

十一种杀虫剂对不同虫态番茄潜叶蛾的室内毒力*

夏小菊^{1**} 包强^{2**} 颜越³ 郭文秀¹ 李丽莉¹
吕素洪¹ 崔洪莹¹ 宋莹莹¹ 门兴元^{1***}

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省农业有害生物绿色防控重点实验室, 济南 250100;

2. 湖南省农业科学院茶叶研究所, 长沙 410125; 3. 山东省农业生态与资源保护总站, 济南 250100)

摘要 【目的】比较 11 种杀虫剂对不同虫态番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 的毒力效果, 筛选出高效杀虫剂种类, 为当前番茄潜叶蛾的科学防治提供用药参考。【方法】在室内采用浸叶法、浸虫法和药膜法, 分别测定 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾卵、幼虫、蛹和成虫的毒力。【结果】11 种杀虫剂中, 仅甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)对卵的毒力较高, 致死中浓度(LC₅₀)为 21.458 mg a.i./L; 对幼虫毒力效果好的药剂种类相对较多, 其中毒力较高的药剂包括氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、乙基多杀菌素、溴氰虫酰胺、虫螨腈、四唑虫酰胺和甲维盐, LC₅₀ 值分别为 0.384、0.398、0.847、1.851、3.173、3.748 和 3.959 mg a.i./L; 对蛹的毒力普遍较低, 毒力相对较高的药剂有乙基多杀菌素、甲维盐、虫螨腈和氯虫苯甲酰胺, LC₅₀ 值分别为 31.823、35.811、52.641 和 58.627 mg a.i./L; 虫螨腈和乙基多杀菌素对成虫表现出较高毒力, 其次为溴氰虫酰胺、甲维盐和高效氯氟氰菊酯, LC₅₀ 值分别为 1.434、7.208、37.539、46.395 和 49.021 mg a.i./L。【结论】番茄潜叶蛾发生初期, 可根据主要虫态选择高毒力的药剂进行防治, 卵期可使用甲维盐, 幼虫期可选用氯虫苯甲酰胺、阿维菌素和乙基多杀菌素, 蛹期可考虑乙基多杀菌素、甲维盐、虫螨腈和氯虫苯甲酰胺, 对于成虫, 可选择虫螨腈和乙基多杀菌素; 随着发生时间推移, 番茄潜叶蛾世代重叠, 田间往往同时存在成虫、卵和幼虫, 综合考虑各种药剂对不同虫态的毒力表现, 可选择对幼虫和成虫毒力均较高且对蛹也有一定毒力的药剂进行轮换施用, 比如甲维盐和阿维菌素, 以延缓番茄潜叶蛾的抗药性发展。

关键词 番茄潜叶蛾; 虫态; 杀虫剂; 毒力; 化学防治

Toxicity of eleven insecticides to different development stages of *Tuta absoluta*

XIA Xiao-Ju^{1**} BAO Qiang^{2**} YAN Yue³ GUO Wen-Xiu¹ LI Li-Li¹ LÜ Su-Hong¹
CUI Hong-Ying¹ SONG Ying-Ying¹ MEN Xing-Yuan^{1***}

(1. Shandong Key Laboratory for Green Prevention and Control of Agricultural Pests, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. Tea Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha 410125, China; 3. Shandong Agricultural Ecology and Resource Protection Station, Jinan 250100, China)

Abstract [Aim] To determine the toxicity of eleven insecticides to the eggs, larvae, pupae and adults of *Tuta absoluta*. [Methods] The leaf-dipping, pupae-dipping and film methods, were used to determine the toxicities of 11 insecticides to the eggs, larvae, pupae and adults of *T. absoluta*. [Results] Among the 11 insecticides tested, only emamectin benzoate had relatively high toxicity to eggs (LC₅₀ = 21.458 mg a.i./L). However, several (chlorantraniliprole, avermectin, spinetoram, cyantraniliprole, chlorfenapyr, tetraniliprole and emamectin benzoate) were highly toxic to larvae with LC₅₀'s of 0.384, 0.398,

*资助项目 Supported project: 山东省农业科学院农业科技创新工程 (CXGC2024D05)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: sdjnxjy1988@163.com; baoqiang0703@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: menxy2000@hotmail.com

收稿日期 Received: 2024-03-21; 接受日期 Accepted: 2024-05-28

0.847, 1.851, 3.173, 3.748 and 3.959 mg a.i./L, respectively. Toxicity of the eleven insecticides tested to pupae was generally low, although spinetoram, emamectin benzoate, chlorfenapyr and chlorantraniliprole had LC_{50} 's of 31.823, 35.811, 52.641 and 58.627 mg a.i./L respectively. Only chlorfenapyr and spinetoram were highly toxic to adults, followed by cyantraniliprole, emamectin benzoate, and cyhalothrin, with LC_{50} 's of 1.434, 7.208, 37.539, 46.395 and 49.021 mg a.i./L, respectively.

