



向婷婷, 周忠林, 廖钢, 陈亚平, 桂富荣, 张桂芬, 孙仲享. 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. XIANG Ting-Ting, ZHOU Zhong-Lin, LIAO Gang, CHEN Ya-Ping, GUI Fu-Rong, ZHANG Gui-Fen, SUN Zhong-Xiang. Research progress on green prevention and control of *T. absoluta*, a major invasive insect [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2025, 47 (1): 1-11.

## 重大入侵害虫番茄潜叶蛾绿色防控研究进展

向婷婷, 周忠林, 廖钢, 陈亚平, 桂富荣, 张桂芬\*, 孙仲享\*

(云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201)

**摘要:** 番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 是原产于南美洲秘鲁的世界性检疫性入侵害虫, 已扩散至 110 多个国家和地区, 对番茄产业造成严重威胁。由于化学农药过度使用产生的一系列问题, 针对番茄潜叶蛾绿色防控技术的研发与应用尤为重要。本文综述了重大入侵害虫番茄潜叶蛾绿色防控技术的研究进展, 包括推-拉策略、理化诱控技术、生物防治技术和其它防控新理念, 最后提出展望。本文旨在为防控番茄潜叶蛾提供科学有效的指导, 减少化学农药的使用, 保障番茄产业的持续向好发展和农产品质量安全。

**关键词:** 番茄潜叶蛾; 入侵害虫; 功能植物; 推拉策略; 绿色防控; 综合防治

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2025) 01-0001-11

### Research progress on green prevention and control of *T. absoluta*, a major invasive insect

XIANG Ting-Ting, ZHOU Zhong-Lin, LIAO Gang, CHEN Ya-Ping, GUI Fu-Rong, ZHANG Gui-Fen\*, SUN Zhong-Xiang\* (State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bioresources in Yunnan, Plant Protection College of Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** *Tuta absoluta* (Meyrick), native to Peru, South America, is a worldwide quarantine invasive pest and has spread to more than 110 countries and regions, posing a serious threat to the tomato industry. Due to the negative effects of chemical control, the research and development as well as application of green control technologies are particularly important. This paper reviews the research progress of green prevention and control technologies, including “push-pull” technologies, physicochemical trapping and control technologies, biological control technology and other new concepts of prevention and control. The aim of this paper is to provide tomato growers with scientific and effective control guidance for the prevention and control of *T. absoluta*, reduce the use of chemical pesticides, and guarantee the sustainable development of the tomato industry and the quality and safety of agricultural products.

**Key words:** *Tuta absoluta* (Meyrick); invasive pest; functional plants; push-pull strategy; green prevention and control; integrated pest management

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 隶属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 又称番茄潜麦

蛾、番茄麦蛾、南美番茄潜叶蛾, 原产于南美洲秘鲁, 是番茄产业的世界性重大害虫 (Desneux *et al.*,

项目基金: 国家重点研发计划 (2021YFD1400200)

作者简介: 向婷婷, 女, 硕士研究生, 研究方向为入侵物种的基础生物学, E-mail: 15125415523@163.com

\*通讯作者 Author for correspondence: 张桂芬, 女, 博士, 研究员, 研究方向为入侵生物预防与控制, E-mail: guifenzhang3@163.com;

孙仲享, 男, 博士, 教授, 研究方向为入侵害虫灾变机理与防控, E-mail: szx@ynau.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-09-12; 修回日期 Revision received: 2024-11-15; 接受日期 Accepted: 2024-11-17

2010; 张桂芬等, 2018)。20世纪中叶以来, 番茄潜叶蛾一直是南美洲国家危害最为严重的番茄害虫之一, 2006年随鲜食番茄传入欧洲西班牙后, 该害虫在短时间内入侵欧洲各国并快速扩散并至非洲和亚洲 (Shashank *et al.*, 2015)。2017年8月, 该虫首次在我国新疆伊犁的露地番茄上被发现, 次年3月, 该害虫在云南临沧被发现并快速扩散 (张桂芬等, 2019, 2020a)。目前, 番茄潜叶蛾在我国贵州、四川、重庆、广西等20多个省相继发生, 并在新疆、宁夏、云南、贵州等地的局部区域暴发 (陆永跃, 2021; Zhang *et al.*, 2021)。

番茄潜叶蛾寄主广泛, 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近50种植物, 其中主要危害茄科作物, 尤其嗜食番茄 (张桂芬等, 2022)。该虫可危害番茄的整个生育期, 主要以幼虫潜食寄主植物叶片的叶肉组织, 在叶片表面形成不规则潜道, 导致植物叶片褪绿, 进而影响植株的光合作用; 当虫口密度较高或幼虫龄期较大时, 还可蛀食番茄顶梢、腋芽、嫩茎及幼果。若防治不当, 将会造成番茄减产80%~100%, 严重威胁我国番茄产业的健康可持续发展 (Biondi *et al.*, 2018; 洗晓青等, 2019)。

20世纪60年代, 有机磷类和拟除虫菊酯类杀虫剂开始应用于番茄潜叶蛾的防治, 随着番茄潜叶蛾对有机磷类杀虫剂抗药性的产生, 杀螟丹和阿维菌素取而代之, 成为防治番茄潜叶蛾的常用杀虫剂 (Siqueira *et al.*, 2000, 2001); 20世纪90年代, 新型杀虫剂虫酰肼、溴虫腈被应用于害虫防治工作中, 直20世纪末, 被茚虫威和几丁质抑制剂所替代 (Silva *et al.*, 2011; Gontijo *et al.*, 2013); 21世纪起, 多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、氟虫双酰胺等成为主要使用的杀虫剂 (Silva *et al.*, 2011; Guedes and Picanço, 2012; Gontijo *et al.*, 2013)。近年来, 由于过度使用化学农药, 多个国家和地区相继报告番茄潜叶蛾已经对有机磷类、拟除虫菊酯类、杀螟丹、多杀菌素、几丁质合成抑制剂等多种类型药剂产生了抗性 (Silva, 2016; Zibae *et al.*, 2018); 同时, 化学农药对非靶标生物易产生副作用, 长期使用会造成农业生态系统多样性的下降, 对生态环境和人类健康造成不可估量的影响 (Roditakis *et al.*, 2018; Langa *et al.*, 2022)。因此, 针对番茄潜叶蛾绿色防控技术的研

发与应用尤为重要。

本文综述了重大入侵害虫番茄潜叶蛾绿色防控研究进展, 涵盖功能植物、理化诱控、生物防控及其他综合防治措施, 旨在为防控该害虫提供科学指导, 减少化学农药使用, 保障番茄产业发展与农产品质量安全。

## 1 功能植物、精油及挥发性有机化合物在番茄潜叶蛾防治中的应用

### 1.1 基于功能植物的推拉策略在番茄潜叶蛾防治中的应用

推拉 (Push-pull) 策略是一种基于生态原理的害虫综合管理策略, 针对昆虫味觉、嗅觉、视觉、触觉等感知系统, 利用昆虫的定向、取食、交配、产卵、学习、逃避等行为, 将植物资源、人工合成等物质, 根据害虫的种类及主栽作物对害虫进行诱集或驱避, 通过结合行为改变刺激的组合方式来控制害虫的分布和数量, 从而达到控制害虫的目的 (Charleston and Kfir, 2000)。在推-拉策略中, “推”部分主要包括了植物挥发物、驱避剂、报警信息素、拒食化合物等。植物挥发物在“推”的部分中发挥着重要作用, 可以分为非寄主植物挥发物和寄主植物挥发物。寄主植物挥发物是通过植食性昆虫取食诱导而产生的, 它可以作为竞争或者诱导防御的指示物, 从而阻止植食性昆虫的危害, 例如, 当番茄受到斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 取食时, 由虫害诱导的植物挥发物 $\beta$ -罗勒烯可有效地诱发番茄对斜纹夜蛾的抗性 (丁元鑫, 2023)。Chen 等人 (2023) 在番茄和茄子中鉴定了多种挥发物, 其中2-戊基呋喃、反, 反-2, 4-壬二烯醛、2-乙基-5-甲基吡嗪、2-苯乙醇、反-2-壬烯醛对番茄潜叶蛾有明显的驱避效果。非寄主植物挥发物主要是通过影响昆虫的嗅觉系统, 干扰其对靶标植物的识别和定位, 进而降低危害。在番茄和辣椒 *Capsicum annuum* 的间作系统中, 辣椒释放的挥发物对番茄潜叶蛾具有较好的驱避效果 (Medeiros *et al.*, 2009)。孙仲享等 (2024) 鉴定了功能植物迷迭香 *Rosmarinus officinalis* 主要的挥发性化合物, 结果表明其挥发物桉叶油醇可显著驱避番茄潜叶蛾, 且降低卵的孵化率。本文列举了功能植物在番茄潜叶蛾防治中的应用 (详见网络版增强出版材料附表1)。

