

玉米害虫绿色防控技术综述：蜜源植物的作用与应用

翟鑫意

浙江师范大学生命科学学院，浙江 金华

收稿日期：2025年3月20日；录用日期：2025年4月18日；发布日期：2025年4月28日

摘要

本文全面综述了玉米害虫绿色防控技术，涵盖农业防控、理化诱控、生物防治及生态调控等手段，强调结合生态调控、农艺栽培、生物防治与精准化学防治，推动玉米生产绿色安全。同时，文章深入探讨蜜源植物对天敌昆虫的影响，其可为天敌提供营养，增强控害能力，但需注意其对害虫的潜在风险及控害距离效果的局限性。鉴于玉米害虫防治重要性，绿色防控技术与蜜源植物合理利用对保障玉米生产安全、推动农业可持续发展意义重大，未来需进一步探索优化其应用。

关键词

玉米害虫，绿色防控，蜜源植物，天敌昆虫，可持续农业

A Review of Green Control Techniques for Corn Pests: The Role and Application of Nectar Plants

Xinyi Zhai

College of Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

Received: Mar. 20th, 2025; accepted: Apr. 18th, 2025; published: Apr. 28th, 2025

Abstract

This paper comprehensively reviews the green control technologies for corn pests, covering agricultural control, physical and chemical luring control, biological control, and ecological regulation. It emphasizes the integration of ecological regulation, agronomic cultivation, biological control, and precise chemical control to promote the green and safe production of corn. Meanwhile, the article

dives into the impact of nectar plants on natural enemy insects, which can provide nutrition for them and enhance their pest control ability, but it is necessary to pay attention to the potential risks to pests and the limitations of the control distance effect. Given the significance of corn pest control, the rational application of green control technologies and nectar plants is of great importance for ensuring the safety of corn production and promoting sustainable agricultural development. In the future, further exploration and optimization of their application are needed.

Keywords

Corn Pests, Green Control, Nectar Plants, Predatory Insects, Sustainable Agriculture

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

玉米是我国重要的粮食作物、经济作物和饲料兼用作物，具有分布广、产量高等特点。我国玉米收获面积常年居全球首位，产量仅次于美国，位居世界第二，种植面积常年稳定在 6 亿亩以上。然而，在生产过程中玉米受到多种害虫侵害，造成产量减少和品质降低等重大问题，严重影响玉米的生产安全与经济效益[1]。在玉米生产过程中，害虫防治已成为一个重要的环节。我国农业生态系统中的害虫防治策略经历了从农业防治到化学防治，再到综合防治，最后向绿色防治发展的过程[2]。随着社会经济的持续发展，农业中的主要害虫受气候变化、耕作制度以及害虫对药物的抗性增强等多种原因，使害虫的暴发频率逐年上升、迁飞性的种类频繁出现、特定区域害虫突发成灾、抗药性害虫种类增多，害虫的防控面临更大的风险[3]。在这样的大背景下，我国农学研究者为了建设资源节约型和环境友好型的绿色可持续农业生态，广泛应用了以农业防控、理化诱控、生物防治、生态调控等多种手段为一体的绿色防控技术，这种策略强调建立一个具有自我控害能力的平衡生态系统的同时，综合运用多种方法来减轻化学农药的防治压力，从而推动农作物走向绿色和安全的生产路径[4]。

2. 玉米害虫绿色防控技术

2.1. 农业防控技术

农业防控技术主要包括选用抗虫品种、翻耕土壤、秸秆还田、及时清理田间杂草、适量调整玉米播期等。每年玉米收获后集中处理玉米穗轴，将秸秆粉碎还田，并及时翻耕深耕，可以杀死在秸秆中越冬的钻蛀性老熟幼虫，这种方法能够显著降低玉米螟(*Ostrinia furnacalis*)及棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)等害虫的越冬种群规模；深耕土地可以破坏害虫栖息或化蛹的场所，让害虫暴露在浅土层中，更易于被鸟类等天敌捕食，同时也能直接杀死一部分地下害虫，从而减少害虫基数。为了确保玉米的健康成长，需要彻底清理田间中的杂草，尤其是清除蚜虫(*Rhopalosiphum padi*)、草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)、地老虎(*Agrotis ipsilon*)等害虫的衍生地，从而大大减少害虫的出现。还可以选择中早熟玉米品种进行适期播种，这样可以使玉米抽穗期更早，从而避免一些害虫盛发期的危害。

