

西藏害虫生物防治理论基础与技术应用研究

孙兆旭^{1,2}, 崔洁³, 王文峰⁴, 唐晓琴^{1,2}, 郭鑫楠^{1,2}

(1. 西藏农牧大学植物科学学院, 西藏林芝 860000; 2. 青藏高原资源昆虫与应用昆虫实验室, 西藏林芝 860000; 3. 西藏自治区农牧科学院农业研究所, 西藏拉萨 850032; 4. 西藏自治区农牧科学院, 西藏拉萨 850000)

摘要: 系统阐述了害虫生物防治的内涵与技术途径, 包括利用天敌昆虫、病原微生物及植物抗性等核心手段, 重点探讨了其多元化的理论基础: 生态学理论(如种群动态、群落调控)揭示了天敌与害虫的平衡机制; 生物学理论明确了物种互作、环境因子及进化抗性的影响; 经济学理论确立了以经济阈值和经济损害水平为核心的防治决策依据; 化学通讯理论为开发信息素诱杀和“推—拉”策略提供了支持; 植物抗性理论则为利用作物自身防御机制奠定了基础。针对西藏高原这一特殊生态区域, 分析了其应用天敌昆虫(如本地瓢虫、食蚜蝇)与病原微生物(如白僵菌、蝗虫微孢子虫)的潜力与适应性, 并指出高寒环境、生态安全及技术推广是该地区面临的主要挑战。最后, 提出未来应通过资源数据库构建、分子生物学技术及智能化装备的应用, 推动生物防治在西藏等高海拔地区的精准化与规模化发展, 为农业绿色可持续发展提供理论参考与技术支撑。

关键词: 害虫; 生物防治; 生态调控; 天敌昆虫; 植物抗性; 西藏

中图分类号: S476

文献标识码: A

Research on the Theoretical Basis and Technical Application of Biological Pest Control in Xizang

SUN Zhaoxu^{1,2}, CUI jie³, WANG Wenfeng⁴, TANG Xiaoqin^{1,2}, GUO Xinnan^{1,2}

(1. College of Plant Sciences, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingchi Xizang 860000, China; 2. Xizang Highland Resource Insects and Applied Insects Laboratory, Nyingchi Xizang 860000, China; 3. Institute of Agricultural, Xizang Autonomous Region Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa Xizang 850032, China; 4. Research Management Office, Xizang Autonomous Region Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa Xizang 850000, China)

Abstract: This study systematically elaborates on the connotation and technical approaches of pest biological control, encompassing core strategies such as the utilization of natural enemy insects, pathogenic microorganisms, and plant resistance. It focuses on exploring its diversified theoretical foundations: ecological theories (e.g., population dynamics and community regulation) illuminate the balance mechanisms between natural enemies and pests; biological theories clarify the impacts of species interactions, environmental factors, and evolutionary resistance; economic theories establish the decision-making basis for pest management centered on economic thresholds and economic injury levels; chemical communication theories support the development of pheromone trapping and “push-pull” strategies; and plant resistance theories lay the groundwork for leveraging the intrinsic defense mechanisms of crops. Specifically targeting the unique ecological region of the Xizang Plateau, the study analyzes the potential and adaptability of applying natural enemy insects (such as native ladybugs and hoverflies) and pathogenic microorganisms (such as *Beauveria bassiana* and locust microsporidia). It further identifies high-altitude environments, ecological safety, and technology promotion as the primary challenges in the region. Finally, the study proposes that future efforts should focus on promoting the precision and large-scale development of biological control in high-altitude areas like Xizang through the construction of resource databases, application of molecular biological technologies, and adoption of intelligent equipment, thereby providing theoretical references and technical support for the green and sustainable development of agriculture.

