



不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫和卵的毒力及防效研究

明飞辰, 胡守印, 王克, 张友军, 王少丽*

(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：为筛选获得对番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 具有高毒力活性及优良防治效果的防控药剂, 本研究采用叶片浸渍法和叶面喷雾法, 开展不同药剂对番茄潜叶蛾的幼虫和卵的毒力测定及其田间防治效果比较研究。生物测定结果表明, 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺对番茄潜叶蛾幼虫具有较高毒力, 其 LC_{50} 值分别为 0.17 mg/L、0.36 mg/L 和 0.43 mg/L, Bt G033A 对幼虫的毒力略低 (LC_{50} =8.01 mg/L), 联苯菊酯对幼虫毒力最低。对番茄潜叶蛾卵的生测结果表明, 乙基多杀菌素对卵的毒力活性最高, LC_{50} 值为 4.80 mg/L, 显著高于甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (LC_{50} =16.24 mg/L) 和溴虫氟苯双酰胺 (LC_{50} =65.79 mg/L), 联苯菊酯和 Bt G033A 对卵的毒力活性很低。田间防效结果表明, 除联苯菊酯外, 其他杀虫剂对番茄潜叶蛾幼虫的防效高, 其中溴虫氟苯双酰胺防效最高, 药后 7 d 防效达 93.51%。测试药剂对卵孵化的抑制作用存在显著差异, 其中, 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、溴虫氟苯双酰胺和乙基多杀菌素均对卵孵化有较强的抑制作用且对后续孵化幼虫防效高, 联苯菊酯对幼虫和卵的防治效果显著低于其他测试药剂。说明, 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素、溴虫氟苯双酰胺和 Bt G033A 对番茄潜叶蛾幼虫防效良好, 其中前三种药剂也具有较强的杀卵活性, 可作为该虫化学防治中的优选药剂。

关键词：番茄潜叶蛾; 杀虫剂; 毒力测定; 田间防效

中图分类号: Q965.9

文献标识码: A

Toxicity and control efficacy of different insecticides on the larvae and eggs of *Tuta absoluta*

MING Fei-Chen, HU Shou-Yin, WANG Ke, ZHANG You-Jun, WANG Shao-Li* (State Key Laboratory of Vegetable Biobreeding, Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To obtain effective insecticides with high toxicity and control effects against the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*, this study adopted the leaf dipping method and foliar spraying method to evaluate the toxicity activities of different insecticides on the larvae and eggs of *T. absoluta*, as

基金项目: 国家重点研发计划 (2023YFD1401200); 北京市乡村振兴农业科技项目 (NY2502110025); 国家大宗蔬菜产业技术体系 (CARS-23)

作者简介: 明飞辰, 男, 硕士研究生, 研究方向为资源利用与植物保护, E-mail: 13069310091@163.com

*通讯作者 Author for correspondence: 王少丽, 女, 博士, 研究员, 研究方向蔬菜害虫综合治理, E-mail: wangshaoli@caas.cn

收稿日期 Received: 2025-02-08; 修回日期 Revision received: 2025-02-21; 接受日期 Accepted: 2025-02-23

well as to compare their field control efficacy. The bioassay results showed emamectin benzoate, spinetoram, and broflanilide exhibited high toxicity against *T. absoluta* larvae with the LC₅₀ values of 0.17 mg/L, 0.36 mg/L, and 0.43 mg/L respectively. The Bt G033A had relatively lower toxicity with the LC₅₀ value of 8.01 mg/L, while bifenthrin showed the lowest toxicity against larvae. For *T. absoluta* eggs, spinetoram had the highest toxicity with an LC₅₀ of 4.80 mg/L, significantly higher than emamectin benzoate (LC₅₀ = 16.24 mg/L) and broflanilide (LC₅₀ = 65.79 mg/L). Bifenthrin and Bt G033A showed low toxicity against eggs. Field efficacy trials indicated that all the tested insecticides except bifenthrin showed higher control on larvae, with broflanilide achieving the highest efficacy, reaching 93.51% seven days post-application. The inhibition of egg hatching varied significantly among different insecticides. Emamectin benzoate, spinetoram and broflanilide had strong inhibitory effects on the egg hatching and high efficacy against subsequent hatched larvae. Bifenthrin's efficacy against both larvae and eggs was significantly lower compared to other tested insecticides. It is concluded that emamectin benzoate, spinetoram, broflanilide, and Bt G033A are highly effective in controlling *T. absoluta* larvae. Among these, the first three insecticides also demonstrate significant ovicidal activity, making them preferable options for chemical control of this pest.