2.2. 理化诱控技术

理化诱控技术的原理是利用害虫的趋光、趋化、假死性来诱杀害虫的技术。在害虫爆发期，使用太

阳能杀虫灯、黑光灯[5]、高压汞灯、LED单波杀虫灯[6]等进行大面积诱杀。利用害虫对特定颜色的趋性行为,可以在害虫发生严重的田块针对不同害虫悬挂特定颜色的粘板,如黄色、蓝色、或黄绿色,以此高效捕捉并诱杀成年害虫,达到有效的害虫管理目的[7][8],针对不同害虫的特点选择合适的粘板进行防治,能达到高效、安全、无污染的效果[9]。设置性信息素诱捕器以诱捕并消灭害虫成虫也是理化诱控技术的一种。在害虫成虫羽化初期时,可以通过在田间设置针对性的昆虫性信息素陷阱,以吸引并捕获优势种群中的成虫个体,从而实现有效的害虫防治。韩海亮等[10]研究发现,针对亚洲玉米螟的诱捕中,采用船型诱捕器搭配吉林农业大学特制的配诱芯**b**表现出对玉米螟最高的诱捕效率。此外性诱剂的应用不仅亚洲玉米螟的田间种群监测上表现出显著效果,其结合杀虫灯的使用更是成为玉米螟绿色防控技术的优选方案之一。

2.3. 生物防治技术

生物防治技术是指应用天敌和病毒、细菌等生物环境或生物农药进行农作物害虫防治的技术手段[11]。利用天敌防控害虫具有:安全、无毒、无污染、方法简单、经济效益高等优点[12]。目前,我国应用最广泛的天敌昆虫是寄生蜂和捕食螨,其中,赤眼蜂是目前在全球范围内的生物防治中应用最广、效果最好的天敌昆虫,对草地贪夜蛾、玉米螟等重要害虫有良好的防治作用[13],捕食螨则主要用于叶螨(*Tetrangohus turkestanii*)和蓟马的防治[14]。在害虫成虫发生始盛期时,可以人工释放天敌赤眼蜂、蠋蝽进行防治。

目前,利用微生物制剂等生物农药防治玉米虫害包括:使用苦参碱、金龟子绿僵菌、印楝素等生物杀虫剂来防治玉米刺吸式害虫灰飞虱、蚜虫、蓟马等;使用阿维菌素、藜芦碱等用于防治叶螨;使用甘蓝夜蛾核型多角体病毒、金龟子绿僵菌、苏云金杆菌(Bt)[15]、球孢白僵菌[16]、短稳杆菌等用于防治草地贪夜蛾、玉米螟、黏虫(*Mythimna separata*)、棉铃虫、桃蛀螟等蛀食性害虫。有研究发现白僵菌(*Beauveria bassiana*)可以达到既不伤害有益生物和天敌,又对玉米螟具有显著防治作用的效果,是安全控害的理想生物制剂。

2.4. 生态调控技术

生态调控技术是通过改善农业生态系统,减少病虫害和提高作物抗病能力的可持续防治方法。它包括抗性品种选育、作物布局优化和栽培管理强化,是替代化学防治的关键。整合生态调控技术体系是现代农业可持续发展的方向,旨在构建多维度协同网络,提高害虫防控的效率和生态友好性。

2.4.1. 抗病虫品种选育

抗病虫品种选育是通过收集和鉴定相关种质资源,结合杂交育种、诱变育种和回交转育等方法,培育出具有抗病虫特性的作物品种。然而,抗性基因的稳定性难以保持,容易因环境变化而失效;多抗品种的培育周期长,成本高,并且抗性基因的结构复杂。因此,当前的研究更加关注如何在使抗病基因品种稳定、持久性的同时,提高抗病虫品种的推广速度和适应性,仍是当前的研究重点。

2.4.2. 作物布局优化与生境调节

通过合理轮作、间作和套种等作物布局优化方式,能够有效控制病虫害的发生,并提高农业资源的利用效率。例如,合理的轮作可以平衡植物对土壤养分和水分的吸收,调节土壤理化性状,从而增强作物的抗病虫能力[17]。不同农作物通过间作和套种,可以增强生境整体抵抗力,从而降低病虫害的发生率[18]。例如,玉米-豆科间作可使害虫密度降低30%以上[19]。生境调节是基于作物布局优化提出的生态调控的重要手段之一。通过在田埂种植蜜源植物(如芝麻和波斯菊等),可以显著增加寄生蜂的多样性,延长天敌控害周期[20]。蜜源植物不仅能为天敌提供食物来源和庇护场所,还能通过增加天敌的数量和繁殖

率来增强生物控制能力。例如,在茶园中种植孔雀草、万寿菊等蜜源植物,可以显著改善天敌群落结构,增强对害虫的控制能力[21]。此外,非作物生境(如森林、灌木丛)也为天敌提供了越冬庇护所和营养补充[22]。

2.4.3. 栽培管理

栽培管理是生态调控技术中不可或缺的一环,通过切断病虫害传播链与增强作物抗逆性实现双重调控。通过田园卫生管理和水肥管理,可以有效控制病原物和害虫的数量。例如,深耕灭茬处理、及时清理田间病虫残体等措施能够显著减少病虫害的发生。水的管理不当则会影响植物对肥料的利用效率,而氮肥的过量施用会加重病害的发生。应用智能传感技术(如叶绿素荧光监测)进行水肥动态调控,可以实现减氮而不降低产量。在智能温室番茄栽培中,通过温湿度控制、水肥管理以及病虫害防治等综合措施,可以显著提高番茄的产量和品质。