[Conclusion] During the early period of *T. absoluta* occurrence, insecticides should be selected according to the predominant developmental stage present. Emamectin benzoate could be used for egg inhibition; chlorantraniliprole, avermectin, spinetoram could be used for larval control; spinetoram, emamectin benzoate, chlorfenapyr and chlorantraniliprole could be selected for pupal control; while chlorfenapyr and spinetoram could be used for adult control. However, over time, generational overlap will cause adults, eggs and larvae to coexist on tomato plants in the field. Insecticides with high toxicity to the developmental stages mentioned above, such as emamectin benzoate and avermectin, should be used in rotation to delay the development of resistance in *T. absoluta*.

Key words *Tuta absoluta*; developmental stages; insecticides; toxicity; chemical control

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 起源于南美洲, 是我国新发重大入侵害虫, 于 2017 年首次在新疆地区被发现, 随后迅速扩散至西北、西南、华北和华中等 20 多个省(自治区、直辖市), 呈现明显的扩张趋势(张桂芬, 2021)。该虫寄主植物广泛, 可为害茄科、豆科、十字花科及禾本科等在内的 9 科 40 余种植物, 最嗜番茄。番茄潜叶蛾幼虫主要潜食叶肉和蛀食果实, 导致作物早衰, 诱发次生病害, 使果实腐烂和减产减收, 严重发生时可造成番茄减产 80%-100%, 对我国番茄产业的安全生产构成巨大威胁(张桂芬等, 2018)。

番茄潜叶蛾可在苗期至成熟的各个生长阶段为害植物(Desneux *et al.*, 2010)。成虫通常将卵产于植株顶梢叶片背面、正面或嫩茎上, 少部分产在幼果和果萼上。幼虫孵化后立即潜入叶片或果实, 取食番茄组织, 发育至老熟后吐丝下垂, 在土壤中(深度 1-2 cm)化蛹, 也可在潜道内、叶片表面皱褶处或果实中化蛹, 常常结一层薄薄的丝茧(Uchoa-Fernandes, 1995; Biondi *et al.*, 2018)。因番茄潜叶蛾幼虫具有潜食和落地化蛹的隐蔽发生特性, 给防治带来了挑战(张润志, 2019)。该虫繁殖力强, 世代重叠严重, 极易暴发成灾(张桂芬等, 2021), 化学防治仍是当前快速压低种群密度的主要方法和应急手段。化学药剂的大量和长期使用导致番茄潜叶蛾对多种药剂如甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维

盐)(Guedes and Siqueira, 2012)、阿维菌素(Silva *et al.*, 2016b)、拟除虫菊酯类(Biondi *et al.*, 2015)和双酰胺类(Boaventura *et al.*, 2020; 黄建雷等, 2024)等产生了不同水平的抗性。鉴于番茄潜叶蛾世代重叠严重, 且多虫态共存, 因此, 亟需针对特定地区番茄潜叶蛾种群的多虫态进行高效化学药剂筛选, 以提高防控效率, 减少药剂使用频次及延缓抗性增加速度。

本研究选取了二酰胺类、新烟碱类、拟除虫菊酯类和多杀霉素类等几大类型共 11 种化学药剂对山东地区番茄潜叶蛾的不同虫态进行毒力测定, 以期筛选出对多虫态番茄潜叶蛾高效的杀虫剂, 提出科学用药策略, 为该虫的高效防控提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

番茄潜叶蛾卵、2 龄幼虫和成虫由山东省农业科学院植物保护研究所农业昆虫监测与防控创新团队养虫室提供, 以新鲜的苗期番茄为寄主植物进行饲养。室内种群与试验开展均在光照培养箱(RXZ-4301 型, 宁波江南仪器厂)饲养, 温度(26 ± 1)℃, 相对湿度 $65\% \pm 5\%$, 光周期 16 L : 8 D 的内进行。

1.2 供试药剂

10%溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂(美国富美

实公司); 60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂(美国陶氏益农公司); 25%噻虫嗪水分散粒剂(山东百农思达生物科技有限公司); 40%呋虫胺可溶粒剂(浙江世佳科技股份有限公司); 5%阿维菌素乳油(山东丰倍尔生物科技有限公司); 30%虫螨脲悬浮剂(深圳诺普信农化股份有限公司); 22.4%螺虫乙酯悬浮剂(青岛海纳生物科技有限公司); 200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂(美国富美实公司); 5.7%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)微乳剂(青岛东生药业有限公司); 10%高效氯氟氰菊酯水乳剂(山东利邦农化有限公司); 200 g/L 四唑虫酰胺悬浮剂(拜耳股份公司)。