Key words: *Tuta absoluta*; insecticide; toxicity bioassay; control efficacy

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 又名番茄麦蛾、番茄潜麦蛾或南美番茄潜叶蛾, 该虫起源于南美洲的秘鲁, 经不断传播扩散, 已经成为全球番茄生产中的重要害虫 (Biondi *et al.*, 2018)。2017 年 8 月, 番茄潜叶蛾首次在我国新疆伊犁地区被发现, 随后在云南、贵州、四川、广西、湖南、内蒙古等地出现, 发生区域逐渐扩大 (张桂芬等, 2019, 2024)。番茄潜叶蛾喜食番茄, 其幼虫可潜食叶肉, 蛀食番茄果实, 一旦爆发成灾, 可造成番茄减产 80%~100%, 对番茄产业造成严重影响 (梁洁等, 2024)。基于其对番茄产业的重大影响, 番茄潜叶蛾于 2023 年被增补纳入《一类农作物病虫害名录》。

番茄潜叶蛾是一种新的入侵物种, 化学防治是该虫应急防控的重要手段。然而, 药剂的持续施用导致不同地域的番茄潜叶蛾种群产生了不同程度的抗药性 (李晓维等, 2022)。研究表明, 在南美洲的巴西、智利和阿根廷等国家, 番茄潜叶蛾对阿维菌素、苄氯菊酯、多杀菌素等药剂产生了不同程度的抗性 (Haddi *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015, 2016)。在欧洲, 番茄潜叶蛾对茚虫威、氯虫苯甲酰胺等药剂也产生了不同程度的抗性 (Silva *et al.*, 2015; Roditakis *et al.*, 2017)。在我国, 部分地区的番茄潜叶蛾种群对氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺、溴氰虫酰胺、高效氯氟氰菊酯、乙基多杀菌素等药剂表现出中低水平的抗性 (黄建雷等, 2024; 渠成等, 2024)。上述研究是基于番茄潜叶蛾幼虫阶段开展的评价, 针对该虫卵期的药剂筛选和研究很有限 (庾琴等, 2022; 夏小菊等, 2024), 而番茄潜叶蛾危害期间, 幼虫与卵期同时存在的时期长, 故筛选能够同时防控其幼虫和卵的高效低毒药剂对于控制田间种群爆发及其综合治理至关重要。

本研究选取了 5 种药剂, 分别对北京市海淀区的番茄潜叶蛾种群的卵和幼虫进行了室内毒力活性及田间防效比较研究, 旨在筛选出对番茄潜叶蛾幼虫和卵均具有高毒力活性及较高防效的防控药剂, 为番茄潜叶蛾的化学防治提供直接的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及药剂

所用番茄潜叶蛾实验种群 2024 年 5 月份采自北京海淀区加温玻璃温室的番茄田, 室内饲养一代后用于幼虫和卵的毒力测定试验。

供试 5 种药剂均为市售产品。100g/L 溴虫氟苯双酰胺悬浮剂(日本三井化学植保株式会社产品)、60g/L 乙基多杀菌素悬浮剂(科迪华农业科技有限责任公司产品)、3%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂(简称甲维盐, 江西中讯农化有限公司产品)、32 000 IU/mg 苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis* G033A (Bt G033A) 可湿性粉剂(武汉科诺生物科技股份有限公司产品)、2.5%联苯菊酯水乳剂(山东百农思达生物科技有限公司产品)。