2.5. 科学使用化学农药

科学使用化学农药包括种子包衣技术的应用和玉米螟丢心防治等方法。种子包衣技术具有省工省力、施药隐蔽性好,靶标性高,对天敌昆虫影响小等优点[23]。如对苗期害虫严重的田块进行包衣施药,可以选用 15%吡·福·烯啶醇悬浮来防治地下害虫和地老虎等;或选用 20%的吡·戊·富美双悬浮剂种衣剂以及使用 20%福·克悬浮种衣剂等。与常规防治相比,正确使用种子包衣技术可以大幅减少农药的使用量[24]。在玉米大喇叭口期,使用 40%辛硫磷乳油,或 3%辛硫磷颗粒剂,拌成毒土丢入玉米喇叭口,这种直接向喇叭口内施药或药剂灌心的方法能精准把握玉米的施药时期对玉米螟进行丢心防治,操作简便、节约成本,对 2 代玉米螟的防治效果显著。

3. 基于生境管理的生态调控技术

保护性生物防治旨在以改善天敌昆虫生存环境的方式,增强天敌的寿命和繁殖行为等,来提升天敌的自然控害作用[25]。而生境管理是指在空间和时间尺度上,对农田景观中不同类型的作物和非作物生境进行合理的规划和布局,营造一种有益于天敌,不利于害虫发生,还能减少环境污染,提高农业生态系统自然而然地控害保益功能的环境条件,从而达到可持续控害的目的[26]。生境管理对害虫的防治效果更为持久稳定,是农业可持续发展的重要保障[27],是保护性生物防治的主要措施。保护性生物防治的实现包括为天敌提供一些非作物植物生境,包括:蜜源植物、储蓄植物、栖境植物、诱集植物、指示植物、护卫植物和其他植物[28]。大量室内试验证实,合适的蜜源植物可以为天敌提供营养,对天敌的寿命与繁殖发生增益[29],增加农田系统中天敌的多样性和适合度[30]。储蓄植物系统通过为天敌提供替代寄主来保育和增殖天敌,能长期有效地控制靶标害虫[31]。栖境植物在农事干扰等不利环境时可以作为天敌的庇护所,这有利于天敌种群的增长[32]。并且,将多作物混合种植比单一作物种植更具物种多样性和生态稳定性,更不易发生害虫爆发[33]。

现代农业的大规模单一作物生产导致了农田中生物多样性锐减和景观单一化,不利于天敌的生存繁殖和控害[34];而景观和植物多样性的增加是维持天敌多样性和有效抑制害虫爆发的基础[35]。因此,开发有利于天敌的功能植物,并对其进行合理配置,具有重要的生态和经济价值。

4. 蜜源植物研究进展

蜜源植物(Nectar plant)即花粉、花蜜或花外蜜丰富,能为天敌昆虫所取食的植物种类[36] [37]。我国拥有大量蜜源植物资源,近年来,利用蜜源植物进行控害的研究逐渐增多。

4.1. 蜜源植物对天敌昆虫的影响研究

农业集约化导致害虫暴发频次加剧,大量使用化学农药进行控害造成了生态失衡,威胁农业生态安

全, 因此, 研究者们开始意识到天敌昆虫控害功能的表达依赖于生境的稳定维持。花粉、花蜜、蜜露等非猎物性食物能够为节肢动物天敌提供碳水化合物和糖等营养物质, 对节肢动物天敌成虫的寿命、繁殖能力和对猎物的搜索效率有着极其重要的作用[38] [39]。蔡志平等的研究发现, 分别处于不同花期的二月兰、蛇床草和金盏菊经组合种植后能在苹果树生长的前、中、后期持续涵养多种天敌, 调查发现这些天敌昆虫可以从花丛转移到苹果树上并扩散, 进一步对苹果害虫发生控制, 在此过程中蜜源植物为多种天敌昆虫提供了生境[40]。赵燕燕等发现酢浆草(*Oxalis corniculata*)可显著增加螟黄赤眼蜂的寿命和寄生力, 可作为潜在的田边增益蜜源植物[41]。喂食荞麦花(*Fagopyrum esculentum*)后的阿尔蚜茧蜂(*Aphidius ervi*)对豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)的攻击时间和攻击次数都有显著提高[42]。芝麻花(*Sesamum indicum*)可以显著吸引稻虱缨小蜂(*Anagrus nilaparvatae*)等寄生蜂, 并提高天敌昆虫的生态适应性, Gurr 等人研究发现, 在稻田边种植芝麻等蜜源植物能够显著降低稻飞虱的发生量, 减少 70% 农药使用量, 这表明芝麻是稻田系统中促进害虫防控的蜜源植物[43]-[46]。Kugimiya 等研究表明, 寄生蜂的觅食决策通常取决于它们的营养状态, 营养充足的寄生蜂更专注于寻找宿主, 当寄生蜂缺乏营养时, 对寄主的搜索就会减少[47] [48], 寄生蜂寻找宿主和寻找食物是存在紧密相关性的行为活动。此外, 多种蜜源植物组合种植可以丰富生态系统的生物多样性, 增强天敌的控害作用[43]。Albrecht 等[49]研究表明, 田边种植蜜源植物带的农田比未种植蜜源植物的农田增加了 16% 的害虫控制率。同时蜜源植物的存在能丰富生境的天敌种类[20]。Croijmans 等通过大田试验发现, 六种作物组成的条带间作小麦田块对菜粉蝶绒茧蜂(*Cotesia glomerata*)的寄生率远高于小麦单作田[50]。这证明了作物多样性通过增加结构复杂性可以提高寄生蜂的控害效率。