在推-拉系统中,“拉”部分通常包括了视觉刺激、寄主植物挥发物、性信息素和聚集信息素以及味觉和产卵兴奋剂(首成英等, 2017)。诱集植物能通过挥发物吸引天敌或为天敌提供食物,从而有助于建立天敌种群并影响它们的分布。植食性昆虫诱导的植物挥发物(HIPVs)通常对捕食性昆虫和寄生性天敌(如寄生蜂)具有吸引作用,如香雪球 *Lobularia maritima*、白芥 *Sinapis alba*、蓍草 *Achillea millefolium*、荞麦 *Fagopyrum esculentum* 等植物可诱集番茄潜叶蛾天敌,增强田间天敌种群数量,通过生物防治手段控制害虫(Arnó *et al.*, 2018, 2021)。与单一的种植相比,在田间将香菜 *Coriandrum sativum* 和牛漆草 *Galinsoga parviflora* 与

番茄间作,能吸引蜘蛛、瓢虫和其他多种番茄潜叶蛾捕食性天敌,对番茄潜叶蛾种群丰度具有较好的控制效果。Msisi等(2021)研究发现,番茄中的一些主要挥发物组分对番茄潜叶蛾具有明显的引诱作用。Subramani等人(2021)研究发现,苯醌、2-萜烯、 $\delta$ -姜黄烯和邻二乙苯等4种物质可能是番茄潜叶蛾的产卵刺激剂(详见网络版增强出版材料附表1)。

云南农业大学生物安全团队充分利用云南生物多样性资源优势,筛选特色驱避植物迷迭香等和诱集植物向日葵等防控重大入侵害虫番茄潜叶蛾,为构建推-拉策略体系对农业害虫进行生态防控奠定了基础(Sun *et al.*, 2024)(图1)。

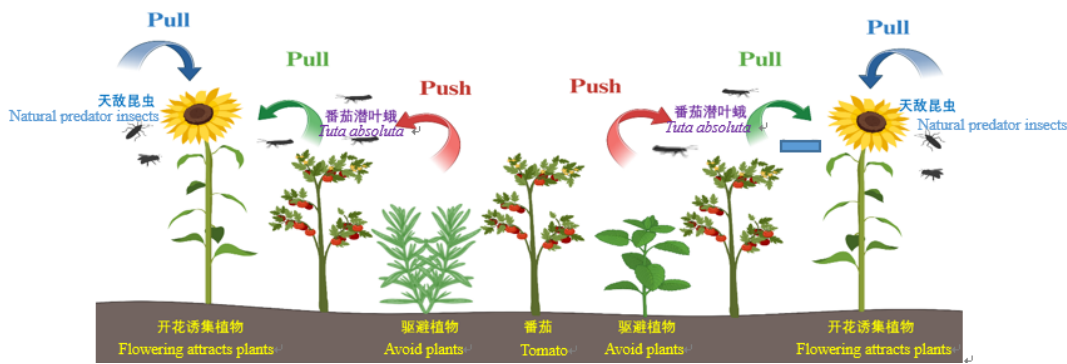


图1 推-拉策略防控番茄潜叶蛾的示意图

Fig.1 Schematic diagram of push-pull strategy for controlling *Tuta absoluta*

## 1.2 功能植物精油在番茄潜叶蛾防治中的应用

目前,植物精油已经被广泛应用于害虫防控中,其来源广泛且作用机制多样,具有重要的应用价值。植物精油的挥发性成分能够刺激昆虫的嗅觉系统,从而改变昆虫的行为,许多植物精油含有特殊的挥发物,对害虫具有驱避或诱集的作用。如迷迭香精油中的桉叶油醇,能被番茄潜叶蛾的嗅觉感受器识别,当番茄潜叶蛾接触到这些挥发物时,其嗅觉神经会将信号传递至大脑,干扰其对寄主植物的定位和识别过程,进而产生驱避行为,使害虫远离释放精油的区域,减少对作物的危害(Sun *et al.*, 2024)。Allam Tarik(2015)评估了肉桂 *Cinnamomum cassia* 精油对番茄潜叶蛾幼虫的潜在驱避作用,0.0785  $\mu\text{L}/\text{cm}^2$  的精油对幼虫的驱避率高达96.25%;Lo Pinto等(2022)研究了来自西班牙牛至 *Origanum majorana*、月桂 *Laurus nobilis*、罗勒 *Ocimum basilicum*、大蒜 *Allium sativum*、薄荷 *Mentha canadensis* 等精油对番茄潜叶

蛾产卵抑制和幼虫驱避性的影响,结果显示,在实验室和温室试验中,使用月桂,西班牙牛至,罗勒和大蒜均具有显著的产卵抑制作用,其中薄荷和西班牙牛至精油显示出最持久的效果。

这些植物精油除了对昆虫具有驱避和引诱的效果之外,还能通过挥发物影响昆虫的生理过程间接改变其行为,以及干扰昆虫的内分泌系统或神经系统,进而影响其生长发育、繁殖能力和活动水平,甚至可直接杀死害虫。豆蔻 *Elettaria cardamomum* 精油可致番茄潜叶蛾的卵、幼虫和成虫死亡,其化学成分可能破坏害虫的生理结构或干扰其代谢过程,抑制害虫生长发育和繁殖(Goudarzi and Abbasipour, 2017)。中亚苦蒿 *Artemisia absinthium*、紫茎泽兰 *Eupatorium buniifolium* 精油中的侧柏酮和单萜烯类物质能抑制番茄潜叶蛾产卵并杀死幼虫,为番茄生长初期提供保护,减少害虫早期危害(Umpiérrez *et al.*, 2012)。Ngongang等人(2022)测定了百里香



*Thymus mongolicus* 和柠檬草 *Cymbopogon citratus* 精油对番茄潜叶蛾幼虫的毒力, 两种精油都对番茄潜叶蛾表现出较强的毒杀能力。Efat Abou-Fakhr Hammad 等 (2019) 测试了苦楝子精油 *Melia azedarach* 对番茄潜叶蛾的杀虫生物活性, 结果表明苦楝子精油对番茄潜叶蛾的卵、幼虫、蛹、成虫、均具有较强的杀虫活性。此外, 柑橘 *Citrus reticulata*、樟 *Camphora officinarum*、金盏花 *Calendula officinalis* 等植物的精油也能使番茄潜叶蛾幼虫死亡, 在番茄生长过程中的不同阶段发挥防控作用 (Moawad *et al.*, 2013; Marouf and Harras, 2022; De Paiva Silva *et al.*, 2023) (详见网络版增强出版材料附表1)。

## 2 理化诱控技术

粘虫色板是利用昆虫的趋色性而开发的监测技术, 因其简便、实用、安全、经济、环保和可诱杀雌雄成虫等优点, 成为害虫常规的监测诱集手段。番茄潜叶蛾成虫对红、蓝、黑、白、黄等颜色具有不同程度的趋向性, 可利用相应的色板对其进行诱杀 (Kadel *et al.*, 2018; Polat *et al.*, 2019; 李灏等, 2024; 王桂萍等, 2024)。此外, 在保护地中通常使用灯光诱杀的方法降低番茄潜叶蛾的危害, 该虫成虫对 380~385nm 紫光趋性最强, 紫光 LED 灯诱捕器能够有效减少日光温室内番茄潜叶蛾的种群数量 (石磊等, 2024; 张桂芬等, 2024a)。

