



王飞凤, 王也, 陈雨晨, 刘燕梅, 郭墅濠, 邱宝利, 桑文. 柑橘木虱成虫趋光行为反应 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (1): 187–192.

柑橘木虱成虫趋光行为反应

王飞凤^{1,2}, 王也^{1,2}, 陈雨晨^{1,2}, 刘燕梅^{1,3}, 郭墅濠^{1,3},
邱宝利^{1,2}, 桑文^{1,3*}

(1. 华南农业大学昆虫学系, 广州 510640; 2. 广东省生物农药创制与应用重点实验室, 广州 510640;
3. 广东省害虫生物防治工程技术研究中心, 广州 510640)

摘要: 柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 是柑橘黄龙病 (huanglongbing, HLB) 的重要传播媒介。为了利用灯光诱控技术防治柑橘木虱, 本实验于室内条件下研究柑橘木虱对波长为 360 nm、400 nm、440 nm、480 nm、520 nm、560 nm 和 600 nm 的 LED 光源和不同光照强度趋光行为反应。结果表明: 柑橘木虱对 7 种单色光都有正趋向性。其中雌雄混合存在时对 400 nm 的紫光趋向性最强, 其次是 560 nm 的绿光; 单独处理时, 雌成虫对 400 nm 的紫光趋性最强, 其次是 520 nm 的绿光, 雄成虫则是对 520 nm 的绿光趋性最强, 其次是 400 nm 的紫光。在 200 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 到 1 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的光照强度范围内, 随着光照强度的增大, 柑橘木虱雄成虫趋光行为逐渐增强, 在光照强度为 1 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时趋光行为最强, 但雌成虫趋光行为变化不明显。该研究表明: 柑橘木虱雌雄成虫具有明显的正趋光性, 且对光谱和光强的反应存在差异。这一结果可为柑橘木虱田间的灯光诱控提供实验依据。

关键词: 柑橘木虱; LED 光; 趋光行为; 光谱; 光照强度

中图分类号: Q968.1; S433.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 01-0187-06

Phototaxis of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) to LED lights

WANG Fei-Feng^{1,2}, WANG Ye^{1,2}, CHEN Yu-Chen^{1,2}, LIU Yan-Mei^{1,3}, GUO Shu-Hao^{1,3}, QIU Bao-Li^{1,2}, SANG Wen^{1,3*} (1. Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 2. Key Laboratory of Bio-Pesticide Innovation and Application, Guangzhou 510640, China; 3. Engineering Technology Research Center of Agricultural Pest Biocontrol, Guangdong Province, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), is a vector of huanglongbing (HLB). In order to use light trap technology to control *D. citri*, we investigated the phototaxis behavior of *D. citri* to LED lights at different wavelengths of 360 nm, 400 nm, 440 nm, 480 nm, 520 nm, 560 nm and 600 nm and different intensity under indoor conditions. The results showed that the Asian citrus psyllid had positive phototaxis to 7 monochromatic lights. When the female and male adults were mixed and exposed to the LED lights, the citrus psyllids were most attracted by violet LED light at the wavelength of 400 nm, following by green LED light (520 nm). And when the adults were

基金项目: 广东省自然科学基金 (2019A1515011062); 国家自然科学基金青年基金 (31701793); 国家重点研发计划项目 (2017YFD0200900); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金 (2019KJ108)

作者简介: 王飞凤, 女, 1997 年生, 广东化州人, 本科生, 主要研究方向为害虫物理防治, E-mail: 1013634299@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 桑文, 博士, 讲师, 主要研究方向为昆虫行为生理、害虫生物与物理防治, E-mail: sangwen@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-01-17; 接受日期 Accepted: 2019-03-18

treated by different gender, female adults were most attracted by violet LED light (400 nm), following by the green light (520 nm), male adults were most attracted by green LED light (520 nm), following by the violet light (400 nm). The phototactic ratios of male adults were gradually enhanced with the light intensity to exposure increasing from $200 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ to $1\,000 \mu\text{w}/\text{cm}^2$, instead of female adults without significant variation. This study indicated that Asian citrus psyllids of male and female adults had significantly positive phototaxis and different responses to spectrum and light intensity. These results will provide experimental evidences for trapping citrus psyllid by light in the fields.

