

番茄潜叶蛾在山东地区温室大棚内 发生情况及不同防控措施防效研究*

李 岳^{1,2**} 田海月³ 王连刚³ 韩 鹏⁴ 杨春红²
周洪旭² 张桂芬⁵ 吕昭智^{2***} 马德英^{1***}

(1. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 青岛农业大学植物医学学院, 青岛 266109;
3. 青岛市农业技术推广中心, 青岛 266071; 4. 云南大学生态与环境学院, 云南省果蔬花入侵害虫防控国际联合实验室,
昆明 650091; 5. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 农业农村部外来入侵生物
防控重点实验室, 农业农村部外来入侵生物预防与控制研究中心, 北京 100193)

摘 要 【目的】明确番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 在山东地区的地理分布、在温室大棚内番茄不同种植模式下(茬口)的种群动态和不同防治技术的控害效率,为番茄潜叶蛾的综合防治提供科学依据。【方法】在山东省选取 17 个调查监测点,利用性诱剂监测番茄潜叶蛾潜在分布区,并在番茄集约化种植的平度市系统监测番茄潜叶蛾在不同防治技术控害效率下的种群动态。【结果】在 17 个监测点中,有 9 个监测点监测到番茄潜叶蛾发生,主要集中在潍坊、淄博、聊城和青岛等番茄种植面积较多的地区。山东地区温室大棚番茄种植模式主要分为越冬长茬、冬春茬和秋冬茬 3 种,在越冬长茬和秋冬茬模式下,10 月初至 12 月底番茄潜叶蛾发生量较少,为害较轻,每 2 周诱蛾量在 5 头以下;在越冬长茬和冬春茬模式下,1 月上旬至 2 月底番茄潜叶蛾发生量较少,每 2 周诱蛾量低于 5 头,3-6 月为主要发生期,每 2 周诱蛾量达 30 头以上。覆盖防虫网能降低番茄潜叶蛾的成虫数量和被害株率,被害株率最高降低 57.1%;迷向技术可有效降低番茄潜叶蛾的种群数量及其为害程度,防治效率在 60%以上。【结论】番茄种植集中的地区推广秋冬茬种植,减轻番茄潜叶蛾对番茄的为害;防虫网能够有效降低番茄潜叶蛾的成虫数量和番茄被害株率,被害株率最高降低 57.1%;迷向技术的使用使温室被害株率显著下降,防治效果在 60%以上可作为防治的关键技术。

关键词 番茄潜叶蛾; 种群动态; 性信息素诱捕; 温室大棚

The occurrence of *Tuta absoluta* in greenhouse tomato crops in Shandong Province and the efficacy of different methods of controlling this pest

LI Yue^{1,2**} TIAN Hai-Yue³ WANG Lian-Gang³ HAN Peng⁴ YANG Chun-Hong²
ZHOU Hong-Xu² ZHANG Gui-Fen⁵ LÜ Zhao-Zhi^{2***} MA De-Ying^{1***}

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 3. Qingdao Agricultural Technology Extension Center, Qingdao 266071, China;
4. Yunnan International Joint Laboratory of Fruit-Vegetable-Flower Invasive Insect Pest Management, School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650091, China; 5. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Key Laboratory of Invasive Alien Species Management and Center for Management of Invasive Alien Species, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划子课题(2021YFD1400202); 云南省果蔬花入侵害虫防控国际联合实验室项目(202303AP140018)

**第一作者 First author, E-mail: lee5782@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: mdyxnd@163.com; zhaozhi@qau.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-05-20; 接受日期 Accepted: 2024-07-03

Abstract [Aim] To clarify the geographic distribution of *Tuta absoluta* in Shandong Province, to monitor its population dynamics in greenhouses under different planting patterns (crop rotations), and to evaluate the efficacy of different control methods for this pest. [Methods] The distribution of *T. absoluta* was determined using sex pheromone traps deployed at seventeen sites across Shandong Province. In addition, systematic monitoring of its population dynamics was conducted in Pingdu City, an area of intensive tomato cultivation. [Results] *T. absoluta* was detected at 9 of the 17 survey sites, primarily in regions with intensive tomato cultivation such as Weifang, Zibo, Liaocheng and Qingdao. Based on local differences in tomato cultivation in greenhouses, tomato planting systems can be categorized into overwintering (OW), winter-spring (WS), and autumn-winter (AW), planting. In the OW and SA systems, there was minimal occurrence of *T. absoluta* from early October to late November, and a relatively low percentage of damaged tomatoes in December. In these planting systems, the number of moths captured every two weeks was consistently below five. In the OW crop and AW planting systems, *T. absoluta* numbers were low from early January to late February, with less than 5 moths captured every two weeks. The peak of occurrence in these planting systems was from March to June, with more than 30 moths captured every two weeks. Covering tomato plants with insect-proof nets significantly reduced the adult population and the reduced the proportion of damaged plants by up to 57.1%. The efficacy of orientation-based techniques in pest control exceeds 60%, effectively reducing the population size and impact of invasive species. [Conclusion] *T. absoluta* could rapidly become a serious pest in Shandong Province. It is crucial, therefore, to effectively monitor the occurrence of this pest in different areas in order to facilitate effective, integrated, pest management.

Key words *Tuta absoluta*; population dynamics; pheromone trapping; greenhouse

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 起源于南美洲秘鲁, 于 21 世纪初, 随着农产品贸易的发展扩散至 90 多个国家和地区 (Xian *et al.*, 2017; Han *et al.*, 2019; 陆永跃, 2021), 2017 年在我国新疆伊犁地区首次被发现, 目前已扩散到云南、宁夏、广西和北京等 20 个省 (直辖市、自治区) (Wang *et al.*, 2024)。番茄潜叶蛾主要取食番茄、茄子和马铃薯等茄科植物 (Desneux *et al.*, 2010; Abbes *et al.*, 2016; Cherif *et al.*, 2019), 其幼虫咬破叶片表皮潜入叶片取食叶肉, 吃空叶肉留下透明状上下表皮, 严重影响光合作用 (Campos *et al.*, 2017)。叶片被取食只剩叶脉与叶柄后继而危害嫩芽、嫩梢、嫩茎及幼果等部位 (张桂芬等, 2018; 海永强和刘媛, 2022), 对植株造成严重危害。番茄潜叶蛾是一种新入侵的 (亚) 热带害虫, 在中低纬度温暖地区可终年繁育 (Biondi *et al.*, 2018), 在高纬度地区因冬季低温无法在大田中越冬。温室可为番茄潜叶蛾提供越冬庇护场所 (刘孝贤等, 2021), 促进其种群向高纬度地区传播和蔓延。

