

山西不同地区番茄潜叶蛾种群 对七种杀虫剂的敏感性*

吕 品^{1**} 赵明宇¹ 谭豪银¹ 张 晶¹ 贾变桃¹
张 彬² 罗进仓^{3***} 贾 栋^{1***}

(1. 山西农业大学植物保护学院, 太谷 030801; 2. 山西农业大学园艺学院, 太谷 030801;

3. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 兰州 730070)

摘 要 【目的】为有效防控重大入侵害虫番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta*, 指导田间科学用药, 延缓抗药性的发展。【方法】在室内采用浸叶法, 测定了 2023-2024 年山西省太谷、芮城和阳高 3 个地区番茄潜叶蛾种群对 7 种杀虫剂的敏感性, 并以新疆番茄潜叶蛾室内种群对不同杀虫剂的敏感性作为敏感基线, 评估 3 个田间种群产生抗性的可能性。【结果】敏感性测定结果表明, 2023 年, 太谷种群对阿维菌素最敏感, 其次为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (简称甲维盐)、溴氰虫酰胺、多杀菌素、虫螨腈和氯虫苯甲酰胺, 对茚虫威最不敏感, 其 LC_{50} 最高为 4.672 mg/L; 与 2023 年相比, 2024 年太谷种群对虫螨腈的敏感性下降 2.2 倍, 对甲维盐和氯虫苯甲酰胺的敏感性反而有所升高, 分别为 2023 年的 0.4 和 0.5 倍, 对其他杀虫剂的敏感性变化不大。此外, 山西 3 个地区番茄潜叶蛾种群对甲维盐、溴氰虫酰胺、多杀菌素和虫螨腈 4 种杀虫剂的敏感性差异不大, 对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素和茚虫威 3 种杀虫剂的敏感性存在差异, 分别最高相差 5.6、3.8 和 2.9 倍。以新疆室内种群对不同杀虫剂的敏感性作为敏感基线, 2024 年, 3 个田间种群对甲维盐抗性倍数为 17.6-21.7, 处于中等水平抗性; 对虫螨腈抗性倍数为 6.9-9.8, 属于低水平抗性; 对氯虫苯甲酰胺的抗性倍数为 5.1-28.2, 阳高种群处于中等水平抗性; 对茚虫威的抗性倍数为 4.9-14.3, 芮城种群处于中等水平抗性; 对多杀菌素的抗性处于敏感及敏感性下降阶段 (抗性倍数为 2.2-3.7)。【结论】除多杀菌素外, 山西 3 个地区番茄潜叶蛾对甲维盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威和虫螨腈产生低到中等水平抗性。研究结果可为山西省不同地区番茄潜叶蛾的药剂防治和抗性治理提供理论依据。

关键词 番茄潜叶蛾; 杀虫剂; 敏感性; 抗药性

Susceptibility of three different Shanxi populations of *Tuta absoluta* to seven insecticides

LÜ Pin^{1**} ZHAO Ming-Yu¹ TAN Hao-Yin¹ ZHANG Jing¹ JIA Bian-Tao¹
ZHANG Bin² LUO Jin-Cang^{3***} JIA Dong^{1***}

(1. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

3. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China)

Abstract [Aim] To improve use of pesticides to control the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*, a major invasive pest, and delay the development of pesticide resistance in this species. [Methods] The susceptibility of populations from *T. absoluta* in Taigu, Ruicheng, and Yanggao counties, Shanxi Province, to seven insecticides was determined using the leaf-dip method under laboratory conditions in 2023 and 2024. The susceptibility of a laboratory, Xinjiang population of *T. absoluta* to

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD1400200); 山西省科技创新人才团队专项 (202304051001006); 山西省现代农业产业技术体系建设专项 (2025CYJSTX18); 山西农业大学科技创新提升工程 (CXGC2023011)

**第一作者 First author, E-mail: lvpin991010@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: jincang1964@sohu.com; biodong@foxmail.com

收稿日期 Received: 2025-03-03; 接受日期 Accepted: 2025-06-11

different insecticides was used as the baseline of susceptibility to evaluate the possibility of resistance occurring in the three Shanxi populations. **[Results]** The susceptibility test showed that, in 2023, the Taigu population was most susceptible to abamectin, followed by emamectin benzoate, cyantraniliprole, spinosad, chlorfenapyr and chlorantraniliprole, and the least susceptible to indoxacarb, with the highest LC_{50} of 4.672 mg/L. However, in 2024 the susceptibility of the Taigu population to chlorfenapyr had decreased 2.2 times, whereas its susceptibility to emamectin benzoate and chlorantraniliprole had increased by 0.4 and 0.5 times, respectively, with little change in its susceptibility to the other insecticides. In addition, there was little difference in the susceptibility of the three Shanxi populations to four insecticides, namely, emamectin benzoate, cyantraniliprole, spinosad, and chlorfenapyr. There were, however, significant differences in the susceptibility of these three populations to chlorantraniliprole, abamectin and indoxacarb, with maximum differences of 5.6, 3.8 and 2.9 times, respectively. Based on the susceptibility of the Xinjiang laboratory population to the different insecticides, the resistance ratios of the three Shanxi populations to emamectin benzoate ranged from 17.6 to 21.7, indicating a moderate level of resistance. Resistance ratios to chlorfenapyr ranged from 6.9 to 9.8, which indicates low-level resistance, and resistance ratios to chlorantraniliprole ranged from 5.1 to 28.2, with the Yanggao population being the intermediate in terms of resistance. Resistance ratios to indoxacarb were 4.9-14.3 with the Ruicheng population being intermediate. Resistance to spinosad was at the susceptible, and decreasing susceptibility, stage (resistance ratios of 2.2-3.7). **[Conclusion]** With the exception of spinosad, *T. absoluta* in Shanxi Province has developed low to moderate levels of resistance to emamectin benzoate, chlorantraniliprole, indoxacarb and chlorfenapyr. The results of this study provide useful information for better managing pesticide use and pesticide resistance in *T. absoluta* in different parts of Shanxi Province.

