



王嘉乐, 朱佳晨, 江薰垣, 徐汉虹, 唐雪妹. 豆野螟的生物防治研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (2): 395–407.

豆野螟的生物防治研究进展与展望

王嘉乐¹, 朱佳晨², 江薰垣¹, 徐汉虹³, 唐雪妹^{1*}

(1. 广东省农业科学院农业质量标准与监测技术研究所/广东省农产品质量安全风险评估重点实验室/
农业农村部农产品质量安全检测与评价重点实验室, 广州 510640; 2. 浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310058;
3. 华南农业大学植物保护学院/天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广州 510642)

摘要: 豆野螟 *Maruca vitrata* 是豇豆等豆类作物的世界性重要害虫, 常年在亚热带地区严重发生, 防控难度很大。传统的化学防治方法难以对其进行长久且有效的控制, 因而造成害虫抗药性增强、超范围使用化学农药等诸多不良现象, 严重威胁人民群众身体健康与生态安全。而生物防治作为减少化学农药用量与残留的关键技术之一, 在当前我国绿色农业高速发展期更应引起研究人员的高度重视。因此, 本文围绕豆野螟生物防治的研究现状与进展, 分别从昆虫性信息素、天敌昆虫资源、昆虫病原物、植物源农药等 4 个方面进行了概述, 并深入探讨了我国豆野螟生物防治领域的研究前景与方向, 为豆野螟绿色防控体系的全方位建设提供参考, 助力我国绿色农业高质量发展。

关键词: 豇豆荚螟; 害虫绿色防控; 豇豆; 农药残留治理; 综述

中图分类号: Q968.1; S433; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 02-0395-13

Advances and prospects of biological control research of legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae)

WANG Jia-Le¹, ZHU Jia-Chen², JIANG Xun-Yuan¹, XU Han-Hong³, TANG Xue-Mei^{1*} (1. Key Laboratory of Testing and Evaluation for Agro-product Safety and Quality, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products/Institute of Quality Standard and Monitoring Technology for Agro-products of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640; 2. Institute of Insect Science of Zhejiang University, Hangzhou 310058; 3. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642)

Abstract: *Maruca vitrata*, an important pest of legumes such as cowpea worldwide, seriously occurs in subtropical regions all year around and is difficult to control. Traditional chemical control methods can hardly achieve long-term and effective control of *M. vitrata*, resulting in increased pest resistance, excessive use of chemical pesticides, and many other adverse phenomena, which seriously threaten people's health and ecological security. As one of the key technologies to reduce the dosage and residue of chemical pesticides, biological control should be paid more attention to in the rapid development period of

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (2022A1515010362, 2023A1515012720); 广州市基础与应用基础研究项目 (2023A04J0783); 广东省农业科学院人才引进专项基金项目 (R2021YJ-YB3023); 广东省农业科学院协同创新中心项目 [XTXM202202 (XT20211)]; 广东省农业科学院青年科技人员指导项目 (R2021QD-018)

作者简介: 王嘉乐, 女, 1992 年生, 广东广州人, 博士, 助理研究员, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: jialewang@zju.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence: 唐雪妹, 女, 博士, 青年副研究员, 研究方向为农产品质量安全, E-mail: tangxuemei@gdaas.cn

收稿日期 Received: 2022-12-01; 接受日期 Accepted: 2023-03-27

green agriculture. Therefore, we summarized the current status and progress of biological control of *M. vitrata* from four aspects, including its sex pheromones, natural enemy resources, entomopathogens, and botanical pesticides in this paper, and discussed the future research directions of biological control of *M. vitrata*. It contributes to the full-scale construction of the environmentally friendly control system of *M. vitrata*, as well as the high-quality development of green agriculture in China.

Key words: Legume pod borer; eco-friendly pest control; cowpea; pesticide residue control; review

豆野螟 *Maruca vitrata* Fabricius, 又名豇豆荚螟、豆蛀螟、大豆卷叶螟、豆叶螟, 属鳞翅目 Lepidoptera 草螟科 Crambidae, 是豇豆等豆类蔬菜的重要害虫。1995 年以前, 豆野螟曾用学名 *Maruca aquatilis* Doisduval (林荣华等, 2000) 和 *Maruca testulalis* Gryer。国外众多的翻译资料将 *Maruca testulalis* Gryer (豆荚野螟) 译作豆荚螟, 因而常与 *Etiella zinckenella* Treitschke (豆荚螟) 混淆。林荣华等 (2000) 曾就该问题提请研究学者们注意, 但在此后的相关研究报道中, 仍然常见此类误用。

豆野螟喜产卵于寄主花(蕾)(田忠等, 2017), 卵期 3~5 d 后, 初孵幼虫在寄主花器内取食, 2~3 龄幼虫通过吐丝将受害花器与近花端的果枝相连, 转移至豆荚内为害(柯礼道等, 1985)。老熟幼虫多钻入土缝内做土室结荚化蛹, 少数在植株上或豆架杆内化蛹(王琳等, 2003)。目前已知豆野螟为害的寄主超过 73 种, 主要包括豇豆 *Vigna unguiculata*、绿豆 *V. radiata*、四季豆 *Phaseolus vulgaris*、豌豆 *Pisum sativum*、木豆 *Cajanus cajan*、大豆 *Glycine max* 等荚面少毛的豆类作物。其中以豇豆受害最为严重, 可致产量损失高达 72% (Sharma, 1998)。近年来, 随着高产优质品种的推广, 豇豆栽培面积不断扩大, 且全球气候变暖, 国际贸易交流日益频繁, 豆野螟在亚洲与非洲的发生日趋猖獗 (Srinivasan *et al.*, 2021)。对我国南方地区尤其是海南、广东、广西等(亚)热带气候地区的豆类蔬菜生产构成严重威胁, 田间常见“十荚九蛀”的情形。

目前, 化学农药仍是国内外防治豆野螟的主要方式, 引发了豇豆等豆类蔬菜中尤为突出的质量问题。豆野螟幼虫具有钻蛀取食的习性, 能有效躲避多种杀虫剂的喷施, 导致施药效果不佳, 国内外超范围使用农药的报道屡见不鲜 (Schreinemachers *et al.*, 2017)。且豇豆花果同期、采摘间隔短, 成为了我国乃至全球农药残留超标问题最严重的食用农产品之一。自 2010 年海南

“毒豇豆”事件以来, 国家高度重视豇豆等蔬菜农药残留治理问题。2021 年 5 月, 农业农村部联合六部委印发了《食用农产品“治违禁 控药残 促提升”三年行动方案》, 将“豇豆”列作农药残留突出问题重点治理蔬菜之首; 2022 年 11 月农业农村部办公室印发《豇豆农药残留突出问题攻坚治理方案》, 大力推进豇豆病虫害绿色防控技术的应用与普及。

生物防治是豆野螟绿色防控体系的重要组成部分, 通过利用害虫天敌(寄生性与捕食性昆虫)、病原微生物、植物等生物及其产物, 能有效抑制豆野螟的种群数量和抗药性的产生 (Sreelakshmi *et al.*, 2015)。其安全、绿色、可持续发展的优点突出, 高度符合新时代下人民对农产品质量安全的新需求和新期待, 因此近年来备受广大研究学者的重视。然而, 豆野螟不属于我国重大农业害虫或主要粮食作物害虫, 在国内害虫生物防治研究领域关注度较低。迄今, 国内鲜有关于豇豆重要害虫豆野螟生物防治技术的系统综述, 在指导田间绿色防控时缺乏重要参考。因此, 本文将对国内外生物防治豆野螟的前沿技术与研究成果进行简要论述, 主要围绕昆虫性信息素、天敌昆虫资源、昆虫病原微生物与植物源农药 4 个方面展开, 以期对豆野螟生物防治技术的推广应用和基础性研究提供参考。

