山西太谷地区番茄潜叶蛾种群发生动态、空间分布及其田间防治*

王彩凤[1**] 赵劲宇[1**] 于伟硕[1] 庾 琴[1] 马 力[1] 郄杏桃[1]
王美琴[1] 张东霞[2] 郑卫锋[2] 郝 赤[1***] 闫喜中[1***]

（1. 山西农业大学植物保护学院，太谷 030801；2. 山西省植物保护植物检疫中心，太原 030001）

摘 要 【目的】为明确山西省太谷区番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 的发生动态及幼虫和卵的空间分布，筛选出粘虫板与性诱剂最佳防治组合及使用方法。【方法】于 2023 年 6 月 26 日至 11 月 20 日将不同颜色粘虫板和性诱芯组合，以不同高度悬挂于温室大棚内，调查番茄潜叶蛾的发生动态，筛选最佳防治组合及悬挂高度；用“W”形取样法调查幼虫和卵在番茄植株上的空间分布。【结果】8 月 28 日至 9 月 4 日[(404±8.63)头/7 d]和 10 月 9 日至 16 日[(373±13.28)头/7 d]两个时间段为番茄潜叶蛾发生高峰期。粘虫板和性诱芯组合试验表明，当其放置高度为 0-25 cm 时防治效果最佳，诱捕量达(133±6.56)头/7 d；不同颜色粘虫板和性诱芯组合对番茄潜叶蛾防治效果差异显著($P<0.05$)，其中红色粘虫板组合诱捕量最多[(1 017±39.12)头/7 d]，白色板组合最少[(80±9.49)头/7 d]。番茄潜叶蛾的幼虫和卵在前期主要分布在温室大棚入口处，随着番茄受害加重，逐渐向温室内部转移，幼虫和卵在大棚边缘通风处分布较多，在中间过道处最少；幼虫由番茄植株下部逐渐向中上部转移，而卵一直分布在植株中上部。【结论】应在大棚两侧通风处及入口处加强管理，可使用红色粘虫板和性诱芯组合，将其悬挂在靠近地面的地方，以有效防控番茄潜叶蛾。

关键词 番茄潜叶蛾；发生动态；空间分布；粘虫板

Population dynamics, spatial distribution and control of *Tuta absoluta* in the Taigu Region of Shanxi Province

WANG Cai-Feng[1**] ZHAO Jin-Yu[1**] YU Wei-Shuo[1] YU Qin[1] MA Li[1] QIE Xing-Tao[1]
WANG Mei-Qin[1] ZHANG Dong-Xia[2] ZHENG Wei-Feng[2] HAO Chi[1***] YAN Xi-Zhong[1***]

(1. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;
2. Shanxi Plant Protection and Plant Quarantine Center, Taiyuan 030001, China)

Abstract **[Aim]** To clarify the population dynamics and spatial distribution of the larvae and eggs of *Tuta absoluta* in the Taigu Region, Shanxi Province, and to optimize the use of sticky insect plates and sex pheromone lures to control this pest. **[Methods]** Different combinations of pheromone traps and sticky insect plates were hung at different heights in a greenhouse and the number of insects captured in each trap was compared. In addition, the spatial distribution of larvae and eggs on tomato plants was investigated using the "W" shaped sampling method. **[Results]** The occurrence of *T. absoluta* was highest from August 28 to September 4 [(404±8.63) ind./7 d] and from October 9 to 16 [(373±13.28) ind./7 d]. Traps hung at a height of 0-25 cm captured the most adult *T. absoluta*; up to (133±6.56) ind. over 7 days. The color of the sticky plate used had a significant effect on the number of *T. absoluta* captured; traps used in combination with red sticky plates captured the most

*资助项目 Supported projects：山西省自然科学基金项目（20210302123387）；科技部高端外国专家引进计划（G2022004006L）；山西省现代农业产业技术体系建设项目（2024CYJSTX08-17）

**共同第一作者 Co-first authors，E-mail：13152874693@163.com；zhaojinyu312@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：yanxizhong80@163.com；sxauhc@163.com

收稿日期 Received：2024-02-05；接受日期 Accepted：2024-05-13

[(1 017±39.12) ind./7 d] and those with white sticky plates the least [(80±9.49) ind./7 d]. Larvae and eggs were mainly found at the entrance of the greenhouse in the initial stage of infestation, gradually moving further inside the greenhouse as tomato damage increased. Larvae and eggs were more widely distributed in ventilated areas at the edge of the greenhouse and less common in the central aisle. Larvae gradually moved from the lower part of tomato plants to the middle and upper parts, whereas eggs were mainly found in the middle and upper parts of plants. **[Conclusion]** Control of *T. absoluta* in greenhouses should be focused on ventilated areas on the sides of the greenhouse and at the entrance. Deploying pheromone traps in combination with red sticky plates near the ground can significantly improve trapping efficiency.

Key words *Tuta absoluta*; occurrence dynamics; spatial distribution; sticky insect boards

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 又名番茄潜麦蛾、番茄麦蛾，属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae，是一种世界性、检疫性入侵害虫（Desneux *et al.*，2010），目前已经在全球除南美洲外 90 多个国家发生（Desneux *et al.*，2022）。番茄潜叶蛾寄主植物范围较为广泛，可为害蔬菜、水果和杂草等多种类型植物，目前已知寄主植物有 9 科 39 种（李晓维等，2019），其中茄科植物受害最为严重，尤其是番茄。该虫主要为害寄主植物的叶片和果实，幼虫不仅可以潜入叶片内部啃食，形成银白色的透明隧道，导致叶片卷缩，使寄主植株光合作用受阻，还可钻入果实，影响果实品质，最终使果实失去商品价值（王文倩等，2022）。在不设防场景下，番茄潜叶蛾将会造成番茄产量损失达 80%-100%，每年对我国番茄产业造成的经济损失总计在 822-4 190 亿元（席曼姝等，2022）。