山东省地处温带季风气候区, 是我国蔬菜生产和出口大省, 设施蔬菜年播种面积约 93.33 万

hm² (高中强等, 2017), 设施蔬菜的种类多样, 包括番茄、辣椒和茄子等茄科植物 (何启伟等, 2014)。山东是全国最大的番茄苗繁育和集散中心, 如番茄潜叶蛾在番茄苗期未得到有效防控, 山东将成为番茄潜叶蛾的天然“养虫笼”和最大“批发市场” (Zhang *et al.*, 2020)。鉴于山东省在农业生产和贸易中的重要地位, 加强番茄潜叶蛾的监测与防控尤为紧迫 (石朝鹏等, 2023)。此外当前针对番茄潜叶蛾的防治措施主要以化学防治为主, 但过多使用化学杀虫剂易使该虫产生抗药性。性诱剂、迷向技术和防虫网等防治措施是农产品无公害生产的重要防治措施之一。迷向技术是通过在一定范围内大量释放性信息素, 干扰雌雄成虫间正常的化学通讯, 使之无法定向找到雌虫交尾。防虫网是通过人工构建的隔离屏障切断害虫潜入, 将害虫拒之网外, 并减少病害的传播。

山东省番茄日光温室 (冬暖棚型) 栽培主要采用 3 种模式: 冬春茬 (生育期为 12 月至翌年 6 月)、秋冬茬 (生育期为 9 月至翌 2 月) 和越冬长茬 (生育期为 10 月至翌年 6 月) (江丽华等, 2020)。番茄潜叶蛾可在山东省内全年定殖、繁殖, 为害作物。番茄潜叶蛾于 2023 年 6 月 22

日首次发现入侵山东省,然而,目前番茄潜叶蛾在山东省的分布和发生规律尚不明确,直接影响了其综合防治技术的推广和落实。因此,亟需系统研究番茄潜叶蛾的种群动态和为害情况。本研究利用性诱芯与粘虫板组合,对 2023-2024 年番茄潜叶蛾在山东省的发生动态进行了监测,调查其地理分布,并分析了不同温棚种植模式下番茄潜叶蛾的种群动态和为害程度,评估了不同管理技术(种植茬口,迷向技术和防虫网)的防控效果,为番茄潜叶蛾的综合防控提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 性诱芯和粘虫板 供试诱芯购自中国科学院动物研究所,为单一组分性诱芯,主要成分为性信息素 [反-3,顺-8,顺-11-十四碳三烯乙酸酯, (3E,8Z,11Z)-3,8,11-tetradecatrienylacetate],以绿色钟形天然硅橡胶塞为载体,有效成分含量 500 µg/个,持效期 30 d。粘虫板为长方形蓝色色

板 (20 cm × 25 cm),购自北京中捷四方生物科技股份有限公司,波长约为 480 nm。

1.1.2 诱捕器 性诱芯横贴在蓝板中央,蓝板放置在三角形诱捕器(购自北京中捷四方生物科技股份有限公司)装置内侧底部,将诱捕器放置于垄间地面,每 2 周换一次蓝板,每月换一次诱芯。

1.1.3 迷向丝和防虫网 迷向丝采用聚氯乙烯管状材质,活性组分为反-3,顺-8,顺-11-十四碳烯乙酸酯和反-3,顺-8-十四碳烯乙酸酯,持效期 6 个月,购自北京中捷四方生物科技股份有限公司。尼龙防虫网 (30 目) 购自堂正丝网有限公司。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 番茄潜叶蛾的分布监测 在山东省选取 17 个样地设置番茄潜叶蛾监测点 (表 1),监测时间为 2023 年 8 月 15 日至 9 月 15 日和 2024 年 1 月 20 日至 2 月 20 日,监测调查在冬春茬番茄大棚中进行。每个监测点布设 3 套三角形诱捕器,诱捕器平放于地面,诱捕器之间的间距不少于 20 m,每隔 14 d 调查 1 次,记录 2 周诱蛾总量。

表 1 山东省番茄潜叶蛾性诱监测点位置
Table 1 Pheromone trap locations for monitoring on *Tuta absoluta* population in Shandong

地点 Location	纬度 Latitude	经度 Longitude	放置时间(年.月.日) Time (year.month.day)
青岛市平度市 Pingdu City, Qingdao	36.69° N	119.75° E	2023.8.15
青岛市即墨区 Jimo District, Qingdao	36.52° N	120.18° E	2023.8.15
潍坊市奎文区 Kuiwen District, Weifang	36.75° N	119.13° E	2023.8.15
枣庄市薛城区, Xuecheng District, Zaozhuang	34.68° N	117.40° E	2023.8.18
淄博市沂源县 Yiyuan County, Zibo	36.21° N	118.11° E	2023.8.17
济宁市兖州区 Yanzhou District, Jinjing	35.54° N	116.75° E	2023.8.20
菏泽市单县 Shan County, Heze	34.86° N	116.16° E	2023.8.19
菏泽市巨野县 Juye County, Heze	35.17° N	115.85° E	2024.1.31
日照市莒县 Ju County, Rizhao	35.52° N	118.87° E	2023.8.17
临沂市兰山区 Lanshan District, Linyi	35.22° N	118.23° E	2023.8.18
临沂市费县 Fei County, Linyi	35.25° N	117.96° E	2023.8.17
泰安市东平县 Dongping County, Tai'an	36.06° N	116.44° E	2023.8.20
泰安市岱岳区 Daiyue District, Tai'an	36.22° N	117.25° E	2024.1.27
聊城市高唐县 Gaotang County, Liaocheng	36.86° N	116.23° E	2024.1.20
聊城市东阿县 Dong'e County, Liaocheng	36.12° N	116.20° E	2024.2.7
聊城市莘县 Shen County, Liaocheng	36.22° N	115.66° E	2024.2.13
德州市平原县 Pingyuan County, Dezhou	37.25° N	116.46° E	2024.2.3

1.2.2 不同种植模式(茬口)下番茄潜叶蛾的种群动态和被害株率 通过初期监测发现,平度市的监测点诱蛾量最多,为明确其种群发生动态,在青岛平度市的众乐园果蔬合作社、大黄埠果蔬专业合作社和平度市前洼村番茄大棚内对番茄潜叶蛾进行了长期监测(2023 年 11 月至 2024 年 6 月)(表 2)。山东地区温室大棚番茄种植模式主要分为越冬长茬、冬春茬和秋冬茬 3 种。大棚内番茄种植方式主要为塑料地膜覆盖畦面土壤种植,采用滴灌系统浇水。温室大棚棚长 120 m,棚宽 18 m,番茄株距 40 cm,行距