1.2 药剂毒力测定方法

1.2.1 药剂对幼虫的毒力测定

测试幼虫为 2~3 龄期。用蒸馏水将各测试药剂依次配置成 5~7 个浓度梯度。取新鲜、洁净、长势好的番茄叶片分别在对照组和不同浓度的药液中浸泡 10 s, 取出后放在垫有湿润滤纸的培养皿(直径 9 cm)上, 用湿脱脂棉包裹住叶片茎段切口保湿, 把叶片晾干直到表面无明水。以清水处理为对照。在每个培养皿内各接番茄潜叶蛾 2~3 龄幼虫 15~20 头, 盖上皿盖, 置于光照培养箱中(相对温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 60%~70%、光周期 L:D=16 h:8 h), 每处理设置 4 次重复, 48 h 后分别观察记录结果。用毛笔尖轻轻触碰虫体(对于表皮内的幼虫, 先轻轻撕开叶表皮后再轻触虫体), 虫体体表皱缩、变黑及丧失行动能力的视为死亡, 记录死亡结果。

1.2.2 药剂对卵的毒力测定

把健康番茄苗放入养虫笼中, 放入番茄潜叶蛾成虫 50~60 对, 24 h 后将带有卵的番茄苗取出, 剪下卵分布均匀的叶片, 叶柄处裹上湿润的脱脂棉放置到培养皿(直径 9 cm)中待用。卵毒力测定试验方法参考《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) 进行。根据预试验结果, 将供试杀虫剂稀释为 5~7 个浓度梯度, 将带有番茄潜叶蛾卵的叶片(15~20 粒卵/叶)在不同浓度药液中浸渍 10 s, 待表面药液自然晾干后, 放入底部铺有湿润滤纸的培养皿中, 然后置于人工气候箱中饲养, 条件同上。设置清水处理为空白对照。3 d 后开始调查统计卵孵化率, 每隔 12 h 观察一次, 5 d 后未孵化的卵视为死亡(此时空白对照处理的卵已孵化完毕), 各处理均设置 3 次重复。

1.3 杀虫剂对番茄潜叶蛾幼虫的田间药效

田间药效试验采用各杀虫剂的田间推荐剂量。其中, 60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂和 32 000 IU/mg 苏云金杆菌 Bt G033A 可湿性粉剂已登记在番茄潜叶蛾防治上, 分别采用推荐用

量 60 mL/667 m² 和 150 g/667 m²；溴虫氟苯虫双酰胺、甲维盐和联苯菊酯未登记用于番茄潜叶蛾的防治，参考它们登记在番茄上用于防治其他害虫（如棉铃虫、白粉虱等）的用量，本研究中分别采用 10 mL/667 m²、25 mL/667 m² 和 40 mL/667 m² 的用量进行叶面喷雾。

不同杀虫剂对番茄潜叶蛾的田间药效试验于 2024 年春季在北京市海淀试验基地的加温型玻璃温室中进行。施药时番茄处于结果初期，番茄潜叶蛾为中等发生程度。对照区喷施清水，试验区 and 对照区之间设置保护行，每处理设 3 次重复。试验期间仅施药 1 次，小区面积为 20 m²，采用背负式手动喷雾器进行叶片正、反面均匀喷雾，不同药剂处理现配现用。各药剂的每个处理随机选取 10 株番茄植株进行调查，每个药剂共计调查 30 株。施药前调查各处理的虫口基数，随后在施药后 1 d、3 d 和 7 d 分别调查各处理的虫口数。调查后计算各药剂处理下的虫口减退率和田间防效。

1.4 杀虫剂对番茄潜叶蛾卵的防效试验

杀虫剂对番茄潜叶蛾卵的防效试验采用活体植株模拟方法进行。将长势一致的洁净番茄苗置于养虫笼中，收集 24 h 以内产出的番茄潜叶蛾卵，然后在温室内放置 48 h。将不同杀虫剂按照田间推荐用量（同 1.3 部分）兑水稀释，采用手持小型喷雾器对带卵的番茄苗进行均匀喷施，确保番茄苗全株充分润湿，喷施后的番茄苗继续置于养虫笼中饲养，对照处理喷施清水。各处理重复 4 次。对每株番茄苗顶部的 5 至 7 片真叶进行标记，记录这些叶片上番茄潜叶蛾卵的数量。喷药后 3 d、4 d 和 5 d 分别调查记录卵的孵化数量，并于 3 d、5 d 和 10 d 调查存活的幼虫数量，计算虫口减退率并评价各药剂的防治效果。

