

山西省番茄潜叶蛾对七种杀虫剂敏感基线的建立及抗性监测*

贾 扛^{1**} 瞿慧山¹ 李 娅¹ 郭晓君¹ 张润祥¹ 吴青君² 封云涛^{1***}

(1. 山西农业大学植物保护学院, 太原 030031; 2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 蔬菜生物育种全国重点实验室, 北京 100081)

摘要 【目的】明确山西省番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 田间种群对 7 种杀虫剂的抗药性现状。【方法】采用浸叶法以室内敏感品系建立了对四唑虫酰胺、氯虫苯甲酰胺、高效氯氟氰菊酯、呋虫胺、多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威 7 种杀虫剂的敏感基线, 监测了山西省 5 个不同田间种群对以上 7 种杀虫剂的抗性水平。【结果】监测的 5 个田间种群对高效氯氟氰菊酯和呋虫胺均表现出较低的敏感性, LC_{50} 值普遍在 300 mg/L 以上, 对其它供试药剂多表现为敏感。临猗 (LY) 和定襄 (DX) 田间种群对四唑虫酰胺表现出敏感性下降, 太谷 (TG) 和上党 (SD) 种群对四唑虫酰胺产生了 5.176 和 5.384 倍的低水平抗性; 太谷种群对甲维盐产生了 6.174 倍的低水平抗性。【结论】目前山西省番茄潜叶蛾田间种群对多数供试药剂仍处于敏感水平, 但田间防治中应避免使用高效氯氟氰菊酯和呋虫胺; 同时对四唑虫酰胺与甲维盐的使用应予以关注, 避免连续使用, 以延缓抗性水平的发展。

关键词 番茄潜叶蛾; 杀虫剂; 敏感基线; 抗性药监测

Baseline susceptibility of *Tuta absoluta* to seven insecticides and levels of pesticide resistance in this species in Shanxi Province

JIA Kang^{1**} QU Hui-Shan¹ LI Ya¹ GUO Xiao-Jun¹
ZHANG Run-Xiang¹ WU Qing-Jun² FENG Yun-Tao^{1***}

(1. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 2. State Key Laboratory of Vegetable Biobreeding, Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract [Aim] To assess the baseline susceptibility of *Tuta absoluta* to seven insecticides; tetraniliprole, chlorantraniliprole, lambda-cyhalothrin, dinotefuran, spinetoram, emamectin benzoate, and indoxacarb, and the current level of resistance to these insecticides among populations of this species in Shanxi Province. [Methods] The leaf-dipping method was used to establish the baseline sensitivity of a susceptible, laboratory population of *T. absoluta* to the seven insecticides. Levels of resistance to these insecticides among five *T. absoluta* populations in Shanxi Province were also determined. [Results] All five Shanxi populations had low susceptibility to lambda-cyhalothrin and dinotefuran (LC_{50} values generally > 300 mg/L), but were sensitive to most of the other insecticides. Populations from Linyi (LY) and Dingxiang (DX) showed reduced susceptibility to tetraniliprole, whereas those from Taigu (TG) and Shangdang (SD) had low-level resistance to tetraniliprole (resistance ratios of 5.176 and 5.384, respectively). The Taigu population had also developed low-level resistance to emamectin benzoate (resistance ratio of 6.174). [Conclusion] Populations of *T. absoluta* in Shanxi province remain susceptible to most of the insecticides tested, although they are relatively resistant to lambda-cyhalothrin and dinotefuran. The effectiveness of tetraniliprole and emamectin benzoate should be closely monitored, and these should only be used in rotation with other insecticides to delay the potential development of resistance.

Key words *Tuta absoluta*; insecticide; susceptibility baseline; resistance monitoring

*资助项目 Supported projects: 山西农业大学“科技创新提升工程”项目 (CXGC2025090); 国家重点研发计划项目 (2023YFD1401200)

**第一作者 First author, E-mail: 1210073726@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: fyt52@126.com

收稿日期 Received: 2025-10-23; 接受日期 Accepted: 2026-01-03

南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta*, 属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 是一种具有毁灭性危害的入侵性害虫 (Desneux *et al.*, 2010)。番茄潜叶蛾起源于南美洲秘鲁, 2006 年首次在西班牙发现, 之后迅速扩散, 目前在全球 150 多个国家均有分布 (Wang *et al.*, 2024)。该虫 2017 年 8 月首次入侵我国伊犁地区, 截止至 2025 年 1 月, 已在新疆、云南、内蒙古、甘肃、山西、贵州、四川、西藏等 23 个省 (直辖市、自治区) 发生危害 (李萍等, 2025; 詹金钰等, 2025)。番茄潜叶蛾的寄主范围极为广泛, 可对茄科、豆科、菊科以及十字花科等 11 科 50 多种植物产生危害, 喜食茄科植物, 尤其嗜食番茄 (张嘉惠等, 2023; Yang *et al.*, 2024)。其主要以幼虫危害寄主, 整个幼虫期都在叶片内部度过, 为害较为隐蔽, 以叶片内部组织为食, 对寄主形成直接损伤, 高龄幼虫亦可蛀食幼茎和果实 (张桂芬等, 2020; 胡守印等, 2025), 如果防治不及时或措施不当, 可导致减产 80%-100% (张桂芬等, 2022)。由于危害严重, 2023 年番茄潜叶蛾已被我国列入国家《重点管理外来入侵物种名录》和《一类农作物病虫害目录》管理 (http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202211/t20221109_6415160.htm)。

