

番茄潜叶蛾高效内吸性杀虫剂筛选及灌根法用药对其生物学参数的影响*

崔洪莹^{1**} 夏小菊¹ 魏倩彤² 闫循静³ 李丽莉¹
宋莹莹¹ 郭文秀¹ 吕素洪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. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095; 3. 济宁北湖省级旅游度假区石桥镇农业综合服务中心, 济宁 272000)

摘要 【目的】明确内吸性杀虫剂对番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 生长发育和存活的影响, 为其田间应用提供理论依据。【方法】采用室内毒力测定法, 评估 7 种内吸性农药对番茄潜叶蛾的毒力效果, 并利用灌根法测定内吸性杀虫剂对番茄潜叶蛾生物学参数的影响。【结果】氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺和四氯虫酰胺对番茄潜叶蛾幼虫具有较高毒力, 其 LC_{50} 值分别为 0.226、2.01 和 26.27 mg a.i./L; 番茄苗期, 溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺的灌根处理显著影响了番茄潜叶蛾的幼虫发育历期、蛹期和成虫寿命, 尤其在 2 倍 LC_{90} 浓度处理下, 番茄潜叶蛾卵全部死亡, 不能正常孵化为幼虫, 其发育天数均为 0; 该 3 种药剂的灌根处理显著降低了番茄潜叶蛾的卵孵化率、化蛹率及羽化率, 在 2 倍 LC_{90} 浓度下, 可使番茄潜叶蛾在造成危害前即全部死亡。【结论】3 种内吸性杀虫剂 (溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺) 的灌根处理可使番茄苗成为“引诱陷阱”, 预防早期番茄潜叶蛾的发生与为害, 这种降低早期种群数量的措施极大降低了番茄潜叶蛾潜在的暴发风险, 为科学治理番茄潜叶蛾提供了新方法。

关键词 番茄潜叶蛾; 内吸性农药; 灌根法; 生物学参数

Systemic pesticide screening and the effects of root drenching on the biological parameters of *Tuta absoluta*

CUI Hong-Ying^{1**} XIA Xiao-Ju¹ WEI Qian-Tong² YAN Xun-Jing³ LI Li-Li¹
SONG Ying-Ying¹ GUO Wen-Xiu¹ LÜ Su-Hong¹ 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. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

3. Shiqiao Town Agricultural Comprehensive Service Center, Jining Beihu Provincial Tourism Resort, Jining 272000, China)

Abstract 【Aim】To investigate the effects of systemic pesticides on the development and survival of *Tuta absoluta* and thereby provide a theoretical basis for the application of these pesticides in the field. 【Methods】The toxicity of 7 insecticides on *T. absoluta* were tested in the laboratory using the indoor virulence determination method and the effects of systemic pesticides on the biological parameters of *T. absoluta* were analyzed using root drenching. 【Results】Cyantraniliprole, chlorantraniliprole, and tetrachlorantraniliprole were the most toxic of the pesticides tested, with LC_{50} values of 0.226, 2.01, and 26.27 mg a.i./L, respectively. Root drenching with cyantraniliprole, chlorantraniliprole and tetrachlorantraniliprole at the tomato seedling stage significantly affected larval duration, pupal duration and adult survival, and eggs of *T. absoluta* died which could not hatch into larva normally, reducing this to zero at a concentration of 2-fold LC_{90} . Moreover, root drenching with these three insecticides significantly reduced the hatching rate, pupation rate and eclosion rate; a concentration of 2-fold LC_{90} killed all insects before they could cause damage. 【Conclusion】Drenching the roots of tomato seedlings with

*资助项目 Supported project: 2024 农业科技创新工程-国内高层次人才引进与培养科研启动项目 (333 工程) (06202214442066)

**第一作者 First author, E-mail: cuihongying12345@163.com

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

收稿日期 Received: 2024-05-11; 接受日期 Accepted: 2024-07-02

cyantraniliprole, chlorantraniliprole and tetrachlorantraniliprole completely prevents the occurrence of *T. absoluta* at the tomato seedling stage. This degree of suppression greatly reduces the outbreak risk, and is a new method for the scientific control of this pest.