Key words *Tuta absoluta*; insecticides; susceptibility; resistance

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 属鳞翅目 Lepidoptera、麦蛾科 Gelechiidae, 又名南美番茄潜叶蛾、番茄潜麦蛾、番茄麦蛾, 主要危害茄科作物, 尤其嗜食番茄 (张桂芬等, 2018)。该虫起源于南美洲的秘鲁, 随着寄主产品和种苗的贸易活动、调运不断进行传播扩散, 截至 2021 年该虫已在五大洲的 103 个国家和地区发生, 21 个国家和地区疑似发生 (张桂芬等, 2022)。我国于 2017 年首次在新疆发现番茄潜叶蛾为害露地番茄, 2018 年在云南发现其在保护地发生, 截至 2024 年该虫已扩散传播至我国 22 个省 (直辖市、自治区) (张桂芬等, 2019, 2020; 李萍等, 2025)。番茄潜叶蛾可在番茄整个生育期内发生为害, 幼虫孵化后即钻入叶片、嫩茎取食, 发生严重时, 幼虫会对花蕾、花朵和果实造成伤害, 降低产量, 使番茄果实失去经济价值, 如不采取控制措施, 可以在入侵地区造成番茄产量损失高达 80%-100% (Desneux *et al.*, 2010; 马菲等, 2011; Campos *et al.*, 2015a)。

为防止番茄潜叶蛾造成损失, 化学防治是国内外普遍采用的方法。但随着杀虫剂的大量频繁使用, 南美洲、欧洲及亚洲许多国家和地区的番

茄潜叶蛾已对有机磷、拟除虫菊酯类、几丁质合成抑制剂、茚虫威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (简称甲维盐)、多杀菌素和氯虫苯甲酰胺等杀虫剂产生了抗药性 (Campos *et al.*, 2015b; Roditakis *et al.*, 2017, 2018; Guedes *et al.*, 2019; Grant *et al.*, 2019; 李晓维等, 2022; Aboutalebian-Soureshjani *et al.*, 2023)。因此, 密切监测杀虫剂的敏感性水平对害虫的可持续治理和早期抗性检测至关重要。番茄潜叶蛾于 2021 年入侵山西省 (庾琴等, 2022)。作者课题组 2022-2024 年对全省 20 多个县市区开展了系统调查, 结果表明, 该虫在调查区普遍发生, 且危害面积不断扩大, 对山西省番茄产业构成严重威胁。由于番茄潜叶蛾发生初期隐蔽性强、不易发现, 导致种植户错过最佳防治时期, 且我国目前针对番茄潜叶蛾的登记用药较少, 在生产中用药盲目, 使其不能得到有效的控制 (王俊等, 2021), 因此, 了解番茄潜叶蛾对不同杀虫剂敏感性, 筛选有效药剂是提高番茄潜叶蛾化学防治效果的前提。目前, 山西省不同地区番茄潜叶蛾对杀虫剂的敏感性还不清楚。本研究分别从山西省晋中、晋南和晋北 3 个地区采集了番茄潜叶蛾种群, 测定这 3

个田间种群对 7 种杀虫剂的敏感性,并以新疆室内种群对不同杀虫剂的敏感性作为敏感基线,评估 3 个田间种群产生抗性的可能性,以期为山西不同地区番茄潜叶蛾的药剂防治和抗性治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试试虫

分别于 2023 年 8 月和 2024 年 5-6 月从山西省晋中市太谷区、大同市阳高县和运城市芮城县采集番茄潜叶蛾幼虫,具体采集信息见表 1。在室内光照培养箱(宁波赛福实验仪器有限公司, PRX-450C)中,以不接触杀虫剂的番茄

(硬粉 8 号)植株进行饲养,饲养至 F₁ 和 F₂ 代 3 龄幼虫进行毒力测定。饲养条件为:温度(25±1)℃、相对湿度 60%-70%、光周期 16 L : 8 D。

1.2 供试药剂

72.3%甲维盐原药(江苏农博生物科技有限公司)、96.1%阿维菌素原药(江苏农博生物科技有限公司)、93.1%多杀霉素原药(安徽华星化工股份有限公司)、97.5%茚虫威原药(山东京博农化科技有限公司)、97.6%氯虫苯甲酰胺原药(西安思科赛实业有限公司)、98%虫螨腈原药(湖北锐赛达生物科技有限公司)和 95%溴氰虫酰胺原药(山东桐鸣化工有限公司)。

表 1 番茄潜叶蛾不同地理种群的采集信息
Table 1 Collection information of different geographical populations of *Tuta absoluta*