1.3 不同杀虫剂对番茄潜叶蛾卵的毒力测定

参照《农药室内生物测定试验准则杀虫剂第14部分:浸叶法》(NY/T 1154.16-2013)。基于预试验数据,用纯净水将试验药剂稀释成5-7个不同浓度备用。挑取带有番茄潜叶蛾卵的番茄叶片,在DM9电子放大镜(深圳市舒安科技发展有限公司)下统计卵的数量。将叶片在不同浓度药液中浸渍10 s,待表面药液自然晾干后,放入一次性自封袋(16 cm × 23 cm),自封袋内放有一块浸润的海绵(4 cm × 4 cm)以保持湿度,然后将自封袋吹足空气封口,置于光照培养箱内。5 d后在DM9电子放大镜下检查并记录各处理卵的孵化率,未孵化的卵视为死亡。每15-20粒卵为1个重复,每个重复试验使用1个自封袋。以清水处理作为空白对照,每种药剂处理和对照设3次重复。

1.4 不同杀虫剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力测定

参照《农药室内生物测定试验准则杀虫剂第14部分:浸叶法》(NY/T 1154.16-2013)。基于预试验数据,用纯净水将试验药剂稀释成5-7个不同浓度备用。挑取带有4-5日龄番茄潜叶蛾幼虫的番茄叶片,在不同浓度药液中浸渍15 s,待表面药液自然晾干后,将叶片放入一次性自封袋,自封袋内放置一块浸润的海绵以保持湿度,将自封袋吹足空气封口后置于光照培养箱内。72 h后检查并记录各处理幼虫的死亡情况,轻轻

将番茄潜叶蛾剥离叶片,用毛笔尖轻触虫体,以不动和变色为死亡标准。每15-20头幼虫为1个重复,以清水处理作为空白对照,每种药剂处理和对照设3次重复。

1.5 不同杀虫剂对番茄潜叶蛾蛹的毒力测定

试验采用浸虫法。基于预试验数据,用纯净水将试验药剂稀释成5-7个不同浓度备用。在带有番茄潜叶蛾老熟幼虫的番茄苗下放一层脱脂棉供其化蛹,将蛹从脱脂棉中剥离备用。番茄潜叶蛾蛹在不同浓度药液中浸渍10 s,待表面药液自然晾干后,放入养虫盒(36 mm × 30 mm),将养虫盒至于养虫笼(30 cm × 30 cm × 30 cm)中。10 d后检查并记录各处理成虫羽化情况。每15头蛹为1个重复,以清水处理作为空白对照,每种药剂处理和对照设3次重复。

1.6 不同杀虫剂对番茄潜叶蛾成虫的毒力测定

试验采用指形管药膜法。基于预试验数据,用纯净水将试验药剂稀释成5-7个不同浓度备用。在每个玻璃指形管(2.5 cm × 8.0 cm)中加入0.5 mL配置好的不同浓度药液,然后将指形管置于滚管机中充分滚动,直至药液晾干形成均匀药膜,备用。将新鲜番茄叶片在各浓度药液中浸渍10 s,于吸水纸上晾干,用小镊子夹入相应药液浓度的药膜管中,每管放入1片叶片和2头番茄潜叶蛾成虫,并用纱布封紧管口。以清水处理作为空白对照,空白对照组试验与处理组同时进行。指形管水平放置,确保成虫能够自由爬行,以减少重力对其产生的不利影响。48 h后检查并记录各处理成虫的死亡情况,以镊子轻触,成虫不动视为死亡。每10头成虫为1个重复,每种药剂处理和对照设3次重复。

1.7 数据分析

室内毒力测定结果采用SPSS Statistics 25软件进行分析,以评价不同药剂对番茄潜叶蛾卵、幼虫、蛹和成虫4种虫态的毒力效果。采用Probit法计算毒力回归方程、LC₅₀值、95%置信区间、R²和P值。

2 结果与分析

2.1 不同药剂对番茄潜叶蛾卵的毒力

由表 1 可知, 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾卵的毒杀效果依次为: 甲维盐微乳剂>螺虫乙酯悬浮剂>虫螨腈悬浮剂>阿维菌素乳油>氯虫苯甲

酰胺悬浮剂>乙基多杀菌素悬浮剂>高效氯氟氰菊酯水乳剂>四唑虫酰胺悬浮剂>溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂>噻虫嗪水分散粒剂>呋虫胺可溶粒剂, LC₅₀ 值分别为 21.458、59.107、66.056、68.521、68.982、77.090、80.748、87.295、149.969、154.549 和> 200.000 mg a.i/ L。

表 1 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾卵的毒力
Table 1 Toxicity of 11 insecticides on *Tuta absoluta* eggs