80 cm。
成虫发生动态监测:将三角形诱捕器统一编号并放置在番茄植株行与行之间的地面上,每个温室大棚设 3 个诱捕器,诱捕器之间间隔 10 m,每隔 14 d 调查 1 次,记录 2 周诱蛾总量;幼虫发生动态监测:采用“W”形取样法选取 5 个点,每个点调查 10 株番茄,记录被害株数。幼虫发生指标按照中华人民共和国农业农村部 2023 年发布的《2023 年番茄潜叶蛾绿色防控技术方案》中的防治指标划分。试验期间记录农户用于防控番茄潜叶蛾的杀虫剂种类。

表 2 平度市番茄潜叶蛾性诱监测点位置(2023-2024)

Table 2 Locations of *Tuta absoluta* sex pheromone monitoring sites in Pingdu (2023-2024)

地点 Location	纬度 Latitude	经度 Longitude	编号 No.	茬口 Crops for rotation
平度众乐园果蔬合作社 Pingdu Zhongleyuan Fruit and Vegetable Cooperative	36.75° N	119.13° E	1-1-1	越冬长茬 Overwintering plant
			1-1-2	越冬长茬 Overwintering plant
			1-1-3	越冬长茬 Overwintering plant
			1-2-1	冬春茬 Winter-spring plant
			1-2-2	冬春茬 Winter-spring plant
			1-2-3	冬春茬 Winter-spring plant
			1-3-1	秋冬茬 Autumn-winter plant
			1-3-2	秋冬茬 Autumn-winter plant
			1-3-3	秋冬茬 Autumn-winter plant
平度市前洼村 Qianwa Village, Pingdu	34.68° N	117.40° E	2-1-1	越冬长茬 Overwintering plant
			2-1-2	越冬长茬 Overwintering plant
			2-1-3	越冬长茬 Overwintering plant
			2-2-1	越冬长茬 Overwintering plant
			2-2-2	越冬长茬 Overwintering plant
			2-2-3	越冬长茬 Overwintering plant
大黄埠果蔬专业合作社 Dahuangbu Fruit and Vegetable Professional Cooperative	36.52° N	120.18° E	3-1-1	越冬长茬 Overwintering plant
			3-1-2	越冬长茬 Overwintering plant
			3-1-3	越冬长茬 Overwintering plant
			3-2-1	越冬长茬 Overwintering plant
			3-2-2	越冬长茬 Overwintering plant
			3-2-3	越冬长茬 Overwintering plant

1.2.3 防虫网对番茄潜叶蛾的防控效果 在青岛市平度市前洼村番茄大棚开展防虫网对番茄潜叶蛾的防效试验,试验棚番茄茬口为越冬长茬。选取番茄种植大棚进行覆网,另设置一组对

照大棚,规格和大小一致。在覆网大棚两侧底窗通风处、棚顶端通风口处及棚入口处分别覆盖宽 1.5、1.0 和 1.5 m 的银白色防虫网(30 目),对照棚不防置防虫网。成虫发生动态监测:将三角

形诱捕器统一编号并放置在番茄植株行与行之间的地面上,每个温室大棚设3个诱捕器,每隔14 d调查1次,记录2周诱蛾总量;幼虫发生动态监测:采用“W”形取样法选取5个点,每个点调查10株番茄,记录被害株数。幼虫发生指标按照中华人民共和国农业农村部2023年发布的《2023年番茄潜叶蛾绿色防控技术方案》中的防治指标划分。

1.2.4 迷向丝对番茄潜叶蛾的防控效果 在青岛市大埠埠果蔬专业合作社开展迷向丝对番茄潜叶蛾的防控试验,试验棚番茄茬口为越冬长茬,大棚面积0.33 hm²。将迷向丝捆绑在距番茄植株顶端30 cm处,并根据植物的生长情况不断调整其高度。迷向丝悬挂密度为40根/667 m²,共使用200根。另选取1组规格和大小一致的番茄大棚作为对照,棚内不放置迷向丝。成虫发生动态监测:将三角形诱捕器统一编号并放置在番茄植株行与行之间的地面上,每个温室大棚设3个诱捕器,每隔14 d调查1次,记录2周诱蛾总量;幼虫发生动态监测:采用“W”形取样法选取5个点,每个点调查10株番茄,记录被害株数。幼虫发生指标按照中华人民共和国农业农村部2023年发布的《2023年番茄潜叶蛾绿色防控技术方案》中的防治指标划分。

1.3 数据分析

利用GPS工具箱软件(小狼信息技术(深圳)有限公司)对17个试验监测点定位,记录每个监测点的经纬度信息。利用ArcGIS10.4(Esri公司)绘制番茄潜叶蛾在山东省的分布图。采用Excel 2021和Origin 2022(OriginLab公司)软件对数据进行统计分析,以Kolmogorov-Smirnov检验数据是否符合正态分布,不同处理间以成对数据T检验进行差异显著性分析($P < 0.05$)。

番茄被害株率和诱蛾下降率计算方法如下:

$$\text{被害株率}(\%) = \frac{\text{被害株数}}{\text{调查株数}} \times 100,$$

$$\text{诱蛾量下降率}(\%) = \frac{\text{对照区诱蛾量} - \text{处理区诱蛾量}}{\text{对照区诱蛾量}} \times 100。$$

2 结果与分析

2.1 番茄潜叶蛾在山东省的分布监测

在17个监测点中,有9个监测点诱集到番茄潜叶蛾成虫(表3)。此外,其他地区植保站也报告监测到了番茄潜叶蛾,包括德州临邑县、潍坊昌邑市、青岛莱西市和烟台牟平区(表3)。

2023年8月至2024年2月,9个监测点2周共诱集到成虫1727头,其中青岛平度市平均单个诱捕器诱蛾量最多,为195.3头、奎文区120.7头、即墨区84.3头、岱岳区71.3头、莘县38.3头、沂源县30.3头、费县18.3头、莒县9.0头及东阿县7.3头(图1)。平度市大棚内番茄被害株率为66.7%、奎文区43.3%、即墨区36.7%、岱岳区33.3%、莘县23.3%、费县20.0%、沂源县与莒县均为13.3%及东阿县为10.0%(图1)。