1.5 数据处理

药剂毒力测定数据采用 Polo Plus 2.0 软件计算，获得不同药剂的斜率和标准误、LC₅₀ 值及其 95% 置信区间等。田间防效试验数据采用 SPSS 27.0 对结果进行单因素方差分析，以 Tukey 检验进行差异显著分析。虫口减退率（%）=（药前活虫数-药后活虫数）/药前活虫数×100，防治效果（%）=（处理区虫口减退率-对照区虫口减退率）/（1-对照区虫口减退率）×100。

2 结果与分析

2.1 不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力

测试药剂中，化学药剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力活性均显著高于 Bt G033A，其中甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺对幼虫的致死中浓度 LC₅₀ 值分别为 0.17 mg/L、0.36 mg/L 和 0.43 mg/L，且彼此之间差异不显著；Bt G033A 对幼虫的 LC₅₀ 值为 8.01 mg/L。毒力最低的药剂是联苯菊酯，其 LC₅₀ 值为 207.68 mg/L（表 1）。

表 1 5 种药剂对番茄潜叶蛾幼虫的室内毒力测定

Table 1 Bioassay of five pesticides to the larvae of *Tuta absoluta*

药剂 Pesticide	样本数 Sample number	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	LC ₅₀ (mg/L) (95%置信区间) (95% Confidence interval)	卡方值(自由度) χ ² (df)	相关系数 R ²
-----------------	-------------------------	------------------------	---	---------------------------------	------------------------

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	241	0.76 ± 0.18	0.17 (0.02~0.42) a	4.10 (4)	0.92
Emamectin benzoate					
乙基多杀菌素	174	1.99 ± 0.30	0.36 (0.24~0.50) a	1.13 (4)	0.99
Spinetoram					
溴虫氟苯双酰胺	180	1.34 ± 0.29	0.43 (0.26~0.73) a	2.24 (4)	0.96
Broflanilide					
苏云金杆菌 G033A	150	1.64 ± 0.35	8.01 (3.73~12.13) b	1.92 (3)	0.99
Bt G033A					
联苯菊酯	241	1.64 ± 0.31	207.68 (100.91~360.04) c	4.25 (4)	0.98
Bifenthrin					

注：表格中不同小写字母代表差异显著，即 95%置信区间不重叠（Tang *et al.*, 2014）。表 2 同。Note: Different lowercase letters represented significant differences, that was, the 95% confidence interval does not overlap (Tang *et al.*, 2014). The same as Table 2.

2.2 不同药剂对番茄潜叶蛾卵的毒力测定

测试的 5 种杀虫剂对番茄潜叶蛾卵的毒力活性差异较大。其中，乙基多杀菌素的毒力活性最高，致死中浓度 LC₅₀ 值为 4.80 mg/L，显著高于甲维盐（16.24 mg/L）和溴虫氟苯双酰胺（65.79 mg/L）；联苯菊酯对卵的毒力活性低，LC₅₀ 值为 2 925.16 mg/L。Bt G033A 在 10 000 mg/L 的高浓度处理下，卵也可正常孵化，说明 Bt G033A 对番茄潜叶蛾卵无效。

表 2 5 种药剂对番茄潜叶蛾卵的室内毒力测定

Table 2 Bioassay of five pesticides to the eggs of *Tuta absoluta*

药剂 Pesticide	样本数 Sample number	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	LC ₅₀ (mg/L) (95%置信区间) (95% Confidence interval)	卡方值 (自由度) χ^2 (df)	相关系数 R ²
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	355	0.99 ± 0.16	16.24 (10.81~27.37) b	0.57 (4)	0.99
Emamectin benzoate					
乙基多杀菌素	470	0.58 ± 0.14	4.80 (1.75~8.46) a	3.58 (4)	0.93
Spinetoram					
溴虫氟苯双酰胺	383	1.84 ± 0.26	65.79 (47.45~85.71) c	0.48 (4)	0.99
Broflanilide					
苏云金杆菌 G033A	369	0.37 ± 0.25	>10 000.00	7.22 (4)	-
Bt G033A					
联苯菊酯	436	0.90 ± 0.14	2 925.16 (1 578.16~6 951.75) d	6.28 (5)	0.93
Bifenthrin					