种群 Population	采集地点 Collection location	经纬度 Longitude and latitude	采集日期(年-月) Collection date (year-month)	寄主植物 Host plant
太谷 Taigu	晋中市太谷区晋中国家农高区设施农业示范基地 Jinzhong National Agricultural High-tech Zone Facility Agriculture Demonstration Base in Taigu District, Jinzhong City	37.47°N, 112.53°E	2023-8	大棚番茄 Greenhouse tomato
太谷 Taigu	晋中市太谷区田森农业科技有限公司 Tiansen Agricultural Technology Co., LTD. in Taigu District, Jinzhong City	37.46°N, 112.5°E	2024-5	大棚番茄 Greenhouse tomato
阳高 Yanggao	大同市阳高县东双寨村 Dongshuangzhai Village, Yanggao County, Datong City	40.30°N, 113.94°E	2024-6	大棚番茄 Greenhouse tomato
芮城 Ruicheng	运城市芮城县窑头村 Yaotou Village, Ruicheng County, Yuncheng	34.63°N, 110.64°E	2024-6	大棚番茄 Greenhouse tomato

1.3 毒力测定方法

采用浸叶法,参照 Roditakis 等(2013)的方法,并稍作修改。待测杀虫剂原药用丙酮溶解,清水稀释配制高浓度母液,根据预试验结果等比稀释一系列浓度,以清水作为对照,所有测定药液中加入质量比为 0.02%的 Triton X-100。将番茄叶片剪成 2.5 cm×2.5 cm 的正方形,浸入系列浓度杀虫剂溶液中 10 s,室温下晾干,放入底部含有 1%琼脂液的 6 孔培养板。在 6 孔培养板的每个孔中放入 3 头 3 龄幼虫,每处理用 2 张培养

板,共 36 头试虫。培养板用保鲜膜覆盖防止幼虫逃离。试虫放入温度为(25±1)℃、相对湿度 60%-70%、光周期为 16 L : 8 D 的人工气候箱中饲养。多杀菌素和虫螨腈 48 h,其它药剂 72 h 后检查结果,统计死亡率。试虫死亡判定标准为虫体变黑,或用毛笔触碰虫体无反应,或虫体已严重变形,无法正常爬行超过 1 cm。

1.4 数据分析

室内毒力测定结果采用 PoloPlus 1.0 软件分析,计算毒力回归方程的斜率±标准误、致死中

浓度 LC_{50} 及其 95% 置信限、卡方值及自由度。95% 置信限重叠表明两个种群的 LC_{50} 差异不显著; 相反, 则差异显著(王鹏等, 2013; 肖汉祥等, 2023)。抗性倍数 (Resistance ratio, 英文缩写为 RR) = 田间种群的 LC_{50} /敏感种群的 LC_{50} 。抗性分级标准: 敏感 ($RR < 3$)、敏感性降低 ($3 \leq RR < 5$)、低水平抗性 ($5 \leq RR < 10$)、中等水平抗性 ($10 \leq RR < 40$)、高水平抗性 ($40 \leq RR < 160$)、极高水平抗性 ($RR > 160$) (孙杨等, 2018)。

2 结果与分析

2.1 2023 年番茄潜叶蛾太谷种群对 7 种杀虫剂的敏感性

7 种杀虫剂对番茄潜叶蛾太谷种群的室内毒力测定结果见表 2。测定结果表明, 番茄潜叶蛾太谷种群对阿维菌素最敏感, LC_{50} 值最低为 0.901 mg/L, 其次为甲维盐、溴氰虫酰胺、多杀菌素、虫螨腈和氯虫苯甲酰胺, 其 LC_{50} 值在 1-2 mg/L 之间, 对茚虫威最不敏感, LC_{50} 值最高为 4.672 mg/L。

以新疆番茄潜叶蛾室内种群对不同杀虫剂的敏感性作为敏感基线 (马琳, 2020), 计算太谷种群对甲维盐、多杀菌素、虫螨腈、氯虫苯甲酰胺和茚虫威 5 种杀虫剂的抗性倍数, 结果表明

太谷种群对甲维盐已产生 40.2 倍的高水平抗性, 对氯虫苯甲酰胺产生 11.1 倍的中等水平抗性, 但对虫螨腈和茚虫威处于敏感性下降阶段, 对多杀菌素依然敏感 (表 2)。

2.2 2024 年番茄潜叶蛾 3 个田间种群对 7 种杀虫剂的敏感性

2024 年, 测定了 7 种杀虫剂对山西 3 个不同地区的番茄潜叶蛾种群的毒力, 结果表明, 3 个田间种群对阿维菌素的敏感性顺序依次为: 芮城 > 太谷 > 阳高, 太谷和阳高种群的 LC_{50} 值与芮城种群相比差异显著, 分别为芮城种群的 3.5 和 3.8 倍; 3 个种群对甲维盐、溴氰虫酰胺、多杀菌素、虫螨腈的敏感性相差不大, LC_{50} 值范围分别为 0.510-0.629、1.993-3.553、2.243-3.726 和 3.925-5.602 mg/L。3 个种群对氯虫苯甲酰胺的敏感性大小依次为: 太谷 > 芮城 > 阳高, 阳高种群的 LC_{50} 值显著大于太谷和芮城种群, 芮城和阳高种群的 LC_{50} 值分别为太谷种群的 1.2 和 5.6 倍; 对茚虫威的敏感性大小顺序为: 阳高 > 太谷 > 芮城, 芮城种群的 LC_{50} 值显著大于阳高和太谷种群, 太谷和芮城种群的 LC_{50} 值分别为阳高种群的 1.1 和 2.9 倍 (表 3)。