4.2. 蜜源植物对害虫的影响研究

蜜源植物在调查研究中, 除了作为天敌昆虫的营养来源, 也可能成为害虫和重寄生蜂的食物补充, 有加重虫害的风险[51]。余洋等的研究表明, 迁飞性害虫黏虫在蜜源植物上取食花粉、花蜜获得食物补充后, 可以为后续迁飞积蓄能量[52] [53]。郭培等调查发现, 黏虫成虫在迁飞过程中会取食香椿、女贞和丁香花粉等[54]-[56]。Sigsgaard 等人研究发现荞麦和玻璃苣(*Borago officinalis*)可以延长草莓长翅卷蛾(*Acleris comariana*)的寿命[37]。Winkler 等人发现莳萝子(*Anethum graveolens*)、峨参(*Anthriscus sylvestris*)、葛缕子(*Carum buriticum*)可以显著增加小菜蛾(*Plutella xylostella*)雌虫的寿命[57]。李卓等提到玉米-天人菊(*Gaillardia pulchella*)间作模式同样使害虫发生量也显著增加, 虽然其也具有一定的天敌促进作用[58]。Ruhanen 等人的研究发现蚕豆的花蜜不仅能使菜蛾盘绒茧蜂(*Cotesia vestalis*)的寿命和寄生力得到增益, 也使小菜蛾的寿命和繁殖力得到了促进[59]。这些证据都表明, 当天敌种群数量的增长速度低于其特定猎物种群的繁殖速度时, 蜜源植物就很难有效地控制害虫的发生[60] [61]。另外, 第四营养级的重寄生蜂是寄生蜂的特殊天敌, 其自上而下的效应会为保护性生物防治带来额外的复杂性[62]。由于第四营养级重寄生蜂与第三营养级寄生蜂有共同的进化起源和发育生活方式, 因此有利于寄生蜂的蜜源植物资源或许也能为重寄生蜂提供食物资源。如果保护性生物防治还能增强重寄生蜂的适应性, 则其潜在益处可能会被抵消[34]。故而在对蜜源植物进行评估时, 识别出能选择性吸引天敌的蜜源植物, 可能会进一步提高生物防治的效果。

4.3. 利用蜜源植物控制害虫的不足之处

蜜源植物并非对所有天敌都有利[63]。外界环境、花序类型、花型、颜色和泌蜜量等因素会影响不同天敌对蜜源植物的偏好, 使蜜源植物对天敌的调控效能呈现显著的类群特异性。特定的植物为天敌所利用时也会被害虫与重寄生蜂所取食, 所以非作物生境中蜜源植物的组成也是影响天敌控害效果的潜在因

素。

蜜源植物的控害距离和控害效果也是有限的。不同的天敌种类在田间的转移扩散能力也具有差异性,这就影响了它们对非作物生境空间分布上的响应[64]。迁移性蜘蛛能在数千米的扩散范围作出反应[65],寄生性天敌能够在 200 到 2000 m 的范围作出反应[66]。Schmidt-Entling 等的研究发现只有在作物周围半径 1.5 km 处种植蜜源植物才能够有效的增加天敌种群丰富度并提高生物的防治效果[67]。非作物生境离作物的距离过大,也可能会造成天敌昆虫的死亡率较高,从而失去维持天敌种群的作用[68]。非作物生境还有可能为害虫的转移扩散提供途径等。因此,在筛选蜜源植物、设计和布局非作物生境时,要考虑到功能植物的控害距离与密度,多种功能作物组合种植,力求达到 $1 + 1 > 2$ 的效果。

