

不同时间与场景下柑橘木虱对 LED 光源的趋性特征*

丁 鹏** 赵 政** 刘晓晴 窦园婧 王珊珊 李晓雪
郑薇薇 张振宇*** 张宏宇***

(华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

摘 要 【目的】柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 作为柑橘黄龙病的虫媒, 对控制柑橘黄龙病的传播扩散和抑制其对柑橘生产造成的经济损失具有重要作用。目前, 物理防控是柑橘木虱绿色防控与监测预报的重要技术, 其中基于 LED 光源的灯诱技术具有显著的开发潜力。本研究旨在明确不同时间(昼间与夜间)和不同场景(室内与室外)下, LED 光源对柑橘木虱引诱效果及最优波长范围。【方法】通过遮光箱与室外网笼分别模拟室内和室外两种场景, 在昼间(9:00-10:00)和夜间(20:00-21:00)分别检测了白色、粉色、紫色(435-445 nm)、蓝色(455-460 nm)、绿色(525-530 nm)、黄色(590-595 nm)和红色(625-630 nm) 7 种不同波段颜色 LED 光源的诱虫效果。【结果】在室内环境下, 昼、夜间引诱柑橘木虱占比更高的皆为绿色和蓝色 LED 光源, 两者无显著差异 ($P > 0.05$); 在室外环境下, 昼间引诱柑橘木虱占比更高的为蓝色、绿色和白色 LED 光源, 三者无显著差异 ($P > 0.05$), 而夜间引诱柑橘木虱占比更高的为紫色、蓝色、绿色和白色 LED 光源, 四者无显著差异 ($P > 0.05$)。【结论】在不同时间与场景下, 蓝色和绿色 LED 灯具有更高引诱柑橘木虱效率, 推荐作为柑橘木虱 LED 灯诱技术的候选可见光范围。研究结果为柑橘木虱灯诱技术的田间应用及其监测预警技术的开发提供了技术基础。

关键词 柑橘木虱; 灯诱技术; LED; 监测预警; 田间应用

The tropism characteristics of *Diaphorina citri* to LED light sources under different times and scenarios

DING Peng** ZHAO Zheng** LIU Xiao-Qing DOU Yuan-Jing WANG Shan-Shan
LI Xiao-Xue ZHENG Wei-Wei ZHANG Zhen-Yu*** ZHANG Hong-Yu***

(College of Plant Science & Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract 【Aim】*Diaphorina citri* plays an important role as an insect vector for *Citrus Huanglongbing* (HLB), contributing to the spread of HLB, leading to economic losses in citrus production. Physical management is currently the main strategy for monitoring, forecasting, and controlling citrus psyllid. Among these strategies, LED light-based trapping technology has shown significant potential for practical application. To determine the attractive effect of LED light sources on citrus psyllids under different time periods and environmental conditions, and to identify the optimal wavelength range. 【Methods】We determined the attractive effects of seven LED light sources. These included white, pink, purple (435-445 nm), blue (455-460 nm), green (525-530 nm), yellow (590-595 nm), and red (625-630 nm), under indoor and outdoor conditions during daytime (9:00-10:00) and nighttime (20:00-21:00). 【Results】The results demonstrated that green and blue LED light sources significantly increased the attraction rate of *D. citri*. In the outdoor environment, blue, green, and white LED light sources attracted the highest proportion of *D. citri* during the daytime. Conversely at night, purple, blue, green, and white LED light sources attracted the most *D. citri*. 【Conclusion】These findings indicate blue and green LED lamps have superior attractant

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD1400800); 国家现代农业(柑橘)产业技术体系 (CARS-26)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 1047796652@qq.com; 87015497@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: Zhangzhenyu@mail.hzau.edu.cn; hongyu.zhang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-04-10; 接受日期 Accepted: 2023-12-17

efficiencies under varying conditions of time (day/night) and environment (indoor/outdoor). Thus, these lamps are recommended as candidates within the visible light range of LED for the “lure and kill” technology in citrus psyllid control. The findings of this study will contribute to the development of a valuable light-attraction based technique for the control, monitoring, and early detection of citrus psyllid.

