前沿与综述

我国番茄潜叶蛾防控策略研究现状与展望*

陈万斌[1**] 刘 欢[2] 郭致杰[1***] 张礼生[3, 4***]

（1. 甘肃省农业科学院植物保护研究所，兰州 730070；2. 甘肃农业大学植物保护学院，甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室，兰州 730070；3. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害综合治理全国重点实验室，北京 100193；4. 中国农业科学院上海兽医研究所，农业农村部动物生物风险防控（北方）重点实验室，上海 200241）

摘 要 番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 作为全球茄科作物的重要毁灭性入侵害虫，自 2017 年入侵我国以来，已对我国番茄产业及生态安全构成严峻威胁。本文从防控策略角度出发，对当前我国番茄潜叶蛾防控中的生态调控技术、理化诱控技术、生物防治技术和化学防治技术的研究现状进行了系统梳理和归纳，并就未来防控技术的创新进行了展望，以期为相关防控工作的开展提供参考。

关键词 番茄潜叶蛾；生态调控；理化诱控；生物防治；化学防治

Current status of prevention and control strategies for *Tuta absoluta* in China and prospects for future research

CHEN Wan-Bin[1**] LIU Huan[2] GUO Zhi-Jie[1***] ZHANG Li-Sheng[3, 4***]

(1. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Key Laboratory of Animal Biosafety Risk Prevention and Control (North) of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Veterinary Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 200241, China)

Abstract *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) is a globally destructive, invasive pest of Solanaceae crops that poses a severe threat to China's tomato industry and ecological security since 2017. Taking an integrated pest management perspective, this article systematically reviews the current status of research on four key strategies for the control of *T. absoluta* in China; ecological regulation techniques, physicochemical trapping and control techniques, biological control techniques, and chemical control techniques. Future directions for technological innovation in pest control are discussed with the aim of providing a reference for optimizing integrated pest management strategies.

Key words *Tuta absoluta*; ecological regulation; physicochemical trapping and control; biological control; chemical control

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 原产于南美洲秘鲁，是全球茄科作物的重大毁灭性害虫。自 2006 年入侵西班牙等地中海沿岸国家以来，迅速扩散蔓延至亚欧非大陆，其扩散速度快、危害程度重，引发国际社会的高度关注。2017 年，番茄潜叶蛾通过农产品贸易等途径首次入侵我国新疆伊犁地区，2018 年在云南临沧也发现该虫（张桂芬等, 2019）。随后，迅速扩散至贵州、云南、湖南、重庆、广西、陕西、山西、内蒙古、甘肃、青海、宁夏、辽宁、河北、天津、北京、河北等多个省（直辖市、自治区）（中华人民共和国农业农村部, 2024）。其入侵历程呈现“点状突破-

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2023YFD1400600，2021YFD1400200）；上海东方英才拔尖项目（T2024107）

**第一作者 First author，E-mail：chenwb24@126.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：guozhijie@gsagr.ac.cn；zhangleesheng@163.com

收稿日期 Received：2025-05-19；接受日期 Accepted：2026-02-04

区域蔓延-全国扩散”的典型特征，跨境贸易中的寄主植物（番茄、茄子）携带及成虫随风迁移是其传播的主要途径。

番茄潜叶蛾具有以下生物学特点：（1）寄主植物广。据统计，可危害水果、蔬菜、花卉、烟草、粮食等近 40 余种植物。其中，明显偏好茄科作物，并具有极强破坏力（Biondi *et al.*, 2018）；（2）繁殖水平高。雌虫一生可发生多次交尾行为，单雌产卵量约 260 粒，高者可达 350 粒（Desneux *et al.*, 2010）；（3）扩散速度快。每年以 800 km 的速度发生迁移扩散（Desneux *et al.*, 2010）；（4）适应能力强。可在番茄植株整个生长期取食危害。幼虫孵化后潜入叶片组织内部取食叶肉，极其隐蔽，难以发现。同时，幼虫还具有转叶、转株危害的特点。该虫既可在严寒条件下越冬，也可在温暖地域危害，在 1 000-3 500 m 的海拔条件下均可生存繁衍（Biondi *et al.*, 2018）；（5）世代重叠重。番茄潜叶蛾每年发生 10-12 代，其发生代数与温度呈强正相关性。通常情况下，卵、幼虫、蛹、成虫同时发生（Biondi *et al.*, 2018）。可见，番茄潜叶蛾对我国农业生产构成了严重威胁，尤其是对番茄、马铃薯等产业。鉴于此，农业农村部已于 2023 年 11 月将其列入《一类农作物病虫害名录》（中华人民共和国农业农村部, 2023）。当前，我国在监测预警、理化诱控、生物防治等方面已形成较为成熟的技术体系，示范区防控成效显著（孙星星等, 2025）。但因该虫繁殖力强、寄主广泛等特性，部分区域仍存在较高的扩散和暴发风险。在农药减量背景下，亟需系统梳理现有防控策略及进展，本综述可为优化区域可持续治理体系提供理论支撑，保障番茄产业安全。因此，本文就当前我国番茄潜叶蛾的防控研究现状进行梳理，系统总结了其生态调控技术、理化诱控技术、生物防治技术和化学防治技术的研究现状，并就未来防控技术创新进行了展望，以期为相关防控工作的开展提供参考。

1 生态调控技术

1.1 抗虫品种筛选与应用

植物在长期的进化适应过程中逐渐演化出了合成抗虫物质以抵御虫害的能力（陆宴辉等, 2023）。通过合理的抗性优化布局，可增强作物自身防御水平，实现害虫可持续治理。通过对甘肃当地种植的 14 个番茄品种的农艺性状、虫情指数和抗性水平关联分析发现，秦蔬仙子和秦番小皇后两个樱桃番茄类品种（枝叶稀疏、叶片角质厚）对番茄潜叶蛾抗性较好（蛀果率<20%），而金秀、传奇、大红 716 等常规蔬食类品种（枝叶稠密、叶片肥厚）则表现为高感（蛀果率>70%），后者稠密的枝叶结构更契合害虫的隐匿与繁殖习性（刘月英等, 2025）。番茄潜叶蛾寄主选择性和产卵偏好性等明显受番茄叶片理化性状的影响，幼虫更偏好取食蛋白质含量较低的番茄叶片，而成虫则更加偏爱在叶绿素含量较高的叶片上产卵（薛增昇等, 2023）。昆虫对植物的取食可能会诱导植物抗虫蛋白的高表达进而抵御昆虫摄食，而蛋白含量较低的叶片可能其防御反应相对较弱，更加有利于幼虫的取食（McKenzie *et al.*, 2002）。高水平的叶绿素含量是保证植物通过光合作用合成有机物的重要前提，成虫为了最大限度的保证后代的繁衍生存，通常会优先选择叶绿素丰富的叶片产卵（Banu and Yadav, 2022）。

1.2 作物种植结构布局

间作与轮作是农业生态调控技术中的重要组成部分，通过对作物种植结构进行合理的配置和优化，能够充分发挥植物自身抗虫等优势，有效改善农田生态系统的同时实现害虫综合治理。在对番茄 *Solanum lycopersicum*、茄子 *Solanum melongena*、黄瓜 *Cucumis sativus*、菠菜 *Spinacia oleracea*、大蒜 *Allium sativum* 等 9 种寄主植物进行适宜度评价后发现，番茄潜叶蛾偏好在番茄和茄子上产卵，且能完成其生活史；在香菜 *Coriandrum sativum*、辣椒 *Capsicum annuum*、油菜 *Brassica rapa* 和黄瓜上产卵量极少，存活率、发育历期等生物学参数显著较其在番茄上低；在香葱 *Allium ascalonicum*、大蒜和菠菜上不产卵。基于番茄潜叶蛾在上述作物上的生物学表现，综合分析认为，在生产过程中可将黄瓜、香菜和辣

椒作为间作或轮作蔬菜，也可考虑利用番茄潜叶蛾不在菠菜、香葱和大蒜上产卵的客观事实将其作为趋避植物，进一步发展推拉策略以此来实现对番茄潜叶蛾的生态调控，降低或减缓其发生规模（郭文秀等, 2024a）。

1.3　功能植物驱避

基于“Push-pull”策略合理利用植物资源对靶标害虫进行驱避或诱集也是害虫综合治理中的一项重要措施。通过测定常见驱避植物对番茄潜叶蛾成虫和幼虫的驱避效果，发现碰碰香 *Plectranthus tomentosa* 和迷迭香 *Rosmarinus officinalis* 均对番茄潜叶蛾成虫和幼虫具有高驱避活性，同时还发现迷迭香具有抑制成虫产卵和孵化、延长蛹发育历期的特点。进一步分析挥发物成分，发现桉叶油醇（0.01 g·mL^{-1}）可显著驱避成虫和幼虫，并可降低卵孵化率和延长幼虫发育历期，说明该成分具有作为开发驱避剂的潜质（马睿馨, 2024; Sun *et al*., 2024）。

2　生物防治技术

2.1　天敌昆虫控害能力评价与释放应用

害虫生物防治作为植物保护绿色防控技术的重要组成部分，在我国农药减量增效，保障农业生产安全、农产品质量安全以及生态安全中发挥着重要作用，是促进农业绿色可持续发展的核心技术手段（张古忍等, 2024）。从表 1 可看出，我国拥有丰富的番茄潜叶蛾天敌资源，捕食性天敌资源主要包括捕食蝽、食蚜蝇、瓢虫、蜘蛛、甲虫和蠼螋，寄生性天敌资源主要涉及赤眼蜂 *Trichogramma* spp.。云南、山东、新疆等地报道的天敌资源较多，尤以云南最多。天敌类型方面，主要以捕食幼虫为主，仅赤眼蜂、南方小花蝽 *Orius similis* 和东亚小花蝽 *Orius sauteri* 寄生/取食番茄潜叶蛾卵。捕食性天敌对幼虫的捕食能力介于 20.83-454.55 头之间，捕食量总体表现出随捕食者龄期的增加而增长、随猎物虫态和体型的增加而降低的态势。寄生性天敌对卵的寄生能力为 0.33-83.3 粒不等，东亚小花蝽和南方小花蝽对卵的捕食能力在 61.14-100.00 粒之间。可看出，我国番茄潜叶蛾的天敌资源丰富，具有数量种类多、控害能力强、控害范围广等特点，这为利用天敌昆虫防控番茄潜叶蛾奠定了坚实的资源基础。

在应用方面，通过对多种赤眼蜂的寄生能力评价，筛选出螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 为优势蜂种，其母代寄生能力、子代羽化率及雌性比例均表现优异。温室试验表明，60 万头/hm^2 的单次释放防效达 76%。进一步研究发现，释放频次显著影响防控效果。相较于单次释放（防效 44%），在第 1 天和第 4 天分两次各释放 30 万头/hm^2，防效可提升至 60%；而两次各释放

