

重大果蔬害虫番茄潜叶蛾对蓝紫光的趋向性研究*

张桂芬^{1,2**} 张毅波^{1,2**} 赵静娜^{1,3} 冼晓青^{1,2} 王玉生¹
刘万学^{1,2} 万方浩^{1,2} 张晓明³ 李 萍⁴ 刘 慧⁴ 刘万才⁴
李亚红⁵ 王树明⁶ 赵艳梅⁷

(1. 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, 农业农村部入侵生物防控重点实验室, 农业农村部作物有害生物综合治理重点实验室, 北京 100193; 2. 农业农村部外来入侵生物预防与控制研究中心, 北京 100193; 3. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 4. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100026; 5. 云南省植保植检站, 昆明 650034; 6. 云南省玉溪市植保植检站, 玉溪 653100; 7. 玉溪市红塔区植保植检站, 玉溪 653100)

摘 要 【目的】番茄是我国重要的水果和蔬菜作物, 番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 是番茄毁灭性的害虫, 其绿色高效防控技术的研发意义重大。在温棚内开展了番茄重大害虫——番茄潜叶蛾对 5 个蓝紫光不同波长的趋向性研究, 以期监测与防治该虫的诱虫灯研发提供依据。【方法】本研究设置 5 个不同波长(380、405、425、445 和 460 nm)的蓝紫光, 在温棚内进行番茄潜叶蛾的诱集试验, 诱虫灯距地面 20 cm。试验期间, 统计逐日诱蛾总数量、雌蛾数量以及抱卵雌蛾数量, 并比较不同波长的蓝紫光诱捕器的诱集效果。【结果】5 个波长的蓝紫光诱捕器均可诱集到一定数量的番茄潜叶蛾, 不同波长在 50 d 时的日均诱蛾总量从高至低依次为 380 nm (309.0 头) 紫外光、405 nm (99.3 头) 和 425 nm (47.0 头) 紫光、460 nm (37.6 头) 和 445 nm (28.3 头) 蓝光; 不同波长中, 380 nm 紫外光灯光诱捕器的逐日诱蛾总量最高, 逐日诱捕量依次为 380 nm 紫外光>405 nm 紫光>425 nm 紫光=460 nm 蓝光>445 nm 蓝光, 且差异显著 ($P<0.05$)。不同波长的蓝紫光灯光诱捕器均可诱集到高比率的雌性成虫(占比均高于 65%), 其中波长为 380 nm 紫外光的日均诱捕雌蛾数量最高(253.2 头), 分别为 405 nm 和 425 nm 紫光的 3.67 倍和 8.53 倍、445 nm 和 460 nm 蓝光的 14.72 倍和 11.46 倍, 且差异极显著 ($P<0.001$); 其次为 405 nm 紫光, 日均诱捕雌蛾数量(69.0 头)为 445 nm 蓝光的 4.01 倍 ($P<0.05$)。同时, 在诱集到的所有雌蛾中有 84% 以上的个体为抱卵雌虫, 且各波长的蓝紫光之间无显著差异。【结论】蓝紫光诱捕器不仅可以诱集雄虫, 还可诱集高比例的雌虫和抱卵雌虫; 与其他波长的蓝紫光相比, 380 nm 的紫外光灯光诱捕器对番茄潜叶蛾的诱集能力最强, 杀虫效果最好。

关键词 灯光诱捕器; 物理防治; 抱卵雌蛾; 诱杀效果

Phototropism of *Tuta absoluta*, an important insect pest of fruit and vegetable crops, to blue-violet light wavelengths

ZHANG Gui-Fen^{1,2**} ZHANG Yi-Bo^{1,2**} ZHAO Jing-Na^{1,3} XIAN Xiao-Qing^{1,2}
WANG Yu-Sheng¹ LIU Wan-Xue^{1,2} WAN Fang-Hao^{1,2} ZHANG Xiao-Ming³ LI Ping⁴
LIU Hui⁴ LIU Wan-Cai⁴ LI Ya-Hong⁵ WANG Shu-Ming⁶ ZHAO Yan-Mei⁷

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Key Laboratory of Invasive Alien Species Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Integrated Pest Management of Crop, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Center for Management of Invasive

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划项目(2021YFD1400200; 2017YFC1200600); 中国农业科学院科技创新工程(caasx-2019-2023-IAS)

**共同第一作者 First author, E-mail: zhangguifen@caas.cn; zhangyibo@caas.cn

收稿日期 Received: 2022-09-28; 接受日期 Accepted: 2022-10-28

Alien Species, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China; 3. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 4. The National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100026, China; 5. Yunnan Plant Protection and Quarantine Station, Kunming 650034, China; 6. Yuxi Plant Protection and Quarantine Station, Yuxi 653100, China; 7. Hongta, Yuxi Plant Protection and Quarantine Station, Yuxi 653100, China)

Abstract [Objectives] To develop a more effective light trap for monitoring and controlling *Tuta absoluta*, an important insect pest of tomatoes in China. [Methods] The phototropism of *T. absoluta* to five different wavelengths of blue-violet light; ultraviolet (380 nm), violet (405 nm and 425 nm) and blue (445 nm and 460 nm), was evaluated in greenhouses. The distance between the light tube and the ground was 20 cm. The overall number of moths, and the number of females and gravid females, trapped by light traps of each wavelength were counted daily. [Results] All five wavelengths trapped male and female adults. Over 50 days, a total of 309.0 adults were trapped per trap per day by the 380 nm ultraviolet-light trap, 99.3 by the 405 nm violet-light trap, 47.0 by the 425 nm violet-light trap, 37.6 by the 460 nm blue-light trap, and 28.3 by the 445 nm blue-light trap. The ultraviolet 380 nm light trap captured significantly more ($P<0.05$) moths per day than the other wavelengths, followed by the 405 nm violet-light, 425 nm violet-light and 460 nm blue-light traps. The 445 nm blue-light trap captured significantly fewer ($P<0.05$) moths per day than the other wavelengths. All five wavelengths caught a higher proportion ($> 65\%$) of female moths. The ultraviolet 380 nm light trap trapped the highest number of female adults per day (253.2 female individuals), which was respectively 3.67, 8.53, 14.72 and 11.46 times as many as were captured by the violet 405 nm and 425 nm light traps or the blue 445 nm and 460 nm light traps ($P<0.001$). The violet 405 nm light trap captured an average of 69.0 females per day, 4.01 times more than were captured by the blue 445 nm and 460 nm light traps ($P<0.05$). More than 84% of females captured were gravid; there was no significant difference in the proportion of gravid females attracted to the different wavelengths. [Conclusion] Blue-violet light traps trap a higher proportion of female *T. absoluta* than males, most of which (84%) are gravid. Compared to violet and blue light, ultraviolet (380 nm) light is best for attracting *T. absoluta* to traps.