Key words: pest; biological control; ecological regulation; natural enemy insects; plant resistance; Xizang

收稿日期: 2024-08-20

作者简介: 孙兆旭(1997—), 男, 在读硕士, 主要从事天敌昆虫资源调查研究, E-mail: 953034761@qq.com。

通信作者: 唐晓琴(1977—), 女, 硕士, 教授, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: tibetxq@sina.com。

随着全球农业的快速发展,害虫对农作物的危害日益加剧,传统的化学防治方法虽然短期内效果显著,但长期依赖化学农药不仅导致害虫抗药性增强,还会破坏生态环境、威胁生物多样性,并可能通过食物链危害人类健康。在这一背景下,害虫生物防治^[1-4]作为一种环境友好、可持续的治理策略,逐渐受到学术界和农业从业者的广泛关注。生物防治通过利用天敌昆虫、病原微生物、寄生性线虫等自然敌害因子来抑制害虫种群,既减少了化学农药的使用,又能维持生态平衡,符合现代农业绿色发展的需求。

近年来,随着分子生物学、生态学及信息技术的进步,害虫生物防治的理论研究不断深化,应用技术也日趋多样化,从传统的天敌引入到现代的基因编辑和微生物组调控,生物防治技术正朝着精准化、智能化的方向发展。然而,如何进一步提高生物防治的稳定性、效率及规模化应用,仍是当前研究的难点与热点。本文旨在系统梳理害虫生物防治的理论基础与技术进展,分析其在实际应用中的挑战与前景,以期对未来农业害虫综合治理提供理论参考和技术支撑。

1 害虫生物防治的内涵和技术途径

1.1 生物防治的内涵

生物防治是指通过利用生物间的相互作用关系,以天敌、微生物、植物抗性等为手段,实现对病虫害的自然抑制与长期控制,其核心在于通过生态平衡机制减少对化学农药的依赖,降低环境污染,并提升农业或林业的可持续发展能力^[5]。生物防治具有环保低毒的优势条件,通过引入天敌或利用天然微生物替代化学农药,可减少环境污染和农药残留,如苏云金芽孢杆菌(Bt)制剂可替代传统杀虫剂防治鳞翅目害虫,无污染且防治效果高效。

生物防治的优势还在于其长期可持续性。通过引入或增强天敌(如寄生蜂、捕食性昆虫)、病原微生物(如苏云金芽孢杆菌、昆虫病毒)等自然调控因子,在生态系统中建立稳定的“害虫-天敌”动态平衡,从而持续抑制害虫种群,避免病虫害的反复暴发。例如,在稻田生态系统中释放赤眼蜂防治稻纵卷叶螟^[6],不仅能有效降低害虫密度,还能通过天敌的持续繁衍和扩散,维持数月的防治效果,甚至形成长期的自然调控机制。

1.2 生物防治的技术途径

生物防治技术主要包括天敌防治、微生物防治及植物抗性与生态调控三大路径。在天敌防治方面,捕食性天敌(如瓢虫、草蛉)通过直接捕食控制蚜虫等害虫,而寄生性天敌(如赤眼蜂、肿腿蜂)通过寄生作用显著降低松毛虫、天牛等靶标害虫的种群密度^[7-8]。微生物防治则利用病原微生物(如白僵菌^[9]、绿僵菌^[10]、苏云金芽孢杆菌)及昆虫病毒(如核型多角体病毒^[11])特异性侵染害虫,同时植物源农药(如印楝素^[12]、除虫菊酯^[13])提供环境友好的化学替代方案。植物抗性与生态调控通过抗虫基因工程(如转 Bt 作物)和农业生态措施^[14-15](如轮作、间作、生物多样性种植)破坏害虫生存环境,协同提升防治效果。这些技术路径相互补充,共同构建了以生态调控为核心的可持续害虫治理体系,为减少化学农药依赖提供了多元化解决方案。

2 害虫生物防治的理论基础

2.1 生态学理论基础

生物防治的生态学理论基础植根于种群动态、群落结构和生态系统功能等核心生态学原理。从种群生态学视角来看,害虫与天敌的相互作用遵循经典的捕食者-猎物动态模型(Lotka-Volterra 模型^[16-17]),通过调节天敌种群可以有效降低害虫的环境容纳量,实现种群数量的长期稳定控制。在群落水平上,营养级联效应和生物多样性理论共同解释了天敌群落对害虫种群的多层次调控机制,其中复杂的种间关系网络为生物防治提供了天然的控害功能^[18-20]。生态系统层面的研究进一步表明,通过生态位构建和景观配置可以优化天敌的栖息环境,而“推一拉”策略^[21-23]等行为调控手段则能有效改变害虫的生态位利用,值得注意的是,长期的协同进化使天敌对其靶标害虫形成了高度特异的控害能力,这种专一性关系是生物防治的重要保障。