相较于灯光诱捕监测法, 性信息素诱捕法在番茄潜叶蛾成虫监测中优势显著, 可更早且更明显地监测蛾峰期, 精准反映田间发生趋势, 专一性强、安全性佳, 可作为关键的监测预报手段, 为番茄潜叶蛾防控提供重要技术支撑 (Biondi *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2020)。性信息素诱捕器在番茄潜叶蛾的监测和防控中发挥着重要作用。将性信息素诱芯放置在诱捕器中, 悬挂在番茄田内, 可以准确监测番茄潜叶蛾的发生动态, 同时也能大量诱捕雄成虫, 降低雌雄虫交配概率, 从而控制种群数量 (张桂芬等, 2024a)。诱捕器的形式多样, 其中水盆式诱捕器和三角形诱捕器的诱捕效果较优 (盛世蒙等, 2023; 张丹等, 2024)。除诱捕器类型外, 诱捕器本身或使用条件, 如颜色、布置密度、悬挂高度及释放性信息

素的速率等也对诱捕效果有重要影响, 蓝色、黄色、绿色等诱捕器对番茄潜叶蛾均具有较好的诱捕效果 (张桂芬等, 2021; 谈钊汐等, 2022; 张丹等, 2024)。为了提高诱捕器对番茄潜叶蛾的诱捕效果, 马德英等研发了色诱、性诱、水淹多效一体化桶形诱捕器, 诱蛾量较对照桶形 (原色、蓝色和蓝色+水淹液等) 诱捕器提高 2.5~3.2 倍, 节水省力, 水淹液体蒸发量少, 劳动强度降低; 操作便捷, 直接放于地面容易操作 (马德英等, 2023)。

迷向技术是一种在农业害虫防治等领域应用的技术手段, 它主要是通过释放人工合成的昆虫信息素或其他干扰物质, 干扰害虫的正常行为和通讯。利用性信息素迷向技术可以干扰雄虫对雌虫的搜索定位, 从而降低交配几率, 减少番茄潜叶蛾后代的发生数量 (樊蓉蓉等, 2024a)。梁虎军等人 (2023) 在番茄大棚内以 60 根/667 m<sup>2</sup> 的密度悬挂性信息素迷向丝对番茄潜叶蛾进行迷向防治, 结果显示迷向后诱捕器诱蛾量显著减少, 迷向效果显著, 且持效性较好, 防治效果在 80% 以上。

## 3 生物防控技术

### 3.1 微生物菌剂与病毒、线虫

利用微生物的致病性来防治害虫是一种有效的生物防治方法, 具有特异性好、无毒和无污染等诸多优点。病原细菌苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* (Bt) 在农业生产上的应用较为广泛, Bt G033A 是我国研发的一种鳞翅目/鞘翅目害虫兼杀的基因工程菌, 胃毒作用明显, 对番茄潜叶蛾各龄幼虫均具有较好的毒杀效果 (张桂芬等, 2020b)。阿卜力孜·塔伊尔等人 (2024) 将 Bt G033A 与对番茄潜叶蛾防效较好的 3 种昆虫生长调剂进行减量联合应用, 其防治效果均可高于单剂防效。球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* Qu-B912 菌株对番茄潜叶蛾也具有较好的防效, 对卵的致死率最高可达 80%, 对 3 龄幼虫致死率达 68%, 药后 15 d 成虫防效达到 80.08% (樊蓉蓉等, 2024b)。

已鉴定出多种对昆虫有感染作用的病毒, 这些病毒具有特异性强、对环境安全等优点。例如, 生物药剂 20 亿 PIB/mL 的甘蓝夜蛾核型多角体病毒对番茄潜叶蛾防效较理想, 甚至优于部分化学农

药, 药后 7 d、10 d 的防效分别为 71.54%、84.07%, 药后 19 d 的防效仍维持在 80.10% (郭晓兰等, 2024)。病原线虫喜欢潮湿隐蔽的环境, 适用于防治隐蔽性害虫, 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物防治中具有较大的应用潜力 (刘奇志等, 2002)。郭文秀等人 (2024) 采用生物测定法 (剂量为 10 IJs/虫) 评估了 5 种昆虫病原线虫对番茄潜叶蛾 2 龄幼虫、4 龄幼虫及蛹的毒力效果, 结果表明, 5 种昆虫病原线虫均具有较高的毒力。

### 3.2 天敌昆虫

利用天敌昆虫进行害虫防治是一种绿色环保、可持续的害虫治理策略, 在番茄潜叶蛾防治中具有重要作用。番茄潜叶蛾天敌昆虫资源丰富, 据不完全统计, 世界范围内关于该害虫的天敌昆虫共有 210 多种, 其中捕食性天敌 97 种, 寄生性天敌 113 种 (梁永轩等, 2023)。在国内, 有关番茄潜叶蛾天敌防治的报道相对较少。多种寄生蜂是番茄潜叶蛾的重要天敌。代晓彦等 (2023) 和付

开赞等 (2023) 研究发现本土玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis*、暗黑赤眼蜂 *Trichogramma pintoi* 可将卵产在番茄潜叶蛾的卵内, 寄生蜂幼虫通过在害虫卵内取食发育, 阻止番茄潜叶蛾卵的孵化, 从而有效降低害虫种群数量。捕食性天敌同样在防治中发挥重要作用。杨桂群等人 (2022) 研究了异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 和龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 对番茄潜叶蛾低龄幼虫的捕食能力, 两种瓢虫可在一定程度上控制低龄幼虫的数量。此外, 亦有报道东亚小花蝽 *Orius sauteri* 和益蝽 *Picromerus lewisi* 对番茄潜叶蛾具有良好的防治效果 (杨韵等, 2023; 王瑞娟等, 2023)。张桂芬等人 (2024b) 对云南 10 个地级州市主要番茄种植区的番茄潜叶蛾天敌资源进行调查, 结果显示, 对番茄潜叶蛾具有控害作用的捕食性自然天敌有 19 种, 其中, 昆虫纲 8 种、蜘蛛纲 11 种。在实际应用中, 通过人工释放天敌昆虫, 可以在番茄种植区域快速建立起天敌种群, 增强对番茄潜叶蛾的自然控制能力 (表 1)。

表 1 番茄潜叶蛾国内天敌昆虫汇总

Table 1 Domestic natural enemies of the leaf miner moth in tomatoes

目 Order	科 Family	属/种 Genus/Species	靶标虫态 Target organism	参考文献 References
膜翅目 Hymenoptera	赤眼蜂科 Trichogrammatidae	玉米螟赤眼蜂 <i>Trichogramma ostriniae</i>	卵 Eggs	代晓彦等, 2023
		螟黄赤眼蜂 <i>Trichogramma chilonis</i>	卵 Eggs	代晓彦等 2023
		暗黑赤眼蜂 <i>Trichogramma pintoi</i>	卵 Eggs	付开赞等, 2023
		多异瓢虫 <i>Hippodamia variegata</i>	1 龄、2 龄、3 龄幼虫 1 <sup>st</sup> , 2 <sup>nd</sup> , and 3 <sup>rd</sup> instar larvae	帕提玛·乌木尔汗等, 2024
鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科 Coccinellidae	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	1 龄、2 龄幼虫 1 <sup>st</sup> and 2 <sup>nd</sup> instar larvae	杨桂群等, 2022
		龟纹瓢虫 <i>Propylea japonica</i>	1 龄、2 龄幼虫 1 <sup>st</sup> and 2 <sup>nd</sup> instar larvae	杨桂群等, 2022
		黄缘巧瓢虫 <i>Oenopia sauzeti</i>	#	张桂芬等, 2024b
		七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	#	张桂芬等, 2024b
半翅目 Hemiptera	花蝽科 Anthocoridae	东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i>	卵 Eggs	王瑞娟等, 2023
		小花蝽 <i>Orius</i> sp.	#	张桂芬等, 2024b