目前物理防治、生物防治和农业防治等多种措施都被用于番茄潜叶蛾的防控, 但化学防治以其防效高、见效快、操作简便的优点, 仍在田间防治中占据主要地位 (胡守印等, 2025)。目前国内外已有有机磷类、拟除虫菊酯类、双酰胺类、微生物类农药等十余类 20 多种杀虫剂被用于番茄潜叶蛾的防治, 而长期使用化学药剂不可避免的导致番茄潜叶蛾的抗药性水平上升 (冯科力等, 2025; 杨眉等, 2025)。21 世纪初, 国外多个国家和地区报道了番茄潜叶蛾对有机磷类、菊酯类、甲维盐、阿维菌素、杀螟丹、氰氟虫腙、甲胺磷和印楝素等药剂的抗药性 (Siqueira *et al.*, 2000, 2001; Branco *et al.*, 2001; Salazar and Araya, 2001); 近些年, 又发现其对虫酰肼、多杀霉素、苏云金芽孢杆菌、溴氰菊酯、双酰胺类等杀虫剂产生了不同水平的抗药性 (Roditakis

et al., 2015, 2018; Silva *et al.*, 2016; Sawadogo *et al.*, 2020)。2017 年番茄潜叶蛾入侵我国后, 扩散迅速, 呈暴发式危害, 抗性监测作为害虫防治的基础工作也随之展开。王少丽等 (2021) 发现新疆种群对拟除虫菊酯类杀虫剂产生了抗药性; 新疆和云南种群对甲维盐、多杀菌素产生了中等水平抗性, 对氯虫苯甲酰胺呈现高水平抗性 (马琳, 2020; 李晓维等, 2022); 近期研究表明, 河北省张家口怀来和涿鹿种群对氯虫苯甲酰胺产生了中等水平抗性 (黄建雷等, 2024); 渠成等 (2024) 研究表明, 内蒙古包头以及北京密云、怀柔的田间种群已对乙基多杀菌素具有低水平抗性; 新疆田间种群已对氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、乙基多杀菌素和乙多·甲氧虫产生了高水平抗性, 察布查尔县种群对溴氰虫酰胺的抗性 2 年间增长了 10 倍 (贾尊尊等, 2025)。室内研究结果也证实番茄潜叶蛾对四唑虫酰胺和氯虫苯甲酰胺存在产生高水平抗性的风险 (Qu *et al.*, 2024; 朱雅婷等, 2024a)。

以上研究结果表明, 番茄潜叶蛾对目前的大多数主流杀虫剂已经产生了不同程度的抗药性, 因此应当加强抗性监测, 明确对不同杀虫剂的抗性水平。另外, 在上述研究中国内多是以新疆种群为敏感基线, 但各地用药历史不同, 抗性水平差异也较大, 为了衡量山西省番茄潜叶蛾抗性发展情况, 本研究以来自山西省太原市小店区的室内敏感品系建立了敏感基线, 测定了 5 个田间种群对 7 种常见杀虫剂的抗性水平, 以明确山西省番茄潜叶蛾田间种群对常用杀虫剂的抗性现状, 为山西省番茄潜叶蛾的防治提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

1.1.1 敏感品系 番茄潜叶蛾敏感品系 (SS) 于 2021 年 6 月采自山西省太原市小店区番茄大棚, 在室内用番茄苗 (合作 909) 连续饲养至今, 饲养过程中未曾接触任何农药。饲养条件为温度 (26±1) °C, 相对湿度 60%-70%, 光周期 16L : 8D。

1.1.2 田间种群 2024-2025 年 6-8 月由北到南分别采集于山西省忻州市定襄县、太原市小店区、晋中市太谷区、长治市上党区和运城市临猗县 (表 1)。

表 1 番茄潜叶蛾田间种群采集信息
Table 1 Collection information of the different field populations of *Tuta absoluta*

种群 Population	采集地点 Collecting locality	经纬度 Longitude and Latitude	栽培模式 Cultivation model	采集时间 (年.月) Collecting time (year.month)
定襄 Dingxiang, DX	忻州市定襄县 Dingxiang County, Xinzhou City	38°33'N, 112°54'E	设施栽培 Facility cultivation	2024.8
小店 Xiaodian, XD	太原市小店区 Xiaodian District, Taiyuan City	37°39'N, 112°26'E	设施栽培 Facility cultivation	2024.7
太谷 Taigu, TG	晋中市太谷区 Taigu District, Jinzhong City	37°30'N, 112°46'E	设施栽培 Facility cultivation	2024.6
上党 Shangdang, SD	长治市上党区 Shangdang District, Changzhi City	36°09'N, 113°09'E	设施栽培 Facility cultivation	2025.7
临猗 Linyi, LY	运城市临猗县 Linyi County, Yuncheng City	35°10'N, 110°44'E	设施栽培 Facility cultivation	2024.6

1.2 供试药剂

200 g/L 四唑虫酰胺悬浮剂 (Tetraniliprole, 拜耳作物科学 (中国) 有限公司北京分公司)、95.3% 氯虫苯甲酰胺原药 (Chlorantraniliprole, 上海杜邦农药有限公司)、96.1% 高效氯氟氰菊酯原药 (Lambda-cyhalothrin, 江苏皇马农化有限公司)、98% 呋虫胺原药 (Dinotefuran, 湖北玖丰隆化工有限公司)、92% 多杀菌素原药 (Spinosad, 湖北玖丰隆化工有限公司)、95% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (以下简称“甲维盐”) (Emamectin benzoate, 湖北玖丰隆化工有限公司)、90% 茚虫威原药 (Indoxacarb, 湖北玖丰隆化工有限公司)。