Key words *Diaphorina citri*; light trapping technology; LED; monitoring and early warning; field application

柑橘木虱 *Diaphorina citri* 属半翅目 Hemiptera 木虱科 Psyllidae, 是柑橘黄龙病 (Huanglongbing, HLB) 的重要媒介昆虫, 给柑橘产业带来严重经济损失 (Grafton-Cardwell *et al.*, 2013)。柑橘黄龙病作为柑橘生产的严重威胁, 会导致柑橘植株叶片斑驳, 枝条发育不良, 果实产量下降且果实品质变差, 后期病株枯死, 果树一旦发病后无法治愈, 被称为柑橘的“癌症”。目前, 针对柑橘黄龙病尚无有效的防治药剂和施药方法, 主要通过防治柑橘木虱来控制其传播扩散 (Mann *et al.*, 2012)。

柑橘木虱的防治方法目前主要有化学防治、农业防治和生物防治等 (余继华等, 2018)。化学药剂的高强度使用虽然短期内能有效控制柑橘黄龙病的侵染和扩散 (张双, 2019), 但长期使用会造成木虱抗药性增强、生态环境的破坏、对天敌昆虫的误伤和果实农药超标等负面影响 (桑文等, 2018)。虽然生物防治具有对环境污染小、针对目标害虫特异性强等优点, 但也存在防治效果缓慢、易受环境影响和天敌昆虫难以人工饲养等短板 (孟岳华等, 2016)。

物理防治是可持续性害虫综合防治的重要组成部分, 具有高效、环保和绿色等优点, 应用前景广阔 (桑文等, 2022)。其中, 灯光诱杀技术是一种利用昆虫趋光性, 将昆虫聚集到某一固定位置进行消灭的物理防治手段 (桑文等, 2019), 而以 LED 作为诱虫灯的光源具有节能环保、波长类型丰富、体积小和使用寿命长等优点 (贺卫利等, 2008)。伴随灯光诱杀技术在其他害虫防治中成效日益突出, 研究者开始关注应用该技术防治柑橘木虱的潜力。林雄杰等 (2013) 发现柑橘木虱对蓝光 (460 nm) 和绿光 (530 nm) 在光照时长 17 h 时趋光性最强。Paris 等 (2015) 对不同波段的 LED 灯进行试验发现, 紫外 (390 nm)、绿色 (525 nm) 和黄色 (590 nm) 光的 LED 灯对柑橘木虱吸引力较强。

Kalile 等 (2022) 发现, 紫外光虽然对柑橘木虱具有良好的引诱效果, 但也会吸引亮腹釉小蜂 *Tamarixia radiata*。目前, 关于柑橘木虱的灯光 (包括 LED 灯) 引诱试验大多针对室内封闭场所, 室外环境的相关研究较少, 不利于 LED 灯光诱杀技术在果园中的实际应用。另一方面, 虽然柑橘木虱是一种昼行性昆虫, 夜间活动偏少 (Wenninger and Hall, 2007), 但它仍可以对夜间存在的光线做出反应 (Sétamou *et al.*, 2012)。目前, 尚不明确柑橘木虱对不同波段光线的选择性在昼间与夜间是否存在差异。

为验证不同颜色的 LED 光源在室内、室外两种场景以及昼夜不同时间段的引诱效果, 本研究分别使用室内遮光箱和室外网笼检测白色、黄色、粉色、红色、紫色、绿色和蓝色 7 种不同波段 LED 光源对柑橘木虱的灯诱效果, 同时每种模拟环境分别在昼间与夜间展开灯诱试验。本研究比较了不同波段的 LED 光源在不同时间和场景中的诱虫率, 为进一步满足柑橘木虱智能监测系统的全天候应用和改善柑橘木虱灯光诱控技术的可行性、实用性提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 虫源 供试柑橘木虱成虫采集于赣州柑橘科学研究所露天网室内, 于自然条件下用赣南脐橙苗饲养, 赣南脐橙树龄为 18 年。

1.1.2 试验材料 LED 彩色灯泡 (佛山电器照明股份有限公司生产): 功率 5 W, 白色、粉色、紫色 (435-445 nm)、蓝色 (455-460 nm)、绿色 (525-530 nm)、黄色 (590-595 nm) 和红色 (625-630 nm); 50 cm × 50 cm × 50 cm 纸箱; 粘虫胶 (河南佳多科工贸有限责任公司生产); 40 cm × 40 cm × 40 cm 尼龙网笼。