Key words light trap; physical pest control; pregnant female moth; trapping efficacy

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) 属鳞翅目麦蛾科 *Tuta* 属, 是近年来新传入我国的重大农业入侵害虫 (顾爱祥等, 2019; Zhang *et al.*, 2019a), 其传播扩散迅速, 目前已在我国 13 个省 (直辖市/自治区) 发生和危害 (张桂芬等, 2022), 且进一步扩张态势明显, 对我国粮食 (如马铃薯)、水果 (如人参果)、蔬菜 (如番茄) 以及烟草生产安全构成了潜在巨大威胁。化学药剂是新入侵害虫主要的应急防治措施, 然而由于该虫已经对多种类型的化学农药产生了抗性 (Siqueira *et al.*, 2000; Lietti *et al.*, 2005; 张桂芬等, 2018), 因此化学农药的防治效果多不甚理想 (尹艳琼等, 2021)。对此, 近年来国内外学者加强了对番茄潜叶蛾非化学防治措施的研究, 如利用卵 (Gonthier *et al.*, 2022) 或幼虫 (Bodino *et al.*, 2019; Guleria *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022a, 2022b) 寄生性天敌、基于性信息素诱集和交配干扰 (Vacas *et al.*, 2011; Cocco

et al., 2012) 的生物防治法, 基于光/色诱捕 (Cocco *et al.*, 2012, 2013; Erler *et al.*, 2020; Erler and Bayram, 2021; 张桂芬等, 2021) 的物理防治法等。

利用昆虫趋光性的灯光诱杀技术是害虫的种群发生动态监测及害虫防治重要的物理防治方法 (汤少云等, 2014), 灯光诱杀技术不仅不会导致害虫产生抗性, 还具有绿色、环保及低成本等特点 (靖湘峰和雷朝亮, 2004; 杨现明等, 2020), 在不同类型或区域的农作物害虫防治中的认可度日趋提高, 在综合防治中的地位亦日渐提升 (雷朝亮, 2014; 张凯雄等, 2014; 杨现明等, 2020)。而针对番茄潜叶蛾, 灯光诱杀技术的研究也在逐步开展 (Cocco *et al.*, 2012; Erler and Bayram, 2021)。已有的研究结果显示, 番茄潜叶蛾对不同颜色色板的趋向性不同, 如当不放置性诱芯时, 蓝色 (Shiberu and Getu, 2017; 张桂芬等, 2019b) 和白色色板 (Shiberu and Getu,

2017)对番茄潜叶蛾的引诱效果最好;然而,亦有研究显示,黑色色板的诱蛾数量明显多于其他颜色的色板,其次为蓝色、白色和黄色(Erler *et al.*, 2020)。在色板上放置性诱芯,色板的颜色不同对番茄潜叶蛾的引诱效果亦不相同,如以放置有性诱芯的4种不同颜色色板进行诱蛾效果评价,结果表明红色色板的诱蛾效果最佳,其次为蓝色,而黄色和绿色较差(Taha *et al.*, 2012);张桂芬等(2021)的研究结果发现,蓝色色板的诱蛾效果最好,其次为绿色和黄色,而白色的诱蛾效果较差。

色与光是密不可分的,基于物理学和光学分析的结果显示,光是色彩的来源和感知色彩的必要条件,色是光的具体显现,亦即,没有光就没有色彩;同时,光具有波的特征,故此又被称为光波,并且可以用光的波长来说明或代表各种颜色(齐丽君等, 2009)。鉴于番茄潜叶蛾对悬挂高度不超过20 cm的蓝色诱捕器具有更强的趋向性(张桂芬等, 2021),本研究以不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器(直接摆放于地面)作为诱集装置,开展番茄潜叶蛾成虫的趋光性研究,为利用适宜波长诱虫灯、高效控制番茄潜叶蛾提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验场地

试验在云南省玉溪市红塔区凤凰街道(N24°20'27.95", E102°32'24.64"),玉溪阳瑞农业科技发展有限公司有机果蔬生产基地的温棚内进行。温棚为连栋温棚,坐北朝南,东西向长约60 m,南北向宽约32 m,高约6 m。番茄的品种为‘红瑞’和‘黄非皇’,两种品种番茄植株的种植比例约为1:1。种植方式为营养土盆栽(圆形花盆,外口直径、内口直径、高度及底部直径,分别约为48.0、41.5、31.0和26.5 cm),每盆1株,两盆并排摆放为1垄,株距约50 cm,垄间距约100 cm;不同品种的番茄分区种植;以滴灌系统适时适量供水供肥,一年两茬,连作。调查期间番茄的栽培与管理执行国家标准

(GB/T19630-2019)(汪云岗等, 2019),不使用任何化学药剂和化学肥料。

1.2 试验材料

以紫光/蓝光/紫外光为供试光源,定制不同光波波长的LED灯,波长分别为405 nm(紫光)、425 nm(紫光)、445 nm(蓝光)、460 nm(蓝光)(功率均为10 W)以及380 nm(紫外光)(峰值波长 λ_p)(功率为12 W),额定电压220 V,交流电源供电。LED灯由广州市智卉光田农业科技有限责任公司协助制作。

灯光诱捕器由灯泡(单个)、防水罩(直径约40 cm,优质ABS工程塑料)、挡虫板(4片,有机玻璃材质,高约36 cm、宽约15 cm;内侧上中部具一长L形缺刻,高约13 cm、宽约4 cm)和集虫水盘(直径为34.0 cm,高度为3.7 cm)(盛装有含0.2%洗涤灵的自来水)四部分组成。

1.3 试验方法

1.3.1 处理与诱捕器摆放 试验设5种光波波长,每种波长1个诱捕器,计5个诱捕器为1组,依场地设置2组重复(445 nm和460 nm除外),棋盘式放置于同一温棚内,以普通灯光诱捕器的挡虫板作为支架,将支架直接放入置于地面的集虫水盘内(即诱虫灯与地面垂直放置),诱虫灯末端距水盘水面和地面分别约16 cm和20 cm;不同光波波长(由短至长)的灯光诱捕器依序摆放,间距15-18 m。根据田间性信息素诱捕器监测情况,试验于番茄潜叶蛾成虫始盛期开始(6月上旬)。诱捕试验开始时番茄为果实采收初期,株高约1.8 m。

