

文章编号: 1674-7054(2023)01-0088-17



## 番茄潜叶蛾生物防治研究进展

梁永轩<sup>1,2</sup>, 郭建洋<sup>1</sup>, 王绮静<sup>1</sup>, 张毅波<sup>1</sup>, 张桂芬<sup>1</sup>,  
杨念婉<sup>1,3</sup>, 周琼<sup>2</sup>, 刘万学<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 2. 湖南师范大学生命科学学院, 长沙 410081; 3. 中国农业科学院西部农业研究中心, 新疆昌吉 831100)

**摘要:** 总结了生物防治在番茄潜叶蛾防控领域的研究和应用现状, 旨在为该害虫在我国的高效、可持续防控提供参考。番茄潜叶蛾的天敌昆虫资源丰富, 其中赤眼蜂科、姬小蜂科和茧蜂科等寄生蜂, 以及盲蝽科的捕食性蝽等对该害虫的控害能力较强。近年, 相关研究报道了部分天敌昆虫的大规模饲养与释放技术, 为其田间应用提供了良好条件, 如暖突赤眼蜂 *Trichogramma achaeae*、烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis* 等在国际上已被广泛应用于番茄潜叶蛾的田间防治, 并取得良好成效。此外, 病原微生物, 如绿僵菌 *Metarhizium anisopliae*、苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* 等, 及植物源提取物, 如印楝 *Azadirachta indica*、麻疯树 *Jatropha curcus* 种子的提取物等, 对该害虫有较强的杀虫活性, 且相对于化学农药更为安全。再者, RNAi 等新兴生物技术针对番茄潜叶蛾防治的研究也已逐渐开展。

**关键词:** 番茄潜叶蛾; 入侵害虫; 生物防治; 天敌昆虫; 病原微生物; 植物源提取物

**中图分类号:** S 436.412.2 **文献标志码:** A

**引用格式:** 梁永轩, 郭建洋, 王绮静, 等. 番茄潜叶蛾生物防治研究进展 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(1): 88-104. DOI: 10.15886/j.cnki.rds wxb.2023.01.008

番茄潜叶蛾 [*Tuta absoluta* (Meyrick)](同物异名 *Phthorimaea absoluta*), 隶属鳞翅目(Lepidoptera) 麦蛾科(Gelechiidae), 异名番茄麦蛾、番茄潜麦蛾、南美番茄潜叶蛾, 英文常用名 the tomato leafminer 等<sup>[1-2]</sup>。它是一种原产于南美洲秘鲁的极具破坏性的潜叶类害虫, 最早于 2006 年底传入欧洲的西班牙东部, 随后迅速传遍地中海盆地与欧洲各国, 并向东、南分别传播扩散到亚洲和非洲<sup>[1,3-4]</sup>。短短十几年便已在世界上近 90 个国家和地区发生和为害, 几乎遍布整个欧亚非大陆, 番茄受害面积达 280 万 hm<sup>2</sup>, 约占全球番茄种植面积的一半以上<sup>[5]</sup>, 年均直接经济损失约 60 亿美

元。我国番茄的种植面积位居世界第一, 是世界上番茄第三大种植国和加工番茄制品第一大出口国<sup>[6]</sup>。番茄潜叶蛾于 2010 年起扩散至我国西北和西南的多个邻国<sup>[7-8]</sup>, 于 2017 年 8 月在我国新疆伊犁地区首次发现其为害露地番茄; 次年 3 月又在云南临沧发现为害保护地番茄, 对当地番茄产业造成严重影响<sup>[9-10]</sup>。有研究表明, 该害虫在我国大部分番茄产区都可以存活和定殖, 综合风险评估 R 值为 2.64, 属于风险性极高的农业有害入侵生物, 使我国番茄等产业面临着巨大的潜在威胁<sup>[8]</sup>。

番茄潜叶蛾以幼虫为害, 幼虫孵化即潜入寄主植物组织中取食叶肉并在叶片上形成细小的潜

收稿日期: 2022-09-23 修回日期: 2022-10-25

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC2600400); 国家自然科学基金(32072495); 中国农业科学院科技创新工程(caascx-2017-2022-IAS)

第一作者: 梁永轩(1996-), 男, 湖南师范大学生命科学学院 2019 级硕士研究生. E-mail: aaliangyongxuan@163.com

通信作者: 周琼(1965-), 女, 教授, 博士. 研究方向: 昆虫化学生态学及外来入侵害虫防控. E-mail: zhoujoan@hunnu.edu.cn; 刘万学(1972-), 男, 研究员, 博士. 研究方向: 外来入侵物种防控. E-mail: liuwanxue@caas.cn

道,也可蛀食果实形成孔洞,或是在果萼与果实连接处潜食,最终造成寄主植物严重减产,甚或毁种重播<sup>[1,11]</sup>。该害虫最嗜食番茄,发生严重时导致其减产 80%~100%,也可危害马铃薯、茄子、烟草等其他茄科植物。此外,该虫具有较强的利用非茄科植物作为次要寄主的倾向<sup>[1]</sup>,目前已报道其可危害包括茄科、豆科、锦葵科、苋科、旋花科、藜科、菊科、十字花科以及禾本科在内的 9 个科近 41 种植物<sup>[2,10,12-13]</sup>。

20 世纪 90 年代之前,国外对番茄潜叶蛾的防治高度依赖化学药剂,如杀螟丹、阿维菌素、拟除虫菊酯(如溴氰菊酯、氯菊酯)和有机磷(如甲胺磷)等<sup>[14-17]</sup>,在智利、巴西、阿根廷等国家已相继报告了其对多种杀虫剂产生了抗药性<sup>[16-19]</sup>。此外,由于其幼虫具有隐蔽的“潜食”特性,且可为害植物多个部位,使用化学药剂不仅难以将其杀灭还容易对天敌造成负面影响,使生态环境受到污染,还可能使农作物农药残留超标而影响人们的健康<sup>[12,20-21]</sup>,因此寻找有效的非化学防治技术并实现对该虫的可持续控制极为迫切。生物防治由于具有绿色、环保、安全等特点,与化学防治等相比,对番茄生产展现出显著的经济优势。国际上以生物防治方法防控番茄潜叶蛾已取得良好的成效<sup>[1,22-23]</sup>,为有效控制其在我国的发生与进一步传播扩散,同时减少化学农药造成的环境污染和农

产品安全等问题,合理利用生物防治技术进行“绿色”防控是目前的重要措施。笔者从自然天敌(包括寄生性、捕食性天敌和病原微生物)、植物源提取物与 RNAi 生物技术的应用等几个方面,综合论述相关的研究进展和应用现状,旨在为我国番茄潜叶蛾的可持续防控提供参考。

## 1 天敌昆虫的种类及其应用

番茄潜叶蛾的天敌昆虫资源丰富,有超过 160 个物种被列为其自然天敌,分布于美洲、非洲及亚欧大陆各国<sup>[1,12,24-25]</sup>。而据我们不完全统计,世界范围内关于该害虫的天敌昆虫一共报道了 210 种,多以该虫的卵和幼虫作为靶标虫态。其中,寄生性天敌主要为膜翅目寄生蜂,而捕食性天敌主要包括半翅目、鞘翅目、膜翅目等昆虫。

**1.1 寄生性天敌** 寄生性天敌共 113 种,包括膜翅目赤眼蜂科 Trichogrammatidae 22 种、姬小蜂科 Eulophidae 41 种、茧蜂科 Braconidae 23 种、姬蜂科 Ichneumonidae 9 种、金小蜂科 Pteromalidae 3 种、小蜂科 Chalcidoidea 4 种、蚜小蜂科 Aphelinidae 1 种、跳小蜂科 Encyrtidae 5 种、肿腿蜂科 Bethyidae 2 种,以及双翅目寄蝇科 Tachinidae 3 种(表 1)。国外研究较多且生物防治潜力较高的寄生性天敌主要是赤眼蜂科、姬小蜂科和茧蜂科的寄生蜂等。

表 1 番茄潜叶蛾寄生性天敌种类

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
膜翅目 Hymenoptera	赤眼蜂科 Trichogrammatidae	<i>Trichogramma bactrae</i>	卵	阿根廷、智利	[1]
		<i>Trichogramma achaeae</i>	卵	法国等地中海国家	[1,26-27]
		<i>Trichogramma exiguum</i>	卵	哥伦比亚	[1]
		<i>Trichogramma fasciatum</i>	卵	阿根廷	[1]
		<i>Trichogramma bourarachae</i>	卵	突尼斯	[24]
		<i>Trichogramma cordubensis</i>	卵	葡萄牙	[28]
		<i>Trichogramma brassicae</i>	卵	-	[29]
		<i>Trichogramma dendrolimi</i>	卵	智利	[1]
		<i>Trichogramma evanescens</i>	卵	埃及	[30]
		<i>Trichogramma cacoeciae</i>	卵	-	[30-31]
		<i>Trichogramma euproctidis</i>	卵	埃及	[32]
		<i>Trichogramma embryophagum</i>	卵	伊朗	[33]
		<i>Trichogramma lopezandinensis</i>	卵	秘鲁	[1]