1 昆虫性信息素

性信息素是昆虫两性交流的重要信号分子, 由性信息素腺分泌, 可引起同种昆虫的异性群体产生生殖反应。因其具有物种特异、微量高效、无毒无害的特点, 近三十年在欧洲地区被广泛应用于昆虫种群监测、害虫大规模诱捕、害虫交配干扰等方面, 成效显著 (Witzgall *et al.*, 2010)。

目前已鉴定的豆野螟雌性性信息素共有 3 种组分, 分别是 (反, 反)-10, 12-十六碳二烯醛 (EE10, 12-16: Ald)、(反, 反)-10, 12-十六碳二烯醇

(*EE10, 12-16: OH*) 和反-10-十六碳单烯醛 (*E10-16: Ald*) (Lu *et al.*, 2013; Schläger *et al.*, 2015)。总体而言, *EE10, 12-16: Ald* 为豆野螟性信息素的主要组分, *EE10, 12-16: OH* 和 *E10-16: Ald* 的含量普遍较低。不同地理种群雌蛾释放的性信息素中, 各组分比例不尽相同(图1)。例如, 在加纳、泰国、越南、我国台湾的豆野螟种群的性信息素中未

鉴定到 *E10-16: Ald* (Schläger *et al.*, 2015), 但该组分在我国武汉种群中大量存在, 在我国化州种群中的含量也显著高于 *EE10, 12-16: OH* (Lu *et al.*, 2013)。由此推测, 不同地理种群的遗传差异可能导致了豆野螟性信息素组成的分化, 促进了地理隔离的形成。

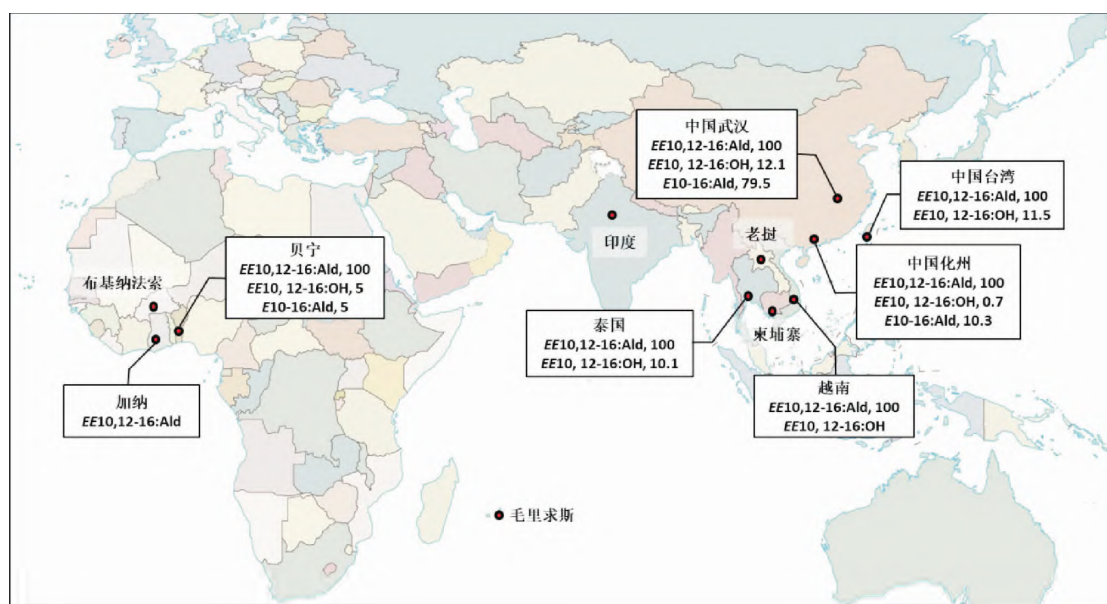


图1 不同地理种群豆野螟性信息素组成的差异

Fig. 1 Differences of sex pheromone components in different geographic populations of *Maruca vitrata*

注: 该图基于国家自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS (2016) 1663 号的标准地图制作, 且未对国家、行政区域界线或者范围、重要地理信息数据进行修改。Note: This figure was drawn based on the standard map No. GS (2016) 1663 downloaded from the standard map service website of the Ministry of Natural Resources, without modification of national and administrative boundaries or scope, as well as important geographical information data.

不同地理种群的豆野螟雄蛾对不同雌性性信息素的趋性也有所差异。在西非国家贝宁和加纳, 以 100:5:5 的比例混合 *EE10, 12-16: Ald*、*EE10, 12-16: OH* 和 *E10-16: Ald*, 能有效诱集豆野螟雄蛾; 而在布基纳法索, 单独使用 *EE10, 12-16: Ald* 才是诱集雄蛾最有效的方式 (Downham *et al.*, 2003; Downham *et al.*, 2004)。有趣的是, 这两种使用性信息素的方法在毛里求斯 (Unmole, 2009) 及多个东南亚国家或地区, 如泰国、越南、我国台湾等均无法吸引豆野螟雄蛾 (Schläger *et al.*, 2012; Srinivasan *et al.*, 2015)。使用 3 种人工合成性信息素 *ZE-10, 12: Ald* (*EE-10, 12: Ald* 的同分异构体)、*EE10, 12-16: OH* 与 *E10-16: Ald*, 以 100:10:5 的比例混合制作诱芯, 在印度和柬埔寨

能显著提升豆野螟雄蛾的诱集数量 (Bhanu *et al.*, 2018; Kapoor and Shankar, 2019); 但该方法在老挝、泰国、越南、我国台湾仍不适用 (Srinivasan *et al.*, 2019a)。在我国武汉和广州, 分别以 5:0.3:5 和 5:5:0.7 的比例配制 *EE10, 12-16: Ald*、*EE10, 12-16: OH* 和 *E10-16: Ald* 三元组分诱芯时, 田间诱捕豆野螟雄蛾的活性最高 (陆鹏飞, 2007)。从分子水平上看, 豆野螟雄蛾对不同性信息素组合的差异反应可能与性信息素结合蛋白 (Pheromone binding protein, PBPs) 关键位点的氨基酸突变有关 (Malini *et al.*, 2019)。

性信息素结合蛋白 (PBPs) 和普通气味结合蛋白 (general odorant-binding protein, GOBPs) 是昆虫气味结合蛋白 (odorant binding protein, OBPs)

家族的两个重要亚族,分别参与性信息素分子和寄主植物挥发物(信息素)的识别与结合。目前已知的豆野螟 PBP 共 3 种,分别是在雄蛾中鉴定到的 *MvitPBP1*、*MvitPBP2* 和雌蛾中的 *MvitPBP3* (Malini *et al.*, 2013)。荧光竞争结合实验结果显示, *MvitPBP1*、*MvitPBP3* 与性信息素 *EE10*, 12-16: Ald 的结合力最强, *MvitPBP2* 则偏好 *E10-16: Ald* (Mao *et al.*, 2016)。Wang 等 (2014) 从豇豆花中鉴定出 17 种能够引起豆野螟雌虫触角强烈的 EAG 反应的挥发性化合物,解释了豆野螟对寄主植物花(蕾)的产卵偏好性。Zhou 等 (2015) 从分子生物学水平验证了 *MvitGOBP1* 和 *MvitGOBP2* 能与 17 种豇豆花挥发物发生不同程度的结合。Ai 等 (2021) 鉴定的 *MvitOBP3* 则与 4 种豇豆花挥发物具有较强的结合亲和力。此外, *MvitPBP3* 被检测出与 *MvitGOBP2* 相似的功能,能与豇豆花挥发物丁酸辛酯显著结合(毛阿萍, 2015)。因此,豆野螟性信息素和寄主植物的挥发性化合物均可作为引诱剂(或增效剂),用以调节豆野螟在寻找寄主植物或产卵时的选择行为,为生物防治提供新的思路。