1.3.2 数据调查与诱捕器管理 每天19:00开灯,7:00关灯;关灯后观察计数每个诱捕器集虫水盘中的雄性成虫、雌性成虫和抱卵雌性成虫的数量,捞出死亡虫体集中处置;同时,每2 d顺时针更换诱捕器的摆放位置,并于每天傍晚开灯前向水盘中添加适量(水面距水盘上端边沿约1 cm)自来水(含0.2%洗涤灵)。番茄潜叶蛾成虫发生末期、诱蛾量持续减少时(8月上旬),结束试验,总计连续观察计数50 d。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2010 和 SPSS 24.0 软件进行统计分析。其中每种波长灯光诱捕器的逐日诱蛾数量, 以及雌蛾数量占比和抱卵雌蛾数量占比(数据经反正弦转换后) 50 d 逐日观察数据), 以成对数据 t -测验进行不同处理间差异水平检验; 对不同光波波长诱捕器的日均诱蛾总量、诱集的雌蛾数量、抱卵雌蛾数量和雄蛾数量等数据, 以单因素方差分析最小显著差法 (One-way ANOVA, LSD test) 进行不同处理间差异水平检验。

2 结果与分析

2.1 不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器的诱蛾总量

田间诱蛾量数据调查分析结果显示, 光波波长为 380、405、425、445 和 460 nm 的蓝紫光灯光诱捕器, 50 d 的逐日总计诱蛾数量分别为 0.5-1 172.0、0-359.5、0-244.5、0-120.0 和 0-197.0 头 (图 1: A), 50 d 的日均诱蛾总量分别为 (309.0 ± 43.9) 、 (99.3 ± 14.9) 、 (49.0 ± 8.2) 、

(28.3 ± 4.3) 和 (37.6 ± 6.4) 头 (图 1: B), 5 种波长的灯光诱捕器的诱蛾总量具有明显差异 ($P < 0.001$)。逐日成对数据 t -测验分析结果表明, 波长为 380 nm 的紫外光灯光诱捕器的诱蛾总量最多 (380 nm vs. 405 nm, $t=5.783$, $df=49$, $P < 0.001$; 380 nm vs. 425 nm, $t=6.524$, $df=49$, $P < 0.001$; 380 nm vs. 445 nm, $t=6.928$, $df=49$, $P < 0.001$; 380 nm vs. 460 nm, $t=6.740$, $df=49$, $P < 0.001$), 其次为 405 nm 的紫光 (405 nm vs. 425 nm, $t=5.939$, $df=49$, $P < 0.001$; 405 nm vs. 445 nm, $t=6.030$, $df=49$, $P < 0.001$; 405 nm vs. 460 nm, $t=5.329$, $df=49$, $P < 0.001$), 再次为 425 nm 的蓝光和 460 nm 的蓝光, 而 445 nm 蓝光的诱蛾总量最少 (425 nm vs. 445 nm, $t=3.224$, $df=49$, $P=0.002$; 460 nm vs. 445 nm, $t=2.030$, $df=49$, $P=0.048$) (图 1: A)。日均诱蛾总量统计结果进一步表明, 波长为 380 nm 的紫外光灯光诱捕器诱蛾量最多, 且明显大于其他 4 个波长的蓝紫光, 分别为其他 4 个波长的 3.11、6.31、10.92 和 8.22 倍; 其次为 405 nm 的紫光, 且明显大于 445 nm 和 460 nm 的蓝光 ($F_{4,245}=30.266$, $P < 0.001$) (图 1: B)。表明 380 nm 的紫外光和 405 nm 的紫光是灯光诱捕器诱杀番茄潜叶蛾适宜的波长。

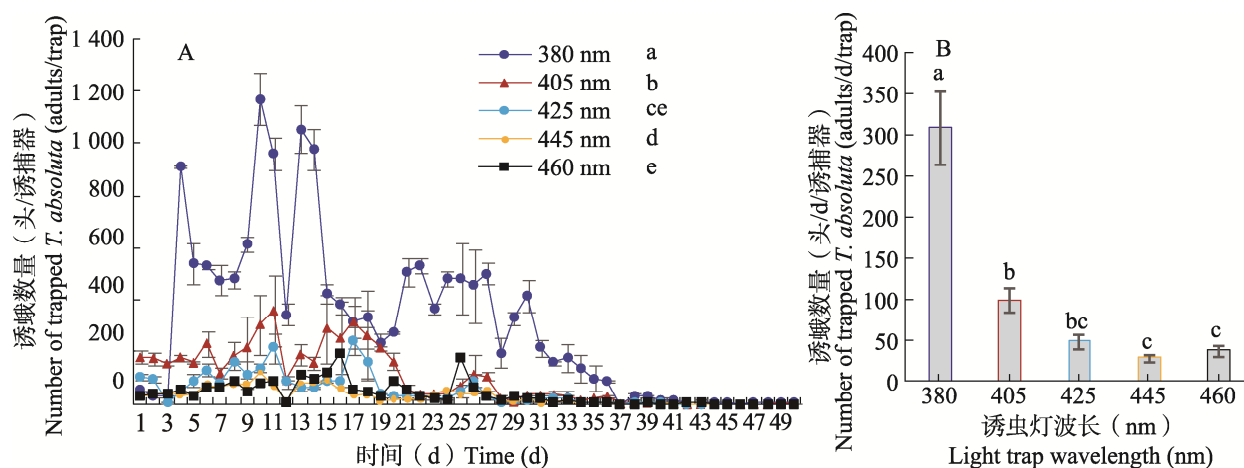


图 1 5 个不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器对番茄潜叶蛾的诱蛾数量

Fig. 1 Number of trapped *Tuta absoluta* adults of five different wavelengths of blue-violet light traps

A. 5 个光波波长灯光诱捕器的逐日诱蛾总量, 图例旁标有不同小写字母表示不同波长灯光诱捕器间差异显著 ($P < 0.05$, 成对数据 t -测验); B. 每个波长灯光诱捕器的日均诱蛾总量 (平均值 $\pm$ 标准误, $n=50$), 柱上标有不同小写字母表示不同波长间差异显著 ($P < 0.05$, 单因素方差分析最小显著差法)。

A. Number of trapped adults per light trap per day of five different wavelengths. Different lowercase letters indicate significant differences among wavelengths of light traps at 0.05 level by paired samples t -test; B. Number of trapped adults per day per light trap of five different wavelengths. Data are mean $\pm$ SE ($n=50$), and followed by different lowercase letters indicate significant differences between different wavelengths of light traps at 0.05 level by one-way ANOVA, LSD test.