以新疆番茄潜叶蛾室内种群作为敏感种群 (马琳, 2020), 计算 3 个种群对甲维盐、多杀

表 2 7 种杀虫剂对山西太谷区番茄潜叶蛾 3 龄幼虫的毒力和抗性 (2023 年)
Table 2 Toxicity and resistance of 7 insecticides to the 3rd larvae of Taigu population of *Tuta absoluta* in 2023

药剂 Insecticide	斜率±标准误差 Slope±SE	致死中浓度 (95% 置信限) (mg/L) LC_{50} (95% confidence interval) (mg/L)	卡方值 (自由度) χ^2 (df)	*RR
阿维菌素 Abamectin	1.806±0.362	0.901 (0.641-1.229)	0.228 (2)	-
甲维盐 Emamectin benzoate	2.226±0.303	1.166 (0.922-1.483)	1.376 (3)	40.2
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	2.314±0.367	1.653 (1.285-2.141)	2.171 (3)	-
多杀菌素 Spinosad	1.862±0.292	1.724 (1.277-2.270)	2.473 (3)	1.2
虫螨腈 Chlorfenapyr	2.697±0.409	1.754 (1.388-2.163)	0.062 (2)	3.1
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	1.984±0.279	1.893 (1.469-2.444)	0.334 (3)	11.1
茚虫威 Indoxacarb	1.485±0.213	4.672 (3.319-6.324)	0.694 (4)	4.3

*RR=田间种群的 LC_{50} /新疆室内种群的 LC_{50} (新疆室内种群对甲维盐、多杀菌素、虫螨腈、氯虫苯甲酰胺和茚虫威的 LC_{50} 值分别为: 0.029、1.012、0.572、0.171 和 1.084 mg/L)。表 3 同。

*RR= LC_{50} of field population / LC_{50} of laboratory susceptible population in Xinjiang (the LC_{50} values of emamectin benzoate, spinosad, chlorfenapyr, chlorantraniliprole and indoxacarb of laboratory population in Xinjiang were 0.029, 1.012, 0.572, 0.171 and 1.084 mg/L, respectively). The same for Table 3.

表 3 7 种杀虫剂对山西不同地区番茄潜叶蛾 3 龄幼虫的毒力和抗性 (2024 年)
Table 3 Toxicity and resistance of 7 insecticides to the 3rd larvae of different populations of *Tuta absoluta* from Shanxi in 2024

药剂 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)	卡方值(自由度) χ^2 (df)	RR
阿维菌素 Abamectin	芮城 Ruicheng	1.544±0.260	0.174 (0.126-0.244)	0.501 (3)	—
	太谷 Taigu	1.929±0.233	0.613 (0.426-0.903)	4.104 (4)	—
	阳高 Yanggao	1.260±0.162	0.668 (0.487-0.958)	0.968 (5)	—
甲维盐 Emamectin benzoate	芮城 Ruicheng	1.337±0.171	0.624 (0.454-0.871)	2.040 (5)	21.5
	太谷 Taigu	1.531±0.208	0.510 (0.382-0.708)	3.064 (4)	17.6
	阳高 Yanggao	1.487±0.183	0.629 (0.467-0.851)	2.490 (5)	21.7
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	芮城 Ruicheng	2.182±0.294	3.553 (2.823-4.554)	0.983 (3)	—
	太谷 Taigu	1.760±0.291	1.993 (1.494-2.809)	2.214 (3)	—
	阳高 Yanggao	2.127±0.293	3.435 (2.715-4.439)	0.778 (3)	—
多杀霉素 Spinosad	芮城 Ruicheng	2.020±0.314	3.254 (2.503-4.303)	0.176 (3)	3.2
	太谷 Taigu	1.865±0.256	2.243 (1.552-3.250)	5.860 (4)	2.2
	阳高 Yanggao	2.406±0.341	3.726 (2.958-4.692)	1.935 (3)	3.7
虫螨腈 Chlorfenapyr	芮城 Ruicheng	2.891±0.451	3.949 (3.229-5.060)	1.662 (2)	6.9
	太谷 Taigu	3.735±0.548	3.925 (3.255-4.669)	1.230 (2)	6.9
	阳高 Yanggao	2.802±0.466	5.602 (4.443-7.066)	0.353 (2)	9.8
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	芮城 Ruicheng	2.233±0.336	1.036 (0.808-1.340)	0.951 (3)	6.1
	太谷 Taigu	1.501±0.211	0.867 (0.647-1.227)	1.401 (4)	5.1
	阳高 Yanggao	1.984±0.279	4.823 (3.525-6.981)	2.049 (4)	28.2
茚虫威 Indoxacarb	芮城 Ruicheng	0.929±0.133	15.538 (10.310-25.151)	1.050 (6)	14.3
	太谷 Taigu	0.876±0.137	5.691 (3.271-10.385)	2.346 (3)	5.3
	阳高 Yanggao	1.276±0.167	5.301 (3.769-7.349)	0.541 (5)	4.9