现代生物防治实践已实现基于生态系统服务的整体管理策略,将农田景观规划、生态工程技术和多营养级调控有机结合,不仅提升了害虫防控效果,更增强了农业生态系统的稳定性和可持续性。随着微生物组学和化学生态学等新兴技术的发展,对生物防治生态学机制的认识正在不断深化,为创新绿色防控技术提供了更丰富的

理论支撑^[24]。

2.2 生物学理论基础

生物防治策略的制定与实施建立在扎实的生物学理论基础之上,其核心在于通过调控物种间的相互作用关系实现对有害生物种群的有效控制,这一过程涉及多个生物学层面的协同作用,包括物种互作关系的生态学机制、有害生物的生活史与行为特性、植物-害虫-天敌的三营养级关系、环境因子的调控作用、进化与抗性管理等方面。物种互作关系是生物防治的生态学基础,捕食、寄生、竞争或拮抗等关系被广泛应用于有害生物种群调控。例如,天敌昆虫通过捕食或寄生作用抑制害虫种群,其防治效能取决于天敌的专一性、搜寻能力和繁殖速率;微生物病原体如苏云金芽孢杆菌则通过产生特异性毒素作用于目标害虫的肠道细胞,其致病机制与害虫的生理特性密切相关。有害生物的生活史与行为特性直接影响防治方法的选择与效果。世代周期短、繁殖力强的害虫如蚜虫虽然易爆发成灾,但对天敌(如瓢虫、蚜茧蜂)高度敏感,因此生物防治效果显著;而钻蛀性害虫如玉米螟因其隐蔽的生活习性难以被天敌接触,往往需要结合性信息素干扰其交配行为以提高防治效果^[22,25]。植物在生物防治中扮演着重要角色,其通过释放挥发性有机物吸引天敌,形成间接防御机制。例如,受虫害诱导的玉米能够释放萜烯类物质显著提高寄生蜂的定位效率,这一机制为“推一拉”策略提供了理论基础,即通过作物布局和化学引诱剂的协同作用增强天敌的控害能力。

环境因子对生物防治效果具有重要调控作用,温度、湿度等非生物因子直接影响天敌与害虫的种群动态,例如赤眼蜂的寄生率在25~30℃时达到最高,而低温会延缓其发育进程^[26-27],因此,在不同气候区域实施生物防治时,必须考虑环境适应性,如在热带地区优先选用耐高温的虫生真菌(如白僵菌)。此外,长期单一使用某种生物防治剂可能导致害虫抗性的进化,例如小菜蛾对Bt毒素的抗性发展与基因频率变化密切相关^[28],为应对这一问题,需要采用多靶标策略(如复合天敌释放)或轮换使用不同作用机制的生物农药。

综上所述,生物防治的生物学基础涵盖从分子机制到生态系统层面的多尺度研究,其成功实

施需要整合害虫生物学、天敌行为生态学及环境互作效应等多学科知识,同时兼顾进化动态与可持续性设计,只有在深入理解这些生物学原理的基础上,才能制定出高效、稳定且环境友好的生物防治策略,实现农业生态系统的可持续发展。

2.3 经济学理论基础

害虫生物防治作为一种特殊的经济活动,其本质是通过科学干预来减少农业生产损失而非直接创造收益,这一过程遵循经济学的基本原理,其理论基础主要体现在3个关键维度:首先,经济阈值(Economic Threshold, ET)作为防治决策的核心指标,代表需要采取防治措施以避免经济损失的害虫密度临界点。以棉铃虫为例,当幼虫密度超过每百平方米54.16头时^[29],其造成的产量损失将超过释放赤眼蜂等生物防治措施的成本,此时干预具有经济合理性,这一阈值的确定需要综合考量作物经济价值、防治实施成本及害虫种群动态等多重因素;其次,经济损害水平(Economic Injury Level, EIL)作为更基础的参数,表示害虫造成的经济损失恰好等于防治成本时的种群密度。例如稻飞虱种群超过每株5头时,损失系数在8.9%~12.8%,按此系数估算,每667 m²损失稻谷50 kg左右,因此,防治指标确定为始穗期应控制在每株5头以下^[30],这一概念能有效避免“过度防治”带来的资源浪费;最后,边际效益分析^[31]为防治投入提供了精准的优化依据,当增加单位防治投入所带来的作物损失减少价值等于投入成本时,即达到最优防治强度。