表 1　我国番茄潜叶蛾寄生性和捕食性天敌资源种类

Table 1　Species of parasitic and predatory natural enemies of *Tuta absoluta* in China

物种 Species	天敌虫态 Stage of natural enemies	天敌来源 Source of natural enemies	靶标虫态 Stage of target pest	寄生/捕食能力（粒/头） Parasitic/predatory capacity (grains/ind.)	参考文献 References
南方小花蝽 *Orius similis*	成虫 Adult	云南昆明 Kunming, Yunnan	卵 Egg	100.000	蒋正雄等, 2022
	成虫 Adult	云南昆明 Kunming, Yunnan	1 龄 1st instar	20.833	
东亚小花蝽 *Orius sauteri*	雌成虫 Female adult	山东济南 Jinan, Shandong	卵 Egg	64.103	王瑞娟等, 2023
	雄成虫 Male adult	山东济南 Jinan, Shandong	卵 Egg	61.140	
小花蝽 *Orius* sp.	–	云南昆明、丽江、文山、红河 Kunming, Lijiang, Wenshan, Honghe, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024

续表 1 (Table 1 continued)

物种 Species	天敌虫态 Stage of natural enemies	天敌来源 Source of natural enemies	靶标虫态 Stage of target pest	寄生/捕食能力（粒/头） Parasitic/predatory capacity (grains/ind.)	参考文献 References
黑翅小花蝽 *Orius agilis*	–	云南昆明、丽江、文山、红河、曲靖 Kunming, Lijiang, Wenshan, Honghe, Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
益蝽 *Picromerus lewisi*	4 龄 4th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	4 龄 4th instar	33.330	杨韵等, 2023
	5 龄 5th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	2 龄 2nd instar	142.860	
	5 龄 5th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	3 龄 3rd instar	66.670	
	5 龄 5th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	4 龄 4th instar	43.480	
	雌成虫 Female adult	云南昆明 Kunming, Yunnan	4 龄 4th instar	33.330	
	雄成虫 Male adult	云南昆明 Kunming, Yunnan	4 龄 4th instar	21.740	
蠋蝽 *Arma chinensis*	5 龄 5th instar	河南济源 Jiyuan, Henan	2 龄 2nd instar	126.580	杨万博, 2024
	5 龄 5th instar	河南济源 Jiyuan, Henan	3 龄 3rd instar	93.460	
	5 龄 5th instar	河南济源 Jiyuan, Henan	4 龄 4th instar	43.290	
烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis*	–	云南玉溪、昭通、昆明、楚雄、丽江、大理、普洱、文山 Yuxi, Zhaotong, Kunming, Chuxiong, Lijiang, Dali, Puer, Wenshan, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
中华微刺盲蝽 *Campylomma chinensis*	–	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
环斑猛猎蝽 *Sphedanolestes impressicollis*	–	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
大眼蝉长蝽 *Geocoris pallidipennnis*	–	云南楚雄、红河 Chuxiong, Honghe, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
黄纹盗猎蝽 *Pirates atromaculatus*	–	云南红河 Honghe, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
异色瓢虫 *Harmonia axyridis*	4 龄 4th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	1 龄 1st instar	147.060	杨桂群等, 2022
	4 龄 4th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	2 龄 2nd instar	140.850	
	–	云南昆明、普洱 Kunming, Puer, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*	4 龄 4th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	1 龄 1st instar	333.330	杨桂群等, 2022
	4 龄 4th instar	云南昆明 Kunming, Yunnan	2 龄 2nd instar	149.250	
	–	云南曲靖 Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
多异瓢虫 *Hippodamia variegata*	成虫 Adult	新疆伊宁 Yining, Xinjiang	1 龄 1st instar	454.550	帕提玛·乌木尔汗等, 2024
	成虫 Adult	新疆伊宁 Yining, Xinjiang	2 龄 2nd instar	161.290	
	成虫 Adult	新疆伊宁 Yining, Xinjiang	3 龄 3rd instar	81.970	

续表 1 (Table 1 continued)

物种 Species	天敌虫态 Stage of natural enemies	天敌来源 Source of natural enemies	靶标虫态 Stage of target pest	寄生/捕食能力（粒/头） Parasitic/predatory capacity (grains/ind.)	参考文献 References
七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*	–	云南昆明、丽江、普洱、文山、曲靖 Kunming, Lijiang, Puer, Wenshan, Qujing,Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
黄缘巧瓢虫 *Oenopia sauzeti*	–	云南曲靖 Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
大腹圆蛛 *Araneus ventricosus*	–	云南玉溪、大理 Yuxi, Dali, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
微蟹蛛 *Lysiteles* sp.	–	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
缅甸猫蛛 *Oxyopes birmanicus*	–	云南玉溪、昭通 Yuxi, Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
草间小黑蛛 *Hylyphantes graminicola*	–	云南昭通 Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
苔齿螯蛛 *Enoplognatha caricis*	–	云南昭通 Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
角类肥蛛 *Larinioides cornuta*	–	云南昭通 Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata*	–	云南丽江、大理、曲靖 Lijiang, Dali, Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
星豹蛛 *Pardosa astrigera*	–	云南大理 Dali, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
角红蟹蛛 *Thomisus labefactus*	–	云南大理 Dali, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
斜纹猫蛛 *Oxyopes ventricosus*	–	云南大理、曲靖 Dali, Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
警戒新圆蛛 *Neoscona vigilans*	–	云南曲靖 Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
刻纹叶球蛛 *Phylloneta impressa*	–	云南丽江 Lijiang, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
前齿肖蛸 *Tetragnatha praedonia*	–	云南玉溪、昭通 Yuxi, Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
圆尾肖蛸 *Tetragnatha shikokiana*	–	云南昭通 Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
华丽肖蛸 *Tetragnatha nitens*	–	云南昭通 Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
直伸肖蛸 *Tetragnatha extensa*	–	云南昭通 Zhaotong, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
棒络新妇 *Nephila clavate*	–	云南丽江 Lijiang, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
溪岸蠼螋 *Labidura riparia*	–	云南红河 Honghe, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024

续表 1 (Table 1 continued)

物种 Species	天敌虫态 Stage of natural enemies	天敌来源 Source of natural enemies	靶标虫态 Stage of target pest	寄生/捕食能力（粒/头） Parasitic/predatory capacity (grains/ind.)	参考文献 References
中华虎甲 *Cicindela chinensis*	–	云南红河 Honghe, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
中国金星步甲 *Calosoma chinense*	–	云南曲靖 Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
菜氏三角步甲 *Trigonotoma lewisii*	–	云南大理、文山 Dali, Wenshan, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*	成虫 Adult	河南济源 Jiyuan, Henan	卵 Egg	83.333	蒋正雄等, 2024
	成虫 Adult	山东济南 Jinan, Shandong	卵 Egg	10.800*	代晓彦等, 2023
螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis*	成虫 Adult	河南济源 Jiyuan, Henan	卵 Egg	41.667	蒋正雄等, 2024
	成虫 Adult	山东济南 Jinan, Shandong	卵 Egg	16.930*	代晓彦等, 2023
松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*	成虫 Adult	河南济源 Jiyuan, Henan	卵 Egg	35.714	蒋正雄等, 2024
	成虫 Adult	山东济南 Jinan, Shandong	卵 Egg	0.330*	代晓彦等, 2023
暗黑赤眼蜂 *Trichogramma pintoi*	成虫 Adult	新疆伊犁 Yili, Xinjiang	卵 Egg	27.900*	付开赟等, 2023
稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum*	成虫 Adult	山东济南 Jinan, Shandong	卵 Egg	2.300*	Li *et al.*, 2024
芙新姬小蜂 *Neochrysocharis formosa*	成虫 Adult	海南海口 Haikou, Hainan	1 龄 1st instar	16.500	Wang *et al.*, 2024
	成虫 Adult	海南海口 Haikou, Hainan	2 龄 2nd instar	3.900	
	成虫 Adult	海南海口 Haikou, Hainan	3 龄 3rd instar	0.900	
	成虫 Adult	海南海口 Haikou, Hainan	4 龄 4th instar	0.100	
灰带管食蚜蝇 *Eristalis cerealis*	–	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
黑带食蚜蝇 *Epistrphe balteata*	–	云南曲靖 Qujing, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024
长角食蚜蝇 *Chrysotoxum* sp.	–	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	–	–	张桂芬等, 2024

表中数据按 GB/T 8170-2008 数值修约规则统一保留三位小数。表 4-表 7 同。*为实际寄生卵量，–表示无相关信息。寄生能力以被寄生的卵粒数表示；捕食能力以被取食的幼虫数表示。

Data in the table have been uniformly rounded to three decimal places according to the rounding rules of GB/T 8170-2008. The same applies to Table 4-Table 7. * indicates the actual number of parasitized eggs, and – indicates no relevant information. Parasitism capacity is expressed as the number of eggs parasitized, and predation capacity as the number of larvae consumed.

60 万头/hm^2 的防效（61%）与之无显著差异。综合考虑成本与效果，推荐分两次各释放 30 万头/hm^2 为最佳应用策略（Li *et al*., 2024）。

2.2 昆虫病原微生物资源挖掘

从表 2 可看出，目前我国文献报道的番茄潜叶蛾的昆虫病原微生物资源主要为斯氏线虫 *Steinernema* spp.、异小杆线虫 *Heterorhabditis* spp. 和苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis*。斯氏线虫和异小杆线虫主要以幼虫和蛹为靶标虫态，在培养皿或叶片测定环境中致死率均较高，苏云金芽孢杆菌 G033A 对番茄潜叶蛾卵的致死率仅

表 2　我国番茄潜叶蛾昆虫病原微生物资源

Table 2　Species of entomopathogens of *Tuta absoluta* in China

物种 Species	靶标虫态 Stage of target pest	测定条件 Assay condition	死亡率（%） Mortality (%)	参考文献 References
小卷蛾斯氏线虫 All *Steinernema carpocapsae* All	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	培养皿 Petri dish	81.2-100.0	郭文秀等, 2024b
	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	叶片 Leaf	95.0-100.0	郭文秀等, 2024b
长尾斯氏线虫 X-7 *Steinernema longicaudum* X-7	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	培养皿 Petri dish	70.1-100.0	郭文秀等, 2024b
	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	叶片 Leaf	95.0-100.0	郭文秀等, 2024b
芫菁夜蛾斯氏线虫 SN *Steinernema feltiae* SN	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	培养皿 Petri dish	68.8-100.0	郭文秀等, 2024b
	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	叶片 Leaf	95.0-100.0	郭文秀等, 2024b
异小杆线虫 H06 *Heterorhabditis bacteriophora* H06	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	培养皿 Petri dish	62.5-100.0	郭文秀等, 2024b
	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	叶片 Leaf	95.0-100.0	郭文秀等, 2024b
印度异小杆线虫 LN2 *Heterorhabditis indica* LN2	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	培养皿 Petri dish	52.1-100.0	郭文秀等, 2024b
	2 龄、4 龄、蛹 2nd instar, 4th instar larva, and pupa	叶片 Leaf	95.0-100.0	郭文秀等, 2024b
苏云金芽孢杆菌 G033A *Bacillus thuringiensis* G033A	卵 Egg	叶片 Leaf	<25.0	张桂芬等, 2020b
	卵 Egg	温室 Greenhouse	1.7	张桂芬等, 2020b
	1-2 龄 1st-2nd instar	叶片 Leaf	>95.0	张桂芬等, 2020b
	1 龄 1st instar	温室 Greenhouse	89.1-100.0	张桂芬等, 2020b
	2 龄 2nd instar	温室 Greenhouse	98.0-100.0	张桂芬等, 2020b
	3 龄 3rd instar	叶片 Leaf	>90.0	张桂芬等, 2020b
	4 龄 4th instar	叶片 Leaf	>90.0	张桂芬等, 2020b

表中数据按 GB/T 8170-2008 数值修约规则统一保留一位小数。表 3 同。

Data in the table have been uniformly rounded to one decimal place according to the rounding rules of GB/T 8170-2008. The same applies to Table 3.