2.2 不同种植模式(茬口)下番茄潜叶蛾的种群动态和被害株率

棚内番茄在不同茬口种植模式下,番茄潜叶蛾的种群动态和被害株率存在差异(图2:A,B)。越冬长茬番茄于2023年9月开始定植,2023年9-11月番茄潜叶蛾轻度发生,每2周诱蛾量均低于5头;2023年12月至2024年3月中度发生,每2周诱蛾量为5-30头;2024年4-6月重度发生,每2周诱蛾量在30头以上,高峰期达200头以上。秋冬茬番茄在2023年9月开始定植,2023年9-10月番茄潜叶蛾轻度发生,每2周诱蛾量均在5头以下;2023年11月至2024年2月为中度发生,每2周诱蛾量为5-30头;冬春茬番茄在2023年12月开始定植,番茄潜叶蛾在2023年12月至2024年2月为轻度发生,每2周诱蛾量均低于5头;2024年3月上旬中度发生,每2周诱蛾量为5-30头;2024年3月下旬至6月重度发生,高峰期间每2周诱蛾量达150头以上(图2:A)。番茄潜叶蛾在越冬长茬番茄上的发生期为2023年10月中旬至2024年6月,共有3次发生高峰期。成虫自2023年10月15日开始发生,第1次成虫羽化高峰期在12月中下旬,最大峰值出现在12月17日,平均单个诱捕

表 3 番茄潜叶蛾在山东省的分布表 (2023-2024)
Table 3 Distribution table of areas infested by *Tuta absoluta*

编号 No.	地点 Location	纬度 Latitude	经度 Longitude	放置时间 (年.月.日) Time (year. month. day)	来源 Source
1	青岛市平度市 Pingdu City, Qingdao	36.69° N	119.75° E	2023.8.15	自行监测 Self-monitoring
2	青岛市即墨区 Jimo District ,Qingdao	36.52° N	120.18° E	2023.8.15	
3	潍坊市奎文区 Kuiwen District, Weifang	36.75° N	119.13° E	2023.8.15	
4	淄博市沂源县 Yiyuan County, Zibo	36.21° N	118.11° E	2023.8.17	
5	日照市莒县 Ju County, Rizhao	35.52° N	118.87° E	2023.8.17	
6	临沂市费县 Fei County, Linyi	35.25° N	117.96° E	2023.8.17	
7	泰安市岱岳区 Daiyue District, Tai'an	36.22° N	117.25° E	2024.1.27	植保站 Plant protecting station
8	聊城市东阿县 Dong'e County, Liaocheng	36.12° N	116.20° E	2024.2.7	
9	聊城市莘县 Shen County, Liaocheng	36.22° N	115.66° E	2024.2.13	
10	潍坊市昌邑市 Changyi City, Weifang	36.65° N	119.45° E	2024.3.2	
11	青岛市莱西市 Laixi City, Qingdao	36.90° N	120.61° E	2024.2.2	
12	烟台市牟平区 Mouping District, Yantai	37.35° N	121.84° E	2023.9.13	
13	潍坊市青州市 Qingzhou City, Weifang	36.66° N	118.60° E	2024.2.17	
14	德州市临邑县 Linyi County, Dezhou	37.09° N	116.87° E	2024.1.7	

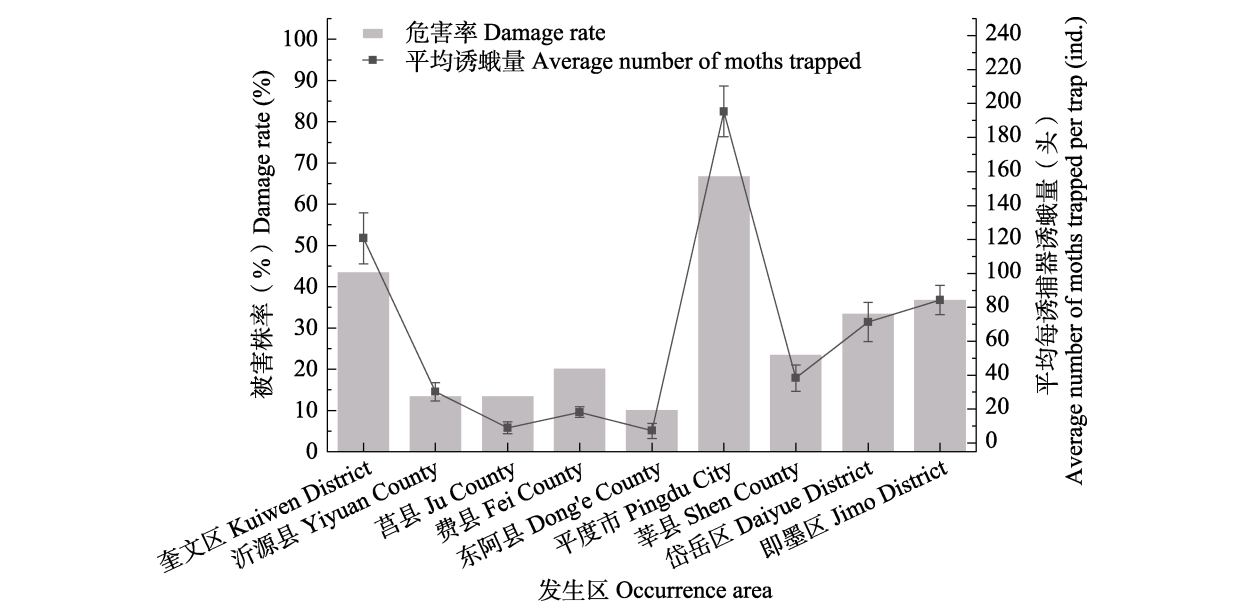


图 1 山东省番茄潜叶蛾发生区温室大棚内成虫诱集量及被害株率
Fig. 1 The adult number caught by delta traps and damage proportion in Shandong

器的诱蛾量为 17.3 头，番茄被害株率为 30%；第 2 次在翌年 3 月中下旬，最大峰值出现在 3 月 17 日，平均单个诱捕器的诱蛾量为 40.7 头，番茄被害株率为 26.6%；第 3 次在 2024 年 6 月下旬，最大峰值在 6 月 30 日，平均单个诱捕器的诱蛾量为 720.0 头，番茄被害株率为 100.0%。番茄潜叶蛾的 3 次发生高峰期均正处于番茄结果盛期（图 2：A）。在冬春茬番茄上，番茄潜叶蛾