在实际应用过程中,生物防治的经济效益往往表现出明显的滞后性和累积效应,与化学防治相比,生物防治在实施初期通常需要更高的投入成本,这主要体现在建立稳定的天敌种群往往需要经历3~5个世代的培育周期。然而,从长远经济效益来看,这种初期投入能够带来显著的回报,一旦天敌种群成功建立,其持续稳定的控害效果可以大幅减少后续防治的重复投入成本,这种“前期投入高、后期收益大”的经济特性,使生物防治的整体经济效益长期往往优于化学防治。

2.4 化学通讯理论

化学通讯理论在害虫生物防治中发挥着关键性的调控作用,其核心在于利用生物间天然存在的化学信息传递机制来实现对害虫种群的人

为干预。这一理论的应用主要体现在3个方面:首先,信息素诱杀技术通过模拟害虫种内通讯信号来实施精准防控,性信息素诱捕系统能够特异性吸引目标害虫的雄性个体,不仅可直接降低种群交配成功率,还能通过监测诱捕数量动态来预测害虫发生趋势,为防治时机选择提供科学依据。例如,在苹果蠹蛾防治中,每公顷设置30~50个性信息素诱捕器可有效监测种群动态,并在成虫羽化高峰期实施精准防治^[32-33];其次,交配干扰技术通过人工释放高剂量信息素来破坏害虫的正常求偶通讯^[34]。

“推一拉策略”的集成应用。该策略巧妙结合了害虫的趋避和引诱机制,通过在被保护作物周边种植具有驱避作用的植物,如在蓝莓园中,薄荷与芹菜、白车轴草间作可降低果蝇种群数量^[35]。同时在特定位置设置引诱植物形成空间生态调控网络,如波斯菊通过释放挥发性烯萜类、酚酸类有机化合物,吸引如瓢虫、草蛉等捕食性天敌^[36],种植密度为50%时,天敌数量显著高于自然杂草区域。此外,化学通讯与其他生物防治手段的协同应用展现出显著优势,将昆虫病原微生物(如白僵菌)与信息素结合使用,可使病原体通过害虫的聚集行为实现群体感染,在棉铃虫防治中,这种组合措施使幼虫感染率提高40%以上^[37]。这些应用实践充分证明,化学通讯理论不仅为害虫生物防治提供了新的技术路径,更通过模拟和干扰自然生态中的化学信息流,实现了对害虫种群的人为精准调控,展现出高效、环保且可持续的防治特点。值得注意的是,在实际应用中需要根据目标害虫的化学感受特性、环境温湿度等因素进行参数优化,才能获得最佳的防治效果。

2.5 植物抗性理论

植物抗性理论为害虫生物防治提供了重要的理论基础,其核心在于利用植物自身的防御机制来抵御害虫侵害,这一理论的应用主要体现在两个方面:组成抗性和诱导抗性的协同作用。组成抗性是植物固有的防御特性,如棉花叶片表面的茸毛能阻碍棉蚜取食,施用硅肥处理的水稻可降低二化螟幼虫的钻蛀成功率^[38-39];诱导抗性,这种防御机制在植物感知害虫危害后被激活,当玉米遭受亚洲玉米螟啃食时,植株体内含有的丁布(DIMBOA)^[40]开始发挥作用,这类物质不仅