1.7%-25.0%，但其对幼虫的致死率高达 90%以上。目前，我国对番茄潜叶蛾昆虫病原微生物有关的研究大都集中于室内致死率测定和温室防效评价，而涉及规模化应用或大面积推广有关的

研究相对较为欠缺。

3 理化诱控技术

3.1 性信息素诱捕技术

昆虫性信息素是由某一性别个体通过腹部腺体等分泌的微量化学物质，主要作用是吸引同种的异性个体进行交配以完成其繁衍后代的任务。具有微量高效、环境友好、专一性强等特点。在农业生产中常用于虫情监测与预测、害虫诱杀与防控等。目前，利用性信息素防治番茄潜叶蛾也是当前的研究热点，且已取得较好成效。

番茄潜叶蛾交配行为及性信息素释放节律的研究表明，成虫交配主要发生在清晨（6:00-11:00，7:00 为峰值），平均交配 10.4 次（Desneux *et al.*, 2010）。雌虫通过释放性信息素吸引雄虫，其主成分为反-3-顺-8-顺-11-十四碳三烯乙酸酯，微量成分为反-3-顺-8-十四碳二烯乙酸酯，二者比例在 100∶2-100∶12 之间（Hickel *et al.*, 1992; Attygalle *et al.*, 1996; 张丹等, 2024）。尽管性信息素主要成分保持相同，但不同厂家诱芯的诱捕效果却存在显著差异。通过比较北京中捷四方生物科技股份有限公司（简称：中捷四方）、青岛罗素生物技术有限公司（简称：青岛罗素）、北京水光科技有限公司（简称：水光科技）、中国科学院动物研究所（简称：动物所）4 种诱芯的诱捕效果发现，青岛罗素诱芯的诱蛾效果显著高于其它 3 种。综合诱捕效果与性价比，动物所的诱芯更加兼顾了效果和价格之间的平衡（张桂芬等, 2020a）。

与诱芯配套应用的诱捕器类型、高度、颜色、位置、方向等均是影响性信息素诱捕效果的重要因子（表 3）。因害虫种类不同，不同颜色的诱捕器发挥的作用也各有差异（吴青君等, 2007; 帕提玛·乌木尔汗等, 2018; 张桂芬等, 2021）。前期研究发现，番茄潜叶蛾对含有少量蓝光和紫光的黑光灯、紫外灯有明显的偏好（Cocco *e al.*, 2012），这也为蓝色诱捕器有显著诱集效果提供了佐证。而在山东冬暖大棚的诱捕试验却发现，黑色和红色诱捕器诱捕效果最佳。相同之处是均发现白色诱捕器效果最差（王桂萍等, 2024）。诱捕器设置高度与寄主植物株高及成虫活动特性密切相关。研究发现，番茄潜叶蛾成虫常在寄主植物冠层上方活动（Megido *et al.*, 2013），但田间观察表明其具有在地表求偶和交配的习性（张桂芬等, 2021），因此将诱捕器设置在近地面处更有利于诱捕。田间调查显示，通风口处植物的危害程度最为严重，且自下而上呈渐轻趋势（谈钇汐等, 2022）。说明通风良好区域虫口密度较高，且良好的通风条件也有助于性信息素扩散。综上，蓝色诱捕器、近地面处、通风较好的位置、大口径水盆的诱捕效果较好。因此，对诱捕器进行科学选择与合理布局，可显著提升其诱捕效果。

表 3 我国番茄潜叶蛾诱捕器类型、颜色、高度、位置对诱捕效果的影响

Table 3 Effects of trap types, colors, heights, and locations on the capture efficacy of *Tuta absoluta* in China

诱捕器布设参数 Trap deployment parameters	诱捕器属性维度 Trap attribute dimensions	诱捕天数（d）Trap duration (d)	累积诱蛾量（头）Cumulative moth capture (ind.)	参考文献 References	推荐方案 Recommendation
颜色 Color	白色 White	61	1 072.7	张桂芬等, 2021	
	黄色 Yellow		2 065.8		
	绿色 Green		1 998.3		
	蓝色 Blue		2 548.3		√
	白色 White	41	47.4	谈钇汐等, 2022	
	黄色 Yellow		30.9		
	绿色 Green		59.7		
	蓝色 Blue		65.4		√

续表 3 (Table 3 continued)

诱捕器布设参数 Trap deployment parameters	诱捕器属性维度 Trap attribute dimensions	诱捕天数（d）Trap duration (d)	累积诱蛾量（头）Cumulative moth capture (ind.)	参考文献 References	推荐方案 Recommendation
颜色 Color	黑色 Black	12	171.6	王桂萍等, 2024	√
	红色 Red		141.0		
	玫红色 Rose red		74.4		
	蓝色 Blue		57.0		
	黄色 Yellow		28.8		
	绿色 Green		22.8		
	粉色 Pink		15.0		
	白色 White		10.2		
高度 Height	0 cm	37	332.2	张桂芬等, 2021	√
	0-20 cm		94.2		
	60-80 cm		12.4		
	120-140 cm		9.2		
	180-200 cm		7.4		
	40-60 cm	39	125.1	谈钇汐等, 2022	√
	90-110 cm		96.1		
	140-160 cm		65.1		
	0 cm	12	200.3	王桂萍等, 2024	√
	50 cm		103.3		
	100 cm		55.0		
	150 cm		29.5		
	200 cm		16.0		
	250 cm		13.5		
	300 cm		15.0		
诱捕器位置 Location	通风口处 At the ventilation outlet	35	103.0	谈钇汐等, 2022	√
	远离通风口处 Away from the ventilation outlet		71.4		
	出入口 Entrance and exit		66.6		
诱捕器类型 Trap type	蓝色胶板 Blue sticky trap	18	75.5	盛世蒙等, 2023	
	小蓝盆（直径 26 cm）Small blue tub (diameter: 26 cm)	18	62.5		
	蓝色胶板 Blue sticky trap	23	172.5		
	大红盆（直径 30 cm）Large red tub (diameter: 30 cm)	23	256.2		√

3.2　食诱剂诱捕技术

通过模拟植食性害虫生长必需的植物茎叶果等食物气味而合成、组配的食物源引诱剂是害虫行为调控技术的重要组成内容。目前，番茄潜叶蛾食诱剂研发处于起步阶段，更加侧重于对寄

主挥发物偏好性的研究（易松望, 2024）。发酵糖水、糖醋酒液以及花香气味等也是在其它昆虫中研究和应用相对较为广泛的食诱剂，且引诱效果较好（易松望, 2024）。通过触角电位反应试验、Y 形管嗅觉选择性试验、产卵选择性试验依次对不同浓度的 9 种花香化合物、4 种番茄植株挥发物和 11 种传统食诱剂挥发物进行测定，发现癸醛、乙酸辛酯、庚酸乙酯、间苯二酚、苯甲酸乙酯和水杨酸甲酯对番茄潜叶蛾成虫具有明显的引诱作用，且可引诱成虫产卵。其中，苯甲酸乙酯和癸醛具有开发双性引诱剂的巨大潜力（易松望等, 2024），为番茄潜叶蛾食诱剂产品的研发奠定了坚实基础。

3.3 物理阻隔技术

通过人工构建隔离屏障阻断害虫潜入对作物造成直接或间接危害的防虫网覆盖技术是农事生产中常用的物理阻隔害虫的技术。该方法可阻隔害虫侵入、降低虫源基数、减少害虫流行传播等，目前已在我国蔬菜生产中广泛应用。在云南玉溪，14 目防虫网物理阻隔技术在番茄苗期、花期和果期对番茄潜叶蛾的阻隔率为 19.35%-39.10%，防虫网处理区番茄的受害率较对照低 8.38%。回归分析结果也明确表明，番茄的受害率与早期番茄潜叶蛾的虫口密度高度相关（何云川等, 2022）。在山东平度番茄集约化种植区的研究发现，防虫网可大幅降低温室内番茄潜叶蛾的成虫发生量和植株被害率，不同调查时期的成虫隔离率介于 71.19%-95.65%（李岳, 2025）。因此，采用防虫网物理阻隔技术从源头降低虫口密度可有效减轻番茄潜叶蛾防控难度和压力。

3.4 光诱杀技术

通过利用昆虫趋光特性的诱杀技术是害虫种群发生动态监测和防控治理的重要技术措施。该方法具有环保、绿色、低成本等特点，现已在多种农作害虫的监测与防控中广泛应用。通过在云南玉溪比较不同波长蓝紫光对番茄潜叶蛾的诱杀效果发现，诱捕效果从高到低依次为 380、405、425、460 和 445 nm，解剖诱捕到的成虫发现 84%以上的个体均为抱卵雌虫（张桂芬等, 2022）。综合认为，380 nm 的紫外光诱捕效果最好，不但能有效降低母代成虫数量，还能显著压低下一代虫口基数。另一在山东济南进行的同类研究也发现，番茄潜叶蛾对 380-385、410-420、390-395、430-435、420-425 和 365-370 nm 波段光谱的趋性逐渐降低，也认为 380-385 nm 的紫光可用于番茄潜叶蛾的监测与诱杀（石磊等, 2024）。