续表 1

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
		<i>Trichogramma minutum</i>	卵	智利、秘鲁	[1]
		<i>Trichogramma nerudai</i>	卵	阿根廷、智利	[1, 20]
		<i>Trichogrammatid oophagous</i>	卵	-	[34]
		<i>Trichogramma pintoii</i>	卵	秘鲁	[1]
		<i>Trichogramma pretiosum</i>	卵	阿根廷、巴西、哥伦比亚、巴拉圭、智利、委内瑞拉	[1]
		<i>Trichogramma rojasi</i>	卵	阿根廷	[1, 20]
		<i>Trichogramma telengai</i>	卵	智利	[1]
		<i>Trichogramma urquijoi</i>	卵	-	[34]
		<i>Trichogramma</i> sp.	卵	智利等地中海国家	[1]
姬小蜂科	Eulophidae	<i>Neochrysocharis formosa</i>	1, 2, 3龄幼虫	阿根廷、阿尔及利亚、法国、意大利、西班牙	[1, 20, 24]
		<i>Neochrysocharis</i> sp.	-	阿尔及利亚	[24]
		<i>Dineulophus phtorimaeae</i>	幼虫	阿根廷、智利	[1, 20]
		<i>Necremnus tutae</i>	幼虫	西班牙等地中海国家	[35]
		<i>Necremnus</i> sp.	幼虫	意大利、西班牙	[24]
		<i>Necremnus artynes</i>	2, 3龄幼虫	阿尔及利亚、埃及、西班牙、法国等地中海国家	[1, 20, 24]
		<i>Necremnus near artynes</i>	1, 2, 3龄幼虫	意大利、法国、突尼斯、西班牙	[24, 27, 36-37]
		<i>Necremnus tidius</i>	老熟幼虫	意大利	[24]
		<i>Necremnus near tidius</i>	1, 2龄幼虫	意大利	[24, 36-37]
		<i>Necremnus cosmopterix</i>	幼虫	土耳其	[38]
		<i>Necremnus metalarus</i>	2, 3龄幼虫	西班牙	[24, 39]
		<i>Stenomesius</i> sp.	2, 3龄幼虫	阿尔及利亚	[24]
		<i>Stenomesius japonicus</i>	幼虫	-	[40]
		<i>Stenomesius</i> cf. <i>japonicus</i>	幼虫	地中海国家	[41]
		<i>Sympiesis</i> sp.	幼虫	哥伦比亚、阿尔及利亚、意大利	[1, 24, 37]
		<i>Sympiesis</i> sp. near <i>flavopicta</i>	-	以色列	[24]
		<i>Elachertus pulcher</i>	幼虫	-	[42]
		<i>Elachertus inunctus</i>	幼虫	意大利、荷兰、伊朗	[24, 37, 42]
		<i>Diglyphus</i> sp.	2龄幼虫	阿尔及利亚	[24]
		<i>Diglyphus isaea</i>	幼虫	阿尔及利亚、西班牙	[24, 41]
		<i>Diglyphus crassinervis</i>	幼虫	西班牙、意大利	[20, 24, 41]
		<i>Galeopsomya</i> sp.	幼虫, 蛹	巴西	[43]
		<i>Baryscapus bruchophagi</i>	-	土耳其	[24]
		<i>Chrysocharis</i> sp.	幼虫	委内瑞拉	[1, 24, 37]
		<i>Chrysocharis pentheus</i>	幼虫	意大利	[20]
		<i>Cirrospilus</i> sp.	幼虫	阿尔及利亚	[24]

续表 1

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
		<i>Closterocerus clarus</i>	1龄幼虫	土耳其	[24]
		<i>Closterocerus formosus</i>	幼虫	阿根廷、意大利	[1, 20]
		<i>Elachertus</i> sp.	幼虫	意大利	[24, 37]
		<i>Elasmus</i> sp.	幼虫,	哥伦比亚、意大利	[1, 24, 37]
		<i>Elasmus phthorimaeae</i>	-	西班牙	[24, 41]
		<i>Hemiptarsenus ornatus</i>	幼虫	以色列	[24]
		<i>Hemiptarsenus zilahisebessi</i>	2龄幼虫	阿尔及利亚等地中海国家	[1, 24]
		<i>Horismenus</i> sp.	幼虫, 蛹	巴西	[1]
		<i>Pnigalio cristatus</i>	1, 2龄幼虫, 老熟幼虫	意大利、西班牙、土耳其	[20, 24, 36-37, 41]
		<i>Pnigalio</i> sp. <i>soemius</i> complex	1, 2龄幼虫	意大利	[24, 36-37]
		<i>Pnigalio soemius</i>	老熟幼虫	意大利、西班牙	[20, 24, 41]
		<i>Pnigalio incompletus</i>	-	意大利、土耳其	[24, 37]
		<i>Retisympiesis phthorimaea</i>	幼虫	智利	[1]
		<i>Tetrastichus</i> sp.	幼虫	智利	[1]
		<i>Zagrammosoma</i> sp.	幼虫	委内瑞拉	[1]
茧蜂科	Braconidae	<i>Pseudapanteles dignus</i>	幼虫	阿根廷、智利	[1, 20, 44]
		<i>Bracon hebetor</i>	老熟幼虫	阿尔及利亚、以色列、意大利、土耳其	[24, 36]
		<i>Bracon</i> sp. near <i>nigricans</i>	老熟幼虫	以色列、西班牙	[24, 41]
		<i>Bracon nigricans</i>	老熟幼虫	埃及、法国、意大利、约旦、西班牙	[24, 39, 45]
		<i>Bracon</i> sp.	老熟幼虫	巴西、哥伦比亚、突尼斯	[1, 20, 24]
		<i>Bracon lucileae</i>	幼虫	阿根廷、巴西、哥伦比亚	[1]
		<i>Bracon lulensis</i>	幼虫	阿根廷	[1]
		<i>Bracon tutus</i>	幼虫	阿根廷	[1, 20]
		<i>Bracon didemie</i>	老熟幼虫	土耳其	[24]
		<i>Bracon osculator</i>	老熟幼虫	意大利	[20, 24, 36-37]
		<i>Earinus</i> sp.	幼虫	阿根廷、巴西	[1]
		<i>Orgilus</i> sp.	幼虫	阿根廷、巴西	[1, 43]
		<i>Agathis fuscipennis</i>	幼虫	意大利	[20, 24]
		<i>Agathis</i> sp.	幼虫, 蛹	阿根廷、意大利	[1, 20, 24, 36]
		<i>Apanteles gelechiidivoris</i>	幼虫	哥伦比亚、智利、秘鲁	[1]
		<i>Apanteles</i> sp.	-	哥伦比亚	[1, 24, 41]
		<i>Apanteles dignus</i>	幼虫	哥伦比亚	[1]
		<i>Chelonus</i> sp.	幼虫	阿根廷、巴西、西班牙	[1, 24, 41]
		<i>Choeras semele</i>	-	西班牙	[24, 41]
		<i>Cotesia</i> sp.	-	西班牙	[24, 41]
		<i>Diolcogaster</i> sp.	-	西班牙	[24, 41]

续表 1

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
		<i>Dolichogenidea litae</i>	-	西班牙	[24, 41]
		<i>Dolichogenidea appellator</i>	2, 3龄幼虫	苏丹	[46]
	姬蜂科 Ichneumonidae	<i>Campoplex haywardi</i>	幼虫, 蛹	阿根廷	[1, 20]
		<i>Diadegma</i> sp.	老熟幼虫, 蛹	阿根廷、巴西、哥伦比亚、意大利	[1, 20, 24, 37]
		<i>Diadegma ledicola</i>	老熟幼虫, 蛹	意大利	[24, 36]
		<i>Diadegma pulchripes</i>	老熟幼虫, 蛹	意大利	[20, 24, 37]
		<i>Hyposoter didymator</i>	-	阿尔及利亚	[24]
		<i>Pristomerus</i> sp.	幼虫	哥伦比亚	[1]
		<i>Temelucha</i> sp.	幼虫	阿根廷、哥伦比亚	[1, 20]
		<i>Temelucha anatolica</i>	-	西班牙	[24, 41]
		<i>Zoophthorus macrops</i>	-	西班牙	[24, 41]
	金小蜂科 Pteromalidae	<i>Halticoptera aenea</i>	幼虫	意大利	[24, 37]
		<i>Pteromalus intermedius</i>	幼虫	土耳其	[24]
		<i>Pteromalus semotus</i>	-	西班牙	[24, 41]
	小蜂科 Chalcidoidea	<i>Brachymeria secundaria</i>	幼虫	土耳其	[24]
		<i>Hockeria unicolor</i>	幼虫	土耳其、西班牙	[24, 41]
		<i>Conura</i> sp.	幼虫, 蛹	阿根廷、巴西	[1, 43]
		<i>Invreia</i> sp.	蛹	哥伦比亚	[1]
	蚜小蜂科 Aphelinidae	<i>Encarsia porteri</i>	卵	阿根廷	[20]
	跳小蜂科 Encyrtidae	<i>Anastatus</i> sp.	卵	哥伦比亚	[1]
		<i>Arrhenophagus</i> sp.	卵	巴西	[1]
		<i>Copidosoma koehleri</i>	卵	智利	[1]
		<i>Copidosoma</i> sp.	卵	阿根廷、巴西	[1, 20, 43]
		<i>Copidosoma desantisi</i>	卵	智利	[1]
	肿腿蜂 Bethyilidae	<i>Goniozus nigrifemur</i>	幼虫	巴西、哥伦比亚	[1]
		<i>Goniozus</i> sp.	-	印度	[47]
双翅目 Diptera	寄蝇科 Tachinidae	<i>Archytas</i> sp.	幼虫	巴西	[1]
		<i>Elfifia</i> sp.	幼虫	哥伦比亚	[1]
		Tachinidae sp.	幼虫	阿根廷	[1]

\*-表示未有相关记录。

赤眼蜂科寄生蜂应用于番茄潜叶蛾的防治较为广泛, 均为其卵寄生蜂(表 1)。一些赤眼蜂科物种对该害虫适应性强、寄生率高, 具有良好的控害能力, 能在所释放田间较好的完成生长发育并保护作物, 如暖突赤眼蜂 *Trichogramma achaeae*、卷蛾分索赤眼蜂 *Trichogramma bactrae*

与短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum*<sup>[1, 22, 30, 47-51]</sup>。其中, 暖突赤眼蜂 *T. achaeae* 是地中海盆地最早实现商业化的寄生蜂品种<sup>[39]</sup>, Cabello 等<sup>[22, 52]</sup> 的研究发现, 该寄生蜂在实验室条件下对番茄潜叶蛾卵的寄生率高达 100%; 温室条件释放 27 d 后, 可使番茄植株的叶片、果实损害率减少达