5. 蜜源植物在玉米害虫绿色防控方面的应用

蜜源植物在果园、菜园和水稻田埂发挥控害作用的成功案例已有许多,而专门应用在玉米农田生态系统中发挥控害作用的研究较少。研究人员在研究玉米间作模式的过程中发现,合理地间作搭配植物也会优化农田生态环境,提高天敌昆虫的数量和多样性,进而发挥控害作用。例如,玉米-花生间作可以提高花生田天敌异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)和龟纹瓢虫(*Propylea japonica*)瓢虫[69]的密度,减少花生蚜(*Aphis craccivora*)的种群数量。曲春娟等[70]研究发现花生-玉米间作种植模式能显著降低暗黑鳃金龟(*Holotrichia parallela*)幼虫的种群数量。这些研究结果都表明,植物间作模式能够促进天敌发挥控害作用,这可能是因为间作植物为天敌昆虫提供了更多样丰富的营养来源和更稳定的生境,从而直接或间接地影响了害虫和天敌昆虫的生存和繁殖,这其中间作植物可能发挥了类似功能植物的作用。总之,蜜源植物应用在玉米农田生态系统中的研究还较为欠缺,探究设计玉米农田生态系统中的蜜源植物布局具有重要的实践意义。

6. 总结

本文全面深入地综述了玉米害虫绿色防控技术,涵盖农业防控、理化诱控、生物防治及生态调控等手段,旨在推动玉米生产绿色安全。农业防控含选抗虫品种、土壤翻耕、秸秆还田、除杂草、调播期;理化诱控依害虫趋光趋化性,用杀虫灯、粘板、性信息素诱捕器诱杀;生物防治是用天敌昆虫、微生物制剂防控害虫;生态调控通过优化作物布局、强化栽培管理,提升害虫防控效率与生态友好性。同时,文章深入探讨蜜源植物对天敌昆虫的影响,其可为天敌提供营养,增强控害能力,但需注意其对害虫的潜在风险及控害距离效果的局限性。

本研究系统总结了玉米害虫绿色防控技术体系,为学术界提供了一些理论基础与实践参考,有助于推动相关研究的深入发展。在实践领域,这些技术为玉米生产者提供了多样化的害虫管理策略,有助于减少化学农药使用,保护生态环境,提升玉米产量和品质,保障粮食安全,促进农业可持续发展。未来研究应进一步优化绿色防控技术,加强各技术间的协同效应;深入探究蜜源植物的作用机制,筛选更有效的蜜源植物;拓展研究范围,关注不同生态区的玉米害虫防控;开发智能监测与精准防控技术,提升防控效率。

然而,本研究存在一定的局限性。首先,部分数据来源于已有文献,可能存在地区和时间差异,影响结果的普遍性。其次,蜜源植物的研究多基于理论和少量案例,缺乏大规模田间试验验证。未来研究应加强大规模田间试验,验证技术效果;开展长期监测,关注害虫抗药性和气候变化影响;结合智能技术,提升防控精准度。

基于研究结果,建议政策制定者出台激励措施,鼓励农户采用绿色防控技术,如提供补贴、技术支持等;同时,加强农业生态环境保护,制定蜜源植物种植规范,促进农业绿色发展。实践应用中,农户应

