

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

张桂芬^{1,2*}, 刘万学^{1,2}, 万方浩^{1,2}, 洗晓青^{1,2}, 张毅波^{1,2}, 郭建洋^{1,2}

¹中国农业科学院植物保护研究所,植物病虫害生物学国家重点实验室/农业农村部作物有害生物综合治理重点实验室; ²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: 番茄潜叶蛾原产于南美洲的秘鲁,严重危害多种茄科作物,是最具毁灭性的世界检疫性害虫,严重发生地块番茄减产80%~100%。该虫主要借助农产品的贸易活动进行远距离传播扩散。截至2017年,番茄潜叶蛾已在全世界的85个国家和地区发生(以及在22个国家和地区疑似发生)。目前,我国尚没有该虫分布,然而其一旦入侵,将对我国的番茄和马铃薯产业构成巨大威胁。从番茄潜叶蛾寄主范围、危害特点及造成的经济损失、生物生态学特性、地理分布和传播扩散途径、防控措施等方面进行概述,以期为该虫的有效防范提供参考。

关键词: 番茄潜叶蛾; 检疫性害虫; 番茄害虫; 生物生态学; 地理分布; 传播扩散途径; 防控措施

Bioecology, damage and management of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), a worldwide quarantine pest

ZHANG Guifen^{1,2*}, LIU Wanxue^{1,2}, WAN Fanghao^{1,2}, XIAN Xiaoqing^{1,2}, ZHANG Yibo^{1,2}, GUO Jianyang^{1,2}

¹State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests/Key Laboratory of Integrated Pest Management of Crop, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences;

²Center for Management of Invasive Alien Species, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China

Abstract: The tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick), native to Peru, South America, is a devastating quarantine pest worldwide. If no control measures are taken, the pest can cause up to 80%–100% yield losses in tomato crops. The pest mainly spread by long-distance trade in agricultural products. As of 2017, the occurrence of *T. absoluta* has been reported from 85 countries and regions around the world (and its presence suspected in 22 countries and regions). Currently there are no records of its occurrence in China. However, if invaded, it would pose a grave threat to tomato (as well as potato) production. This paper summarizes the information on the host plant range, damage, biological and ecological characteristics, geographical distribution, spreading pathways, and available management measures of this pest.

Key words: *Tuta absoluta*; quarantine pest; tomato pest; bioecology; geographic distribution; spreading pathway; management measure

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick), 属鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 又名番茄麦蛾(马菲等, 2011)、番茄潜麦蛾、南美番茄潜叶蛾, 英文常用名 the tomato leafminer、the South American tomato pinworm、the tomato pinworm。该虫起源于南美洲西部的秘鲁, 20世纪50年代以来一直是南美洲国家

露地和保护地番茄的重要害虫(Desneux *et al.*, 2010), 2006年传入欧洲的西班牙, 此后迅速遍布欧洲各国并快速扩散至亚欧非大陆(Afro-Eurasian supercontinent)。截至2017年, 该种害虫已入侵80多个国家和地区, 其中包括亚洲的印度(Shasank *et al.*, 2015)、尼泊尔、阿富汗、吉尔吉斯斯坦等(Campos

收稿日期(Received): 2018-03-15 接受日期(Accepted): 2018-05-04

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1200600); 中国农业科学院科技创新工程项目(caasx-2013-2018-IAS)

作者简介: 张桂芬, 女, 研究员。研究方向: 入侵生物学

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: guifenzhang3@163.com

et al., 2017; Uulu *et al.*, 2017), 已成为世界性番茄重要害虫, 对全球番茄产业的健康发展构成了严重威胁(Biondi *et al.*, 2018; Campos *et al.*, 2017; Desneux *et al.*, 2010)。目前, 该种害虫在我国尚未分布; 然而, 一旦入侵将对我国的番茄(以及马铃薯)产业造成巨大影响。本文将对番茄潜叶蛾寄主范围、危害特点及造成的经济损失、生物生态学特性、地理分布和传播扩散途径, 以及防控措施等进行概述, 以期为该虫的有效预防提供依据。

1 寄主范围

番茄潜叶蛾主要危害茄科植物, 尤其嗜食番茄 *Lycopersicon esculentum* Mill., 包括鲜食番茄和加工番茄; 该虫还可危害马铃薯 *Solanum tuberosum* L.、茄子 *Solanum melongena* L.、甜椒 *Capsicum annuum* L.、烟草 *Nicotiana tabacum* L. (Desneux *et al.*, 2010)、人参果 *Solanum muricatum* Aiton (CABI, 2018) 等茄科作物, 以及龙葵 *Solanum nigrum* L.、银毛龙葵 *Solanum eleagnifolium* L.、南美独行菜 *Solanum bonariense* L.、拟刺茄 *Solanum sisymbriifolium* Lam.、*Solanum saponaceum* Hook.、*Lycopersicon puberulum* Ph. 和多刺曼陀罗 *Datura ferox* L.、直果曼陀罗 *Datura stramonium* L.、光烟草 *Nicotiana glauca* Graham 等茄科杂草 (Abbes *et al.*, 2016; Desneux *et al.*, 2010)。入侵欧洲以后, 该种害虫还危害水果酸浆(又名灯笼果、菇娘、洋菇娘) *Physalis peruviana* L. (Tropea Garzia, 2009)、菜豆 *Phaseolus vulgaris* L. 以及枸杞属 *Lycium* sp. 和锦葵属 *Malva* sp. 植物 (Desneux *et al.*, 2010); 此外, 还可以在苋科 *Amaranthaceae* 的邹果苋 *Amaranthus viridis* L.、旋花科 *Convolvulaceae* 的田旋花 *Convolvulus arvensis* L. (Bawin *et al.*, 2016)、藜科 *Chenopodiaceae* 的菠菜 *Spinacia oleracea* L.、甜菜 *Beta vulgaris* L.、红叶藜 *Chenopodium rubrum* L.、菊科 *Asteraceae* 的苦苣菜 *Sonchus oleraceus* L.、十字花科 *Brassicaceae* 的野油菜 *Sinapis arvensis* L.、以及禾本科 *Poaceae* 的假高粱 *Sorghum halepense* (Linn.) Pers. 等植物上产卵和生长发育 (CABI, 2018)。