现阶段,我国对昆虫性信息素等引诱剂的应用总体仍处于起步阶段。有鉴于不同地理种群(或亚种)的豆野螟性信息素通讯系统存在差异,全国各地在考虑利用性信息素防治豆野螟时,有必要对当地种群的性信息素组分进行再鉴定,进而推广因地制宜的豆野螟性信息素应用技术规程。

2 天敌昆虫资源

天敌昆虫在作物害虫生物防治中扮演着重要的角色。根据取食特点的不同,常见的天敌昆虫主要分为寄生性与捕食性两大类群。

2.1 寄生性天敌

寄生性天敌昆虫通常将卵产在寄主害虫的体内(或体外),其后代通过持续消耗寄主以满足自身生长和发育所需,从而有效控制田间害虫基数,是害虫生物防治的重要手段之一。据统计,自然界中已知的豆野螟寄生性天敌昆虫超过 98 种 (Srinivasan *et al.*, 2021)。其中,膜翅目寄生蜂是重要的天敌昆虫资源。豆野螟寄生蜂物种以茧蜂科数量最多,姬蜂科次之(表 1)。

表 1 国内外已报道的豆野螟寄生蜂物种

Table 1 Reported parasitoid wasps of *Maruca vitrata* domestic and overseas

科 Family	种 Species	寄生虫态 Host stage	参考文献 References
茧蜂科 Braconidae	瓜螟绒茧蜂 <i>Apanteles taragamae</i>	幼虫 Larva	Huang <i>et al.</i> , 2003; Sahoo and Senapati, 2000
	<i>Bassus bruesi</i>	幼虫 Larva	Arodokoun <i>et al.</i> , 2006
	紫胶白虫大眼茧蜂 <i>Bracon greeni</i>	幼虫 Larva	Okeyo-Owuor <i>et al.</i> , 1991
	茧蜂 <i>Bracon</i> sp.	幼虫 Larva	Arodokoun <i>et al.</i> , 2006
	<i>Bracon thurberiphagae</i> (原名: <i>Microbracon thurberiphagae</i>)	—	King and Saunders, 1984
	<i>Braunsia kriegeri</i>	幼虫-蛹 Larva-pupa	Arodokoun <i>et al.</i> , 2006
	横带折脉茧蜂 <i>Cardiochiles philippinensis</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> , 1987
	甲腹茧蜂 <i>Chelonus</i> sp.	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> , 1987
	长喙茧蜂 <i>Cremnops</i> sp.	幼虫-蛹 Larva-pupa	Barrion <i>et al.</i> , 1987
	长颊茧蜂 <i>Dolichogenidea</i> sp.	幼虫 Larva	Arodokoun <i>et al.</i> , 2006
	马尼拉侧沟茧蜂 <i>Microplitis manila</i> (原名: <i>Snellenius manilar</i>)	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> , 1987

续表 2 Continued table 2

科 Family	种 Species	寄生虫态 Host stage	参考文献 References
小蜂科 Chalcididae	<i>Phanerotoma leucobasis</i>	卵-幼虫 Egg-larva	Arodokoun <i>et al.</i> ,2006
	卷叶螟愈腹茧蜂 <i>Phanerotoma syleptae</i>	卵-幼虫 Egg-larva	Arodokoun <i>et al.</i> ,2006
	齿腿姬蜂 <i>Pristomerus</i> sp.	幼虫 Larva	Arodokoun <i>et al.</i> ,2006
	皱盾下腔茧蜂 <i>Therophilus asper</i> (原名: <i>Bassus asper</i>)	幼虫 Larva	Huang <i>et al.</i> ,2003; Brier <i>et al.</i> ,2008
	下腔茧蜂 <i>Therophilus javanus</i> (原名: <i>Bassus javanicus</i>)	幼虫 Larva	Tamò <i>et al.</i> ,2003
	豆野螟下腔茧蜂 <i>Therophilus marucae</i>	幼虫 Larva	Srinivasan <i>et al.</i> ,2012
	拱腹茧蜂 <i>Testudobracon</i> sp.	幼虫 Larva	Arodokoun <i>et al.</i> ,2006
姬小蜂科 Eulophidae	凹头小蜂 <i>Antrocephalus</i> sp.	蛹 Pupa	Subasinghe and Fellowes ,1978
	大腿小蜂 <i>Brachymeria ovata</i>	—	King and Saunders ,1984
	大腿小蜂 <i>Brachymeria</i> sp.	幼虫-蛹 Larva-pupa	Barrion <i>et al.</i> ,1987
姬蜂科 Ichneumonidae	<i>Nesolynx thymus</i>	—	Subasinghe and Fellowes ,1978
	<i>Tetrastichus sesamiae</i>	蛹 Pupa	Okeyo-Owuor <i>et al.</i> ,1991
	啮小蜂 <i>Tetrastichus</i> sp.	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
	棘腹姬蜂 <i>Astomaspis</i> sp. (原名: <i>Caenopimpla</i> sp.)	—	Borah and Sarma ,2004
	悬茧姬蜂 <i>Charops nigritus</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
	中华钝唇姬蜂 <i>Eriborus sinicus</i> (原名: <i>Meloboris sinicus</i>)	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
	斜纹夜蛾盾脸姬蜂 <i>Metopius rufus</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
	<i>Plectochorus</i> sp.	幼虫-蛹 Larva-pupa	Huang <i>et al.</i> ,2003
	抱缘姬蜂 <i>Temelucha</i> sp.	—	Borah and Sarma ,2004
	黄眶离缘姬蜂 <i>Trathala flavaorbitalis</i>	幼虫 Larva	肖芬等 ,2009
	毛眼姬蜂 <i>Trichomma</i> sp.	幼虫-蛹 Larva-pupa	Huang <i>et al.</i> ,2003
	弓脊姬蜂 <i>Triclistus</i> sp.	幼虫-蛹 Larva-pupa	Huang <i>et al.</i> ,2003
	金小蜂科 Pteromalidae	<i>Astomaspis arealis</i> (原名: <i>Caenopimpla arealis</i>)	幼虫 Larva
灿金小蜂 <i>Trichomalopsis</i> sp.		幼虫-蛹 Larva-pupa	Barrion <i>et al.</i> ,1987
缘腹细蜂科 Scelionidae	黑卵蜂 <i>Telenomus</i> sp.	幼虫-蛹 Larva-pupa	Subasinghe and Fellowes ,1978
赤眼蜂科 Trichogrammatidae	<i>Trichogrammatoidea eldanae</i>	卵 Egg	Arodokoun <i>et al.</i> ,2006

此外,双翅目寄生蝇也是基于天敌昆虫生物防治豆野螟的有效途径,国内外研究报道中常见的豆野螟寄生蝇共 13 种(表 2)。

表 2 国内外报道的豆野螟寄生蝇种类
Table 2 Reported parasitoid flies of *Maruca vitrata* domestic and overseas