2.2 不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器对雌蛾和雄蛾的诱杀作用

对田间调查获得的雌蛾和雄蛾数据分别进行统计分析,结果表明,蓝紫光诱虫灯的波长不同,对番茄潜叶蛾雌性成虫的诱杀效果差异极显著($F_{4,245}=30.601, P<0.001$),其中,波长为 380 nm 的紫外光灯光诱捕器的日均诱捕雌蛾数量最高,为(253.2±38.4)头,分别为 405 nm 和 425 nm 紫光、445 nm 和 460 nm 蓝光诱捕器日均诱捕雌蛾数量的 3.67 倍、8.53 倍、14.72 倍和 11.46 倍,且差异极明显($P<0.001$); 405 nm 紫光对雌蛾的诱杀作用明显优于 445 nm 蓝光($P=0.044$),与 425 nm 紫光 and 460 nm 蓝光之间无显著差异($P>0.05$)(图 2)。同时,诱虫灯的波长不同对番茄潜叶蛾雄性成虫的诱捕效果亦有极显著差异($F_{4,245}=13.708, P<0.001$),其中,波长为 380 nm 紫外光灯光诱捕器的日均诱捕雄蛾数量最高,为(55.6±8.2)头,分别为 405 nm 和 425 nm 紫光、445 nm 和 460 nm 蓝光诱捕器的日均诱捕雄蛾数量的 1.84 倍、2.88 倍、5.02 倍和 3.57 倍,差异极明显($P<0.001$); 405 nm 紫光对雄蛾的诱捕作用明显优于 445 nm($P=0.005$)和 460 nm($P=0.032$)蓝光,但与 425 nm 紫光之间无显著差异($P>0.05$)(图 2)。此外,无论哪个波长的灯光诱捕器其对番茄潜叶蛾雌性成虫的诱捕数量均明显高于雄性成虫(雌虫 vs. 雄虫: 380 nm, $t=5.859, df=49, P<0.001$; 405 nm, $t=4.740, df=49, P<0.001$; 425 nm, $t=4.156, df=49, P<0.001$; 445 nm, $t=3.444, df=49, P=0.001$; 460 nm, $t=3.249, df=49, P=0.002$; 成对数据 t -测验),雌性成虫的数量分别为雄性成虫的 4.55 倍、2.28 倍、1.54 倍、1.55 倍和 1.42 倍(图 2);在诱捕的所有成虫中,雌性成虫数量比例均高于 65%,其中波长为 380、405、425、445 和 460 nm 的诱捕器诱捕的雌性成虫数量比例分别为 81.4%、70.9%、66.6%、68.7%和 67.8%(图 1: B, 图 2)。这表明,蓝紫光灯光诱捕器对番茄潜叶蛾具有良好的诱杀效果,且对雌蛾的诱杀效果明显优于雄蛾,适宜用于番茄潜叶蛾的监测与防治。

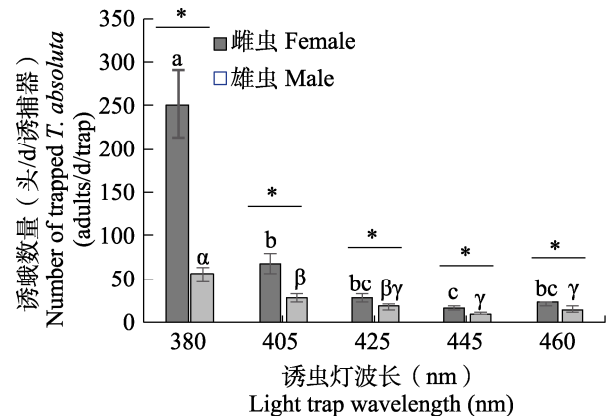


图 2 5 个不同波长蓝紫光灯光诱捕器对番茄潜叶蛾雌蛾和雄蛾的诱杀数量

Fig. 2 Number of trapped female and male *Tuta absoluta* adults of five different wavelengths of blue-violet light traps

图中数据为平均值±标准误($n=50$),柱上标有不同小写英文字母表示不同波长间诱杀的雌蛾数量差异显著,标有不同罗马字母表示不同波长间诱杀的雄蛾数量差异显著($P<0.05$,单因素方差分析最小显著差法);

*表示在同一波长雌蛾和雄蛾间差异显著($P<0.05$,成对数据 t -测验)。

Data are mean±SE ($n=50$), and followed by different lowercase letters indicate number of trapped females significant differences among five different wavelengths of light traps at $P<0.05$ level by one-way ANOVA, LSD test, and followed by Roman letters indicate number of trapped males significant differences among five different wavelengths of light traps at $P<0.05$ level by one-way ANOVA, LSD test; * above the horizontal lines indicates significant differences between female and male adults at the same wavelength at $P<0.05$ level by paired samples t -test.

2.3 不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器对抱卵雌蛾的诱杀作用

对田间调查获得的雌蛾的抱卵情况进行鉴别和统计分析,结果显示,不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器不仅诱捕到了一定数量的雌蛾,而且在诱捕到的雌蛾中还有较高比率的抱卵雌蛾,抱卵雌蛾占比均在 84%以上,波长为 380、405、425、445 和 460 nm 诱捕到的抱卵雌蛾占比分别为 86.6%、87.5%、88.2%、86.1%和 86.6%,且无明显差异($P>0.05$)(图 3)。表明 380、405、425、445 和 460 nm 波长的蓝紫光灯光诱捕器对番茄潜叶蛾具有良好的防治作用。

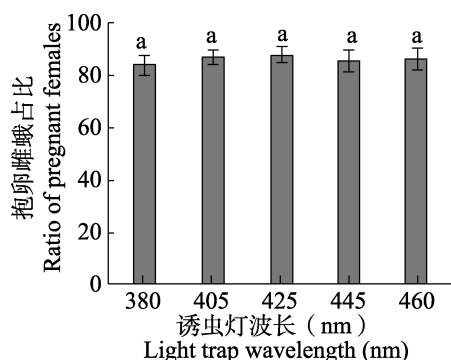


图3 5个不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器对番茄潜叶蛾的抱卵雌蛾占比

Fig. 3 Ratio of pregnant females in trapped female *Tuta absoluta* adults of five different wavelengths of blue-violet light traps

图中数据为平均值±标准误 ($n=50$), 柱上标有相同小写字母表示不同波长间差异不显著 ($P<0.05$, 单因素方差分析最小显著差法)。

Data are mean±SE ($n=50$), and followed by same lowercase letters indicate no significant difference among five wavelengths of light traps at $P<0.05$ level by one-way ANOVA, LSD test.