菌素、虫螨腈、氯虫苯甲酰胺和茚虫威 5 种杀虫剂的抗性倍数,结果表明,3 个田间种群对甲维盐抗性倍数为 17.6-21.7,处于中等水平抗性,对多杀菌素处于敏感及敏感性下降阶段(抗性倍数为 2.2-3.7),对虫螨腈抗性倍数为 6.9-9.8,属于低水平抗性。对氯虫苯甲酰胺,芮城和太谷种群抗性倍数分别为 6.1 和 5.1,处于低水平抗性,而阳高种群抗性倍数达到了 28.2,属中等水平抗性。对茚虫威,芮城种群抗性为 14.3 倍,处于中等水平抗性,太谷种群抗性为 5.3 倍,为低水平抗性,阳高种群抗性倍数为 4.9,处于敏感性

下降阶段 (表 3)。

2.3 2023 和 2024 年太谷种群对 7 种杀虫剂的敏感性比较

太谷种群对杀虫剂敏感性测定结果表明,与 2023 年相比,太谷种群 2024 年对虫螨腈敏感性下降 2.2 倍,两年 LC₅₀ 值差异显著,对阿维菌素、溴氰虫酰胺、多杀菌素和茚虫威的敏感性变化不大,对甲维盐和氯虫苯甲酰胺的敏感性反而有所升高,分别是 2023 年的 0.4 和 0.5 倍,两年的 LC₅₀ 值差异显著 (表 4)。

表 4 2023 和 2024 年山西太谷区番茄潜叶蛾种群对 7 种杀虫剂的敏感性比较
Table 4 Susceptibility comparison of Taigu population of *Tuta absoluta* to 7 insecticides in 2023 and 2024

药剂 Insecticide	年份 Year	致死中浓度 (95%置信限) (mg/L) LC ₅₀ (95% confidence interval)(mg/L)	*比值 Ratio
阿维菌素 Abamectin	2023	0.901 (0.641-1.229)	—
	2024	0.613 (0.426-0.903)	0.68
甲维盐 Emamectin benzoate	2023	1.166 (0.922-1.483)	—
	2024	0.510 (0.382-0.708)	0.4
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	2023	1.653 (1.285-2.141)	—
	2024	1.993 (1.494-2.809)	1.2
多杀菌素 Spinosad	2023	1.724 (1.277-2.270)	—
	2024	2.243 (1.552-3.250)	1.3
虫螨腈 Chlorfenapyr	2023	1.754 (1.388-2.163)	—
	2024	3.925 (3.255-4.669)	2.2
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	2023	1.893 (1.469-2.444)	—
	2024	0.867 (0.647-1.227)	0.5
茚虫威 Indoxacarb	2023	4.672 (3.319-6.324)	—
	2024	5.691 (3.271-10.385)	1.2

*比值=太谷种群 2024 年的 LC₅₀/太谷种群 2023 年的 LC₅₀。
*Ratio=LC₅₀ of Taigu population in 2023 / LC₅₀ of Taigu population in 2024.

3 讨论

2023-2024 年对番茄潜叶蛾太谷种群的年度监测显示,该种群对 7 种杀虫剂的敏感性存在动态变化。2023 年,按敏感性由高到低排序为:阿维菌素>甲维盐>溴氰虫酰胺>多杀菌素>虫螨腈>氯虫苯甲酰胺>茚虫威(其中茚虫威的 LC₅₀为 4.672 mg/L);与 2023 年相比,2024 年太谷种群对虫螨腈的敏感性下降 2.2 倍,对甲维盐和氯虫苯甲酰胺的敏感性反而上升,分别为 2023 年的 0.4 和 0.5 倍,对其他杀虫剂的敏感性变化相对较小。此外,在对山西 3 个地区番茄潜叶蛾种群监测中发现,种群间对甲维盐、溴氰虫酰胺、多杀菌素和虫螨腈的敏感性差异较小,但对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素和茚虫威的敏感性存在明显差异,分别最高相差 5.6、3.8 和 2.9 倍。这些结果表明,山西地区番茄潜叶蛾对不同杀虫剂的敏感性在不同年份和地理种群间存在一定波动。该敏感性差异可能与多种因素有关,如种群来源、遗传特性、药剂使用剂量和频率等(Siddiqui

et al., 2023)。本研究测定的番茄潜叶蛾种群均采集自番茄大棚,其虫源可能来自棚内残留、种苗携带或通风口迁入。此外,不同大棚在管理水平、用药种类及施药策略等方面存在差异。上述因素均可能是导致 2024 年太谷种群对甲维盐和氯虫苯甲酰胺敏感性高于 2023 年的原因。

以新疆室内种群的敏感性作为敏感基线,3 个地区番茄潜叶蛾种群除对多杀菌素处于敏感及敏感性下降阶段外,对其余测定杀虫剂已产生不同程度的抗性。其中抗性倍数最高为 2023 年太谷种群对甲维盐的抗性,达到 40.2 倍;而 2024 年 3 个地区番茄潜叶蛾对甲维盐抗性为 17.6-21.7 倍,均已达中等水平抗性。甲维盐是一种由阿维菌素衍生合成的新型大环内酯类杀虫剂,被广泛用于多种蔬菜作物上鳞翅目害虫的防治(Liguori et al., 2010; Kandil et al., 2020),也是欧洲和亚洲防治番茄潜叶蛾的主要药剂之一。Roditakis 等(2018)报道,意大利、希腊及以色列多个田间种群对甲维盐产生 10 倍以上抗性。我国新疆和云南番茄潜叶蛾田间种群对甲维

盐的抗性倍数更高, 分别为 61.0 和 67.3 倍, 已属高水平抗性 (李晓维等, 2022)。因此, 应继续加强番茄潜叶蛾对甲维盐的抗性监测, 并严格限制其使用频次, 以延缓其抗性的进一步发展。