1.3 毒力测定

采用浸叶法进行室内毒力测定, 具体方法参照朱雅婷等 (2024b)。将供试药剂分别溶解于蒸馏水和丙酮配制成母液, 再用蒸馏水将母液稀释 5-6 个浓度梯度。取生长 6 周左右、无病虫、长势一致的新鲜番茄叶片, 在各浓度的药液中浸泡 15 s, 正面朝上放入直径为 9 cm 的一次性塑料培养皿中自然晾干, 以湿润的脱脂棉包裹叶柄保湿, 每个培养皿中接入 15-20 头 2 龄幼虫, 放入光照培养箱 (宁波东南仪器有限公司, 型号

PRX-450C) 中饲养 [温度 (26±1) °C、相对湿度 60%-70%、光周期 16L : 8D]。以清水为对照, 每处理重复 4 次, 48 h 后查看并记录结果。以毛笔尖轻触虫体, 将无行动能力及虫体严重皱缩变形的试虫记为死亡。

1.4 数据分析

采用 Probit-MSChart (版本 2024.12.01) 软件分析毒力测定数据, 计算毒力回归方程、致死中浓度 LC₅₀、95% 置信区间、卡方值和自由度。以室内敏感品系毒力测定结果建立敏感基线, 计算田间种群的抗性倍数, 抗性倍数 (Resistance ratio, RR) = 田间种群 LC₅₀/敏感品系 LC₅₀。抗性倍数 (RR) 分级标准如下, RR < 3 表示敏感, 3 ≤ RR < 5 为敏感性下降, 5 ≤ RR < 10 表示低水平抗性, 10 ≤ RR < 40 为中等水平抗性, 40 ≤ RR < 160 为高水平抗性, RR ≥ 160 为极高性水平抗性 (沈晋良和吴益东, 1995)。

2 结果与分析

2.1 番茄潜叶蛾敏感品系对 7 种杀虫剂的敏感基线

测定结果表明 (表 2), 番茄潜叶蛾 2 龄幼虫对不同杀虫剂的敏感性差异较大。对甲维盐、

表 2 番茄潜叶蛾幼虫对 7 种杀虫剂的敏感基线
Table 2 Susceptibility baselines of *Tuta absoluta* to seven pesticides

种群 Population	杀虫剂 Insecticide	斜率±标准误 Slope ± SE	致死中浓度 (95%置信限) (mg/L) LC ₅₀ (95% confidence interval) (mg/L)	卡方 χ^2	自由度 df
敏感品系 SS Susceptible strain	四唑虫酰胺 Tetraniliprole	2.161±0.239	0.336 (0.295-0.384)	0.818	4
	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	0.868±0.111	1.781 (1.023-3.221)	4.093	4
	高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	1.291±0.162	265.682 (204.485-344.834)	1.865	4
	呋虫胺 Dinotefuran	1.925±0.193	307.563 (245.502-385.231)	2.632	4
	多杀菌素 Spinosad	1.538±0.170	0.369 (0.258-0.502)	3.484	4
	甲维盐 Emamectin benzoate	1.482±0.161	0.258 (0.180-0.351)	3.129	4
	茚虫威 Indoxacarb	1.525±0.163	1.542 (1.393-1.707)	0.142	4

四唑虫酰胺和多杀菌素表现敏感, LC₅₀ 值均小于 0.500 mg/L, 其中对甲维盐最为敏感, LC₅₀ 值为 0.258 mg/L; 其次是氯虫苯甲酰胺和茚虫威, LC₅₀ 值小于 2.000 mg/L; 对高效氯氟氰菊酯和呋虫胺敏感性较差, LC₅₀ 值分别为 265.682 和 307.563 mg/L。

2.2 番茄潜叶蛾田间种群对 7 种杀虫剂的抗性监测

监测结果(表 3)表明, 不同田间种群对 7 种杀虫剂的敏感性存在一定差异。监测的 5 个田间种群对多杀菌素敏感性最高, LC₅₀ 值在 0.262-1.091 mg/L 之间; 其次是甲维盐和四唑虫酰胺, 对 5 个种群的 LC₅₀ 值分别为 0.364-1.593 和 0.498-1.809 mg/L; 氯虫苯甲酰胺和茚虫威对不同种群的 LC₅₀ 值分别为 0.431-2.188 和 0.892-2.177 mg/L, 以上 5 种杀虫剂对番茄潜叶蛾仍具有较高的毒力。5 个田间种群对高效氯氟氰菊酯和呋虫胺均表现出较低的敏感性, LC₅₀ 值分别为 193.621-1 269.635 和 343.720-614.115 mg/L。

以敏感基线为基础进行比较, 番茄潜叶蛾田

间种群对 7 种杀虫剂大多数仍处于敏感阶段, 不同种群对四唑虫酰胺、高效氯氟氰菊酯及甲维盐的敏感性存在一定差异。其中太谷(TG)和上党(SD)种群对四唑虫酰胺产生了低水平抗性, 抗性倍数分别为 5.176 和 5.384, 定襄(DX)和临猗(LY)种群则处于敏感性下降阶段; 定襄(DX)种群同时对高效氯氟氰菊酯处于敏感性下降阶段; 太谷(TG)种群对甲维盐产生了 6.174 倍的抗性。

3 结论与讨论

抗性监测是抗药性治理的重要内容, 建立害虫敏感品系及敏感基线是开展抗性监测工作的基础。本研究利用室内相对敏感品系建立了番茄潜叶蛾对 7 种杀虫剂的敏感基线, 评估了山西省 5 个番茄潜叶蛾田间种群对 7 种杀虫剂的抗药性。结果表明, 监测的 5 个田间种群对四唑虫酰胺、氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、甲维盐和茚虫威总体上仍处于敏感阶段, 其中太谷(TG)和上党(SD)田间种群对四唑虫酰胺呈低水平抗性, 太谷(TG)种群对甲维盐产生了 6.174 倍的抗性;