3 讨论

番茄在我国南北方广泛栽培, 种植面积常年稳定在 $1.10 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 上下 (FAO, 2022; 观研报告网, 2022), 其中以新疆、山东、河南、河北、江苏、云南及广东等地为我国番茄种植的主要区域 (周明和李常保, 2022), 已成为当今我国蔬菜产业的重要组成部分, 占蔬菜总量的 7% 左右。番茄的果实营养丰富、风味独特, 不仅可作为蔬菜进行烹调或加工成番茄酱、番茄汁食用, 还可作为水果直接生食; 作为重要的经济作物, 尤其在有机蔬菜生产基地广为种植。因此, 番茄害虫的防治以环境友好型的生物防治及物理防治等绿色防控技术和方法最为急需。利用昆虫趋光特性进行预测预报和控制是害虫防治的重要措施之一, 光波波长是影响昆虫趋光性的最主要因素 (董婉君等, 2016; 杨现明等, 2020), 昆虫的种类不同其对不同波长的光/色的敏感性亦不相同 (程文杰等, 2011; 董婉君等, 2016; 杨现明等, 2020)。如棉铃虫成虫对 333 nm 的紫外光最为敏感、趋向性最强 (丁岩钦等, 1974); 螺旋粉虱对 405 nm 紫光的趋向性最强 (郑月等,

2010)。本文基于张桂芬等 (2021) 的研究结果, 将灯光诱捕器支架直接放入摆放于地面的集虫水盘中 (诱虫灯距地面约 20 cm), 开展不同光波波长的蓝紫光灯光诱捕器对番茄潜叶蛾诱集效果的研究, 结果显示, 设施栽培条件下番茄潜叶蛾成虫对波长为 380 nm 的紫外光灯光诱捕器的趋向性最强, 日均诱蛾量最高 (占比 59.1%), 为其他 4 种波长的蓝紫光灯光诱捕器诱蛾量的 3.11-10.92 倍; 其次为 405 nm 紫光, 也达到了良好的诱集效果。此外, 波长为 380-460 nm 的蓝紫光灯光诱捕器不仅可以诱集雄蛾, 还诱集到了高比例的雌蛾 (雌蛾占比为 66.6%-81.4%), 其中, 380 nm 紫外光诱集的雌蛾占比最高, 为 81.4%; 并且, 在诱集到的雌蛾中还有 84.4%-88.2% 的个体为抱卵雌蛾。研究结果对充分利用灯光诱捕器高效防控保护地番茄潜叶蛾, 以及诱杀效果的科学评价, 具有重要的指导意义和实际应用价值。

灯光诱捕器对番茄潜叶蛾诱捕效果的研究亦时有报道, 但研究结果却不尽相同。如 de Oliveira 等 (2008) 以紫外线灯、紫外线黑光灯 (Ultraviolet black light bulb, BLB 灯)、植物栽培灯 (Grolux 灯) 和荧光日光灯等为引诱光源 (4 种灯的波长均未知), 在保护地开展诱蛾效果的评价研究, 结果表明, 紫外线灯对番茄潜叶蛾成虫的诱集效果最好 (诱蛾 2 082.5 头); 其次为 BLB 灯 (诱蛾 1 389.3 头); Sridhar 和 Kumaran (2018) 以黄光灯 (功率 15、40 和 60 W, 波长未知)、蓝紫光 LED 灯 (8 W, 波长范围 400-450 nm) 和奶白色节能灯 (10 W) 为光源, 研究评价了不同颜色可见光 (390-700 nm) 灯光诱捕器 (水盆式集虫) 的诱捕作用, 结果显示, 功率为 60 W 的黄光灯对番茄潜叶蛾两性成虫的诱捕效果最好 (5 d 诱蛾 2 953 头), 其次为 8 W 的蓝紫光 LED 灯 (5 d 诱蛾 2 204 头)。Erler 和 Bayram (2021) 以自行设计的新型灯光 (20 W LED 灯, 波长范围 350-400 nm) 诱捕器 (简称 ecosav-D1, 外加双层电网) 在保护地开展诱蛾效果评价, 结果显示, 秋冬季和夏秋季平均每个诱捕器的诱蛾量分别为 53.8 头和 58.2 头, 相差不多。而本试验以 5 个不同光波波长的蓝紫光灯

光诱捕器开展诱蛾效果评价的研究结果显示,番茄潜叶蛾成虫对波长 380 nm 的紫外光灯光诱捕器的趋向性最强,诱蛾数量最高。而与其他灯光诱捕器诱蛾效果的不同,可能与诱虫灯的波长(波长未知的紫外线灯/黄光灯 vs. 380 nm 紫外光灯)、功率/光照强度(波长未知的紫外线灯/黄光灯 vs. 380 nm 紫外光灯 = 功率未知/60 W vs. 12 W)等的不同有关(杨现明等, 2020)。此外,亦可能与不同试验所使用的诱虫灯的光波波长/光色范围不同有关,如 Sridhar 和 Kumaran (2018) 的研究并未包含紫外光灯。