91.74%, 且该寄生蜂具有温度适应范围广的优点。在田间应用暖突赤眼蜂 *T. achaeae* 前, 可将地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* 的卵作为其寄主进行大规模饲养; 田间使用该寄生蜂防控番茄潜叶蛾时, 可根据寄主植物的危害程度, 每周释放该寄生蜂成虫 25 万 ~ 50 万头·hm<sup>-2</sup> 即可有效控制番茄潜叶蛾的种群数量, 从而减少寄主植株的受害率; 对于刚种植寄主植物的农田, 则建议于番茄潜叶蛾种群尚未建立时便释放该寄生蜂<sup>[1]</sup>。而卷蛾分索赤眼蜂 *T. bactrae* 与短管赤眼蜂 *T. pretiosum* 在温室条件下对其虫卵的寄生率也同样较高, 达 87% 以上, 使番茄植株损害明显减少<sup>[30, 48, 51]</sup>, 且成虫羽化率高, 达 97.5%<sup>[47]</sup>。据 Desneux 等<sup>[1]</sup> 报道, 包括这些物种在内的一些赤眼蜂已逐渐被南美国家纳入番茄潜叶蛾的生物防治方案并得以应用, 如在智利和巴拉圭通过引进、释放赤眼蜂于各番茄作物区实现了对该害虫的有效控制。

姬小蜂科寄生蜂是另一类在番茄潜叶蛾防治中被广泛应用的寄生性天敌, 多为该害虫的幼虫寄生蜂(表 1)。其中芙新姬小蜂 *Neochrysocharis formos*、长腹侏姬小蜂 *Necremnus artynes* 及潜叶蛾侏姬小蜂 *Necremnus tutae* 已被认为是该害虫生防的良好候选种类<sup>[1, 24, 27, 53 - 57]</sup>。这几种寄生蜂广泛分布于地中海沿岸各国, 常被发现作为该害虫的自然天敌, 尤其是在世界各地均有分布的芙新姬小蜂 *N. formos*<sup>[1, 12, 27, 58 - 59]</sup>, 应用潜力很大。研究表明, 它们除寄生外均可直接取食寄主幼虫, 从而对该虫的致死率高、控害能力强, 对于我国番茄潜叶蛾的防治具有较高的借鉴价值。如 Guleria 等<sup>[57]</sup> 发现, 芙新姬小蜂 *N. formos* 可寄生、取食该虫 1 ~ 3 龄幼虫, 偏好 2 龄幼虫, 对其总致死率达

61%; 且雌蜂以幼虫为寄主时平均寿命与产卵期较长, 表现出较强的适应力。Crisol-Martínez 等<sup>[56]</sup> 在温室条件下对潜叶蛾侏姬小蜂 *N. tutae* 的研究结果显示, 它在番茄种植周期成功的控制了该害虫的发生, 春、夏季的寄生率达 73%, 取食致死率高达 92%; 有关潜叶蛾侏姬小蜂 *N. tutae* 的饲养和引用, 可通过提供额外的庇护所和食物资源, 如种植荞麦 *Fagopyrum esculentum*、香雪球 *Lobularia maritima* 及金盏菊 *Calendula officinalis* 等蜜源植物作为其补充营养的食物, 以提高其在环境中的适合度, 如寿命、抱卵量、存活率等<sup>[60]</sup>。

除上述姬小蜂外, 茧蜂 *Pseudapanteles dignus* 和 *Bracon nigricans* 这 2 种寄生蜂同样是番茄潜叶蛾幼虫重要的寄生性天敌, 常应用于其生物防治<sup>[12, 45, 61]</sup>。茧蜂 *P. dignus* 广泛分布于美洲, 可在野外自然发生且与番茄潜叶蛾的发生季节具有同步性<sup>[20, 44]</sup>, 如在阿根廷, 田间研究发现它对该害虫自然种群的影响时间可达作物种植季节的 60%, 在作物上表现出对番茄潜叶蛾的聚集反应, 使其种群数量在 9-12 月间减少 33% ~ 49%, 1-6 月间减少达 64%<sup>[20, 62]</sup>; 在易受危害的晚播番茄作物田, *P. dignus* 对该害虫的寄生率可达 46%<sup>[61]</sup>。而茧蜂 *B. nigricans* 广泛分布于古北区, 如在意大利、约旦和西班牙等国家均有其在作物上寄生番茄潜叶蛾的报道<sup>[37, 45]</sup>, 且该茧蜂在实验室条件下对该害虫的控害能力强, 除寄生外还可将其麻痹并直接取食虫体, 总致死率高。

**1.2 捕食性天敌** 番茄潜叶蛾捕食性天敌 97 种, 昆虫纲的天敌约 6 目 20 科 81 种(表 2), 其中半翅目盲蝽科的烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis*、短小长颈盲蝽 *Macrolophus pygmaeus* 的研究和田间运用较多。

表 2 番茄潜叶蛾捕食性天敌种类

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
半翅目 Hemiptera	盲蝽科 Miridae	<i>Nesidiocoris tenuis</i>	卵, 幼虫	意大利、阿尔及利亚、塞浦路斯、埃及、法国、约旦、伊朗、以色列、摩洛哥、西班牙、土耳其	[1, 20, 24, 27, 63-65]
		<i>Macrolophus pygmaeus</i>	卵, 幼虫	阿尔及利亚、法国、意大利、西班牙等地中海国家	[20, 24, 27, 50, 64-65]
		<i>Macrolophus basicornis</i>	卵, 幼虫	-	[66-67]
		<i>Macrolophus fuliginosus</i>	-	意大利	[20]
		<i>Macrolophus caliginosus</i>	-	意大利	[20]

续表 2

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
		<i>Macrolophus</i> sp.	卵, 幼虫	巴西	[68]
		<i>Tupiocoris cucurbitaceus</i>	-	阿根廷	[20]
		<i>Engytatus</i> sp.	卵, 幼虫	巴西	[68]
		<i>Engytatus varians</i>	卵, 幼虫	-	[67]
		<i>Campyloneuropsis</i> sp.	卵, 幼虫	巴西	[68]
		<i>Campyloneuropsis infumatus</i>	卵, 幼虫	-	[67]
		<i>Dicyphus maroccanus</i>	卵, 幼虫	地中海国家	[24]
		<i>Dicyphus tamaninii</i>	卵, 幼虫	阿尔及利亚	[24]
		<i>Dicyphus</i> sp.	卵, 幼虫	法国、意大利	[24, 27]
		<i>Dicyphus errans</i>	卵, 1龄幼虫	意大利、阿尔及利亚	[20, 24]
		<i>Deraeocoris serenus</i>	-	土耳其	[69]
花蝽科	Anthocoridae	<i>Amphiareus constrictus</i>	卵	巴西	[70]
		<i>Blaptostethus pallescens</i>	卵	巴西	[70]
		<i>Orius tristicolor</i>	卵	巴西	[70]
		<i>Orius albidipennis</i>	-	约旦	[24]
		<i>Orius</i> sp.	卵, 幼虫	巴西、约旦	[1, 20, 24]
		<i>Orius insidiosus</i>	卵, 幼虫	委内瑞拉	[1]
		<i>Xylocoris</i> sp.	卵, 幼虫	巴西	[1, 71]
拟猎蝽科	Nabidae	<i>Nabis pseudoferus</i>	-	西班牙等地中海国家	[1, 24]
		<i>Nabis</i> sp.	卵, 幼虫	巴西、智利、伊朗	[1, 24]
		<i>Nabis punctatus punctatus</i>	-	土耳其	[69]
猎蝽科	Reduviidae	<i>Debilis</i> sp.	幼虫	巴西	[1]
		<i>Zelus obscuridorsis</i>	幼虫, 成虫	阿根廷	[72]
蝽科	Pentatomidae	<i>Podisus nigrispinus</i>	幼虫	巴西	[1]
长蝽科	Lygaeidae	<i>Geocoris punctipes</i>	卵, 幼虫	巴西	[68]
		<i>Geocoris megacephalus</i>	-	土耳其	[69]
		<i>Geocoris</i> sp.	卵, 幼虫	巴西	[1]
瘤蝽科	Phymatidae	<i>Phymata</i> sp.	幼虫	巴西	[1]
鞘翅目	Coleoptera	虎甲科 Cicindellidae			
		<i>Cicindela</i> sp.	-	土耳其	[69]
		<i>Stethorus gilvifrons</i>	-	土耳其	[69]
		<i>Scymnus levallanti</i>	-	土耳其	[69]
		<i>Adonia variegata</i>	-	土耳其	[69]
		瓢虫科 Coccinellidae			
		<i>Harmonia axyridis</i>	幼虫	中国	[73]
		<i>Propylea japonica</i>	幼虫	中国	[73]
		<i>Coccinella septempunctata</i>	-	土耳其	[69]
		<i>Coccinella undecimpunctata</i>	-	土耳其	[69]
		<i>Coleomegilla maculata</i>	卵, 幼虫	巴西	[1]