2 危害特点及造成的经济损失

2.1 危害特点

番茄潜叶蛾主要以幼虫进行危害, 可以在番茄植株的任一发育阶段和任一地上部位进行危害。据观察, 雌性成虫最喜欢在植株上部刚刚展开的叶片上产卵, 占总产卵量的 73%; 在叶脉和嫩茎上的产卵量占 21%; 而产在果萼和幼果上的卵相对较

少, 分别占 5% 和 1% (Desneux *et al.*, 2010)。幼虫一经孵化便潜入寄主植物组织中, 取食叶肉, 并在叶片上形成细小的潜道, 通常早期不易被发现, 隐蔽性极强; 当虫口密度比较高、幼虫龄期比较大时, 还可蛀食顶梢、腋芽、嫩茎以及幼果。3~4 龄幼虫潜食叶片时, 潜道明显且不规则, 并留下黑色粪便及窗纸样上表皮, 影响植物光合作用, 严重时叶片皱缩、干枯、脱落; 潜蛀嫩茎时, 多形成龟裂影响植株整体发育, 并引发幼茎坏死; 蛀食幼果时, 常使果实变小、畸形, 形成的孔洞不仅影响产品外观, 而且增加采收后人工分拣成本, 甚至会招致次生致病菌寄生, 造成果实腐烂; 蛀食顶梢时, 常使番茄生长点枯死, 形成不育植株, 进而造成丛枝或叶片簇生; 此外, 幼虫还喜欢在果萼与幼果连接处潜食, 使幼果大量脱落, 造成严重减产 (CABI, 2018; Desneux *et al.*, 2010; Imenes *et al.*, 1990)。

2.2 经济损失

自番茄潜叶蛾入侵欧洲、非洲和中东以来, 已对当地番茄产业造成了极大影响。在该虫发生地, 倘若不予防治或防治不及时, 将造成 80%~100% 的番茄产量损失 (Desneux *et al.*, 2010), 以及昂贵的防治费用投入; 同时, 会导致番茄价格的持续升高、番茄果实和种苗的贸易限制 (USDA-APHIS, 2012)、化学农药使用量的急剧增加、其他番茄有害生物综合防控计划的改变, 以及作物保护费用的大幅增长 (Zappalà *et al.*, 2012) 等; 该种害虫的暴发还常常导致化学药剂的盲目使用, 显著增加了种植业风险、消费者风险以及环境风险 (CABI, 2018; USDA-APHIS, 2012; Zappalà *et al.*, 2012; Zlof & Suffert, 2012)。该种害虫具有高的生物潜能和对各种气候条件的强适应性, 以及快速定殖能力。因此, 其对非洲和亚洲国家的潜在入侵, 将会使当地番茄种植者和番茄加工企业失去赖以生存的经济来源 (CABI, 2018)。例如: 在西班牙, 2008 年由于番茄潜叶蛾的危害导致番茄作物颗粒无收, 减产 100% (EPPO, 2008); 在荷兰, 由于该虫危害每年造成番茄大约 620 万美元到 1.55 亿美元的直接经济损失, 且每个生长季的化学农药使用量较以往增加 13~15 次, 防治费用高达 496 万美元 (Potting *et al.*, 2013); 在西班牙和突尼斯, 2009—2011 年分别有 15 和 18 种生物活性杀虫剂用于防治番茄潜叶蛾 (Abbes *et al.*, 2012; Desneux *et al.*, 2011); 在尼日利亚北部, 番茄潜叶蛾的危害致使 80% 以上的番茄毁于一旦, 使当地番茄价格飙升了

20倍(Campos *et al.*, 2017)。在南美洲,该虫由原产地(秘鲁)入侵到邻近国家以后,导致番茄田杀虫剂使用次数由之前每个生长季节的12次猛增到30次以上(Gontijo *et al.*, 2013; Guedes & Picanço, 2012);大量多次用药不仅对授粉昆虫和自然天敌产生了不利影响,诱发高抗药性种群的出现(Campos *et al.*, 2014, 2017; Roditakis *et al.*, 2015),而且引发了预料不到的后果,如次要害虫的大暴发(Desneux *et al.*, 2007; Guedes *et al.*, 2016)。

3 生物生态学习性

3.1 主要形态特征

成虫体长6~7 mm,翅展8~10 mm,体色为浅

灰色或灰褐色,鳞片银灰色;触角丝状;下唇须发达,向上翘弯;足细长;触角、下唇须和足均具有灰白色与暗褐色相间的横纹(图1A)(CABI, 2018; Imenes *et al.*, 1990)。

幼虫分为4个龄期。初孵幼虫为奶白色或淡黄白色,头部为淡棕黄色,体长0.4~0.6 mm;2龄幼虫淡绿色或淡黄白色;3和4龄幼虫绿色,或背部淡粉红色(依取食的寄主部位及发生时期变化),头部棕黄色,前胸背板棕黄色,后缘具有棕褐色斑纹(图1B)(CABI, 2018)。