Key words *Tuta absoluta*; systemic pesticide; root drenching; biological parameter

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 又名番茄潜麦蛾、南美番茄潜叶蛾, 隶属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiida, 是一种具有毁灭性危害的重大入侵害虫(张桂芬等, 2018)。2004 年, 欧洲和地中海植物保护组织将番茄潜叶蛾列为 A1 类检疫有害生物(张桂芬等, 2013)。番茄潜叶蛾适应性强, 寄主范围广, 可为害茄科、豆科、苋科、藜科、菊科、十字花科以及禾本科等 11 科 50 种植物, 喜食茄科植物, 尤其嗜食番茄(张嘉惠等, 2023)。我国是全球番茄种植面积最大、分布最广且产量最高的国家, 番茄产量占全球总产量的 1/3 以上(张桂芬等, 2022), 番茄潜叶蛾一旦暴发成灾, 我国番茄减产率可高达 100%, 对我国番茄产业构成了潜在威胁(李君明等, 2021)。

番茄潜叶蛾在全球范围内呈现逐渐扩张的趋势, 于 1917 年首次在南美洲秘鲁被发现后, 迅速扩散至整个南美洲, 现已扩散至亚非欧大陆的大部分国家和地区(Desneux *et al.*, 2010)。2017 年 8 月, 我国在新疆伊犁地区首次发现并报道了番茄潜叶蛾的为害, 随后其持续扩散至 13 个省(自治区、直辖市), 且有向北方蔓延的趋势, 目前已在我国西北、西南、华北和华中的多个地区暴发(张桂芬等, 2019)。番茄潜叶蛾可在番茄的整个生育期内发生为害, 主要以幼虫潜入叶片潜食叶肉, 在叶片上形成潜道, 还可直接蛀入果实内部, 严重时导致果实畸形、脱落、腐烂, 甚至绝收(Biondi *et al.*, 2018)。该虫具有隐蔽性高、繁殖快、扩散能力强和世代重叠等生物学特征(Guedes *et al.*, 2019), 一旦错过防治时期, 暴发成灾, 将严重影响我国番茄产业的发展。因此, 如何有效提前预防并控制其危害已成为当下亟待解决的问题。

目前, 对番茄潜叶蛾的防治仍以化学杀虫剂为主, 但由于其隐蔽的“潜食”特性, 化学农药不仅难以将番茄潜叶蛾杀灭还容易使其产生不同程度的抗药性, 并带来环境污染和农作物安全

等问题(Chhetri, 2018; Choudhary *et al.*, 2022; Karanu *et al.*, 2024)。杀虫剂的不合理应用已导致番茄潜叶蛾对机磷类、拟除虫菊酯类、阿维菌素和茚虫威等药剂产生了不同程度的抗性(Guedes *et al.*, 2019; Prasannakumar *et al.*, 2023), 加大了对番茄潜叶蛾的防控难度(Barati *et al.*, 2018; Kumari *et al.*, 2022)。因此寻求一种安全、高效、精确, 且在番茄潜叶蛾发生为害之前进行防治的方法, 已成为该虫综合治理的重要方向。本研究采用室内毒力测定试验筛选出对番茄潜叶蛾有效的内吸性杀虫剂, 进一步在番茄苗期利用灌根法, 以期筛选出防治效果好、残留低, 剂量适宜的内吸性药剂, 对番茄潜叶蛾进行科学合理的施药。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫和植物

供试番茄潜叶蛾幼虫为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饲养的室内种群, 寄主植物为番茄, 生育期为苗期, 种群饲养与试验开展均在光照培养箱(江南, RXZ-500)中进行, 温度(26 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $65\% \pm 5\%$, 光周期 16 L : 8 D。