表 3 番茄潜叶蛾田间种群对 7 种杀虫剂的敏感性
Table 3 Susceptibilities of the field population of *Tuta absoluta* to seven insecticides

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	斜率±标准误 Slope ± SE	致死中浓度 (95%置信限) (mg/L) LC ₅₀ (95% confidence interval) (mg/L)	卡方 χ^2	自由度 df	抗性倍数 Resistance ratio
四唑虫酰胺 Tetraniliprole	定襄 Dingxiang, DX	1.554±0.183	1.117 (0.840-1.459)	2.353	4	3.324
	小店 Xiaodian, XD	0.999±0.139	0.498 (0.276-0.743)	3.157	4	1.483
	太谷 Taigu, TG	1.817±0.219	1.739 (1.373-2.227)	1.937	4	5.176
	上党 Shangdang, SD	1.386±0.204	1.809 (1.293-2.559)	2.240	4	5.384
	临猗 Linyi, LY	1.671±0.192	1.259 (0.859-1.828)	4.622	4	3.747
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	定襄 Dingxiang, DX	1.771±0.182	0.953 (0.753-1.178)	2.211	4	0.535
	小店 Xiaodian, XD	1.548±0.204	0.431 (0.238-0.627)	2.586	4	0.242
	太谷 Taigu, TG	1.714±0.178	2.188 (1.721-2.835)	2.735	4	1.229
	临猗 Linyi, LY	1.644±0.180	1.515 (1.142-1.994)	2.958	4	0.851
	高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	定襄 Dingxiang, DX	1.183±0.228	1 269.635 (677.479-2 399.314)	2.335	3
	小店 Xiaodian, XD	0.771±0.201	193.621 (129.579-288.171)	0.501	3	0.729
	太谷 Taigu, TG	1.941±0.260	308.820 (240.639-396.003)	1.219	3	1.162
	临猗 Linyi, LY	2.155±0.256	363.138 (325.963-404.521)	0.338	3	1.367
呋虫胺 Dinotefuran	定襄 Dingxiang, DX	1.839±0.222	455.102 (380.882-543.792)	0.802	3	1.480
	小店 Xiaodian, XD	1.791±0.262	614.115 (402.040-938.238)	3.595	3	1.997
	太谷 Taigu, TG	2.271±0.326	576.974 (447.728-743.486)	1.610	3	1.876
	临猗 Linyi, LY	1.694±0.181	343.720 (244.223-483.811)	4.941	4	1.118
多杀菌素 Spinosad	定襄 Dingxiang, DX	1.695±0.237	0.421 (0.331-0.514)	0.676	3	1.141
	小店 Xiaodian, XD	2.087±0.268	0.262 (0.14-0.359)	2.207	4	0.710
	太谷 Taigu, TG	1.816±0.314	0.548 (0.474-0.627)	0.117	4	1.485
	上党 Shangdang, SD	1.646±0.244	1.091 (0.702-1.542)	3.287	4	2.957
	临猗 Linyi, LY	1.737±0.177	0.405 (0.300-0.535)	3.522	4	1.098

续表 3 (Table 3 continued)

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	斜率±标准误 Slope ± SE	致死中浓度 (95%置信限) (mg/L) LC ₅₀ (95% confidence interval) (mg/L)	卡方 χ^2	自由度 df	抗性倍数 Resistance ratio
甲维盐 Emamectin benzoate	定襄 Dingxiang, DX	1.982±0.256	0.396 (0.324-0.482)	0.960	3	1.535
	小店 Xiaodian, XD	1.215±0.170	0.515 (0.304-0.743)	2.699	4	1.996
	太谷 Taigu, TG	1.510±0.179	1.593 (0.763-2.839)	4.485	4	6.174
	上党 Shangdang, SD	1.567±0.219	0.364 (0.250-0.529)	3.231	4	1.411
	临猗 Linyi, LY	1.459±0.166	0.381 (0.270-0.526)	1.403	3	1.477
茚虫威 Indoxacarb	定襄 Dingxiang, DX	1.991±0.258	0.892 (0.673-1.122)	1.118	4	0.578
	小店 Xiaodian, XD	1.563±0.187	1.062 (0.932-1.201)	0.455	4	0.689
	太谷 Taigu, TG	1.843±0.203	1.324 (1.168-1.489)	0.512	4	0.859
	上党 Shangdang, SD	1.727±0.192	2.177 (2.031-2.335)	0.211	4	1.412
	临猗 Linyi, LY	1.648±0.172	1.734 (1.284-2.354)	3.842	4	1.125

监测的 5 个田间种群对高效氯氟氰菊酯和呋虫胺的敏感性较低, LC₅₀ 值普遍大于 300 mg/L。因此, 田间防治该害虫时, 应避免使用高效氯氟氰菊酯和呋虫胺; 对四唑虫酰胺和甲维盐的使用应予以关注, 避免连续使用, 以延缓番茄潜叶蛾抗药性的产生和发展。

双酰胺类药剂由于对番茄潜叶蛾幼虫优异的防治效果, 已成为防治该虫的主要化学药剂之一, 随着使用时间的增加, 对该类药剂的抗性也逐渐凸显。本研究中测定的 5 个田间种群对四唑虫酰胺的 LC₅₀ 值在 0.498-1.809 mg/L 之间, 相较于 2021 年采集的敏感品系, 已有 4 个田间种群表现出了敏感性下降或低水平抗性, 这表明番茄潜叶蛾对四唑虫酰胺的抗性水平呈上升态势, 但目前四唑虫酰胺在田间的使用并未普及, 推测可能是由于交互抗性的影响所导致。氯虫苯甲酰胺作为双酰胺类杀虫剂的代表, 其抗性表现更为明显。从 2015 年开始, 巴西、西班牙、意