2.3 不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫的田间防效

各测试药剂对番茄潜叶蛾的防效随时间的延长而增加。药后 1 d，Bt G033A 的防效显著低于甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺，后者的防效在 63.05%~72.17%之间；药后 3 d，化学药剂甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺的防效分别为 71.28%、85.11%和 78.25%，显著高于 Bt G033A 制剂的防效（50.34%），联苯菊酯的防效最低（21.96%）。药后 7 d，除联苯菊酯外，其余 4 种杀虫剂的防效约为 90%，且彼此间差异不显著，其中以溴虫氟苯双酰胺的防效最高（93.51%），而联苯菊酯防效最低（49.55%）（表 3）。

表 3 不同杀虫剂对田间番茄潜叶蛾幼虫的防治效果

Table 3 Control efficacy of different insecticides on the larvae of *Tuta absoluta*

药剂 Pesticide	虫口基数 Number of insect population	药后 1 d		药后 3 d		药后 7 d	
		1 d post application		3 d post application		7 d post application	
		虫口减退率(%)	防效 (%)	虫口减退率(%)	防效 (%)	虫口减退率(%)	防效 (%)
		Reduction rate of insects	Control efficacy	Reduction rate of insects	Control efficacy	Reduction rate of insects	Control efficacy
联苯菊酯 Bifenthrin	108	9.24 ± 0.70	17.49 ± 0.63 c	9.13 ± 1.54	21.96 ± 1.32 c	10.99 ± 2.41	49.55 ± 1.36 b
溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide	231	65.18 ± 8.44	68.35 ± 7.67 a	74.68 ± 3.63	78.25 ± 3.11 a	88.54 ± 2.72	93.51 ± 1.54 a
乙基多杀菌素 Spinetoram	250	69.39 ± 5.94	72.17 ± 5.40 a	82.67 ± 3.41	85.11 ± 2.92 a	81.57 ± 5.82	89.56 ± 3.29 a
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	168	59.35 ± 3.56	63.05 ± 3.23 a	66.57 ± 9.87	71.28 ± 8.47 a	85.18 ± 4.22	91.60 ± 2.39 a
苏云金杆菌 G033A Bt G033A	165	19.75 ± 4.08	27.05 ± 3.71 b	42.18 ± 6.71	50.34 ± 5.75 b	86.24 ± 2.20	92.21 ± 1.24 a
空白对照 Control	112	-10.00 ± 2.86	-	-16.43 ± 5.00	-	-76.43 ± 2.14	-

注：表格中同列不同字母表示显著差异（ $P<0.05$ ）。表 4、表 5 同。Note: Different letters in the same column in the table indicated significant differences ($P<0.05$). Same as the Table 4 and Table 5.

2.4 杀虫剂喷施对番茄潜叶蛾卵孵化率的影响及其防效

测定了除 Bt 制剂外的 4 种杀虫剂对番茄潜叶蛾卵的孵化率影响，结果表明，甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺对番茄潜叶蛾卵的孵化具有较强的抑制作用，处理不同时间后，番茄潜叶蛾卵的孵化率均显著低于对照，三种药剂处理间不存在显著差异。联苯菊酯处理后 3 d、4 d 和 5 d 时，番茄潜叶蛾卵的孵化率分别为 60.31%、76.49 % 和 83.60%，在不同时间点均显著高于其他 3 种药剂处理，表明其杀卵活性低（表 4）。

表 4 4 种杀虫剂对番茄潜叶蛾卵孵化率的影响

Table 4 Effects of four insecticides on the egg hatching rate of *Tuta absoluta*

药剂 Pesticide	不同时间点的卵孵化率 (%)		
	Egg hatching rates at different time points		
	药后 3 d	药后 4 d	药后 5 d
	3 d post application	4 d post application	5 d post application
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	25.68 ± 2.59 b	32.61 ± 0.94 c	35.34 ± 0.91 c
乙基多杀菌素 Spinetoram	20.38 ± 4.54 b	39.43 ± 2.63 c	41.57 ± 2.68 c
溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide	14.97 ± 1.95 b	39.03 ± 0.08 c	39.48 ± 0.32 c
联苯菊酯 Bifenthrin	60.31 ± 8.53 a	76.49 ± 3.43 b	83.60 ± 4.80 a
空白对照 Control	55.36 ± 1.96 a	86.61 ± 2.62 a	90.23 ± 1.79 a