供试植物为 7-8 片复叶期番茄幼苗, 品种为凯萨。将番茄种子播种于育苗盘中, 待长至 3-4 叶期移栽到塑料盆($d = 15\text{ cm}$, $h = 13\text{ cm}$), 长到 7-8 片复叶期时, 选取长势良好的番茄苗进行试验。

1.2 供试药剂

7 种供试药剂分别为 200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂(美国富美实公司)、10%溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂(美国富美实公司)、10%氟啶虫酰胺水分散粒剂(日本石原产业株式会社)、5%吡虫啉乳油(江门市大光明农化新会有限公司)、

25%噻虫嗪水分散粒剂(江苏省丰县百农思达农用化学品有限公司)、50%氟啶虫胺胍水分散粒剂(科迪华农业科技有限责任公司)和10%四氯虫酰胺悬浮剂(沈阳科创化学品有限公司)。

1.3 不同杀虫剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力测定

基于预实验数据,用纯净水将试验药剂稀释成5-6个浓度,200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂浓度为2.400、1.200、0.600、0.300、0.150 和 0.075 mg a.i./L, 10%溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂浓度为20.000、10.000、5.000、2.500 和 1.250 mg a.i./L, 10%氟啶虫酰胺水分散粒剂浓度为100.000、50.000、25.000、12.500、6.250 和 3.125 mg a.i./L, 5%吡虫啉乳油浓度为100.000、50.000、25.000、12.500、6.250 和 3.125 mg a.i./L, 25%噻虫嗪水分散粒剂浓度为100.000、50.000、25.000、12.500 和 6.250 mg a.i./L, 50%氟啶虫胺胍水分散粒剂浓度为100.000、50.000、25.000、12.500、6.250 和 3.125 mg a.i./L, 10%四氯虫酰胺悬浮剂浓度为100.000、50.000、25.000、12.500、6.250 和 3.125 mg a.i./L。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),挑取带有番茄潜叶蛾2龄幼虫的番茄叶片,在不同浓度药液中浸渍15 s,待表面药液自然晾干后,将叶片分别放入一次性自封袋(16 cm × 23 cm)中,每个自封袋装入1片叶。自封袋内放有一块浸润的海绵(4 cm × 4 cm)以保持湿度。将自封袋吹足空气封口,置于光照培养箱(郭文秀等,2023)。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,以不动或变色为死亡标准。以清水处理作为对照,每个处理和对照设3次重复,每一重复共13-17头番茄潜叶蛾幼虫。

1.4 灌根法对番茄潜叶蛾生物学参数的影响

根据毒力测定结果,分别配置LC₉₀和2倍LC₉₀的药液(溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺)进行灌根试验。试验开始前24 h,将番茄植株浇透水。用注射器在植株根部缓慢灌入药液20 mL,1 h后再灌入20 mL,以防止土壤中水分饱和、药液流出,影响试验结果。以清水处

理作为对照。

选取初羽化(<24 h)的8对番茄潜叶蛾雌雄成虫进行配对,将配对雌雄成虫置于养虫笼中(40 cm × 50 cm × 50 cm),每个养虫笼内放入灌根处理和对照番茄苗各1盆。2 d后,移除成虫,检查并记录产卵量,每株番茄苗上保留10粒卵(每个叶片保留1粒卵,并在每个叶片上进行记号标记,以便区分不同幼虫),多余的卵用软毛笔轻轻扫掉,每天观察并记录卵的孵化情况。记录番茄潜叶蛾发育历期(不同龄期的变化),幼虫发育至4龄时,在番茄潜叶蛾根部铺上脱脂棉,收集番茄潜叶蛾的蛹,放入养虫袋中。待蛹快羽化时,对蛹进行跟踪并记录羽化数量,将初羽化的成虫放入养虫笼内,直至成虫自然死亡。每天进行观察跟踪,记录从卵期、幼虫期、蛹期和成虫寿命的数据,计算得到番茄潜叶蛾的卵孵化率,化蛹率及羽化率。每个处理10个重复,每个重复为1株番茄,每株番茄上为10粒卵。