昆虫的趋光性具有明显的性别差异,且多数种类昆虫的雄虫其趋光性较雌虫强(Garris and Snyder, 2010),如美国白蛾 *Hyphantria cunea*(电击灭蛾灯、频振式杀虫灯和佳多频振式诱虫灯,雌虫和雄虫上灯比例分别为 1:11.1、1:10 和 1:3.03)(闫志利等, 2000; 宋国涛等, 2002)、舞毒蛾 *Lymantria dispar*(黑光灯、日光灯和频振式杀虫灯,分别为 1:3.5、1:2.1 和 1:3.4)(赵姝妍等, 2005; 杨素平等, 2007)、海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis*(高压汞灯,为 1:1.2)(Yathom *et al.*, 1980)等;亦有部分昆虫种类其雌虫的趋光性较雄性强,如二化螟 *Chilo suppressalis*(频振式杀虫灯,雌雄虫上灯比例为 6.5:1)(张天才和黄丕娇, 2005)、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*(双波诱虫灯,为 1.3:1)(陈小波等, 1998)(程文杰等, 2011; 杨现明等, 2020)。此外,灯光诱捕器的放置高度亦是造成雌雄虫趋光性不同的主要原因(Braverman and Linley, 2003; Venter *et al.*, 2009)。如库蠅 *Culicoides midges* 的雄虫主要趋向较高处光源,雌虫主要趋向较低处光源(Braverman and Linley, 2003)。Sridhar 和 Kumaran (2018) 以 60 W 的黄光灯和 8 W 的蓝光 LED 灯光诱捕器(悬挂高度为齐胸高,水盘式集虫)对番茄潜叶蛾进行田间诱集,5 d 总计诱蛾量分别为 2 953 头和 2 204 头,且雌蛾占比均为 46%。以波长 350-400 nm 的紫外/紫光 LED (20 W) 灯光诱捕器(悬挂高度约 1 m, 瓶式集虫)对番茄潜叶蛾进行田间诱蛾试验,秋冬季和夏秋季平均诱蛾量分别为 53.8 头/诱捕器和 58.2 头/诱捕器,雌蛾占比分别

为 52.2% 和 51.6% (Erler and Bayram, 2021)。本研究基于团队的前期研究结果(亦即,番茄潜叶蛾对悬挂高度为 0-20 cm 的平面式性诱捕器的趋向性最强(张桂芬等, 2021),将灯光诱捕器直接放入置于地面的集虫水盘中(诱虫灯距地面约 20 cm),不仅诱集到了高比率的雌性成虫还诱集到了高比例的抱卵雌虫,且以 380 nm 的紫外光灯光诱捕器的诱集效果最佳。而高比例雌虫和抱卵雌虫的大量诱集,可能与番茄潜叶蛾成虫具有近地面飞行和求偶交配习性(张桂芬等, 2021),以及雌虫尤其是抱卵雌虫飞行能力较弱,对较低处光源趋向性更强有关(Braverman and Linley, 2003)。

本研究中高比例抱卵雌虫的诱集诱杀,对减少田间落卵量、抑制虫口数量和减轻为害,以及科学评价诱虫灯的防治效果具有重要作用,对诱虫灯的合理使用具有重要指导意义,尤其是在在水资源比较短缺或风沙较大的西北地区,以基于太阳能自供电的高效诱虫灯进行番茄潜叶蛾监测和防控,应更具应用前景。同时,LED 灯产生的光谱范围窄,不仅对害虫有高选择性和显著降低诱集的益虫比例,还具有节能高效、使用寿命长、不易损坏、环境污染小等诸多优点(杨现明等, 2020)。而 380 nm 紫外光诱虫灯对番茄潜叶蛾的田间整体控制效果(如种群数量、为害程度等)如何,对非靶标昆虫的影响咋样,还需进一步研究明确;有关雌雄虫趋光的性别差异机制(包括飞行能力、复眼结构、环境条件/发生季节、种群密度等),亦需进一步研究解析。紫外线灯对番茄潜叶蛾有良好的诱捕效果(de Oliveira *et al.*, 2008),尽管该研究未给出紫外线灯的具体波长/波长范围,但波长比较短的紫外线 LED 灯(如 365 nm)与本研究 380 nm 的紫外光 LED 灯光诱捕器的诱捕效果相比孰高孰低,尚需田间测试验证。此外,本研究的灯光诱捕器试验在温棚条件下进行,只有少量的天敌昆虫个体被诱集到。然而,诱虫灯在减少田间害虫种群数量的同时,有时还会杀伤天敌昆虫及中性昆虫(杨现明等, 2020),因此,灯光诱捕器的使用尤其是在露地番茄田的合理性使用及其对天敌昆虫/中性昆虫的影响,尚需进一步探讨。

参考文献 (References)