种 Species	寄生虫态 Host stage	参考文献 References
裸短尾寄蝇 <i>Aplomya metallica</i>	幼虫 Larva	Agyen-Sampong, 1978
<i>Argyrophylax albincisa</i>	—	King and Saunders, 1984
<i>Cadurcia</i> sp.	幼虫 Larva	Arodokoun <i>et al.</i> , 2006
红尾追寄蝇 <i>Exorista xanthaspis</i>	幼虫 Larva	Huang <i>et al.</i> , 2003; Brier <i>et al.</i> , 2008
花截尾寄蝇 <i>Nemorilla floralis</i>	幼虫 Larva	King and Saunders, 1984
双斑截尾寄蝇 <i>Nemorilla maculosa</i>	幼虫 Larva	Ndakidemi <i>et al.</i> , 2021
<i>Palexorista solemnns</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> , 1987
埃及等鬃寄蝇 <i>Peribaea orbata</i>	幼虫 Larva	Huang <i>et al.</i> , 2003; Brier <i>et al.</i> , 2008
<i>Pseudopetichaeta laevis</i>	幼虫 Larva	Agyen-Sampong, 1978
<i>Thecocarcelia incedens</i>	幼虫 Larva	Agyen-Sampong, 1978
<i>Thelairosoma palposum</i>	幼虫 Larva	Usua and Singh, 1978
<i>Zygobothria atropivora</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> , 1987
<i>Zygobothria ciliata</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> , 1987

豆野螟的寄生性天敌昆虫资源虽然丰富,但至今未发现其专性寄生的天敌。瓜螟绒茧蜂 *Apanteles taragamae* 是豆野螟的优势寄生蜂,起源于印度-马来西亚地区,在我国海南、浙江等地均有分布(刘树生等,1989;刘奎等,2007)。寄生时,雌蜂产卵在豆野螟 1~2 龄幼虫(2~3 日龄)体内,老熟幼虫自 3 龄豆野螟幼虫体内钻出并吐丝结成白茧,约 3~4 d 后羽化成蜂(Dannon *et al.*, 2010)。瓜螟绒茧蜂在我国台湾地区田菁上的自然寄生率可高达 63%(Huang *et al.*, 2003),在豆野螟生物防治领域具有广阔的应用前景。然而,目前国内外对瓜螟绒茧蜂的认识仍然十分有

限。我国大陆仅在调查瓜螟天敌时,对其发生动态进行了简要报道(刘奎等,2007);国际上围绕瓜螟绒茧蜂的生物学特性开展了一些研究,揭示了印度种群与台湾种群在寄主范围与寄生习性上的差异(Mohan and Sathiamma, 2007),但对其寄生机制(包括寄生因子等)仍缺乏深入了解。

为充分发挥寄生蜂天敌资源的应用价值,贝宁曾从我国台湾引进瓜螟绒茧蜂用于豆野螟的生物防治,但一直未能成功建立起本地的优势种群(Srinivasan *et al.*, 2021)。直至 2016 年,贝宁再次引进了豆野螟的两种茧蜂 *Phanerotoma syleptae* 和 *Therophilus javanus*,并成功克服了环境等制约因素,建立了本地种群并将其应用推广至邻国布基纳法索(Ba *et al.*, 2019; Srinivasan *et al.*, 2021)。其中, *P. syleptae* 是目前已知为数不多的豆野螟卵-幼虫期寄生蜂,可在豆野螟幼虫钻蛀为害前完成寄生,而 *T. javanus* 是幼虫期寄生蜂,两者相辅相成,是豆野螟绿色防控体系建设的重要组成部分。但截至目前, *P. syleptae* 和 *T. javanus* 在我国未见纪录。我国科研人员报道了黄眶缘绿姬蜂 *Trathala flavoorbitalis* 是豆野螟的重要寄生蜂,7~11 月在长沙的自然寄生率达 40% 左右(肖芬等, 2009),该数据与 7~8 月在贵阳调查结果相近(忙定泽等, 2012)。

2.2 捕食性天敌

已知豆野螟捕食性天敌的种类较为丰富(表 3),但实际活跃在豆类蔬菜田间的种群数量较少。除了室内日捕食卵量可达 10~15 粒的小花蜡若虫(汪自卿等,1987)以外,其他捕食性天敌大部分以多种昆虫为食,在豆类蔬菜田间捕食豆野螟的幼虫。然而,豆野螟幼虫钻蛀豆荚取食的习性为天敌的捕食行为增加了难度,天敌可能因此转向捕食其他昆虫。因此,应用捕食性天敌绿色防控豆野螟存在一定的短板。

我国幅员辽阔、自然地理条件复杂,天敌昆虫物种资源极为丰富,且在赤眼蜂、瓢虫、蠋蝽等重要天敌昆虫的规模化繁殖与应用技术创新方面都取得了一系列理论突破。但迄今,我国除台湾地区鲜有关于豆野螟天敌资源的监测与调查研究,严重制约了基于天敌昆虫应用的豆野螟生物防治技术发展。

表 3 国内外报道的豆野螟捕食性天敌昆虫种类
Table 3 Reported predatory insects of *Maruca vitrata* domestic and overseas

目 Order	科 Family	种 Species	捕食虫态 Prey stage	参考文献 References
鞘翅目 Coleoptera	步甲科 Carabidae	青步甲 <i>Chlaenius</i> sp.	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
	虎甲科 Cicindelidae	<i>Cicindela lacrymosa</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
	瓢虫科 Coccinellidae	狭臂瓢虫 <i>Coccinella repanda</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
		六斑月瓢虫 <i>Menochilus sexmaculatus</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
		和谐瓢虫 <i>Synharmonia octomaculate</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
螳螂目 Mantodea	螳螂科 Mantidae	花岩螳 <i>Polyspilota aeruginosa</i>	成虫 Adult	Ba <i>et al.</i> ,2019
		非洲螳螂 <i>Spodromantis lineola</i>	成虫 Adult	Ba <i>et al.</i> ,2019
半翅目 Hemiptera	花蝽科 Anthocoridae	香龟小花蝽 <i>Orius tantillus</i>	卵、幼虫 Egg/Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
	蝽科 Pentatomidae	黄斑粗喙椿象 <i>Eocanthecona furcellata</i>	幼虫 Larva	Nebapure and Meena ,2011
	红蝽科 Pyrrhocoridae	颈红蝽 <i>Antilocbus coquebertii</i>	—	Borah and Dutta ,2001
膜翅目 Hymenoptera	螺螄科 Eumenidae	锈色华丽螺螄 <i>Delta conoideum</i>	—	Sahoo and Senapati ,2000
		原野华丽螺螄 <i>Delta campaniforme esuriens</i>	—	Sahoo and Senapati ,2000
		华丽螺螄 <i>Delta pyriforme</i>	—	Sahoo and Senapati ,2000
	蚁科 Formicidae	绢毛弓背蚁 <i>Camponotus sericeus</i>	幼虫 Larva	Ba <i>et al.</i> ,2019
		红缘弓背蚁 <i>Camponotus rufoglaucus</i>	幼虫 Larva	Ba <i>et al.</i> ,2019
	胡蜂科 Vespidae	铃腹胡蜂 <i>Ropalidia flavobrunnea</i>	幼虫 Larva	Barrion <i>et al.</i> ,1987
革翅目 Dermaptera	蝻科 Forficulidae	<i>Diaperasticus erythrocephala</i>	幼虫、蛹 Larva/Pupa	Ba <i>et al.</i> ,2019

3 昆虫病原微生物

昆虫病原微生物是能够侵染昆虫使其致病，并在昆虫种群中流行的真菌、细菌、病毒等。它们为提高自身在寄主体内适应性，可调控寄主生理引起发烧等病理现象；而寄主在应对昆虫病原物侵入时也会产生免疫反应，改变其取食、繁殖、防御、群集、趋性等行为。因此，昆虫病原微生物作为调控害虫种群数量动态的重要因子，在害