续表 2

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
		<i>Cycloneda sanguinea</i>	卵	巴西	[1, 71]
		<i>Eriopsis conexa</i>	卵	巴西	[1]
		<i>Oenopia conglobata</i>	-	土耳其	[69]
	步甲科 Carabidae	Carabidae sp.	蛹	厄瓜多尔	[1]
		<i>Calosoma</i> sp.	幼虫	巴西	[1]
		<i>Calosoma granulatum</i>	幼虫, 蛹, 成虫	巴西	[1]
		<i>Lebia</i> sp.	幼虫, 蛹, 成虫	巴西	[1]
		<i>Lebia concina</i>	幼虫, 蛹, 成虫	巴西	[1]
		<i>Selenophorus</i> sp.	幼虫, 蛹, 成虫	巴西	[1]
	隐翅虫科 Staphylinidae	Staphylinidae sp.	-	巴西	[1, 71]
	蚁形甲科 Anthicidae	<i>Anthicus</i> sp.	-	巴西	[1, 71]
膜翅目 Hymenoptera	胡蜂科 Vespidae	<i>Brachygastra lecheguana</i>	幼虫	巴西	[1, 74]
		<i>Polistes</i> sp.	幼虫	巴西、智利	[1]
		<i>Polistes carnifex</i>	幼虫	巴西	[1]
		<i>Polistes melanosoma</i>	幼虫	巴西	[1]
		<i>Polistes versicolor</i>	幼虫	巴西	[1]
		<i>Protonectarina sylveirae</i>	幼虫	巴西	[1, 74]
		<i>Protopolybia exigua</i>	幼虫	巴西	[1, 74]
		<i>Polybia</i> sp.	幼虫	巴西	[1]
		<i>Polybia scutellaris</i>	幼虫	巴西	[1, 74]
		<i>Polybia ignobilis</i>	幼虫	巴西	[1, 74]
		<i>Polybia fastidiosuscula</i>	幼虫	-	[74]
		<i>Synoeca cyanea</i>	幼虫	巴西	[1, 74]
		Vespidae sp.	幼虫	地中海国家	[74]
	泥蜂科 Sphecidae	Sphecidae sp.	幼虫	西班牙	[24]
	蚁科 Formicidae	<i>Diacamma rugosum</i>	蛹	印度	[75]
		<i>Pheidole</i> sp.	幼虫, 蛹, 成虫	厄瓜多尔	[1, 71]
		<i>Solenopsis saevissima</i>	幼虫, 蛹, 成虫	巴西	[1, 71]
		<i>Solenopsis geminata</i>	幼虫, 蛹, 成虫	厄瓜多尔	[1, 71]
		<i>Tapinoma nigerrimum</i>	幼虫	阿尔及利亚	[24]
脉翅目 Neuroptera	草蛉科 Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i>	-	埃及	[24]
		<i>Chrysoperla externa</i>	幼虫	-	[1]
		<i>Chrysoperla</i> sp.	幼虫	巴西	[1]
		<i>Chrysopa</i> sp.	幼虫	巴西	[1]
缨翅目 Thysanoptera	纹蓟马科 Aeolothripidae	<i>Franklinothrips vespiformis</i>	卵	巴西	[1]
	纹蓟马科 Thripidae	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	卵	巴西	[1]
	管蓟马科 Phlaeothripidae	Phlaeothripidae sp.	卵	巴西	[1]



续表 2

目	科	属/种	靶标虫态	分布	文献来源
革翅目 Dermaptera	蠼螋科 Labiduridae	<i>Doru lineare</i>	卵	巴西	[1]
		<i>Labidura riparia</i>	蛹	厄瓜多尔	[1]
中气门目 Mesostigmata	植绥螨科 Phytoseiidae	<i>Cydnoseius negevi</i>	卵, 幼虫	-	[76-77]
		<i>Amblyseius largoensis</i>	卵, 幼虫	-	[76-77]
		<i>Amblyseius swirskii</i>	卵, 1龄幼虫	西班牙等地中海国家	[1, 24, 71]
		<i>Amblyseius cucumeris</i>	卵, 1龄幼虫	西班牙等地中海国家	[1, 24, 71]
		<i>Neoseiulus californicus</i>	卵	-	[76]
		<i>Neoseiulus barkeri</i>	卵, 幼虫	-	[76-77]
		<i>Euseius scutalis</i>	卵	-	[76]
		<i>Phytoseius finitimus</i>	卵	-	[76]
		<i>Proprioseiopsis badri</i>	卵	-	[76]
			蒲螨科 Pyemotidae	<i>Pyemotes</i> sp.	幼虫, 蛹, 成虫
蜘蛛目 Araneae	猫蛛科 Oxyopidae	<i>Oxyopes lineatus</i>	成虫	伊朗	[78]
	平腹蛛科 Gnaphosidae	<i>Gnaphosidae</i> sp.	-	巴西	[1]
	狼蛛科 Lycosidae	<i>Lycosidae</i> sp.	幼虫, 蛹, 成虫	厄瓜多尔	[1]
	跳蛛科 Salticidae	<i>Salticidae</i> sp.	-	巴西	[1]
	蟹蛛科 Thomisidae	<i>Thomisidae</i> sp.	-	巴西	[1]
	园蛛科 Araneidae	<i>Araneidae</i> sp.	-	巴西	[1, 71]

\*-表示未有相关记录。

烟盲蝽 *N. tenuis* 是番茄潜叶蛾常见的捕食性天敌, 世界各地已有其在田间捕食该害虫的案例, 如该害虫入侵欧洲后, 烟盲蝽 *N. tenuis* 便很快适应将其作为捕食对象<sup>[26-27, 63, 79]</sup>。据 Mollà等<sup>[80]</sup>的研究报道, 烟盲蝽 *N. tenuis* 偏好取食该害虫的1龄幼虫, 通过温室试验释放该天敌, 作物叶片、果实的受害率分别减少了约97%、100%。由于烟盲蝽 *N. tenuis* 在田间释放的应用中对该害虫表现出良好控效, 目前已被纳入各地区该害虫的生物防治策略并得到广泛应用<sup>[24, 64, 81]</sup>。应用时, 可将种植于苗圃且已有烟盲蝽 *N. tenuis* 产卵的番茄植株移植到田间, 移植前平均在每株番茄植株释放0.5头烟盲蝽 *N. tenuis*, 以地中海粉螟 *E. kuehniella* 作为其替代猎物饲喂, 这一策略可使烟盲蝽 *N. tenuis* 种群在田间迅速增殖到控制番茄潜叶蛾所需的数量。如在西班牙南部, 2010-2012年以释放烟盲蝽 *N. tenuis* 的生防方法已在3500 hm<sup>2</sup>以上的商业番茄温室中成功使用, 实现对该害虫的有效防控<sup>[39]</sup>。然而, 烟盲蝽 *N. tenuis* 会被该害虫取食

过的植物所产生的挥发物所吸引, 可能会因此大量聚集使猎物在局部匮乏, 迫使它们向周边蔓延取食附近植株进而造成损害, 故此在运用该害虫进行防治时要有良好的管理措施<sup>[65, 82]</sup>。

短小长颈盲蝽 *M. pygmaeus* 原产于欧洲<sup>[27, 64]</sup>, 对番茄潜叶蛾的适应力强, 如 Biondi等<sup>[27]</sup>在法国南部发现该种盲蝽与烟盲蝽共同发生, 是番茄潜叶蛾的主要捕食性天敌。研究表明, 该天敌对番茄潜叶蛾具有良好的控效, 如 Mollà等<sup>[80]</sup>在温室条件的研究发现, 短小长颈盲蝽 *M. pygmaeus* 每天可取食大量该害虫的卵, 它的释放使作物叶片、果实受害率分别减少76%、56%。Arnò等<sup>[83]</sup>也证明了它对该害虫具有良好的控害能力, 甚至显著优于杀虫剂的效果。此外, 短小长颈盲蝽 *M. pygmaeus* 会转变为攻击数量比例较高的猎物, 而入侵物种一般具有较强的增殖能力, 因此该盲蝽能有效控制它们的种群数量<sup>[64]</sup>, 这个特点让它在控制番茄潜叶蛾时有积极作用。再者, 该种盲蝽一般不会对害植物, 使用上更安全<sup>[65, 84]</sup>。

因对良好的防空效果,烟盲蝽和短小长颈盲蝽这 2 种天敌在对入侵害虫番茄潜叶蛾的生物防治方面具有重要的应用前景。在释放前的饲养期间,可以提前让其接触猎物,以减少释放到田间时搜寻猎物的成本<sup>[65]</sup>。

## 2 病原微生物的应用

**2.1 病原真菌** 昆虫病原真菌具有广谱作用,在自然条件下可引起昆虫流行病,相对于化学农药具有环境安全性和可繁殖扩散的优势;且对非靶标生物的毒性低,而靶标昆虫产生抗性的风险低,是一种对环境友好的化学农药替代品<sup>[85-86]</sup>。相比其他病原真菌,白僵菌 *Beauveria bassiana* (Vuill)、绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* (Sorokin) 在番茄潜叶蛾的生物防治中的研究较多,控害效果好,极具应用前景,但尚未有针对该害虫的商业产品<sup>[12, 86-89]</sup>。Rodríguez 等<sup>[88-89]</sup> 研究发现,白僵菌 *B. bassiana* Qu-B912 菌株的效果最好,使该害虫卵的死亡率最高达 80%,3 龄幼虫致死率达 68%;而绿僵菌 *M. anisopliae* Qu-M558 菌株卵死亡率为 60%。Klieber 和 Reineke<sup>[86]</sup> 的研究同样证明了白僵菌 *B. bassiana* 对幼虫较强的致死作用(校正死亡率为 90%~100%);此外,该菌还可作为内生真菌长时间定殖于植株组织中,作用持久且不会抑制植株生长。Contreras 等<sup>[90]</sup> 发现,绿僵菌 *M. anisopliae* variety *anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin 还可对番茄潜叶蛾蛹产生较强杀灭作用( $LC_{90}=3\times 10^9$  个 $L^{-1}$ )。

**2.2 病原细菌** 苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis* Berliner(Bt)是目前在农业生产上应用较为广泛的昆虫病原细菌杀虫剂。具有杀虫效果显著、特异性好、对多种害虫具有胃毒作用、对人畜无毒和不污染环境等诸多优点<sup>[91-92]</sup>。目前,国内外已有关于 Bt 用于防治番茄潜叶蛾的报道,主要使用商业菌株 *B. thuringiensis* var. *kurstaki* 和 *B. thuringiensis* var. *aizawai*<sup>[12, 92-94]</sup>。Gonzalez-Cabrera 等<sup>[94]</sup> 发现,在实验室条件下 Bt 对该害虫 1~3 龄幼虫控效良好,可使幼虫和成虫数量均明显减少,同时显著减少该虫对寄主的危害;在温室和露地,喷有各浓度 Bt 的区域的寄主叶片、果实受损率均显著低于对照组。在国内,张桂芬等<sup>[92]</sup> 对 Bt G033A 控制番茄潜叶蛾的效果进行测评,室内实验结果显示,各浓度 Bt G033A 对各龄期幼虫具有