1.5 数据分析

采用SPSS 25.0软件对数据进行统计分析。毒力回归方程、LC₅₀、LC₉₀及95%置信限采用Probit法。不同药剂浓度(CK、LC₉₀和2倍LC₉₀)对番茄潜叶蛾各虫态发育历期、卵孵化率、化蛹率及羽化率的影响数据采用单因素方差分析,并利用Tukey法比较差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力

由表1可知,7种药剂对番茄潜叶蛾2龄幼虫的室内毒力大小依次为氯虫苯甲酰胺>溴氰虫酰胺>四氯虫酰胺>氟啶虫酰胺>吡虫啉、噻虫嗪和氟啶虫胺胍,LC₅₀值分别为0.226、2.01、26.27、>100、>100、>100和>100 mg a.i./L(表1)。

2.2 药剂灌根对番茄潜叶蛾生物学参数的影响

2.2.1 药剂灌根对番茄潜叶蛾各虫态发育历期的影响 与对照相比,溴氰虫酰胺LC₉₀灌根处

表 1 不同药剂对番茄潜叶蛾幼虫的毒力
Table 1 Toxicity of different insecticides to *Tuta absoluta* larvae

杀虫剂 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)	LC ₉₀ (mg a.i./L)	95%置信限 (mg a.i./L) 95% confidence interval (mg a.i./L)	相关系数 <i>R</i> ² Correlation coefficient
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	$y = 0.842 + 0.566x$	0.226	0.163-0.309	2.173	1.252-5.470	0.981
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	$y = -0.687 + 0.985x$	2.01	1.466-2.534	7.387	5.614-11.306	0.979
氟啉虫酰胺 Flonicamid	—	> 100	—	> 100	—	—
四氯虫酰胺 Tetrachlorantraniliprole	$y = -2.308 + 0.706x$	26.27	19.208-35.340	> 100	—	0.986
吡虫啉 Imidacloprid	—	> 100	—	> 100	—	—
噻虫嗪 Thiamethoxam	—	> 100	—	> 100	—	—
氟啉虫胺腈 Sulfoxaflor	—	> 100	—	> 100	—	—

“—” 未进行毒力回归。“—” No toxicity regression was performed.

理对番茄潜叶蛾卵期、幼虫期、蛹期和成虫寿命都没有显著性影响；但 2 倍 LC₉₀ 处理对番茄潜叶蛾卵期 ($F = 198.09$, $P < 0.001$)、幼虫期 ($F = 260.27$, $P < 0.001$)、蛹期 ($F = 478.69$, $P < 0.001$) 和成虫寿命 ($F = 896.37$, $P < 0.001$) 都有显著性影响, 2 倍 LC₉₀ 处理导致番茄潜叶蛾卵全部死亡, 不能正常孵化为幼虫 (图 1: A)。

与对照清水处理相比, 氯虫苯甲酰胺 LC₉₀

和 2 倍 LC₉₀ 灌根处理显著延长了番茄潜叶蛾的卵期 ($F = 230.61$, $P < 0.001$) ; LC₉₀ 与 2 倍 LC₉₀ 浓度处理导致番茄潜叶蛾卵全部死亡, 不能正常孵化为幼虫 (图 1: B)。

与对照清水处理相比, 四氯虫酰胺 LC₉₀ 灌根处理对番茄潜叶蛾卵期没有显著影响 ($F = 0.413$, $P = 0.523$) , 但 LC₉₀ 与 2 倍 LC₉₀ 处理后, 卵不能正常孵化, 全部死亡 (图 1: C)。