1.2 试验方法

1.2.1 不同波段 LED 光源的室内遮光箱引诱试验 在长、宽、高为 50 cm × 50 cm × 50 cm 的纸箱四面(前后左右)中心嵌入并固定不同颜色的 LED 灯泡,以灯为圆心,在每个面分别画出半径为 20 cm 的圆,并在圆形内部涂匀粘虫胶。将每个面的灯设置为开启状态,40 头柑橘木虱成虫释放于纸箱底部中央,立即匀速盖上纸箱盖并开始计时。分别间隔 5、10 和 30 min 观察 4 个带有不同波段灯光的纸箱平面,统计粘虫数。试验在昼间(9:00-10:00)与夜间(20:00-21:00)分别进行一次,每次试验设置 3 个重复。先将白色、红色、粉色和黄色 4 种 LED 光源一比较,筛选出最优者再与紫色、绿色和蓝色 LED 光源进行比较,从而筛选出引诱效果最好的颜色。

1.2.2 不同波段 LED 光源的室外网笼引诱试验 将不同颜色的 LED 灯悬挂于长、宽、高为 40 cm × 40 cm × 40 cm 的尼龙网笼四面外中央位置。将灯设置为开启状态后,捕捉 40 头柑橘木虱成虫缓慢释放于网笼底部中央并开始计时,分别于间隔 5、10 和 30 min 后观察不同颜色灯光所在的网笼四面柑橘木虱数量,检测模拟室外环境下柑橘木虱对不同光源的趋性。试验在昼间(9:00-10:00)与夜间(20:00-21:00)分别进行一次,每次试验设置 3 个重复。先将白色、红色、粉色和黄色 4 种 LED 光源一比较,筛选出最优者再与紫色、绿色和蓝色 LED 光源进行比较,从而筛选出引诱效果最好的颜色。

1.3 数据分析

引诱百分比 = (单一颜色诱虫数/各颜色诱虫总数) × 100%。

采用 SPSS 18.0 数据处理软件进行统计分析,样本间的多重比较采用单因素多水平方差分析中的 Duncan 氏检验。

2 结果与分析

2.1 昼、夜间遮光箱内 LED 光源对柑橘木虱的引诱效果

在昼间遮光箱内:如图 1(A)所示,白、

黄、粉和红 4 种颜色光源中,白色 LED 光源在 5、10 和 30 min 3 个时间点的引诱效果皆为最佳,诱虫百分比分别为 46.21%±14.26%、45.81%±9.06%和 46.52%±5.95%,显著高于黄色、粉色和红色 LED 光源 ($P < 0.05$);而当白色与紫、绿和蓝色光源比较时,发现在检测的 5、10 和 30 min 3 个时间点,绿色光诱虫百分比分别为 35.74%±4.05%、35.33%±5.26%和 5.54%±4.03%,蓝色光诱虫百分比分别为 31.39%±5.38%、34.19%±5.75%和 33.44%±5.09%,皆显著高于与白色光(20.84%±4.67%、19.18%±4.02%和 18.33%±3.52%)($P < 0.05$)以及紫色光(12.02%±1.32%、11.30%±3.08 和 12.69%±2.35%)($P < 0.05$)(图 1: B)。因此,在昼间室内遮光箱条件下,绿色和蓝色 LED 光源对柑橘木虱引诱效

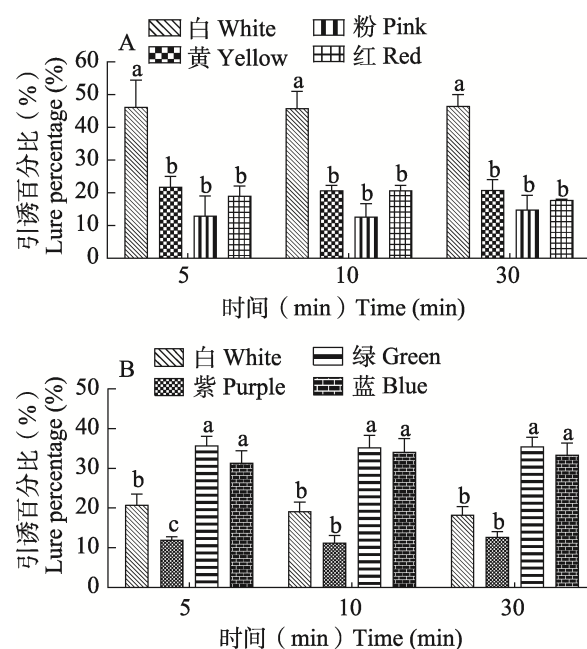


图 1 昼间遮光箱内不同 LED 光源对柑橘木虱的引诱百分比

Fig. 1 Percentage of lure to *Diaphorina citri* by different LED lights in daylight blackout box

A. 白、黄、粉和红光; B. 白、紫、绿和蓝光。
A. White, yellow, pink and red light;
B. White, purple, green and blue light.
柱上不同小写字母代表差异显著
($P < 0.05$, Duncan 氏检验)。下图同。

Histograms with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$, Duncan's test). The same below.