Key words: *Diaphorina citri* Kuwayama; LED light; phototaxis behavior; spectrum; light intensity

柑橘木虱属半翅目扁木虱科, 能为害多种芸香科植物, 若虫和成虫在嫩芽、幼叶上取食, 引起新叶卷曲畸形, 嫩梢干枯萎蔫, 若虫在取食过程中能产生白色黏性蜜露, 引起煤污病, 影响植物的光合作用 (叶志勇等, 2007)。同时, 柑橘木虱作为柑橘黄龙病 (huanglongbing, HLB) 的重要传播媒介, 对柑橘产业造成危害更为严重。黄龙病从发现至今已有几十年, 仍未找到有效的治疗方法, 植株一旦感病, 只能整株移除, 因此被称为柑橘的“癌症” (李伟明, 2009; 莫元妹, 2009; 冯小龙等, 2016)。柑橘木虱若虫和成虫在取食带毒植株后均能获取黄龙病病菌, 成虫在转株危害时又能将病菌经口针传播到健康植株上 (李伟明, 2009; 江宏燕等, 2018)。虽然柑橘木虱不能长距离或长时间飞行 (Arakawa and Miyamoto, 2007), 但终生带毒, 传毒率高, 传毒速度快, 容易随风扩散, 是黄龙病田间爆发成灾的重要原因 (余继华等, 2018)。因此, 防治柑橘木虱是遏制黄龙病蔓延扩散的重要举措。

目前, 国内外对柑橘木虱的防治主要依靠化学防治和生物防治手段 (许伟明等, 2017), 然而, 化学农药大量、不合理使用容易导致农药残留、环境污染, 害虫抗药性等问题; 生物防治见效较慢, 且易受到天气和人为等因素的影响, 防治效果不稳定。因此, 研究简单、高效的柑橘木虱绿色防控方法尤为重要。灯光诱控技术是利用昆虫趋光行为特点进行害虫防治的物理防治方法 (桑文等, 2018), 已被广泛的应用于农林牧渔业, 并取得了良好的社会、经济效益 (张凯雄等, 2014; 林森等, 2015; 张长禹, 2015)。

柑橘木虱视觉系统发达, 具有很强的趋光趋色行为特性 (Setamou *et al.*, 2012), 因此, 在夜间使用灯光诱控将有望大大提高柑橘木虱的防治效果。本研究采用昆虫趋光行为反应装置, 分析柑橘木虱雌雄成虫对 360 ~ 600 nm 波长的 LED 光

源的正、负趋光行为, 明确柑橘木虱雌雄成虫趋光行为特点, 为柑橘木虱物理防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫及饲养

柑橘木虱成虫采自华南农业大学九里香植株, 在华南农业大学生物防治教育部工程研究中心人工气候室内用盆栽九里香继代饲养, 九里香每周浇水 3 次, 每两周修剪 1 次。人工气候室温度 $26 \pm 2^\circ\text{C}$, 光周期 L:D = 14 h:10 h, 相对湿度 $60\% \pm 5\%$ 。选择羽化 3 ~ 10 d, 活泼、健康的柑橘木虱成虫作为供试昆虫。

1.2 供试光源

供试的 LED 光源波长分别为 360 nm、400 nm、440 nm、480 nm、520 nm、560 nm 和 600 nm, 功率 20 W, 均定制于深圳市鑫宏显光电科技有限公司。

1.3 试验装置

实验装置由暗箱 (90.00 cm × 61.50 cm × 61.50 cm)、光源、Y 型趋光行为反应装置组成。其中 Y 型趋光行为反应装置分基础臂、遮光臂、透光臂, 长度均为 15.00 cm。利用调节开关控制 LED 光源光照强度, 并由手持辐照计 (FZ-A) 进行测量。

1.4 光谱试验

分别测定柑橘木虱成虫不分雌雄、雌成虫和雄成虫分别在不同波长光源下正、负趋光行为。成虫不分雌雄趋光行为测试光照强度为 $200 \mu\text{w}/\text{cm}^2$, 雌成虫和雄成虫趋光行为测试光照强度为 $400 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ 。实验开始前从九里香上收集待测柑橘木虱成虫, 放入在暗室中进行暗适应 30 min, 再转入趋光行为反应装置的基础臂中, 每次光刺激 1 h。各处理间更换 Y 型趋光反应装置, 消除气味影响。分别统计透光臂、遮光臂、基础臂的虫