较好的毒杀活性,以带药叶片分别饲喂 1~3 龄幼虫 96 h,基本所有浓度组别的校正死亡率达 95% 以上;田间结果则显示,全株喷雾处理 5、7 d 后,1 龄幼虫的校正死亡率分别为 89.1%、100%,而 2 龄幼虫的分别为 98%、100%。综上,Bt 在室内和室外条件均表现出对该害虫较强的控制作用,应用前景非常广阔。此外,Bt 还可与其他生防方法联合使用,如天敌昆虫等,从而进一步提高防效、减少化学药剂的使用<sup>[94]</sup>。

**2.3 病原线虫** 目前害虫防治中应用最广的昆虫病原线虫(EPNs)主要是斯氏科 *Steinernematidae* 和异小杆科 *Heterorhabditidae*<sup>[95]</sup>。在利用昆虫病原线虫进行防治时,害虫在植物上的栖息环境是控效的决定因素之一。病原线虫适于隐蔽性害虫的防治,如果树、林木和绿化树种中的钻蛀性害虫及一些土栖害虫等<sup>[95]</sup>,果实孔洞和叶片虫道等隐蔽环境能为线虫提供良好的栖息地,比暴露于叶片上更有效地避免不利的环境因素(如干燥和紫外线)<sup>[96]</sup>。番茄潜叶蛾幼虫的生长、取食环境可满足病原线虫的需求,因此病原线虫在该害虫的生防中可能具有较大的应用潜力。有关病原线虫对番茄潜叶蛾的防效也有相关的研究,如 Batalla-Carrera 等<sup>[97]</sup> 发现,3 种病原线虫小卷蛾斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae*、夜蛾斯氏线虫 *Steinernema feltiae* 和嗜菌异小杆线虫 *Heterorhabditis bacteriophora* 对番茄叶片表面和潜道中幼虫控制效果良好、作用迅速,当剂量为 25 IJs $\cdot$ cm<sup>-2</sup> 时,3 种线虫对幼虫的致死率分别达 85.7%、100% 和 78.6%;当幼虫暴露于线虫 3 h,死亡率便达 63%~86%。同时,它们在土壤中的控效同样较好,能以从叶片上掉落的幼虫为寄主,从而增加了它们自身在土壤中的可持续性,García-del-Pino 等<sup>[98]</sup> 研究发现,上述 3 种线虫对土壤中幼虫的致死率分别可达 100%、52.3%、96.7%。

## 3 植物源提取物的利用

利用植物本身或从植物中提取的活性成分,或按活性结构合成的有机化合物及衍生物均可加工成植物源农药制剂。Cunha 等<sup>[99-100]</sup> 研究发现楝科鹧鸪花属植物 *Trichilia pallida* Swartz (Meliaceae) 的水浸提取物对番茄潜叶蛾具有较高的杀虫活性,而二氯甲烷(DIC)提取物杀虫活性在有机物提

取物中最高;随后以 DIC 提取 *T. pallida* Swartz 的叶片与果实,将分离化合物溶解于丙醇并喷洒幼虫,发现叶片提取物中分离的三萜烯类 24-methylenecycloarta-3 beta-ol、甾醇类 24-methylene-3,22-dihydroxycholesterol, 及果实提取物中分离的柠檬苦素类 limonoid gedunine 对其幼虫控制最有效,使其发育迟缓、存活率降低。Moreira 等<sup>[101]</sup>证明藿香蓟 *Ageratum conyzoides* 的正己烷提取物对该虫有一定的毒性作用,在对活性化合物成分的生测和分离鉴定中发现,该虫容易受其中的化合物香豆素 coumarin 的影响。Kona 等<sup>[102]</sup>发现,印楝 *Azadirachta indica* 种子的乙醇提取物和麻疯树 *Jatropha curcus* 种子的石油醚提取物对其卵和幼虫有较好的杀灭活性,印楝和麻疯树提取物处理 4 d 时,卵的致死率分别为 25%、18%;对于幼虫致死率,处理 1 d 时分别为 33%~46.7%、23.5%~48.5%,处理 4 d 时最高可达 100%。此外,胡椒属 *Piper amalago* var. *Medium*、*Piper glabratum*、*Piper mikanianum* 和 *Piper mollicomum* 的乙醇提取物也有较好的杀虫活性,尤其是 *P. amalago* var. *Medium*,还可使其幼虫期和蛹期显著延长<sup>[103]</sup>。而罗勒属的 *Ocimum gratissimum* L. 和 *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) 则可通过挥发物的作用,抑制附近番茄植株上雌成虫的产卵行为<sup>[104]</sup>。这些研究成果为我国番茄潜叶蛾植物源农药的研究和开发提供了有价值的参考。

#### 4 RNAi 等生物技术的应用

RNA 干扰(RNAi)等新兴生物技术介导的农业害虫防治的潜在价值已迅速显现,在害虫生物防治中有广阔的应用前景<sup>[105-106]</sup>。近年,也有 RNAi 用于番茄潜叶蛾生物防治研究的相关报道。如 Camargo 等<sup>[106-107]</sup>鉴定了来自保幼激素和蜕皮甾类生物合成途径的基因,作为系统沉默的潜在靶基因,筛选出该虫 1 龄幼虫阶段高度表达的 5 个候选靶基因,用体外转录 dsRNA 液体浸泡番茄叶片喂食其 1 龄幼虫以干扰靶基因,使幼虫体重显著下降,表现出了良好的防治潜力;之后,他们又通过番茄叶柄吸收 dsRNA 与基于植物内诱导瞬时基因沉默(PITGS)将 dsRNA 导入番茄叶片,导致以该番茄叶为食的幼虫的目标基因 (*Vacuolar ATPase-A* 和 *Arginine kinase*) 的转录产

物积累减少 60%,幼虫死亡率增加,从而使番茄植株的受害明显减少,证明了 RNAi 作为防控该害虫替代方法的可行性。此外,番茄抗性品种的选育对番茄潜叶蛾的发生与危害也具有良好的控制作用<sup>[1]</sup>。抗性品种的研究多集中在番茄叶片化感物质与表皮腺毛密度,如腺毛中 2-十三烷酮 2-tridecanone、姜黄烯 zingiberene 和酰基糖 acyl sugars 等物质对该害虫幼虫取食与成虫产卵等生长发育具有很强的抑制作用,或对生理机能造成影响,如导致其拒食寄主植物。目前,有望推出一些商业的抗虫番茄品种,如有研究已获得高酰基糖育种系。然而人为改变作物对番茄潜叶蛾的抗性可能影响番茄植物上或环境中的其它生物,产生不可预料的连锁效应,因此该方面内容还需要开展更多的研究<sup>[12]</sup>。

#### 5 展 望

番茄潜叶蛾从南美洲入侵到欧洲,近年已在欧亚非大陆迅速扩散,使全球番茄产业严重受挫。并且近年该虫已入侵我国新疆、云南、甘肃等地区<sup>[10,92]</sup>,使我国番茄等产业面临着巨大威胁<sup>[8]</sup>。目前,国内外对该害虫的防治仍非常依赖化学药物,使害虫抗性、环境污染和农作物安全等问题日趋严重,并且由于该虫具有有害隐蔽的特点,化学药剂在防治中已难以发挥理想的效果。因此安全、可靠、高效的防治方法,已成为该虫综合治理的重要研究方向。以天敌昆虫和病原微生物等防控该害虫的生物防治手段由于具有绿色、安全等优点已被世界各国列入该害虫的综合治理策略(IPM),正在发挥重要作用<sup>[24,50,81]</sup>。因此,为了我国番茄等产业的产量保证、质量安全和可持续发展,需加快对适用于番茄潜叶蛾生防方法的研究并得以应用。

天敌昆虫的利用是生物防治中研究较多且应用较为广泛的方法,由于番茄潜叶蛾原产于南美洲并最早在该地区扩散和为害,大量种类的天敌分布于此,该地区很早便以天敌昆虫进行防治并取得了良好的成效,且对其天敌资源有较系统的调查和评价。而该虫作为我国一种新的入侵害虫,天敌资源的缺乏是其在我国快速扩散为害的重要原因之一<sup>[10]</sup>。因此,引进优势天敌用于生物防治是我国防治该害虫切实可行的方案<sup>[23]</sup>。但不同

的天敌种类、地区环境条件等会对防效造成一定影响, 所以如果将国外的天敌安全、成功的引入并应用于我国番茄潜叶蛾的防治, 还需充分研究原产地天敌昆虫物种的基本生物生态学特性及其控害潜能等, 与环境、经济或健康等多方面进行权衡, 评估引入天敌的条件, 如天敌与害虫的季节或发育的同步性, 在目标作物上寻找害虫并建立种群的能力, 对农作物、环境和其它同域生物有无不利影响; 批量生产的成本效益、发货和放行等问题, 及其性能稳定性等<sup>[1, 25]</sup>。