图1 番茄潜叶蛾的成虫(A)和幼虫(B)(引自CABI, 2018)
Fig.1 Adult (A) and larva (B) of *Tuta absoluta* (source: CABI, 2018)

3.2 生物学特性

在南美洲,番茄潜叶蛾每年发生10~12代(Desneux *et al.*, 2010; Martins *et al.*, 2016)。成虫主要将卵产在植株上部叶片的背面、正面或嫩茎上,少部分产在幼果和果萼上,散产或2~3粒聚产(Cocco *et al.*, 2015)。在温度26~30℃、相对湿度60%~75%的条件下,卵经过5~7 d孵化为幼虫,幼虫发育历期约为20 d(CABI, 2018)。幼虫老熟后吐丝下垂,主要在土壤中化蛹,入土深度1~2 cm;亦可在潜道内、叶片表面皱褶处或果实中化蛹,且常常结一薄薄的丝茧(Biondi *et al.*, 2018; Uchôa-Fernandes *et al.*, 1995)。雌性蛹的发育历期为10~11 d,雄性为11~13 d;同一天化蛹的雌虫和雄虫,通常雌虫先羽化;在实验室条件下,成虫可以存活30~40 d(CABI, 2018)。在地中海盆地,成虫周年可见(Desneux *et al.*, 2010),雌虫和雄虫寿命分别为10~15 d和6~7 d(Desneux *et al.*, 2010)。成虫多在黄昏活动,雌虫羽化1~2 d后即可释放性信息素吸引雄虫前来交配,上午7:00—11:00为交配盛

期,雌虫一天只能交配1次,一生可以交配6次,每次交配持续4~5 h(Desneux *et al.*, 2010);而室内交配次数较多,平均为10.4次(Uchôa-Fernandes *et al.*, 1995),交配持续时间也从几分钟到6 h不等(Lee *et al.*, 2014)。雌虫繁殖力比较强,一生最多产卵约260粒;第一次交配后的前7 d是其产卵高峰期,约占总产卵量的76%(Desneux *et al.*, 2010; Uchôa-Fernandes *et al.*, 1995)。

3.3 生态学习性

最适宜番茄潜叶蛾生长发育的温度约为30℃,完成一代所需时间依环境温度的变化而各不相同。如当环境温度为14和19.7℃时,在番茄上完成一代分别需要76.3和39.8 d;而当环境温度为27.1℃时,完成一代需要23.8 d(Desneux *et al.*, 2010; Martins *et al.*, 2016)。卵、幼虫和蛹的发育起点温度分别为6.9、7.6和9.2℃,有效积温分别为103.8、238.5和117.3日度;卵至成虫的发育起点温度为8.1℃,有效积温为453.6日度(Desneux *et al.*, 2010)。该种害虫对环境的适应能力极强,既可在严寒地域或

严寒季节的保护地建立种群,又可在温暖区域或温暖季节的露地发生与危害(Biondi *et al.*, 2018; Van Damme *et al.*, 2014),还可在海拔高度为 1000~3500 m 的地域生长和发育(Desneux *et al.*, 2010; Povolny, 1975)。该虫具有较强的耐寒特性,当温度为 4 °C 时,幼虫可以存活数周(Desneux *et al.*, 2010);即使在 0 °C 环境下也有大约 50% 的个体(包括幼虫、蛹和成虫)可以存活 11.1~17.9 d(Cuthbertson *et al.*, 2013)。此外,只要有适宜的寄主植物存在,即使短日照也不会诱发其发生滞育现象(Desneux *et al.*, 2010; Van Damme *et al.*, 2014)。然而,该种害虫对寄主植物的全株性逆境胁迫比较敏感,如当番茄植株缺乏氮素或干旱时,由于摄食动力的改变(Coqueret *et al.*, 2017),常导致幼虫存活率降低,以及发育历期延长(Han *et al.*, 2014; Larbat *et al.*, 2016)。

4 地理分布和传播扩散途径

4.1 地理分布

番茄潜叶蛾原产于南美洲的秘鲁(中部高地),20 世纪 60 年代扩散到拉美国家(Campos *et al.*, 2017; Desneux *et al.*, 2011);80 年代初期,主要在南美洲发生与危害(Desneux *et al.*, 2010);在其入侵欧洲之前,只在南美洲以及智利的复活节岛(距智利约 3000 km)发生(Ripa *et al.*, 1995)。2006 年底,该虫传入欧洲并首次在西西班牙东部的 Castellón de la Plana 省被发现(据推测,其与农产品的贸易活动直接相关);尽管当时的欧洲联盟具有组织良好的植物保护机构,可是由于欧盟内部各成员国(已入侵与未入侵国)之间缺乏协调一致的防控行动,相关的应急措施在阻止该虫在欧洲的传播扩散中未能奏效(Desneux *et al.*, 2010),致使其迅速扩散至地中海沿岸的所有番茄种植区域,并以每年 800 km 的速度向东、向南快速推进(Biondi *et al.*, 2018; Desneux *et al.*, 2010)。截至 2017 年,番茄潜叶蛾已在全世界的 85 个国家和地区发生(以及在 22 个国家和地区疑似发生)(Campos *et al.*, 2017; Uulu *et al.*, 2017);南美洲的阿根廷、玻利维亚、巴西、巴拉圭、智利、哥伦比亚、厄瓜多尔、秘鲁、乌拉圭、委内瑞拉等 10 个国家,欧洲的西班牙(包括巴利阿里群岛)、奥地利、阿尔巴尼亚、波黑、保加利亚、比利时、德国、俄罗斯(南部)、法国、荷兰、黑山、