- Bodino N, Ferracini C, Tavella L, 2019. Functional response and age specific foraging behaviour of *Necremnus tutae* and *N. cosmopterix*, native natural enemies of the invasive pest *Tuta absoluta* in Mediterranean area. *Journal of Pest Science*, 92(4): 1467–1478.
- Braverman Y, Linley JR, 2003. Effect of light trap height on catch of *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) in Israel. *Journal of Medical Entomology*, 30(6): 1060–1063.
- Chen XB, Liu LC, Gu GH, Chen JJ, Chen HX, Wang T, 1998. Research on the behavior of Asian corn borer in cotton field to the light and the applied of two-wave-lamp. *China Cotton*, 25(3): 16–18. [陈小波, 刘立春, 顾国华, 陈建军, 陈惠祥, 王涛, 1998. 棉田玉米螟灯下行为及双波灯应用探讨. 中国棉花, 25(3): 16–18.]
- Cheng WJ, Zheng XL, Wang P, Lei CL, Wang XP, 2011. Sexual difference of insect phototactic behavior and related affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(12): 3351–3357. [程文杰, 郑霞林, 王攀, 雷朝亮, 王小平, 2011. 昆虫趋光的性别差异及其影响因素. 应用生态学报, 22(12): 3351–3357.]
- Cocco A, Deliperi S, Delrio G, 2012. Potential of mass trapping for *Tuta absoluta* management in greenhouse tomato crops using light and pheromone traps. *Integrated Control in Protected Crops, Mediterranean Climate IOBC-WPRS Bulletin*, 80(2): 319–324.
- Cocco A, Deliperi S, Delrio G, 2013. Control of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique. *Journal of Applied Entomology*, 137(1/2): 16–28.
- de Oliveira ACR, Veloso V da RS, Barros RG, Fernandes PM, de Souza ERB, 2008. Capture of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) with light trap in tomato crop. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38(3): 153–157.
- Ding YQ, Gao WZ, Li DM, 1974. Study on the phototactic behaviour of nocturnal moths the response of *Hiliothis armigera* (Hübner) and *Heliothis assulia* Guenee to different monochromatic light. *Acta Entomologica Sinica*, 17(3): 307–317. [丁岩钦, 高慰曾, 李典谟, 1974. 夜蛾趋光特性的研究: 棉铃虫和烟青虫成虫对单色光的反应. 昆虫学报, 17(3): 307–317.]
- Dong WJ, Zhu F, Lei CL, 2016. Tropism of Insects and Application// Li YZ, Zeng LB, Wen LZ (eds.). *Studies on Insects in Central China*: 12. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 3–7. [董婉君, 朱芬, 雷朝亮, 2016. 昆虫的趋光性及其应用研究//李有志, 曾粮斌, 文礼章. 华中昆虫研究 (第 12 卷), 北京: 中国农业科学技术出版社. 3–7.]
- Erlar F, Kirisik M, Topuz E, 2020. Comparable study on different colored sticky traps for catching of adult *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(9): 7349–7354.
- Erlar F, Bayram Y, 2021. Efficacy of mass trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae), using a new designed light trap in reducing leaf and fruit damages in greenhouse grown tomatoes. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(5): 1177–1185.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2022. Online statistical database: Food and agriculture data. FAOSTAT [EB/OL]. [2022-04-22]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Garris HW, Snyder JA, 2010. Sex-specific attraction of moth species to ultraviolet light traps. *Southeastern Naturalist*, 9(3): 427–434.
- Gonthier J, Zhang YB, Zhang GF, Romeis J, Collatz J, 2022. Odor learning improves efficacy of egg parasitoids as biocontrol agents against *Tuta absoluta*. *Journal Pest Science*, doi.org/10.1007/s10340-022-01484-6.
- Gu AX, Zhou FC, Chen XH, Zhang HB, 2019. Application techniques of yellow board in early warning and trapping of vegetable pest insect under greenhouse conditions. *Journal of Changjiang Vegetable*, 2019(9): 58–60. [顾爱祥, 周福才, 陈学好, 张海波, 2019. 黄板在设施蔬菜害虫预警和诱杀中的应用技术. 长江蔬菜, 2019(9): 58–60.]
- Guleria P, Sharma PL, Verma SC, Chandel RS, 2020. Life history traits and host-killing rate of *Neochrysocharis formosa* on *Tuta absoluta*. *BioControl*, 65(4): 401–411.
- Insight and Info, 2022. Status of China tomato industry: Growing areas, yield, and export volume are growing, and the market is developing to diversify. 2022-09-29. <https://www.chinabaogao.com/detail/611309.html>. [观研报告网, 2022. 我国西红柿行业现状: 栽培面积、产量及出口量呈增长态势 市场走向多元化发展 [2022-09-29. <https://www.chinabaogao.com/detail/611309.html>.]
- Jing XF, Lei CL, 2004. Advances in research on phototaxis of insects and the mechanism. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(3): 198–203. [靖湘峰, 雷朝亮, 2004. 昆虫趋光性及其机理的研究进展. 昆虫知识, 41(3): 198–203.]
- Lei CL, 2014. Breakthrough progress has been made in the research on the mechanism of insect phototaxis and key technologies of light trapping and killing//Yuan GH, Wang GP, Guo XR, Zhang JL, Zhai YL (eds.). *Studies on Insects in Central China*: 10. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 142–143. [雷朝亮, 2014. 昆虫趋光机理及灯光诱杀关键技术研究取得突破性进展//原国辉, 王高平, 郭线茹, 张建林, 翟玉洛. 华中昆虫研究(第10卷). 北京: 中国农业科学技术出版