4 化学防治技术

4.1 我国防控番茄潜叶蛾的药剂种类及防控效果

化学防控作为主要应急防控手段在番茄潜叶蛾的综合治理中具有重要作用。截止 2024 年 11 月，我国已批准登记了 2 种防治番茄潜叶蛾的药剂，分别为苏云金杆菌 G033A 可湿性粉剂（32 000 IU/mg，武汉科诺生物科技股份有限公司）和乙基多杀菌素悬浮剂（60 g/L，科迪华农业科技有限责任公司）。本文系统梳理了国内防控番茄潜叶蛾卵（表 4）、幼虫（表 6）、蛹（表 5）和成虫（表 7）的药剂种类及防控效果。

卵和蛹期因卵壳、蛹壳的物理屏障及发育代谢停滞等特性，是化学防控的难点。从表 4 可看出，卵阶段仅大环内酯类（甲氨基阿维菌素苯甲酸盐）和多杀菌素类（乙基多杀菌素）表现中等活性，卵期的化学防控需高度依赖药剂内吸性或卵壳渗透增效剂提升效果。表 5 结果表明，蛹期药剂普遍低效，仅虫螨腈与溴氰虫酰胺可通过线粒体能量阻断或胃毒作用部分穿透蛹壳。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和乙基多杀菌素的作用效果较好，LC_{50} 介于 31-35 mg/L。未来需研发针对卵壳几丁质或蛹蜡层的纳米载体递药技术，或结合昆虫生长调节剂干扰发育进程以进一步提高化学药剂对卵和蛹的穿透效率和作用效率。

幼虫期是番茄潜叶蛾危害最严重的阶段，也是对药剂最敏感的发育阶段，是化学防控的核心窗口期。由表 6 可见，多种药剂对幼虫表现出超高效力。共计 20 个大类，39 种药剂。其中，双酰胺类和新烟碱类涉及最多，然而防治效率却高低参差不同。大环内酯类（如甲氨基阿维菌素苯

表 4　我国用于防控番茄潜叶蛾卵的药剂

Table 4　Chemical control agents for *Tuta absoluta* eggs in China

类别 Category	药剂 Insecticide	LC_{50} (mg/L)	参考文献 References
大环内酯类 Macrolides	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	21.458, 13.588	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
	阿维菌素 Avermectin	68.521, 23.194	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
多杀菌素类 Spinosyns	乙基多杀菌素 Spinetoram	77.090, 1.415	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
双酰胺类 Diamides	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	68.982	夏小菊等, 2024
	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	149.969	夏小菊等, 2024
	四唑虫酰胺 Tetraniliprole	87.295	夏小菊等, 2024
新烟碱类 Neonicotinoids	噻虫嗪 Thiamethoxam	154.549	夏小菊等, 2024
	呋虫胺 Dinotefuran	>200.000	夏小菊等, 2024
吡咯类 Pyrroles	虫螨腈 Chlorfenapyr	66.056	夏小菊等, 2024
季酮酸类 Tetronic acids	螺虫乙酯 Spirotetramat	59.107	夏小菊等, 2024
拟除虫菊酯类 Pyrethroids	高效氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	80.748	夏小菊等, 2024

表 5　我国用于防控番茄潜叶蛾蛹的药剂

Table 5　Chemical control agents for *Tuta absoluta* pupae in China

类别 Category	药剂 Insecticide	LC_{50} (mg/L)	参考文献 References
大环内酯类 Macrolides	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	35.811	夏小菊等, 2024
	阿维菌素 Avermectin	147.133	夏小菊等, 2024
多杀菌素类 Spinosyns	乙基多杀菌素 Spinetoram	31.823	夏小菊等, 2024
双酰胺类 Diamides	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	58.627	夏小菊等, 2024
	四唑虫酰胺 Tetraniliprole	>200.000	夏小菊等, 2024
	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	131.912	夏小菊等, 2024
新烟碱类 Neonicotinoids	噻虫嗪 Thiamethoxam	>200.000	夏小菊等, 2024
	呋虫胺 Dinotefuran	>200.000	夏小菊等, 2024
吡咯类 Pyrroles	虫螨腈 Chlorfenapyr	52.641	夏小菊等, 2024
季酮酸类 Tetronic acids	螺虫乙酯 Spirotetramat	85.837	夏小菊等, 2024
拟除虫菊酯类 Pyrethroids	高效氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	100.134	夏小菊等, 2024

表 6　我国用于防控番茄潜叶蛾幼虫的药剂

Table 6　Chemical control agents for *Tuta absoluta* larvae in China

类别 Category	作用机制 Mechanism	药剂 Insecticide	LC_{50} (mg/L)	参考文献 References
大环内酯类 Macrolides	增强 GABA 释放，阻断神经肌肉传导→麻痹死亡（靶标：谷氨酸门控氯离子通道）[A]	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	0.061-0.118, 3.959, 4.300-7.500, 0.047, 0.033-2.186, 4.295, 0.057	李晓维等, 2022; 庾琴等, 2022; 郭文秀等, 2023; 阿卜力孜·塔伊尔等, 2024; 海永强等, 2024; 夏小菊等, 2024; 张治科等, 2024
		阿维菌素 Avermectin	0.398, 38.900-110.800, 0.405, 0.026	庾琴等, 2022; 郭文秀等, 2023; 夏小菊等, 2024; 张治科等, 2024

续表 6 (Table 6 continued)

类别 Category	作用机制 Mechanism	药剂 Insecticide	LC_{50} (mg/L)	参考文献 References
多杀菌素类 Spinosyns	激活烟碱型乙酰胆碱受体→持续神经兴奋→瘫痪（对鳞翅目高效）[B]	乙基多杀菌素 Spinetoram	0.847, 10.900-23.200, 0.072, 0.282-2.249, 0.225, 0.836	庾琴等, 2022; 郭文秀等, 2023; 海永强等, 2024; 渠成等, 2024b; 夏小菊等, 2024; 张治科等, 2024
		多杀霉素 Spinosad	1.121-28.933	李晓维等, 2022
双酰胺类 Diamides	激活鱼尼丁受体→肌质网钙离子过度释放→肌肉收缩失控（胃毒为主）[C]	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	7.204, 0.226, 0.384, 8.900-26.300, 0.335, 8.938, 0.106, 0.484, 0.167-35.513	李晓维等, 2022; 庾琴等, 2022; 郭文秀等, 2023; Qu *et al*., 2023; 崔洪莹等, 2024; 海永强等, 2024; 渠成等, 2024a; 夏小菊等, 2024; 张治科等, 2024
		四唑虫酰胺 Tetraniliprole	0.220, 3.748, 0.220, 0.052, 1.004, 4.304	庾琴等, 2022; 郭文秀等, 2023; Qu *et al*., 2023; 夏小菊等, 2024; 朱雅婷等, 2024a, 2024b
		四氯虫酰胺 Tetrachlorantraniliprole	0.064-0.469, 26.270	阿卜力孜·塔伊尔等, 2024; 崔洪莹等, 2024
		溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	2.010, 1.851, 1.662, 6.275	郭文秀等, 2023; Qu *et al*., 2023; 崔洪莹等, 2024; 夏小菊等, 2024
		氟虫双酰胺 Flubendiamide	0.355	Qu *et al*., 2023
新烟碱类 Neonicotinoids	激动 nAChR→持续神经信号传递→瘫痪（强内吸，对刺吸式害虫高效）[D]	吡虫啉 Imidacloprid	>100.000, 357.300-2 308.200	崔洪莹等, 2024; 张治科等, 2024
		噻虫嗪 Thiamethoxam	>100.000, 28.889, 27.612, 104.700-471.100, 0.702	郭文秀等, 2023; 崔洪莹等, 2024; 海永强等, 2024; 夏小菊等, 2024; 张治科等, 2024
		烯啶虫胺 Nitenpyram	60.200-176.900, >200.000	郭文秀等, 2023; 张治科等, 2024
		啶虫脒 Acetamiprid	0.616	海永强等, 2024
		呋虫胺 Dinotefuran	>200.000, >200.000, 2.039	庾琴等, 2022; 郭文秀等, 2023; 夏小菊等, 2024
拟除虫菊酯类 Pyrethroids	钠离子通道阻滞→重复神经放电→击倒作用（强触杀）[E]	高效氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	72.549, 95.242, 0.343	郭文秀等, 2023; 海永强等, 2024; 夏小菊等, 2024
		高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	11.200-35.600, 13.533-58.044	李晓维等, 2022; 张治科等, 2024
苯甲酰脲类 Benzoylureas	抑制几丁质合成酶→幼虫蜕皮受阻（对鳞翅目幼虫高效）[F]	氟啶脲 Chlorfluazuron	0.577-2.706	阿卜力孜·塔伊尔等, 2024
		氟铃脲 Hexaflumuron	0.126-0.507	阿卜力孜·塔伊尔等, 2024
		灭幼脲 Chlorobenzuron	0.155-0.917	阿卜力孜·塔伊尔等, 2024
吡咯类 Pyrroles	抑制线粒体复合体Ⅱ→阻断 ATP 合成→能量代谢崩溃（触杀/胃毒）[G]	虫螨腈 Chlorfenapyr	3.173, 2.865, 1.330	郭文秀等, 2023; 夏小菊等, 2024
		溴虫腈 Chlorfenapyr	0.599-14.323	李晓维等, 2022

续表 6 (Table 6 continued)

类别 Category	作用机制 Mechanism	药剂 Insecticide	LC_{50} (mg/L)	参考文献 References
季酮酸类 Tetronic acids	靶向乙酰辅酶 A 羧化酶(ACCase), 阻断脂肪酸合成→破坏细胞膜结构与能量储存 [H]	螺虫乙酯 Spirotetramat	46.078, 42.395	郭文秀等, 2023; 夏小菊等, 2024
		螺螨酯 Spirodiclofen	>200.000	郭文秀等, 2023
植物源农药 Botanical pesticides	抑制线粒体复合体Ⅰ→呼吸链中断 [I]	鱼藤酮 Rotenone	15.300, 20.200-55.000	海永强等, 2024; 张治科等, 2024
	干扰保幼激素合成→拒食+生长抑制 [J]	印楝素 Azadirachtin	3.200-20.000	张治科等, 2024
	抑制乙酰胆碱酯酶活性，导致乙酰胆碱堆积→持续神经兴奋→麻痹死亡 [K]	苦参碱 Matrine	2.620	海永强等, 2024
双酰肼类 Diacylhydrazines	模拟蜕皮激素→提前启动蜕皮程序→畸形死亡 [L]	甲氧虫酰肼 Methoxyfenozide	13.600-79.000	张治科等, 2024
噁二嗪类 Oxadiazines	抑制电压门控钠通道→神经传导阻滞 [M]	茚虫威 Indoxacarb	1.582-31.573	李晓维等, 2022
缩氨基脲类 Semicarbazones	钠通道阻滞剂，但结合位点与菊酯类不同 [N]	氰氟虫腙 Metaflumizone	0.278-1.407	阿卜力孜·塔伊尔等, 2024
三嗪类 Triazines	抑制几丁质合成酶活性，阻止幼虫表皮几丁质沉积 [O]	灭蝇胺 Cyromazine	0.140-0.746	阿卜力孜·塔伊尔等, 2024
间甲酰胺类 Meta-diamides	非竞争性 GABA 受体拮抗→抑制氯离子内流 [P]	溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide	0.707, 0.232	Qu *et al*., 2023; 渠成等, 2024a
吡啶酰胺类 Pyridinecarboxamides	特异性抑制蚜虫口针穿透，属新型拒食剂 [Q]	氟啶虫酰胺 Flonicamid	>100.000	崔洪莹等, 2024
砜亚胺类 Sulfoximines	乙酰胆碱受体部分激动→神经超极化 [R]	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	>100.000	崔洪莹等, 2024
丁烯酸内酯类 Butenolides	作为新型烟碱型乙酰胆碱受体激动剂，引发神经持续兴奋 [S]	氟吡呋喃酮 Flupyradifurone	>200.000	郭文秀等, 2023