的发生期为 2024 年 2 月下旬至 6 月，共有 2 次发生高峰期。第 1 次成虫羽化高峰期在 4 月下旬，

番茄被害株率为 46.7%；第 2 次在 6 月上旬，番茄被害株率为 60.0%，且 2 次成虫发生高峰期均

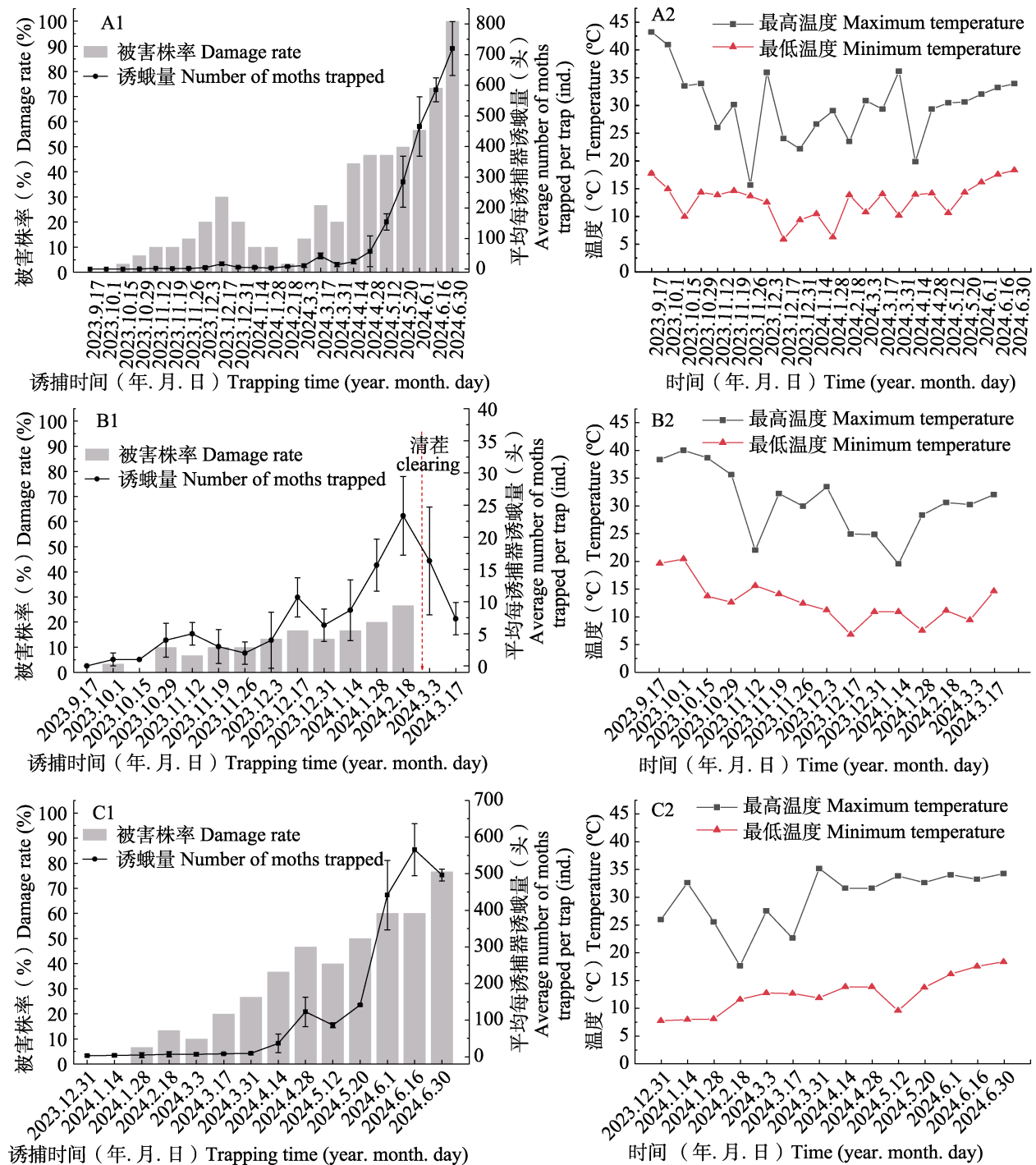


图 2 不同茬口种植模式下番茄潜叶蛾的种群动态和被害株率

Fig. 2 Dynamics of populations and damage rate of *Tuta absoluta* tomatoes across different cropping patterns

A1, A2. 越冬长茬; B1, B2. 秋冬茬; C1, C2. 冬春茬。平均每诱捕器诱蛾量为 2 周诱蛾总量。

A1, A2. Overwintering (OW); B1, B2. 秋冬茬 Autumn-winter (AW); C1, C2. 冬春茬 Winter-spring (WS).

The average amount of moths attracted per trap was 2 weeks.

正处于番茄结果盛期(图 2: B)。在秋冬茬番茄上,发生期为 2023 年 10 月下旬至 2024 年 3 月中旬,共有 2 次发生高峰期,第 1 次成虫羽化高峰期在 12 月中下旬,最大峰值出现在 12 月 17 日,平均单个诱捕器的诱蛾量为 11.5 头,番茄被害株率为 15.7%;第 2 次成虫羽化高峰期在翌年 2 月中下旬,最大峰值出现在 2024 年 2 月 18 日,番茄正处于结果盛期,平均单个诱捕器的诱蛾量为 23.3 头,番茄被害株率为 26.7%。

2.3 防虫网对番茄潜叶蛾的防控效果

防虫网能有效降低番茄潜叶蛾的种群数量(图 3: A)和番茄被害株率(图 3: B)。在番茄潜叶蛾轻度发生期(2023 年 10 月 29 日至 2024 年 3 月 17 日),番茄潜叶蛾的成虫种群数量无显著差异($t = 0.18$, $df = 41$, $P > 0.05$),且番茄被害株率低。2024 年 3 月 17 日之后,不安装防虫网的温室大棚内番茄潜叶蛾成虫数量提升至 61.3 头,安装防虫网的温室大棚内仅有少许成虫,二

者之间种群数量差异显著($t = 3.42$, $df = 128$, $P < 0.001$),被害株率差异显著($t = 2.25$, $df = 40$, $P < 0.05$)。在 4 月 15 日试验温室共同喷施 3%啉虫脲乳油兑水 2 000 倍液。