结合当地实际情况,选择合适的绿色防控技术,合理布局农田,科学管理,实现玉米害虫的有效防控与可持续生产。

参考文献

- [1] Hodgson, E.W., Dean, A.N. and Rice, M.E. (2024) Recognizing Feeding Injury to Corn Ears in the United States. *Journal of Integrated Pest Management*, **15**, Article No. 18. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmae009>
- [2] 向婷婷, 周忠林, 廖钢, 等. 重大入侵害虫番茄潜叶蛾绿色防控研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2025, 47(1): 1-11.
- [3] 萧玉涛, 吴超, 吴孔明. 中国农业害虫防治科技 70 年的成就与展望[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(6): 1115-1124.
- [4] 赵景, 蔡万伦, 沈栎阳, 等. 水稻害虫绿色防控技术研究的发展现状及展望[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 92-104.
- [5] 王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(3): 479-487.
- [6] 蒋攀. LED 单波杀虫灯诱杀效果及种衣剂对玉米地下害虫的防治效果研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建师范大学, 2017.
- [7] Moreau, T.L. and Isman, M.B. (2011) Trapping Whiteflies? A Comparison of Greenhouse Whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) Responses to Trap Crops and Yellow Sticky Traps. *Pest Management Science*, **67**, 408-413. <https://doi.org/10.1002/ps.2078>
- [8] 张智, 张云慧, 程登发, 等. 黄色粘板对小麦蚜虫及其天敌的诱集作用[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(1): 223-229.
- [9] 郭祖国, 王梦馨, 崔林, 等. 昆虫趋色性及诱虫色板的研究和应用进展[J]. 应用生态学报, 2019, 30(10): 3615-3626.
- [10] 韩海亮, 章金明, 包斐, 等. 不同性诱剂对亚洲玉米螟的诱捕效率及在种群监测中的应用[J]. 植物保护, 2021, 47(5): 310-313+319.
- [11] 周波. 生物防治技术在园林绿化中的应用[J]. 安徽农学通报, 2024, 30(1): 69-72.
- [12] Khan, I.A., Khan, M.N., Akbar, R., et al. (2015) Efficacy of Insecticides against Insect Pests of Maize Crop and Its Influence on Natural Enemy in Peshawar. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **3**, 323-326.
- [13] Wang, Z., He, K., Zhang, F., Lu, X. and Babendreier, D. (2014) Mass Rearing and Release of *Trichogramma* for Biological Control of Insect Pests of Corn in China. *Biological Control*, **68**, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.015>
- [14] 黄建华, 陈洪凡, 王丽思, 等. 应用捕食螨防治蓟马研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(1): 119-124.
- [15] Al-Far, I.M. (2020) *Bacillus thuringiensis* and Its Pesticidal Crystal Proteins. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, **7**, 157-162.
- [16] 隋丽, 徐文静, 朱慧, 等. 球孢白僵菌-玉米共生体对亚洲玉米螟取食行为的影响[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(1): 46-51.
- [17] Huss, C.P., Holmes, K.D. and Blubaugh, C.K. (2022) Benefits and Risks of Intercropping for Crop Resilience and Pest Management. *Journal of Economic Entomology*, **115**, 1350-1362. <https://doi.org/10.1093/jee/toac045>
- [18] 江婷, 付道猛, 张万娜, 等. 农田景观格局对害虫天敌生态控害功能的调控作用[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2511-2520.
- [19] 张曼, 刘全俊, 汤永玉, 等. 玉米大豆间作对玉米产量及节肢动物群落的影响[J]. 应用昆虫学报, 2024, 61(2): 429-441.
- [20] 张莉丽, 程静雯, 李阿根, 等. 田埂种植蜜源植物对稻田天敌昆虫多样性的影响[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(6): 1360-1367.
- [21] Gong, B., Wang, J., Hatt, S., Desneux, N., Wang, S. and Jin, L. (2024) Intercropping with Aromatic Plants Enhances Natural Enemy Communities Facilitating Pest Suppression in Tea Plantations. *Arthropod-Plant Interactions*, **18**, 753-761. <https://doi.org/10.1007/s11829-024-10074-5>
- [22] Akter, S., Rizvi, S.Z.M., Haque, A., Reynolds, O.L., Furlong, M.J., Melo, M.C., et al. (2023) Continent-Wide Evidence That Landscape Context Can Mediate the Effects of Local Habitats on In-Field Abundance of Pests and Natural Enemies. *Ecology and Evolution*, **13**, e9737. <https://doi.org/10.1002/ece3.9737>
- [23] 徐富强, 谢炜峰, 冯从经, 等. 4 种种衣剂对玉米安全性及对草地贪夜蛾控制效果的评价[J]. 植物保护, 2024, 50(5): 322-327.