氯虫苯甲酰胺是目前欧洲唯一登记用于防治番茄潜叶蛾的二酰胺类杀虫剂, 而在以色列有两种二酰胺类杀虫剂被登记 (氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺), 2015 年后, 高抗性种群在意大利和希腊广泛出现, 同时, 以色列田间也监测到对氯虫苯甲酰胺的抗性, 高达 22 573 倍 (Roditakis *et al.*, 2018)。此外, 在巴西, 二酰胺类杀虫剂使用 6 年后, 番茄潜叶蛾田间种群对氯虫苯甲酰胺产生了高达 288 995 倍的抗性, 对溴氰虫酰胺产生了高达 18 423 倍的抗性 (Silva *et al.*, 2016a)。英国番茄潜叶蛾种群也监测到对氯虫苯甲酰胺的低到中等水平抗性 (Grant *et al.*, 2019)。我国云南和新疆番茄潜叶蛾田间种群也对氯虫苯甲酰胺分别产生了 212.7 和 169.3 倍的高水平抗性 (李晓维等, 2022)。Ma 等 (2024) 监测中国北方地区 13 个番茄潜叶蛾种群对氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺的抗药性, 结果发现有 9 个种群对氯虫苯甲酰胺、6 个种群对溴氰虫酰胺抗性大于 5 倍, 其中宁夏吴忠种群对氯虫苯甲酰胺抗性高达 76.9 倍。尽管本研究仅发现阳高种群对氯虫苯甲酰胺产生 28.2 倍的中等水平抗性, 但国内外田间种群对这一类杀虫剂的抗性报道提示我们在田间使用该类杀虫剂防治番茄潜叶蛾时, 要谨慎使用, 预防高水平抗性的产生。

茚虫威属噁二嗪类杀虫剂, 是一种新型钠通道抑制剂, 其作用机制不同于拟除虫菊酯类杀虫剂和 DDT (Silver *et al.*, 2010; Jiang *et al.*, 2015), 被广泛用于番茄潜叶蛾的防治。然而, 其抗性问题的已在多国出现。巴西、意大利、希腊和以色列等国相继报道, 番茄潜叶蛾田间种群对茚虫威产生了中等至高水平抗性, 其中希腊一种群的抗性水平高达 1 794 倍 (Silva *et al.*, 2011; Roditakis *et al.*, 2017, 2018)。在我国, 云南和新疆田间种群对茚虫威也分别产生了 18.3 和 20.0 倍的中等水平抗性。相比之下, 本研究仅发现芮城种群对茚虫威产生 14.3 倍的中等水平抗性, 其他两

个种群抗性水平较低。

虫螨腈是经天然抗生素改造合成的芳基吡咯类化合物, 对钻蛀、刺吸和咀嚼式口器害虫以及螨类的防效优异, 作用于靶标虫体细胞内线粒体, 破坏氧化磷酸化 ADP 转变成 ATP 的生理过程 (孙国强和陆贻通, 2007)。本研究发现 3 个番茄潜叶蛾田间种群对虫螨腈产生低水平抗性。这与 Silva 等 (2016b) 在巴西未检测到该药剂抗性的结果一致, 但与李晓维等 (2022) 在我国云南和新疆种群中发现的中等水平抗性有所不同。综合来看, 目前番茄潜叶蛾对虫螨腈的抗性在全球范围内尚不普遍, 总体水平不高。

多杀菌素也是防治番茄潜叶蛾的一个重要的杀虫剂, 其既有对靶标害虫快速、高效的触杀和胃毒活性, 又具有对非靶标生物安全、环境友好的特点 (史雪岩, 2018)。尽管本研究结果表明山西 3 个地区番茄潜叶蛾种群对多杀菌素依然敏感, 但李晓维等 (2022) 在云南和新疆番茄潜叶蛾种群中已发现了对多杀菌素的中等水平抗性。巴西和英国番茄潜叶蛾某些田间种群对多杀菌素已产生高水平抗性 (Campos *et al.*, 2015b; Grant *et al.*, 2019)。因此, 对这一杀虫剂也应及早制定预防性抗性治理措施, 做到科学使用, 延缓抗性的产生。

害虫抗药性的发展与当地的用药环境、栽培模式、用药习惯等密切相关 (梁延坡等, 2016)。番茄潜叶蛾于 2017 年首次入侵我国新疆伊犁地区, 并迅速在南疆东疆多地扩散, 温室大棚的广泛使用为其提供了稳定的越冬场所, 使其能够在冬季存活并在次年春季迅速蔓延, 由于新疆地区光照充足、气候干燥, 加之番茄种植面积大且连作现象普遍, 为番茄潜叶蛾的暴发提供了有利条件 (马丽娟等, 2025), 在此情况下, 农药的大量不合理使用导致其抗性水平迅速上升 (王俊等, 2021; 李晓维等, 2022)。相比之下, 山西省番茄潜叶蛾入侵时间较晚 (2021 年), 无论是用药量还是用药频率均低于新疆。这可能是导致山西种群抗药性水平总体低于新疆种群的重要原因。