虫生物防治中发挥了关键作用。

3.1 真菌

昆虫病原真菌是昆虫病原生物中最大的类群，能有效防控豆野螟的发生。已有报道证实，球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 和金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 对豆野螟具有中高致病性 (Ekesi *et al.* , 2002; Mehinto *et al.* , 2014; Srinivasan *et al.* , 2014; Tumuhaise *et al.* , 2015)；但其制剂对豆野螟的防治效果并不理想。在实验室条件下，仅越南报道了上述两种真菌制剂对豆

野螟具有较高致病性 (Srinivasan *et al.*, 2014); 印度和泰国报道的真菌制剂侵染效果则不佳 (Sunitha *et al.*, 2008, Yule and Srinivasan, 2013)。根据现有的田间试验数据, 绿僵菌制剂的防治效果略高于白僵菌。在印度卡纳塔克邦, 按照 $(1 \sim 2) \times 10^{12}$ conidia/ha 在豇豆上使用绿僵菌, 可减少 45% ~ 68% 的蛀果率 (Rachappa *et al.*, 2005); 在柬埔寨的裙带豆上使用 Real M-62[®]、Real M-69[®] 的绿僵菌制剂可减少 48% ~ 77% (Srinivasan *et al.*, 2019b)。但在印度泰米尔纳德邦, 按照 2.8×10^6 CFU/g 在黑吉豆上使用白僵菌, 可挽回的蛀果损失不超过 50% (Soundararajan and Chitra, 2011)。

3.2 细菌

豆野螟是多种昆虫病原细菌的自然寄主。苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* (Bt)、蜡样芽孢杆菌 *B. cereus*、粪链球菌 *Streptococcus faecalis* 和粘质沙雷菌 *Serratia marcescens* 等均可侵染豆野螟 (Otieno *et al.*, 1983)。其中, Bt 产生的伴孢晶体中含 δ -内毒素, 可经虫体中肠蛋白酶水解进入血淋巴, 引起败血症, 致虫体死亡。在西非和我国台湾, 豆野螟对 Bt 毒素 *CryIAb* 和 *CryICa* 高度敏感 (Srinivasan, 2008)。此外, 不同地理种群的豆野螟对不同 Bt 亚种制剂的敏感性也有差异。在泰国, 豆野螟对苏云金芽孢杆菌库尔斯塔克 (*Kurstaki*) 亚种制剂高度敏感 (Yule and Srinivasan, 2013; Kumar *et al.*, 2014); 而在越南和我国台湾地区, 则对苏云金芽孢杆菌鲇泽 (*aizawai*) 亚种制剂高度敏感 (Srinivasan *et al.*, 2014)。不同地理种群豆野螟对 Bt 敏感性的差异可能与其长期生境中的 Bt 水平有关, 部分地理种群可能已经对 *CryIAb* 和 *CryICa* 产生了一定的抗性。目前尚未建立豆野螟对 Bt 毒素的敏感基线。

Bt 制剂应用于田间防治豆野螟的案例相当丰富。以裙带豆为例, 在泰国使用 Bt-*aizawai* (Zitarback F. C. [®]) 和 Bt-*kurstaki* (Redcat[®]), 能分别减少 36% ~ 52% 和 36% ~ 45% 的蛀果率 (Yule and Srinivasan, 2013); 在柬埔寨使用 Bt-*aizawai* (Xentari[®]) 和 Bt-*kurstaki* (Crymax[®]、E911[®]) 则能减少 46% ~ 72% 和 48% ~ 75% (Srinivasan *et al.*, 2019b)。

3.3 病毒

目前已知的能侵染豆野螟的昆虫病原病毒数量不多。1986 年, 国内首次采集、分离到豆野螟

颗粒体病毒 (*M. testulalis* granulosis viruses, MtGV)。幼虫在感染第 3 天后停止取食, 四处爬动但行动和发育都变得迟缓, 体色渐变成黄白色, 体壁脆弱 (叶爱珍等, 1998)。随后, 研究人员发现大蜡蛾核型多角体病毒 (*Galleria mellonella* nucleopolyhedrovirus, GmNPV) 也能侵染豆野螟幼虫, 但认为其在田间规模化应用的前景较为有限 (Parthasarathy *et al.*, 2004)。直至 2004 年, 在我国台湾地区的田菁上首次发现了 NPV 特异性感染的豆野螟幼虫。被感染的幼虫行动缓慢不进食, 虫身呈粉红色且体壁易破, 表现为典型的 NPV 感染 (Lee *et al.*, 2007)。经表征分析, 该病毒被命名为豆野螟多核衣壳型多角体病毒 *Mavi*NPV (*M. vitrata* multiple nucleocapsid nucleopolyhedrovirus)。同其他 NPV 一样, *Mavi*NPV 制剂对豆野螟低龄幼虫非常有效 (Lee *et al.*, 2007), 可在幼虫转移至豆荚为害前实现有效控制, 从而大幅地减少经济损失。2006 年, *Mavi*NPV 由国际热带农业研究所引入贝宁, 贝宁的评估结果也证实了该病毒作为生物杀虫剂有效控制豆野螟的巨大潜力。当 *Mavi*NPV 的使用比例达到 2×10^{13} OBs/ha 时, 豆野螟幼虫死亡率高达 88% (Srinivasan *et al.*, 2009)。而瓜螟绒茧蜂被证实是 *Mavi*NPV 在不同地理种群中传播的途径之一 (Srinivasan *et al.*, 2009)。

4 植物源农药

植物源农药是从植物中提取的、能有效抑制农作物病虫害发生的活性成分。它们通常是植物中的多种有机物组合, 对非靶标生物安全、对生态环境友好、不易产生抗药性, 因此国内外学者从未停止将植物源农药应用于豆野螟生物防治上的探索。

印楝 *Azadirachta indica* 中提取的印楝素 (Azadirachtin) 是目前植物源农药产业化最为成熟的品种之一, 具有较高的环境安全性。已有研究表明, 在实验室条件下, 印楝油及其商业化产品对豆野螟幼虫具有良好的杀虫活性 (Kumar *et al.*, 2014)。研究人员先后将印楝籽、叶的提取物, 及其油、皂等多种产品应用在不同豆类作物上, 豆野螟的田间防治效果各异 (表 4)。此外, 多种豆野螟非嗜食植物提取物也对具有良好的种群抑制活性。飞机草 *Eupatorium odoratum*、马缨丹

Lantana camara、蟛蜞菊 *Sphagneticola calendulacea* 乙醇提取物对豆野螟成虫和幼虫都有明显的趋避效果, 蛀果率分别下降 42.4%、35.4% 和 29.3% (曾玲等, 2001); 胡椒 *Piper guineense* 和大蒜 *Allium sativum* 的提取物能降低豆野螟卵的孵化率 (Ekesi, 2000)。在田间试验中, 麻疯果油 (Pillai *et al.*, 2013)、水黄皮皂 (Sambathkumar *et al.*,

2015)、木薯 *Manihot esculenta* 和面包果 *Artocarpus altilis* (Oparaeke, 2006) 等植物提取物均能有效减少蛀果。然而, 上述研究中涉及的多种 (亚) 热带植物对生境要求高, 且现阶段其生理学研究基础较为薄弱, 要实现这些植物源农药的商业化量产, 仍需面临多重的挑战。

表 4 印楝产品应用在豆野螟生物防治的案例
Table 4 Cases of neem products on biocontrol of *Maruca vitreta*