捷克、克罗地亚、科索沃、立陶宛、马耳他、开曼岛、葡萄牙(包括亚速尔群岛)、罗马尼亚、塞尔维亚、塞浦路斯、斯洛文尼亚、瑞士、乌克兰、希腊(包括克里特岛)、匈牙利、意大利、亚美尼亚、英国(包括英属格恩西)等 29 个国家,非洲的阿尔及利亚、埃及、埃塞俄比亚、博茨瓦纳、布基纳法索、厄立特里亚、弗得角(圣地亚哥岛)、肯尼亚、利比亚、卢旺达、马约特岛、摩洛哥、莫桑比克、南非、纳米比亚、尼日尔、尼日利亚、塞内加尔、加那利群岛(西班牙属)、苏丹、坦桑尼亚、突尼斯、乌干达、赞比亚等 24 个国家/地区,中美洲的巴拿马和加勒比海的哥斯达黎加(Biondi *et al.*, 2018; CABI, 2018; Campos *et al.*, 2017; Desneux *et al.*, 2010),以及亚洲的阿富汗、巴林、孟加拉、格鲁吉亚、印度、伊朗、伊拉克、以色列、约旦、科威特、黎巴嫩、尼泊尔、卡塔尔、沙特阿拉伯、土耳其、土库曼斯坦、阿联酋、叙利亚、也门(Biondi *et al.*, 2018; CABI, 2018; Desneux *et al.*, 2010)(图 2)和吉尔吉斯斯坦(Uulu *et al.*, 2017)等 20 个国家。另据报道,巴基斯坦、塔吉克斯坦和缅甸可能亦有该虫的发生(Campos *et al.*, 2017),但尚未得到证实。

4.2 传播扩散途径

根据在南美洲的经验,番茄潜叶蛾的远距离传播主要借助农产品的贸易活动,尤其是番茄的跨境跨区域运输,传播载体包括来自疫区/发生区的番茄果实(尤其带蔓番茄)、集装箱/装货箱和包装物/填充物及其运输工具、番茄或茄子的种苗,以及茄科花卉的种苗等(Campos *et al.*, 2017; Desneux *et al.*, 2010)。其在欧洲和地中海盆地各国间的快速蔓延,再次证实了该虫可以借助疫区带虫番茄果实的调运进行远距离扩散(Desneux *et al.*, 2010)。例如:2009 年 1 月,荷兰的一家番茄包装中心即来自西班牙疫区的番茄果实上发现了番茄潜叶蛾的成虫;在英国,该虫的首次田间暴发主要是由于从西班牙和意大利进口了携带有该种害虫的番茄包装物(FERA, 2009; NPPS, 2009; Potting *et al.*, 2013)。番茄潜叶蛾的中短距离扩散,主要是通过自然因素(Desneux *et al.*, 2010)。气流在番茄潜叶蛾成虫扩散蔓延中起着重要作用(Desneux *et al.*, 2010)。此外,受该虫侵染的温室和苗圃,在其进一步入侵和扩张中常常起到了桥头堡的作用(Biondi *et al.*, 2018)。



图2 截至2017年4月番茄潜叶蛾的世界分布示意图(引自 Campos *et al.*, 2017)

Fig.2 Current worldwide distribution of *Tuta absoluta*, as of April 2017 (source: Campos *et al.*, 2017)

深灰色:已确认发生国家;浅灰色:疑似发生国家。

Dark grey indicates countries where *T. absoluta* presence has been confirmed, light grey indicates areas where *T. absoluta* could be considered present because of geographical and ecological proximity, or because the presence has not yet been confirmed after an initial record.

5 防控措施

5.1 化学防治

大范围的使用化学农药是目前控制番茄潜叶蛾发生与危害的首选,尤其是在其入侵到一个新区域的最初几年(Desneux *et al.*, 2011)。农药配方助剂和合理的喷药技术等可以在一定程度上提高防控效果;然而,由于该虫田间定殖早,幼虫隐蔽性强且可以为害多个部位(包括顶梢、嫩尖、嫩茎、叶片、果实等),加之成虫繁殖力强,以及寄主番茄所特有的较长的适宜幼虫直接危害的结果时期和植株冠层所提供的庇护作用,即使是高强度地使用化学农药,其防治效果也不尽如人意(Guedes & Picanço, 2012; Picanço *et al.*, 1998),进而导致了化学药剂的不断更替使用(Biondi *et al.*, 2018)。例如:20世纪60年代最早使用的有机磷类和拟除虫菊酯类杀虫剂被杀螟丹(巴丹)和阿维菌素替代,而后被二嗪茛虫威替代,之后又被几丁质合成抑制剂所代替(Guedes & Picanço, 2012; Guedes & Siqueira, 2012; Siqueira *et al.*, 2000);到了21世纪,使用的杀虫剂种类主要有吡咯腈和多杀菌素(多杀霉素),目前主要是以氯虫酰胺类和氟虫酰胺类杀虫剂为主(Gontijo *et al.*, 2013; Guedes & Picanço, 2012; Silva *et al.*, 2011);有机番茄生产中杀虫药剂的使用,则更是被局限于印楝素、多杀菌素和苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)制剂等少数几种(Biondi *et al.*, 2012a, 2012b; Silva *et al.*, 2011; Tomé *et al.*, 2013)。杀虫剂广泛过度的使用导致该虫对多种药剂产生了抗性,包括有机磷类(Salazar & Araya,

2001)、拟除虫菊酯类(Haddi *et al.*, 2012)、阿维菌素(Siqueira *et al.*, 2000)、巴丹(Siqueira *et al.*, 2000)、邻甲酰氨基苯甲酰胺类(Roditakis *et al.*, 2015, 2017; Silva *et al.*, 2016),以及生物源药剂多杀菌素(Campos *et al.*, 2014, 2015)、印楝素(Siqueira *et al.*, 2001)、几丁质合成抑制剂(Gontijo *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2011)等。