目前, 山西各地区尚未有番茄潜叶蛾化学防

治失败的报道,这可能归因于各地区种群对各类杀虫剂的抗性尚处于中低水平。Roditakis 等(2018)研究认为,抗性倍数超过 60 倍与化学防治失败的可能性显著相关。因此,为减缓番茄潜叶蛾抗性的发展,延长现有药剂使用寿命,建议首先应密切监测该虫对各类杀虫剂的抗性发展动态,并据此制定相应的抗性治理措施。在已对甲维盐和氯虫苯甲酰胺产生中等水平抗性的地区,宜适度减少这两种药剂的使用频次,优先使用多杀菌素进行防治,并注意与虫螨腈、阿维菌素、溴氰虫酰胺和茚虫威等不同作用机理的药剂交替轮换使用。其次,应重视农业、物理及生物防治等非化学措施的综合运用,将生态调控融入其中,逐步构建多层次、相互配合的治理体系,从而更有效地延缓抗药性的产生与发展。

参考文献 (References)

- Aboutalebian-Soureshjani A, Rafiee-Dastjerdi H, Naseri B, Hassanpour M, Khajehali J, 2023. Indoxacarb resistance in Iranian populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): Cross-resistance, biochemical and molecular mechanisms. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 196: 105633.
- Campos MR, Silva TBM, Silva WM, Silva JE, Siqueira HAA, 2015a. Susceptibility of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Brazilian populations to ryanodine receptor modulators. *Pest Management Science*, 71(4): 537–544.
- Campos MR, Silva TBM, Silva WM, Silva JE, Siqueira HAA, 2015b. Spinosyn resistance in the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Pest Science*, 88(2): 405–412.
- 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*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83(3): 197–215.
- Grant C, Jacobson R, Ilias A, Berger M, Vasakis E, Bielza P, Zimmer CT, Williamson MS, French-Constant RH, Vontas J, Roditakis E, Bass C, 2019. The evolution of multiple-insecticide resistance in UK populations of tomato leafminer, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*, 75(8): 2079–2085.
- Guedes RNC, Roditakis E, Campos MR, Haddi K, Bielza P, Siqueira HAA, Tsagkakakou A, Vontas J, Nauen R, 2019. Insecticide resistance in the tomato pinworm *Tuta absoluta*: Patterns, spread, mechanisms, management and outlook. *Journal of Pest Science*, 92(4): 1329–1342.
- Jiang DX, Du YZ, Nomura Y, Wang XL, Wu YD, Zhorov BS, Dong K, 2015. Mutations in the transmembrane helix S6 of domain IV confer cockroach sodium channel resistance to sodium channel blocker insecticides and local anesthetics. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 66: 88–95.
- Kandil MA, Fouad EA, El Hefny DE, Abdel-Mobdy YE, 2020. Toxicity of fipronil and emamectin benzoate and their mixtures against cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) with relation to GABA content. *Journal of Economic Entomology*, 113(1): 385–389.
- Li P, Ma DY, Ge ZY, Wang SY, Sun ZW, Zhang DX, Huang JX, Zhang GF, Guo YW, 2025. The occurrence and distribution of *Tuta absoluta* in China and the application of prevention and control technology. *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* (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 YP, Xie SH, Fu SJ, Qin S, Chen HY, Yan CY, Lin ZF, 2016. Changing trends of resistance to chlorantraniliprole and spinetoram in a wild population of *Plutella xylostella* in Hainan Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 273–278. [梁延坡, 谢圣华, 符尚娇, 秦双, 陈海燕, 严春雨, 林珠凤, 2016. 海南地区小菜蛾对氯虫苯甲酰胺和乙基多杀菌素的抗性变化趋势. 应用昆虫学报, 53(2): 273–278.]
- Liguori R, Correia R, Thomas C, Decaudin B, Cisneros J, Lopez A, 2010. Emamectin benzoate (Affirm), a modern insecticide for the control of Lepidoptera larvae on fruits, grapes and vegetables crops. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 75(3): 247–253.
- Ma F, Zhang JH, Yu YX, Cao YX, Duan SN, 2011. *Tuta absoluta*. *Plant Quarantine*, 25(5): 55–58. [马菲, 张俊华, 于艳雪, 曹逸霞, 段胜男, 2011. 番茄麦蛾. 植物检疫, 25(5): 55–58.]
- Ma L, 2020. Study on the genetic variation and the insecticide sensitivity difference of *Tuta absoluta* 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.]
- Ma LJ, Yang D, Wang J, Zhang Y, Ding XH, Fu KY, Wang XW, Tuerxun-AHEMAITI, Jia ZZ, Guo WC, 2025. Occurrence, damage, and control measures of *Tuta absoluta* in Xinjiang. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 48(1): 6–8.
- [马丽娟, 杨栋, 王俊, 张煜, 丁新华, 付开赞, 王小武, 吐尔逊·阿合买提, 贾尊尊, 郭文超, 2025. 番茄潜叶蛾在新疆的发生危害及防控措施. *新疆农垦科技*, 48(1): 6–8.]
- Ma XL, Qu C, Yao JQ, Xia JX, Luo C, Guedes RNC, Wang R, 2024. Resistance monitoring of diamide insecticides and characterization of field-evolved chlorantraniliprole resistance among Chinese populations of the tomato pinworm *Phthorimaea (=Tuta) absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 205: 106140.
- Roditakis E, Skarmoutsou C, Staurakaki M, Martínez-Aguirre MD, García-Vidal L, Bielza P, Haddi K, Rapisarda C, Rison JL, Bassi A, Teixeira LA, 2013. Determination of baseline susceptibility of European populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) to indoxacarb and chlorantraniliprole using a novel dip bioassay method. *Pest Management Science*, 69(2): 217–227.