药剂名称 Insecticides	毒力回归方程 Toxic regression equation	LC ₅₀ (mg a.i./L)	95%置信限 (mg a.i./L) 95% confidence interval (mg a.i./L)	R ²	P
溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂 Cyantraniliprole OD	$y = - 3.515 + 0.701x$	149.969	106.921-263.992	0.994	0.969
乙基多杀菌素悬浮剂 Spinetoram SC	$y = - 7.799 + 1.795x$	77.090	62.921-91.011	0.978	0.179
噻虫嗪水分散粒剂 Thiamethoxam WG	$y = - 3.971 + 0.788x$	154.549	111.866-269.800	0.988	0.885
呋虫胺可溶粒剂 Dinotefuran GR	—	> 200.000	—	—	—
阿维菌素乳油 Avermectin EC	$y = - 5.182 + 1.226x$	68.521	0.000-300.836	0.987	0.019
虫螨腈悬浮剂 Chlorfenapyr SC	$y = - 4.046 + 0.966x$	66.056	51.803-83.761	0.957	0.303
螺虫乙酯悬浮剂 Spirotetramat SC	$y = - 2.905 + 0.712x$	59.107	44.302-79.525	0.95	0.380
氯虫苯甲酰胺悬浮剂 Chlorantraniliprole SC	$y = - 3.852 + 0.910x$	68.982	54.090-88.909	0.961	0.447
甲维盐微乳剂 Emamectin benzoate ME	$y = - 2.976 + 0.971x$	21.458	17.000-26.789	0.979	0.751
高效氯氟氰菊酯水乳剂 Cyhalothrin EW	$y = - 5.922 + 1.349x$	80.748	10.437-159.568	0.910	0.090
四唑虫酰胺悬浮剂 Tetraniliprole SC	$y = - 6.715 + 1.502x$	87.295	70.447-104.909	0.955	0.622

OD: 分散油悬浮剂; SC: 悬浮剂; WG: 水分散粒剂; GR: 可溶粒剂; EC: 乳油; ME: 微乳剂; EW: 水乳剂; —: 未进行毒力回归。下表和下图同。
OD: Oil-based suspension concentrate; SC: Suspension concentrate; WG: Water dispersible granule; GR: Granule; EC: Emulsifiable concentrate; ME: Microemulsion; EW: Emulsion, oil in water. —: No virulence regression was performed. The same below.

2.2 不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力

由表 2 可知, 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾 4-5 日龄幼虫的毒杀效果依次为: 氯虫苯甲酰胺悬浮剂>阿维菌素乳油>乙基多杀菌素悬浮剂>溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂>虫螨腈悬浮剂>四唑虫酰胺悬浮剂>甲维盐微乳剂>噻虫嗪水分散粒剂

>螺虫乙酯悬浮剂>高效氯氟氰菊酯水乳剂>呋虫胺可溶粒剂, LC₅₀ 值分别为 0.384、0.398、0.847、1.851、3.173、3.748、3.959、28.889、46.078、72.549 和> 200.000 mg a.i./L。

2.3 不同药剂对番茄潜叶蛾蛹的毒力

由表 3 可知, 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾蛹

的毒杀效果依次为：乙基多杀菌素悬浮剂>甲维盐微乳剂>虫螨腈悬浮剂>氯虫苯甲酰胺悬浮剂>螺虫乙酯悬浮剂>高效氯氟氰菊酯水乳剂>溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂>阿维菌素乳油>呋虫胺可溶粒剂、噻虫嗪水分散粒剂和四唑虫酰胺悬浮剂，LC₅₀ 值分别为 31.823、35.811、52.641、58.627、85.837、100.134、131.912、147.133 和>200 mg a.i./L。

表 2 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力
Table 2 Toxicity of 11 insecticides on *Tuta absoluta* larvae

药剂名称 Insecticides	毒力回归方程 Toxic regression equation	LC ₅₀ (mg a.i./L)	95%置信限 (mg a.i./L) 95% confidence interval (mg a.i./L)	R ²	P
溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂 Cyantraniliprole OD	y= - 0.614+0.998x	1.851	1.519-2.262	0.966	0.254
乙基多杀菌素悬浮剂 Spinetoram SC	y=0.137+0.825x	0.847	0.671-1.074	0.979	0.713
噻虫嗪水分散粒剂 Thiamethoxam WG	y= - 3.003+0.893x	28.889	13.463-61.794	0.921	0.055
呋虫胺可溶粒剂 Dinotefuran GR	—	> 200.000	—	—	—
阿维菌素乳油 Avermectin EC	y=0.947+1.027x	0.398	0.318-0.489	0.991	0.848
虫螨腈悬浮剂 Chlorfenapyr SC	y= - 1.002+0.868x	3.173	2.439-3.977	0.986	0.797
螺虫乙酯悬浮剂 Spirotetramat SC	y= - 3.780+0.987x	46.078	37.583-56.140	0.991	0.870
氯虫苯甲酰胺悬浮剂 Chlorantraniliprole SC	y=0.694+0.726x	0.384	0.294-0.493	0.919	0.224
甲维盐微乳剂 Emamectin benzoate ME	y= - 1.368+0.994x	3.959	2.397-6.436	0.979	0.146
高效氯氟氰菊酯水乳剂 Cyhalothrin EW	y= - 3.860+0.901x	72.549	58.772-91.625	0.957	0.464
四唑虫酰胺悬浮剂 Tetraniliprole SC	y= - 1.068+0.808 x	3.748	2.870-4.774	0.915	0.242

表 3 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾蛹的毒力
Table 3 Toxicity of 11 insecticides on *Tuta absoluta* pupae