数。光谱实验每个处理重复 3 次, 每个重复 20 头成虫。实验时间为 19:00–23:00。

1.5 光强试验

根据柑橘木虱雌、雄成虫对光谱的行为反应的结果, 选取对雌雄成虫吸引效果最佳波长光源进行光强实验。光照强度分别设置为 200、400、600、800 和 1 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。行为测试与光谱实验一致。光强实验每个处理重复 3 次, 每次 20 头。

1.6 数据分析

根据公式计算正趋光率和负趋光率。

正趋光率(%) = 透光壁虫数 / 总虫数 $\times$ 100
负趋光率(%) = 遮光臂虫数 / 总虫数 $\times$ 100

利用 SPSS Statistics 18 软件进行统计分析, 正趋光率和负趋光率使用单因素方差分析 (ANOVA) 的 Duncan 分析方法进行多重比较, 差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 光谱行为反应

在 7 种单色光刺激下, 柑橘木虱雌雄成虫混合存在时, 表现出较强的正趋光性和较弱的负趋光性, 并且对于各个波长光源的正趋光率 ($F_{6,14} = 24.596, P = 0.000 < 0.05$) 和负趋光率 ($F_{6,14} = 7.923, P = 0.001 < 0.05$) 都存在显著差异 (图 1)。其中对 400 nm 的紫光正趋光率最高 ($43.3\% \pm 3.4\%$), 其次是 560 nm 绿光 ($37.8\% \pm 6.9\%$)。对同为紫光的 440 nm 波长光源的正、负趋光率都最低 (正趋光率: 11.1%, 负趋光率: 0.0%)。

当分别对柑橘木虱雌、雄成虫进行光谱行为反应实验发现: 雌、雄成虫趋光率最高的光源波长存在差异 (表 1, 2)。雌、雄成虫对这 7 种单色光都有一定的趋性, 其中雌成虫对 400 nm 紫光正趋光率高达 $73.3\% \pm 9.3\%$, 其次是 520 nm 的绿光, 为 $70.0\% \pm 7.6\%$, 而对 600 nm 橙光正趋光率仅为 $36.7\% \pm 6.7\%$, 且无负趋光反应 (表 1); 雄成虫对 520 nm 绿光正趋光率高达 $66.7\% \pm 10.9\%$, 其次是 400 nm 紫光, 为 $63.3\% \pm 6.0\%$, 对 360 nm 的紫外光正趋光率仅有 $36.7\% \pm 6.0\%$, 而对 480 nm 蓝光无负趋光反应 (表 2)。

2.2 光强度行为反应

根据光谱行为反应试验结果, 选取了雌、雄成虫正趋光率最高的 400 nm 和 520 nm 波长光源进

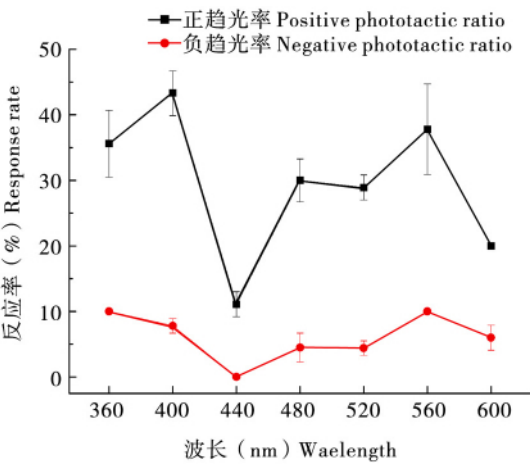


图 1 7 种单色光刺激下柑橘木虱成虫的趋光行为
Fig. 1 Phototaxis behavior of *Diaphorina citri* to seven monochromatic lights

表 1 7 种单色光刺激下柑橘木虱雌成虫的趋光行为反应
Table 1 Phototaxis behavior of *Diaphorina citri* female adults to seven monochromatic lights