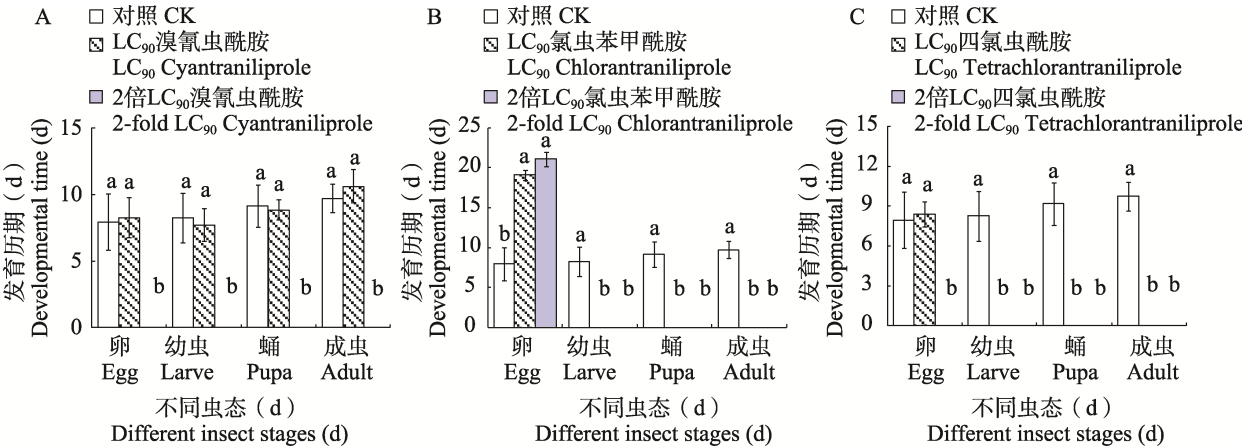


图 1 溴氰虫酰胺 (A)、氯虫苯甲酰胺 (B) 和四氯虫酰胺 (C) 灌根对番茄潜叶蛾卵期、幼虫期、蛹期及成虫寿命的影响

Fig. 1 The effects of cyantraniliprole (A), chlorantraniliprole (B), and tetrachlorantraniliprole (C) on egg duration, larval duration, pupal duration and adult longevity of *Tuta absoluta* with root drenching

CK: 清水, 对照。图中数据为平均值±标准误。柱上不同字母表示处理间显著差异 ($P < 0.05$, Tukey 检验)。下图同。
CK Clear water, control. Data are mean±SE. Histograms with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$, Tukey test). The same below.

2.2.2 灌根法对番茄潜叶蛾卵孵化率、化蛹率及羽化率的影响 对于溴氰虫酰胺来说,与对照相比,LC₉₀浓度的处理对番茄潜叶蛾卵孵化率没有显著性影响,但显著降低了其化蛹率($F = 100.919$, $P < 0.001$)及羽化率($F = 114.986$, $P < 0.001$);

在 2 倍 LC₉₀ 浓度的处理下,卵无法正常孵化,全部死亡(图 2: A)。

对于氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺来说,与对照相比,在 LC₉₀ 浓度的处理与 2 倍 LC₉₀ 浓度的处理下,卵无法正常孵化,全部死亡(图 2: B, C)。