果更好,白色其次,紫色、黄色、粉色和红色光源相对较差。

在夜间遮光箱内:如图 2(A)所示,白、黄、粉和红 4 种颜色的光源中,白色 LED 光源在 5、10 和 30 min 3 个时间点的引诱效果同样为最佳,其诱虫百分比分别为 $47.62\% \pm 10.82\%$ 、 $44.29\% \pm 10.82\%$ 和 $44.21\% \pm 10.82\%$,显著高于黄色、粉色和红色 LED 光源 ($P < 0.05$);当白色与紫、绿和蓝色光源比较时,在 5 min 时,绿色 ($33.02\% \pm 7.53\%$) 和蓝色 ($28.90\% \pm 4.65\%$) 的诱虫百分比显著高于白色 LED 光源 ($14.45\% \pm 5.75\%$) ($P < 0.05$),与紫色 LED 光源 ($23.63\% \pm 7.90\%$) 的诱虫效果无显著性差异 ($P > 0.05$),而 10 和 30 min 时,绿色光源 ($36.44\% \pm 5.30\%$ 和 $34.78\% \pm 4.43\%$) 与蓝色光源 ($30.92\% \pm 1.01\%$ 和 $32.82\% \pm 5.57\%$) 对比白色光源 ($14.51\% \pm 4.76\%$ 和 $15.60\% \pm 3.52\%$) 及紫色光源 ($18.13\% \pm 5.09\%$ 和 $16.80\% \pm 5.47\%$) 均具有显著性差异 ($P < 0.05$) (图 2: B)。因此,在夜间室内遮光箱条件下,绿色和蓝色 LED 光源对柑橘木虱引诱效果更好,紫色其次,白色、黄色、粉色和红色光源相对较差。

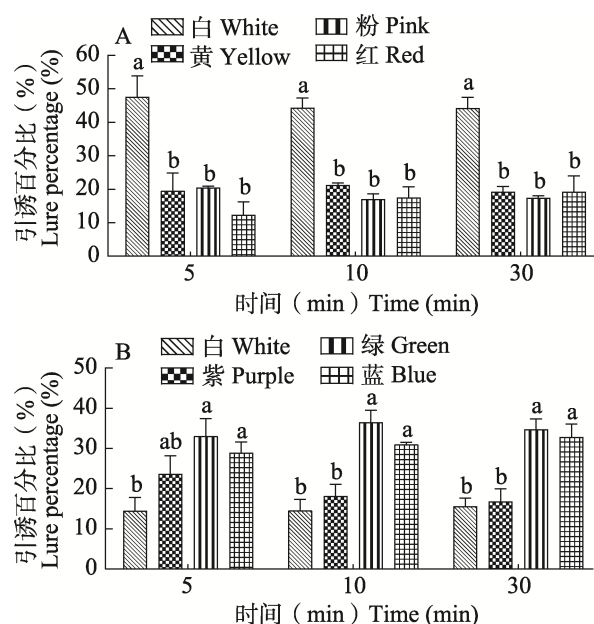


图 2 夜间遮光箱内不同 LED 光源对柑橘木虱的引诱百分比

Fig. 2 Percentage of lure to *Diaphorina citri* by different LED lights in blackout box at night