5.2 生物防治

5.2.1 天敌昆虫 在南美洲(Desneux *et al.*, 2010)以及欧亚非大陆(Zappalà *et al.*, 2013),对番茄潜叶蛾具有控制作用的自然天敌类群有160余种(Biondi *et al.*, 2018)。其中,半翅目的花蝽、长蝽、盲蝽、拟猎蝽以及蝽科的蝽象等,无论是在原产地还是入侵地均对番茄潜叶蛾具有很好的控制效果。如在欧洲,盲蝽类天敌烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis* Reuter、*Macrolophus pygmaeus* Rambur 和小盲蝽属种类 *Dicyphus* spp., 虽然其生态学特性各不相同,但均可通过取食卵和幼龄幼虫,降低或控制该种害虫在番茄作物上的种群建立和种群增长(Jaworski *et al.*, 2015)。其他的广食性捕食性天敌,如巴西的胡蜂也可能对该虫具有一定的控制作用(Picanço *et al.*, 2011)。另,蜘蛛、捕食螨、蓟马、草蛉、螳螂、步甲、瓢虫以及蚂蚁等也会捕食该种害虫,但其控害作用尚不明确(Desneux *et al.*, 2010; Zappalà *et al.*, 2013)。此外,还有多种寄生性天敌,如赤眼蜂可以寄生该种害虫的卵,但其自然寄生率不是很高(Chailleux *et al.*, 2012);寡节小蜂科和茧蜂科昆虫(主要为外寄生蜂)可以寄生其幼虫,如茧蜂科的

Pseudapanteles dignus (Muesebeck) 和寡节小蜂科的 *Dineulophus phthorimaeae* (De Santis) 在南美洲对该虫的寄生率高达 40% (Desneux *et al.*, 2010), 芙新姬小蜂 *Neochrysocharis formosa* (Westwood) 是唯一一种既可在原产地又可在入侵地发生的寄生蜂 (Biondi *et al.*, 2018); 而蛹寄生蜂只是偶有发现 (Biondi *et al.*, 2018)。

5.2.2 致病微生物 生物杀虫剂, 如 *Bt* 的 kurstak 和 aizawai 菌株, 一旦被取食吸收即可置幼虫于死地 (González-Cabrera *et al.*, 2011); 其他的致病微生物, 如杆菌属 *Bacillus* 的其他种类, 以及白僵菌 *Beauveria bassiana* Vuill (Borgi *et al.*, 2016) 和绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* Sorokin (Contreras *et al.*, 2014), 虽无专门的商品制剂, 但有关该方面的研究较多。此外, 斯氏线虫属 *Steinernema* 和异小杆线虫属 *Heterorhabditis* 线虫在实验室和温室条件下可使植株受害率降低 87%~95% (Batalla-Carrera *et al.*, 2010)。

5.2.3 其他生物控制因素 反-3, 顺-8, 顺-11-十四碳三烯乙酸酯 [(3E, 8Z, 11Z)-3, 8, 11-tetradecatrienyl acetate] (Attygalle *et al.*, 1995, 1996) 和反-3, 顺-8-十四碳烯醇乙酸酯 [(3E, 8Z)-3, 8-tetradecadienyl acetate] (Fihlo *et al.*, 2000; Griepink *et al.*, 1996) 是番茄潜叶蛾雌性成虫释放的性信息素的主要成分, 2 种组分以 91:9 的比例对雄性成虫进行大规模的诱杀, 可明显降低番茄潜叶蛾的虫口数量, 且与杀虫剂联合应用防效更佳 (Desneux *et al.*, 2010); 同时, 第一种成分常用于该种害虫的早期监测, 如在巴西 (Uchoa-Fernandes *et al.*, 1995) 和我国 (Xian *et al.*, 2017)。

此外, 抗性品种的选育 (Oliveira *et al.*, 2009; Sohrabi *et al.*, 2016)、与非寄主植物的轮作 (Terzidis *et al.*, 2014; Trope Garzia *et al.*, 2012) 以及适当的肥水调控 (Han *et al.*, 2014) 等, 对番茄潜叶蛾的发生与危害均具有良好的控制作用 (Campos *et al.*, 2017; Desneux *et al.*, 2010)。

6 结语

大约在 10 年前, 番茄潜叶蛾从其原产地南美洲入侵到欧洲, 之后便迅速扩散, 目前几乎遍布整个亚欧非大陆, 番茄受害面积达 280 万 hm^2 , 约占全球番茄种植面积的一半以上 (FAOSTAT, 2012), 直接经济损失约 60 亿美元; 在全球 10 个番茄最大种

植园中已有 6 个国家 (印度、土耳其、埃及、伊朗、意大利和西班牙) 有该虫的发生与危害, 而这些国家大约 50% 的番茄/制品外销他国 (FAOSTAT, 2012)。