- 社. 142–143.]
- Lietti MMM, Botto E, Alzogaray RA, 2005. Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology*, 34(1): 113–119.
- Qi LJ, Yao LY, Ren JY, 2009. The application of light and color in visual simulation//Chen ZH (ed.). *System Simulation Technology and Its Application*: 11. Hefei: Press of University of Science and Technology of China. 80–83. [齐丽君, 姚连钰, 任佳阅, 2009. 光与色在视景仿真中应用//陈宗海编. 系统仿真技术及其应用(第 11 卷), 合肥: 中国科学技术大学出版社. 80–83.]
- Shiberu T, Getu E, 2017. Evaluation of colored sticky traps for the monitoring of *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato under glasshouse in Ethiopia. *Agricultural Research and Technology*, 9(3): 555762.
- Siqueira HÁA, Guedes RNC, Picanço MC, 2000. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 2(2): 147–153.
- Song GT, Liu CY, Dong JF, 2002. Investigation of Jiaduo frequency vibrating insecticidal lamp on the monitoring of the American white moth, *Hyphantria cunea*. *The Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 2002(1): 9–10. [宋国涛, 刘翠艳, 董君芳, 2002. 佳多频振式杀虫灯对美国白蛾防监测情况的调查. 河北林业科技, 2002(1): 9–10.]
- Sridhar V, Kumaran GS, 2018. Light trap, an effective component of integrated management of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomato. *Journal of Horticultural Science*, 13(1): 126–128.
- 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.
- Tang SY, Wang QK, Zhang K, Ji SH, 2014. Application of key technology of light trapping and killing in vegetable production. *Hubei Plant Protection*, 2014(5): 37–40. [汤少云, 王坤乾, 张凯, 纪少红, 2014. 灯光诱杀关键技术蔬菜生产上的应用. 湖北植保, 2014(5): 37–40.]
- Vacas S, Alfaro C, Primo J, Navarro-Llopis V, 2011. Studies on the development of a mating disruption system to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae). *Pest Management Science*, 67(11): 1473–1480.
- Venter GJ, Hermanides KG, Boikanyo SN, Majatlati DM, Morey L, 2009. The effect of light trap height on the numbers of *Culicoides* midges collected under field conditions in South Africa. *Veterinary Parasitology*, 166(3/4): 343–345.
- Wang YG, Wang MH, Lu ZF, Zhang JB, Qu L, Qiao YH, Yang ZH, Guo CM, Luan ZH, Chen EC, He XQ, Sun CY, Meng FQ, Xiao XJ, Tai CM, Gu JL, Shu AM, Yang ZG, Liu XD, Li XJ, Wang X, Hu YF, Chen YH, XU N, Liu JH, He WL, Du XG, Zhou ZJ, Yuan Q, Dai JP, Yang L, Yu KJ, Xie WH, Tan H, Shao YJ, Li Q, Tang J, FU Q, Shi XW, Zhu RJ, Liu YL, Shi SK, Cong LH, Tang MZ, Gao XW, Wang H, Wu XX, Meng D, Li GQ, Liu W, Li GZ, Geng YX, Wang WJ, 2019. State standard of the People's Republic of China: Organic products--Requirements for production, processing, labeling and management system. GB/T 19630—2019. Beijing: Standards Press of China. [汪云岗, 王茂华, 卢振峰, 张纪兵, 曲丽, 乔玉辉, 杨泽慧, 郭春敏, 栾治华, 陈恩成, 何小群, 孙春艳, 孟凡乔, 肖兴基, 邵崇妹, 顾加力, 舒爱民, 杨志刚, 刘先德, 李显军, 王霞, 胡云峰, 陈云华, 徐娜, 刘俊华, 和文龙, 杜相革, 周泽江, 袁清, 戴金平, 杨丽, 俞开锦, 解卫华, 谭红, 邵军亚, 李强, 唐剑, 付强, 史小卫, 朱瑞俊, 刘彦丽, 时松凯, 丛林哗, 唐茂芝, 高秀文, 王慧, 吴杏霞, 孟冬, 李国秋, 刘文, 李国柱, 耿云霞, 王伟杰, 2019. GB/T 19630—2019. 中华人民共和国国家标准: 有机产品生产、加工、标识与管理体系要求. 北京: 中国标准出版社.]
- Yan ZL, Zhao CM, Wu HZ, Tong JG, Han LP, 2000. Comparison of the trapping and killing ability of three kinds of insect trap lamps to the adults of American white moth, *Hyphantria cunea*. *The Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 2000(5): 15–16. [闫志利, 赵成民, 吴焕增, 佟晋国, 韩立萍, 2000. 3 种诱虫灯对美国白蛾成虫诱杀力的比较. 河北林业科技, 2000(5): 15–16.]
- Yang SP, Gao Q, Liu ZW, 2007. Application of frequency vibration insecticidal lamp in monitoring, prediction and control of gypsy moth. *Journal of HeiLongJiang Vocational Institute of Ecological Engineering*, 20(3): 52–53. [杨素平, 高强, 刘兆武, 2007. 频振式杀虫灯在舞毒蛾监测预报及防治中的应用. 黑龙江生态工程职业学院学报, 20(3): 52–53.]
- Yang XM, Lu YH, Liang GM, 2020. Insect phototaxis behavior and light trapping technology. *China Illuminating Engineering Journal*, 31(5): 22–31. [杨现明, 陆宴辉, 梁革梅, 2020. 昆虫趋光行为及灯光诱杀技术. 照明工程学报, 31(5): 22–31.]
- Yathom S, Navon A, Rosilio D, 1980. Sex ratio and mating status of *Spodoptera littoralis* females collected from light traps in Israel. *Phytoparasitica*, 8: 99–103.
- Yin YQ, Zheng LP, LI FQ, Ma TC, Song WH, Chen F, Chen FS, 2021. Occurrence and control of *Tuta absoluta* (Meyrick) in Midu County, Yun Province. *Journal of Environmental Entomology*, 43(3): 559–566. [尹艳琼, 郑丽萍, 李峰奇, 马庭鑫, 宋文宏, 陈钊, 陈福寿, 刘莹, 湛爱东, 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.]
- 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, Liu WX, Wang YS, Fu WJ, Wang J, Gao YH, Wan FH, 2019a. 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, 2019a. 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, Liu WX, Wu Q, Guo JY, Hu Q, Pan HW, 2019b. Special sticky board for control of the tomato leafminer, *Tuta absoluta*. Chinese Utility Model Patent. Patent number: ZL201920312103.X, Authorization announcement date: 2019-12-10. [张桂芬, 张毅波, 刘万学, 武强, 郭建洋, 胡卿, 潘红伟, 2019b. 南美番茄潜叶蛾专用粘虫板. 中国实用新型专利. 专利号: ZL201920312103.X, 授权公告日: 2019-12-10.]
- 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, 洗晓青, 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.]
- Zhang GF, Zhang YB, Xian XQ, Liu WX, Li P, Liu WC, Liu H, Feng XD, Lü ZC, Wang YS, Huang C, Guo JY, Wan FH, Ma DY, Zhang XM, Gui FR, Li YH, Luo R, Wang HQ, Wang J, 2022. Damage of an important and newly invaded agricultural pest, *Phthorimaea absoluta*, and its prevention and management measures. *Plant Protection*, 28(4): 51–58. [张桂芬, 张毅波, 洗晓青, 刘万学, 李萍, 刘万才, 刘慧, 冯晓东, 吕志创, 王玉生, 黄聪, 郭建洋, 万方浩, 马德英, 张晓明, 桂富荣, 李亚红, 罗荣, 王惠卿, 王俊, 2022. 新发重大农业入侵害虫番茄潜叶蛾的发生为害与防控对策. 植物保护, 28(4): 51–58.]
- Zhang KX, Wang XP, Lei CL, Peng CH, 2014. Role of light trapping and killing technology in integrated management of crop pests. *Hubei Plant Protection*, 2014(5): 23–25. [张凯雄, 王小平, 雷朝亮, 彭传华, 2014. 灯光诱杀技术在农作物综合防治中的作用. 湖北植保, 2014(5): 23–25.]
- Zhang TC, Huang PJ, 2005. Trapping and killing effect of frequency vibration insecticidal lamp on *Chilo suppressalis*. *China Agricultural Technology Extension*, 2005(2): 47–48. [张天才, 黄丕娇, 2005. 频振式杀虫灯对水稻二化螟的诱杀效果. 中国农技推广, 2005(2): 47–48.]
- Zhang YB, Tian XC, Wang H, Casteñé C, Arnóc J, Collatz J, Romeis J, Wu SR, Xian XQ, Wan FH, Zhang GF, 2022a. Host selection behavior of a host-feeding parasitoid *Necremnus tuta* on *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*, 42(3): 445–456.
- Zhang YB, Tian XC, Wang H, Zhang GF, 2022b. Nonreproductive effects are more important than reproductive effects in a host feeding parasitoid. *Scientific Report*, 12: 11475.
- Zhao SY, Zhao XC, Zhao LQ, 2005. Experiment on trapping and killing forest pest, *Lymantria dispar*, with black light. *Heilongjiang Environmental Journal*, 29(1): 24–25. [赵姝妍, 赵秀成, 赵力群, 2005. 黑光灯诱杀舞毒蛾等森林害虫试验. 黑龙江环境通报, 29(1): 24–25.]
- Zheng Y, Wu WJ, Fu YG, 2010. Laboratory evaluation of light-emitting diodes as an attractant for the spiralling whitefly *Aleurodicus disperses* Russell. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 423–426. [郑月, 吴伟坚, 符悦冠, 2010. 螺旋粉虱对不同波长发光二极管的趋光反应. 环境昆虫学报, 32(3): 423–426.]
- Zhou M, Li CB, 2022. Development status and prospect of China tomato seed industry. *Vegetables*, 2022(5): 6–10. [周明, 李常保, 2022. 我国番茄种业发展现状及展望. 蔬菜, 2022(5): 6–10.]