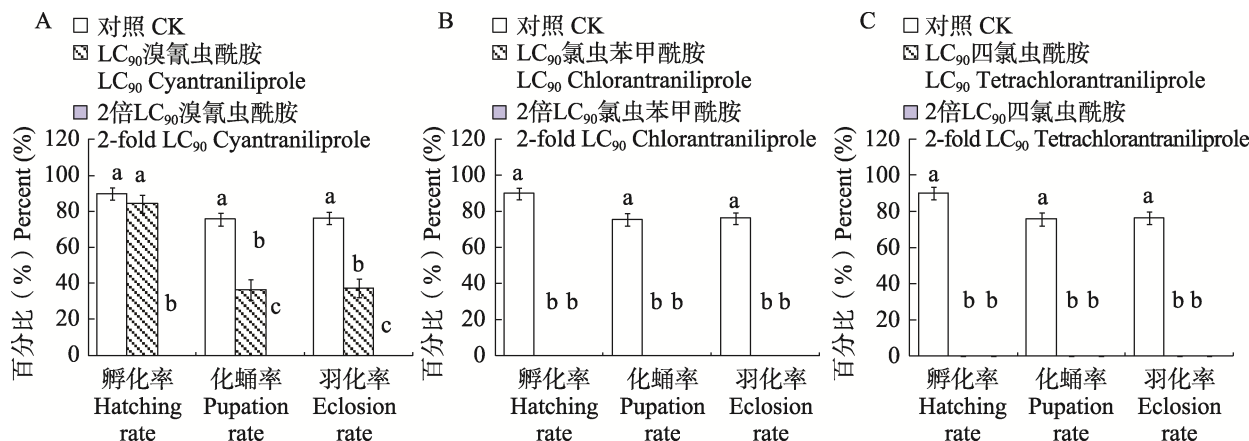


图 2 灌根施药后溴氰虫酰胺 (A)、氯虫苯甲酰胺 (B) 和四氯虫酰胺 (C) 对番茄潜叶蛾孵化率、化蛹率及羽化率的影响

Fig. 2 The effects of cyantraniliprole (A), chlorantraniliprole (B) and tetrachlorantraniliprole (C) on hatching rate, pupation rate and eclosion rate of *Tuta absoluta* with root drenching

3 结论与讨论

本研究结果显示,氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺和四氯虫酰胺对番茄潜叶蛾幼虫毒杀效果显著,其中氯虫苯甲酰胺毒力最高。表明酰胺类杀虫剂对番茄潜叶蛾幼虫具有很好的防治效果,这与郭文秀等(2023)研究结果一致。

内吸性指植物的某一部位或多个部位吸收药剂后,药剂以单方向、双向或任意方向在植物体内传导,实现对植物的全面保护,并杀死害虫(白婷婷等, 2019)。灌根施药是一种专用于内吸性药剂的施药方式,通过根部施药使根系吸收药剂,通过“生物抽提”的方式将药剂运输到目标作用部位,对害虫产生毒杀作用(宗建平等, 2009)。与喷雾方法相比,灌根施药用药范围集中、药液损失较少、药效持久,且用药期间对害虫天敌和传粉昆虫等具有较高的安全性(杨庆喜等, 2019)。

双酰胺类杀虫剂通过激活昆虫鱼尼丁受体,导致细胞内质网等钙库中的钙离子外流,扰乱动

作电位的钠钾平衡,抑制昆虫肌肉收缩,引起麻痹,最终导致昆虫死亡(Ribeiro *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2019),对鳞翅目害虫具有显著的触杀、胃毒和内吸活性,防治高效且安全。目前,常用的双酰胺类杀虫剂包括氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、四氯虫酰胺和四唑虫酰胺等。前期研究发现,亚致死浓度氯虫苯甲酰胺可显著延长亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的幼虫发育历期和蛹期,并显著降低产卵量(支昊宇等, 2021)。斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 经溴氰虫酰胺 LC₄₀ 处理后,产卵量和卵孵化率均显著低于对照,发育历期显著延长(桑松等, 2014)。近年来,随着化学农药的大量使用,鳞翅目害虫如番茄潜叶蛾对双酰胺类杀虫剂产生了显著抗性。例如,在尼日利亚,田间番茄连续 2 年使用酰胺类杀虫剂后,番茄潜叶蛾种群对氯虫苯甲酰胺的抗性已显著增加,可达到 16.9 倍(Oke *et al.*, 2020)。我国研究发现,云南和新疆的番茄潜叶蛾种群对氯虫苯甲酰胺已达高抗水平,抗性倍数分别为 212 和 169 倍(李晓维等, 2022)。因此,亟需开发精准高效的防治措施。本研究采用灌根法处理番

茄苗,发现溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺能够显著降低番茄潜叶蛾的卵孵化率、化蛹率及羽化率,尤其是2倍 LC_{90} 药剂处理,卵无法正常孵化,全部死亡,在造成危害前番茄潜叶蛾几乎死亡。研究表明,在番茄苗期利用这3种内吸性杀虫剂进行灌根处理,然后将番茄苗定植移栽到温室大棚,可使其成为“引诱陷阱”,诱集番茄潜叶蛾产卵,从而降低温室大棚中番茄潜叶蛾的种群数量。