此外, 国际上利用番茄潜叶蛾发生地的本土天敌昆虫对其进行防控也越来越受到关注。研究人员发现一些本土的天敌昆虫可自然的寄生或取食该害虫<sup>[1]</sup>, 并且这些天敌在研究中也表现出对其较强的控害能力, 具有重要的应用前景, 如寄生性天敌芙新姬小蜂 *N. formosa*、长腹侏姬小蜂 *N. artynes*、潜叶蛾侏姬小蜂 *N. tutae* 等<sup>[36, 58 - 59, 108]</sup>, 以及捕食性烟盲蝽 *N. tenuis* 和短小长颈盲蝽 *M. pygmaeus*<sup>[63 - 64]</sup>。因此, 我国本土天敌昆虫资源的开发与应用是未来该害虫生物防治的重要研究方向之一。已有研究发现, 一些本土的天敌昆虫对番茄潜叶蛾幼虫有较好的捕食作用, 具有较高潜力应用于该害虫的防治, 如异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 和龟纹瓢虫 *Propylea japonica*<sup>[73]</sup>; 而芙新姬小蜂 *N. formosa* 和烟盲蝽 *N. tenuis* 等国际研究较多的部分天敌昆虫在我国也有较广泛的分布, 并且这些天敌在田间可作为多种重要农业害虫的优势天敌<sup>[109 - 110]</sup>。此外, 在我国也分布有与这些已报道天敌昆虫同属的近缘物种, 如姬小蜂科的侏姬小蜂 *Necremnus* spp.、格姬小蜂 *Pnigalio* spp.、羽角姬小蜂 *Sympiesis* spp. 等<sup>[111]</sup>, 值得从中挖掘对该害虫具有防控潜力的物种。再者, 也可考虑从该害虫近缘物种的天敌着手, 如同为麦蛾科的甘薯麦蛾 *Brachmia macroscopa* 和马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* 等的天敌种类。然而天敌昆虫运用于我国番茄潜叶蛾的田间防治前应开展更多的研究, 充分评估它们对该害虫的防控效果和对寄主植物有无不利影响, 以及环境因素对天敌昆虫本身的影响, 如农药的副作用、天敌与番茄农业生态系统中其他生物的互作关系及温度对防治效果的影响等; 此外, 它们的规模化生产、田间释放技术等产业化流程仍有待进一步研究与

完善。

除天敌昆虫外, 病原微生物<sup>[87 - 89, 93 - 94, 97]</sup>、植物源提取物以及近年新兴的 RNAi<sup>[99 - 100, 102, 106 - 107]</sup> 等生物防治方法在众多研究也展现出对该害虫较高的防控潜力。此外, 多种生物防治方法的联合使用已被证明可提高防效, 如天敌昆虫之间联合应用或与病原微生物、性信息素等其他生物防治方法结合<sup>[26, 35, 40, 51, 112]</sup>。因此, 有效的生物防治方案可以建立在天敌间联合释放的基础上, 也可将天敌昆虫与其他高效、绿色环保的防治手段相结合。

## 参考文献:

- [1] DESNEUX N, WAJNBERG E, WYCKHUYS K A G, et al. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control [J]. *Journal of Pest Science*, 2010, 83(3): 197 - 215.
- [2] 张桂芬, 刘万学, 万方浩, 等. 世界毁灭性检疫害虫番茄潜叶蛾的生物生态学及危害与控制[J]. *生物安全学报*, 2018, 27(3): 155 - 163.
- [3] VISSER D, UYS V M, NIEUWENHUIS R J, et al. First records of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in South Africa [J]. *BioInvasions Records*, 2017, 6(4): 301 - 305.
- [4] SANTANA P A, KUMAR L, SILVA R S, et al. Global geographic distribution of *Tuta absoluta* as affected by climate change [J]. *Journal of Pest Science*, 2019, 92(4): 1373 - 1385.
- [5] FAO (Food and Agriculture Organization). Online statistical database: food and agriculture data. FAOSTAT [EB/OL]. (2012) [2022-09-23]. <http://www.fao.org/faostat>.
- [6] FAO (Food and Agriculture Organization). Online statistical database: food and agriculture data. FAOSTAT [EB/OL]. (2017) [2022-09-23]. <http://www.fao.org/faostat>.
- [7] XIAN X Q, HAN P, WANG S, et al. The potential invasion risk and preventive measures against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in China [J]. *Entomologia Generalis*, 2017, 36(4): 319 - 333.
- [8] 洗晓青, 张桂芬, 刘万学, 等. 世界性害虫番茄潜麦蛾入侵我国的风险分析[J]. *植物保护学报*, 2019, 46(1): 49 - 55.
- [9] 张桂芬, 马德英, 刘万学, 等. 中国新发现外来入侵害虫—南美番茄潜叶蛾(鳞翅目: 麦蛾科)[J]. *生物安全学报*, 2019, 28(3): 200 - 203.
- [10] 张桂芬, 洗晓青, 张毅波, 等. 警惕南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 在中国扩散[J]. *植物保护*, 2020, 46(2): 281 - 286.
- [11] CABI. Invasive species compendium *Phthorimaea absoluta* (tomato leafminer) datasheet [EB/OL]. (2020-11-

- 30) [2022-09-23]. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/49260#:~:text=Phthorimaea absoluta>.
- [12] BIONDI A, GUEDES R N C, WAN F H, et al. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future [J]. *Annual Review of Entomology*, 2018, 63: 239 – 258.
- [13] 张桂芬, 张毅波, 刘万学, 等. 诱捕器颜色和悬挂高度对番茄潜叶蛾诱捕效果的影响 [J]. *中国农业科学*, 2021, 54(11): 2343 – 2354.
- [14] SALAZAR E R, ARAYA J E. Detection of insecticide resistance in the tomato moth [J]. *Simiente*, 1997, 67: 8 – 22.
- [15] SIQUEIRA H A A, GUEDES R N C, PICAÑO M C. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Agriculture and Forest Entomology*, 2000, 2(2): 147 – 153.
- [16] LIETTI M M M, BOTTO E, ALZOGARAY R A. Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2005, 34: 113 – 119.
- [17] GUEDES R N C, PICAÑO M C. The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: pest status, management and insecticide resistance [J]. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 2012, 42(2): 211 – 216.
- [18] SALAZAR E R, ARAYA J E. Response of the tomato moth, *Tuta absoluta* (Meyrick), to insecticides in Arica, Chile [J]. *Agricultura Tecnica*, 2001, 61(4): 429 – 435.
- [19] SIQUEIRA H A A, GUEDES R N C, FRAGOSO D B, et al. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *International Journal of Pest Management*, 2001, 47(4): 247 – 251.
- [20] LUNA M G, SÁNCHEZ N E, PEREYRA P C, et al. Biological Control of *Tuta absoluta* in Argentina and Italy: evaluation of indigenous insects as natural enemies [J]. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 2012, 42(2): 260 – 267.
- [21] JOSHI A, THAPA R B, KALAUNI D. Integrated management of South American tomato leaf miner [*Tuta absoluta* (Meyrick)]: a review [J]. *Journal of the Plant Protection Society*, 2018, 5: 70 – 86.
- [22] CABELLO T, GALLEGO J R, VILA E, et al. Biological Control of the South American tomato pinworm, *Tuta absoluta* (Lep. : Gelechiidae), with releases of *Trichogramma achaeae* (Hym. : Trichogrammatidae) in tomato greenhouses of Spain [J]. *IOBC/WPRS Bulletin*, 2009, 49: 225 – 230.
- [23] ZHANG Y B, TIAN X C, WANG H, et al. Host selection behavior of the host-feeding parasitoid *Necremnus tuta* on *Tuta absoluta* [J]. *Entomologia Generalis*, 2021, 42(3): 445 – 456.
- [24] ZAPPALÀ L, BIONDI A, ALMA A, et al. Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies [J]. *Journal of Pest Science*, 2013, 86(4): 635 – 647.
- [25] VAN LENTEREN J C, BUENO V H P, BURGIO G, et al. Pest kill rate as aggregate evaluation criterion to rank biological control agents: a case study with Neotropical predators of *Tuta absoluta* on tomato [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2019, 109(6): 812 – 820.
- [26] CABELLO T, GALLEGO J R, FERNÁNDEZ F J, et al. Biological Control strategies for the South American tomato moth (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse Tomatoes [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105(6): 2085 – 2096.
- [27] BIONDI A, CHAILLUCUX A, LAMBION J, et al. Indigenous natural enemies attacking *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Southern France [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2013, 23(1): 117 – 121.
- [28] OLIVEIRA L, DURÃO A C, FONTES J, et al. Potential of *Trichogramma achaeae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Biological Control of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Azorean Greenhouse Tomato Crops [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110(5): 2010 – 2015.
- [29] MOHAMADI P, RAZMJOU J, NASERI B, et al. Humic fertilizer and vermicompost applied to the soil can positively affect population growth parameters of *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2017, 46(6): 678 – 684.
- [30] SARHAN A A, OSMAN M A M, MANDOUR N S, et al. Parasitization capability of four trichogrammatid species against the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under different releasing regimes [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2015, 25(1): 107 – 112.
- [31] ABBES K, HARBI A, CHERMITI B. The tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) in Tunisia: current status and management strategies [J]. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 2012, 42(2): 226 – 233.
- [32] EL-ARNAOUTY S A, PIZZOL J, GALAL H H, et al. Assessment of two *Trichogramma* species for the control of *Tuta absoluta* in North African tomato greenhouses [J]. *African Entomology*, 2014, 22(4): 801 – 809.
- [33] ALSAEDI G, ASHOURI A, TALAEI-HASSANLOUI R. Assessment of two *Trichogramma* species with *Bacillus thuringiensis* var. *krustaki* for the control of the tomato leafminer *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) in Iran [J]. *Open Journal of Ecology*, 2017, 7(2): 112 – 124.
- [34] CHAILLEUX A, BEAREZ P, PIZZOL J, et al. Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta* [J]. *Journal of Pest Science*, 2013, 86(3): 533 – 541.