2.4 迷向丝对番茄潜叶蛾的防控效果

迷向丝能有效地降低番茄潜叶蛾的种群数量(图 4: A)和减轻番茄被害株率(图 4: B)。2023 年 9 月 17 日至 12 月 31 日,温室棚内诱捕器未诱集到番茄潜叶蛾成虫。2024 年 1 月 14 日,在未放置迷向丝的大棚内诱捕到番茄潜叶蛾,且种群数量逐渐上升,在 3 月 31 日略有下降,随后又逐渐上升,种群数量在 6 月 1 日最高,平均单个诱捕器诱蛾量为 437.7 头。试验期间,放置迷向丝大棚内的诱蛾量均显著低于对照大棚($t = 6.01$, $df = 4$, $P < 0.01$)。放置迷向丝大棚的番茄被害株率最高为 10.0%,而对照棚内的被害株率最高值达到 50%以上,被害株率显著低于对照大棚。

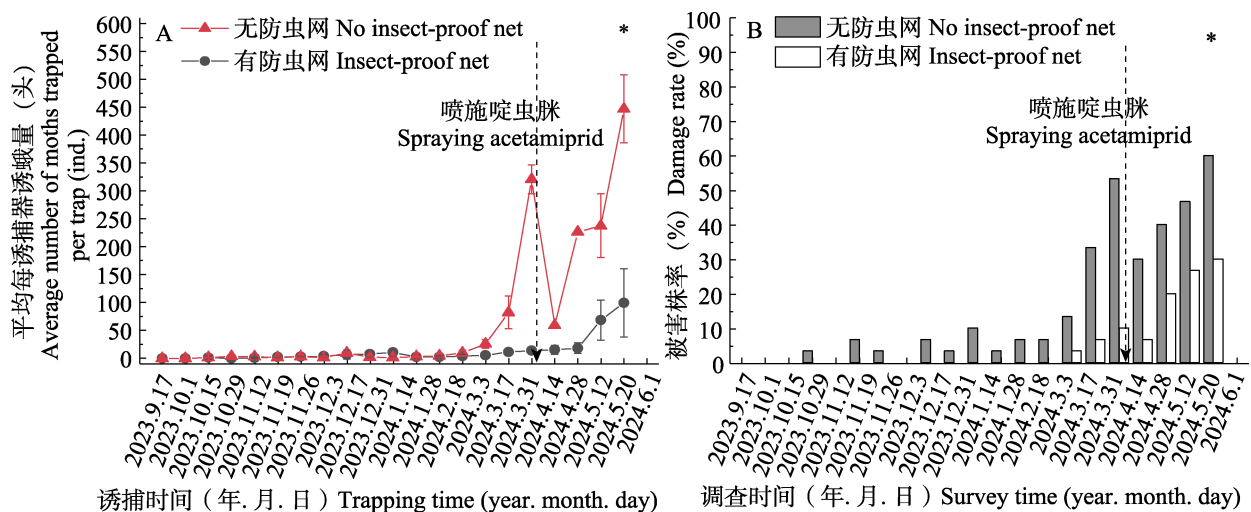


图 3 防虫网对番茄潜叶蛾种群动态 (A) 和番茄被害株率 (B) 的影响

Fig. 3 Population dynamics (A) and damage rate (B) of *Tuta absoluta* moths affected by the insect-proof nets

* 代表两组处理间经成对数据 T 测验检验差异显著 ($P < 0.05$)。下图同。

* indicates significant difference between treatments by paired-sample T -test ($P < 0.05$). The same below.

3 结论与讨论

在山东省选取的 17 个监测点中, 9 个监测点已监测到番茄潜叶蛾发生, 主要集中在番茄种植较为密集的地区, 包括潍坊、淄博、聊城和青

岛等地(李永程等, 2023)。在越冬长茬和冬春茬番茄温室大棚, 3-6 月是番茄潜叶蛾成虫主要发生期。防虫网的使用可减少越冬长茬番茄温室大棚内 57.1% 的虫口密度, 迷向丝对成虫密度有显著控制作用。

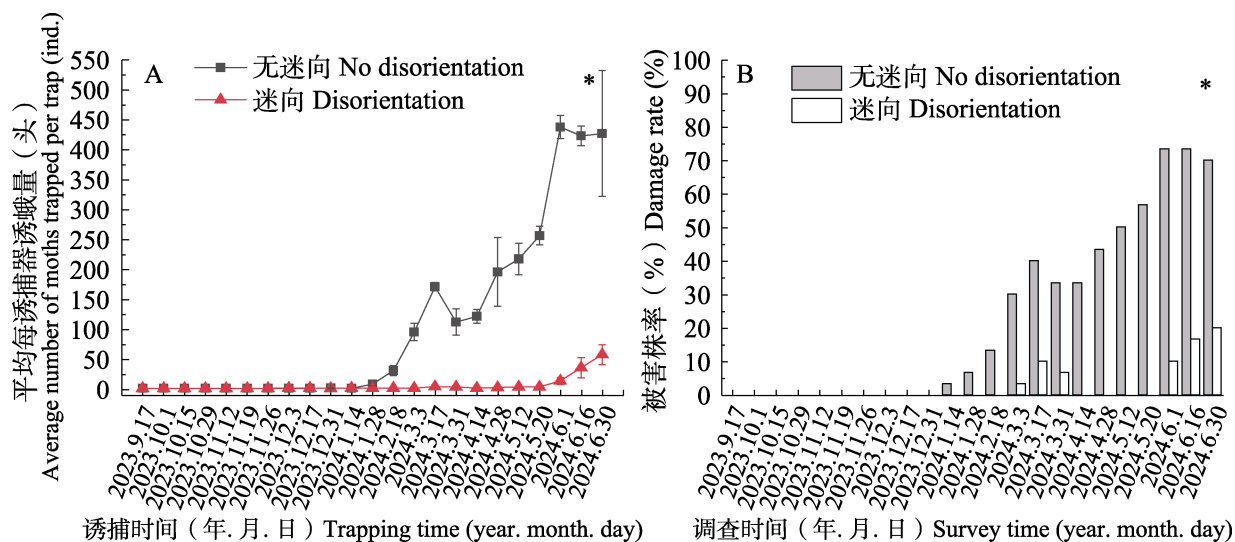


图4 迷向的有无对番茄潜叶蛾种群动态 (A) 和被害株率 (B) 的影响

Fig. 4 Population dynamics (A) and damage rate (B) of *Tuta absoluta* moths under disorientation and no disorientation

本研究发现番茄潜叶蛾已在山东省 14 个地区发生 (结合山东省植保站监测信息), 并且存在区域性发生。青岛平度市、潍坊奎文区及青岛平度区的番茄潜叶蛾发生量高于其他调查点, 虫期较短且集中。山东是全国蔬菜的主要种植区之一, 作为番茄苗繁育中心, 为番茄潜叶蛾的种群暴发和扩散提供了条件。因此, 对山东省番茄潜叶蛾的监测是重中之重, 对全国番茄潜叶蛾的防控具有重要意义。