波长 (nm) Wavelength	正趋光率 (%) Positive phototactic ratio	负趋光率 (%) Negative phototactic ratio
360	41.7 ± 6.0 ab	1.7 ± 1.7 a
400	73.3 ± 9.3 c	1.7 ± 1.7 a
440	61.7 ± 4.4 abc	5.0 ± 2.9 a
480	65.0 ± 7.6 abc	3.3 ± 1.7 a
520	70.0 ± 7.6 bc	1.7 ± 1.7 a
560	60.0 ± 17.3 abc	1.7 ± 1.7 a
600	36.7 ± 6.7 a	0.0 ± 0.0 a

注: 表中数据为平均值 $\pm$ 标准误。同列数据后相同字母表示 0.05 水平上无显著性差异 (下表同)。Note: The data in the table are mean $\pm$ SE. Data with the same letters in the same column indicates no significant difference at the 0.05 level. The same below.

行光强度行为反应。试验结果表明: 不同性别柑橘木虱成虫的趋光率随着光照强度的增大而存在差异 (图 2、图 3)。雌成虫在 400 nm 波长的紫光刺激下, 正趋光率不随光照强度的增加而发生显著改变 ($F_{4,10} = 2.783, P = 0.086 > 0.05$), 趋光率维持在 50.0% 以上 (图 2)。雄成虫在 520 nm 波长绿光刺激下, 正趋光率随着光照强度的增加而升高 ($F_{4,10} = 7.200, P = 0.005 < 0.05$), 在光照强度为 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的光照强度下, 雄虫的正趋光率高达 89.2% (图 3)。雌、雄成虫在该两种波长条件下依旧存在较弱的负趋光行为。此外, 通

过比较高光照强度下柑橘木虱雌、雄成虫的正趋光行为发现, 雄虫对强光的趋性要大于雌虫。

表2 7种单色光刺激下柑橘木虱雄成虫的趋光行为反应
Table 2 Phototaxis behavior of *Diaphorina citri* male adults to seven monochromatic lights

波长 (nm) Wavelength	正趋光率 (%) Positive phototactic ratio	负趋光率 (%) Negative phototactic ratio
360	36.7 ± 6.0 a	1.7 ± 1.7 a
400	63.3 ± 6.0 ab	6.7 ± 6.7 a
440	60.0 ± 5.8 ab	1.7 ± 1.7 a
480	61.7 ± 6.7 ab	0.0 ± 0.0 a
520	66.7 ± 10.9 b	3.3 ± 3.3 a
560	56.7 ± 10.1 ab	3.3 ± 3.3 a
600	48.3 ± 8.8 ab	1.7 ± 1.7 a

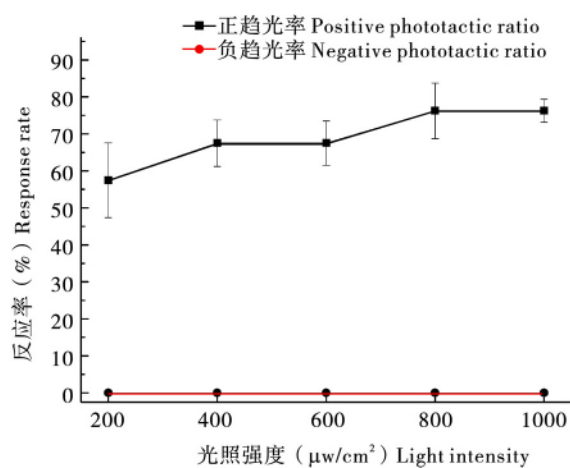


图2 柑橘木虱雌成虫对400 nm单色光的光强度行为反应
Fig. 2 Phototaxis behavior of *Diaphorina citri* female adults to different light intensity of 400 nm LED lights

3 讨论与结论

昆虫的趋光行为包括被光源吸引和受光源排斥两方面, 即正趋光性和负趋光性 (Park and Lee, 2017), 本研究发现, 柑橘木虱雌、雄成虫主要以正趋光性为主, 有较弱的负趋光性。同时, 我们发现柑橘木虱雌、雄成虫对光谱和光强的反应存在较大差异。雌虫对400 nm的紫光趋性最强, 其次是520 nm的绿光, 雄虫对520 nm的绿光趋性最强, 其次是400 nm的紫光。该结果与林雄杰的研究结果表明, 柑橘木虱成虫对光照强度分别为