番茄潜叶蛾原产于秘鲁，并在 20 世纪 60 年代传播到拉丁美洲国家（Desneux *et al.*，2011）；于 2006 年在西班牙被发现（Urbaneja *et al.*，2007），然后蔓延到地中海沿岸（Desneux *et al.*，2010）。隔离措施不规范以及亚洲国家在监测和管理方面缺乏合作，促进了番茄潜叶蛾在亚洲地区的入侵和快速传播（Han *et al.*，2019）。2017 年在我国新疆伊犁地区首次发现该虫（Han *et al.*，2018；张桂芬等，2019），后又在云南地区发现（张桂芬等，2020），之后迅速传播到贵州和四川等地（陆永跃，2021）；2021 年 6 月，在山西省太原市首次发现番茄潜叶蛾（庾琴等，2022），并在随后的调查中发现该虫已传播到晋中、临汾等其他地区。番茄潜叶蛾的耐寒性较强，当温度为 4 ℃时，幼虫可存活数周（Biondi *et al.*，2018）；即使在 0 ℃环境下也有 50%的个体（包括幼虫、蛹和成虫）存活 11.1-17.9 d（Cuthbertson *et al.*，2013）。山西省番茄作物大多为温室大棚种植，冬季棚内温度高于室外，为番茄潜叶蛾的越冬提供了适宜场所，导致翌年会再次暴发。目前，针对番茄潜叶蛾在山西省的种群发生动态、危害高峰、空间分布和绿色防控等方面的研究还比较薄弱，需要开展大田系统调查，探索其为害规律及防控技术，保障山西省农产品及经济安全。

化学防治是常用的害虫防治措施，见效快且可有效控制害虫传播。但是番茄潜叶蛾繁殖能力较强，长时间大量使用化学药剂已导致其在国外对菊酯类和二酰胺类等多种药剂产生了明显抗药性（Guedes *et al.*，2019；杨石有等，2023）。因此，亟需探索综合和替代控制方法，提升对番茄潜叶蛾的治理效果，实现其综合管理计划的有效实施。在替代控制方法中，粘虫板和性信息素诱捕器的结合使用，是防治番茄害虫的有效手段之一，并且在世界范围内得到了越来越多的应用（El-Aassar *et al.*，2015）。与传统化学防治相比，基于性信息素的害虫管理具有高度特异性，同时不会诱导害虫产生抗性（Ma *et al.*，2012；Reynolds *et al.*，2016）。将诱捕器与粘虫板结合使用，可有效提高对番茄潜叶蛾的诱捕量。研究表明，粘虫板的颜色以及其与诱捕器的摆放高度等因素都会影响诱捕效果（Sabbahi，2021）。因此，本研究针对粘虫板诱捕器的高度及其颜色展开研究，筛选最佳的诱捕方案。

种群发生动态即在种群发展中，其总体数量在时间和空间上的变化情况。昆虫的出生和死亡，及当地环境的温度和湿度等都会影响种群数

量变化。开展昆虫种群动态监测，明确昆虫发生动态对当地有害生物的防治具有重要参考价值。通过对山西省晋中市太谷地区的调查发现，番茄潜叶蛾在大棚内全年均有发生，但其为害的空间分布和种群发生动态尚不明确。本文旨在通过调查番茄潜叶蛾幼虫及卵的空间分布，明确其发生动态及危害高峰，并探明粘虫板与性诱芯组合高度及不同颜色粘虫板对番茄潜叶蛾诱捕效果的影响，筛选出最佳诱捕方案，以期为番茄潜叶蛾的绿色防控提供科学依据和实践参考。

1 材料与方法

1.1 试验场地

调查地位于山西省晋中市太谷区“晋中国家农高区番茄种植设施农业示范基地”（37°46′ N，112°52′ E），平均海拔 1 098 m，年平均降水量 397.1 mm。大棚为温室大棚，坐北朝南，东西向长 50 m，宽 30 m，试验地面积 35 hm^2，选择 3 个虫害较严重的大棚进行调查。番茄于 6 月下旬移栽到大棚。

1.2 试验材料

粘虫板，规格为 25 cm × 20 cm，颜色分别为蓝色、黄色、绿色、白色、紫色和红色，购自北京格瑞碧源生物科技股份有限公司；番茄潜叶蛾性诱芯，以绿色钟形天然硅橡胶塞为载体，购自虫捕头（苏州）生物科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 番茄潜叶蛾种群发生动态监测 采用蓝色粘虫板与性诱芯组合（性诱芯用铁丝挂于蓝板粘虫板正中心）诱捕番茄潜叶蛾。将粘虫板以南北向 Z 字形交替悬挂于调查地大棚过道两侧番茄植株的中点处，悬挂高度随植株不同生长阶段进行调整，每 2 个粘虫板水平间隔 9 m。每周记录粘虫板上诱捕到的成虫数量，并根据不同悬挂位置的 7 d 诱捕数量平均数绘制种群动态图。每 7 d 更换粘虫板，每 30 d 更换性诱芯，每个大棚悬挂 6 个粘虫板，并作为一组，共调查 3 个大棚，设为 3 组重复。

1.3.2 番茄潜叶蛾幼虫及卵空间分布调查 参考尹艳琼等（2021）方法，将大棚平均分为 3 个区域，各区域间隔 2.5 m。3 个调查区域的总长度为 30 m，总宽度为 15 m，每个区域采用“W”形均匀选点，每个区域选 5 个调查点，分别为图中 1、2、3、4 和 5 所表示的位置，每点随机调查 5 株番茄，记录为害株数（图 1）；在每株番茄的上、中和下部随机各选取 2 片叶，记录为害叶数，并统计每片叶上的卵数和幼虫数。共调查 3 个大棚，设为 3 组重复，调查时间自粘虫板上诱捕到成虫开始，至成虫诱捕数量为 0 时结束，每 7 d 调查一次。

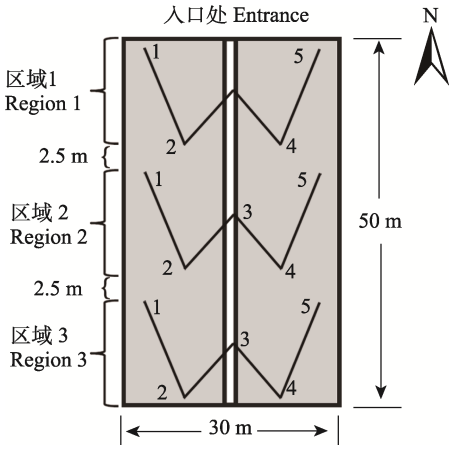

图 1 温室大棚内调查点空间分布
Fig. 1 The spatial distribution of survey site in the greenhouse

1.3.3 对比不同悬挂高度粘虫板与性诱芯诱捕效果 将蓝色粘虫板与性诱芯组合悬挂于大棚的不同高度，性诱芯用铁丝挂于蓝板正中心，依据番茄生长高度设置上、中和下 3 种高度对比诱捕效果。分别为上部：悬挂高度 160-185 cm，即蓝板下部边缘距离地面 160 cm，上部边缘距离地面 185 cm；中部：悬挂高度 70-95 cm，即蓝板下部边缘距离地面 70 cm，上部边缘距离地面 95 cm；下部：悬挂高度 0-25 cm，即蓝板下部边缘垂直放于地面，上部边缘距离地面 25 cm。上、中和下各一个粘虫板设为一组重复，共调查 2 个大棚，每个大棚 2 组，共设 4 组重复，每 7 d 统计一次番茄潜叶蛾成虫数量。