2.2 昼、夜间室外网笼内 LED 光源对柑橘木虱的引诱效果

在昼间室外网笼内:如图 3(A)所示,白色 LED 光源在 5、10 和 30 min 3 个时间点的诱虫百分比分别为 $61.82\% \pm 17.34\%$ 、 $47.44\% \pm 2.22\%$ 、 $42.68\% \pm 6.87\%$,而黄色 LED 光源诱虫百分比分别为 $12.70\% \pm 11.06\%$ 、 $23.93\% \pm 9.00\%$ 、 $26.01\% \pm 9.89\%$,粉色和红色 LED 光源的诱虫百分比均在 20% 以下,白色 LED 光源诱虫效果与其他 3 种光源存在显著性差异 ($P < 0.05$);而当白色与紫、绿和蓝色光源比较时,发现在检测的 5、10 和 30 min 3 个时间点,其诱虫百分比分别为白色 $41.20\% \pm 11.62\%$ 、 $34.04\% \pm 7.74\%$ 和 $28.96\% \pm 7.98\%$;紫色 $12.24\% \pm 2.77\%$ 、 $11.66\% \pm 1.48\%$ 和 $15.76\% \pm 8.02\%$;绿色 $24.47\% \pm 5.53\%$ 、 $29.24\% \pm 7.09\%$ 和 $30.04\% \pm 5.89\%$;蓝色 $22.09\% \pm 4.28\%$ 、 $25.07\% \pm 2.47\%$ 和 $25.24\% \pm 4.80\%$,则在 5 min 时,白色光源诱虫效果最好,与绿色、蓝色、紫色光源存在显著性差异 ($P < 0.05$),在 10 和 30 min 时,白色、绿色、蓝色光源的诱虫效果更好,并与紫色光源存在显著性差异 ($P < 0.05$) (图 3: B)。因此,在昼间室外网笼条件

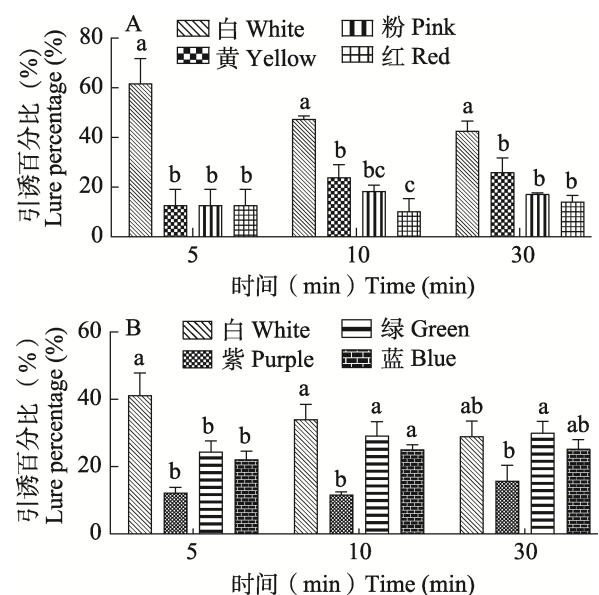


图 3 昼间室外网笼内不同 LED 光源对柑橘木虱的引诱百分比

Fig. 3 Percentage of attraction to *Diaphorina citri* by different LED lights in outdoor cage during daytime

下, 白色、绿色、蓝色光源的诱虫效果更好, 紫色、黄色、粉色、红色光源诱虫效果相对较差。

在夜间室外网笼内: 如图 4 (A) 所示, 在 5 和 10 min 两个时间点, 白色 LED 光源对柑橘木虱的诱虫百分比为 $42.21\% \pm 2.87\%$ 和 $39.83\% \pm 6.41\%$, 黄色、粉色、红色 LED 光源的诱虫百分比均低于 25%, 诱虫百分比存在显著性差异 ($P < 0.05$), 但在 30 min 时, 白色光源的引诱效果仍为最佳 ($36.19\% \pm 5.62\%$), 而黄色与粉色 LED 光源的诱虫百分比有所提升, 诱虫百分比分别为 $25.54\% \pm 8.82\%$ 与 $22.69\% \pm 2.52\%$, 与白色光源诱虫占比不再具有显著性差异 ($P > 0.05$); 如图 4 (B) 所示, 在 5、10、30 min 3 个时间点, 白色、紫色、绿色、蓝色 LED 光源对柑橘木虱的引诱百分比之间均无显著性差异 ($P > 0.05$), 在 30 min 时, 白色、紫色、绿色、蓝色 4 种 LED 光源的诱虫百分比分别为 $26.67\% \pm 3.67\%$ 、 $21.67\% \pm 6.20\%$ 、 $26.52\% \pm 1.31\%$ 和 $25.15\% \pm 4.20\%$ 。因此在昼间室外网笼条件下, 白色、紫色、绿色和蓝色光源的诱虫效果更好, 黄色、粉色和红色光源诱虫效果相对较差。