大利、英国、印度等多个国家报道了番茄潜叶蛾对氯虫苯甲酰胺产生了不同水平的抗药性, 最严重的抗性水平已达 4 167 倍。国内, 付开赞等 (2022) 药效结果表明 20% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 10 mL/667 m² 施用 14 d 后, 田间防效达到了 91.29%; 但李伦等 (2025) 研究显示新疆田间种群已对氯虫苯甲酰胺产生了不同的抗性水平, 最严重的霍城县农科站种群抗性倍数已超过 2 000 倍。另外, 山西太原市的晋源区和小店区种群对氯虫苯甲酰胺的 LC₅₀ 值分别为 1.40 和 1.48 mg/L, 抗性倍数为 9.03 和 22.66 倍, 达到了低等和中等抗性水平 (李寒, 2024; Zhang *et al.*, 2025), 其 LC₅₀ 值与本研究结果的 0.431-2.188 mg/L 相近, 但抗性水平与本研究的结果差异较大, 这是由于所采用的敏感基线不同导致的, 本研究中氯虫苯甲酰胺的敏感基线 LC₅₀ 为 1.781 mg/L, 而上述研究中采用的敏感基线的 LC₅₀ 值仅为 0.16 和 0.06 mg/L, 因此, 敏感基线

的选择对抗性倍数的影响较大,抗性监测的结果不能局限于抗性倍数。从监测结果来看,山西省各地田间种群对氯虫苯甲酰胺的敏感性差异不大,该药对番茄潜叶蛾仍具有较好的防治效果。

目前,甲维盐、多杀菌素和茚虫威对番茄潜叶蛾仍具有较高的毒力或较好的防治效果。研究表明,北京海淀区种群对甲维盐的 LC_{50} 为 0.76 mg/L (明飞辰等, 2025); 5%甲维盐微乳剂施用 14 d 后,番茄潜叶蛾田间防效可达 95% (张旭艳等, 2025); Zhang 等 (2025) 监测了我国 7 个省份的番茄潜叶蛾田间种群,发现对多杀菌素的 LC_{50} 值最高仅为 0.58 mg/L ; 90 g/hm^2 的茚虫威施用 7 d 后,防治效果可达 90% 以上 (梁洁等, 2024)。本研究与上述报道结果基本一致,监测的 5 个田间种群仅太谷 (TG) 种群对甲维盐产生了 6.174 倍的低水平抗性。李寒 (2024) 研究表明,2021 年采自山西太原市晋源区的番茄潜叶蛾田间种群对多杀菌素、甲维盐和茚虫威的 LC_{50} 值分别为 0.19 (0.33 倍)、 0.25 (4.1 倍) 和 14.89 mg/L (3.85 倍)。与之相比,本研究中采自太原市的小店 (DX) 种群对 3 种药剂的 LC_{50} 值分别为 0.262 、 0.515 和 1.062 mg/L ,可以看出该区域的番茄潜叶蛾对多杀菌素和甲维盐抗性水平的有一定程度的发展,对茚虫威的敏感性则有较大程度的恢复。

研究证明入侵我国的番茄潜叶蛾种群本身对菊酯类药剂具有较高的抗性 (李晓维等, 2022)。药效试验结果显示 4.5% 的高效氯氟氰菊酯乳油对新疆伊宁县田间种群毒力极低 (王少丽等, 2021); 宁夏西夏区种群对高效氯氟氰菊酯的 LC_{50} 为 20.28 mg/L (张治科等, 2024); 新疆伊宁市的田间种群对高效氯氟氰菊酯的 LC_{50} 为 88.152 mg/L (贾尊尊等, 2025); 夏小菊等 (2024) 的测定结果表明,番茄潜叶蛾幼虫对高效氯氟氰菊酯的 LC_{50} 为 72.549 mg/L ,对呋虫胺的 LC_{50} 值则大于 200.000 mg/L 。本研究中,供试种群对高效氯氟氰菊酯和呋虫胺表现出较低的敏感性, LC_{50} 值大多在 300.000 mg/L 以上,定襄 (DX) 种群对高效氯氟氰菊酯的 LC_{50} 甚至达到了 $1\,269.635 \text{ mg/L}$ 。这与上述研究的结果趋势相符,

抗性水平有了进一步的发展,这可能与当地使用的杀虫剂类别、方式和强度有关,长期或过量使用单一杀虫剂可能导致抗性水平的快速发展。本研究中敏感品系与 4 个田间种群对高效氯氟氰菊酯和呋虫胺的 LC_{50} 均较高,这表明敏感品系可能携带这 2 种药剂的靶标抗性基因,王少丽等 (2021) 和 Jiang 等 (2024) 均检测到了新疆和云南番茄潜叶蛾电压门控钠通道 (Voltage-gated sodium channel, VGSC) 相关基因 M918T、T929I 和 L1014F 的点突变,其中 L1014F 的突变频率为 100%。山西省发现番茄潜叶蛾的时间仅有 4 年,但对高效氯氟氰菊酯的抗药性发展迅速, LC_{50} 值已远高于新疆和云南种群,因此推测入侵山西省的番茄潜叶蛾本身就携带 VGSC 的相关抗性基因,但本研究未进行相关的分子检测,对高效氯氟氰菊酯和呋虫胺产生抗药性的具体原因有待进一步研究。综合报道的监测数据及本研究结果,田间防治中不建议继续使用高效氯氟氰菊酯作为番茄潜叶蛾防控药剂,同时基于交互抗性,也不建议在田间继续使用其他菊酯类药剂。