1.3.4 对比不同颜色粘虫板与性诱芯诱捕效果

将 6 种不同颜色的粘虫板（蓝板、黄板、绿板、白板、紫板和红板）与性诱芯组合，垂直悬挂于地面 0-25 cm 处(粘虫板下部边缘垂直放于地面，上部边缘距离地面 25 cm)，在棚内按照 Z 字形悬挂。每个大棚悬挂 6 个不同颜色的粘虫板，设为 1 组重复，共调查 3 个大棚，共 3 组重复，每 7 d 统计番茄潜叶蛾成虫数量，统计完成后，调换粘虫板的位置并更换粘虫板。

1.4　数据统计与分析

调查数据经 Excel 2019 整理后，使用 SPSS 25.0 进行单因素方差分析最小显著差法（One-way ANOVA, LSD test）比较检验各处理间的差异水平，使用 Origin 2022 绘制图表。

2　结果与分析

2.1　番茄潜叶蛾种群发生动态

2023 年 6 月 26 日至 11 月 20 日，对温室大棚内番茄潜叶蛾成虫进行动态监测。结果表明，成虫在番茄苗定植 2 周后开始发生，于 7 月 24 日至 31 日出现一个发生小高峰，成虫数量达（82±5.84）头；从 8 月 21 日开始，成虫数量急速增加，于 8 月 28 日至 9 月 4 日达到最高峰，成虫数量达（404±8.63）头；随后种群数量开始下降，但在 10 月 9 日至 16 日又出现一个小高峰[（373±13.28）头]；之后，种群数量再次开始下降，直到降低为 0（图 2）。

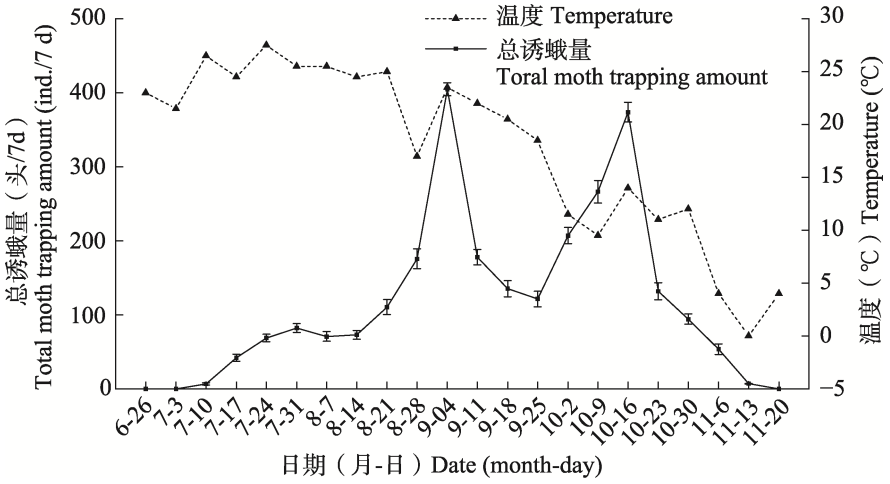

图 2　番茄潜叶蛾种群发生动态及温度变化

Fig. 2　Population dynamics of *Tuta absoluta* and temperature changes

2.2　番茄潜叶蛾幼虫及卵空间分布

2.2.1　不同区域幼虫及卵变化趋势　番茄潜叶蛾幼虫在为害前期多分布在温室大棚入口处。区域 1 于 7 月 31 日出现一个小高峰，幼虫数量为（168±8.84）头，于 10 月 9 日达最高峰，数量为（295±6.81）头。随着对番茄植株为害加重，幼虫开始向温室大棚内部转移，区域 3 成为分布最多的区域，9 月 25 日为害最严重[（360±10.97）头]；区域 2 为害程度最低，幼虫数量于 10 月 9 日达最高峰[（235±6.57）头]（图 3-A）。番茄潜叶蛾卵的分布趋势与幼虫相似，前期成虫在大棚入口处产卵较多，为害加重后，向区域 3 转移产卵，区域 2 的产卵量一直较少。区域 1[（251±8.89）粒]、区域 2[（234±8.72）粒]和区域 3[（332±24.63）粒]的卵量都于 9 月 11 日达最高峰（图 3-B）。

2.2.2　番茄潜叶蛾幼虫及卵的水平分布　番茄潜叶蛾水平分布显示，幼虫在区域 1 和区域 3 的大棚边缘分布较多，其次是在 2 个区域的植株中间；区域 2 的幼虫在大棚边缘和植株中间分布较为均匀。3 个区域内位置 5 幼虫数量最多[区域 1：（530±8.33）头，区域 2：（394±24.32）头，区域 3：（616±15.86）头]；位置 3 的幼虫数量[区域 1：（240±29.23）头，区域 2：（192±19.94）头，区域 3：（274±7.69）头]显著少于其他 4 个位置