我国番茄的收获面积和种植面积均位居世界第一, 是世界上加工番茄第三大种植国和番茄制品第一大出口国 (FAOSTAT, 2017), 2009—2016 年我国番茄每年收获面积为 96.7 万 hm^2 , 年平均产量 5042.5 万 t。我国虽然没有番茄潜叶蛾的分布, 但该虫对我国的潜在威胁巨大, 其入侵我国风险的定量评估值 R 为 2.76, 属于极高风险性农业有害生物; 同时, 其适生区条件与我国番茄种植区和马铃薯种植区高度吻合 (Biondi *et al.*, 2018; Xian *et al.*, 2017)。该种害虫已经在我国的周边国家如印度、尼泊尔、阿富汗、土库曼斯坦 (Biondi *et al.*, 2018; CABI, 2018)、吉尔吉斯斯坦 (Uulu *et al.*, 2017) 发生, 在巴基斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦以及缅甸疑似发生 (Campos *et al.*, 2017)。此外, 近年我国有时会从番茄潜叶蛾发生国家 (意大利、荷兰、法国、智利) 进口新鲜或冷藏的番茄和马铃薯 (<http://www.haiguan.info>), 海关入境旅客携带物检疫时有时会查获番茄, 且近 40% 来自疫区国家 (包括法国、俄罗斯、埃及、伊朗、阿联酋、意大利、印度等) (<http://www.pestchina.com>), 边民互市点也存在鲜食番茄的小额贸易。因此, 番茄潜叶蛾对我国的潜在入侵威胁将持续存在, 并且一旦入侵将造成巨大经济损失 (仅番茄按收购价 $1 \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、减产 10% 计, 直接经济损失约 50 亿元)。有关部门一定要密切监视, 严加防范番茄潜叶蛾传入我国。

参考文献

- 马菲, 张俊华, 于艳雪, 曹逸霞, 段胜勇, 2011. 番茄麦蛾. 植物检疫, 25(5): 55-58.
- ABBES K, HARBI A, CHERMITI B, 2012. The tomato leaf-miner *Tuta absoluta* (Meyrick) in Tunisia: current status and management strategies. *EPPO Bulletin*, 42: 226-233.
- 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: 334-342.
- ATTYGALLE A B, JHAM G N, SVATOS A, FRIGHETTO R T S, MEINWALD J, VILELA E F, FERRARA F A, UCHÔA-FERNANDES M A, 1995. Microscale, random re-

- duction: application of the characterization of (3E, 8Z, 11Z)-3, 8, 11-tetradecatrienyl acetate, a new lepidopteran sex pheromone. *Tetrahedron Letters*, 36(31): 5471–5474.
- ATTYGALE A B, JHAM G N, SVATOS A, FRIGHETTO R S T, FERRARA F A, VILELA E F, UCHÔA-FERNANDES M A, MEINWALD J, 1996. (3E, 8Z, 11Z)-3, 8, 11-tetradecatrienyl acetate, major sex pheromone component of the tomato pest *Scrobipalpuloides absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 4(3): 305–314.
- BATALLA-CARRERA L, MORTON A, GARCÍA-DEL-PINO F, 2010. Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions. *BioControl*, 55: 523–530.
- BAWIN T, DUJEU D, DE BACKER L, FRANCIS F, VERHEGGEN F J, 2016. Ability of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to develop on alternative host plant species. *The Canadian Entomologist*, 148: 434–442.
- BIONDI A, DESNEUX N, SISCARO G, ZAPPALÀ L, 2012a. Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selective and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere*, 87: 803–812.
- BIONDI A, MOMMAERTS V, SMAGGHE G, VIÑUELA E, ZAPPALÀ L, DESNEUX N, 2012b. The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. *Pest Management Science*, 68: 1523–1536.
- BIONDI A, GUEDES R N C, WAN F H, 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.
- BORGI I, DUPUY J W, BLIBECH I, LAPAILLERIE D, LOMENECH A M, REBAI A, KSANTINI M, BONNEU M, GARGOURI A, 2016. Hyper-proteolytic mutant of *Beauveria bassiana*, a new biological control agent against the tomato borer. *Agronomy for Sustainable Development*, 4: 1–9.
- CABI, 2018. Invasive species compendium, *Tuta absoluta* (tomato leafminer) datasheet. (2018–02–16) [2018–05–04]. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/49260#toPictures>.
- CAMPOS M R, RODRIGUES A R S, SILVA W M, SILVA T B M, SILVA V R F, GUEDES R N C, SIQUEIRA H À A, 2014. Spinosad and the tomato borer *Tuta absoluta*: a bioinsecticide, an invasive pest threat, and high insecticide resistance. *PLoS ONE*, 9: e103235.
- CAMPOS M R, SILVA T B M, SILVA W M, SILVA J E, SIQUEIRA H À A, 2015. Spinosyn resistance in the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Pest Science*, 88: 405–412.
- CAMPOS M R, BIONDI A, ADIGA A, GUEDES R N C, DESNEUX N, 2017. From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* ten years after invading Europe. *Journal of Pest Science*, 90: 787–796.
- CHAILLEUX A, DESNEUX N, SEGURET J, DO T K H, MAIGNET P, TABONE E, 2012. Assessing European egg parasitoids as a mean of controlling the invasive South American tomato pinworm *Tuta absoluta*. *PLoS ONE*, 7: e48068.
- COCCO A, DELIPERI S, LENTINI A, MANNU R, DELRIO G, 2015. Seasonal phenology of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in protected and open-field crops under Mediterranean climatic conditions. *Phytoparasitica*, 43: 713–724.
- CONTRERAS J, MENDOZA J E, MARTÍNEZ-AGUIRRE M R, GARCÍA-VIDAL L, IZQUIERDO J, BIELZA P, 2014. Efficacy of entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology*, 107: 121–124.
- COQUERET V, LE BOT J, LARBAT R, DESNEUX N, ROBIN C, ADAMOWICZ S, 2017. Nitrogen nutrition of tomato plant alters leafminer dietary intake dynamics. *Journal of Insect Physiology*, 99: 130–138.
- CUTHBERTSON A G S, MATHERS J J, BLACKBURN L F, KORYCINSKA A, LUO W, JACOBSON R J, NORTHING P, 2013. Population development of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under simulated UK glasshouse conditions. *Insects*, 4: 185–197.
- DESNEUX N, DECOURTYE A, DELPUECH J, 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81–106.
- DESNEUX N, WAJNBERG E, WYCKHUYS K A G, BURGIO G, ARPAIA S, NARVÁEZ-VASQUEZ C A, GONZÁLEZ-CABRERA J, RUESCAS D C, 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: 197–215.
- DESNEUX N, LUNA M G, 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: 403–408.
- EPPO, 2008. *Additional information provided by Spain on EPPO A1 pests. EPPO reporting service* (ES-Ta/2008–01).
- FAOSTAT, 2012. *The FAO Statistical Database (FAOSTAT)*. ICTupdate, FAO, Rome. [2018–03–10]. <http://www.fao.org/faostat>.
- FAOSTAT, 2017. *The FAO Statistical Database (FAOSTAT)*. ICTupdate, FAO, Rome. [2018–03–10]. <http://www.fao.org/faostat>.