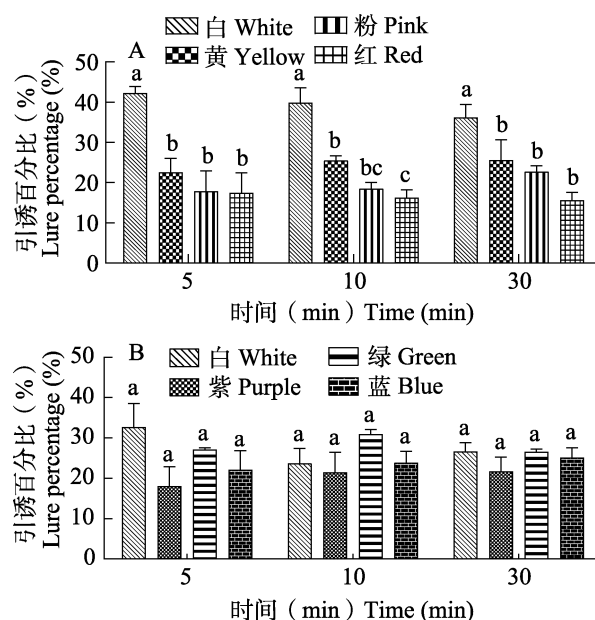


图 4 夜间室外网笼内不同 LED 光源对柑橘木虱的引诱百分比

Fig. 4 Attractance percentage of *Diaphorina citri* by different LED lights in outdoor net cage at night

3 讨论

本研究通过比较白色、粉色、紫色、蓝色、绿色、黄色和红色 7 种不同 LED 光源在不同时间和空间条件下的诱虫效果, 明确了在室内环境中, 无论是昼间还是夜间, 绿色和蓝色光源对柑橘木虱的引诱效果相对更好; 而在室外环境中, 昼间引诱效果相对更好的是白色、蓝色和绿色光源, 夜间是白色、紫色、绿色和蓝色光源。柑橘木虱为昼行性昆虫, 其交配、产卵和其他行为大多都在白天进行 (黎海霖等, 2019), 因此, 本文分昼、夜不同时间段对柑橘木虱进行光源引诱试验, 发现 LED 光源在夜间对柑橘木虱同样具有引诱作用。截至目前, 大多数柑橘木虱灯诱技术试验均在室内封闭环境进行 (林雄杰等, 2013; 李超峰等, 2019; Kalile *et al.*, 2022), 而封闭场所空气流通困难, 会造成环境温度上升, 从而影响柑橘木虱产卵和飞行等行为 (Hall *et al.*, 2011; Antolínez *et al.*, 2022), 模拟室外环境的研究结果更有利于指导田间的实际应用。本研究的室外试验在网笼中进行, 限制了柑橘木虱的活动范围, 但不能完全模拟 LED 光源在室外开放环境下对柑橘木虱的引诱效果, 因此仍有待进一步研究。

目前大多数室内研究表明绿色、蓝色和紫色 LED 光源对柑橘木虱引诱效果较好 (Paris *et al.*, 2015; 李超峰等, 2019; 袁楷等, 2020)。本研究进一步综合考虑了室内与室外环境两种不同场景下不同颜色 LED 光源对柑橘木虱的引诱效果, 结果表明绿色和蓝色 LED 光源综合效果更好, 与 Paris 等 (2017) 研究结果基本一致。同时, 本研究发现在夜间模拟室外环境情况下, 白、绿、蓝和紫色 LED 光源的诱虫效果无显著性差异, 这可能是由于本研究将柑橘木虱雌雄虫进行了随机混合, 雌雄成虫对光谱的反应存在差异 (王飞凤等, 2020), 从而对室外研究结果产生了影响, 因此后续试验将进一步区分柑橘木虱雌雄虫进行分析验证。另一方面, 本研究使用的 LED 光源波长限于可见光范围, 姜静等 (2021) 证明在室内条件下, 紫外光对柑橘木虱具有显著的引

