄生能力显著增强。

(二) 释放技术创新

释放技术直接影响天敌昆虫的防治效果。无人机释放技术凭借精准定位、覆盖范围广的优势,成为大规模防治的首选。如大疆T40农业无人机搭载专用释放装置,可在飞行过程中均匀释放天敌昆虫,作业效率达150-200亩/小时,释放误差率低于5%。智能释放装置则适用于地形复杂的林区,通过传感器监测环境温湿度,自动控制释放时间,确保天敌昆虫在最佳条件下发挥作用。此外,结合害虫监测数据,利用地理信息系统(GIS)规划释放路线和密度,可实现精准防控。

(三) 与其他防治技术的协同

构建综合防控体系是提升森林病虫害防治效能的关键。天敌昆虫防治与物理防治结合,可发挥互补优势:在成虫羽化高峰期,利用黑光灯诱捕害虫,减少虫口基数;同时释放天敌昆虫,控制幼虫和卵的数量。生物农药防治与天敌昆虫协同使用时,需选择对天敌安全的药剂,如使用白僵菌防治松毛虫,对瓢虫、草蛉等天敌的毒性较低,二者配合可使防治效果提高至90%。通过营林措施改善森林生态环境,如营造混交林、加强林木抚育,可提高树木抗虫能力,为天敌昆虫提供适宜的栖息场所,形成“以林养益、以益控害”的良性循环。

四、规模化应用面临的挑战与对策

(一) 技术推广普及难题

基层林业人员对天敌昆虫防治技术的认知不足,是制约推广的主要障碍。调查显示,我国县级林业站技术人员中,系统掌握天敌昆虫繁育与应用技术的不足30%,部分偏远地区甚至不足10%。由于缺乏专业培训,许多从业者存在“不敢用、不会用”的问题,如在释放肿腿蜂时,因未掌握正确的挂蜂方法,导致蜂群逃逸率高达50%。为此,需建立“国家-省-市-县”四级培训体系,国家层面组织编写标准化教材,省级开展高级技术培训,市县级进行实操指导^[2]。同时,利用短视频平台、直播课程等线上渠道,制作通俗易懂的教学视频。浙江省通过“线上学习+线下实训”模式,两年内培训基层人员2万余人次,使天敌昆虫防治技术普及率从18%提升至45%。

（二）成本控制与效益平衡

规模化繁育前期投入巨大，以年产1000万头肿腿蜂的基地为例，设备采购、研发、人工等成本高达800-1000万元，且繁育周期长、市场回报慢，企业面临较大资金压力。为降低成本，可优化生产工艺，采用模块化生产方式，将种蜂培育、卵孵化、幼虫饲养等环节分离，提高生产效率30%以上。通过扩大生产规模，利用规模效应降低单位成本，如年产5000万头的基地相比1000万头基地，单头成本可下降40%。此外，积极争取政策支持，申请绿色产业补贴、税收减免等优惠政策。同时，探索生态服务价值补偿机制，将天敌昆虫防治纳入碳汇交易、生态补偿范畴，拓宽盈利渠道。

（三）生态风险防控

引入天敌昆虫可能带来潜在生态风险，如澳大利亚引入蔗蟾防治甘蔗害虫，结果蔗蟾大量繁殖，对本地爬行动物、两栖动物造成毁灭性打击。为防范此类风险，需建立完善的风险评估体系，从物种入侵性、生态位重叠度、遗传稳定性等维度进行综合评估。在推广应用过程中，建立长期监测网络，利用无人机遥感、红外相机等技术，实时跟踪天敌昆虫的种群动态、分布范围及对本地生物的影响。一旦发现异常，立即启动应急处置方案，如通过物理隔离、生物控制等手段限制其扩散。此外，还需加强国际合作，借鉴国外生态风险防控经验，提升我国生物安全管理水平。

五、未来发展趋势与展望

（一）技术创新方向

基因编辑技术将为天敌昆虫防治带来革命性突破，通过CRISPR-Cas9技术可定向改良天敌昆虫的寄生能力、繁殖速度和抗逆性，如培育对特定害虫具有更强靶向性的肿腿蜂品系。人工智能与大数据的深度融合，将实现病虫害智能监测与精准防治，通过分析气象数据、遥感影像和害虫发生规律，预测虫害发生趋势，自动规划天敌昆虫释放方案^[3]。纳米技术在人工饲料中的应用，可提高营养物质的吸收效率；3D打印技术则可定制仿生栖息场所，为天敌昆虫创造更适宜的生存环境。

（二）产业发展模式

产学研用深度融合将成为产业发展的核心模式。高校和科研机构负责基础研究与技术创新，企业专注于成果转化和规模化生产，行业协会搭建交流平台，政府出台扶持政策，形成协同创新生态。培育龙头企业，打造

集天敌昆虫研发、繁育、销售、技术服务于一体的全产业链企业，如美国BioWorks公司通过整合资源，年产值突破5亿美元。推动产业标准化建设，制定天敌昆虫质量标准、生产规范和应用技术规程，提升产业整体竞争力。同时，加强品牌建设，打造具有国际影响力的生物防治品牌。

（三）生态与社会效益提升

随着天敌昆虫规模化应用推广，预计每年可减少化学农药使用量10-15万吨，有效降低环境污染，保护生物多样性。在云南普洱，通过推广瓢虫防治蚜虫，茶园周边鸟类、蝴蝶种类增加了20%以上。此外，生物防治产业的发展将创造大量就业机会，从种蜂培育、人工饲养到技术服务，可带动上下游产业链就业超50万人。同时，森林生态系统服务价值将显著提升，碳汇能力增强，为实现“双碳”目标贡献力量，助力乡村振兴和生态文明建设。

结论

天敌昆虫防治作为森林病虫害绿色防控的核心技术，通过科学筛选生物学特性优良、生态适应性强且安全可控的天敌物种，结合高效繁育、创新释放及多技术协同应用，为解决传统化学防治的生态困境提供了有效方案。从云南松林区松毛虫防治实践，到全国生物防治市场规模的增长趋势，均印证了其在降低虫口密度、保护生物多样性、减少环境污染等方面的显著价值。展望未来，在基因编辑、人工智能等前沿技术的赋能下，天敌昆虫防治将向精准化、智能化迈进。产学研用深度融合的产业模式，将推动生物防治产业迈向标准化、国际化。相信通过持续的技术创新与政策支持，天敌昆虫防治必将成为守护森林生态安全、助力“双碳”目标实现、促进人与自然和谐共生的重要力量，为全球森林病虫害防治贡献中国智慧与方案。

参考文献

- [1] 刘岗, 于江, 刘翰林. 威海市森林病虫害防治现状与优化路径[J]. 乡村科技, 2024, 15(24): 90-93.
- [2] 张麦琴. 生物防治技术在陕西省森林病虫害防治中的应用[J]. 南方农业, 2023, 17(16): 18-20.
- [3] 夏天. 森林病虫害防治措施[J]. 现代农业科技, 2021, (07): 109-110.