番茄是我国的大宗蔬菜,研究科学合理的施药方法控制番茄潜叶蛾的发生,既能保障番茄供给,也能减少农药使用对番茄食用安全的影响。本研究发现,溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺3种内吸性杀虫剂在番茄苗期进行灌根处理,可有效毒害番茄潜叶蛾的卵,从而压制其早期种群数量,为番茄潜叶蛾的科学治理提供了新思路和新方法。未来还需进一步研究该防治措施的田间持效期,提高其对番茄潜叶蛾的防治效果。

参考文献 (References)

- Bai TT, Liu WT, Mao XH, Li JJ, Cao CD, Zhang AS, 2019. Laboratory toxicity and field efficacy of several systemic insecticides on *Myzus persicae*. *Shandong Agricultural Sciences*, 51(4): 128–131. [白婷婷, 刘文涛, 毛晓红, 李娇娇, 曹长代, 张安盛, 2019. 几种内吸药剂对烟蚜的室内毒力及田间防效. 山东农业科学, 51(4): 128–131.]
- Barati R, Hejazi MJ, Mohammadi SA, 2018. Insecticide susceptibility in *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and metabolic characterization of resistance to diazinon. *Journal of Economic Entomology*, 111(4): 1551–1557.
- 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.
- Chhetri LB, 2018. Tomato leafminer (*Tuta absoluta*) an emerging agricultural pest: Control and management strategies: A review. *World Scientific News*, 114: 30–43.
- Choudhary K, Kumar S, Sharma D, Ruchika K, Thakur K, Yangchan J, 2022. A review on destructive tomato pest, *Phthorimaea absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and its management. *Journal of Biological Control*, 36: 84.
- 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.
- Guedes RNC, Roditakis E, Campos MR, Haddi K, Bielza P, Siqueira HAA, Tsagkarakou 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.
- Guo WX, Xia XJ, Li LL, Xu WX, Song YY, Cui HY, Lü SH, Yu Y, Men XY, 2023. Effective pesticide screening for common control of *Tuta absoluta* and other four pests of tomato. *Shandong Agricultural Sciences*, 55(11): 40–48. [郭文秀, 夏小菊, 李丽莉, 徐文鑫, 宋莹莹, 崔洪莹, 吕素洪, 于毅, 门兴元, 2023. 番茄潜叶蛾及其他4种番茄常发害虫的高效兼治药剂筛选. 山东农业科学, 55(11): 40–48.]
- Karanu SW, Ajene IJ, Lelmen EK, Ong'onge MA, Akutse KS, Khamis FM, 2024. Biochemistry and transcriptomic analyses of *Phthorimaea absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) response to insecticides. *Scientific Reports*, 14(1): 7931.
- Kumari DA, Suresh V, Anitha G, Nayak M, Lavanya AVN, Mamatha A, 2022. Efficacy of different insecticide modules on tomato pin worm, *Phthorimaea absoluta*. *Indian Journal of Ecology*, 49(4): 1464–1467.
- Li JM, Xiang CY, Wang XY, Guo YM, Huang ZJ, Liu L, Li X, Du YC, 2021. Current situation and prospect of Chinese tomato industry during the 13th five-year plan, *China Vegetables*, 384(2): 13–20. [李君明, 项朝阳, 王孝宣, 国艳梅, 黄泽军, 刘磊, 李鑫, 杜永臣, 2021. “十三五”我国番茄产业现状及展望. 中国蔬菜, 384(2): 13–20.]
- Li XW, Ma L, Lv 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.]
- Oke OA, Oladigbolu AA, Hamisu HS, 2020. Evaluation of Resistance and Toxicity of Different Insecticides on *Tuta absoluta* Meyrick Populations in Major Tomato Growing States of Nigeria. Switzerland: Springer Cham. 45–55.
- Prasannakumar NR, Jyothi N, Prasadbabu K, Ramkumar G, Asokan R, Saroja S, Sridhar V, 2023. Evidence-based insecticide resistance in South American tomato leaf miner, *Phthorimaea absoluta* (Meyrick) under laboratory selection. *Bulletin of*