药剂名称 Insecticides	毒力回归方程 Toxic regression equation	LC ₅₀ (mg a.i./L)	95%置信限 (mg a.i./L) 95% confidence interval (mg a.i./L)	R ²	P
溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂 Cyantraniliprole OD	y= - 3.785+0.775x	131.912	96.872-210.206	0.984	0.920
乙基多杀菌素悬浮剂 Spinetoram SC	y= - 1.605+0.437x	31.823	22.486-45.960	0.973	0.794
噻虫嗪水分散粒剂 Thiamethoxam WG	—	> 200.000	—	—	—
呋虫胺可溶粒剂 Dinotefuran GR	—	> 200.000	—	—	—
阿维菌素乳油 Avermectin EC	y= - 3.504+0.702x	147.133	104.252-264.910	0.978	0.946
虫螨腈悬浮剂 Chlorfenapyr SC	y= - 4.079+1.029x	52.641	19.906-243.193	0.912	0.133

续表 3 (Table 3 continued)

药剂名称 Insecticides	毒力回归方程 Toxic regression equation	LC ₅₀ (mg a.i./L)	95%置信限 (mg a.i./L) 95% confidence interval (mg a.i./L)	R ²	P
螺虫乙酯悬浮剂 Spirotetramat SC	y= - 4.501+1.011x	85.837	67.191-109.878	0.952	0.375
氯虫苯甲酰胺悬浮剂 Chlorantraniliprole SC	y= - 4.061+0.998x	58.627	45.992-73.353	0.968	0.552
甲维盐微乳剂 Emamectin benzoate ME	y= - 2.877+0.804x	35.811	27.252-47.743	0.946	0.474
高效氯氟氰菊酯水乳剂 Cyhalothrin EW	y= - 4.626+1.004x	100.134	77.363-131.759	0.956	0.662
四唑虫酰胺悬浮剂 Tetraniliprole SC	—	> 200.000	—	—	—

2.4 不同药剂对番茄潜叶蛾成虫的毒力

由表 4 可知, 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾成虫的毒杀效果依次为: 虫螨腈悬浮剂>乙基多杀菌素悬浮剂>溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂>甲维

盐微乳剂>高效氯氟氰菊酯水乳剂>呋虫胺可溶剂>四唑虫酰胺悬浮剂>阿维菌素乳油、噻虫嗪水分散粒剂、氯虫苯甲酰胺悬浮剂和螺虫乙酯悬浮剂, LC₅₀ 值分别为 1.434、7.208、37.539、46.395、49.021、134.401、187.232 和> 200.000 mg a.i./L。

表 4 11 种杀虫剂对番茄潜叶蛾成虫的毒力
Table 4 Toxicity of 11 insecticides on *Tuta absoluta* adults

药剂名称 Insecticides	毒力回归方程 Toxic regression equation	LC ₅₀ (mg a.i./L)	95%置信限 (mg a.i./L) 95% confidence interval (mg a.i./L)	R ²	P
溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂 Cyantraniliprole OD	y= - 3.307+0.912x	37.539	29.080-50.664	0.938	0.264
乙基多杀菌素悬浮剂 Spinetoram SC	y= - 1.627+0.824x	7.208	5.468-9.900	0.950	0.410
噻虫嗪水分散粒剂 Thiamethoxam WG	—	> 200.000	—	—	—
呋虫胺可溶剂 Dinotefuran GR	y= - 2.476+0.505x	134.401	84.666-297.546	0.987	0.985
阿维菌素乳油 Avermectin EC	—	> 200.000	—	—	—
虫螨腈悬浮剂 Chlorfenapyr SC	y= - 0.269+0.747x	1.434	1.076-1.921	0.938	0.533
螺虫乙酯悬浮剂 Spirotetramat SC	—	> 200.000	—	—	—
氯虫苯甲酰胺悬浮剂 Chlorantraniliprole SC	—	>200.000	—	—	—
甲维盐微乳剂 Emamectin benzoate ME	y= - 3.952+1.030x	46.395	35.553-59.515	0.989	0.245
高效氯氟氰菊酯水乳剂 Cyhalothrin EW	y= - 4.730+1.215x	49.021	38.553-61.326	0.995	0.469
四唑虫酰胺悬浮剂 Tetraniliprole SC	y= - 2.477+0.473x	187.232	108.200-684.204	0.945	0.792

2.5 不同药剂对不同虫态番茄潜叶蛾毒力的综合比较

由不同药剂对不同虫态番茄潜叶蛾的毒力综合比较结果（图 1）可以看出，甲维盐微乳剂对 4 种虫态均表现出一定的毒力， LC_{50} 值为 3.959-46.395 mg a.i./L。对幼虫和成虫均具有较

