

乡土天敌昆虫在林业有害生物持续控制中的应用探讨

项 彬 郭子文 赖晓燕 陈泉坊

浙江山禾林业服务有限公司 浙江 丽水 323000

摘 要: 乡土天敌昆虫是本地生态控害主力,具原生性、适应性强等特点,分为捕食性和寄生性。其资源分布有地域特异性,生态服务功能显著,能自然控害、维护生态平衡、减少农药使用。但规模化应用面临自然种群波动大、人工扩繁技术瓶颈、生态风险等制约。本文探讨了资源保护型、人工扩繁与释放、生态调控型等应用模式与技术体系,为林业有害生物持续控制提供参考。

关键词: 乡土天敌昆虫;林业有害生物;持续控制

引言: 林业有害生物严重威胁森林健康与生态平衡,传统化学防治带来诸多弊端。乡土天敌昆虫作为本地生态系统重要组成部分,在自然控害方面发挥着关键作用。其经过长期自然演化,与本地环境高度契合,具备独特的控害优势。深入研究乡土天敌昆虫在林业有害生物持续控制中的应用,对于减少化学农药使用、维护生态稳定、实现林业可持续发展具有重要意义。

1 乡土天敌昆虫资源特征与生态功能

1.1 乡土天敌的界定与分类

乡土天敌昆虫是指在特定区域内自然演化形成,长期适应本地气候、植被及害虫群落,能够自然抑制害虫种群数量的昆虫类群,区别于人工引入的外来天敌,具有原生性、适应性强、与本地生态系统高度契合的核心特征。早在 2700 年前,《诗经》中“螟蛉有子,蜾蠃负之”的诗句,就准确描述了乡土天敌昆虫的捕猎行为,可见我国对其的认知历史悠久。根据其控害方式,乡土天敌昆虫主要分为捕食性和寄生性两大类:捕食性天敌通过直接取食害虫完成控害,常见类群包括瓢虫、草蛉、捕食性蝽类、胡蜂、食蚜蝇、捕食螨和蜘蛛等,其中七星瓢虫单日可捕食百头蚜虫,是典型的农田卫士;寄生性天敌则寄生于害虫体内或体表,以其体液和组织为食致其死亡,主要包括寄生蜂、寄蝇、寄生性螨类等,如松褐天牛的天敌花绒寄甲,可通过寄生方式有效抑制其种群数量^[1]。另外,根据栖息环境可分为农田、林地、草地等类群,按寄主范围可分为专一性和广食性天敌,不同类群共同构成了本地生态系统的自然控害网络。

1.2 资源分布规律与生态适应性

乡土天敌昆虫的资源分布具有明显的地域特异性和

环境依赖性,其分布规律与本地气候条件、植被类型、害虫群落结构及人类活动密切相关。在水平分布上,温暖湿润、植被丰富的区域,如我国南方稻田、亚热带林地,天敌昆虫种类和种群密度显著高于干旱贫瘠、植被单一的区域;在垂直分布上,随着海拔升高,气温、湿度等环境因子变化,天敌昆虫的种类逐渐减少,优势类群也随之改变。乡土天敌昆虫的生态适应性是长期自然选择的结果,主要体现在三个方面:一是气候适应性,能够耐受本地极端温度、降水等环境条件,如蠋螬具有广泛的地理分布和良好的适应性,可在多种气候区域存活;二是食性适应性,其猎物范围与本地害虫群落高度匹配,能够根据猎物密度动态调整取食策略;三是抗逆性,对本地常见的环境胁迫具有一定耐受能力,但这种耐受能力有限,农药滥用、栖息地破碎化会显著影响其生存。

1.3 生态服务功能量化评估

乡土天敌昆虫的生态服务功能主要体现在自然控害、维护生态平衡、减少农药使用等方面,可通过多项指标进行量化评估,为其保护和应用提供科学依据。自然控害功能是其核心价值,据测算,我国主要农区天敌昆虫对水稻、小麦、玉米三大作物的控害贡献率分别达 42.3%、38.7% 和 35.5%,全球范围内其对农作物害虫的自然控制服务价值约 540 亿美元/年,田间天敌昆虫对害虫的种群抑制率平均可达 30%-80%,可挽回作物产量损失 8%-15%。在维护生态平衡方面,作为生态系统食物链的重要组成部分,乡土天敌昆虫可调节害虫种群数量,维持食物网稳定,其群落丰富度与生态系统健康度呈正相关,如稻田蜘蛛多样性指数每增加 1 单位,害虫发生概率降低 23%。在减药环保方面,其控害作用可减