- Entomological Research*, 113(3): 419–429.
- Ribeiro LMS, Wanderley-Teixeira V, Ferreira HN, Teixeira AAC, Siqueira HAA, 2014. Fitness costs associated with field-evolved resistance to chlorantraniliprole in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 104(1): 88–96.
- Sang S, Shu BS, Hu MY, Wang Z, Zhong GH, 2014. Sublethal effects of cyantraniliprole on the development and reproduction of the cabbage cutworm, *Spodoptera litura*. *Journal of South China Agricultural University*, 35(5): 64–68. [桑松, 舒本水, 胡美英, 王政, 钟国华, 2014. 溴氰虫酰胺对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的亚致死效应. 华南农业大学学报, 35(5): 64–68.]
- Yang QX, Li DY, Ji MS, Zhang ZH, Gu ZM, 2019. Systemic distribution of imidacloprid in strawberry plants and its control effect against aphid with foliar spraying or root drenching. *Plant Protection*, 45(4): 250–254. [杨庆喜, 李东阳, 纪明山, 张志宏, 谷祖敏, 2019. 喷雾和灌根施药后吡虫啉在草莓植株中的分布及其对草莓蚜虫的防效. 植物保护, 45(4): 250–254.]
- Yang ZB, Zhao Y, Li P, He YJ, 2019. Design, synthesis, and insecticidal activity of novel isoxazole derivatives containing bisamide moiety. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 56(11): 3042–3047.
- Zhang GF, Liu WX, Guo JY, Zhang YB, Wan FH, 2013. Species-specific COI primers for rapid identification of *Tuta absoluta* (Meyrick), a significant, potential alien species. *Journal of Biosafety*, 22(2): 80–85. [张桂芬, 刘万学, 郭建洋, 张毅波, 万方浩, 2013. 重大潜在入侵害虫番茄潜叶蛾的 SS-COI 快速检测技术. 生物安全学报, 22(2): 80–85.]
- Zhang GF, Liu WX, Wan FH, Xian XJ, 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, 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, Ma DY, Liu WX, Wang YS, Fu WJ, Wang J, Gao YH, Wan FH, 2019. The arrival of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in China. *Journal of Biosafety*, 28(3): 200–203. [张桂芬, 马德英, 刘万学, 王玉生, 付文君, 王俊, 高有华, 万方浩, 2019. 中国新发现外来入侵害虫——南美番茄潜叶蛾(鳞翅目: 麦蛾科). 生物安全学报, 28(3): 200–203.]
- Zhang GF, Zhang YB, 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 JH, Zhan YD, Liu Y, 2023. Biological and ecological characteristics and behavior regulation techniques of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Shandong Agricultural Sciences*, 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.]
- Zhi HY, Ding XH, Chen P, Ye ML, Yan YY, Jiang WH, 2021. Effects of chlorantraniliprole on activities of detoxification enzymes and growth and reproduction of *Ostrinia furnacalis*. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 44(1): 89–96. [支昊宇, 丁新华, 陈萍, 叶茂林, 闫阳阳, 姜卫华, 2021. 氯虫苯甲酰胺对亚洲玉米螟解毒酶活性及生长发育的影响. 南京农业大学学报, 44(1): 89–96.]
- Zong JP, Wei SJ, Wang JY, Luo WC, 2009. Systemic distribution of imidacloprid in tomato crop and its control effect against *Bemisia tabaci* with foliar spraying or root pouring. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 11(2): 219–224. [宗建平, 魏书娟, 王景阳, 罗万春, 2009. 喷雾和灌根施药后吡虫啉在番茄植株中的分布及其对烟粉虱的防效. 农药学学报, 11(2): 219–224.]