能抑制幼虫生长发育,还可降低雌成虫产卵偏好。诱导抗性的间接防御作用同样具有重要应用价值,当茶树被茶尺蠖取食后,释放的挥发性有机物能吸引绒茧蜂等寄生性天敌,田间试验表明,这种诱导防御可使茶尺蠖幼虫被寄生率明显提高^[41-42],类似现象在番茄-烟粉虱-丽蚜小蜂系统中也被观察到^[43]。更加值得注意的是,某些植物还能通过地下菌根网络传递预警信号,使邻近未受害植株提前启动防御。例如,苜蓿植株间机械损伤信号的传递研究^[44],机械损伤诱导的防御信号可通过地下菌丝网络传递给邻近植株,激活邻近植株防御系统,使邻近未受机械损伤的苜蓿植株改变挥发性气体,并改变其防御酶活性,用以修复损伤带来的伤害,这种现象为“预防性农业”提供了新思路。

3 害虫生物防治策略

3.1 天敌昆虫与病原微生物的应用

西藏高原的低温和强紫外线等恶劣环境对天敌昆虫的存活与定殖构成了显著挑战,但通过筛选耐寒性强、适应性优良的天敌种类仍有望实现对害虫的有效防治。我国在天敌昆虫引种方面已积累了30年的实践经验,共成功引进多种天敌昆虫,部分种类在高海拔地区表现出良好的适应性与防控潜力^[45]。西藏本地生态系统中同样蕴藏着适应高原环境的天敌资源。崔洁等^[46]在林芝地区调查发现,横斑瓢虫(*Coccinella transversoguttata*)、多异瓢虫(*Adonia variegata*)和异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)等为当地优势捕食性瓢虫种类;赵远等^[47]研究显示,在拉萨油菜花期存在西伯利亚条胸蚜蝇(*Helophilus sibiricus*)、狭带贝食蚜蝇(*Betasyrphus serarius*)、西藏细腹蚜蝇(*Sphaerophoria tibetensis*)及斜斑鼓额食蚜蝇(*Scaeva pyrastris*)等多种可利用的食蚜蝇资源;蒲蛰龙曾强调保护本地天敌是生物防治工作的基础,通过优化栖息环境可有效增强其控害功能。

在西藏等高寒地区,昆虫病原真菌(如白僵菌、绿僵菌)和细菌(如蜡状芽孢杆菌)在低温条件下仍可保持较高活性,显示出良好的应用潜力。针对当地寒旱环境特点,可优先筛选天然耐寒菌株或通过基因改良技术进一步提高其适应性。此外,昆虫病毒(如核型多角体病毒)和微孢

子虫(如蝗虫微孢子虫)凭借高度宿主特异性对非靶标生物影响较小,尤其适用于生态脆弱的青藏高原。西藏飞蝗是西藏农牧区的重要害虫,具有暴发性和迁飞性特点,对农业生产威胁显著,我国已开发出2 000万孢子/mL的蝗虫微孢子虫悬浮剂,室内活性与田间试验效果良好,尤其在西藏飞蝗低密度发生时可持续控制种群^[48-49]。

3.2 生物防治的挑战与对策

青藏高原推行生物防治主要面临环境限制、生态安全和技术推广三方面挑战。高原低温可能延缓病原微生物的侵染进程,需通过剂型改良、添加抗冻剂或选择雨季施用等方式予以优化;所有引入的天敌或病原体均需经过严格的生态安全性评估,特别是对西藏特有生物多样性的潜在影响;此外,由于农牧民对生物防治认知有限,需加强本地化示范和技术培训,并借助政策支持与公众教育以突破推广瓶颈。未来研究应聚焦于系统调查并建立西藏本土天敌与病原微生物资源数据库,同时整合基因编辑增强菌株抗逆性等分子生物学手段和智能监测技术,以推动虫害生物防治的进一步发展。

参考文献:

- [1] BONATERRA A, BADOSA E, DARANAS N, et al. Bacteria as biological control agents of plant diseases [J]. *Microorganisms*, 2022, 10(9): 1759.
- [2] VAN LENTEREN J C, BUENO V H, Luna M, et al. Biological control in latin america and the caribbean: its rich history and bright future[M]: Wageningen University, Wageningen, Netherlands., 2020: 119-121.
- [3] SZEWC M, DE WAAL T, ZINTL A. Biological methods for the control of gastrointestinal nematodes [J]. *The Veterinary Journal*, 2021, 268: 105602.
- [4] SCHAFFNER U, HEIMPEL G E, MILLS N J, et al. Biological control for one health [J]. *Sci Total Environment*, 2024, 951: 175800.
- [5] 刘芳. 生物防治技术在农业病虫害防治中的应用研究[J]. *世界热带农业信息*, 2022(4): 86.
- [6] 郑君. 探析水稻病虫害的防治与生物农药的应用[J]. *种子科技*, 2020, 38(9): 73, 76.
- [7] 方向. 何谓生物防治 [J]. *湖南林业*, 2010(2): 28.
- [8] 郑玉良. 生态理念下林业栽植技术与病虫害防治措施[J]. *农业灾害研究*, 2022, 12(1): 181-183.
- [9] 王亚杰, 张志林, 郑吉阳, 等. 利用白僵菌和绿僵菌菌株生物防治舞毒蛾 [J]. *林业科技通讯*, 2022(10): 93-95.
- [10] 邓小垦, 张月, 龚发明, 等. 金龟子绿僵菌 CQMa421 防治茶小绿叶蝉的田间防效评价 [J]. *湖北植保*, 2021, 186(3): 22-24.
- [11] 李超峰. 不同添加物对苏云金芽孢杆菌杀虫活性的增效作用研究进展 [J]. *生物技术进展*, 2018, 8(2): 103-111.
- [12] 顾兴波, 范文红. 3种常用植物源农药对甘蓝蚜的室内毒力测定和田间防效试验 [J]. *陕西农业科学*, 2023, 69(6): 76-79.
- [13] 封天洪, 黄振兴, 罗丽林, 等. 麻江地区蓝莓果蝇发生与防治分析 [J]. *南方农业*, 2021, 15(8): 30-31.
- [14] 孙淑梅. 基于可持续发展的生态农业经济发展路径 [J]. *山西农经*, 2023, 337(1): 120-122, 129.
- [15] 黄焯辉. 生物防治在农业病虫害防治中的应用 [J]. *种子科技*, 2018, 36(7): 95.
- [16] 郑影, 常春. 基于 Lotka-Volterra 捕食者-猎物模型的概念间相关关系研究 [J]. *中华医学图书情报杂志*, 2022, 31(12): 7-13.
- [17] 杨巧艳, 廖代琴, 颜向平. 具有时滞的 Lotka-Volterra 食饵-捕食者成年种群模型的稳定性分析 [J]. *应用数学*, 2022, 35(4): 966-973.
- [18] 徐光华, 杨俊杰. 食物网稳定性机制研究进展: 一个基于等级系统的框架 [J]. *生态学报*, 2022, 42(20): 8492-8507.
- [19] 何学敏, 苑壮, 李含笑, 等. 华北落叶松人工纯林虫害发生区植物群落组成结构与多样性研究 [J]. *林业与生态科学*, 2023, 38(2): 167-176.
- [20] 边振兴, 张宇飞, 果晓玉, 等. 低山丘陵区农业景观格局对害虫-捕食性天敌食物网的影响 [J]. *生态环境学报*, 2022, 31(1): 79-88.
- [21] 张国庆. 信息素在文物害虫防治中的应用与展望 [J]. *环境昆虫学报*, 2022, 44(4): 869-879.
- [22] 王安佳, 张开心, 梅向东, 等. 昆虫性信息素及其类似物干扰昆虫行为的机理和应用研究进展 [J]. *农药学报*, 2018, 20(4): 425-438.
- [23] 焦龙, 谭荣荣, 陈勋, 等. 昆虫的气味景观: 从气味扩散到害虫防控 [J]. *昆虫学报*, 2023, 66(7): 978-991.
- [24] 林筱岚, 杨妹悦, 田蕴. 环境微生物的资源挖掘、代谢机制及其群落代谢功能的研究进展 [J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2022, 61(3): 470-483.
- [25] 吴翠平, 龚国淑, 李颖, 等. 影响玉米螟绿色防控技术防效的因素 [J]. *四川农业科技*, 2021(1): 33-35.
- [26] 阮长春, 郭若天, 胡晓暄, 等. 温度对稻螟赤眼蜂在米蛾卵上的生长发育和寄生潜能的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2018, 32(4): 398-404.
- [27] 杜文梅, 郭若天, 潘宇, 等. 不同温度下稻螟赤眼蜂在黏虫卵上的种群生命表 [J]. *环境昆虫学报*, 2020, 42(1): 29-35.
- [28] 尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 等. 云南小菜蛾对 Bt 的抗