高毒力的药剂为乙基多杀菌素悬浮剂、虫螨腈悬浮剂、溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂和甲维盐微乳剂， LC_{50} 值分别为 0.847-7.208、1.434-3.173、1.851-37.539 和 3.959-46.395 mg a.i./L，其中，乙基多杀菌素悬浮剂、虫螨腈悬浮剂和甲维盐微乳剂对蛹也具有一定的毒力效果， LC_{50} 值分别为 31.823、52.641 和 35.811 mg a.i./L。

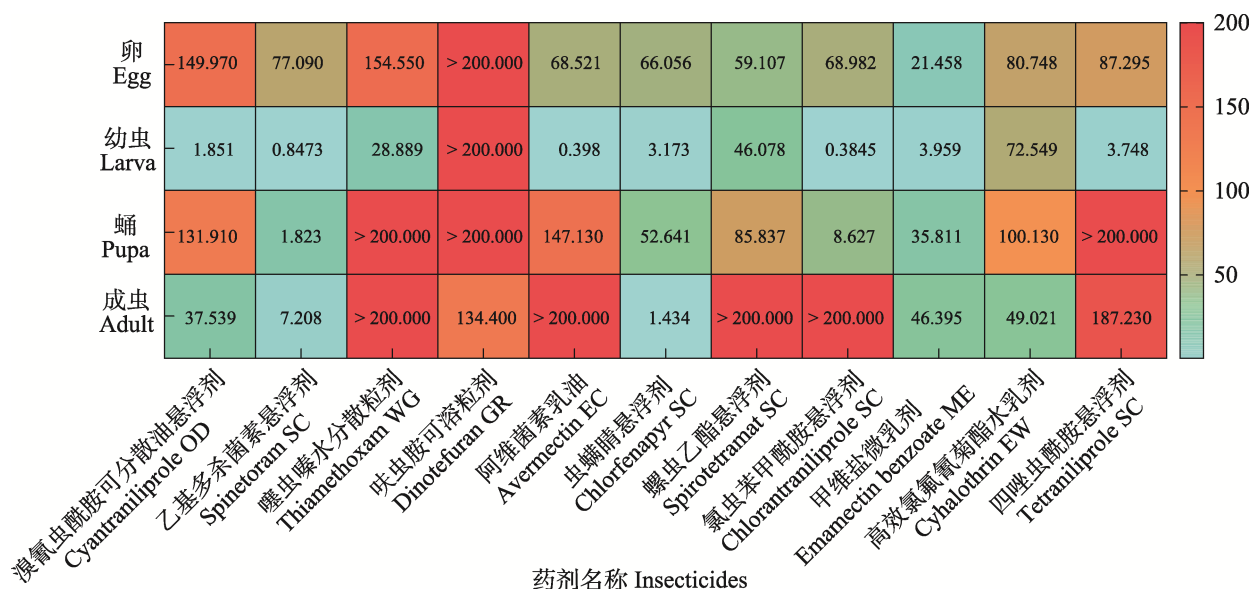


图 1 不同药剂对不同虫态番茄潜叶蛾的毒力 (LC_{50}) 热图

Fig. 1 The heat map of toxicity (LC_{50}) of 11 insecticides to different development stages of *Tuta absoluta*

3 讨论

番茄潜叶蛾的不同虫态对不同药剂的敏感性差异较大，采用毒力热图分析可以直观反映出这种差异，对番茄潜叶蛾混合虫态防控药剂的选择具有指导意义。总体而言，番茄潜叶蛾幼虫对绝大多数测试药剂（氯虫苯甲酰胺、阿维菌素和乙基多杀菌素）表现出较高的敏感性，成虫仅对少数药剂（虫螨腈和乙基多杀菌素）相对敏感，而卵和蛹对所测药剂的敏感性普遍较低，表明卵和蛹是防控难点。在测定的药剂中，大多数药剂对番茄潜叶蛾卵的毒力效果不理想，仅甲维盐对卵孵化有一定的抑制作用，但 LC_{50} 也高达 21.458 mg a.i./L，这可能与卵壳的保护作用有关（庾琴等，2022）。蛹的发生极具隐蔽性，老熟幼虫不仅在土壤中化蛹，还会在潜道内、叶片表面皱褶处或果实中作茧（Uchoa-Fernandes, 1995；

Biondi *et al.*, 2018），对蛹起到保护作用。采用浸蛹法进行毒力测定，结果表明大多数药剂对蛹的毒力效果不理想，乙基多杀菌素、甲维盐、虫螨腈和氯虫苯甲酰胺相对效果较好。由于番茄潜叶蛾蛹在土壤中的发生更为隐蔽，这些药剂对于土壤中蛹的防控效果仍需进一步验证。

幼虫与成虫是番茄潜叶蛾防控的关键时期，可选药剂相对较多。作为番茄潜叶蛾的主要为害虫态，幼虫对多种化学药剂表现出较高的敏感性，其中毒力最高的为氯虫苯甲酰胺、阿维菌素和乙基多杀菌素，其次为溴氰虫酰胺、虫螨腈、四唑虫酰胺和甲维盐，这些药剂均为防治鳞翅目害虫的登记药剂，且与国内学者研究结果相同，均发现这些药剂对番茄潜叶蛾幼虫具有高毒力（庾琴等，2022；郭文秀等，2023；海永强等，2024）。对于成虫，仅虫螨腈和乙基多杀菌素的毒力效果最好，其次为溴氰虫酰胺、甲维盐与高