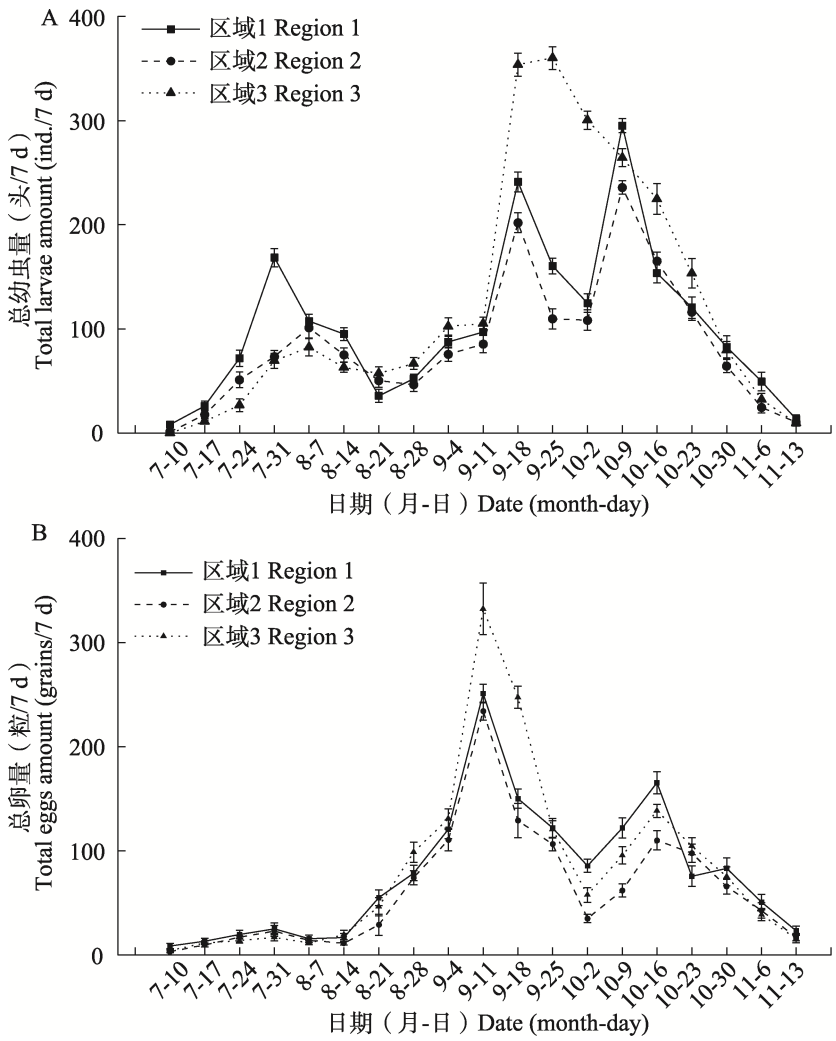

图 3 不同区域番茄潜叶蛾幼虫（A）和卵（B）的变化趋势

Fig. 3 Trends of *Tuta absoluta* larvae (A) and eggs (B) in different regions

（P<0.05）(图 4：A-C)。番茄潜叶蛾卵的水平分布显示，3 个区域中，大棚边缘处卵分布最多，位置 5 的卵量最多[区域 1：（410±9.07）粒，区域 2：（331±5.36）粒，区域 3：（461±17.64）粒]，其次是植株中间部分；位置 3 的卵量[区域 1：（168±8.19）粒，区域 2：（152±13.86）粒，区域 3：（173±10.50）粒]显著少于其他 4 个位置（P<0.05）（图 4：D-F）。

2.2.3 番茄潜叶蛾幼虫及卵的垂直分布 番茄潜叶蛾的垂直分布格局表明，随着番茄为害的加重，3 个区域内幼虫由中下部逐渐向中上部偏移。区域 1 植株上部幼虫数量于 10 月 9 日达到最高峰[（186±8.37）头]；区域 2 植株上部幼虫在 9 月 18 日[（121±18.26）头]和 10 月 9 日[（136±8.41）头]为害最严重；区域 3 植株上部幼虫于 9 月 18 日[（179±8.89）头]和 10 月 2 日[（192±5.13）头]为害最严重(图 5：A，C，E)。3 个区域内番茄潜叶蛾的卵大多分布在植株中上部，与为害程度没有明显相关性。在 3 个区域内，植株上部于 9 月 11 日卵量达最高峰[区域 1：（129±9.94）粒，区域 2：（114±4.36）粒，区域 3：（161±6.89）粒]（图 5：B，D，F）。

2.3 不同高度粘虫板加性诱芯诱捕效果

对比不同高度粘虫板和性诱芯组合诱捕到的成虫数量，结果显示，粘虫板距离地面 0-25 cm 诱捕效果最佳，平均每板诱捕到番茄潜叶蛾成虫（133±6.56）头，与其他 2 个高度之间存在显著

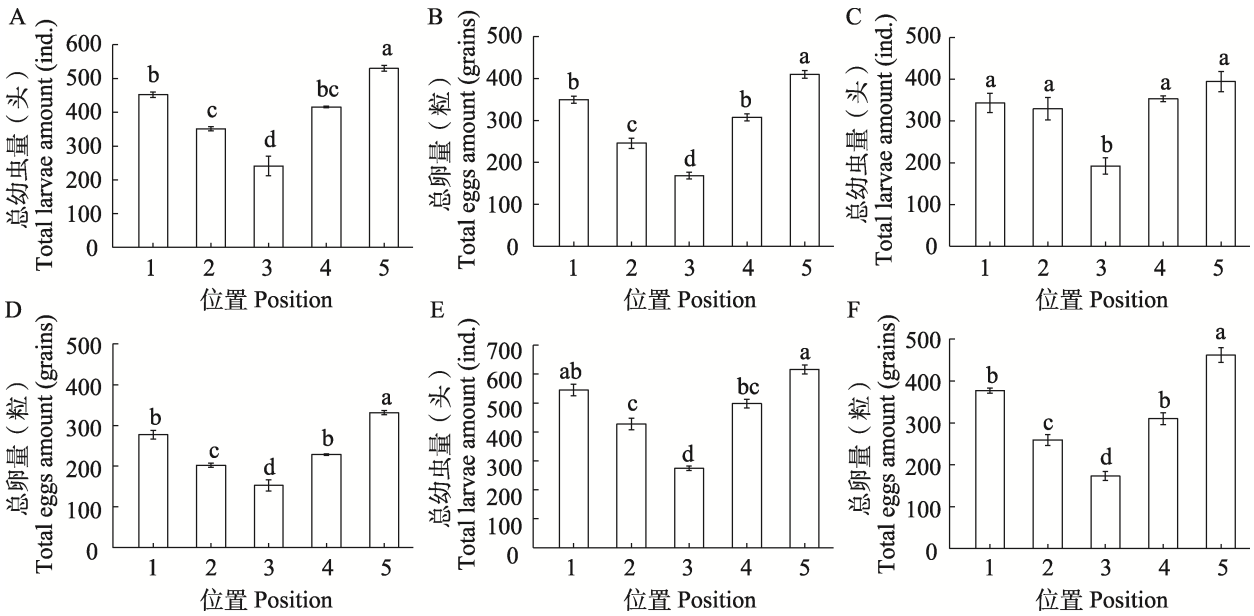

图 4　番茄潜叶蛾幼虫和卵水平分布格局

Fig. 4　Horizontal distribution patterns of *Tuta absoluta* larvae and eggs

A、B 和 C. 区域 1、2 和 3 的幼虫水平分布；D、E 和 F. 区域 1、2 和 3 的卵水平分布。

柱上标有不同小写字母者表示组间差异显著（$P<0.05$，单因素方差分析最小显著差法）。下图同。

图中横坐标上的 1、2、3、4 和 5 分别表示大棚内每个区域选的 5 个调查点。

A, B and C. Horizontal distribution of larvae in the first, second and third regions; D, E and F. Horizontal distribution of eggs in the first, second and third regions. Different lowercase letters above bars indicate significant difference at 0.05 level between groups by one-way ANOVA, LSD test. The same below. The horizontal axes 1, 2, 3, 4, and 5 in the figure represent the 5 selected survey points inside the greenhouse, respectively.