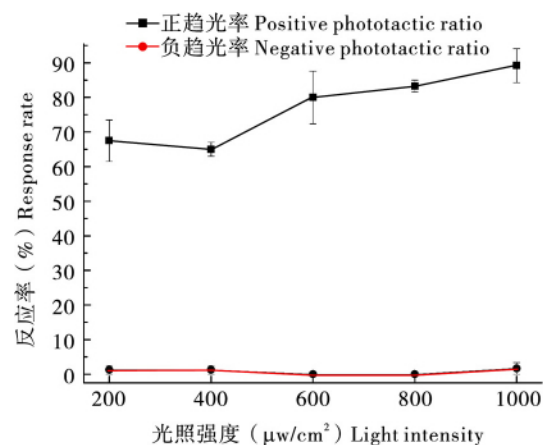


图3 柑橘木虱雄成虫对520 nm单色光的光强度行为反应
Fig. 3 Phototaxis behavior of *Diaphorina citri* male adults to different light intensity of 520 nm LED lights

1800 lx和4310 lx的460 nm蓝光和531 nm绿光的趋光性最强存在较大差异 (林雄杰等, 2013)。原因可能是林雄杰等使用的光源波长较少, 实验中只涉及到绿光、蓝光、红光和黄光4种波长的光源, 并没有涉及到400 nm和560 nm的波长。Paris等也对柑橘木虱的趋光趋色行为做了系统的研究, 发现柑橘木虱成虫对390 nm的紫外光和525 nm的绿光趋性最强 (Paris *et al.*, 2015)。这与本研究雌、雄成虫的趋光行为结果类似。然而当将雌雄成虫随机混合进行试验时, 发现成虫对400 nm紫光依旧趋性最强, 但其次是560 nm绿光。这种差异可能与本试验使用的光照强度有关, 而在进行不分雌雄试验的过程中光照强度较小。此前也有报道表明, 柑橘木虱对于反射率值高于560 nm的色板趋向性更强 (许炜明等, 2017)。典型的植物反射光谱在可见光波段的550 nm处有一个反射峰 (李敏等, 2015)。因此, 柑橘木虱对绿光具有较强的趋性可能与柑橘木虱对寄主植物的搜索行为有关。

昆虫的趋光性受不同条件的影响, 如光照强度 (程文杰等, 2011; 徐练和文礼章, 2015)。黑森瘿蚊 *Mayetiola destructor* Say、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner、斜纹夜蛾 *Prodenia litura* Fabricius、鳃金龟 *Holotrichia lata* Brenske等昆虫的趋光率都是随着光照强度的增强而增大 (范凡等, 2012; 杨洪璋等, 2014; Schmid *et al.*, 2017), 而西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* Pergande雌成虫在不同波长的光源刺激下对于光照强度的变化敏感性存在明显差异 (范凡等, 2012), 在400 nm和

趋光性最强的 524 nm 光源刺激下, 趋光率与光照强度的关系才呈一较为平缓的线型, 而在 380 nm 和 498 nm 光源刺激下其趋光率图分别呈倒“L”型和倒“W”型。同一昆虫不同性别的趋光性也存在差异。黑森瘿蚊的雌成虫对光的敏感性远高于雄性 (Schmid *et al.*, 2017)。东亚小花蝽 *Orius sauteri* Poppius、黑绒鳃金龟甲虫 *Maladera orientalis* Motschulsky 成虫也都是雌虫对光更加敏感 (Altermatt *et al.*, 2009; 冯娜等, 2015; 吕飞等, 2016)。这可能因为在成虫期, 光并不是雄虫用于寻找交配对象的主要信号 (Harris and Foster, 1991)。而在鳞翅目昆虫蛾类的上灯试验中, 多是雄虫上灯数多于雌虫, 这说明蛾类的雄虫对光的敏感性高于雌虫 (Garris and Snyder, 2010)。本研究结果表明, 柑橘木虱雄虫对光强的敏感性要高于雌虫, 且当光强增大到 $1\ 000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 雄虫表现出极强的正趋光行为。目前尚无明确证据表明柑橘木虱雄虫依靠性信息素寻找配偶 (Zanardi *et al.*, 2018), 这暗示柑橘木虱雄虫可能在很大程度上依赖于视觉寻找雌虫。雌虫对光强的敏感性较弱, 可能意味雌性的生命活动, 如寻找产卵场所等, 对视觉的依赖性较低, 对其它感觉能力的依赖性较高, 这些还需要进一步的研究。