少化学农药使用量 40%-60%，降低农药残留对土壤、水体和生物多样性的破坏，同时减少农药使用带来的生产成本和环境风险。

2 乡土天敌控害机制与制约因素

2.1 行为与生理机制

乡土天敌昆虫的控害机制主要分为行为机制和生理机制，二者协同作用，实现对害虫种群的有效抑制。行为机制核心是天敌通过特定行为精准定位、捕捉或寄生害虫，主要包括搜寻行为、捕食/寄生行为和防御行为：天敌昆虫可通过识别害虫诱导的植物挥发物（HIPVs）定位猎物，如赤眼蜂对玉米螟雌蛾性信息素的响应距离可达 300 米，花绒寄甲成虫会自主搜寻松褐天牛，在其幼虫、蛹附近产卵；捕食性天敌通过咀嚼、刺吸等方式取食害虫，寄生性天敌则通过产卵于害虫体内或体表，其幼虫孵化后取食害虫组织，最终致其死亡^[2]。生理机制主要体现在天敌昆虫的消化、免疫及化学调控能力上：其体内具有高效的消化酶系统，可快速分解猎物组织，提高取食效率；部分天敌昆虫可分泌抗菌肽等物质，抵御猎物的防御反应和病原微生物侵染；同时，肠道共生菌可调节天敌昆虫生殖策略，如管氏肿腿蜂的肠道共生菌可使其孤雌生殖率提升至 90% 以上，增强种群繁殖能力，间接提升控害效能。

2.2 制约规模化应用的关键问题

尽管乡土天敌昆虫具有显著的控害优势，但在规模化应用过程中，仍面临诸多关键制约问题，导致其难以广泛替代化学农药，限制了生物防治技术的推广。

2.2.1 自然种群波动大

自然种群波动大是制约乡土天敌昆虫规模化应用的首要问题，其种群数量受环境因子、猎物密度、人类活动等多种因素影响，波动幅度显著，难以维持稳定的控害能力。环境因子中，气候变化的影响最为突出，高温、干旱、暴雨等极端天气会直接导致天敌昆虫死亡率上升，如 37℃ 以上持续高温会使七星瓢虫无法繁殖，42℃ 高温下其存活时间不超过 5 天，同时气温异常还会导致天敌与害虫物候期错位，猎物爆发时瓢虫未孵化，瓢虫活跃时猎物已消退，供需失衡加剧种群波动。猎物密度的动态变化也会影响天敌种群，猎物不足时，天敌会因饥饿迁移或死亡，导致种群数量下降；人类活动中，农药滥用是重要诱因，广谱杀虫剂会无差别伤害天敌昆虫，亚致死剂量还会导致其幼虫发育畸形、生殖力下降，同时破坏猎物资源，导致食物链断裂。另外，栖息地破碎化、外来物种入侵等也会加剧天敌种群波动，如

异色瓢虫入侵后，会与本地七星瓢虫争夺食物和空间，还会捕食其幼虫和蛹，导致本地天敌种群锐减。

2.2.2 人工扩繁技术瓶颈

人工扩繁是实现乡土天敌昆虫规模化应用的核心环节，但目前该技术仍存在诸多瓶颈，难以满足实际需求。一是扩繁成本高，多数乡土天敌昆虫对饲料要求严格，天然饲料获取困难，人工饲料配方不完善，导致扩繁过程中成本居高不下，如部分寄生蜂的人工扩繁需依赖特定寄主卵，难以批量供应；二是扩繁效率低，天敌昆虫的生长发育周期长，繁殖能力存在种间差异，部分种类繁殖速率慢、产卵量少，且人工环境下难以模拟其自然栖息条件，导致存活率和繁殖率偏低，如室内花绒寄甲扩繁虽取得进展，但仍难以满足大规模田间应用的虫源需求；三是质量控制难度大，人工扩繁过程中，天敌昆虫的品质易受环境条件、饲料质量影响，出现体型变小、活力下降、控害能力减弱等问题，影响田间应用效果；四是技术不成熟，多数乡土天敌昆虫的人工扩繁技术仍处于试验阶段，缺乏标准化的扩繁流程和技术规范，难以实现规模化、标准化生产。

2.2.3 生态风险

乡土天敌昆虫的规模化应用可能带来潜在生态风险，主要源于天敌种群的人为干预打破了本地生态系统的自然平衡，其风险主要体现在非靶标效应，部分广食性乡土天敌昆虫在控制目标害虫的同时，可能取食本地有益昆虫、蜜蜂等传粉昆虫，或寄生本地非害虫物种，导致本地生物多样性下降，破坏生态系统结构；种群入侵风险，人工扩繁的天敌昆虫若逃逸到自然环境中，其种群数量可能因缺乏自然制约而过度增长，成为新的入侵物种，挤占本地物种的生存空间，如部分人工扩繁的寄生蜂，逃逸后可能改变本地天敌群落结构，引发连锁生态反应；基因污染风险，人工扩繁过程中，为提高扩繁效率和控害能力，可能对天敌昆虫进行人工选育或基因改造，其释放后可能与本地野生天敌种群杂交，导致野生种群基因多样性下降，影响其自然适应性和进化潜力^[3]。