- [24] 王富鑫. 种衣剂防治玉米全生育期害虫的可行性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [25] Shields, M.W., Johnson, A.C., Pandey, S., Cullen, R., González- Chang, M., Wratten, S.D., *et al.* (2019) History, Current Situation and Challenges for Conservation Biological Control. *Biological Control*, **131**, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.12.010>
- [26] 赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 等. 生境管理——保护性生物防治的发展方向[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(4): 879-889.
- [27] Crowder, D.W., Northfield, T.D., Strand, M.R. and Snyder, W.E. (2010) Organic Agriculture Promotes Evenness and Natural Pest Control. *Nature*, **466**, 109-112. <https://doi.org/10.1038/nature09183>
- [28] 陈学新, 刘银泉, 任顺祥, 等. 害虫天敌的植物支持系统[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(1): 12.
- [29] He, X., Kiær, L.P., Jensen, P.M. and Sigsgaard, L. (2021) The Effect of Floral Resources on Predator Longevity and Fecundity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biological Control*, **153**, Article ID: 104476. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104476>
- [30] Shackelford, G., Steward, P.R., Benton, T.G., Kunin, W.E., Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., *et al.* (2013) Comparison of Pollinators and Natural Enemies: A Meta-Analysis of Landscape and Local Effects on Abundance and Richness in Crops. *Biological Reviews*, **88**, 1002-1021. <https://doi.org/10.1111/brv.12040>
- [31] Huang, N., Enkegaard, A., Osborne, L.S., Ramakers, P.M.J., Messelink, G.J., Pijnakker, J., *et al.* (2011) The Banker Plant Method in Biological Control. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **30**, 259-278. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.572055>
- [32] Griffiths, G.J.K., Holland, J.M., Bailey, A. and Thomas, M.B. (2008) Efficacy and Economics of Shelter Habitats for Conservation Biological Control. *Biological Control*, **45**, 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.09.002>
- [33] Pimentel, D. (1961) Species Diversity and Insect Population Outbreaks. *Annals of the Entomological Society of America*, **54**, 76-86. <https://doi.org/10.1093/aesa/54.1.76>
- [34] Colazza, S., Peri, E. and Cusumano, A. (2023) Chemical Ecology of Floral Resources in Conservation Biological Control. *Annual Review of Entomology*, **68**, 13-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120220-124357>
- [35] Bianchi, F.J.J.A., Booij, C.J.H. and Tscharntke, T. (2006) Sustainable Pest Regulation in Agricultural Landscapes: A Review on Landscape Composition, Biodiversity and Natural Pest Control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **273**, 1715-1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- [36] Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun, R., Bout, A., Boll, R., *et al.* (2012) Secondary Plants Used in Biological Control: A Review. *International Journal of Pest Management*, **58**, 91-100. <https://doi.org/10.1080/09670874.2012.659229>
- [37] Sigsgaard, L., Betzer, C., Naulin, C., Eilenberg, J., Enkegaard, A. and Kristensen, K. (2013) The Effect of Floral Resources on Parasitoid and Host Longevity: Prospects for Conservation Biological Control in Strawberries. *Journal of Insect Science*, **13**, Article No. 104. <https://doi.org/10.1673/031.013.10401>
- [38] Heimpel, G.E. (2019) Linking Parasitoid Nectar Feeding and Dispersal in Conservation Biological Control. *Biological Control*, **132**, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.01.012>
- [39] Zemenick, A.T., Kula, R.R., Russo, L. and Tooker, J. (2018) A Network Approach Reveals Parasitoid Wasps to Be Generalized Nectar Foragers. *Arthropod-Plant Interactions*, **13**, 239-251. <https://doi.org/10.1007/s11829-018-9642-9>
- [40] Cai, Z., Ouyang, F., Chen, J., Yang, Q., Desneux, N., Xiao, Y., *et al.* (2021) Biological Control of *Aphis spiraecola* in Apples Using an Insectary Plant That Attracts and Sustains Predators. *Biological Control*, **155**, Article ID: 104532. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104532>
- [41] 赵燕燕, 田俊策, 郑许松, 等. 酢浆草和车轴草作为蚜黄赤眼蜂田间蜜源植物的可行性分析[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(1): 106-112.
- [42] Araj, S., Wratten, S., Lister, A., Buckley, H. and Ghabeish, I. (2011) Searching Behavior of an Aphid Parasitoid and Its Hyperparasitoid with and without Floral Nectar. *Biological Control*, **57**, 79-84. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.11.015>
- [43] Gurr, G.M., Lu, Z., Zheng, X., Xu, H., Zhu, P., Chen, G., *et al.* (2016) Multi-Country Evidence That Crop Diversification Promotes Ecological Intensification of Agriculture. *Nature Plants*, **2**, Article No. 16014. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.14>
- [44] Zhu, P., Gurr, G.M., Lu, Z., Heong, K., Chen, G., Zheng, X., *et al.* (2013) Laboratory Screening Supports the Selection of Sesame (*Sesamum indicum*) to Enhance *Anagrus* Spp. Parasitoids (Hymenoptera: Mymaridae) of Rice Planthoppers. *Biological Control*, **64**, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.09.014>
- [45] Zhu, P., Lu, Z., Heong, K., Chen, G., Zheng, X., Xu, H., *et al.* (2014) Selection of Nectar Plants for Use in Ecological Engineering to Promote Biological Control of Rice Pests by the Predatory Bug, *Cyrtorhinus lividipennis*, (Heteroptera: Miridae). *PLOS ONE*, **9**, e108669. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108669>