综上所述, 柑橘木虱雌雄成虫对光具有明显的正趋性, 且对光谱和光强的反应存在差异。这一结果可为柑橘木虱田间的灯光诱控提供理论依据。

参考文献 (References)

- Altermatt F, Baumeier A, Ebert D. Experimental evidence for male biased flight-to-light behavior in two moth species [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2009, 130 (3): 259–265.
- Arakawa KJMO, Miyamoto K. Flight ability of Asiatic citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) [J]. *Research Bulletin of the Plant Protection Service Japan*, 2007, 43: 23–26.
- Garris HW, Snyder JA. Sex-specific attraction of moth species to ultraviolet light traps [J]. *Southeastern Naturalist*, 2010, 9 (3): 427–434.
- Harris MO, Foster SP. Wind tunnel studies of sex pheromone-mediated behavior of the Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1991, 17 (12): 2421–2435.
- Paris TM, Croxton SD, Stansly PA, *et al.* Temporal response and attraction of *Diaphorina citri* to visual stimuli [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2015, 155 (2): 137–147.
- Park J, Lee H. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs) [J]. *Applied Biological Chemistry*, 2017, 60 (2): 137–144.
- Schmid RB, Snyder D, Cohnstaedt L, *et al.* Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) attraction to different wavelengths and intensities of light-emitting diodes in the laboratory [J]. *Environmental Entomology*, 2017, 46 (4): 895–900.
- Setamou M, Sanchez A, Patt JM, *et al.* Diurnal patterns of flight activity and effects of light on host finding behavior of the Asian citrus psyllid [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2012, 25 (3): 264–276.
- Zanardi OZ, Volpe HXL, Favaris AP, *et al.* Putative sex pheromone of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, breaks down into an attractant [J]. *Journal Citation Reports*, 2018, 8: 2–11.
- Cheng WJ, Zheng XL, Wang P, *et al.* Sexual difference of insect phototactic behavior and related affecting factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (12): 3351–3357. [程文杰, 郑霞林, 王攀, 等. 昆虫趋光的性别差异及其影响因素 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (12): 3351–3357]
- Fan F, Ren HM, Lu LH, *et al.* Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (6): 1790–1795. [范凡, 任红敏, 吕利华, 等. 光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32 (6): 1790–1795]
- Feng N, Fan F, Tao B, *et al.* Effect of spectral sensitivity response on the phototaxis of *Orius sauteri* (Poppius) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35 (14): 4810–4815. [冯娜, 范凡, 陶晔, 等. 光谱对东亚小花蝽趋光行为的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35 (14): 4810–4815]
- Feng XL, He SZ, Tang XS, *et al.* Discussion on quarantine prevention and control countermeasures of Huanglongbing [J]. *China Plant Protection*, 2016, 36 (3): 74–76. [冯小龙, 何世忠, 唐仙寿, 等. 浅谈柑橘黄龙病检疫防控对策 [J]. 中国植保导刊, 2016, 36 (3): 74–76]
- Jiang HY, Wu FN, Wang YJ, *et al.* Research advances on the origin, distribution and dispersal of the Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (5): 1014–1020. [江宏燕, 吴丰年, 王妍晶, 等. 亚洲柑橘木虱的起源、分布和扩散能力研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (5): 1014–1020]
- Li M, Li C, Zheng SL, *et al.* Research on filler design and coating preparation of simulating green vegetation spectra [J]. *Infrared Technology*, 2015, 37 (9): 788–792. [李敏, 李澄, 郑顺丽, 等. 模拟绿色植物光谱的填料设计与涂层制备研究 [J]. 红外技术, 2015, 37 (9): 788–792]
- Li WM. Hazards and control measures of citrus psyllids [J]. *Applicable Technologies for Rural Areas*, 2009, 10: 45. [李伟明. 柑橘木虱发生危害及防治措施 [J]. 农村实用技术, 2009, 10: 45]
- Lin S, Liu JM, Liu CH. The promotion and application of light trapping technology in the prevention and control of vegetable pests [J]. *Hubei Plant Protection*, 2015, 1: 34–35. [林森, 刘军民, 刘朝辉. 灯光诱杀技术在蔬菜害虫防控中的推广与应用 [J]. 湖北植保, 2015, 1: 34–35]