续表 1 Continued table 1

目 Order	科 Family	属/种 Genus/Species	靶标虫态 Target organism	参考文献 References	
半翅目 Hemiptera	花蝽科 Anthoridae	黑翅小花蝽 <i>Oirus agilis</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	蝽科 Pentatomidae	益蝽 <i>Picromerus lewisi</i>	4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> instar larvae	杨韵等, 2023	
	猎蝽科 Reduviidae Latreille	环斑猛猎蝽 <i>Sphedanolestes impressicollis</i>	#	张桂芬等, 2024b	
		黄纹盗猎蝽 <i>Peirates atromaculatus</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	长蝽科 Lygaeidae Schilling	大眼蝉长蝽 <i>Geocoris pallidipennis</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	盲蝽科 Miridae	烟盲蝽 <i>Nesidiocoris tenuis</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	蟹蛛科 Thomisidae	微蟹蛛 <i>Lysiteles</i> sp.	#	张桂芬等, 2024b	
		肖蛸科 Tetragnathidae	华丽肖蛸 <i>Tetragnatha nitens</i>	#	张桂芬等, 2024b
			直伸肖蛸 <i>Tetragnatha extensa</i>	#	张桂芬等, 2024b
			前齿肖蛸 <i>Tetragnatha praedonia</i>	#	张桂芬等, 2024b
蜘蛛目 Araneae	猫蛛科 Oxyopidae	斜纹猫蛛 <i>Oxyopes sertatus</i>	#	张桂芬等, 2024b	
		缅甸猫蛛 <i>Oxyopes birmanicus</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	球蛛科 Theridiidae	刻纹叶球蛛 <i>Phylloneta impressa</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	球蛛科 Theridiidae	苔齿螯蛛 <i>Enoplognatha caricis</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	圆蛛科 Araneidae	角类肥蛛 <i>Larinioides cornuta</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	皿蛛科 Linyphiidae	草间小黑蛛 <i>Hylyphantes graminicola</i>	#	张桂芬等, 2024b	
	狼蛛科 Lycosidae	拟环纹豹蛛 <i>Pardosa pseudoannulata</i>	#	张桂芬等, 2024b	

注: #表示未有相关记录。Note: # indicated that no relevant records were available.

#### 4 其它综合防治措施

在农业生产与生态环境协调发展中, 害虫防治新理念强调从对抗思维转向与害虫及生态系统和谐共生。田间自然天敌通过捕食或寄生等方式对害虫种群进行管控, 产生下行效应 (Top-down effect)。同时, 土壤环境因子、作物抗性及多样性

布局等形成上行效应 (Bottom-up effect)。在土壤-作物-害虫-天敌构成的多营养级系统中, 从生态学营养级联 (Trophic cascade) 角度, 上行效应与下行效应共同作用于害虫种群 (Han *et al.*, 2022)。胡珊珊等人 (2024) 基于土壤-作物-害虫-天敌互作系统中上行效应与下行效应的生态学原理, 综述了土壤氮素、根际微生物、作物抗性、作物和



非作物多样性以及天敌昆虫在番茄潜叶蛾种群控制中的作用, 并对番茄潜叶蛾综合防控进行了展望, 以优化现有绿色防控技术组合, 实现同一作物上多种害虫的协同整体防控。氮肥是农业生产中最常用的矿质肥料之一, 是影响植物营养和防御机制的重要元素, 它能够通过作物-害虫-天敌的级联效应引发上行效应。在低氮投入条件下, 番茄叶片的总氮含量显著降低, 碳氮比显著增加, 这使得番茄碱和酚类等防御化合物的含量显著上升, 从而增强了对番茄潜叶蛾幼虫的抗性, 且这种效应不会影响到第三级营养的天敌 (Han *et al.*, 2014, 2015; Larbat *et al.*, 2016; Dong *et al.*, 2018)。许多根际微生物具备激发植物系统抗性的潜能, 例如植物与丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 形成的共生关联能够促进植物生长, 进而间接引发上行效应, 实现对害虫的调控, 提升植物抵御病虫害的能力。Shafiei 等 (2022) 研究了番茄植株接种 AMF 与番茄潜叶蛾取食行为之间的交互作用, 研究结果显示, 昆虫的取食行为促使 AMF 在根部的定殖率提升至 66.29%, 而且 AMF 的接种显著抑制了番茄潜叶蛾幼虫的生长速率以及叶片消耗指数。作物的抗虫性能够通过上行效应显著影响害虫的个体和种群动态。Rakha 等人 (2017) 指出, 某些野生番茄的近缘品种拥有高密度的腺毛, 且能分泌酰基糖和倍半萜烯等有机化合物, 这些物质可能与它们对番茄潜叶蛾的排斥性相关。因此, 在培育番茄品种时, 可考虑选择腺毛密度高且富含化感物质的番茄品系进行杂交, 以达到更好的抗虫效果。基于下行效应的生物防治策略“以虫治虫”在控制番茄潜叶蛾方面已被广泛应用。目前, 国外关于番茄潜叶蛾天敌的种类更为丰富, 汲取国际经验, 深入探索我国本土针对番茄潜叶蛾的天敌资源, 并引入外来天敌的优势种类, 对于实现对该害虫的有效绿色防控至关重要 (Zappalà *et al.*, 2013; Biondi *et al.*, 2018; Desneux *et al.*, 2022)。在实践中, 一方面可以整合多种绿色防控手段以达成对该害虫的综合治理; 另一方面, 通过促进单一作物内多种害虫间的特定间接相互作用, 可以加强天敌的生物调控效能, 从而提高下行效应和上行效应在协同防控番茄作物上多种害虫中的应用效能 (Han *et al.*, 2020)。

## 5 展望

我国是全球最大的番茄生产国和消费国, 番茄种植面积和总产量始终稳居世界第一。番茄在我国南北方广泛栽培, 种植面积常年约稳定在  $1.10 \times 10^6$  hm<sup>2</sup> (FAO, 2022; 观研报告网, 2022)。番茄潜叶蛾是一种世界性检疫性入侵害虫, 自传入我国后, 迅速传播扩散, 严重危害了我国番茄产业的生产安全 (Desneux *et al.*, 2010; 张桂芬等, 2020a)。迄今, 我国在番茄潜叶蛾绿色防控技术研发和应用方面已经初步取得进展, 推-拉技术、理化诱控技术、微生物菌剂、天敌昆虫和防治新理念为番茄潜叶蛾的防控提供了多样化的选择。但番茄潜叶蛾的防控是一项系统工程, 在“预防为主、综合防治”植保方针指导下, 有害生物综合治理 (Integrated Pest Management, IPM) 是未来番茄潜叶蛾防治的主要发展趋势。“Push-pull”策略作为 IPM 的一项重要措施, 利用植物资源、人工合成化合物等对昆虫进行驱避或诱集, 以达到对害虫综合防治的目的 (Tyler-Julian *et al.*, 2018; Arnó *et al.*, 2021a), 但尚需深入研究其作用机理和对经济效益影响, 研究其合理运用的方式/模式, 以提高土壤肥力、增加生物多样性。此外, 筛选功能植物时还需综合考虑对靶标害虫的驱避或吸引作用、与目标作物的兼容性、生态适应性、栽培管理等多种因素, 以更好发挥其在农业害虫防治中的作用, 实现农业可持续发展。