续表 6 (Table 6 continued)

类别 Category	作用机制 Mechanism	药剂 Insecticide	LC_{50} (mg/L)	参考文献 References
哒嗪酮类 Pyridazinones	抑制线粒体复合体Ⅲ，阻断电子传递链，导致ATP合成中断 T	哒螨灵 Pyridaben	>200.000	郭文秀等, 2023
肼酯类 Hydrazine Carboxylates	抑制线粒体复合体Ⅲ→快速击倒靶标 U	联苯肼酯 Bifenazate	130.025	郭文秀等, 2023
复配剂 Combination Products	激活 GABA 受体，增强氯离子内流+阻断钠离子通道开放→双重神经毒性 V	阿维·杀虫单 Abamectin·monosultap	75.900-117.800	张治科等, 2024
	干扰害虫神经传导与氯虫苯甲酰胺激活肌肉钙离子失控释放的双靶标协同作用，实现快速击倒与长效控害 W	阿维·氯苯酰 Abamectin·chlorantraniliprole	0.059	海永强等, 2024
	神经毒性+几丁质合成抑制→幼虫/成虫双杀 X	甲维·虱螨脲 Emamectin benzoate·lufenuron	0.244	海永强等, 2024

A: Enhancement of GABA release, blockage of neuromuscular transmission → paralysis and death (target: Glutamate-gated chloride channels); B: Activation of nicotinic acetylcholine receptors (nAChRs) → sustained neuronal excitation → paralysis (high efficacy against Lepidoptera); C: Activation of ryanodine receptors (RyRs) → excessive calcium release from the sarcoplasmic reticulum → uncontrolled muscle contraction (primarily stomach action); D: Agonism of nAChRs → persistent neuronal signaling → paralysis (strong systemic activity, highly effective against piercing-sucking pests); E: Blockage of sodium channels → repetitive nerve firing → knockdown effect (strong contact activity); F: Inhibition of chitin synthase → disruption of larval molting (high efficacy against lepidopteran larvae); G: Inhibition of mitochondrial complex Ⅱ → blockage of ATP synthesis → disruption of energy metabolism (contact/stomach action); H: Targeting acetyl-CoA carboxylase (ACCase), blocking fatty acid synthesis → disruption of cell membrane structure and energy storage; I: Inhibition of mitochondrial complex Ⅰ → disruption of the respiratory chain; J: Interference with juvenile hormone synthesis → antifeedant effect and growth inhibition; K: Inhibition of acetylcholinesterase (AChE) activity, leading to acetylcholine accumulation → sustained neuronal excitation → paralysis and death; L: Mimicry of ecdysone → premature initiation of molting process → abnormal development and death; M: Inhibition of voltage-gated sodium channels → blockage of nerve conduction; N: Sodium channel blocker, but with a different binding site from pyrethroids; O: Inhibition of chitin synthase activity, preventing chitin deposition in the larval cuticle; P: Non-competitive antagonism of GABA receptors → inhibition of chloride ion influx; Q: Specifically inhibits aphid stylet penetration; classified as a novel antifeedant; R: Partial agonism of acetylcholine receptors → neuronal hyperpolarization; S: Acts as a novel agonist of nicotinic acetylcholine receptors (nAChRs), inducing sustained neuronal excitation; T: Inhibition of mitochondrial complex Ⅲ, blocking the electron transport chain → disruption of ATP synthesis; U: Inhibition of mitochondrial complex Ⅲ → rapid knockdown of target pests; V: Activation of GABA receptors (enhancing Cl^- influx) + blockage of sodium channel opening → dual neurotoxicity; W: Dual-target synergistic action: Disruption of nerve conduction combined with uncontrolled calcium release from muscles (similar to chlorantraniliprole) → rapid knockdown and long-lasting control; X: Neurotoxicity + inhibition of chitin synthesis → lethal activity against both larvae and adults.

甲酸盐）通过激活 GABA 受体阻断神经传导，兼具速效性与强渗透性；双酰胺类（如氯虫苯甲酰胺）则通过鱼尼丁受体诱导钙离子失控释放，对鳞翅目幼虫胃毒效果显著。苯甲酰脲类（如氟铃脲）通过抑制几丁质合成酶，精准干扰幼虫蜕皮过程，尤其适用于抗性治理，但对非靶标节肢动物的潜在影响需警惕。复配剂创新成为提升单剂防效的关键。如甲维·虱螨脲可结合神经毒性与生长抑制双重机制，延长持效期并减少抗性风险。然而，新烟碱类（如吡虫啉）与拟除虫菊酯类（如高效氯氟氰菊酯）因靶标抗性或代谢解毒机制，在部分区域已显现防效下降趋势。

成虫的防控需兼顾速效性与环境兼容性。成虫防控主要依赖于触杀型药剂，吡咯类（虫螨腈）通过抑制线粒体复合体Ⅱ快速击倒成虫，但其对蜜蜂等非靶标生物的高毒性限制了其在开花期使用。多杀菌素类（乙基多杀菌素）对成虫神经系统的持续兴奋作用可减少产卵量，兼具防治与抑制繁殖的双重功能（表 7）。成虫的化学防控需进一步优化施药时机（如羽化高峰期）并探索引诱-杀灭技术，以降低药剂总量。

结合各药剂的安全性、速效性以及当前番茄潜叶蛾的发生态势，农业农村部在建议用药名单中推荐使用乙基多杀菌素、阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、四唑虫酰胺、溴虫氟苯双酰胺、鱼藤酮等。应严格按照药剂安全间隔期进行用药，并注意药剂的轮换使用（中华人民共和国农业农村部, 2024）。

表 7　我国用于防控番茄潜叶蛾成虫的药剂

Table 7　Chemical control agents for *Tuta absoluta* adults in China

类别 Category	药剂 Insecticide	LC_{50} (mg/L)	参考文献 References
大环内酯类 Macrolides	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	46.395, 0.390-2.592	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
	阿维菌素 Avermectin	>200.000, 22.502-155.722	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
多杀菌素类 Spinosyns	乙基多杀菌素 Spinetoram	7.208, 1.646-374.310	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
双酰胺类 Diamides	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	>200.000, 39.636-296.438	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
	四唑虫酰胺 Tetraniliprole	187.232, 2.630-4.766	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	37.539	夏小菊等, 2024
新烟碱类 Neonicotinoids	噻虫嗪 Thiamethoxam	>200.000	夏小菊等, 2024
	呋虫胺 Dinotefuran	134.401, 5.577-603.126	庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024
吡咯类 Pyrroles	虫螨腈 Chlorfenapyr	1.434	夏小菊等, 2024
季酮酸类 Tetronic acids	螺虫乙酯 Spirotetramat	>200.000	夏小菊等, 2024
拟除虫菊酯类 Pyrethroids	高效氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	49.021	夏小菊等, 2024

4.2　田间应用情况

据报道，在上述药剂的实际应用过程中部分药剂确实表现良好，实现了番茄潜叶蛾的应急防控。在山西，成虫高发期第 4 天施用四唑虫酰胺、阿维菌素、乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐后，对温室番茄潜叶蛾的防效高达 80%以上（庾琴等, 2022）。在新疆，灭蝇胺施药 14 d 后的田间防效可保持在 65%，灭幼脲和虫酰肼施药 14 d 后的防效也可保持在 60%，灭蝇胺、灭幼脲和虫酰肼 3 种药剂在新疆可作为防治番茄潜叶蛾的首选药剂（阿卜力孜·塔伊尔等, 2024）。在宁夏，甲氨基阿维菌素苯甲酸盐施药 7-21 d 后对番茄潜叶蛾的防效保持在 60.03%-74.11%，该药剂持效性、防效相对较好；氯虫苯甲酰胺、乙基多杀菌素、高效氯氰菊酯、印楝素施药 7-21 d 后的防效均大于 50%；而甲氧虫酰肼、吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺的田间防效相对较弱（张治科等, 2024）。可见，在不同地域各药剂的作用也不尽相同，这可能是地理种群敏感性不同、农药

厂家不同、施药场景不同等因素所致。总而言之，应根据当地番茄潜叶蛾种群对药剂的敏感性水平等因地制宜的选用合适的药剂。

在农药应用过程中，定期监测靶标害虫对常用农药的抗性水平并及时调整用药策略，是农药抗性监测与治理的重要步骤。通过测定云南和新疆番茄潜叶蛾种群的药剂敏感性发现，云南种群对甲维盐、溴虫腈、多杀菌素、茚虫威、氯虫苯甲酰胺和高效氯氰菊酯的敏感性依次降低，而新疆种群的敏感性由高到低依次为甲维盐、溴虫腈、氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、茚虫威和高效氯氰菊酯。与室内种群比较，新疆和云南种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平最高，抗性倍数分别为 169.3 和 212.7 倍；对甲维盐的抗性倍数次之，分别为 67.3 和 61.0 倍；对高效氯氰菊酯的抗性倍数最低，介于 3.9-4.3 倍（李晓维等, 2022）。可见，在田间应用过程中应及时开展抗性监测，并做好药剂交替和轮换使用，尽可能的降低抗性发展速率。