作物 Crop	试验地区 Location	制剂 Fomulation	减少的蛀果率 Reduction in pod damage over untreated plants	参考文献 References
裙带豆 Yard-long bean	柬埔寨南部省 Southern provinces (Cambodia)	5% 印楝叶提取物 Neem leaf extract ,5%	37% ~ 52%	Srinivasan <i>et al.</i> ,2019b
	印度安得拉邦 Andhra Pradesh (India)	1 500 ppm 印楝 Neem ,1 500 ppm	26%	Sreekanth and Seshamahalakshmi ,2018
香脂木豆 Pigeonpea	印度泰米尔纳德邦 Tamil Nadu (India)	1% 印楝皂 Neem soap ,1%	63%	Sambathkumar <i>et al.</i> ,2015
		5% 印楝籽仁提取物 NSKE ,5%	54%	
豇豆 Cowpea	贝宁科托努 Cotonou (Benin)	0.25% 印楝油乳剂 Neem oil emulsion ,0.25%	32% ~ 41%	Sokame <i>et al.</i> ,2015
扁豆 Country bean (<i>Lablab purpureus</i>)	孟加拉加兹浦尔 Gazipur (Bangladesh)	2% 印楝叶提取物 Neem leaf extract ,2%	26% ~ 34%	Ahraed <i>et al.</i> ,2014
		0.5% 印楝油 Neem oil ,0.5%	44% ~ 57%	

综上, 印楝制剂是现阶段生物防治豆野螟的常用的植物源农药。在豆类蔬菜的早花期, 印楝油与 *MaviMNPV* 配合使用的防治效果更佳 (Sokame *et al.* ,2015), 是豆野螟 “治花保荚” 关键防治策略的重要组成部分之一。

5 总结与展望

豆野螟的生物防治技术是保障我国 “菜篮子” 质量安全的迫切需求。现阶段, 利用性信息素进行诱捕的方法在贝宁、加纳、印度、柬埔寨等地取得了一定的成效。但是豆野螟不同地理种群

(或亚种) 的性信息素组成呈多态性, 适用于当地的诱捕方法和经验不一定具有可复制性。在天敌昆虫方面, *P. syleptae* 和 *T. javanus* 两种寄生蜂在贝宁和布基纳法索的成功引种和应用, 为推广 “以虫治虫” 的豆野螟生物防治方法提供了范例。作者认为, 寄生蜂资源的有效利用是从源头上治理豇豆等质量安全问题的突破口。一方面, 寄生蜂能准确定位、寄生隐蔽在豇豆花苞和豆荚内的幼虫, 破解了化学农药无法直接作用于虫体的难题; 另一方面, 寄生蜂能连续多天多次寄生, 可持续抑制田间龄期大小不一的豆野螟种群, 避免了在豇豆连续开花结荚期间多次用药的困境。豆

野螟的昆虫病原微生物制剂和植物源农药的研发工作已积累了一定基础,尤其是在 *MaviMNPV* 和印楝制剂配合使用的方法上取得了较好的成绩。但是生物源农药的推广和应用高度依赖于“产研融合”的进程,生产企业在降低成本、提质增效、扩大产能等方面,仍有较大提升空间。

豆野螟的生物防治手段多样,但在国内的适用性仍缺乏具体实践和论证,相关应用基础研究仍处于起步阶段。我国科技人员可以从以下几方面着手,助力豆野螟绿色防控体系建设:

(一) 继续研究豆野螟性信息素合成与化学感受机理。了解国内不同地理种群性信息素通讯系统的差异;研究豆野螟性信息素生物合成与化学通讯系统的基因调控机理、遗传和进化规律;进一步筛选、开发寄主植物的特异性挥发物作为引诱剂或与性信息素诱芯复配,增加田间诱捕能力。

(二) 发掘我国境内豆野螟寄生性天敌昆虫资源,系统开展利用基础研究。充分发挥我国生物多样性的优势,明确国内豆野螟的优势寄生蜂(蝇)种类及其自然控害作用;研究寄生性天敌对豆野螟的控害机理及关键因子,解决寄生性天敌昆虫在规模化繁育、保藏与田间释放保护中的技术问题。

(三) 加强昆虫病原微生物与植物源农药新制剂的研发及其配套的使用技术。优先建立豆野螟低龄幼虫对 *Bt* 毒素的敏感基线;明确制剂与天敌昆虫、常用化学农药和其他生物源农药的相互增效或拮抗作用;解决生物农药资源在人工扩繁过程中的技术问题;研究制剂的增效途径、储存条件优化、施用后的抗逆能力等。

相信在国家政策的推动与国家自然科学基金的双重助力之下,我国生物防治技术的高质量发展势如破竹,未来可应用于豆野螟生物防治的手段也将取得创新性的突破,有助于化学农药的减量控害,为保障人民群众“舌尖上的安全”,推动“十四五”时期农业绿色转型作出重要贡献。

参考文献 (References)

- Agyen-Sampong M. Pests of cowpea and their control in Ghana. In: Singh SR, Emden HF van, Taylor TA, eds. *Pests of Grain Legumes: Ecology and Control* [C]. London: Academic Press, 1978: 85–92.
- Ahraed M, Miah M, Amin M, et al. Evaluation of some plant materials against pod borer infestation in country bean with reference to flower production [J]. *Annals of Bangladesh Agriculture*, 2015, 19: 71–78.
- Ai H, Liu YY, Long GY, et al. Functional characteristics of a novel odorant binding protein in the legume pod borer, *Maruca vitrata* [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11 (1): 1–9.
- Arodokoun D, Tamo M, Cloutier C, et al. Larval parasitoids occurring on *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae) in Benin, West Africa [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 113 (1–4): 320–325.
- Ba NM, Huesing JE, Dabire-Binso CL, et al. The legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae), an important insect pest of cowpea: A review emphasizing West Africa [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2019, 39 (2): 93–106.
- Barrion A, Bandong J, De La Cruz C, et al. Natural enemies of the bean pod borer *Maruca testulalis* in the Philippines [J]. *Tropical Grain Legume Bulletin*, 1987, 34: 21–22.
- Bhanu K, Gowda GB, Ramasamy S, et al. The sex pheromone of legume pod borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) revisited [J]. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2018, 15 (3): 163–182.
- Borah B, Dutta S. Natural enemies of legume pod borer, *Maruca testulalis* (Geyer) in Jorhat, Assam [J]. *Insect Environment*, 2001, 7 (3): 113–114.
- Borah B, Sarma K. Record of parasitoids of legume pod borer *Maruca testulalis* (Geyer) in Assam [J]. *Insect Environment*, 2004, 10 (2): 77–78.
- Brier H, Murray D, Wilson L, et al. An overview of integrated pest management (IPM) in north-eastern Australian grain farming systems: Past, present and future prospects [J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2008, 48 (12): 1574–1593.
- Dannon EA, Tamo M, Van Huis A, et al. Functional response and life history parameters of *Apanteles taragamae*, a larval parasitoid of *Maruca vitrata* [J]. *Biocontrol*, 2010, 55 (3): 363–378.
- Downham M, Hall D, Chamberlain D, et al. Minor components in the sex pheromone of legume podborer: *Maruca vitrata* development of an attractive blend [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29 (4): 989–1011.
- Downham M, Tamo M, Hall D, et al. Developing pheromone traps and lures for *Maruca vitrata* in Benin, West Africa [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2004, 110 (2): 151–158.
- Ekesi S. Effect of volatiles and crude extracts of different plant materials on egg viability of *Maruca vitrata* and *Clavigralla tomentosicollis* [J]. *Phytoparasitica*, 2000, 28 (4): 305–310.
- Ekesi S, Adamu RS, Maniania NK. Ovicidal activity of entomopathogenic hyphomycetes to the legume pod borer, *Maruca vitrata* and the pod sucking bug, *Clavigralla tomentosicollis* [J]. *Crop Protection*, 2002, 21 (7): 589–595.
- Huang CC, Peng WK, Talekar NS. Parasitoids and other natural enemies of *Maruca vitrata* feeding on *Sesbania cannabina* in Taiwan [J]. *Biocontrol*, 2003, 48 (4): 407–416.
- Kapoor B, Shankar U. Trap catches of *Helicoverpa armigera* Hubner and *Maruca vitrata* Fabricius and their natural enemies on black gram *Vigna mungo* (L.) Hepper [J]. *Journal of Entomology and*