在大田或温室种植管理中, 作物、害虫和天敌之间的互作关系十分复杂, 且受环境中非生物因子的影响显著。合理利用上行效应协调植物氮素供应、植物和土壤微生物之间的关系以及激发植物自身的防御能力, 对有害生物综合治理来说至关重要。而基于“以虫治虫”的番茄潜叶蛾生物防治措施, 近年来在南美洲和非洲研究相对广泛, 而相较我国, 番茄潜叶蛾作为一种新入侵害虫, 其生物学和生态学研究在我国起步较晚, 对其本土天敌昆虫的了解也十分有限。因此, 深入开展番茄潜叶蛾天敌昆虫的挖掘利用研究, 是未来在我国实现对该虫高效绿色防控的关键。只有综合分析自然条件下多因子对农田生态系统的影响, 协调运用上、下行效应才, 能因地制宜形成害虫可持续治理技术方案。

同时, 为了减缓番茄潜叶蛾在我国的进一步

传播扩散、减少种群数量、降低危害水平，还需要开展成灾机理、扩散规律及绿色防控综合技术应用研究，提升生物防治技术与其他防控措施的兼容性，促成各项技术的联用叠加效应，实现害虫综合防控的“协同增效”，以及对番茄潜叶蛾的长效控制。然而，有关害虫综合治理，现有的不同防控技术之间的协同作用机制尚不完全明确，且部分防控技术成本较高影响其大面积推广应用等。未来，应加强多学科交叉研究，深入探究各种防控技术的优化组合和协同增效机制，研发高效、低成本、环境友好的综合防控技术体系，以保障我国番茄产业的健康发展。

### 参考文献 (References)

- Abliz TYR, Patima WMHR, Ma Z, *et al.* Evaluation of the control effect of Bt-G033A mixed with 3 insect growth regulators on *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2024, 40 (4): 770-775. [阿卜力孜·塔伊尔, 帕提玛·乌木尔汗, 马召, 等. Bt-G033A 与 3 种昆虫生长调节剂混配对照番茄潜叶蛾的防治效果评价 [J]. 中国生物防治学报, 2024, 40 (4): 770-775]
- Allam Tarik BA. Evaluation of the insecticidal effect of the essential oil of cinnamomum zeylanicum against *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2015, 4 (9): 8033-8037.
- Arnó J, Molina P, Aparicio Y, *et al.* Natural enemies associated with *Tuta absoluta* and functional biodiversity in vegetable crops [J]. *BioControl*, 2021a, 66 (5): 613-623.
- Arnó J, Molina P, Aparicio Y, *et al.* Natural enemies associated with *Tuta absoluta* and functional biodiversity in vegetable crops [J]. *BioControl*, 2021b, 66 (5): 613-623.
- Arnó J, Oveja MF, Gabarra R. Selection of flowering plants to enhance the biological control of *Tuta absoluta* using parasitoids [J]. *Biological Control*, 2018, 122: 41-50.
- Biondi A, Guedes RNC, Wan FH, *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 (1): 239-258.
- Charleston DS, Kfir R. The possibility of using indian mustard, brassica juncea, as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in South Africa [J]. *Crop Protection*, 2000, 19 (7): 455-460.
- Chen T, Chen L, Wang J, *et al.* Development of attractants and repellents for *Tuta absoluta* based on plant volatiles from tomato and eggplant [J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2023, 7: 1155317.
- Dai XY, Wang RJ, Liu Y, *et al.* Comparison of parasitism ability of three indigenous *Trichogramma* species to *Tuta absoluta* (Meyrick) eggs [J]. *Shandong Agricultural Science*, 2023, 55 (11): 30-34. [代晓彦, 王瑞娟, 刘艳, 等. 三种本土赤眼蜂对番茄潜叶蛾卵的寄生能力比较 [J]. 山东农业科学, 2023, 55 (11): 30-34]
- De Paiva Silva GT, Figueiredo KG, Alves DS, *et al.* Survival and demography of the tomato borer (*Tuta absoluta*) exposed to citrus essential oils and major compounds [J]. *Agriculture*, 2023, 13 (3): 538.
- Desneux N, Han P, Mansour R, *et al.* Integrated pest management of *Tuta absoluta*: Practical implementations across different world regions [J]. *Journal of Pest Science*, 2022, 95 (1): 17-39.
- Desneux N, Wajnberg E, Wyckhuys KAG, *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.
- Ding YX. Mechanism of Priming of Tomato Resistance to *Spodoptera litura* by  $\beta$ -ocimene [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2023. [丁元鑫.  $\beta$ -罗勒烯诱发番茄对斜纹夜蛾抗性的机制 [D]. 福州: 福建农林大学, 2023]
- Dong Y, Han P, Niu C, *et al.* Nitrogen and water inputs to tomato plant do not trigger bottom-up effects on a leafminer parasitoid through host and non-host exposures [J]. *Pest Management Science*, 2018, 74 (3): 516-522.
- Efat Abou-Fakhr H, Amani A, Muhammad A, *et al.* Bioactivity of indigenous melia azedarach extracts against the tomato leafminer, *Tuta absoluta* [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 2019, 9 (1): 182416787.
- Essoung FRE, Tadjong AT, Chhabra SC, *et al.* Repellence and fumigant toxicity of essential oils of *Ocimum gratissimum* and *Ocimum kilimandscharicum* on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27 (30): 37963-37976.
- Fan RR, Liu Y, Hai YQ. Preliminary study of the control effect of sex pheromone-mediated mating disruption technology on *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *China Plant Protection*, 2024a, 44 (3): 57-62. [樊蓉蓉, 刘媛, 海永强. 性信息素迷向技术防治番茄潜叶蛾效果初报 [J]. 中国植保导刊, 2024a, 44 (3): 57-62.
- Fan RR, Liu Yuan, Wang XP, *et al.* Effect evaluation of microbial agents and plant-derived preparations on prevention and control of *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Vegetables*, 2024b, 8: 61-66. [樊蓉蓉, 刘媛, 王新谱, 等. 微生物菌剂及植物源制剂防治番茄潜叶蛾的效果评价 [J]. 蔬菜, 2024b, 8: 61-66]
- FAO (Food and Agriculture Organization). Online statistical database: Food and agriculture e data. FAOSTAT [EB/OL]. (2022) [2024-09-12]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Fu KY, Li AM, Ding XH, *et al.* The effect of different ecological factors on *Trichogramma pintoi* (Voegelé) parasitizing eggs of tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (3): 507-513. [付开赞, 李爱梅, 丁新华, 等. 不同生态因子对暗黑赤眼蜂寄生番茄潜叶蛾卵的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (3): 507-513]
- Gontijo PC, Picanço MC, Pereira EJJ, *et al.* Spatial and temporal