- Roditakis E, Mavridis K, Riga M, Vasakis E, Morou E, Rison JL, Vontas J, 2017. Identification and detection of indoxacarb resistance mutations in the Para sodium channel of the tomato leafminer, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*, 73(8): 1679–1688.
- Roditakis E, Vasakis E, García-Vidal L, del Rosario Martínez-Aguirre M, Rison JL, Haxaire-Lutun MO, Nauen R, Tsagarakou A, Bielza P, 2018. A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *Tuta absoluta* in the European /Asian region. *Journal of Pest Science*, 91(1): 421–435.
- Shi XY, 2018. Research progresses on environmental degradation and resistance mechanism of spinosyn insecticides. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 20(5): 557–567. [史雪岩, 2018. 多杀菌素类杀虫剂的环境降解及抗性机制研究进展. *农药学学报*, 20(5): 557–567.]
- Siddiqui JA, Fan RD, Naz H, Bamisile BS, Hafeez M, Ghani MI, Wei YM, Xu YJ, Chen X, 2023. Insights into insecticide-resistance mechanisms in invasive species: Challenges and control strategies. *Frontiers in Physiology*, 13: 1112278.
- Silva GA, Picanço MC, Bacci L, Crespo ALB, Rosado JF, Guedes RNC, 2011. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*, 67(8): 913–920.
- Silva JE, Assis CPO, Ribeiro LM, Siqueira HAA, 2016a. Field-evolved resistance and cross-resistance of Brazilian *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) populations to diamide insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 109(5): 2190–2195.
- Silva TBM, Silva WM, Campos MR, Silva JE, Ribeiro LMS, Siqueira HAA, 2016b. Susceptibility levels of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) to minor classes of insecticides in Brazil. *Crop Protection*, 79: 80–86.
- Silver KS, Song WZ, Nomura Y, Salgado VL, Dong K, 2010. Mechanism of action of sodium channel blocker insecticides (SCBIs) on insect sodium channels. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 97(2): 87–92.
- Sun GQ, Lu YT, 2007. Mechanism, application and developmental future of chlorfenapyr. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 13(7): 69–71. [孙国强, 陆贻通, 2007. 溴虫腈农药的作用机理、应用及开发前景. *安徽农学通报*, 13(7): 69–71.]
- Sun Y, Qin WJ, Huang SJ, Qin HG, 2018. Risk assessment and biochemical mechanisms responsible for resistance to pyridalyl in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(3): 481–488. [孙杨, 秦文婧, 黄水金, 秦厚国, 2018. 小菜蛾对三氟甲吡醚的抗性风险评价与抗性生化机制研究. *应用昆虫学报*, 55(3): 481–488.]
- Wang J, Gao JC, Guan H, 2021. Occurrence of *Tuta absoluta* in Xinjiang and prevention and control suggestions. *China Plant Protection*, 41(12): 83–84, 79. [王俊, 高建诚, 管辉, 2021. 番茄潜叶蛾在新疆的发生情况与防控建议. *中国植保导刊*, 41(12): 83–84, 79.]
- Wang P, Ning ZP, Zhang S, Jiang TT, Tan LR, Dong S, Gao CF, 2013. Resistance monitoring to conventional insecticides in Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) in main rice growing regions in China. *Chinese Journal of Rice Science*, 27(2): 191–197. [王鹏, 甯佐苹, 张帅, 蒋田田, 谭利蓉, 董嵩, 高聪芬, 2013. 我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测. *中国水稻科学*, 27(2): 191–197.]
- Xiao HX, Yuan LY, Gao Y, Zhang ZF, Li ZY, Li YF, 2023. Monitoring of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) resistance to four types of insecticides in Guangdong. *Plant Protection*, 49(3): 328–332. [肖汉祥, 袁龙宇, 高艳, 张振飞, 李振宇, 李燕芳, 2023. 广东草地贪夜蛾不同田间种群对 4 种杀虫剂的抗药性监测. *植物保护*, 49(3): 328–332.]
- 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 GF, Liu WX, Wan FH, Xian XQ, Zhang YB, Guo JY, 2018. Bioecology, damage and management of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), a worldwide quarantine pest. *Journal of Biosafety*, 27(3): 155–163. [张桂芬, 刘万学, 万方浩, 洗晓青, 张毅波, 郭建洋, 2018. 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. 生物安全学报, 27(3): 155–163.]
- 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, 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. Warning of the dispersal of a newly invaded alien species, tomato leaf miner *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. Damage of an important and newly invaded agricultural pest, *Phthorimaea absoluta*, and its prevention and management measures. *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.]



棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808)

体长 14-18 mm, 翅展 30-38 mm。头、胸灰褐或青灰色; 前翅青灰或红褐色, 基线、内线、外线均双线褐色, 环、肾纹褐边, 中线、亚端线褐色, 外线与亚端线间常带暗褐或霉绿色; 后翅白色, 端带黑褐色; 腹部浅灰褐或浅青色。雄虫抱器较宽, 阳茎有棘形角状器列, 端部腹侧有 1 小突。幼虫头部黄绿色, 体色变化较大, 有绿、浅绿、黄白、浅红等, 体表有褐色与灰色小刺。

该照片拍摄于中国科学院动物研究所王琛柱研究员实验室, 材料由公信霖博士生提供。

(中国科学院动物研究所 姜春燕)