诱效果, 且与可见光范围最佳波长(黄绿光)无显著差异, 因此仍有待进一步分析柑橘木虱在室外条件下对紫外光的趋性特征。

在夜间 LED 光源对木虱同样起着良好的引诱作用, 表明柑橘木虱存在一定的趋光性(靖湘峰和雷朝亮, 2004), 且柑橘木虱主要的 5 个视蛋白基因中, 有 2 个视蛋白基因(Dc-UV-like 和 Dc-arthropsin)的表达水平在夜间显著增加(Li *et al.*, 2020), 间接支持了柑橘木虱在夜间的趋光性, 因此, 可对其进行夜间诱杀和种群监测。柑橘木虱的趋光性在寄主搜寻和伴侣搜索中起着至关重要的作用, 然而其具体机制尚不明确, 有待进一步研究, 以期为柑橘木虱绿色防控技术提供新的思路。

LED 灯诱技术作为柑橘木虱物理防治的一个发展方向, 对监测、预警、精准防控和推进绿色防控的智能化、数字化都具有重要作用。本研究在室内、室外两种不同的环境中分别在昼间、夜间开展试验, 证明了夜间开展 LED 灯诱技术的可行性, 并且明确了昼、夜间 LED 灯引诱柑橘木虱的最佳可见光波长范围, 有利于进一步完善柑橘木虱的灯光诱杀和监测预警技术。

参考文献 (References)

- Antolínez CA, Olarte-Castillo XA, Martini X, Rivera MJ, 2022. Influence of daily temperature maximums on the development and short-distance movement of the Asian citrus psyllid. *Journal of Thermal Biology*, 2022(110): 103354.
- Grafton-Cardwell EE, Stelinski LL, Stansly PA, 2013. Biology and management of Asian citrus psyllid, vector of the Huanglongbing pathogens. *Annual Review of Entomology*, 58: 413432.
- Hall DG, Wenninger EJ, Hentz MG, 2011. Temperature studies with the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*: Cold hardiness and temperature thresholds for oviposition. *Journal of Insect Science*, 11(83): 15362442
- He WL, Guo WL, Gao W, Shi C, Chen X, Wu J, Chen JX, 2008. Test method of life-time and reliability evaluation for high-power LED. *Journal of Applied Optics*, 29(4): 533–536, 561. [贺卫利, 郭伟玲, 高伟, 史辰, 陈曦, 吴娟, 陈建新, 2008. 大功率发光二极管可靠性和寿命评价试验方法. 应用光学, 29(4): 533–536, 561.]
- Jiang J, Lou DJ, Chen Z, Li HM, 2021. Preliminary study of phototactic characteristics of *Diaphorina citri* Kuwayama and *Cacopsylla citrisuqa* Yang & Li (Hemiptera: Psyllidae). *Journal of Yuxi Normal University*, 37(3): 43–46. [姜静, 娄灯吉, 陈祯, 李红梅, 2021. 柑橘木虱和柚喀木虱的趋光特性初步研究. 玉溪师范学院学报, 37(3): 43–46.]
- 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.]
- Kalile MO, Janssen A, Fancelli M, Magalhães DG, Cardoso AC, Rosa MS, Ledo CAS, Ragni M, 2022. UV light attracts *Diaphorina citri* and its parasitoid. *Biological Control*, 170: 104928.
- Lin XJ, Fan GC, Hu HQ, Ruan CQ, Cai ZJ, Xia YL, Du YG, Liu B, 2013. Screening of LED light source of the adapter solar trap lamp for trapping the citrus psyllid. *Plant Protection*, 39(4): 52–55, 84. [林雄杰, 范国成, 胡茜青, 阮传清, 蔡子坚, Xia Yulu, 杜云贵, 刘波, 2013. 适配太阳能诱虫器诱杀柑橘木虱 LED 光源的筛选. 植物保护, 39(4): 52–55, 84.]
- Li, CF, Liu, JL, Zeng, XN, 2019. Phototactic behavior and compound eye structure of *Diaphorina citri*. *Journal of South China Agricultural University*, 40(2): 53–59. [李超峰, 刘家莉, 曾鑫年, 2019. 柑橘木虱趋光行为及复眼结构分析. 华南农业大学学报, 40(2): 53–59.]
- Li CF, Tian FJ, Lin T, Wang ZB, Liu JL, Zeng XN, 2020. The expression and function of opsin genes related to the phototactic behavior of Asian citrus psyllid. *Pest Management Science*, 76(4): 1578–1587.
- Li HL, Zheng XL, Wang XY, Lu W, 2019. Prophase of reproductive behavior and activity rhythm in adults of *Diaphorina citri* (Kuwayama). *Journal of Southern Agriculture*, 50(9): 2009–2014. [黎海霖, 郑霞林, 王小云, 陆温, 2019. 柑橘木虱成虫繁殖行为前期及活动规律研究. 南方农业学报, 50(9): 2009–2014.]
- Meng HY, Wen YJ, Xu HH, 2016. Chemical control of Asian citrus psyllid and citrus Huanglongbing. *World Pesticides*, 38(1): 21–31. [孟岳华, 文英杰, 徐汉虹, 2016. 亚洲柑橘木虱和柑橘黄龙病的化学防治. 世界农药, 38(1): 21–31.]
- Mann RS, Ali JG, Hermann SL, Tiwari S, Pelz-Stelinski KS, Alborn HT, Stelinski LL, 2012. Induced release of a plant-defense volatile ‘deceptively’ attracts insect vectors to plants infected with a bacterial pathogen. *PLoS Pathogens*, 8(3): e1002610.
- Paris TM, Croxton SD, Stansly PA, Allan SA, 2015. Temporal response and attraction of *Diaphorina citri* to visual stimuli. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 155(2): 137–147.
- Paris TM, Allan SA, Udell BJ, Stansly PA, 2017. Wavelength and