- variation in the control failure likelihood of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* [J]. *Annals of Applied Biology*, 2013, 162 (1): 50–59.
- Gou WX, Wang XY, Li LL, *et al.* Pathogenicity of five entomopathogenic nematodes to *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2024, 61 (4): 741–748. [郭文秀, 王晓钰, 李丽莉, 等. 五种昆虫病原线虫对番茄潜叶蛾的致死作用 [J]. *应用昆虫学报*, 2024, 61 (4): 741–748]
- Goudarzvand Chegini S, Abbasipour H. Chemical composition and insecticidal effects of the essential oil of cardamom, *Elettaria cardamomum* on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* [J]. *Toxin Reviews*, 2017, 36 (1): 12–17.
- Guedes RNC, Picango MC. The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: Pest status, management and insecticide resistance [J]. *EPPO Bulletin*, 2012, 42 (2): 211–216.
- GuoXL, Hu Q, Guna SH. Effectiveness of five insecticides against *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Agricultural Science and Information*, 2024, 2: 67–70. [郭晓兰, 胡琴, 关参政. 5种杀虫剂对番茄潜叶蛾的防治效果 [J]. *农业科技与信息*, 2024, 2: 67–70]
- Han P, Becker C, Le Bot J, *et al.* Plant nutrient supply alters the magnitude of indirect interactions between insect herbivores: From foliar chemistry to community dynamics [J]. *Journal of Ecology*, 2020, 108 (4): 1497–1510.
- Han P, Dong Y, Lavoit A, *et al.* Effect of plant nitrogen and water status on the foraging behavior and fitness of an omnivorous arthropod [J]. *Ecology and Evolution*, 2015, 5 (23): 5468–5477.
- Han P, Lavoit AV, Le Bot J, *et al.* Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta* [J]. *Scientific Reports*, 2014, 4 (1): 4455.
- Han P, Lavoit AV, Rodriguez-Saona C, *et al.* Bottom-up forces in agroecosystems and their potential impact on arthropod pest management [J]. *Annual Review of Entomology*, 2022, 67 (1): 239–259.
- Hu SS, Xie D, Khasan, *et al.* Integrated management of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) via bottom-up and top-down effects [J]. *Journal of Plant Protection*, 2024, 51 (1): 1–11. [胡珊珊, 谢丹, Khasan, 等. 上行效应与下行效应在番茄潜叶蛾防控中的应用 [J]. *植物保护学报*, 2024, 51 (1): 1–11]
- Insight and Info, Status of China tomato industry: Growing areas, yield, and export volume are growing, and the market is developing to diversify. 2022, 2024–09–12. <https://www.chinabaogao.com/detail/611309.html>. [观研报告网. 我国西红柿行业现状: 栽培面积、产量及出口量呈增长态势市场走向多元化发展. (2022) [2024–09–12]. <https://www.chinabaogao.com/detail/611309.html>]
- Kadel J, Sah L P, Devkota M, *et al.* Effectiveness of different types of traps for management of *Tuta absoluta* in Nepal [J]. *Journal of the Plant Protection Society*, 2018, 5: 166–174.
- Langa TP, Dantas KCT, Pereira DL, *et al.* Basis and monitoring of methoxyfenozide resistance in the South American tomato pinworm *Tuta absoluta* [J]. *Journal of Pest Science*, 2022, 95 (1): 351–364.
- Larbat R, Adamowicz S, Robin C, *et al.* Interrelated responses of tomato plants and the leaf miner *Tuta absoluta* to nitrogen supply [J]. *Plant Biology*, 2016, 18 (3): 495–504.
- Li H, Sheng CF, Li YH, *et al.* Effects of Different Angle and Height of Blue Sticky Cards on the Trap Efficacy of *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Chinese Vegetables*, 2024, 2: 88–91. [李灏, 盛承发, 李艳辉, 等. 带诱芯的蓝板放置位置和方式对番茄潜叶蛾的诱捕效果 [J]. *中国蔬菜*, 2024, 2: 88–91]
- Liang HJ, Lui R, Zhao Z, *et al.* Effectiveness of sex pheromone fascination on the control of *Tuta absoluta* [J]. *Chinese Plant Protection*, 2023, 43 (12): 67–69, 88. [梁虎军, 刘容, 赵振, 等. 性信息素迷向技术对温室大棚番茄潜叶蛾的防治效果 [J]. *中国植保导刊*, 2023, 43 (12): 67–69, 88]
- Liang YX, Guo JY, Wang QJ, *et al.* Progress in biological control of *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Journal of Tropical Biology*, 2023, 14 (1): 88–104. [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]
- Liu QZ, Zhao YZ, Yan YH, *et al.* Progress of applied research on entomopathogenic nematodes in biological control in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2002, 5: 65–69. [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, 5: 65–69]
- Lo Pinto M, Vella L, Agrò A. Oviposition deterrence and repellent activities of selected essential oils against *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae): Laboratory and greenhouse investigations [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2022, 42 (5): 3455–3464.
- Lu YY. Warning of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) continued spread of invasion in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (2): 526–528. [陆永跃. 警惕番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 在我国持续扩散入侵 [J]. *环境昆虫学报*, 2021, 43 (2): 526–528]
- Xinjiang Agricultural University. An Ordinary Single-Sided Sticky Insect Board Barrel Trap, Utility Model Patent: CN202223177212.6 [P]. 2023–05–30. [新疆农业大学. 一种普通单面粘虫板桶形诱捕器: CN202223177212.6 [P]. 2023–05–30]
- Ma R, Li D, Peng C, *et al.* Genome-wide identification of the genes of the odorant-binding protein family reveal their role in the olfactory response of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) to a repellent plant [J]. *Agronomy*, 2024, 14 (1): 231.
- Marouf A, Harras F. Efficacy of three plant oil extracts and their nano-emulsions on the leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) larvae (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 2022, 13 (9): 207–213.
- Medeiros MA, Sujii ER, Morais HC. Effect of plant diversification on abundance of south american tomato pinworm and predators in two cropping systems [J]. *Horticultura Brasileira*, 2009a, 27 (3): 300–306.
- Medeiros MA, Sujii ER, Morais HC. Effect of plant diversification on abundance of south american tomato pinworm and predators in two cropping systems [J]. *Horticultura Brasileira*, 2009b, 27 (3): 300–306.
- Msisi D, Matojo ND, Kimbokota F. Attraction of female tomato leaf