- Lin XJ, Fan GC, Hu HQ, *et al.* Screening of LED light source of the adapter solar trap lamp for trapping the citrus psyllid [J]. *Plant Protection*, 2013, 39 (4): 52–55. [林雄杰, 范国成, 胡茜青, 等. 适配太阳能诱虫器诱杀柑橘木虱 LED 光源的筛选 [J]. 植物保护, 2013, 39 (4): 52–55]
- Lu F, Hai XX, Fan F, *et al.* The phototactic behavior of oriental brown chafer *Serica orientalis* to different monochromatic lights and light intensities [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (4): 656–661. [吕飞, 海小霞, 范凡, 等. 黑绒鳃金龟甲成虫对不同单色光和光强的趋光行为 [J]. 植物保护学报, 2016, 43 (4): 656–661]
- Mo YM. Citrus huanglongbing disease transmission and the identification methods [J]. *Modern Agricultural Sciences*, 2009, 16 (5): 64–65. [莫元妹. 柑橘黄龙病的传播途径及鉴定方法 [J]. 现代农业科学, 2009, 16 (5): 64–65]
- Sang W, Cai FY, Wang XP, *et al.* Application status and prospects of insect trapping lamp in fields [J]. *China Plant Protection*, 2018, 38 (10): 26–30. [桑文, 蔡夫业, 王小平, 等. 农用诱虫灯田间应用现状与展望 [J]. 中国植保导刊, 2018, 38 (10): 26–30]
- Xu L, Wen LZ. Review on impact factors on insecticidal efficiency trap lamp and its development [J]. *China Plant Protection*, 2015, 35 (5): 19–22. [徐练, 文礼章. 影响杀虫灯诱虫效果的因素及其发展方向 [J]. 中国植保导刊, 2015, 35 (5): 19–22]
- Xu WM, Li YH, Zhang S, *et al.* Advances in the monitoring and control of *Diaphorina citri* Kuwayama by using color sticky traps [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 38 (1): 183–188. [许炜明, 李翌菡, 张盛, 等. 有色黏虫板对柑橘木虱的监测及防治研究进展 [J]. 热带作物学报, 2017, 38 (1): 183–188]
- Yang HZ, Wen LZ, Yi Q, *et al.* Effects of light on the phototaxis of several important agricultural pests [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30 (25): 279–285. [杨洪璋, 文礼章, 易倩, 等. 光波和光强对几种重要农业害虫趋光性的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (25): 279–285]
- Ye ZY, Yu JH, Tao J, *et al.* The control agent screening test of the Asian citrus psyllid [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2007, 4: 461–463. [叶志勇, 余继华, 陶健, 等. 柑橘木虱防治药剂筛选试验 [J]. 浙江农业科学, 2007, 4: 461–463]
- Yu JH, Zhang MR, Zhong LQ, *et al.* Prevention and control of Taizhou *Candidatus Liberibacter asiaticus* and *Diaphorina citri* from 2002 to 2017: A review [J]. *Journal of Agriculture*, 2018, 8 (4): 8–13. [余继华, 张敏荣, 钟列权, 等. 2002–2017 年台州柑橘黄龙病及亚洲柑橘木虱防控研究综述 [J]. 农学学报, 2018, 8 (4): 8–13]
- Zhang KX, Wang XP, Lei CL, *et al.* The role of light trapping technology in comprehensive crop prevention and control [J]. *Hubei Plant Protection*, 2014, 5: 23–25. [张凯雄, 王小平, 雷朝亮, 等. 灯光诱杀技术在农作物综合防治中的作用 [J]. 湖北植保, 2014, 5: 23–25]
- Zhang ZY. Research progress and development trend of light trapping technology in China. In: The proceedings of 2015 Annual Conference of the Chinese Plant Protection Society [C]. Changchun, Jilin, China. 2015: 293–298. [张长禹. 灯光诱杀技术在我国的研究进展与发展趋势. 见: 中国植物保护学会 2015 年学术年会论文集 [C]. 中国吉林长春. 2015: 293–298]