番茄不同茬口种植影响了番茄潜叶蛾的发生程度, 这主要与大棚内的温度有关。在低温条件下, 番茄潜叶蛾的发育和繁殖受到影响, 导致虫量降低。对 3 种不同茬口种植模式下大棚内番茄潜叶蛾的监测结果表明, 番茄潜叶蛾发生动态呈明显季节性变化, 10 月初至 11 月底发生量较少为偶发期, 1 月上旬至 2 月底发生量也较少, 3-6 月为主要发生期。这一发现与其他地区番茄潜叶蛾成虫发生期监测结果相吻合 (张桂芬等, 2024), 可能与其最适生存温度为 23-27 °C 有关 (刘学琴和张治科, 2024), 9-12 月, 大棚内温度降低不利于种群增长。番茄潜叶蛾具有一定的耐寒性, 幼虫、蛹和成虫在 0 °C 时可存活 15 d 以上 (Van Damme *et al.*, 2015)。在 12 月至翌年 2 月温度虽然降低, 但没有达到致死温度, 只

能延缓或阻滞番茄潜叶蛾的发育与繁殖。3-6 月环境温度升高, 番茄潜叶蛾的种群数量开始急剧上升。通过对比 3 种不同茬口的诱蛾量可以得出, 在冬春茬番茄温室棚内, 3-6 月, 番茄潜叶蛾具有高暴发和高危害的特点, 此时期温度上升, 达到番茄潜叶蛾生长发育的最适温度, 造成棚内害虫暴增。结合实际生产, 建议冬春茬番茄种植时选择与其他蔬菜 (如甜瓜和西瓜) 轮作, 以减少番茄潜叶蛾的发生和为害, 同时改良土壤特性, 增加土壤肥力。此外, 建议在番茄种植集中的地区推广秋冬茬种植, 减轻番茄潜叶蛾对番茄的为害。

防虫网对温室内番茄潜叶蛾具有较好的防控效果。国内外研究表明, 防虫网能有效减少温室内害虫种群数量和为害, 包括烟粉虱 *Bemisia tabaci* (王广印等, 2016)、美洲斑潜叶蝇 *Liriomyza saivae* (张瑞敏等, 2015) 和桃蚜 *Myzus persicae* (Martin *et al.*, 2013) 等。本研究中, 防虫网能够有效降低番茄潜叶蛾的成虫数量和番茄被害株率, 被害株率最高降低 57.1%。但在安装防虫网的温室大棚, 番茄被害株率在 5 月之后开始上升, 可能是由于防虫网在大棚通风过程中没有盖实压紧, 导致外部番茄潜叶蛾侵入。因此, 建议农户在种植过程中将防虫网作为重要的基

础防护措施,并在5月份加强其防护效果,以减少害虫在不同温室间的传播风险。迷向丝的应用也能有效控制番茄潜叶蛾的种群增长和为害。在使用迷向丝的温室大棚,番茄被害株率显著下降,防治效果在60%以上,且迷向丝持效性较好,这与梁虎军等(2023)研究结果基本一致。本研究在越冬长茬番茄大棚内,以40根/667 m²的密度放置性信息素迷向丝进行番茄潜叶蛾的迷向防治(物化成本是80元/667 m²),结合其他研究成果,建议在实际生产过程中将密度调整为50根/667 m²,将害虫种群压低到最小水平(樊蓉蓉等,2024)。

本研究仅在设施栽培番茄上开展,需要在重点发生区域开展番茄潜叶蛾的田间监测,加强对露地番茄和其他茄科作物的系统调查。本研究仅通过使用30目网孔防虫网进行番茄潜叶蛾防控效果研究,关于目数、颜色和通风处理等研究如何还需进一步开展相关试验(王广印等,2016)。尽管迷向丝对番茄潜叶蛾的防治效果较好,但仍然存在一定的番茄被害株率,在番茄潜叶蛾成虫发生高峰期,应根据幼虫为害情况,结合必要药剂进行防治,切实降低番茄潜叶蛾种群数量,以减轻对番茄的为害。

参考文献 (References)

- Abbes K, Harbi A, Elimem M, Hafsi A, Chermiti B, 2016. Bioassay of three solanaceous weeds as alternative hosts for the invasive tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and insights on their carryover potential. *African Entomology*, 24(2): 334–342.
- 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.
- Campos MR, Biondi A, Adiga A, Guedes RNC, Desneux N, 2017. From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* 10 years after invading Europe. *Journal of Pest Science*, 90(3): 787–796.
- Cherif A, Verheggen F, 2019. A review of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) host plants and their impact on management strategies. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 23(4): 270–278.
- 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.
- Fan RR, Liu Y, Hai YQ, 2024. Preliminary study of the control effect of sex pheromone-mediated mating disruption technology on *Tuta absoluta*. *China Plant Protection*, 44(3): 57–62. [樊蓉蓉, 刘媛, 海永强, 2024, 性信息素迷向技术防治番茄潜叶蛾效果初报. 中国植保导刊, 44(3): 57–62.]
- Gao ZQ, Zheng HM, Hao GF, Ding XW, Liu GQ, Han YN, 2017. Current situation and transformation upgrade of Shandong vegetable industry development. *China Vegetables*, 2017(4): 7–11. [高中强, 郑华美, 郝国芳, 丁习武, 刘国琴, 韩亚楠, 2017. 山东蔬菜产业发展现状与转型升级. 中国蔬菜, 2017(4): 7–11.]
- Hai YQ, Liu Y, 2022. Morphological and biological characteristics of *Tuta absoluta*. *China Plant Protection*, 42(8): 24–28. [海永强, 刘媛, 2022. 番茄潜叶蛾的形态特征和生物学习性. 中国植保导刊, 42(8): 24–28.]
- Han P, Bayram Y, Shaltiel-Harpaz L, Sohrabi F, Saji A, Esenali UT, Jalilov A, Ali A, Shashank PR, Ismoilov K, Lu ZZ, Wang S, Zhang GF, Wan FH, Biondi A, Desneux N, 2019. *Tuta absoluta* continues to disperse in Asia: Damage, ongoing management and future challenges. *Journal of Pest Science*, 92(4): 1317–1327.
- He QW, Jiao ZG, Liu HR, 2014. The current status and prospects of vegetable seed industry development in Shandong. *China Vegetables*, 2014(10): 55–57. [何启伟, 焦自高, 刘华荣, 2014. 山东蔬菜种业发展现状与展望. 中国蔬菜, 2014(10): 55–57.]
- Jiang LH, Li N, Xu Y, Shi J, Yang Y, Wang M, Chen YZ, Zhang LL, Guo HJ, Song DT, Zhang HQ, Jiang X, Liu YS, 2020. Investigation and research on current status of fertilization for facility vegetable of Shandong province. *Shandong Agricultural Sciences*, 52(2): 90–96. [江丽华, 李妮, 徐钰, 石璟, 杨岩, 王梅, 陈永智, 张立联, 郭洪军, 宋东涛, 张洪启, 姜新, 刘延生, 2020. 山东省设施蔬菜施肥现状调查研究. 山东农业科学, 52(2): 90–96.]
- Li YC, Li Y, Sun YM, Huang Y, Liu YH, Liu ZY, Cao X, 2023. Current situation, existing problems and countermeasures of tomato planting in Shandong Province. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2023(7): 1–5. [李永程, 李扬, 孙延明, 黄莹, 刘一华, 刘振宁, 曹雪, 2023. 山东省番茄种植现状、存在问题及对策. 长江蔬菜, 2023(7): 1–5.]
- Liang HJ, Liu R, Zhao Z, Liu LJ, Luo SK, 2023. Control effect of