- Zoology Studies, 2019, 7: 246–251.
- Ke LD, Fang JL, Li ZQ. Bionomics and control of the legume pod-borer *Maruca testulalis* Geyer [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1985, 28 (1): 51–59. [柯礼道, 方菊莲, 李志强. 豆野螟的生物学特性及其防治 [J]. 昆虫学报, 1985, 28 (1): 51–59]
- King ABS, Saunders JL. The Invertebrate Pests of Annual Food Crops in Central America: A Guide to Their Recognition and Control [M]. London: Overseas Development Administration, 1984: 50.
- Kumar P, Huang LYZ, Srinivasan R. Effect of three commercial biopesticides of neem (*Azadirachta indica*) and *Bacillus thuringiensis* on legume pod borer (*Maruca vitrata*) (Lepidoptera: Crambidae) in Thailand [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2014, 34 (2): 80–87.
- Lee ST, Srinivasan R, Wu YJ, et al. Occurrence and characterization of a nucleopolyhedrovirus from *Maruca vitrata* (Lepidoptera, Pyralidae) isolated in Taiwan [J]. *Biocontrol*, 2007, 52 (6): 801–819.
- Lin RH, Li ZH, Ye BH, et al. Advance in the studies of the legume pod-borer, *Maruca testulalis* Geyer [J]. *Journal of Shandong Agricultural University* (Natural Science Edition), 2000, 31 (4): 433–436. [林荣华, 李照会, 叶保华, 等. 豆荚野螟 (*Maruca testulalis* Geyer) 研究进展 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2000, 31 (4): 433–436]
- Liu K, Fu YG, Jin QA, et al. Population dynamics of *Apanteles taragamae* Viereck and the effect of its parasitism on *Diaphania indica* (Saunders) [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2007, 28 (4): 108–111. [刘奎, 符悦冠, 金启安, 等. 瓜螟绒茧蜂田间发生动态及其对瓜螟的寄生作用 [J]. 热带作物学报, 2007, 28 (4): 108–111]
- Liu SS, Li ZQ, Xu LX, et al. Studies on biological and chemical control of *Diaphania indica* Saunders [J]. *China Vegetables*, 1989, 5: 14–17. [刘树生, 李志强, 徐兰仙, 等. 瓜螟的生物学和化学防治研究 [J]. 中国蔬菜, 1989, 5: 14–17]
- Lu PF, Qiao HL, Luo YQ. Female sex pheromone blends and male response of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae), in two populations of mainland China [J]. *Zeitschrift für Naturforschung – Section C Journal of Biosciences*, 2013, 68 (9–10): 416–427.
- Lu PF. Study on Basic of Biology and Applied Technology for Controlling *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Plralidae) by Sex Pheromone [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007. [陆鹏飞. 利用性信息素防治豆野螟的生物学基础及应用技术研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2007]
- Malini P, Ramasamy S, Schaffleitner R, et al. Pheromone – binding proteins based phylogenetics and phylogeography of *Maruca* spp. from Asia, Africa, Oceania, and South America [J]. *Ecology and Evolution*, 2019, 9 (16): 9239–9272.
- Malini P, Schaffleitner R, Muthukalingan K, et al. Identification and Variations in Pheromone-binding Proteins among Legume Pod Borer (*Maruca vitrata*) Populations from Asia and Africa. [C]. Lexington: In Abstracts of the International Chemical Ecology Conference, 2013: 106.
- Mang D, Luo Q, Shu M, et al. Research evolution, progress and forecast on the occurrence and integrated control of *Maruca vitrata* Fabricius in China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28 (4): 79–88. [忙定泽, 罗庆怀, 舒敏, 等. 中国豆野螟发生与防治研究沿革、进展及展望 [J]. 中国农学通报, 2012, 28 (4): 79–88]
- Mao A. Identification and Characterization of Three Pheromone Binding Proteins in the Legume Pod Borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015. [毛阿萍. 豆野螟性信息素结合蛋白 *MvitPBP*s 基因的鉴定及功能分析 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2015]
- Mao A, Zhou J, Bin M, et al. Sex pheromone recognition and characterization of three pheromone-binding proteins in the legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 34484.
- Mehinto JT, Atachi P, Kobi O, et al. Pathogenicity of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on larvae of the legume pod borer *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *International Journal of Advanced Research*, 2014, 9 (2): 55–64.
- Mohan C, Sathiamma B. Potential for lab rearing of *Apanteles taragamae*, the larval endoparasitoid of coconut pest *Opisina arenosella*, on the rice moth *Corcyra cephalonica* [J]. *Biocontrol*, 2007, 52 (6): 747–752.
- Ndakidemi BJ, Mbega ER, Ndakidemi PA, et al. Natural pest regulation and its compatibility with other crop protection practices in smallholder bean farming systems [J]. *Biology*, 2021, 10 (8): 805.
- Nebapure SM, Meena A. *Canthecona furcellata*: A predator of *Maruca vitrata* [J]. *Annals of Plant Protection Sciences*, 2011, 19 (2): 477–478.
- Okeyo – Owuor J, Oloo G, Agwaro P. Natural enemies of the legume pod borer, *Maruca testulalis* Geyer (Lepidoptera: Pyralidae) in small scale farming systems of western Kenya [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1991, 12 (1–2–3): 35–42.
- Oparaeke A. Effect of aqueous extract of tropical plants for management of *Maruca vitrata* Fab. and *Clavigralla tomentosicollis* Stal. on Cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. plants [J]. *Journal of Entomology*, 2006, 3 (1): 70–75.
- Otieno W, Odindo M, Okeyo – Owuor J, et al. Studies on the legume pod – borer, *Maruca testulalis* Geyer – VII. Field surveys on pathogenic microorganisms [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1983, 4 (1–2): 211–215.
- Parthasarathy R, Rabindra R, Palanisamy S, et al. Studies on infectivity of a heterologous baculovirus for the management of legume pod borer, *Maruca vitrata* (Geyer) [J]. *Indian Journal of Plant Protection*, 2004, 32 (1): 19–23.
- Pillai A, Meena A, Selvaraj S. Field efficacy of biopesticides against pod borer complex in pigeonpea, *Cajanus cajan* (L.) Millsp [J]. *Biopesticides International*, 2013, 9 (2): 132–138.
- Rachappa V, Lingappa S, Patil R, et al. Field performance of

- Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin against pod borer, *Maruca testulalis* (Geyer) on cowpea [J]. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 18 (3): 817–819.
- Sahoo BK, Senapati B. Natural enemies of pod borers in pigeonpea [J]. *International Chickpea & Pigeonpea Newsletter*, 2000, 7: 57–59.
- Sambathkumar S, Durairaj C, Ganapathy N, et al. Field evaluation of newer insecticide molecules and botanicals against pod borers of Red gram [J]. *Field studies*, 2015, 38 (2): 261.
- Schläger S, Beran F, Groot AT, et al. Pheromone blend analysis and cross – attraction among populations of *Maruca vitrata* from Asia and West Africa [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2015, 41 (12): 1155–1162.
- Schläger S, Ulrichs C, Srinivasan R, et al. Developing pheromone traps and lures for *Maruca vitrata* in Taiwan [J]. *Gesunde Pflanzen*, 2012, 64 (4): 183–186.
- Schreinemachers P, Chen HP, Nguyen TTL, et al. Too much to handle? Pesticide dependence of smallholder vegetable farmers in Southeast Asia [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 593: 470–477.
- Sharma H. Bionomics, host plant resistance, and management of the legume pod borer, *Maruca vitrata* – a review [J]. *Crop Protection*, 1998, 17 (5): 373–386.
- Sokame BM, Tounou AK, Datinon B, et al. Combined activity of *Maruca vitrata* multi – nucleopolyhedrovirus, MaviMNPV, and oil from neem, *Azadirachta indica* Juss and *Jatropha curcas* L. for the control of cowpea pests [J]. *Crop Protection*, 2015, 72: 150–157.
- Soundararajan R, Chitra N. Effect of bioinoculants on sucking pests and pod borer complex in urdbean [J]. *Journal of Biopesticides*, 2011, 4 (1): 7.
- Sreelakshmi P, Paul A, Antu M, et al. Assessment of insecticide resistance in field populations of spotted pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius on vegetable cowpea [J]. *International Journal of Farm Sciences*, 2015, 5 (3): 159–164.
- Sreekanth M, Seshamahalakshmi M. Evaluation of Bt liquid formulations against gram pod borer, *Helicoverpa armigera* (Hubner) and spotted pod borer, *Maruca vitrata* (Geyer) in pigeonpea [J]. *Journal of Biopesticides*, 2018, 11 (1): 52–59.
- Srinivasan R. Susceptibility of legume pod borer (LPB), *Maruca vitrata* to δ -endotoxins of *Bacillus thuringiensis* (Bt) in Taiwan [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2008, 97 (1): 79–81.
- Srinivasan R, Bhanu K, Lin M-Y, et al. Evaluation of novel pheromone lures against striped flea beetle (*Phyllotreta striolata* Fab.) on brassicas and bean pod borer (*Maruca vitrata* Fab.) on yard – long bean in Southeast Asia. In: Öztekin GB, Aktaş H, eds. International Horticultural Congress – Proceedings of the International Symposium on Tropical and Subtropical Vegetable Production: Tackling Present and Future Global Biotic and Abiotic Stressors [C]. Istanbul: International Society for Horticultural Science, 2019: 37–46.
- Srinivasan R, Ghosh SK, Hien NTT, et al. Susceptibility of the legume pod borer, *Maruca vitrata*, to microbial control agents [J]. *Philippine Journal of Crop Science*, 2014, 97 (2): 199–203.
- Srinivasan R, Lin M, Su F, et al. Use of insect pheromones in vegetable pest management: Successes and struggles. In: Chakravarthy AK, eds. New Horizons in Insect Science: Towards Sustainable Pest Management [C]. New Delhi: Springer, 2015: 231–237.
- Srinivasan R, Paola S, Lin MY, et al. Development and validation of an integrated pest management strategy for the control of major insect pests on yard – long bean in Cambodia [J]. *Crop Protection*, 2019, 116: 82–91.
- Srinivasan R, Tamò M, Lee S, et al. Towards developing a biological control program for legume pod borer, *Maruca vitrata*. In: Gupta S, Ali M, Singh B, eds. International Conference on Grain Legumes: Quality Improvement, Value Addition and Trade [C]. Kanpur: Indian Institute of Pulses Research, 2009: 183–196.
- Srinivasan R, Tamò M, Malini P. Emergence of *Maruca vitrata* as a major pest of food legumes and evolution of management practices in Asia and Africa [J]. *Annual Review of Entomology*, 2021, 66: 141–161.
- Srinivasan R, Yule S, Chang J, et al. Towards developing a sustainable management strategy for legume pod borer, *Maruca vitrata* on yard – long bean in Southeast Asia. In: Holmer R, Linwattana G, Nath P, eds. Proceedings of the Regional Symposium on High Value Vegetables in Southeast Asia: Production, Supply and Demand [C]. Tainan: AVRDC, 2012: 24–26.
- Subasinghe S, Fellowes R. Recent trends in grain legume pest research in Sri Lanka [J]. *Pests of Grain Legumes: Ecology and Control*, 1978: 37–41.
- Sunitha V, Lakshmi KV, Ranga Rao G. Laboratory evaluation of certain insecticides against pigeonpea pod borer, *Maruca vitrata* Geyer [J]. *Journal of Food Legumes*, 2008, 21 (2): 137–139.
- Tamò M, Ekesi S, Maniania NK, Cherry A. Biological control, a non-obvious component of IPM for cowpea. In: Neuenschwander P, Borgemeister C, Langewald J, eds. Biological Control in IPM Systems in Africa [C]. Wallingford: CABI Publishing, 2003: 295–309.
- Tian Z, Wang HY, Wang XP. Oviposition preference of *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) in different organs of cowpeas, *Vigna unguiculata* [J]. *Plant Protection*, 2017, 43 (5): 103–107.
- [田忠, 汪海洋, 王小平. 豆荚野螟对豇豆不同器官的产卵选择性研究 [J]. 植物保护, 2017, 43 (5): 103–107]
- Tumuhaise V, Ekesi S, Mohamed SA, et al. Pathogenicity and performance of two candidate isolates of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) in four liquid culture media for the management of the legume pod borer *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2015, 35 (1): 34–47.
- Unmole L. Response of males of *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera:

- Pyalidae) to synthetic lures in Mauritius [J]. *University of Mauritius Research Journal*, 2009, 15 (1): 627–633.
- Usua E, Singh S. Parasites and predators of the cowpea pod borer, *Maruca testulalis* (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Nigerian Journal of Entomology*, 1978, 3 (1): 100–102.
- Wang L, Zeng L, Lu YY, et al. Review on the occurrence and IPM of the bean pod borer *Maruca testulalis* Gayer [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2003, 25 (2): 83–88. [王琳, 曾玲, 陆永跃. 豆野螟发生为害及综合防治研究进展 [J]. 昆虫天敌, 2003, 25 (2): 83–88]
- Wang P, Zhang N, Zhou LL, et al. Antennal and behavioral responses of female *Maruca vitrata* to the floral volatiles of *Vigna unguiculata* and *Lablab purpureus* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2014, 152 (3): 248–257.
- Witzgall P, Kirsch P, Cork A. Sex pheromones and their impact on pest management [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2010, 36 (1): 80–100.
- Xiao F, Wen L, Li Y, et al. Biological characteristics of the bean pod borer's larvae [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2009, 3: 66–68. [肖芬, 文礼章, 李有志, 等. 豇豆荚螟幼虫的生物学特性研究 [J]. 湖南农业科学, 2009, 3: 66–68]
- Ye A, Wu C, Huang Y, et al. Purification and characterization of the granulosis virus of *Maruca testulalis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1998, 14 (3): 119–122. [叶爱珍, 吴翠娟, 黄月英, 等. 豆野螟颗粒体病毒的分离鉴定 [J]. 中国生物防治, 1998, 14 (3): 119–122]
- Yule S, Srinivasan R. Evaluation of bio-pesticides against legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae), in laboratory and field conditions in Thailand [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2013, 16 (4): 357–360.
- Zeng L, Wang L, Shen S, Repelling effects of semio-chemical of non-preferable plant on the population of *Maruca testulalis* Gayer. In: Li DM, eds. *Insects and Environment – Proceedings of the 2001 Symposium of the Chinese Entomological Society* [C]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2001: 196–200. [曾玲, 王琳, 沈叔平. 非嗜食植物乙醇提取物对豇豆荚螟种群的驱避作用. 见: 李典谟主编. 昆虫与环境 – 中国昆虫学会 2001 年学术讨论会论文集 [C]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001: 196–200]
- Zhou J, Zhang N, Wang P, et al. Identification of host-plant volatiles and characterization of two novel general odorant-binding proteins from the legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10 (10): e0141208.