- [35] CALVO F J, SORIANO J D, STANSLY P A, et al. 2016. Can the parasitoid *Necremnus tuta* (Hymenoptera: Eulophidae) improve existing biological control of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae)? [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2016, 1(4): 1 – 10.
- [36] FERRACINI C, INGEGNO B L, NAVONE P, et al. Adaptation of indigenous larval parasitoids to *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Italy [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105(4): 1311 – 1319.
- [37] ZAPPALÀ L, BERNARDO U, BIONDI A, et al. Recruitment of native parasitoids by the exotic pest *Tuta absoluta* in Southern Italy [J]. *Bulletin of Insectology*, 2012, 65(1): 51 – 61.
- [38] BAYRAM Y, GÜLER Y, FURSOV V, et al. First record of *Necremnus cosmopterix* Ribeset Bernardo, 2015 (Hymenoptera: Eulophidae), as a larval parasitoid of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Turkey [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2016, 26(4): 847 – 848.
- [39] URBANEJA A, GONZALEZ-CABRERA J, ARNÓ J, et al. Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin [J]. *Pest Management Science*, 2012, 68(9): 1215 – 1222.
- [40] CHAILLEUX A, DROUI A, BEAREZ P, et al. Survival of a specialist natural enemy experiencing resource competition with an omnivorous predator when sharing the invasive prey *Tuta absoluta* [J]. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(20): 8329 – 8337.
- [41] GABARRA R, ARNÓ J, LARA L, et al. Native parasitoids associated with *Tuta absoluta* in the tomato production areas of the Spanish Mediterranean Coast [J]. *BioControl*, 2014, 59(1): 45 – 54.
- [42] YARAHMADI F, SALEHI Z, LOTFALIZADEH H. Two species of the genus *Elachertus* Spinola (Hym.: Eulophidae) new larval ectoparasitoids of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae) [J]. *Journal of Crop Protection*, 2016, 5(3): 413 – 418.
- [43] MELO M, CAMPOS A D. Occurrence of natural enemies on tomato moth *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera, Gelechiidae) in Pelotas, Rio Grande do Sul [J]. *Agropecuaria Clima Temperado*, 2000, 3(2): 269 – 274.
- [44] LUNA M G, SÁNCHEZ N E, PEREYRA P C. Parasitism of *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae) by *Pseudapanteles dignus* (Hymenoptera, Braconidae) under laboratory conditions [J]. *Environmental Entomology*, 2007, 36(4): 887 – 893.
- [45] BIONDI A, DESNEUX N, AMIENS-DESNEUX E, et al. Biology and developmental strategies of the Palearctic parasitoid *Bracon nigricans* (Hymenoptera: Braconidae) on the neotropical moth *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106(4): 1638 – 1647.
- [46] IDRIS G E A, MOHAMED S A, KHAMIS F, et al. Biology and performance of two indigenous larval parasitoids on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Sudan [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2018, 28(6): 614 – 628.
- [47] BALLAL C R, GUPTA A, MOHAN M, et al. The new invasive pest *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in India and its natural enemies along with evaluation of Trichogrammatids for its Biological Control [J]. *Current Science*, 2016, 110(11): 2155 – 2159.
- [48] PARRA J R P, ZUCCHI R A. *Trichogramma* in Brazil: feasibility of use after twenty years of research [J]. *Neotropical Entomology*, 2004, 33(3): 271 – 281.
- [49] CHAILLEUX A, DESNEUX N, SEGURET J, et al. Assessing European egg parasitoids as a mean of controlling the invasive South American tomato pinworm *Tuta absoluta* [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(10): e48068.
- [50] CHAILLEUX A, BIONDI A, HAN P, et al. Suitability of the pest-plant system *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) - tomato for *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitoids and insights for Biological Control [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106(6): 2310 – 2321.
- [51] GODA N F, EL-HENEIDY A H, DJELOUAH K, et al. Integrated pest management of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato fields in Egypt [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2015, 25(3): 655 – 661.
- [52] CABELLO T, GÁMEZ M, VARGA Z, et al. Selection of *Trichogramma* spp. (Hym.: Trichogrammatidae) for the biological control of *Tuta absoluta* (Lep.: Gelechiidae) in greenhouses by an entomo-ecological simulation model [J]. *IOBC/WPRS Bulletin*, 2012, 80: 171 – 176.
- [53] CALVO F J, SORIANO J D, BOLCKMANS K, et al. Host instar suitability and life-history parameters under different temperature regimes of *Necremnus artynes* on *Tuta absoluta* [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2013, 23(7): 803 – 815.
- [54] BODINO N, FERRACINI C, TAVELLA L. Is host selection influenced by natal and adult experience in the parasitoid *Necremnus tuta* (Hymenoptera: Eulophidae)? [J]. *Animal Behaviour*, 2016, 112: 221 – 228.
- [55] BODINO N, FERRACINI C, TAVELLA L. Functional response and age-specific foraging behavior of *Necremnus tuta* and *N. cosmopterix*, native natural enemies of the invasive pest *Tuta absoluta* in Mediterranean area [J]. *Journal of Pest Science*, 2019, 92: 1467 – 1478.
- [56] CRISOL-MARTÍNEZ E, VAN DER BLOM J. *Necremnus tuta* (Hymenoptera, Eulophidae) is widespread and efficiently controls *Tuta absoluta* in tomato greenhouses in SE Spain [J]. *IOBC/WPRS Bulletin*, 2019, 147: 22 – 29.
- [57] GULERIA P, SHARMA P L, VERMA S C, et al. Life history traits and host-killing rate of *Neochrysocharis formosa* on *Tuta absoluta* [J]. *BioControl*, 2020, 65(9): 401 – 411.

- [58] LUNA M G, WADA V I, LA SALLE J, et al. *Neochrysocharis formosa* (Westwood) (Hymenoptera: Eulophidae), a newly recorded parasitoid of the tomato moth, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Argentina [J]. *Neotropical Entomology*, 2011, 40(3): 412 – 414.
- [59] GEBIOLA M, BERNARDO U, RIBES A, et al. An integrative study of *Necremnus* Thomson (Hymenoptera: Eulophidae) associated with invasive pests in Europe and North America: taxonomic and ecological implications [J]. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2015, 173(2): 352 – 423.
- [60] ARNÒ J, OVEJA M F, GABARRA R. Selection of flowering plants to enhance the biological control of *Tuta absoluta* using parasitoids [J]. *Biological Control*, 2018, 122: 41 – 50.
- [61] SÁNCHEZ N E, PEREYRA P C, LUNA M G. Spatial patterns of parasitism of the solitary parasitoid *Pseudapanteles dignus* (Hymenoptera: Braconidae) on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2009, 38(2): 365 – 374.
- [62] NIEVES E L, PEREYRA P C, LUNA M G, et al. Laboratory population parameters and field impact of the larval endoparasitoid *Pseudapanteles dignus* (Hymenoptera: Braconidae) on its host *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato crops in Argentina [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2015, 108(4): 1553 – 1559.
- [63] URBANEJA A, MONTÓN H, MOLLÁ Ó. Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2009, 133(4): 292 – 296.
- [64] JAWORSKI C C, BOMPARD A, GENIES L, et al. Preference and prey switching in a generalist predator attacking local and invasive alien pests [J]. *PLoS ONE*, 2013, 8(12): e82231.
- [65] LINS J C, LOON J J A, VAN BUENO V H P, et al. Response of the zoophytophagous predators *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* to volatiles of uninfested plants and to plants infested by prey or conspecifics [J]. *BioControl*, 2014, 59(6): 707 – 718.
- [66] VAN LENTEREN J C, VAN HEMERIK L, LINS J C, et al. Functional responses of three Neotropical mirid predators to eggs of *Tuta absoluta* on tomato [J]. *Insects*, 2016, 7(3): 34.
- [67] SILVA D B, BUENO V H P, MONTES F C, et al. Population growth of three mirid predatory bugs feeding on eggs and larvae of *Tuta absoluta* on tomato [J]. *BioControl*, 2016, 61(5): 545 – 553.
- [68] BUENO V H P, MONTES F C, PEREIRA A M C, et al. Can recently found Brazilian hemipteran predatory bugs control *Tuta absoluta*? [J]. *IOBC/WPRS Bulletin*, 2012, 80: 63 – 67.
- [69] BAYRAM Y, BEKTAŞ Ö, BÜYÜK M, et al. A survey of tomato leafminer [(*Tuta absoluta* Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)] and its natural enemies in the Southeast Anatolia Region [J]. *Turkiye Biyolojik Mucadele Dergisi*, 2014, 5(2): 99 – 110.
- [70] QUEIROZ O S, RAMOS R S, GONTIJO L M, et al. Functional response of three species of predatory pirate bugs attacking eggs of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2015, 44(2): 246 – 251.
- [71] MIRANDA M M M, PİCANÇO M C, ZANUNCIO J C, et al. Impact of integrated pest management on the population of leafminers, fruit borers, and natural enemies in tomato [J]. *Ciencia Rural*, 2005, 35(1): 204 – 208.
- [72] SPERANZA S, MELO M C, LUNA M G, et al. First record of *Zelus obscuridorsis* (Hemiptera: Reduviidae) as a predator of the South American tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2014, 97(1): 295 – 297.
- [73] 杨桂群, 范苇, 张倩, 等. 异色瓢虫和龟纹瓢虫幼虫对番茄潜叶蛾低龄幼虫的捕食功能反应 [J]. *中国生物防治学报*, 2022, 38(4): 959 – 966.
- [74] PİCANÇO M C, BACCI L, QUEIROZ R B, et al. Social wasp predators of *Tuta absoluta* [J]. *Sociobiology*, 2011, 58(3): 621 – 634.
- [75] SIVAKUMAR T, JOSEPHRAJKUMAR A, ANITHA N. First report of tomato pinworm, *Tuta absoluta* (Meyrick) on egg plant *Solanum melongena* L. from Kerala, India [J]. *Entomon*, 2017, 42(4): 335 – 338.
- [76] MOMEN F M, METWALLY A E M, NASR A E K, et al. First report on suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* eggs (Lepidoptera: Gelechiidae) for eight predatory phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) under laboratory conditions [J]. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 2013, 48(2): 321 – 331.
- [77] METWALLY A M, MOMEN F M, NASR A K, et al. Prey suitability of *Tuta absoluta* larvae (Lepidoptera: Gelechiidae) for three predatory phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) under laboratory conditions [J]. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 2015, 50(1): 105 – 113.
- [78] ROSTAMI E, MADADI H, ABBASIPOUR H, et al. First report of the predatory spider, *Oxyopes lineatus* Latreille (Aranea: Oxyopidae) feeding on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Advances in Food Sciences*, 2018, 40(4): 128 – 133.
- [79] BIONDI A, ZAPPALÀ L, MAURO A D, et al. Can alternative host plant and prey affect phytophagy and biological control by the zoophytophagous mirid *Nesidiocoris tenuis*? [J]. *BioControl*, 2016, 61(1): 79 – 90.
- [80] MOLLÁ Ó, MONTÓN H, VANACLOCHA P, et al. Predation by the mirids *Nesidiocoris tenuis* and *Macrolophus pygmaeus* on the tomato borer *Tuta absoluta* [J]. *IOBC/WPRS Bulletin*, 2009, 49: 209 – 214.
- [81] MOLLÁ Ó, GONZALEZ-CABRERA J, URBANEJA A. The combined use of *Bacillus thuringiensis* and *Nesi-*