上述杀虫剂对卵喷施后，继续调查后续孵化幼虫的防治效果存在明显差异。药后 3 d，甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺防效均高于 70%，联苯菊酯防效低，仅为 3.71%；药后 5 d，甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺的相对防效分别为 90.35%、94.07%和 87.24%，彼此间无显著差异，显著高于联苯菊酯

(12.65%)；药后 10 d，各药剂处理的防治效果与药后 5 d 时变化不明显，趋势一致（表 5）。说明，卵期喷施甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺可对后续孵化幼虫具有优良防效。

表 5 4 种杀虫剂喷施番茄潜叶蛾卵对其孵化幼虫的防治效果

Table 5 Control efficacy on the hatched larvae of four insecticides applied to *Tuta absoluta* eggs

药剂 Pesticide	虫口基数 Number of insect population	药后 3 d		药后 5 d		药后 10 d	
		3 d post application		5 d post application		10 d post application	
		虫口减退 (%) Reduction rate of insects	防效 (%) Control efficacy	虫口减退 (%) Reduction rate of insects	防效 (%) Control efficacy	虫口减退 (%) Reduction rate of insects	防效 (%) Control efficacy
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	215	79.57 ± 2.60	78.99 ± 2.67 ab	90.52 ± 2.96	90.35 ± 3.01 a	94.50 ± 2.41	94.34 ± 2.48 a
乙基多杀菌素 Spinetoram	354	84.92 ± 2.98	84.49 ± 3.07 a	94.17 ± 2.06	94.07 ± 2.10 a	97.62 ± 0.98	97.55 ± 1.01 a
溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide	433	74.42 ± 3.47	73.69 ± 3.57 b	87.47 ± 3.04	87.24 ± 3.10 a	93.01 ± 0.88	92.82 ± 0.90 a
联苯菊酯 Bifenthrin	251	6.40 ± 1.82	3.71 ± 1.88 c	14.22 ± 2.68	12.65 ± 2.73 b	11.12 ± 2.03	8.68 ± 2.08 b
空白对照 Control	322	2.80 ± 0.34	-	1.80 ± 0.39	-	2.67 ± 0.30	-

3 结论与讨论

番茄潜叶蛾作为一种新的入侵物种，近年来在番茄上造成重大经济损失。化学防治是其综合治理中的重要措施，科学选药对于其田间种群暴发时的高效控制至关重要。本研究采用带虫叶片浸渍法和喷雾法，评价了 5 种药剂对番茄潜叶蛾幼虫和卵的室内毒力及田间防治效果，甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺对番茄潜叶蛾 2~3 龄幼虫的毒力活性高，其 LC₅₀ 值均低于 0.5 mg/L，且对卵也表现出较高的毒力活性，LC₅₀ 值分别为 16.24 mg/L、4.80 mg/L 和 65.79 mg/L，这与夏小菊等（2024）发现的甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对番茄潜叶蛾卵、乙基多杀菌素对幼虫具有高活性的研究结果相一致。另外，本研究测定的甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和乙基多杀菌素对番茄潜叶蛾幼虫和卵的 LC₅₀ 值均高于庾琴等（2022）的研究结果，这种差异的存在，主要与所测试的番茄潜叶蛾种群来源自不同区域有关，也可能与测试方法略有差异有关系，是否存在抗药性的差异值得持续关注和进一步研究。生物杀虫剂 Bt G033A 制剂对番茄潜叶蛾幼虫具有一定的毒力，但对卵的毒力活性极低（对卵的 LC₅₀ > 10 000 mg/L），这与张桂芬等（2020）的研究结果一致，说明 Bt G033A 制剂不能有效控制番茄潜叶蛾的卵，该药剂对幼虫和卵的毒力差异可能与番茄潜叶蛾不同发育阶段角质层的结构及液体含量不同有关（Nozad-Bonab *et al.*, 2017）。联苯菊酯对番茄潜叶蛾卵和幼虫的毒力均很低，防控效果也很差；以往研究中发现，番茄潜叶蛾新疆种群中与菊酯类药剂抗性相关的钠离子通道击倒抗性（knock-down resistance, kdr）基因具有较高的点突变频率（王少丽等，2021），这说明入侵我国新疆地区以及后期扩散到各地的番茄潜叶蛾种群中均可能存在较高的菊酯类抗性，这可能也是本研究中发现联苯菊酯对番茄潜叶蛾活性低和