效氯氟氰菊酯。研究发现,一些药剂如阿维菌素、氯虫苯甲酰胺和呋虫胺对番茄潜叶蛾成虫有较高毒力 ($72\text{ h LC}_{50} \leq 39.636\text{ mg/L}$),但速效性差 ($24\text{ h LC}_{50} \geq 155.722\text{ mg/L}$) (庾琴等, 2022)。本研究仅测定了 48 h 的毒力效果,毒力较差可能与测定时间相对较短及药剂浓度不同有关。

在发生初期,番茄潜叶蛾往往以某一虫态为主,此时可依据田间发生的主要虫态选择高毒力的药剂进行防控。随着发生时间推移,番茄潜叶蛾世代重叠,田间往往同时出现成虫、卵和幼虫,根据本研究结果,推荐使用甲维盐,该药剂对蛹也有一定毒杀效果。然而番茄潜叶蛾不仅存在世代重叠,并且繁殖速度快,极易导致抗药性的发展 (朱雅婷等, 2024),在选择药剂时还需考虑卵期较短 (3-4 d) 及化学药剂的持效性。因此,建议选择对幼虫和成虫毒力均较高且对蛹也有一定毒力的药剂,如乙基多杀菌素、虫螨腈、溴氰虫酰胺和甲维盐。在这些药剂中,除虫螨腈田间防控效果尚需进一步验证外,甲维盐、乙基多杀菌素 (庾琴等, 2022; 海永强等, 2024) 和溴氰虫酰胺 (庾琴等, 2022) 均已被证实对番茄潜叶蛾具有较好的田间防控效果。

我国各地番茄潜叶蛾的抗药性水平尚未完全明确,目前,入侵我国新疆的种群对氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯表现出抗性 (马琳等, 2019; 王少丽等, 2021); 北京与河北种群对氯虫苯甲酰胺和二酰胺普遍产生显著抗性,个别种群已达到中等水平抗性 (黄建雷等, 2024)。国外研究发现,在长期治理过程中,番茄潜叶蛾已对多种类型药剂产生抗性。如在南美洲,番茄潜叶蛾对有机磷、拟除虫菊酯、阿维菌素和茚虫威呈低水平抗性 (Siqueira *et al.*, 2000, 2001; Silva *et al.*, 2011, 2016b),对几丁质合成抑制剂呈高水平抗性 (Silva *et al.*, 2011, 2016b),对二酰胺和多杀霉素的抗性呈增加趋势 (Reyes *et al.*, 2012; Campos *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2016a)。在欧洲,该虫对多杀霉素、二酰胺、拟除虫菊酯和茚虫威同样存在抗性 (Silva *et al.*, 2011; Guedes and Picanco, 2012; Gontijo *et al.*, 2013; Roditakis *et al.*, 2015)。因此,在选择化学药剂防治番茄

潜叶蛾时,应注意药剂的轮换施用,以延缓番茄潜叶蛾的抗性发展。

目前,我国番茄多为设施栽培,在大多数地区,番茄生长季达半年以上,部分地区甚至长达 10 月之久。由于番茄果实常处于连续采摘状态,且具有鲜食特点,因此在番茄生产中,对番茄潜叶蛾的防治应充分考虑化学药剂的安全间隔期,尽量减少化学药剂的使用次数和使用量。在成虫始发期,可选择理化诱控手段,如使用性信息素迷向丝 (Cocco *et al.*, 2013; 梁虎军等, 2023) 和黑光灯 (张桂芬等, 2022) 等进行协同防治,减少幼虫基数;在幼虫防治阶段,应同时考虑番茄其他害虫如烟粉虱,选择兼治药剂如甲维盐和阿维菌素等 (郭文秀等, 2023),减少用药次数;由于卵和蛹是防控中的难点,易导致应急防控措施不彻底,因此建议适时选择释放天敌昆虫以寄生卵 (代晓彦等, 2023) 和应用寄生性线虫 (Garcia-del-Pino *et al.*, 2013) 对土壤中的虫态进行协同防治,构建科学、安全和高效率的番茄潜叶蛾绿色防控技术,切实解决番茄产业的高质量发展问题。

参考文献 (References)

- Biondi A, Guedes RNC, 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.
- Biondi A, Zappalà L, Desneux N, Aparo A, Siscaro G, Rapisarda C, Martin T, Tropea Garzia G, 2015. Potential toxicity of α -cypermethrin-treated nets on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(3): 1191–1197.
- Boaventura D, Bolzan A, Padovez FE, Okuma DM, Omoto C, Nauen R, 2020. Detection of a ryanodine receptor target-site mutation in diamine insecticide resistant fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management Science*, 76(1): 47–54.
- Campos MR, Rodrigues ARS, Silva WM, Silva TBM, Silva VRF, Guedes RNC, Siqueira HAA, 2014. Spinosad and the tomato borer *Tuta absoluta*: A bioinsecticide, an invasive pest threat, and high insecticide resistance. *PLoS ONE*, 9(8): e103235.
- Cocco A, Deliperi S, Delrio G, 2013. Control of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato

- crops using the mating disruption technique. *Journal of Applied Entomology*, 137(1/2): 16–28.
- Dai XY, Wang RJ, Liu Y, Chen H, Su L, Zhang F, Su HM, Zhao JF, Zheng L, Zhai YF, 2023. Comparison of parasitism ability 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, 苏红梅, 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, 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.
- García-del-Pino F, Alabern X, Morton A, 2013. Efficacy of soil treatments of entomopathogenic nematodes against the larvae, pupae and adults of *Tuta absoluta* and their interaction with the insecticides used against this insect. *BioControl*, 58(6): 723–731.
- Gontijo PC, Picanço MC, Pereira EJG, Martins JC, Chediak M, Guedes RNC, 2013. Spatial and temporal variation in the control failure likelihood of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. *Annals of Applied Biology*, 162(1): 50–59.
- Guedes RNC, Picanço MC, 2012. The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: Pest status, management and insecticide resistance. *EPPO Bulletin*, 42(2): 211–216.
- Guedes RNC, Siqueira HAA, 2012. The tomato borer *Tuta absoluta*: Insecticide resistance and control failure. *CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, 7(55): 1.
- NY/T 1154. 14-2008. Guideline for laboratory bioassay of pesticides. Part 14: Leaf-dipping method. [NY/T 1154.14-2008. 农药室内生物测定试验准则. 杀虫剂. 第 14 部分: 浸叶法.]
- Guo WX, Xia XJ, Li LL, Xu WX, Song YY, Cui HY, Lv SH, Yu Y, Men XY, 2023. Screening of efficient and therapeutic agents for tomato leaf miner and four other common tomato pests. *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. Determination of indoor virulence of 12 different pesticides on tomato leaf miner larvae and evaluation of field control effect. *Research 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.]
- Huang JL, Zhang DF, Yao JQ, Xu YJ, Qu C, Luo C, Wang R, 2024. Monitoring resistance in field populations of *Tuta absoluta* to 3 diamide insecticides in Beijing and Zhangjiakou. *Chinese 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.]
- Liang HJ, Liu R, Zhao Z, Liu LL, Luo SK, 2023. The control effect of sex pheromone disruption technology on tomato leaf miner in greenhouse. *China Plant Protection*, 43(12): 67–69, 88. [梁虎军, 刘容, 赵振, 刘丽娟, 罗树凯, 2023. 性信息素迷向技术对温室大棚番茄潜叶蛾的防治效果. *中国植保导刊*, 43(12): 67–69, 88.]
- Ma L, Li XW, Wang SM, Wang TZ, Lv YB, 2019. Toxicity of 6 insecticides against tomato leaf miner in Yunnan region. China Society of Plant Protection Proceedings of the 2019 Academic Annual Conference. Guiyang: 276. [马琳, 李晓维, 王树明, 王田珍, 吕要斌, 2019. 6 种杀虫剂对云南地区番茄潜叶蛾的室内毒力测定. *中国植物保护学会 2019 年学术年会论文集*. 贵阳: 276.]
- Reyes M, Rocha K, Alarcón L, Siegwart M, Sauphanor B, 2012. Metabolic mechanisms involved in the resistance of field populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) to spinosad. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 102(1): 45–50.
- Roditakis E, Vasakis E, Grispou M, Stavrakaki M, Nauen R, Gravouil M, Bassi A, 2015. First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. *Journal of Pest Science*, 88(1): 9–16.
- 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 LMS, 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.
- Siqueira HAA, 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.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanço MC, 2000. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 2(2): 147–153.
- Uchoa-Fernandes MA, Della Lucia TMC, Vilela EF, 1995. Mating, oviposition and pupation of *Scrobipalpus absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 24(1): 159–164.
- Wang SL, Shi CH, Xu DD, Zhang YJ, 2021. Screening of efficient insecticide against invasive *Tuta absoluta* (Meyrick) and detection of its resistance gene mutation. *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.]
- 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 leaf miner *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, 冼晓青, 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, Zhang YB, Liu WX, Zhang F, Sin 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 RZ, 2019. Hazards of *Tuta absoluta* (Povolny). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(5): 996. [张润志, 2019. 番茄潜麦蛾 *Tuta absoluta* (Povolny)危害状(果实). 应用昆虫学报, 56(5): 996.]
- Zhu YT, Zhang YM, Guo XJ, Li Y, Zhang RX, Wu QJ, Feng YT, 2024. Resistance selection of *Tuta absoluta* (Meyrick) 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, 2024. 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.]