本研究中,定襄 (DX)、小店 (XD)、太谷 (TG) 和临猗 (LY) 种群均采集于 2024 年,而上党 (SD) 种群采集于 2025 年,故而在对比各地抗性发展情况时可能会存在一定误差。另外,上党 (SD) 种群因为采集到的田间种群数量有限,只对部分杀虫剂进行了抗性监测。

综上所述,本研究通过室内品系建立敏感基线,对山西省 5 个不同地区番茄潜叶蛾田间种群进行了抗药性监测,明确了当前番茄潜叶蛾种群对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、甲维盐等 7 种杀虫剂的抗性水平,为番茄潜叶蛾的田间防治和抗性治理提供了参考依据。在实际防治过程中,应首先明确番茄潜叶蛾的抗性现状,再进一步优化对番茄潜叶蛾的化学防治方案,交替使用不同作用机理的杀虫剂,以延缓番茄潜叶蛾对不同药剂抗性的发展。

参考文献 (References)

- Branco MC, França FH, Medeiros MA, Leal JGT, 2001. Use of insecticides for controlling the South American tomato pinworm

- and the diamondback moth: A case study. *Horticultura Brasileira*, 19: 60–63.
- Desneux N, Wajnberg E, Wyckhuys KAG, Burgio G, Arpaia S, Narváez-Vasquez CA, González-Cabrera J, Catalán Ruescas D, Tabone E, Frandon J, Pizzol J, Poncet C, Cabello T, Urbaneja A, 2010. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta* (Meyrick): Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83(3): 197–215.
- Feng KL, Li H, Cao MY, Zhang JH, Xue YT, Luo ML, Li Y, Ma DF, Patima-Wurihan, Huang C, Zhang GF, Zhang YB, 2025. Research progress on insecticide resistance and its mechanisms in *Tuta absoluta* (Meyrick), an important invasive alien pest. *Journal of Environmental Entomology*, 47(4): 1015–1029. [冯科力, 李寒, 曹梦宇, 张静航, 薛延韬, 罗明磊, 李艳, 马东方, 帕提玛·乌木尔汗, 黄聪, 张桂芬, 张毅波, 2025. 重大外来入侵害虫番茄潜叶蛾抗药性及其机制研究进展. *环境昆虫学报*, 47(4): 1015–1029.]
- Fu KY, Li AM, Ding XH, Jia ZZ, Tursen·Ahemati, Feng HZ, Guo WC, 2022. Evaluation of control effects of 10 insecticides against *Tuta absoluta* (Meyrick). *Xinjiang Agricultural Sciences*, 59(5): 1165–1172. [付开赞, 李爱梅, 丁新华, 贾尊尊, 吐尔逊·阿合买提, 冯宏祖, 郭文超, 2022. 10 种杀虫剂对番茄潜叶蛾防治效果评价. *新疆农业科学*, 59(5): 1165–1172.]
- Huang JL, Zhang DF, Yao JQ, Xu YJ, Qu C, Luo C, Wang R, 2024. Resistance monitoring of field populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) from Beijing and Zhangjiakou to three diamide insecticides. *China Vegetables*, 2024(8): 97–102. [黄建雷, 张道丰, 姚佳祺, 许艳君, 渠成, 罗晨, 王然, 2024. 北京和张家口田间番茄潜叶蛾种群对 3 种双酰胺类杀虫剂的抗性监测. *中国蔬菜*, 2024(8): 97–102.]
- Hu SY, Ming FC, Dai YT, Wang K, Dong R, Zhang YJ, Wang SL, 2025. Occurrence, pesticide resistance, and integrated pest management of the invasive pest *Tuta absoluta* (Meyrick). *China Vegetables*, 2025(6): 39–46. [胡守印, 明飞辰, 戴宇婷, 王克, 董瑞, 张友军, 王少丽, 2025. 入侵害虫番茄潜叶蛾的发生危害、抗药性及其综合治理. *中国蔬菜*, 2025(6): 39–46.]
- Jiang Z, Chen RP, Liu J, Lin WC, Liang JC, Nauen R, Li SH, Gao YL, 2024. Presence of multiple genetic mutations related to insecticide resistance in Chinese field samples of two *Phthorimaea* pest species. *Insects*, 15(3): 194.
- Jia ZZ, Tan YX, Li YW, Fu KY, Tursen·Ahemati, Liu YJ, Ding XH, Wang XW, Jiang WH, Li L, Ye XQ, Tao HZ, Guo WC, 2025. Monitoring of resistance to 7 commonly used insecticides in major *Tuta absoluta* (Meyrick) (tomato leafminer) occurrence areas of Xinjiang, China. *Xinjiang Agricultural Sciences*, <https://link.cnki.net/urlid/65.1097.S.20250827.1518.002>. [贾尊尊, 谈钰汐, 李亚文, 付开赞, 吐尔逊·阿合买提, 刘云洁, 丁新华, 王小武, 姜卫华, 李伦, 叶晓琴, 陶化忠, 郭文超, 2025. 新疆地区番茄潜叶蛾对 7 种常用杀虫剂的抗药性监测. *新疆农业科学*, <https://link.cnki.net/urlid/65.1097.S.20250827.1518.002>.]
- Li H, 2024. Monitoring the virulence level of *Tuta absoluta* (Meyrick) in China and a preliminary study on its response mechanism to indoxacarb. Master dissertation. Jingzhou: Yangtze University. [李寒, 2024. 我国番茄潜叶蛾毒力水平监测及其对茚虫威胁迫响应机制初探. 硕士学位论文. 荆州: 长江大学.]
- Li L, Jia ZZ, Wen YT, Fu KY, Tursen·Ahemati, Wang XW, Dong XY, Liu L, Jiang WH, Fu WJ, Li KJ, Hu HY, Guo WC, 2025. Monitoring of resistance to chlorantraniliprole and analysis of fitness costs in field populations of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Xinjiang Agricultural Sciences*, <https://link.cnki.net/urlid/65.1097.S.20250807.1537.002>. [李伦, 贾尊尊, 温雨同, 付开赞, 丁新华, 吐尔逊·阿合买提, 王小武, 董欣悦, 刘丽, 姜卫华, 付文君, 李奎均, 胡红英, 郭文超, 2025. 田间番茄潜叶蛾种群对氯虫苯甲酰胺的抗药性监测及适合度代价分析. *新疆农业科学*, <https://link.cnki.net/urlid/65.1097.S.20250807.1537.002>.]
- Li P, Ma DY, Ge ZY, Wang SY, Sun ZW, Zhang DX, Huang JX, Zhang GF, Guo YW, 2025. Occurrence, distribution, and application of control techniques for *Tuta absoluta* (Meyrick) in China. *China Plant Protection*, 45(3): 48–53. [李萍, 马德英, 葛兆悦, 王帅宇, 孙作文, 张东霞, 黄俊霞, 张桂芬, 郭永旺, 2025. 番茄潜叶蛾在我国的发生分布及防控技术应用概况. *中国植保导刊*, 45(3): 48–53.]
- Li XW, Ma L, Lü YB, 2022. Susceptibility of Xinjiang and Yunnan populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (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.]
- Liang J, Yang XM, Guo JY, Chen L, Guo JY, Liu WX, 2024. Laboratory insecticidal effect determination and field control efficacy evaluation of ten commonly used insecticides against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 67(12): 1624–1633. [梁洁, 杨小萌, 郭建洋, 陈来, 郭建英, 刘万学, 2024. 十种常用杀虫剂对番茄潜叶蛾室内药效测定和田间防效评价. *昆虫学报*, 67(12): 1624–1633.]