农药助剂是农药制剂中不可或缺的辅助成分，可改善药液的物理化学性质、增强靶标接触效率等，对提升农药防效和延缓抗性发展具有关键作用。按照其功能特点，大体可分为改善药液性质（如有机硅、烷基多糖苷等）、增强有效成分渗透性（油酸甲酯、纳米颗粒等）、抗性延缓与协同增效（增效醚等）三大类。研究发现，通过混配农药与助剂可显著改善药剂生物活性，明显提高对靶标害虫的杀灭效果。目前，有机硅类、矿物油类、植物油类是农药应用中常见的喷雾助剂。向氯虫苯甲酰胺中添加有机硅 Sliwet、矿物油、芦荟精油作为助剂，相比于推荐用量，助剂的加入可使氯虫苯甲酰胺减量 10%-20%（杨石有等, 2024）。同样，在茚虫威的田间应用过程中，也发现添加有机硅 Sliwet、矿物油、芦荟精油 3 种助剂后可使药剂用量降低 10%-20%（杨石有等, 2023）。

5 防控技术创新的挑战与展望

随着番茄潜叶蛾在我国的扩散与危害加剧，现有防控技术在取得显著成效的同时，仍面临多重挑战。本文结合生态调控、生物防治、理化诱控及化学防治等领域的实践成果，系统梳理未来技术创新的关键瓶颈与发展方向，旨在为构建可持续治理体系提供科学依据：

（1）抗药性治理与绿色药剂创新。番茄潜叶蛾对一些主要化学药剂的抗药性快速进化已成为当前化学防治的核心挑战。云南、新疆等地种群对氯虫苯甲酰胺和甲维盐的高抗性水平，导致田间防效显著下降。未来需通过多靶点复配技术（如“氯虫苯甲酰胺+氟铃脲”双重机制）延缓抗性发展，并开发植物源农药与纳米载药系统，提升对卵和蛹的穿透效率。同时，需建立跨区域抗性监测网络系统，动态预警抗性水平变化，实现精准施药。

（2）生物防治技术优化与应用。天敌昆虫与病原微生物的规模化应用面临成本与稳定性瓶颈。赤眼蜂抗逆性相对较弱，在高温干旱条件下的存活率明显下降；斯氏线虫需突破现有生产工艺以降低生产成本。未来可通过基因编辑技术提升天敌抗逆性，构建多生防因子协同应用体系，实现对不同虫态的持续性、接力式防控。此外，需开发耐逆病原微生物菌株，结合智能释放设备（如无人机定点投放），实现天敌资源的高效利用。

（3）生态调控与智能监测技术整合。现有生态调控技术协同性不足，抗虫品种资源稀缺，间作推拉策略与集约农业矛盾突出。未来需推动抗虫-高产基因聚合育种，并开发“防虫网+趋避植物+诱集作物”三维屏障。同时，集成物联网与 AI 学习模型，实时监测虫口密度与环境因子，动态优化防控阈值，提升防控精准度。

（4）政策驱动与可持续治理体系构建。绿色技术推广需破解农户接受度与生态毒性评估缺失难题。有机硅助剂与农药联用可能抑制蚯蚓活性，而印楝素残留或许威胁根际微生物平衡。未来需建立多组分、多维度、长效毒性评价体系。此外，需构建“科研-合作社-农户”推广联盟，推动技术落地。国际层面，联合南美、地中海等地区共享抗性基因库，提升防控技术的适配率。借鉴草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 防控经

验，形成全球协同治理网络体系。

参考文献 (References)

Abulizi·Tayier, Ma Z, Patima·Wumuerhan, Gao JC, Liu F, Ma DY, 2024. Toxicity and field efficacy of different insecticides against *Tuta absoluta*. *Journal of Biosafety*, 33(4): 375–380. [阿卜力孜·塔伊尔, 马召, 帕提玛·乌木尔汗, 高建诚, 刘菲, 马德英, 2024. 不同杀虫剂对番茄潜叶蛾的毒力及田间药效. 生物安全学报, 33(4): 375–380.]

Attygalle AB, Jham GN, Svatos A, Frighetto RT, Ferrara FA, Vilela EF, Uchoa-Fernandes MA, Meinwald J, 1996. (3E, 8Z, 11Z)-3,8,11-tetradecatrienyl acetate, major sex pheromone component of the tomato pest *Scrobipalpuloides absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 4(3): 305–314.

Banu S, Yadav PP, 2022. Chlorophyll: The ubiquitous photocatalyst of nature and its potential as an organo-photocatalyst in organic syntheses. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 20(44): 8584–8598.

Biondi A, Guedes R, Wan FH, Desneux N, 2018. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: Past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63: 239–258.

Cocco A, Deliperi S, Delrio G, 2012. Potential of mass trapping for *Tuta absoluta* management in greenhouse tomato crops using light and pheromone traps. *IOBC-WPRS Bulletin*, 80: 319–324.

Cui HY, Xia XJ, Wei QT, Yan XJ, Li LL, Song YY, Guo WX, Lü SH, Men XY, 2024. Systemic pesticide screening and the effect of root drenching on the biological parameters of *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(4): 765–771. [崔洪莹, 夏小菊, 魏倩彤, 闫循静, 李丽莉, 宋莹莹, 郭文秀, 吕素洪, 门兴元, 2024. 番茄潜叶蛾高效内吸性杀虫剂筛选及灌根法用药对其生物学参数的影响. 应用昆虫学报, 61(4): 765–771.]

Dai XY, Wang RJ, Liu Y, Chen H, Su L, Zhang F, Li HM, Zhao JF, Zheng L, Zhai YF, 2023. Comparison of parasitism capacity of three indigenous *Trichogramma* species to *Tuta absoluta* (Meyrick) eggs. *Shandong Agricultural Sciences*, 55(11): 30–34. [代晓彦, 王瑞娟, 刘艳, 陈浩, 苏龙, 张峰, 李红梅, 赵金凤, 郑礼, 翟一凡, 2023. 三种本土赤眼蜂对番茄潜叶蛾卵的寄生能力比较. 山东农业科学, 55(11): 30–34.]

Desneux N, Wajnberg E, Wyckhuys KAG, Burgio G, Arpaia S, Narváez-Vasquez CA, González-Cabrera J, Ruescas DC, Tabone E, Frandon J, Pizzol J, Poncet C, Cabello T, Urbaneja A, 2010. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83(3): 197–215.

Fu KY, Li AM, Ding XH, Jia ZZ, Tursun·Ahemaiti, Arzigul·Rouzi, Feng HZ, Li XW, Guo WC, 2023. The effects of different ecological factors on *Trichogramma pintoi* (Voegelé) parasitizing eggs of tomato leafminer, *Phthorimaea absoluta* (Meyrick). *Chinese Journal of Biological Control*, 39(3): 507–513. [付开赟, 李爱梅, 丁新华, 贾尊尊, 吐尔逊·阿合买提, 阿尔孜姑丽·肉孜, 冯宏祖, 李晓维, 郭文超, 2023. 不同生态因子对暗黑赤眼蜂寄生番茄潜叶蛾卵的影响. 中国生物防治学报, 39(3): 507–513.]

Guo WX, Qi WW, Yan Y, Xu WX, Tan RH, Li LL, Lü SH, Cui HY, Song YY, Men XY, 2024a. Fitness of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*, on different vegetable hosts in Shandong Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(4): 710–719. [郭文秀, 祁伟伟, 颜越, 徐文鑫, 谭润晗, 李丽莉, 吕素洪, 崔洪莹, 宋莹莹, 门兴元, 2024a. 番茄潜叶蛾对山东地区主要设施蔬菜的适宜度. 应用昆虫学报, 61(4): 710–719.]

Guo WX, Wang XY, Li LL, Lü SH, Cui HY, Song YY, Yu Y, Men XY, 2024b. Pathogenicity of five entomopathogenic nematodes to *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(4): 741–748. [郭文秀, 王晓钰, 李丽莉, 吕素洪, 崔洪莹, 宋莹莹, 于毅, 门兴元, 2024b. 五种昆虫病原线虫对番茄潜叶蛾的致死作用. 应用昆虫学报, 61(4): 741–748.]

Guo WX, Xia XJ, Li LL, Xu WX, Song YY, Cui HY, Lü SH, Yu Y, Men XY, 2023. Effective pesticide screening for common control of *Phthorimaea absoluta* and other four pests of tomato. *Shandong Agricultural Sciences*, 55(11): 40–48. [郭文秀, 夏小菊, 李丽莉, 徐文鑫, 宋莹莹, 崔洪莹, 吕素洪, 于毅, 门兴元, 2023. 番茄潜叶蛾及其他 4 种番茄常发害虫的高效兼治药剂筛选. 山东农业科学, 55(11): 40–48.]

Hai YQ, Liu Y, Fan RR, Xu XQ, Fang QX, Li JR, Ma J, Liang XY, 2024. Indoor toxicity and field efficacy evaluation of 12 insecticides against *Tuta absoluta* larvae. *Journal of Agricultural Sciences*, 45(1): 50–55. [海永强, 刘媛, 樊蓉蓉, 许秀琴, 方秋香, 李健荣, 马景, 梁晓宇, 2024. 12 种不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫的室内毒力测定及田间防治效果评价. 农业科学研究, 45(1): 50–55.]

He YC, Mao ZY, Wang TZ, Wang SM, Ma LH, Pu JW, Ning JC, Pu Q, Zhou WW, El-Ela ASA, Zhu ZR, 2022. Damage characteristics of *Tuta absoluta* and isolation effect of 14-mesh insect-proof nets. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 31(7): 921–929. [何云川, 毛植尧, 王田珍, 王树明, 马丽华,

普建文, 宁锦程, 普群, 周文武, Amr S. Abou El-Ela, 祝增荣, 2022. 番茄潜叶蛾危害特征及 14 目防虫网的隔离效果. 西北农业学报, 31(7): 921–929.]

Hickel ER, Vilela EF, Lima JOG, de Lucia TMCD, 1992. Calling behavior of the tomato leafminer *Scrobipalpuloides absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 36(2): 277–280.

Jiang ZX, Chen H, Sun Y, Zhou SW, Zhang JL, Chen GH, Zhu QQ, Zhang XM, 2024. Effect of *Bacillus thuringiensis* G033A on the ability of three *Trichogramma* species to parasitize *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(3): 524–531. [蒋正雄, 陈恒, 孙英, 周顺文, 张金龙, 陈国华, 朱清清, 张晓明, 2024. 苏云金芽胞杆菌G033A对三种赤眼蜂寄生番茄潜叶蛾能力的影响. 中国生物防治学报, 40(3): 524–531.]

Jiang ZX, Wu DH, Yang SW, Li YR, Yang ZX, Yang MX, Chen YH, Chen H, Chen GH, Zhang XM, 2022. Effects of deltamethrin on the predatory capacity of *Orius similis* against *Tuta absoluta*. *Plant Protection*, 48(6): 127–132. [蒋正雄, 吴道慧, 羊绍武, 李宜儒, 杨智雄, 杨茂兴, 陈永虹, 陈恒, 陈国华, 张晓明, 2022. 溴氰菊酯对南方小花蝽捕食番茄潜叶蛾能力的影响. 植物保护, 48(6): 127–132.]