性差异（$P<0.05$），平均每板诱捕数量分别是 70-95 cm 和 160-185 cm 高度的 3.2 和 16.2 倍；悬挂高度为 70-95 cm 的粘虫板，最多诱捕到成虫（49±5.24）头；悬挂高度为 160-185 cm 的粘虫板诱捕效果最差，最多仅诱捕到（12±4.38）头成虫（图 6）。

2.4　不同颜色粘虫板加性诱芯诱捕效果

对比 6 种不同颜色粘虫板诱捕到的番茄潜叶蛾成虫数量，诱捕效果依次为红板[（1 017±39.12）头]>紫板[（506±43.90）头]>蓝板[（253±31.32）头]>绿板[（206±7.81）头]>黄板[（202±23.68）头]>白板[（80±9.49）头]（最多诱捕量）。红色粘虫板诱捕到的成虫数量显著高于其他颜色粘虫板（$P<0.05$），诱捕数量是紫板的 1.67 倍，是蓝板的 2.4 倍；红色粘虫在后期诱捕数量较低时，与紫板诱捕量差异不显著（$P>0.05$）；绿板、黄板和白板的诱捕虫量相对较少，诱捕量间差异不显著（$P>0.05$）；白板的诱捕效果最差（图 7）。

3　讨论

我国番茄种植面积和收获面积位居世界第一（张桂芬等，2018），面对番茄潜叶蛾的入侵和持续扩散，若不及时防治，将对我国的番茄产业造成巨大经济损失（席曼姝等，2022）。番茄潜叶蛾为小型蛾类昆虫，适应性强，与其他潜叶类昆虫难以准确、快速辨认，给防治工作带来了很大挑战。

种群峰值主要由环境因素和宿主可利用性两方面决定。番茄潜叶蛾的发育周期在很大程度上取决于温度（Cuthbertson *et al.*，2013），寄主的可利用性和质量依赖于作物开花的生理周期（Torres *et al.*，2001）。由于环境因子等诸多因素影响，不同地区番茄潜叶蛾的发生动态存在很

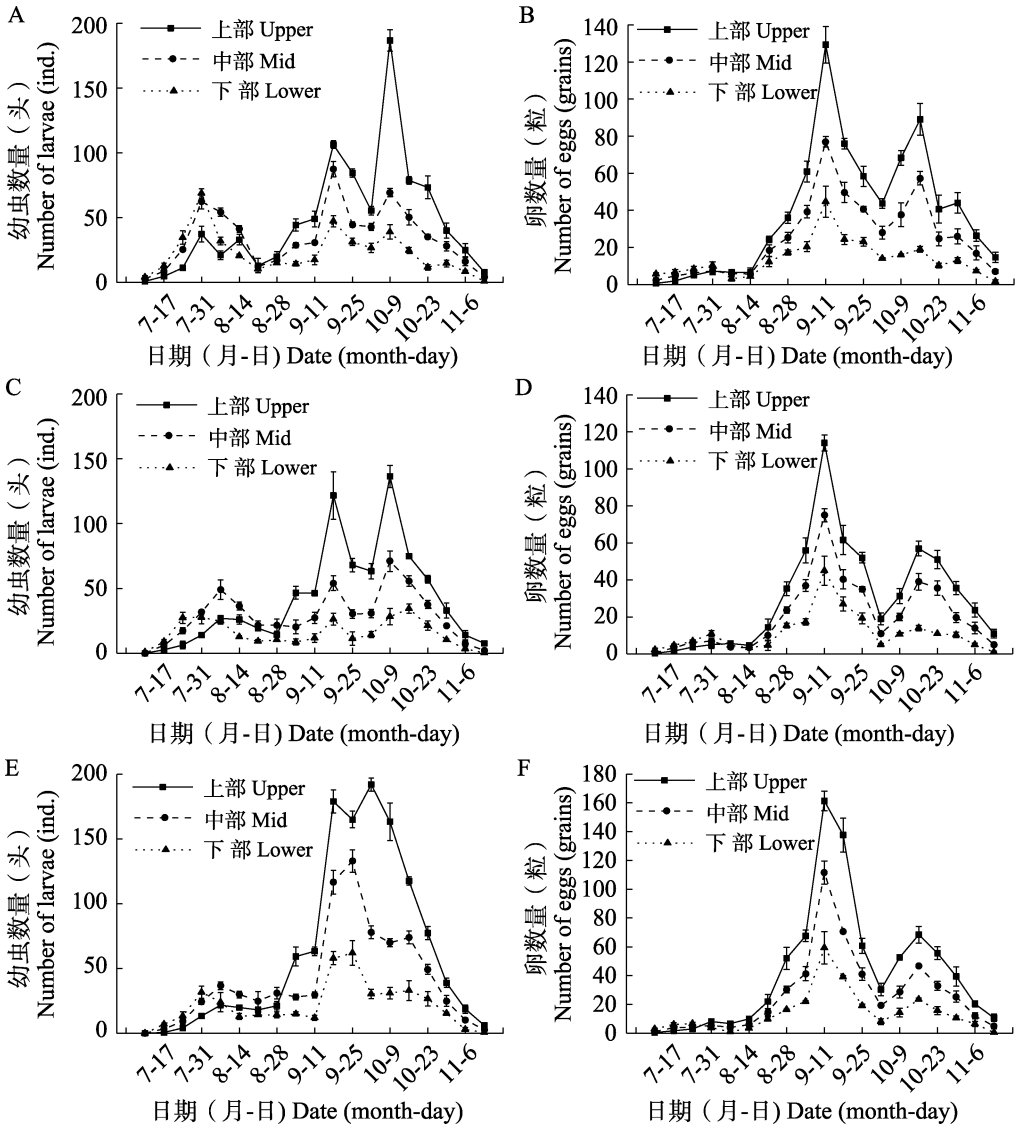

图 5　番茄潜叶蛾幼虫及卵垂直分布格局

Fig. 5　Vertical distribution patterns of *Tuta absoluta* larvae and eggs

A、C 和 E. 区域 1、2 和 3 幼虫垂直分布；B、D 和 F. 区域 1、2 和 3 卵垂直分布。

A, C and E. Vertical distribution of larvae in the first, second and third regions;
B, D and F. Vertical distribution of eggs in the first, second and third regions.