- miner, *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) to shared compounds from hosts [J]. *Phytoparasitica*, 2021, 49 (2): 153–162.
- Ngongang MDT, Eke P, Sameza ML, et al. Chemical constituents of essential oils from thymus vulgaris and cymbopogon citratus and their insecticidal potential against the tomato borer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2022, 42 (1): 31–43.
- Polat B. Efficacy of mass trapping of tomato leafminer (*Tuta absoluta*) with different types and colours of traps in open-field tomato [J]. *Applied Ecology Environmental Research*, 2019, 17 (6): 15721–15730.
- Rakha M, Zekeya N, Sevgan S, et al. Screening recently identified whitefly/spider mite-resistant wild tomato accessions for resistance to *tuta absoluta* [J]. *Plant Breeding*, 2017, 136 (4): 562–568.
- Roditakis E, Vasakis E, García-Vidal L, et al. A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *Tuta absoluta* in the European/Asian region [J]. *Journal of Pest Science*, 2018, 91 (1): 421–435.
- Shafiei F, Shahidi-Noghabi S, Sedaghati E. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi on tomato plant resistance against *Tuta absoluta* (Meyrick) in greenhouse conditions [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2022, 25 (3): 101971.
- Shashank PR, Chandrashekar K, Meshram NM, et al. Occurrence of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) an invasive pest from India [J]. *Indian Journal of Entomology*, 2015, 77 (4): 323.
- Sheng SM, Sun ZW, Ye XB, et al. Preliminary report of trapping efficacy on *Tuta absoluta* (Meyrick) using water pan sex pheromone traps in greenhouse [J]. *Shandong Agricultural Science*, 2023, 55 (11): 26–29. [盛世蒙, 孙作文, 叶校兵, 等. 水盆式性诱捕器对保护地番茄潜叶蛾诱集效果初报 [J]. 山东农业科学, 2023, 55 (11): 26–29]
- Shi L, Li LL, Cui HY, et al. Effectiveness of different light wave-lengths for trapping *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2024, 61 (4): 749–757. [石磊, 李丽莉, 崔洪莹, 等. 诱捕番茄潜叶蛾的高效光谱筛选及田间诱捕效果 [J]. 应用昆虫学报, 2024, 61 (4): 749–757]
- Shuo CY, Zhao XZ, Duan CL, et al. Discussion on "push-pull" strategy and its application in pest control in tea plantations [J]. *China Plant Protection*, 2017, 37 (9): 80–87. [首成英, 赵晓珍, 段长流, 等. "push-pull" 策略及其在茶园害虫控制中的应用策略探讨 [J]. 中国植保导刊, 2017, 37 (9): 80–87]
- Silva GA, Picanço MC, Bacci L, et al. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta* [J]. *Pest Management Science*, 2011, 67 (8): 913–920.
- Silva TBM, Silva WM, Campos MR, et al. Susceptibility levels of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) to minor classes of insecticides in Brazil [J]. *Crop Protection*, 2016, 79: 80–86.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Frago DB, 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.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanço MC. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2000, 2 (2): 147–153.
- Subramani V, Pagadala Damodaram KJ, Goravale Krishnegowda R, et al. Volatile chemical signals underlying the host plant preferences of *Tuta absoluta* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2021, 169 (11): 997–1007.
- Sun ZX, Ma RX, Hu J, et al. Repellent and insecticidal effects of *Rosmarinus officinalis* and its volatiles on *Tuta absoluta* [J]. *Entomologia Generalis*, 2024, 44 (2): 297–306.
- Tan YS, Fu KZ, Jia ZZ, et al. Evaluation of trap colour, hanging height and position on the trapping effect of *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2022, 59 (5): 1144–1155. [谈钰汐, 付开赟, 贾尊尊, 等. 诱捕器颜色、悬挂高度与位置对番茄潜叶蛾诱捕效果评价 [J]. 新疆农业科学, 2022, 59 (5): 1144–1155]
- Tyler-Julian K, Funderburk J, Srivastava M, et al. Evaluation of a push-pull system for the management of *Frankliniella* species (Thysanoptera: Thripidae) in tomato [J]. *Insects*, 2018, 9 (4): 187.
- Umpiérrez ML, Lagreca ME, Cabrera R, et al. Essential oils from asteraceae as potential biocontrol tools for tomato pests and diseases [J]. *Phytochemistry Reviews*, 2012, 11 (4): 339–350.
- Wang GP, Li X, Zhang WL, et al. The use of colored sticky traps to monitor the tomato leaf-miner moth *Tuta absoluta* (Meyrick) in solar greenhouses in Shandong Province [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2024, 61 (4): 758–764. [王桂萍, 李霞, 张伟丽, 等. 山东冬暖大棚番茄潜叶蛾色板监测技术 [J]. 应用昆虫学报, 2024, 61 (4): 758–764]
- Wang RJ, Dai XY, Liu Y, et al. Predatory Capability of *Orius sauteri* adults on eggs of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) [J]. *Shandong Agricultural Science*, 2023, 55 (11): 35–39. [王瑞娟, 代晓彦, 刘艳, 等. 东亚小花蝽成虫对番茄潜叶蛾卵的捕食能力 [J]. 山东农业科学, 2023, 55 (11): 35–39]
- Xian XQ, Zhang GF, Liu WX, et al. Risk assessment of the invasion of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) into China [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (1): 49–55. [洗晓青, 张桂芬, 刘万学, 等. 世界性害虫番茄潜叶蛾入侵我国的风险分析 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (1): 49–55]
- Yang GQ, Fan W, Zhang Q, et al. Predatory function of *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica* larvae to young larva *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2022, 38 (4): 959–966. [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]
- Yang Y, Sun JL, Wang WQ, et al. Behavior and predation of *Picromerus lewisi* to *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (1): 179–188. [杨韵, 孙滢琳, 王文倩, 等. 益蝽对番茄潜叶蛾的捕食行为及捕食能力研究 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (1): 179–188.
- Yarou BB, 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.
- Zang GF, Zhu HK, Huang L, *et al.* Investigation and Molecular Evaluation of the Natural Enemies of *Tuta absoluta* (Meyrick) in Tomato Fields in Yunnan Province [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2024b, 40 (4): 739–749. [张桂芬, 朱华康, 黄亮, 等. 云南番茄潜叶蛾捕食性天敌资源调查及其控害作用分子检测 [J]. 中国生物防治学报, 2024b, 40 (4): 739–749]
- 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.
- Zhang D, Li YH, Huang XY, *et al.* Analysis of factors affecting the sex pheromone trapping of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) moths [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2024, 40 (4): 760–769. [张丹, 李艳辉, 黄欣阳, 等. 影响番茄潜叶蛾性信息素诱捕效果的因子分析 [J]. 中国生物防治学报, 2024, 40 (4): 760–769]
- Zhang GF, Ma DY, Wang YS, *et al.* First report of the South American tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19 (7): 1912–1917.
- Zhang GF, Liu WX, Wan FH, *et al.* Bioecology, damage and management of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), a worldwide quarantine pest [J]. *Journal of Biosafety*, 2018, 27 (3): 155–163. [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]
- Zhang GF, Ma DY, Liu WX, *et al.* The arrival of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in China [J]. *Journal of Biosafety*, 2019, 28 (3): 200–203. [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]
- Zhang GF, Xian XQ, Zhang YB, *et al.* Warning of the dispersal of a newly invaded alien species, tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick), in China [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 281–286. [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, 2020a, 46 (2): 281–286.
- Zhang GF, Zhang YB, Liu WX, *et al.* Effect of trap color and position on the trapping efficacy of *Tuta absoluta* (Meyrick) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54 (11): 2343–2354. [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]
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, *et al.* Damage of an important and newly invaded agricultural pest, *Tuta absoluta* (Meyrick), and its prevention and management measures [J]. *Plant Protection*, 2022, 48 (4): 51–58. [张桂芬, 张毅波, 洗晓青, 等. 新发重大农业入侵害虫番茄潜叶蛾的发生为害与防控对策 [J]. 植物保护, 2022, 48 (4): 51–58]
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, *et al.* Efficacy of sex pheromone and ultraviolet light trapping methods on monitoring of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), and analysis of adult emergence period in southwestern China [J]. *Plant Protection*, 2024a, 1–17. [张桂芬, 张毅波, 洗晓青, 等. 性信息素诱捕法和紫外灯光诱捕法对我国西南区域番茄潜叶蛾的监测诱捕效率及成虫发生期分析 [J]. 植物保护, 2024a, 1–17]
- Zhang GF, Zhang YB, Zhang J, *et al.* Laboratory toxicity and field control efficacy of biopesticide *Bacillus thuringiensis* G033A on the south American tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) a new invasive alien species in China [J]. *Chin. Biol. Control.*, 2020b, 36 (2): 175–183. [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, 2020b, 36 (2): 175–183]
- Zibae I, Mahmood K, Esmaily M, *et al.* Organophosphate and pyrethroid resistances in the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) from Iran [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2018, 142 (1–2): 181–191.

附录: 表 1 功能植物、植物精油/提取物以及挥发性有机化合物在番茄潜叶蛾防治中的应用  
详细数据见网络版增强出版材料附表 (<http://hjkcxz.alljournals.net/>)



附表1 功能植物、植物精油/提取物以及挥发性有机化合物在番茄潜叶蛾防治中的应用

Annexed table 1 Functional plants, plant essential oils/extracts and volatile organic compounds for *Tuta absoluta* control

作用方式 Mode of action	功能植物/精油/化合物 Functional plants/oil	靶标昆虫 Target insect	习性/虫态 Target organism	剂量阈值 Dose threshold	参考文献 References
<b>驱避 Repellant</b>	迷迭香 <i>Rosmarinus officinalis</i>	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 幼虫与成虫 Egg laying, larvae and adults	#	Sun <i>et al.</i> , 2022
	碰碰香 <i>Plectranthus tomentosus</i>	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	#	Ma <i>et al.</i> , 2024
	红豆草 <i>Onobrychis viciifolia</i>	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	卵、幼虫与成虫 Eggs, larvae and adults	#	Zarei <i>et al.</i> , 2019
	月桂精油 <i>Laurus nobilis</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 幼虫 Egg laying, larvae	4 $\mu\text{L}/\text{mL}$	Lo Pinto <i>et al.</i> , 2022
	牛至精油 <i>Origanum majorana</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 幼虫 Egg laying, larvae	4 $\mu\text{L}/\text{mL}$	Lo Pinto <i>et al.</i> , 2022
	蒜精油 <i>Allium sativum</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 幼虫 Egg laying, larvae	6 $\mu\text{L}/\text{ml}$	Lo Pinto <i>et al.</i> , 2022
	薄荷精油 <i>Mentha piperita</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 幼虫 Egg laying, larvae	4 $\mu\text{L}/\text{mL}$	Lo Pinto <i>et al.</i> , 2022
	罗勒精油 <i>Ocimum basilicum</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	成虫 Adults	0.24 $\mu\text{L}/\text{mL}$	Essoung <i>et al.</i> , 2020
	乞力马扎罗罗勒 <i>Ocimum kilimandscharicum</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	成虫 Adults	0.43 $\mu\text{L}/\text{mL}$	Essoung <i>et al.</i> , 2020
	肉桂精油 <i>Cinnamomum cassia</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Adults	0.0785 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$	Allam Tarik, 2015
	2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	100 $\mu\text{g}$ 和 1 000 $\mu\text{g}$	Chen <i>et al.</i> , 2023
	反,反-2,4-壬二烯醛 Trans,Trans-2,4-Nonadienal	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	1 000 $\mu\text{g}$	Chen <i>et al.</i> , 2023