- Ma L, 2020. Study on the genetic variation and the insecticide sensitivity difference of *Tuta absoluta* (Meyrick) in Yunnan and Xinjiang. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [马琳, 2020. 云南和新疆地区番茄潜叶蛾种群遗传变异和药剂敏感性差异研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Ming FC, Hu SY, Wang K, Zhang YJ, Wang SL, 2025. Toxicity and control efficacy of different insecticides on the larvae and eggs of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Journal of Environmental Entomology*, <https://link.cnki.net/urlid/44.1640.Q.20250609.1730.006>. [明飞辰, 胡守印, 王克, 张友军, 王少丽, 2025. 不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫和卵的毒力及防效研究. 环境昆虫学报, <https://link.cnki.net/urlid/44.1640.Q.20250609.1730.006>.]
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Ministry of Natural Resources, Ministry of Ecology and Environment, Ministry of Housing and Urban-Rural Development, General Administration of Customs. National Forestry and Grassland Administration Announcement No. 567, 2023. Focus on the Management of Alien Invasive Species Lists. http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202211/t20221109_6415160.htm. [农业农村部, 自然资源部, 生态环境部, 住房和城乡建设部, 海关总署. 国家林草局公告第 567 号, 2023. 重点管理外来入侵物种名录. http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202211/t20221109_6415160.htm.]
- Qu C, Feng YF, Lin AL, Huang JL, Yan JX, Xu YJ, Mu CQ, Wang R, 2024. Laboratory toxicity and field efficacy assessment of broflanilide against *Tuta absoluta* (Meyrick). *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, 2024. 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, Yao JQ, Zhan QY, Zhang DF, Li YY, Huang JL, Wang R, 2024. Risk assessment, cross-resistance, biochemical mechanism and fitness cost of tetraniliprole resistance in the tomato pinworm *Tuta absoluta* (Meyrick). *Crop Protection*, 183: 106756.
- Roditakis E, Vasakis E, Grispou M, Stavrakaki M, Nauen R, Gravouil M, Bassi A, 2015. First report of *Tuta absoluta* (Meyrick) resistance to diamide insecticides. *Journal of Pest Science*, 88(1): 9–16.
- Roditakis E, Vasakis E, García-Vidal L, Martínez-Aguirre M Rosario, Rison JL, Haxaire-Lutun MO, Nauen R, Tsagkarakou A, Bielza P, 2018. A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) in the European/Asian region. *Journal of Pest Science*, 91(1): 421–435.
- Salazar ER, Araya JE, 2001. Tomato moth, *Tuta absoluta* (Meyrick) response to insecticides in Arica, Chile. *Agricultura Técnica*, 61(4): 429–435.
- Siqueira HÁA, Guedes RNC, Picanço MC, 2000. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 2(2): 147–153.
- Siqueira HÁA, Guedes RNC, Fragozo DB, Magalhaes LC, 2001. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Pest Management*, 47(4): 247–251.
- Shen JL, Wu YD, 1995. Cotton Bollworm (*Helicoverpa armigera* Hübner) Resistance and Management. Beijing: Chinese Agriculture Press. 25–88. [沈晋良, 吴益东, 1995. 棉铃虫抗性及其治理. 北京: 中国农业出版社. 25–88.]
- Sawadogo MW, Somda I, Nacro S, Legrève A, Verheggen FJ, 2020. Insecticide susceptibility level and control failure likelihood estimation of Sub-Saharan African populations of tomato leafminer: Evidence from Burkina Faso. *Physiological Entomology*, 45(4): 147–153.
- Silva TBM, Silva WM, Campos MR, Silva JE, Ribeiro LMS, Siqueira HÁA, 2016. Susceptibility levels of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) to minor classes of insecticides in Brazil. *Crop Protection*, 79: 80–86.
- Wang MH, Ismoilov K, Liu WX, Bai M, Bai XS, Chen B, Chen H, Chen HS, Dong YC, Fang K, Gui FR, Huang GH, Jiang CM, Jiang HB, Li XW, Luo C, Lu ZZ, Lu YB, Ma DY, Pu DQ, 2024. *Tuta absoluta* (Meyrick) management in China: Progress and prospects. *Entomologia Generalis*, 44(2): 269–278.
- Wang SL, Shi CH, Xu DD, Zhang YJ, 2021. Screening of highly effective insecticides against the invasive pest *Tuta absoluta* (Meyrick) and detection of resistance gene mutations. *China Vegetables*, 2021(11): 33–36. [王少丽, 史彩华, 徐丹丹, 张友军, 2021. 入侵性南美番茄潜叶蛾高效药剂筛选及其抗性基因突变检测. 中国蔬菜, 2021(11): 33–36.]
- Xia XJ, Bao Q, Yan Y, Guo WX, Li LL, Lü SH, Cui HY, Song YY, Men XY, 2024. Laboratory toxicity of eleven insecticides against different developmental stages of *Tuta absoluta* (Meyrick). *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.]
- Yang M, Yu FQ, Sun FY, Zhang XM, Shao LY, Chi Y, Liu XY, Chu J, 2025. Research progress on insecticide resistance mechanisms and integrated pest management system construction