- sex pheromone disorientation technology on *Tuta absoluta* (Meyrick) 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.]
- Liu XQ, Zhang ZK, 2024. Effects of temperature on the growth and development of *Tuta absoluta*. *Journal of Environmental Entomology*, 46(1): 71–76. [刘学琴, 张治科, 2024. 温度对外来入侵生物番茄潜叶蛾生长发育的影响研究. 环境昆虫学报, 46(1): 71–76.]
- Liu XX, Han P, Zhang X, Zhang P, Luo D, Wang T, Lu ZZ, 2021. Prediction of geographical distribution and overwintering boundary of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Chinese Journal of Ecology*, 40(10): 3243–3251. [刘孝贤, 韩鹏, 张鑫, 张苹, 罗迪, 王婷, 吕昭智, 2021. 番茄潜叶蛾地理分布范围及越冬边界预测, 生态学杂志, 40(10): 3243–3251.]
- Lu YY, 2021. Alert continuous spread and invasion of *Tuta absoluta* (Meyrick) in China. *Journal of Environmental Entomology*, 43(2): 526–528. [陆永跃, 2021. 警惕番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 在我国持续扩散入侵. 环境昆虫学报, 43(2): 526–528.]
- Martin T, Palix R, Kamal A, Delétré E, Bonafos R, Simon S, Ngouajio M, 2013. A repellent net as a new technology to protect cabbage crops. *Journal of Economic Entomology*, 106(4): 1699–1706.
- Shi ZP, Gao ZQ, Meng LL, Wang D, Wang TW, Zhu JS, Zhang DM, Sun ZW, 2023. Occurrence and green prevention and control technologies of *Tuta absoluta* in Shandong province. *Shandong Agricultural Sciences*, 55(11): 19–25. [石朝鹏, 高中强, 孟璐璐, 王丹, 王同伟, 朱军生, 张德满, 孙作文, 2023. 山东省番茄潜叶蛾发生与绿色防控技术. 山东农业科学, 55(11): 19–25.]
- Van Damme V, Berkvens N, Moerkens R, Berckmoes E, Wittemans L, De Vis R, Casteels H, Tirry L, De Clercq P, 2015. Overwintering potential of the invasive leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) as a pest in greenhouse tomato production in Western Europe. *Journal of Pest Science*, 88(3): 533–541.
- Wang GY, Wang SN, Wang BH, Shen J, 2016. Effects of insect-proof screens on microclimate in greenhouse, growth and pests of autumn tomato. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 45(7): 76–81. [王广印, 王胜楠, 陈碧华, 沈军, 2016. 防虫网覆盖对大棚内小气候、秋番茄生长和病虫害的影响. 河南农业科学, 45(7): 76–81.]
- Wang MH, Ismoilov K, Liu WX, Bai M, Bai XS, Chen B, Chen HL, Chen HS, Dong YC, Fang K, Gui FR, Huang GH, Jiang CM, Jiang HB, Li XW, Luo C, Luo C, Lu ZZ, Lu YB, Ma DY, Pu DQ, Qu YY, Sang W, Song LM, Sun X, Sun YX, Wan B, Wang XP, Yang WJ, Yang XQ, Yao FL, Ye ZP, Zhang LY, Zhang XM, Zhang Y, Zhao CC, Zhou Q, Zhou WW, Zhu WY, Rodriguez-Saona C, Biondi A, Jaworski CC, Zhang YB, Desneux N, Han P, 2024. *Tuta absoluta* management in China: Progress and prospects. *Entomologia Generalis*, 44(2): 269–278.
- Xian XQ, Han P, Wang S, Zhang GF, Liu WX, Desneux N, Wan FH, 2017. The potential invasion risk and preventive measures against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in China. *Entomologia Generalis*, 36(4): 319–333.
- 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, Wang YS, Gao YH, Liu WX, Zhang R, Fu WJ, Xian XQ, Wang J, Kuang M, Wan FH, 2020. First report of the South American tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(7): 1912–1917.
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, Li P, Liu WC, Zeng J, Liu H, Huang C, Wang YS, Biao Y, Li YH, Wang TZ, Liu WX, Wan FH, 2024. Efficacy of sex pheromone and ultraviolet light trapping methods on monitoring of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), and analysis of adult emergence period in southwestern China. *Plant Protection*, 50(6): 1–17. [张桂芬, 张毅波, 洗晓青, 李萍, 刘万才, 曾娟, 刘慧, 黄聪, 王玉生, 卞悦, 李亚红, 王田珍, 刘万学, 万方浩, 2024. 性信息素诱捕法和紫外灯光诱捕法对我国西南区域番茄潜叶蛾的监测诱捕效率及成虫发生期分析. 植物保护, 50(6): 1–17.]
- Zhang RM, Fu BL, Qiu HY, Tang LD, Li T, Li P, Liu K, 2015. Study on the blocking effect of insect net on the main pests of cowpea. *China Plant Protection*, 35(11): 36–38, 42. [张瑞敏, 付步礼, 邱海燕, 唐良德, 李涛, 李鹏, 刘奎, 2015. 防虫网对豇豆主要害虫的阻隔作用研究. 中国植保导刊, 35(11): 36–38, 42.]