- [46] Zhu, P., Wang, G., Zheng, X., Tian, J., Lu, Z., Heong, K.L., *et al.* (2014) Selective Enhancement of Parasitoids of Rice Lepidoptera Pests by Sesame (*Sesamum indicum*) Flowers. *BioControl*, **60**, 157-167. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9628-1>
- [47] Kugimiya, S., Uefune, M., Shimoda, T. and Takabayashi, J. (2010) Orientation of the Parasitic Wasp, *Cotesia vestalis* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae), to Visual and Olfactory Cues of Field Mustard Flowers, *Brassica rapa* L. (Brassicaceae), to Exploit Food Sources. *Applied Entomology and Zoology*, **45**, 369-375. <https://doi.org/10.1303/aez.2010.369>
- [48] Takasu, K. and Lewis, W.J. (1995) Importance of Adult Food Sources to Host Searching of the Larval Parasitoid *Microplitis croceipes*. *Biological Control*, **5**, 25-30. <https://doi.org/10.1006/bcon.1995.1003>
- [49] Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N.M., Tschumi, M., Blaauw, B.R., Bommarco, R., *et al.* (2020) The Effectiveness of Flower Strips and Hedgerows on Pest Control, Pollination Services and Crop Yield: A Quantitative Synthesis. *Ecology Letters*, **23**, 1488-1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- [50] Croijmans, L., van Apeldoorn, D.F., Sanfilippo, F., Zangpo, T. and Poelman, E.H. (2024) Crop Species Diversity Levels with Attract and Reward Strategies to Enhance *Pieris brassicae* Parasitism Rate by *Cotesia glomerata* in Strip Intercropping. *Functional Ecology*, **38**, 654-667. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14502>
- [51] Wäckers, F.L., Romeis, J. and van Rijn, P. (2007) Nectar and Pollen Feeding by Insect Herbivores and Implications for Multitrophic Interactions. *Annual Review of Entomology*, **52**, 301-323. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091352>
- [52] 余洋. 蜜源植物气味与花蜜粘度对黏虫蛾影响的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [53] 赵丹. 春季蜜源植物对粘虫蛾吸引及营养效应的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- [54] Kevan, P.G. and Baker, H.G. (1983) Insects as Flower Visitors and Pollinators. *Annual Review of Entomology*, **28**, 407-453. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.28.010183.002203>
- [55] Géneau, C.E., Wäckers, F.L., Luka, H., Daniel, C. and Balmer, O. (2012) Selective Flowers to Enhance Biological Control of Cabbage Pests by Parasitoids. *Basic and Applied Ecology*, **13**, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.10.005>
- [56] Guo, P., Wang, G., Jin, L., Fan, X., He, H., Zhou, P., *et al.* (2018) Identification of Summer Nectar Plants Contributing to Outbreaks of *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in North China. *Journal of Integrative Agriculture*, **17**, 1516-1526. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(17\)61840-9](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(17)61840-9)
- [57] Winkler, K., Wäckers, F.L., Kaufman, L.V., Larraz, V. and van Lenteren, J.C. (2009) Nectar Exploitation by Herbivores and Their Parasitoids Is a Function of Flower Species and Relative Humidity. *Biological Control*, **50**, 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.04.009>
- [58] 李卓, 刘茹捷, 李新华, 等. 玉米与不同植物间作模式的生态服务价值评估[J]. 植物保护学报, 2023, 50(4): 1062-1071.
- [59] Ruhanen, H.M., Rätty, E., Mäkinen, J., Kasurinen, A. and Blande, J.D. (2024) Effect of Faba Bean Nectar on Longevity and Fecundity of *Plutella xylostella* and Its Parasitoid *Cotesia vestalis*. *Arthropod-Plant Interactions*, **18**, 455-468. <https://doi.org/10.1007/s11829-024-10066-5>
- [60] Raymond, L., Ortiz-Martínez, S.A. and Lavandero, B. (2015) Temporal Variability of Aphid Biological Control in Contrasting Landscape Contexts. *Biological Control*, **90**, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.011>
- [61] 刘冰, 陆宴辉. 农田节肢动物食物网结构与天敌控害功能[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 97-109.
- [62] Poelman, E.H., Cusumano, A. and de Boer, J.G. (2022) The Ecology of Hyperparasitoids. *Annual Review of Entomology*, **67**, 143-161. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-060921-072718>
- [63] Pfiffner, L., Luka, H., Schlatter, C., Juen, A. and Traugott, M. (2009) Impact of Wildflower Strips on Biological Control of Cabbage Lepidopterans. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **129**, 310-314. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.003>
- [64] Tschamtké, T., Rand, T.A. and Bianchi, F. (2005) The Landscape Context of Trophic Interactions: Insect Spillover across the Crop-Noncrop Interface. *Annales Zoologici Fennici*, **42**, 421-432.
- [65] Schmidt, M.H. and Tschamtké, T. (2005) Landscape Context of Sheetweb Spider (Araneae: Linyphiidae) Abundance in Cereal Fields. *Journal of Biogeography*, **32**, 467-473. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01244.x>
- [66] Thies, C., Roschewitz, I. and Tschamtké, T. (2005) The Landscape Context of Cereal Aphid-Parasitoid Interactions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **272**, 203-210. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2902>
- [67] Schmidt-Entling, M.H. and Döbeli, J. (2009) Sown Wildflower Areas to Enhance Spiders in Arable Fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **133**, 19-22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.015>
- [68] Bianchi, F.J.J.A., Schellhorn, N.A., Buckley, Y.M. and Possingham, H.P. (2010) Spatial Variability in Ecosystem

Services: Simple Rules for Predator-Mediated Pest Suppression. *Ecological Applications*, **20**, 2322-2333.
<https://doi.org/10.1890/09-1278.1>

- [69] Ju, Q., Ouyang, F., Gu, S., Qiao, F., Yang, Q., Qu, M., *et al.* (2019) Strip Intercropping Peanut with Maize for Peanut Aphid Biological Control and Yield Enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **286**, Article ID: 106682.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106682>
- [70] 曲春娟, 姜晓静, 万书波, 等. 花生/玉米间作对暗黑鳃金龟和铜绿丽金龟发生的影响[J]. 中国油料作物学报, 2025, 47(1): 167-175.