- FERA, 2009. FERA confirms the first outbreak in the UK of *Tuta absoluta* — the South American tomato moth. (2014-09-04) [2018-03-10]. <http://www.fera.defra.gov.uk/showNews.cfm?id=402>.
- FILHO M M, VILELA E F, ATTYGALLE A B, MEINWALD J, SVATOS A, JHAM G N, 2000. Field trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* with pheromone traps. *Journal of Chemical Ecology*, 26(4): 875-881.
- GONTIJO P C, PICANÇO M C, PEREIRA E J G, MARTINS J C, CHEDIAK M, GUEDES R N C, 2013. Spatial and temporal variation in the control failure likelihood of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. *Annals of Applied Biology*, 162: 50-59.
- GONZÁLEZ-CABRERA J, MOLLÁ O, MONTÓN H, UR-BANEJA A, 2011. Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) in controlling the tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *BioControl*, 56: 71-80.
- GRIEPINK F C, VAN BEEK T A, POSTHUMUS M A, GRO-OT A, VISSER J H, VOERMAN S, 1996. Identification of the sex pheromone of *Scrobipalpuloides absoluta*: determination of double bond position in triple unsaturated straight chain molecules by means of dimethyl disulphide derivatization. *Tetrahedron Letters*, 37: 411-414.
- GUEDES R N C, PICANÇO M C, 2012. The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: pest status, management and insecticide resistance. *EPPO Bulletin*, 42: 211-216.
- GUEDES R N C, SIQUEIRA-H Á A, 2012. The tomato borer *Tuta absoluta*: insecticide resistance and control failure. *CAB Reviews*, 7: 1-7.
- GUEDES R N C, SMAGGHE G, STARK J D, DESNEUX N, 2016. Pesticide induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual Review of Entomology*, 61: 43-62.
- HADDI K, BERGER M, BIELZA P, CIFUENTES D, FIELD L M, GORMAN K, RAPISARDA C, WILLIAMSON M S, BASS C, 2012. Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 42: 506-513.
- HAN P, LAVOIR A V, LE BOT J, AMIENS-DESNEUX E, DESNEUX N, 2014. Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta*. *Scientific Report*, 4: 4455.
- IMENES S D L, UCHÔA-FERNANDES M A, CAMPOS T B, TAKEMATSU A P, 1990. Aspectos biológicos e comportamentais da trata do tomateiro *Scrobipalpulula absoluta* (Meyrick, 1917), (Lepidoptera-Gelechiidae). *Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo*, 57(1/2): 63-68.
- JAWORSKI C C, CHAILLEUX A, BEAREZ P, DESNEUX N, 2015. Apparent competition between major pests reduces pest population densities on tomato crop, but not yield loss. *Journal of Pest Science*, 88: 793-803.
- LARBAT R, ADAMOWICZ S, ROBIN C, HAN P, DESNEUX N, LE BOT J, 2016. Interrelated responses of tomato plants and the leaf miner *Tuta absoluta* to nitrogen supply. *Plant Biology*, 18: 495-504.
- LEE M S, ALBAJES R, EIZAGUIRRE M, 2014. Mating behaviour of female *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): polyandry increases reproductive output. *Journal of Pest Science*, 87: 429-439.
- MARTINS J C, PICANÇO M C, BACCI L, GUEDES R N C, SANTANA P A, Jr, FERREIRA D O, CHEDIAK M, 2016. Life table determination of thermal requirements of the tomato borer *Tuta absoluta*. *Journal of Pest Science*, 89: 897-908.
- Netherlands Plant Protection Service (NPPS), 2009. *Tuta absoluta Povolny (Gelechiidae) - tomato leaf miner - in tomato packaging facility in The Netherlands*. Pest record (February 2009), Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality of Netherlands.
- OLIVEIRA F A, DA SILVA D J H, LEITE G L D, JHAM G N, PICANÇO M, 2009. Resistance of 57 greenhouse-grown accessions of *Lycopersicon esculentum* and three cultivars to *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Scientia Horticulturae*, 119: 182-187.
- PICANÇO M C, LEITE G L D, GUEDES R N C, SILVA E A, 1998. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays and plant spacing. *Crop Protection*, 17: 447-452.
- PICANÇO M C, BACCI L, QUEIROZ R B, SILVA G A, MIRANDA M M M, LEITE G L D, SUINAGA F A, 2011. Social wasp predators of *Tuta absoluta*. *Sociobiology*, 58: 621-633.
- POTTING R P J, VAN DER GAAG D J, LOOMANS A, VAN DER STRATEN M, ANDERSON H, MACLEOD A, CASTRILLÓN J M G, CAMBRA G V, 2013. *Tuta absoluta, tomato leaf miner moth or South American tomato moth*. Utrecht, The Netherlands: Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, Plant Protection Service of the Netherlands.
- POVOLNY D, 1975. On three neotropical species of *Gnorimoschemini* (Lepidoptera, Gelechiidae) mining Solanaceae. *Acta Universitatis Agriculturae*, 23: 379-393.
- RIPA S R, ROJAS P S, VELASCO G, 1995. Releases of biological control agents of insect pests on Easter Island (Pacific Ocean). *Entomophaga*, 40: 427-440.
- 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: 9-16.
- RODITAKIS E, STEINBACH D, MORITZ G, VASAKIS E,