防效差的原因。

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和溴虫氟苯双酰胺是已登记用于防控鳞翅目害虫的常用杀虫剂。本研究结果显示,这3种药剂对番茄潜叶蛾幼虫的田间防效高且随时间的延长而增加(药后7 d防效约为90%),用上述3种药剂处理番茄潜叶蛾的卵,发现其对后续孵化的幼虫仍具有较高的防效(药后10 d防效>90%),这也与室内毒力测定的结果相互印证。杀虫剂通过喷雾或其他施用方式通过卵表面的气孔进入卵内,进而影响卵内部的生理功能(Iossa *et al.*, 2022),本研究中各药剂对番茄潜叶蛾卵孵化的抑制率不同,这与药剂自身的触杀、胃毒活性以及抗药性等差异有关。生物杀虫剂Bt G033A已登记用于防控鳞翅目、鞘翅目害虫,具有明显的胃毒作用,无触杀作用(刘华梅等, 2018),其在喷药后初期防治效果不高,在药后7 d达到较高的防效(92.21%),但低于张桂芬等(2020)的研究结果(100%),这种差异可能与测试种群本身对药剂的敏感度或施药方式(如施药器械、稀释倍数)等因素有关。研究表明,入侵我国的番茄潜叶蛾的田间种群已经对部分拟除虫菊酯类药剂(例如,高效氯氟氰菊酯和溴氰菊酯)产生了不同程度的抗性(马琳等, 2019; 王少丽等, 2022),本研究发现联苯菊酯对幼虫的田间防效低,用该药剂处理番茄潜叶蛾卵10 d后,对后续孵化幼虫的防治效果约为10%。基于这些研究结果,入侵我国的番茄潜叶蛾种群对拟除虫菊酯类药剂的敏感性明显下降,对该虫进行化学防治应慎选和使用菊酯类杀虫剂。

参考文献(References)

- Biondi A, Guedes RNC, Wan FH, *et al.* Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: Past, present, and future [J]. *Annual Review of Entomology*, 2018, 63 (1): 239-258.
- Guo WX, Xia XJ, Li LL, *et al.* Effective pesticide screening for common control of *Phthorimaea absoluta* and other four pests on tomato [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2023, 55 (11): 40-48. [郭文秀, 夏小菊, 李丽莉, 等. 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 [J]. 山东农业科学, 2023, 55 (11): 40-48]
- Haddi K, Berger M, Bielza P, *et al.* Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2012, 42 (7): 506-513.
- Huang JL, Zhang DF, Yao JQ, *et al.* Monitoring resistance in field populations of *Tuta absoluta* to 3 diamide insecticides in Beijing and Zhangjiakou [J]. *China Vegetables*, 2024, 1 (8): 97-102. [黄建雷, 张道丰, 姚佳祺, 等. 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 [J]. 中国蔬菜, 2024, 1 (8): 97-102]
- Iossa G. The ecological function of insect egg micropyles [J]. *Functional Ecology*, 2022, 36 (5): 1113-1123.
- Li XW, Ma L, Lv YB. Susceptibility of Xinjiang and Yunnan populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to six insecticides and its relationship with detoxification enzyme activities [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2022, 65 (8): 1010-1017. [李晓维, 马琳, 吕要斌. 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 [J]. 昆虫学报, 2022, 65 (8): 1010-1017]
- Liang J, Yang XM, Guo JY, *et al.* Laboratory insecticidal effect determination and field control efficacy evaluation of ten commonly used insecticides against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2024, 67 (12): 1624-1633. [梁洁, 杨小萌, 郭建洋, 等. 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 [J]. 昆虫学报, 2024, 67 (12): 1624-1633]
- Liu HM, Xu GJ. Microbial pesticide *Bacillus thuringiensis* G033A [J]. *Pesticide Science and Administration*, 2018, 39 (4): 59-60. [刘华梅, 许国建. 微生物农药苏云金杆菌 G033A [J]. 农药科学与管理, 2018, 39 (4): 59-60]
- Lu YY. Warning the continuous spread and invasion of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) in our country [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (2): 526-528. [陆永跃. 警惕番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick)在我国持续扩散入侵 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (2): 526-528]
- Nozad-Bonab Z, Hejazi MJ, Iranipour S, *et al.* Lethal and sublethal effects of some chemical and biological insecticides on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs and neonates [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110 (3): 1138-1144.