大差异。例如，Tabikha 和 Hassan（2015）发现番茄潜叶蛾在埃及每年最多有 11 代，春、夏和秋 3 个生长季节各有 3 代；林兴华等（2021）监测到我国云南省临沧市番茄潜叶蛾全年均可发生，6 月达到高峰，11 月诱蛾量最低。明确番茄潜叶蛾的发生动态对该虫的有效防治有重要指导意义。本研究结果表明，番茄潜叶蛾在番茄采收前期数量呈上升趋势，9 月份数量最多，与 Awad 等（2018）和 He 等（2022）的研究结果相似。这可能是因为此时温度为番茄潜叶蛾的最适生长温度，有利于其田间活动和种群增长，导致诱捕数量增多。

番茄潜叶蛾的空间分布调查结果表明，幼虫的垂直分布随着为害程度加重逐渐由植株下部向中上部偏移，而为害程度对卵的垂直分布影响较小，主要分布在植株中上部。已有研究表明，番茄潜叶蛾更喜爱在植物叶子和叶柄的上部和中部产卵（Leite *et al.*，1999；阿米热·牙生江等，

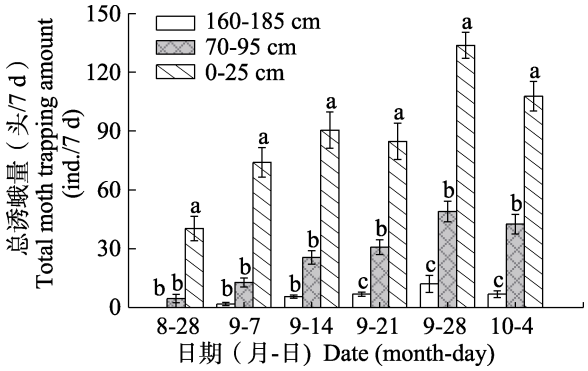

图 6　不同高度粘虫板加性诱芯对番茄潜叶蛾的诱蛾数量

Fig. 6　Number of trapped *Tuta absoluta* adults of additive traps on sticky insect boards with different heights

2021），且未受损叶片释放的挥发物能够吸引雌虫产卵（Anastasaki *et al.*，2018）。这表明在大棚被番茄潜叶蛾侵染时，其初期可能偏向在新鲜或未被为害的叶片上产卵，后期随着新鲜叶片的减少，产卵部位主要集中在番茄植株的中上部，随着为害程度的加重，其在植株的主要产卵部位变化较小。水平方向分布格局显示，幼虫在大棚边缘通风处分布较多，在中间过道边缘处分布最少，卵的分布与之相似。Martins 等（2017）研究表明，番茄潜叶蛾卵的最大密度在番茄作物边缘，与本研究结果相同。这种现象可能是番茄潜叶蛾的迁徙从边缘开始，雌虫倾向于在第一株番茄植株上进行产卵（Martins *et al.*，2017）。此外，番茄作物的屏障作用导致雌虫的飞行效率较低，从而使卵的分布向大棚中心递减，影响幼虫分布。

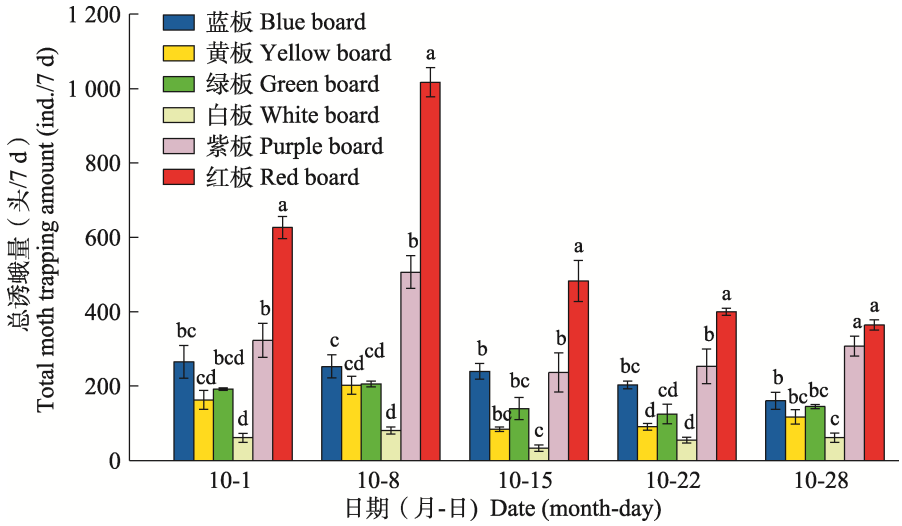

图 7　不同颜色粘虫板加性诱芯对番茄潜叶蛾的诱蛾数量

Fig. 7　Number of trapped *Tuta absoluta* adults of additive traps on sticky insect boards with different colors

性信息素具有安全性、物种特异性和高度选择性等优点，且使用时不会产生抗性（梁永轩等，2023），但性信息素的有效应用需要相对封闭的隔离环境，防止已交配的雌蛾迁入，具有一定的局限性（Megido *et al.*，2013）。粘虫板诱杀是利用昆虫对特定光谱的趋光性，在粘虫板上涂胶，成本低、无污染且更换方便，能够有效防治小型害虫。将性信息素与粘虫板结合使用，可以最大限度地扩大诱捕范围，提高对番茄潜叶蛾的监测和防治效果，是一种较为理想的绿色防控手段。

对不同高度粘虫板的诱捕效果进行对比，结果表明，粘虫板悬挂位置越低，诱捕效果越好，在 0-10 cm 高度上，诱蛾数量最多。张桂芬等（2021）对不同高度诱捕器诱蛾效果的分析显示，将诱捕器放于地面，诱捕效果最好（0-20 cm>60-80 cm>120-140 和 180-200 cm）。谈钇汐等（2022）研究表明，不同悬挂高度诱捕器诱蛾量依次为 40-60 cm>90-110 cm>140-160 cm，且差异明显。李灏等（2024）将蓝板水平放置在不同高度，发现直接平放在地面的平均诱蛾量分别是高度 30-35 cm 和高度 60-65 cm 处理的 1.491 倍和 2.485 倍。有研究表明，靠近地面的诱捕器在

捕获雄性番茄潜叶蛾方面表现更好（Ferrara *et al.*，2001；Mahmoud *et al.*，2014）。造成这种现象的原因可能与番茄潜叶蛾成虫偏好接近地面飞行以及在地面交配的生活习性有关（张桂芬等，2021）。