- diocoris tenuis* against the tomato borer *Tuta absoluta* [J]. *BioControl*, 2011, 56(6): 883 – 891.
- [82] CALVO F J, LORENTE M J, STANSLY P A, et al. Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisia tabaci* in greenhouse tomato [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 143: 111 – 119.
- [83] ARNÒ J, SORRIBAS R, PRAT M, et al. *Tuta absoluta*, a new pest in IPM tomatoes in the northeast of Spain [J]. *IOBC/WPRS Bulletin*, 2009, 49: 203 – 208.
- [84] MOAYERI H R S, ASHOURI A, BRØDSGAARD H F, et al. Males of the predatory mirid bug *Macrolophus caliginosus* exploit plant volatiles induced by conspecifics as a sexual synomone [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2007, 123(1): 49 – 55.
- [85] 农向群, 张泽华. 昆虫病原真菌的生态适应性及其生物防治应用策略 [J]. *中国生物防治学报*, 2013, 29(1): 133 – 141.
- [86] KLIEBER J, REINEKE A. The entomopathogen *Beauveria bassiana* has epiphytic and endophytic activity against the tomato leaf miner *Tuta absoluta* [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2016, 140(8): 580 – 589.
- [87] GIUSTOLIN T A, VENDRAMIM J D, ALVES S B, et al. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. to *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) reared on two genotypes of tomato [J]. *Neotropical Entomology*, 2001, 30(3): 417 – 421.
- [88] RODRÍGUEZ M, GERDING M, FRANCE A. Entomopathogenic fungi isolates selection for egg control of tomato moth, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs [J]. *Agricultura Tecnica*, 2006, 66(2): 151 – 158.
- [89] RODRÍGUEZ M, GERDING M, FRANCE A. Effectivity of entomopathogenic fungus strains on tomato moth *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae [J]. *Agricultura Tecnica*, 2006, 6(2): 159 – 165.
- [90] CONTRERAS J, MENDOZA J E, MARTÍNEZ-AGUIRRE M R, et al. Efficacy of entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107(1): 121 – 124.
- [91] 关正君, 鲁顺保, 霍艳林, 等. 转 Bt 基因抗虫作物对非靶标害虫的影响 [J]. *生物多样性*, 2018, 26(6): 636 – 644.
- [92] 张桂芬, 张毅波, 张杰, 等. 苏云金芽胞杆菌 G033A 对新发南美番茄潜叶蛾的室内毒力及田间防效 [J]. *中国生物防治学报*, 2020, 36(2): 175 – 183.
- [93] GIUSTOLIN T A, VENDRAMIM J D, ALVES S B, et al. Susceptibility of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep., Gelechiidae) reared on two species of *Lycopersicon* to *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2001, b,125(9/10): 551 – 556.
- [94] GONZALEZ-CABRERA J, MOLLÁ Ó, MONTÓN H, et al. Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) in controlling the tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *BioControl*, 2011, 56(1): 71 – 80.
- [95] 刘奇志, 赵映霞, 严毓骅, 等. 我国昆虫病原线虫生物防治应用研究进展 [J]. *中国农业大学学报*, 2002, 7(5): 65 – 69.
- [96] ARTHURS S, HEINZ K M, PRASIFKA J R. An analysis of using entomopathogenic nematodes against above-ground pest [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2004, 94: 297 – 306.
- [97] BATALLA-CARRERA L, MORTON A, GARCÍA-DEL-PINO F. Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions [J]. *BioControl*, 2010, 55(4): 523 – 530.
- [98] GARCÍA-DEL-PINO F, ALABERN X, MORTON A. Efficacy of soil treatments of entomopathogenic nematodes against the larvae, pupae and adults of *Tuta absoluta* and their interaction with the insecticides used against this insect [J]. *BioControl*, 2013, 58(6): 723 – 731.
- [99] DA CUNHA U S, VENDRAMIM J D, ROCHA W C, et al. Potential of *Trichilia pallida* Swartz (Meliaceae) as a source of substances with insecticidal activity against the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2005, 34(4): 667 – 673.
- [100] DA CUNHA U S, VENDRAMIM J D, ROCHA W C, et al. Bioactivity of *Trichilia pallida* Swartz (Meliaceae) derived molecules on *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2008, 37(6): 709 – 715.
- [101] MOREIRA M D, PÍCANÇO M C, BARBOSA L C, et al. Toxicity of leaf extracts of *Ageratum conyzoides* to Lepidoptera pests of horticultural crops [J]. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2004, 22(3): 251 – 260.
- [102] KONA N E M, TAHA A K, MAHMOUD M E E. Effects of botanical extracts of neem (*Azadirachta indica*) and jatropha (*Jatropha curcus*) on eggs and larvae of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Persian Gulf Crop Protection*, 2014, 3(3): 41 – 46.
- [103] DE BRITO E F, BALDIN E L L, SILVA R C M, et al. Bioactivity of *Piper* extracts on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato [J]. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 2015, 50(3): 196 – 202.
- [104] YAROU B B, BAWIN T, BOULLIS A, et al. Oviposition deterrent activity of basil plants and their essential oils against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(30): 29880 – 29888.
- [105] 陈学新. 21 世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望 [J]. *昆虫知识*, 2010, 47(4): 615 – 625.
- [106] CAMARGO R A, BARBOSA G O, POSSIGNOLO I P, et al. RNA interference as a gene silencing tool to control *Tuta absoluta* in tomato (Solanum lycopersic-



- um) [J]. 2016, PeerJ, 4(12): e2673.
- [107] CAMARGO R A, HERAI R H, SANTOS L N, et al. De novo transcriptome assembly and analysis to identify potential gene targets for RNAi-mediated control of the tomato leafminer (*Tuta absoluta*) [J]. *BMC Genomics*, 2015, 16(1): 635.
- [108] SAVINO V, COVIELLA C E, LUNA M G. Reproductive biology and functional response of *Dineulophus phthorimaeae*, a natural enemy of the tomato moth, *Tuta absoluta* [J]. *Journal of Insect Science*, 2012, 12(153): 1 – 14.
- [109] 王伟, 王文霞, 刘万学, 等. 荚新姬小蜂生物学特性及其应用研究进展 [J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28(4): 575 – 582.
- [110] 薛正帅. 烟盲蝽在生物防治上的研究现状与应用前景 [J]. *天津农业科学*, 2015, 21(10): 118 – 120.
- [111] 朱朝东. 中国姬小蜂亚科的系统学研究 [D]. 北京: 中国科学院动物研究所, 1998.
- [112] MEDEIROS M A, DE BÔAS G L V, VILELA N J, et al. Preliminary survey on the biological control of South American tomato pinworm with the parasitoid *Trichogramma pretiosum* in greenhouse models [J]. *Horticultura Brasileira*, 2009, 27(1): 80 – 85.

## Advances in biological control of tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)

LIANG Yongxuan<sup>1,2</sup>, GUO Jianyang<sup>1</sup>, WANG Qijing<sup>1</sup>, ZHANG Yibo<sup>1</sup>, ZHANG Guifen<sup>1</sup>,  
YANG Nianwan<sup>1,3</sup>, ZHOU Qiong<sup>2</sup>, LIU Wanxue<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Department of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China; 3. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji, Xinjiang 831100, China)

**Abstract:** *Tuta absoluta* (Meyrick) is a quarantine pest in the world, which has been widely spread in major tomato producing areas in the world and has become an important factor affecting the development of tomato industry. At present, this pest has spread to Xinjiang, Yunnan, Gansu and other regions in China, causing great losses to local tomato production, and posing a great threat to other tomato producing areas and related industries. Biological control methods based on natural enemy insects, entomopathogenic microorganism, botanical extracts, etc. have shown good effects in control of *T. absoluta* in the world and have good application prospects. A review was hence made of the research and application of biological control of *T. absoluta* to provide reference for efficient and sustainable control of this pest in China. The natural enemies of *T. absoluta* are rich in insect resources, among which the parasitic wasps of Trichogrammatidae, Eulophidae and Braconidae, and the predatory bugs of Miridae have a strong ability to control this pest. In recent years relevant studies have reported technologies for large-scale rearing and release of some natural enemies, which provide good conditions for their field application. For example, *Trichogramma achaeae*, *Nesidiocoris tenuis*, etc. have been widely used in the field control of *T. absoluta* in the world, and have achieved good results. In addition, entomopathogenic microorganism, such as *Metarhizium anisopliae*, *Bacillus thuringiensis*, etc., and plant extracts, such as *Azadirachta indica* and *Jatropha curcus* seed extracts, have strong insecticidal activity against this pest, and are safer than chemical pesticides in the world. Moreover, RNAi and other emerging biotechnologies also have been gradually carried out in the control of *T. absoluta*.

**Keywords:** *Tuta absoluta* invasive insect; biological control; natural enemy; entomopathogenic microorganism; botanical extracts