3 乡土天敌昆虫应用模式与技术体系

3.1 资源保护型模式

资源保护型模式是基于乡土天敌昆虫的自然生存特性，通过优化田间管理、构建适宜栖息地等措施，保护和提升本地天敌昆虫种群数量，充分发挥其天然控害功能，是一种低成本、可持续的应用模式。该模式的核心是减少人类活动对天敌昆虫的干扰，为其提供生存、

繁殖和取食的良好环境。具体技术措施包括：优化农药使用方式，推广精准施药、生物农药替代等技术，减少化学农药对天敌昆虫的伤害，避免食物链断裂；构建天敌庇护所，在农田周边、田埂等地种植功能性植物，如开花植物、蜜源植物，为天敌昆虫提供花蜜、花粉和栖息场所，同时保留杂草丛生的区域，作为天敌昆虫的产卵和越冬场所；实行多样化种植，通过间作、套作等方式，增加田间植被多样性，为天敌昆虫提供丰富的猎物资源和栖息环境，提高其种群稳定性；减少土壤扰动，推行免耕、少耕等栽培模式，保护地表天敌昆虫的栖息地，提高其存活率。该模式无需人工释放天敌，仅通过生态调控即可提升控害效果，适用于中小规模农田、生态保护区等区域，可有效维护生态平衡。

3.2 人工扩繁与释放技术

人工扩繁与释放技术是实现乡土天敌昆虫规模化应用的关键技术体系，核心是通过人工手段批量培育天敌昆虫，再根据害虫发生情况，科学释放到田间，快速提升控害能力，适用于害虫爆发期或天敌自然种群不足的场景。该技术体系主要包括人工扩繁和科学释放两个核心环节：人工扩繁环节需建立标准化扩繁体系，优化饲料配方、环境条件（温度、湿度、光照），提高天敌昆虫的存活率和繁殖率，如襄阳实验室通过优化条件，累计繁育花绒寄甲成虫达 12 万头、卵 1200 万粒，同时利用人工智能技术优化扩繁流程，提升扩繁效率和质量；科学释放环节需遵循“适时、适量、适地”原则，根据害虫的发生期、发生密度和田间环境，确定释放时间（一般在害虫卵期或幼虫期）、释放数量和释放方式，如襄阳在松材线虫病防控中，通过对比试验，确定了花绒寄甲的最佳释放方式和数量，其对松褐天牛的寄生率达 52.7%，显著降低了病死树数量。还需建立释放后的监测体系，跟踪天敌昆虫的种群动态和控害效果，及时调整释放策略，同时加强天敌昆虫的运输和储存技术研发，减少运输过程中的死亡率。

3.3 生态调控型模式

生态调控型模式是整合资源保护、人工释放和田间管理等多种措施，通过调控农田生态系统结构，构建“天敌-害虫-植被”的良性互动关系，实现对害虫的长

期、稳定控制，是一种综合性的应用模式。该模式强调生态系统的整体优化，兼顾控害效果和生态可持续性，核心是通过人为干预，优化生态系统结构，提升天敌昆虫的控害效能^[4]。具体措施包括：结合资源保护型模式，构建天敌庇护所、推行多样化种植，为天敌昆虫提供良好的生存环境；结合人工扩繁与释放技术，在害虫发生关键期，适量释放人工扩繁的天敌昆虫，快速压制害虫种群，同时通过自然繁殖维持天敌种群数量；优化田间植被配置，种植能够吸引天敌昆虫、抑制害虫的植物，通过化学生态调控，增强天敌昆虫的搜寻和控害能力，如利用植物挥发物引诱天敌昆虫定位猎物；建立生态监测体系，定期监测天敌昆虫、害虫和植被的种群动态，根据监测结果调整调控措施，实现动态管理。该模式适用于规模化农田、经济作物种植区等，如湖北襄阳在松材线虫病防控中，通过构建“天敌战队”、优化林分结构等生态调控措施，实现了病死树数量大幅减少，为生态防控提供了可行范例。

结束语

乡土天敌昆虫在林业有害生物持续控制中潜力巨大，虽面临自然种群波动、人工扩繁难题及生态风险等挑战，但资源保护型、人工扩繁与释放、生态调控型等应用模式与技术体系为其应用提供了方向。未来，需进一步深入研究，完善技术，加强监测与管理，充分发挥乡土天敌昆虫优势，推动林业有害生物防治向绿色、可持续方向发展，守护森林生态安全。

参考文献

- [1] 方大琳. 云霄县林业有害生物发生情况及防控建议[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(9):280-282.
- [2] 王静. 林业有害生物防治中无公害防治技术应用的实证研究——以松材线虫防治为例[J]. 数字农业与智能农机, 2024(2):73-76.
- [3] 阎合, 田呈明, 李娟, 等. 高新技术应用于全国林业有害生物普查工作的现状及展望[J]. 中国森林病虫害, 2022, 41(1):41-45.
- [4] 马思娟, 李乐. 天敌昆虫在林业害虫防治中的应用[J]. 乡村科技, 2023, 14(10): 111-113.