- 药性及盆栽药效评价 [J]. 植物保护, 2014, 40(3): 174-177, 186.
- [29] 徐永芝, 何徐颖, 侯新强. 人工卵繁殖赤眼蜂绿色防控棉铃虫技术示范试验与成效 [J]. 农业工程技术, 2020, 40(11): 18-19.
- [30] 俞宏彪, 马生春, 张仲军, 等. 稻飞虱发生规律、为害损失及防治指标研究 [J]. 宁夏农林科技, 2006, 47(4): 23-24.
- [31] 郭德生. 福建溪柄镇水稻主要病虫害绿色防控技术与效益 [J]. 农业工程技术, 2020, 40(20): 30, 42.
- [32] 杜军梅. 武威市苹果蠹蛾绿色综合防控技术 [J]. 农业科技与信息, 2020, 600(19): 105-106.
- [33] 鲁旭鹏. 辽宁省苹果蠹蛾综合防控技术体系建设研究 [J]. 农业科技与装备, 2021(3): 19-20.
- [34] 杨晓平, 陈启亮, 张靖国, 等. 性信息素防控梨小食心虫的田间防效及效益评估 [J]. 中国南方果树, 2023, 52(4): 175-179.
- [35] 孙淦琳, 杨韵, 杜广祖, 等. 我国蓝莓害虫多样性及防治技术研究进展 [J]. 中国果树, 2024(5): 11-21.
- [36] 方艳, 王杰, 覃杨, 等. 蜜源植物波斯菊对捕食性天敌种群动态的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(5): 877-884.
- [37] 于健, 查萌, 郑梦君, 等. 白僵菌和绿僵菌对棉铃虫的室内防控效果评价 [J]. 新疆农业科学, 2020, 57(4): 608-615.
- [38] 梁家豪, 黄晨, 卢剑, 等. 有机硅肥对控制水稻螟虫的辅助作用 [J]. 湖北植保, 2016(2): 18-21.
- [39] 韩永强, 刘川, 侯茂林. 硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5967-5974.
- [40] 宋鹏飞, 毛培, 姚双艳, 等. 丁布胁迫对亚洲玉米螟危害程度及生长发育的影响 [J]. 河南农业科学, 2014, 43(11): 72-76.
- [41] 范培珍, 韩善捷, 韩宝瑜. 灰茶尺蠖为害诱导茶树释放的互利素的鉴定 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(1): 65-71.
- [42] 张帅琪, 冯博文, 张婧, 等. 灰茶尺蠖和茶尺蠖绿色防控技术研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(5): 1121-1138.
- [43] 陶笑, 张晨阳, 付文燕, 等. 丽蚜小蜂防治设施番茄烟粉虱的效果研究 [J]. 长江蔬菜, 2018(6): 78-82.
- [44] 李莎, 斯那永宗, 徐若, 等. 丛枝菌丝网络介导苜蓿植株间机械损伤信号的传递 [J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(4): 382-388.
- [45] 张礼生, 陈红印. 我国天敌昆虫与生防微生物资源引种三十年成就与展望 [J]. 植物保护, 2016, 42(5): 24-32.
- [46] 崔洁, 杨泽鹏, 王思展, 等. 西藏林芝地区农田瓢虫资源及优势种种群动态 [J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28(4): 890-896.
- [47] 赵远, 李杨, 陈新兰, 等. 拉萨油菜花期食蚜蝇多样性调查 [J]. 中国植保导刊, 2023, 43(8): 36-40, 60.
- [48] 黄冲, 刘万才. 近 10 年我国飞蝗发生特点分析与监控建议 [J]. 中国植保导刊, 2016, 36(12): 49-54.
- [49] 张杰. 我国蝗虫绿色防控新技术推广模式研究与应用 [D]. 北京: 中国农业大学, 2014.