	2-苯乙醇 2-Phenylethanol	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	100 µg 和 1 000 µg	Chen <i>et al.</i> , 2023
	反-2-壬烯醛 Trans-2-Nonenal	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	1 µg、10 µg、100 µg 和 1 000 µg	Chen <i>et al.</i> , 2023
<b>吸引</b>		寄生蜂、食蚜蝇和其他多种天敌			
<b>Attracting</b>	香雪球 <i>Lobularia maritima</i>	Parasitic wasps, gophers and many other natural enemies	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Arnó <i>et al.</i> , 2018, 2021
	白芥 <i>Sinapis alba</i>	Parasitic wasps, gophers and many other natural enemies	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Arnó <i>et al.</i> , 2018, 2021
	蓍草 <i>Achillea millefolium</i>	寄生蜂、食蚜蝇和其他多种天敌 Parasitic wasps, gophers and many other natural enemies	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Arnó <i>et al.</i> , 2018, 2021
	荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i>	寄生蜂、食蚜蝇和其他多种天敌 Parasitic wasps, gophers and many other natural enemies	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Arnó <i>et al.</i> , 2018, 2021
	金盏花 <i>Calendula officinalis</i>	寄生蜂、食蚜蝇和其他多种天敌 Parasitic wasps, gophers and many other natural enemies	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Arnó <i>et al.</i> , 2018
	岩豆 <i>Ononis natrix</i>	寄生蜂、食蚜蝇和其他多种天敌 Parasitic wasps, gophers and many other natural enemies	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Arnó <i>et al.</i> , 2018
	万寿菊 <i>Tagetes patula</i>	寄生蜂、食蚜蝇和其他多种天敌 Parasitic wasps, gophers and many other natural enemies	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Arnó <i>et al.</i> , 2018
	香菜 <i>Coriandrum sativum</i>	蜘蛛、瓢虫和其他捕食性昆虫 Spiders, ladybirds and other predatory insects	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Medeiros <i>et al.</i> , 2009

		蜘蛛、瓢虫和其他捕食性昆虫			
	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	Spiders, ladybirds and other predatory insects	卵、幼虫、成虫 Eggs, larvae, adults	#	Medeiros <i>et al.</i> , 2009
	柠檬烯 Limonene	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	成虫 Adults	10 µL	Msimi <i>et al.</i> , 2021
	β-罗勒烯 β-ocimene	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	成虫 Adults	10 µL	Msimi <i>et al.</i> , 2021
	α-松油烯 α-Terpinene	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	成虫 Adults	10 µL	Msimi <i>et al.</i> , 2021
	δ-榄香烯和(E)-β-石竹烯混合物 Mixture of δ-Elemene and (E)-β-Caryophyllene	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	成虫 Adults	10 µL	Msimi <i>et al.</i> , 2021
	苯醌 p-quinone	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵 Egg laying	#	Subramani <i>et al.</i> , 2021
	2-萜烯 2-carene	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵 Egg laying	#	Subramani <i>et al.</i> , 2021
	δ-姜黄烯 δ-curcumene	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵 Egg laying	#	Subramani <i>et al.</i> , 2021
	1,2-二乙基苯 1,2-diethylbenzene	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵 Egg laying	#	Subramani <i>et al.</i> , 2021
	辛酸乙酯 Ethyl octanoate	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	1 µg、10 µg 和 100 µg	Chen <i>et al.</i> , 2023
	1-壬醇 1-Nonanol	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	1 µg 和 10 µg	Chen <i>et al.</i> , 2023
	庚酸乙酯 Ethyl heptanoate	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	10 µg	Chen <i>et al.</i> , 2023
	邻硝基苯酚 O-Nitrophenol	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	产卵, 成虫 Egg laying, adults	1 µg	Chen <i>et al.</i> , 2023
				卵 Egg: 1161 ml/L	
<b>致死 Deadly</b>	豆蔻精油 <i>Elettaria cardamomum</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	卵、2 龄幼虫与成虫 Eggs, 2 <sup>nd</sup> instar larvae and adults	2 龄幼虫(叶片内) 2 <sup>nd</sup> instar larvae (inside leaves): 10.27 ml/L。 2 龄幼虫(叶片外) 2 <sup>nd</sup> instar larvae (off	Goudarzvand Chegini and Abbasipour, 2017



			leaves): 3.28 ml/L	
			成虫 Adult: 2.84 mL/L	
肉桂 <i>Cinnamomum zeylanicum</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	0.054 $\mu$ L/cm <sup>2</sup>	Allam Tarik, , 2015
中亚苦蒿精油 <i>Artemisia absinthium</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	卵、2 龄幼虫与成虫 Eggs, 2 <sup>nd</sup> instar larvae and adults	直接接触杀 Direct touch: 1.4 $\pm$ 0.2 mg/cm <sup>2</sup> 熏蒸 Fumigation: 0.29 $\pm$ 0.03 mg/cm <sup>3</sup>	Umpiérrez <i>et al.</i> , 2012
紫茎泽兰精油 <i>Eupatorium buniifolium</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	卵、2 龄幼虫与成虫 Eggs, 2 <sup>nd</sup> instar larvae and adults	直接接触杀 Direct touch: 1.5 $\pm$ 0.2 mg/cm <sup>2</sup> 熏蒸 Fumigation: 0.29 $\pm$ 0.06 mg/cm <sup>3</sup>	Umpiérrez <i>et al.</i> , 2012
百里香精油 <i>Thymus mongolicus</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> instar larvae	直接接触杀 Direct touch: 1.824 $\mu$ L/mL 熏蒸 Fumigation: 7.609 $\mu$ L/mL	Ngongang <i>et al.</i> , 2022
柠檬草精油 <i>Cymbopogon citratus</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> instar larvae	直接接触杀 Direct touch: 1.643 $\mu$ L/mL 熏蒸 Fumigation: 2.852 $\mu$ L/mL	Ngongang <i>et al.</i> , 2022
柑橘精油 <i>Citrus reticulata</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	116.26 ppm	Marouf and Harras, 2022; De Paiva Silva <i>et al.</i> , 2023
樟木精油 <i>Camphora officinarum</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	794.49 ppm	Marouf and Harras, 2022
金盏花精油 <i>Calendula officinalis</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	145.12 ppm	Marouf and Harras, 2022
柠檬草精油 <i>Cymbopogon citratus</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	7.77 $\mu$ L/L	Goudarzvand Chegini and Abbasipour, 2017
迷迭香精油 <i>Salvia rosmarinus</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	5.59 $\mu$ L/L	Goudarzvand Chegini and Abbasipour, 2017
蓝桉精油 <i>Eucalyptus globulus</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	5.62 $\mu$ L/L	Goudarzvand Chegini and Abbasipour, 2017
鼠尾草精油 <i>Salvia japonica</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	4.05 $\mu$ L/L	Goudarzvand Chegini and Abbasipour, 2017
薄荷精油 <i>Mentha canadensis</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	幼虫 Larvae	3.59 $\mu$ L/L	Goudarzvand Chegini and Abbasipour, 2017

---

苦楝子精油 <i>Melia azedarach</i> EO	番茄潜叶蛾 <i>Tuta absoluta</i>	卵、幼虫、蛹、成虫 Eggs, larvae, pupa, adults	500 000 ppm	Efat Abou-Fakhr Hammad <i>et al.</i> , 2019
---------------------------------	----------------------------	---	-------------	--

---

注: #表示未有相关记录。Note: # indicated that no relevant records were available.