- polarization affect phototaxis of the Asian citrus psyllid. *Insects*, 8(3): 88–100.
- Sétamou M, Sanchez A, Patt JM, Nelson SD, Jifon J, Louzada ES, 2012. Diurnal patterns of flight activity and effects of light on host finding behavior of the Asian citrus psyllid. *Journal of Insect Behavior*, 25(3): 264–276.
- Sang W, Liu YM, Qiu BL, 2018. Advances in the eco-friendly management of *Diaphorina citri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(4): 557–564. [桑文, 刘燕梅, 邱宝利, 2018. 柑橘木虱绿色防控技术研究进展. 应用昆虫学报, 55(4): 557–564.]
- Sang W, Huang QY, Wang XP, Guo SH, Lei ZL, 2019. Progress in research on insect phototaxis and future prospects for pest light-trap technology in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(5): 907–916. [桑文, 黄求应, 王小平, 郭墅濠, 雷朝亮, 2019. 中国昆虫趋光性及灯光诱虫技术的发展、成就与展望. 应用昆虫学报, 56(5): 907–916.]
- Sang W, Gao Q, Zhang CY, Huang QY, Lei CL, Wang XP, 2022. Researches and applications of physical control of agricultural insect pests in China. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 173–183. [桑文, 高俏, 张长禹, 黄求应, 雷朝亮, 王小平, 2022. 我国农业害虫物理防治研究与应用进展. 植物保护学报, 49(1): 173–183.]
- Wenninger EJ, Hall DG, 2007. Daily timing of mating and age at reproductive maturity in *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Florida Entomologist*, 90(4): 715–722.
- Wang FF, Wang Y, Chen YC, Liu YM, Guo SH, Qiu BL, Sang W, 2020. Phototaxis of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) to LED lights. *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 187–192. [王飞凤, 王也, 陈雨晨, 刘燕梅, 郭墅濠, 邱宝利, 桑文, 2020. 柑橘木虱成虫趋光行为反应. 环境昆虫学报, 42(1): 187–192.]
- Yu JH, Huang ZD, Zhang MR, Zhang N, Li P, Lu L, Yang X, 2018. The biological research progress and prevention of Asian citrus psyllid. *Plant Quarantine*, 32(5): 8–13. [余继华, 黄振东, 张敏荣, 张宁, 李萍, 卢璐, 杨晓, 2018. 亚洲柑橘木虱的生物学研究进展及防治. 植物检疫, 32(5): 8–13.]
- Yuan K, Chen Z, Yang TT, Jiang J, Zhou WJ, 2020. Spectral sensitivity and response to light intensity of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 35(5): 750–755, 884. [袁楷, 陈祯, 杨婷婷, 姜静, 周文健, 2020. 光谱和光强度对柑橘木虱成虫趋光行为的影响. 云南农业大学学报(自然科学), 35(5): 750–755, 884.]
- Zhang S, 2019. Analysis of the current situation and recommendations for agricultural pest control in China. *The Farmers Consultant*, 2019(21): 13. [张双, 2019. 我国农业病虫害防治现状及建议分析. 农家参谋, 2019(21): 13.]