- STAVRAKAKI M, ILIAS A, GARCÍA-VIDAL L, MARTÍNEZ-AGUIRRE DEL M R, BIELZA P, MOROU E, SILVA J E, SILVA W M, SIQUEIRA H Á A, IQBA S L, TROCZKA B J, WILLIAMSON M S, BASS C, TSAGKARAKOU A, VONTAS J, NAUEN R, 2017. Ryanodine receptor point mutations confer diamide insecticide resistance in tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Insect Biochemistry of Molecular Biology*, 80: 11–20.
- SALAZAR E R, ARAYA J E, 2001. Tomato moth, *Tuta absoluta* (Meyrick) response to insecticides in Arica, Chile. *Agricultura Técnica*, 61(4): 429–435.
- SHASANK P R, CHANDRASEKHAR K, MESHRAM N M, SREEDEVI K, 2015. Occurrence of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), an invasive pest in India. *Indian Journal of Entomology*, 77(4): 323–329.
- SILVA G A, PICAÑO M C, BACCI L, CRESPO A L B, ROSADO J F, GUEDES R N C, 2011. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*, 67: 913–920.
- SILVA J E, ASSIS C P O, RIBEIRO L M S, SIQUEIRA H Á A, 2016. Field evolved resistance and cross-resistance of Brazilian *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) populations to diamide insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 109: 2190–2195.
- SIQUEIRA H Á A, GUEDES R N C, PICAÑO M C, 2000. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 2: 147–153.
- SIQUEIRA H Á A, GUEDES R N C, FRAGOSO D B, MAGALHAES L C, 2001. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Pest Management*, 47(4): 247–251.
- SOHRABI F, NOORYAZDAN H, GHARATI B, SAEIDI Z, 2016. Evaluation of ten tomato cultivars for resistance against tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under field infestation conditions. *Entomologia Generalis*, 36: 163–175.
- TERZIDIS A N, WILCOCKSON S, LEIFERT C, 2014. The tomato leaf miner (*Tuta absoluta*): conventional pest problem, organic management solutions? *Organic Agriculture*, 4: 43–61.
- TOMÉ H V V, MARTINS J C, CORRÊA A S, GALDINO T V S, PICAÑO M C, GUEDES R N C, 2013. Azadirachtin avoidance by larvae and adult females of the tomato leafminer *Tuta absoluta*. *Crop Protection*, 46: 63–69.
- TROPEA GARZIA G, 2009. *Physalis peruviana* L. (Solanaceae), a host plant of *Tuta absoluta* in Italy. *IOBC/WPRS Bulletin*, 49: 231–232.
- TROPEA GARZIA G, SISCARO G, BIONDI A, ZAPPALÀ L, 2012. *Tuta absoluta*, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage. *EPPO Bulletin*, 42: 205–210.
- UCHÔA-FERNANDES M A, LUCIA T M C, VILELA E F, 1995. Mating, oviposition and pupation of *Scrobipalpuloides absoluta* (Meyr.) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Anais da Sociedade Entomologica do Brasil*, 24(1): 159–164.
- USDA-APHIS, 2012. Federal import quarantine order for host materials of tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick). (2012–08–14) [2018–03–10]. http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/plant_imports/federal_order/downloads/2012/DA-2012-21.pdf.
- UULU T E, ULUSOY M R, ÇALIŞKAN A F, 2017. First record of tomato leafminer *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) in Kyrgyzstan. *EPPO Bulletin*, 47(2): 285–287.
- VAN DAMME V, BERKVEN N, MOERKENS R, BERCKMOES E, WITTEMANS L, DE VIS R, CASTEELS H, TIRRY L, DE CLERCQ P, 2014. 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: 533–541.
- XIAN X Q, HAN P, WANG S, ZHANG G F, LIU W X, DESNEUX N, WAN F H, 2017. The potential invasion risk and preventive measures against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in China. *Entomologia Generalis*, 36(4): 319–333.
- ZAPPALÀ L, BERNARDO U, BIONDI A, COCCO A, DELIPERI S, DELRIO G, GIORGINI M, PEDATA P, RAPISARDA C, GARZIA GT, SISCARO G, 2012. Recruitment of native parasitoids by the exotic pest *Tuta absoluta* in Southern Italy. *Bulletin of Insectology*, 65(1): 51–61.
- ZAPPALÀ L, BIONDI A, ALMA A, AL-JBOORY I J, ARNÒ J, BAYRAM A, CHAILLEUX A, EL-ARNAOUTY A, GERLING D, GUENAOUI Y, SHALTIEL-HARPAZ L, SISCARO G, STAVRINIDES M, TAVELLA L, AZNAR R V, URBANEJA A, DESNEUX N, 2013. Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies. *Journal of Pest Science*, 86: 635–647.
- ZLOF V, SUFFERT M, 2012. Report of the EPPO/FAO/IOBC/NEPPO Joint International Symposium on management of *Tuta absoluta* (tomato borer). *EPPO Bulletin*, 42: 203–204.