- for *Tuta absoluta* (Meyrick). *Acta Entomologica Sinica*, <https://link.cnki.net/urlid/11.1832.q.20250905.1336.002>. [杨眉, 于凤泉, 孙富余, 张晓明, 邵凌云, 迟瑶, 刘欣宇, 褚晋, 2025. 番茄潜叶蛾抗药性机制与综合防控体系构建研究进展. 昆虫学报, <https://link.cnki.net/urlid/11.1832.q.20250905.1336.002>.]
- Yang Y, Wang Y, Du GZ, Wang WQ, Sun GL, Chen B, Zhang LM, 2024. Bottom-up effects of various potato cultivars on the performance of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Entomologia Generalis*, 44(2): 315–323.
- Zhan JY, Zhang HH, Guo JY, Lü ZC, Wu BL, Zhao MF, Wang WF, Liu WX, 2025. Determination and first record of *Tuta absoluta* (Meyrick) in Xizang. *Journal of Environmental Entomology*, 47(1): 40–44. [詹金钰, 张欢欢, 郭建洋, 吕志创, 吴蓓蕾, 赵铭菲, 王文峰, 刘万学, 2025. 西藏自治区发现重大农业入侵害虫——南美番茄潜叶蛾及其确证. 环境昆虫学报, 47(1): 40–44.]
- Zhang GF, Xian XQ, Zhang YB, Zhang R, Ma DY, Liu WX, Gao YH, Wang J, Yang ZL, Li QH, Wang YS, Xue YT, Wan FH, 2020. Alert of the invasion and spread of *Tuta absoluta* (Meyrick) in China. *Plant Protection*, 46(2): 281–286. [张桂芬, 洗晓青, 张毅波, 张蓉, 马德英, 刘万学, 高有华, 王俊, 杨子林, 李庆红, 王玉生, 薛延韬, 万方浩, 2020. 警惕南美番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 在中国扩散. 植物保护, 46(2): 281–286.]
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, Liu WX, Li P, Liu WC, Liu H, Feng XD, Lü ZC, Wang YS, Huang C, Guo JY, Wan FH, Ma DY, Zhang XM, Gui FR, Li YH, Luo R, Wang HQ, Wang J, 2022. Occurrence, damage, and control strategies of the newly invaded major agricultural pest *Tuta absoluta* (Meyrick). *Plant Protection*, 48(4): 51–58. [张桂芬, 张毅波, 洗晓青, 刘万学, 李萍, 刘万才, 刘慧, 冯晓东, 吕志创, 王玉生, 黄聪, 郭建洋, 万方浩, 马德英, 张晓明, 桂富荣, 李亚红, 罗荣, 王慧卿, 王俊, 2022. 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. 植物保护, 48(4): 51–58.]
- Zhang JH, Zhan YD, Liu Y, 2023. Biological and ecological characteristics and behavior regulation techniques of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Shandong Agricultural Science*, 55(11): 12–18. [张嘉惠, 战一迪, 刘勇, 2023. 番茄潜叶蛾的生物生态学特性和行为调控技术. 山东农业科学, 55(11): 12–18.]
- Zhang XY, Jia ZZ, Tursen-Ahemati, Fu KY, Ding XH, Li YW, Dong XY, Guo WC, Yasen-Shali, 2025. Determination of indoor virulence of four insecticides against *Phthorimaea absoluta* (Meyrick) and field control effect. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 62(2): 386–392. [张旭艳, 贾尊尊, 吐尔逊·阿合买提, 付开赞, 丁新华, 李亚文, 董欣悦, 郭文超, 牙森·沙力, 2025. 4 种杀虫剂对番茄潜叶蛾的室内毒力测定及田间防效. 新疆农业科学, 62(2): 386–392.]
- Zhang YB, Li H, Han P, Tian XC, Wang H, Geng LL, Zhang J, Liu WX, Wan FH, Guedes RN, Nicolas D, Zhang GF, 2025. Monitoring the insecticide susceptibility of a newly introduced invasive species, *Tuta absoluta* (Meyrick), in China. *Crop Protection*, 189: 107041.
- Zhang ZK, Li Y, Zhang N, 2024. Susceptibility of *Tuta absoluta* (Meyrick) to different types of insecticides. *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* (Meyrick) to tetraniliprole and study on cross-resistance. *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 tetraniliprole-resistant population of *Tuta absoluta* (Meyrick). *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.]