对比不同颜色粘虫板的诱捕数量显示，红板诱捕量最大，紫板次之，再次为蓝板，白板诱捕数量最少。然而，国内外研究者对不同颜色粘虫板的效果对比结果不尽相同。Taha 等（2012）和 Polat（2019）通过田间试验，发现红色粘虫板对番茄潜叶蛾成虫的吸引力最大，与本研究结果相同；张桂芬等（2021）对比带有性诱芯的不同颜色粘虫板的诱蛾效果，发现蓝色粘虫板诱捕效果最好；Kadel 等（2018）指出，白色诱捕器诱捕到的番茄潜叶蛾成虫数量最多，但是这两项研究并没有比较红板和紫板的诱捕效果。出现这种现象的原因可能是因为物种对不同颜色具有广泛的特异性和亲和力，不同地区的环境、寄主季节物候、番茄植株的叶密度和高度等都可能影响害虫对不同颜色的偏好及粘虫板的设置效果（Buffington *et al.*，2021）。

目前，杀虫剂的频繁使用和较短的世代时间有利于番茄潜叶蛾种群对多种杀虫剂抗性的进化，导致化学防治效果降低（Reyes *et al.*，2012；Grant *et al.*，2019）。因此，除使用化学药剂外，对番茄潜叶蛾应采取集物理防治、生物防治和农业防治（如抗性品种和氮素调施等）（Han *et al.*，2019）等措施的综合防控技术。本研究结果表明，在番茄采收期前应加强对大棚内番茄潜叶蛾的防控，避免大规模暴发。建议对大棚两侧通风处及入口处的番茄植株加强管理，使用红色粘虫板，并将其直接放置于植株底部，以获得最佳防治效果。本试验全部在大棚内完成，且粘虫板的试验只在一个阶段内进行。因此，在露天场所的诱捕效果是否有差异，以及番茄品种、发育阶段及环境因素对诱捕效果的影响还有待进一步研究。

参考文献 (References)

Anastasaki E, Drizou F, Milonas PG, 2018. Electrophysiological and oviposition responses of *Tuta absoluta* females to herbivore-induced volatiles in tomato plants. *Journal of Chemical Ecology*, 44(3): 288–298.

Awad A, E-Naggar A, EL-Bassouiny H, 2018. Monitoring population of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* during winter and summer evergreens of potato filed in Egypt. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences A, Entomology*, 11(1): 27–32.

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(1): 239 –258.

Buffington ML, Garretson A, Kula RR, Gates MW, Carpenter R, Smith DR, Kula AAR, 2021. Pan trap color preference across Hymenoptera in a forest clearing. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 169(3): 298–311.

Cuthbertson AGS, Mathers JJ, Blackburn LF, Korycinska A, Luo WQ, Jacobson RJ, Northing P, 2013. Population development of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under simulated UK glasshouse conditions. *Insects*, 4(2): 185–197.

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.

Desneux N, Luna MG, Guillemaud T, Urbaneja A, 2011. The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: The new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science*, 84(4): 403–408.

Desneux N, Han P, Mansur R, Arnó J, Brévault T, Campos MR, Chailleux A, Guedes RNC, Karimi J, Lavoir AV, Luna MG, Perez-Hedo M, Urbaneja A, Verheggen FJ, Zappalà L, Abbes K, Ali A, Bayram Y, Cantor F, Cuthbertson A, De Vis R, Erler F, Firake DM, Haddi K, Ismoilov K, Hajjar MJ, Jaworski CC, Kenis M, Liu HT, Madadi H, Martin T, Mazih A Messelink G, Mohamed SA, Nofemela RS, Oke A, Ramos C, Ricupero M, Roditakis E, Shashank PR, Wan FH, Zhang YB, Biondi A, 2022. Integrated pest management of *Tuta absoluta*: Practical implementations across different world regions. *Journal of Pest Science*, 95(10): 17-39

El-Aassar MR, Soliman MHA, Abd Elaal AA, 2015. Efficiency of sex pheromone traps and some bio and chemical insecticides against tomato borer larvae, *Tuta absoluta* (Meyrick) and estimate the damages of leaves and fruit tomato plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(1): 153–156.

Ferrara FA, Vilela EF, Jham GN, Eiras AE, Picanco MC, Attygalle AB, Svatos A, Frighetto RT, Meinwald J, 2001. Evaluation of the synthetic major component of the sex pheromone of *Tuta*

absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Chemical Ecology*, 27(5): 907–917.

Grant C, Jacobson R, Ilias A, Berger M, Vasakis E, Bielza P, Zimmer CT, Williamson MS, Ffrench-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, 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(1): 1329–1342.

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.

Han P, Zhang YN, Lu ZZ, Wang S, Ma DY, Biondi A, Desneux N, 2018. Are we ready for the invasion of *Tuta absoluta*? Unanswered key questions for elaborating an integrated pest management package in Xinjiang, China. *Entomologia Generalis*, 38(2): 113–125.

He YC, Ma LH, Pu Q, Mao ZY, Wang SM, Wang TZ, Pu JW, Ning JC, Abou El-Ela AS, Zhou WW, Zhu ZR, 2022. Greenhouse trapping assessment and population dynamics of leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) in E-Shan, Southwest China. *International Journal of Pest Management*, 30(6): 1–8.

Kadel J, Sah LP, Devkota M, Colavito LA, Norton G, Rajotte EG, Muniappan R, 2018. Effectiveness of different types of traps for management of *Tuta absoluta* in Nepal. *Journal of the Plant Protection Society*, 5(12): 166–174.

Leite GLD, Picanço M, Della Lucia TMC, Moreira MD, 1999. Role of canopy height in the resistance of *Lycopersicon hirsutum f. glabratum* to *Tuta absoluta* (Lep., Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 123(8): 459–463.

Li H, Sheng CF, Li YH, Wu JH, Huang ZQ, Zhao L, Wang HM, Sheng SM, Wang SL, 2024. Effects of different angle and height of blue sticky cards on the trap efficacy of *Tuta absoluta* (Meyrick). *China Vegetables*, 54(11): 88–91. [李灏, 盛承发, 李艳辉, 武建华, 黄志强, 赵利, 王慧敏, 盛世蒙, 王少丽, 2024. 带诱芯的蓝板放置位置和方式对番茄潜叶蛾的诱捕效果. 中国蔬菜, 54(11): 88–91.]

Li XW, Li Z, Guo WC, Lü YB, 2019. Host-plant suitability of South America tomato pinworm *Tuta absoluta* (Meyric) (Lepidoptera: Gelechiidae) on four solanaceous plants. *Plant Quarantine*, 33(3): 1–5. [李晓维, 李栋, 郭文超, 吕要斌. 番茄潜叶蛾对 4 种茄科植物的适应性研究. 植物检疫, 33(3): 1–5.]

Liang YX, Wang QJ, Guo JY, Wang YS, Zhang YB, Yang NW, Zhang GF, Zhou Q, Liu WX, 2023. Advances in research and application of sex pheromones of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 66(6): 849–858. [梁永轩, 王绮静, 郭建洋, 王玉生, 张毅波, 杨念婉, 张桂芬, 周琼, 刘万学, 2023. 番茄潜叶蛾性信息素的研究和应用进展. 昆虫学报, 66(6): 849–858.]