Li XW, Chen TT, Chen LM, Ren J, Farman U, Yi SW, Pan YH, Zhou SX, Guo WC, Fu KY, Li YX, Lü YB, 2024. *Trichogramma chilonis* is a promising biocontrol agent against *Tuta absoluta* in China: Results from laboratory and greenhouse experiments. *Entomologia Generalis*, 44(2): 357–365.

Li XW, Ma L, Lü YB, 2022. Susceptibility of Xinjiang and Yunnan populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to six insecticides and its relationship with detoxification enzyme activities. *Acta Entomologica Sinica*, 65(8): 1010–1017. [李晓维, 马琳, 吕要斌, 2022. 新疆和云南番茄潜叶蛾种群对六种杀虫剂的敏感性及其与解毒酶活性的关系. 昆虫学报, 65(8): 1010–1017.]

Li Y, 2025. Distribution and control technologies of *Tuta absoluta* in Shandong greenhouses. Master dissertation. Urumqi: Xinjiang Agricultural University. [李岳, 2025. 番茄潜叶蛾在山东温棚分布及其防治技术研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学.]

Liu YY, Luo JC, Zhou ZX, Zhang MJ, Wei YH, Yuan WN, 2025. Evaluation of resistance of 14 tomato cultivars to *Tuta absoluta* (Meyrick). *Journal of Cold-Arid Agricultural Sciences*, 4(2): 177–181. [刘月英, 罗进仓, 周昭旭, 张美娇, 魏玉红, 袁伟宁, 2025. 14 个番茄品种对番茄潜叶蛾的抗性评价. 寒旱农业科学, 4(2): 177–181.]

Lu YH, Liu Y, Yang XM, Jing YP, Hu G, Luan JB, Guo ZJ, Ma G, Yan S, Liang P, Liu J, Xiao HJ, 2023. Advances in integrated pest management of agricultural insect pests in China: 2018-2022. *Plant Protection*, 49(5): 145–166. [陆宴辉, 刘杨, 杨现明, 荆玉谱, 胡高, 栾军波, 郭兆将, 马罡, 闫硕, 梁沛, 刘杰, 肖海军, 2023. 中国农业害虫综合防治研究进展：2018年-2022 年. 植物保护, 49(5): 145–166.]

Ma RX, 2024. Behavioral and olfactory response mechanism of *Tuta absoluta* to repellent plants. Master dissertation. Kunming: Yunnan Agricultural University. [马睿馨, 2024. 番茄潜叶蛾对驱避植物的行为反应及嗅觉响应机制. 硕士学位论文. 昆明: 云南农业大学.]

McKenzie CL, Shatters RGJ, Doostdar H, Lee SD, Inbar M, Mayer RT, 2002. Effect of geminivirus infection and *Bemisia* infestation on accumulation of pathogenesis-related proteins in tomato. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 49(4): 203–214.

Megido RC, Haubruge E, Verheggen FJ, 2013. Pheromone-based management strategies to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(3): 475–482.

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2023. Announcement No. 723 of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. https://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202311/t20231114_6440469.htm. [中华人民共和国农业农村部, 2023. 中华人民共和国农业农村部公告 第 723 号. https://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202311/t20231114_6440469.htm.]

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2024. Technical Plan for Green Control of *Tuta absoluta* in 2024. http://www.moa.gov.cn/gk/nszd_1/nszd_2/202403/t20240326_6452464.htm. [中华人民共和国农业农村部, 2024. 2024 年番茄潜叶蛾绿色防控技术方案. http://www.moa.gov.cn/gk/nszd_1/nszd_2/202403/t20240326_6452464.htm.]

Patima·Wumuerhan, Ma C, Wang F, Zhang YH, Wang YP, Jin GL, Ma SJ, Aziguli·Abulimiti, Yang M, Ji YL, Miriguli, Pan WP, Ma DY, 2018. Trapping effect of card traps with different colors and attractants against main pests in protected vegetables. *Plant Protection*, 44(6): 205–209. [帕提玛·乌木尔汗, 马成, 王芳, 张以和, 王岩平, 靳改龙, 马少军, 阿孜姑丽·阿布力米提, 杨媚, 吉艳玲, 米日古丽, 潘卫萍, 马德英, 2018. 不同色板和引诱剂对设施蔬菜主要害虫的诱杀效果. 植物保护, 44(6): 205–209.]

Patima·Wumuerhan, Ma Z, Abulizi·Tayier, Wang SJ, Wang HQ, Fu

WJ, Ma DY, 2024. Predatory function of *Hippodamia variegata* (Goeze) to *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(4): 787–792. [帕提玛·乌木尔汗, 马召, 阿卜力孜·塔伊尔, 王思佳, 王惠卿, 付文君, 马德英, 2024. 多异瓢虫对番茄潜叶蛾的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 40(4): 787–792.]

Qu C, Chen CL, Li YQ, Yin YQ, Feng YF, Wang R, Luo C, 2023. Lethal, sublethal and transgenerational effects of broflanilide on *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*, 44(2): 385–393.

Qu C, Feng YF, Lin AL, Huang JL, Yan JX, Xu YJ, Mu CQ, Wang R, 2024a. Laboratory toxicity and field efficacy assessment of broflanilide against *Tuta absoluta*. *China Vegetables*, 2024(11): 114–118. [渠成, 冯耀方, 林澳丽, 黄建雷, 闫景雪, 许艳君, 穆常青, 王然, 2024a. 溴虫氟苯双酰胺对番茄潜叶蛾的室内毒力与田间防效评价. 中国蔬菜, 2024(11): 114–118.]

Qu C, Huang JL, Che WN, Xie ZL, Fang Y, Deng QY, Wang R, 2024b. Resistance monitoring and risk assessment of spinetoram in *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 67(12): 1634–1642. [渠成, 黄建雷, 车午男, 谢振良, 方勇, 邓群英, 王然, 2024b. 番茄潜叶蛾对乙基多杀菌素的抗性监测及抗性风险评估. 昆虫学报, 67(12): 1634–1642.]

Sheng SM, Sun ZW, Ye XB, Ma JC, Zhang Z, Xuan WJ, Sheng CF, Zhang GF, 2023. Preliminary report of trapping efficacy on *Tuta absoluta* using water pan sex pheromone traps in greenhouse. *Shandong Agricultural Sciences*, 55(11): 26–29. [盛世蒙, 孙作文, 叶校兵, 马俊超, 张智, 宣维健, 盛承发, 张桂芬, 2023. 水盆式性诱捕器对保护地番茄潜叶蛾诱集效果初报. 山东农业科学, 55(11): 26–29.]

Shi L, Li LL, Cui HY, Song YY, Guo WX, Lü SH, Guo S, Men XY, Yin SY, 2024. Effectiveness of different light wave-lengths for trapping *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(4): 749–757. [石磊, 李丽莉, 崔洪莹, 宋莹莹, 郭文秀, 吕素洪, 郭森, 门兴元, 尹淑艳, 2024. 诱捕番茄潜叶蛾的高效光谱筛选及田间诱捕效果. 应用昆虫学报, 61(4): 749–757.]

Sun XX, Wang F, Shi T, Jiang YJ, Wang K, Zhou JC, Gu HL, Zhang LS, 2025. Research progress and prospects of green control technologies for *Tuta absoluta*. *Plant Protection*, 51(6): 1–17. [孙星星, 王凡, 石童, 蒋颖洁, 王凯, 周加春, 顾惠玲, 张礼生, 2025. 番茄潜叶蛾绿色防控技术研究进展及展望. 植物保护, 51(6): 1–17.]

Sun ZX, Ma XR, Hu J, Chen YP, Peng C, Li DG, Zhang JT, Shen ML, Gui FR, 2024. Repellent and insecticidal effects of *Rosmarinus officinalis* and its volatiles on *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*, 44(2): 297–306.

Tan YX, Fu KY, Jia ZZ, Li AM, Ding XH, Tuerxun·Ahemaiti, Feng HZ, Guo WC, 2022. Evaluation of trapping effects of *Tuta absoluta* based on trap color, hanging height, and position. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 59(5): 1144–1155. [谈钇汐, 付开赟, 贾尊尊, 李爱梅, 丁新华, 吐尔逊·阿合买提, 冯宏祖, 郭文超, 2022. 诱捕器颜色、悬挂高度与位置对番茄潜叶蛾诱捕效果评价. 新疆农业科学, 59(5): 1144–1155.]

Wang GP, Li X, Zhang WL, Wang HL, Wang XB, Ma YX, Wang GZ, Peng YQ, Han CX, Liu JQ, Men XY, Li XJ, Xu ZH, Li P, Yu Y, 2024. The use of colored sticky traps to monitor the tomato leaf-miner moth, *Tuta absoluta*, in solar greenhouses in Shandong Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(4): 758–764. [王桂萍, 李霞, 张伟丽, 王好岭, 王希波, 马艺翔, 王光召, 彭昱绮, 韩晨星, 刘靖齐, 门兴元, 李咸娟, 许增海, 李萍, 于毅, 2024. 山东冬暖大棚番茄潜叶蛾色板监测技术. 应用昆虫学报, 61(4): 758–764.]

Wang H, Gu YJ, Song RR, Zhang C, Liu WX, Wan FH, Desneux N, Zhang GF, Zhang YB, 2024. Thelytokous strains have better biocontrol potential than arrhenotokous strains: The parasitoid *Neochrysocharis formosa* on the invasive tomato leafminer *Tuta absoluta* as a case study. *Entomologia Generalis*, 44(2): 377–384.

Wang RJ, Dai XY, Liu Y, Chen H, Su L, Zhang F, Li HM, Xu QQ, Zheng L, Zhai YF, 2023. Predatory capability of *Orius sauteri* adults on eggs of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*). *Shandong Agricultural Sciences*, 55(11): 35–39. [王瑞娟, 代晓彦, 刘艳, 陈浩, 苏龙, 张峰, 李红梅, 徐倩倩, 郑礼, 翟一凡, 2023. 东亚小花蝽成虫对番茄潜叶蛾卵的捕食能力. 山东农业科学, 55(11): 35–39.]

Wu QJ, Xu BY, Zhang YJ, Zhang ZJ, Zhu GR, 2007. Taxis of western flower thrips to different colors and field efficacy of the blue sticky cards. *Plant Protection*, 33(4): 103–105. [吴青君, 徐宝云, 张友军, 张治军, 朱国仁, 2007. 西花蓟马对不同颜色的趋性及蓝色粘板的田间效果评价. 植物保护, 33(4): 103–105.]