- Qu C, Huang JL, Che WN, *et al.* Resistance monitoring and risk assessment of spinetoram in *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2024, 67 (12): 1634-1642. [渠成, 黄建雷, 车午男, 等. 番茄潜叶蛾对乙基多杀菌素的抗性监测及抗性风险评估 [J]. 昆虫学报, 2024, 67 (12): 1634-1642]
- Roditakis E, Steinbach D, Moritz G, *et al.* Ryanodine receptor point mutations confer diamide insecticide resistance in tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2017, 80: 11-20.
- Silva WM, Berger M, Bass C, *et al.* Status of pyrethroid resistance and mechanisms in Brazilian populations of *Tuta absoluta* [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2015, 122: 8-14.
- Silva WM, Berger M, Bass C, *et al.* Mutation (G275E) of the nicotinic acetylcholine receptor $\alpha 6$ subunit is associated with high levels of resistance to spinosyns in *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2016, 131: 1-8.
- Tang XF, Zhang YJ, Wu QJ, *et al.* Stage-specific expression of resistance to different acaricides in four field populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107 (5): 1900-1907.
- Wang SL, Shi CH, Xu DD, *et al.* Screening of efficient insecticide against invasive *Tuta absoluta* (Meyrick) and detection of its resistance gene mutation [J]. *China Vegetables*, 2021, 1 (11): 33-36. [王少丽, 史彩华, 徐丹丹, 等. 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 [J]. 中国蔬菜, 2021 (11): 33-36]
- Xia XJ, Bao Q, Yan Y, *et al.* Toxicity of eleven insecticides to different development stages of *Tuta absoluta* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2024, 61 (4): 772-781. [夏小菊, 包强, 颜越, 等. 十一种杀虫剂对不同虫态番茄潜叶蛾的室内毒力 [J]. 应用昆虫学报, 2024, 61 (4): 772-781]
- Yu Q, Guo XQ, Feng YT, *et al.* Toxicity of six insecticides on *Tuta absoluta* (Meyrick) and control efficacy in the field trial [J]. *Journal of Biosafety*, 2022, 31 (4): 345-350. [庾琴, 郭晓君, 封云涛, 等. 6 种杀虫剂对南美番茄潜叶蛾的毒力及田间防效 [J]. 生物安全学报, 2022, 31 (4): 345-350]
- Zhang GF, Liu WX, Wan FH, *et al.* Bioecology, damage and management of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), a worldwide quarantine pest [J]. *Journal of Biosafety*, 2018, 27 (3): 155-163. [张桂芬, 刘万学, 万方浩, 等. 世界毁灭性检疫害虫番茄潜叶蛾的生物生态学及危害与控制 [J]. 生物安全学报, 2018, 27 (3): 155-163]
- Zhang GF, Ma DY, Liu WX, *et al.* The arrival of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in China [J]. *Journal of Biosafety*, 2019, 28 (3): 200-203. [张桂芬, 马德英, 刘万学, 等. 中国新发现外来入侵害虫——南美番茄潜叶蛾 (鳞翅目: 麦蛾科) [J]. 生物安全学报, 2019, 28 (3): 200-203]
- Zhang GF, Wan K, Pan MN, *et al.* Population colonization, re-establishment and development of the tomato leafminer (*Tuta absoluta*) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57 (3): 514-524. [张桂芬, 万坤, 潘梦妮, 等. 番茄潜叶蛾种群定殖与种群重建及延续能力研究 [J]. 中国农业科学, 2024, 57 (3): 514-524]
- Zhang GF, Zhang YB, Zhang J, *et al.* Laboratory toxicity and field control efficacy of biopesticide *Bacillus thuringiensis* G033A on the South American tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick), a new invasive alien species in China [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (2): 175-183. [张桂芬, 张毅波, 张杰, 等. 苏云金芽胞杆菌 G033A 对新发南美番茄潜叶蛾的室内毒力及田间防效 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (2): 175-183]