Lin XH, Yang ZL, Wei LL, Zheng HF, Li HX, Huang GP, 2021. Study on dynamic monitoring and control technology of *Tuta absoluta* in Lincang. *Yunnan Agricultural Sciences*, 53(1): 9–11. [林兴华, 杨子林, 韦丽莉, 郑红芳, 李海仙, 黄光平, 2021. 临沧市番茄潜麦蛾动态监测与防控技术研究. 云南农业科技, 53(1): 9–11.]

Lu YY, 2021. Warning of continued diffusion 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.]

Ma T, Wen XJ, Li XW, 2012. Research advance in artificial synthesis of insect sex pheromone. *World Forestry Research*, 25(6): 46–51.

Mahmoud YA, Ebadah IMA, Abd-Elrazik AS, Abd-Elwahab TE, Deif SH, 2014. Efficiency of different colored traps baited with pheromone in capturing tomato adult moth, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) during summer plantation. *World Applied Sciences Journal*, 30(4): 406–412.

Martins JC, Picanço MC, Silva RS, Gonring AH, Galdino TV, Guedes RN, 2017. Assessing the spatial distribution of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs in open-field tomato cultivation through geostatistical analysis. *Pest Management Science*, 74(1): 30–36.

Megido RC, Haubruge E, Verheggen FJ, 2013. Pheromone-based management strategies to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17(3): 475–482.

Polat B, 2019. Efficacy of mass trapping of tomato leafminer (*Tuta absoluta*) with different types and colors of traps in open-field tomato. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(6): 15721–15730.

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.

Reynolds OL, Osborne T, Crisp P, Barchia IM, 2016. Specialized pheromone and lure application technology as an alternative male annihilation technique to manage *Bactrocera tryoni* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 109(3): 1254–1260.

Sabbahi R, Azzaoui K, Hammouti B, 2021. An assessment of the efficacy of pheromone traps in managing the red palm weevil.

Indonesian Journal of Science & Technology, 6(2): 371–384.

Tabikha R, Hassan AN, 2015. Annual generations and population fluctuation of tomato leaf miner moth *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in el-behera governorate, Egypt. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences A, Entomology*, 8(1): 141–153.

Taha AM, Homam BH, Afsah AFE, EL-Sharkawy FM, 2012. Effect of trap color on captures of *Tuta absoluta* moths (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Environmental Science and Engineering*, 3(1): 43–48.

Tan YX, Fu KY, Jia ZZ, Li AM, Ding XH, Ahemaiti T, Feng HZ, Guo WC, 2022. Appraise of trap color, height and position on the trapping efficacy of *Tuta absoluta*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 59(5): 1144–1155. [谈钇汐, 付开赟, 贾尊尊, 李爱梅, 丁新华, 吐尔逊·阿合买提, 冯宏祖, 郭文超, 2022. 诱捕器颜色、悬挂高度与位置对番茄潜叶蛾诱捕效果评价. 新疆农业科学, 59(5): 1144–1155.]

Torres JB, Faria CA, Evangelista WS Jr, Pratissoli D, 2001. Within-plant distribution of the leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *International Journal of Pest Management*, 47(3): 173–178.

Urbaneja A, Vercher R, Navarro-Llopis V, García-Marí F, Porcuna Coto JL, 2007. La polilla del tomate, '*Tuta absoluta*'. *Phytoma Espana*, 37(194): 16–23.

Wang WQ, Chang LS, Yang JR, Yang Y, Du GZ, Xiao GL, Chen B, 2022. Comparison of morphological characteristics and damage symptoms of *Phthorimaea absoluta* and *P. operculella*. *Plant Protection*, 48(4): 245–251. [王文倩, 常吕恕, 杨金睿, 杨韵, 杜广祖, 肖关丽, 陈斌, 2022. 番茄潜叶蛾与马铃薯块茎蛾形态特征及为害症状的比较. 植物保护, 48(4): 245–251.]

Xi MS, Wang ZL, Liu XX, Li ZH, Zhang X, Lv ZZ, Han P, 2022. Assessment of the economic loss to the tomato industry caused by *Tuta absoluta* in China based on @RISK. *Journal of Biosafety*, 31(4): 300–308. [席曼姝, 王振霖, 刘孝贤, 李志红, 张鑫, 吕昭智, 韩鹏, 2022. 基于@RISK 番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的经济损失评估. 生物安全学报, 31(4): 300–308.]

Yang SY, Zhang R, Li HL, Huang JM, Kong Q, Yuan SY, 2023. Decrement and synergistic efficacy of pesticide adjuvants to indoxacarb against *Tuta absoluta* (Meyrick). *Journal of Environmental Entomology*, 45(2): 536–542. [杨石有, 张蕊, 李宏琳, 黄镜梅, 孔琼, 袁盛勇, 2023. 农药助剂对茚虫威防治番茄潜叶蛾的减量增效作用. 环境昆虫学报, 45(2): 536–542.]

Yashengjiang A, Fu KY, Shataer A, Ding XH, He J, Ahemaiti T, Wang J, Li XW, Guo WC, 2021. Spatial distribution patterns and theoretical sampling of *Tuta absoluta* (Meyrick) of larvae and eggs in a tomato-producing greenhouse in Xinjiang, China. *Journal of Biosafety*, 30(2): 102–109. [阿米热·牙生江, 付开赟, 阿地力·沙塔尔, 丁新华, 何江, 吐尔逊·阿合买提, 王俊, 李晓维, 郭文超, 2021. 番茄潜叶蛾幼虫和卵在新疆大棚番茄的空间分布型及理论抽样数. 生物安全学报, 30(2): 102–109.]

Yin YQ, Zheng LP, Li FQ, Ma TC, Song WH, Chen F, Chen FS, Liu Y, Chen AD, 2021. Occurrence and control of *Tuta absoluta* (Meyrick) in Midu County, Yunnan Province. *Journal of Environmental Entomology*, 43(3): 559–566. [尹艳琼, 郑丽萍, 李峰奇, 马庭矗, 宋文宏, 陈钫, 陈福寿, 刘莹, 谌爱东, 2021. 云南弥渡县番茄潜叶蛾的发生情况及田间防治效果. 环境昆虫学报, 43(3): 559–566.]

Yu Q, Guo XJ, Feng YT, Du EQ, Liu X, Zhamg 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, 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, 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, 冼晓青, 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, Liu WX, Zhang F, Xian 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.]