Xia XJ, Bao Q, Yan Y, Guo WX, Li LL, Lü SH, Cui HY, Song YY, Men XY, 2024. Toxicity of eleven insecticides to different development stages of *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(4): 772–781. [夏小菊, 包强, 颜越, 郭文秀, 李丽莉, 吕素洪, 崔洪莹, 宋莹莹, 门兴元, 2024. 十一种杀虫剂对不同虫态番茄潜叶蛾的室内毒力. 应用昆虫学报, 61(4): 772–781.]

Xue ZS, Wang H, Zhang SC, Ma L, Xi XT, Lü ZS, Zhang DX, Zheng WF, Yan XZ, Hao C, 2023. Effects of physical and chemical characteristics of the leaves of different tomato

varieties on host selectivity of *Tuta absoluta*. *Acta Entomologica Sinica*, 66(12): 1590–1601. [薛增昇, 王韩, 张生存, 马力, 郅杏桃, 吕治燊, 张东霞, 郑卫锋, 闫喜中, 郝赤, 2023. 不同番茄品种叶片理化性状对南美番茄潜叶蛾寄主选择性的影响. 昆虫学报, 66(12): 1590–1601.]

Yang GQ, Fan W, Zhang Q, Li M, Jiang ZX, Duan P, Hu CX, Chen GH, Zhang XM, 2022. Predatory function of *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica* larvae to young larvae of *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(4): 959–966. [杨桂群, 范苇, 张倩, 李貌, 蒋正雄, 段盼, 胡昌雄, 陈国华, 张晓明, 2022. 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. 中国生物防治学报, 38(4): 959–966.]

Yang SY, Zhang R, Li HL, Huang JM, Kong Q, Yuan SY, 2023. Decrement and synergistic efficacy of pesticide adjuvants on indoxacarb against *Tuta absoluta*. *Journal of Environmental Entomology*, 45(2): 536–542. [杨石有, 张蕊, 李宏琳, 黄镜梅, 孔琼, 袁盛勇, 2023. 农药助剂对茚虫威防治番茄潜叶蛾的减量增效作用. 环境昆虫学报, 45(2): 536–542.]

Yang SY, Zhang R, Li HL, Huang JM, Kong Q, Yuan SY, 2024. Synergism of three spray adjuvants on chlorantraniliprole 5% SC against *Phthorimaea absoluta*. *Plant Protection*, 50(1): 311–315. [杨石有, 张蕊, 李宏琳, 黄镜梅, 孔琼, 袁盛勇, 2024. 3 种喷雾助剂对 5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂防治番茄潜叶蛾的增效作用. 植物保护, 50(1): 311–315.]

Yang WB, 2024. Screening of pesticides and evaluation of the predation function of *Arma chinensis* on *Tuta absoluta* control in Inner Mongolia. Master dissertation. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University. [杨万博, 2024. 防控内蒙古地区番茄潜叶蛾的药剂筛选及蝽蝽对其的捕食功能评价. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学.]

Yang Y, Sun GL, Wang WQ, Chang LS, Xia ZY, Chen B, 2023. Behavior and predation of *Picromerus lewisi* to *Tuta absoluta*. *Journal of Environmental Entomology*, 45(1): 179–188. [杨韵, 孙淦琳, 王文倩, 常吕恕, 夏振远, 陈斌, 2023. 益蝽对番茄潜叶蛾的捕食行为及捕食能力研究. 环境昆虫学报, 45(1): 179–188.]

Yi SW, 2024. Development and application of food source attractants for the major invasive pest, *Tuta absoluta*. Master dissertation. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University. [易松望, 2024. 重大入侵害虫番茄潜叶蛾食物源引诱剂研发及应用. 硕士学位论文. 杭州: 浙江农林大学.]

Yi SW, Li XW, Chen LM, Wang JC, Wu JW, Fu KY, Guo WC, Lü YB, 2024. Screening and attractive effectiveness evaluation of food-derived attractants for *Tuta absoluta*. *Acta Entomologica Sinica*, 67(12): 1671–1683. [易松望, 李晓维, 陈利民, 王金超, 吴俊伟, 付开赟, 郭文超, 吕要斌, 2024. 番茄潜叶蛾食物源引诱剂筛选及引诱效果评估. 昆虫学报, 67(12): 1671–1683.]

Yu Q, Guo XJ, Feng YT, Du EQ, Liu X, Zhang RX, Hao C, 2022. Toxicity of six insecticides on *Tuta absoluta* (Meyrick) and control efficacy in field trials. *Journal of Biosafety*, 31(4): 345–350. [庾琴, 郭晓君, 封云涛, 杜恩强, 刘新, 张润祥, 郝赤, 2022. 6 种杀虫剂对南美番茄潜叶蛾的毒力及田间防效. 生物安全学报, 31(4): 345–350.]

Zhang D, Li YH, Huang XY, Gang S, Zhang WM, Meng W, Wang HJ, Du YJ, 2024. Analysis of factors affecting the sex pheromone trapping of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) moths. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(4): 760–769. [张丹, 李艳辉, 黄欣阳, 江爽, 张万民, 孟威, 王浩杰, 杜永均, 2024. 影响番茄潜叶蛾性信息素诱捕效果的因子分析. 中国生物防治学报, 40(4): 760–769.]

Zhang GF, Ma DY, Liu WX, Wang YS, Fu WJ, Wang J, Gao YH, Wan FH, 2019. The arrival of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in China. *Journal of Biosafety*, 28(3): 200–203. [张桂芬, 马德英, 刘万学, 王玉生, 付文君, 王俊, 高有华, 万方浩, 2019. 中国新发现外来入侵害虫——南美番茄潜叶蛾(鳞翅目：麦蛾科). 生物安全学报, 28(3): 200–203.]

Zhang GF, Zhang YB, Liu WX, Han L, Xian XQ, Wan FH, Fu WJ, Wang J, Liu H, Wang YS, Hu Q, Pan HW, Jiang ZL, 2020a. Evaluation of trapping efficacy of four sources of sex pheromone lures on the South American tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick), a newly invaded alien insect pest in China. *Plant Protection*, 46(5): 303–308, 320. [张桂芬, 张毅波, 刘万学, 韩力, 冼晓青, 万方浩, 付文君, 王俊, 刘慧, 王玉生, 胡卿, 潘红伟, 蒋智林, 2020a. 4 种性信息素产品对新发南美番茄潜叶蛾引诱效果研究. 植物保护, 46(5): 303–308, 320.]

Zhang GF, Zhang YB, Zhang J, Liu WX, Wang YS, Wan FH, Shu CL, Liu H, Wang FL, Zhao L, Li QH, Wang SM, Jiang JQ, 2020b. 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. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(2): 175–183. [张桂芬, 张毅波, 张杰, 刘万学, 王玉生, 万方浩, 束长龙, 刘慧, 王福莲, 赵林, 李庆红, 王树明, 蒋家强, 2020b. 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. 中国生物防治学报, 36(2): 175–183.]

Zhang GF, Zhang YB, Liu WX, Zhang F, Xian XQ, Wan FH, Feng XD, Zhao JN, Liu H, Liu WC, Zhang XM, Li QH, Wang SM,

2021. Effect of trap color and position on the trapping efficacy of *Tuta absoluta*. *Scientia Agricultura Sinica*, 54(11): 2343–2354. [张桂芬, 张毅波, 刘万学, 张帆, 冼晓青, 万方浩, 冯晓东, 赵静娜, 刘慧, 刘万才, 张晓明, 李庆红, 王树明, 2021. 诱捕器颜色和悬挂高度对番茄潜叶蛾诱捕效果的影响. 中国农业科学, 54(11): 2343–2354.]

Zhang GF, Zhang YB, Zhao JN, Xian XQ, Wang YS, Liu WX, Wan FH, Zhang XM, Li P, Liu H, Liu WC, Li YH, Wang SM, Zhao YM, 2022. Phototropism of *Tuta absoluta*, an important insect pest of fruit and vegetable crops, to blue-violet light wavelengths. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(6): 1394–1403. [张桂芬, 张毅波, 赵静娜, 冼晓青, 王玉生, 刘万学, 万方浩, 张晓明, 李萍, 刘慧, 刘万才, 李亚红, 王树明, 赵艳梅, 2022. 重大果蔬害虫番茄潜叶蛾对蓝紫光的趋向性研究. 应用昆虫学报, 59(6): 1394–1403.]

Zhang GF, Zhu HK, Huang L, Wang YS, Li T, Huang C, Xian XQ, Xue YT, Gui FR, Liu WX, Wan FH, Zhang YB, 2024. Investigation and molecular evaluation of the natural enemies of *Tuta absoluta* (Mryrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato field in Yunnan Province. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(4): 739–749. [张桂芬, 朱华康, 黄亮, 王玉生, 李涛, 黄聪, 冼晓青, 薛延韬, 桂富荣, 刘万学, 万方浩, 张毅波, 2024. 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. 中国生物防治学报, 40(4): 739–749.]

Zhang GR, Zhang WQ, Zhou Q, Hu J, Xu WH, 2024. Biological control contributes to human well-being. *Scientia Sinica Vitae*, 54(9): 1626–1640. [张古忍, 张文庆, 周强, 胡建, 徐卫华, 2024. 生物防治造福人类. 中国科学: 生命科学, 54(9): 1626–1640.]

Zhang ZK, Li Y, Zhang N, 2024. Toxicity of various insecticides against *Tuta absoluta*. *Journal of Biosafety*, 33(3): 267–273. [张治科, 李媛, 张宁, 2024. 番茄潜叶蛾对不同类型杀虫剂的敏感性. 生物安全学报, 33(3): 267–273.]

Zhu YT, Zhang YM, Guo XJ, Li Y, Zhang RX, Wu QJ, Feng YT, 2024a. Resistance selection of *Tuta absoluta* to tetraniliprole and cross-realistic analysis. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(1): 169–176. [朱雅婷, 张雅蒙, 郭晓君, 李娅, 张润祥, 吴青君, 封云涛, 2024a. 番茄潜叶蛾对四唑虫酰胺的抗性选育及交互抗性研究. 应用昆虫学报, 61(1): 169–176.]

Zhu YT, Zhang YM, Li Y, Guo XJ, Zhang RX, Wu QJ, Feng YT, 2024b. Fitness and detoxification enzyme activities of the tetraniliprole-resistant populations of *Tuta absoluta*. *Acta Entomologica Sinica*, 67(12): 1652–1660. [朱雅婷, 张雅蒙, 李娅, 郭晓君, 张润祥, 吴青君, 封云涛, 2024b. 番茄潜叶蛾四唑虫酰胺抗性种群的适合度及解毒酶活性. 昆虫学报, 67(12): 1652–1660.]