应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2019, 56(5): 982–988. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2019.108

肚倍夏迁蚜的趋光性及应用*

查玉平[1**] 张子一[1] 陈京元[1***] 乐建根[2] 吴 波[2] 宋德应[3]

（1. 湖北省林业科学研究院，武汉 430075；2. 竹山县林业局，竹山 442200；3. 五峰县林业局，五峰 4434003）

摘 要 **【目的】** 研究肚倍蚜 *Kaburagia rhusicola* Takagi 对不同光源的趋光行为及应用不同光源诱集效果，为研发肚倍蚜收集装置提供科学依据。**【方法】** 通过室内行为学试验分析 21 种不同波长灯光对肚倍夏迁蚜的引诱效果，并测试生产应用上 4 种不同光源对肚倍夏迁蚜诱集效果。**【结果】** 肚倍夏迁蚜对 325-770 nm 范围内的光（光强 15 lx）具有趋性。肚倍夏迁蚜对 670 nm 单色光趋向性最强，极显著高于其他波段的单色光（除了 460 nm 以外）。其次是 460、610 和 590 nm 的单色光，显著高于除了 670 nm 以外其他波段的单色光。利用可移动式收集装置结合灯光收集肚倍夏迁蚜所需要的时间为 3 d。而且，4 种光波的灯诱集规律存在较大的差异。橙色 LED 灯（600-610 nm）、红色 LED 灯（655-665 nm）和白色日光灯诱集规律相似，收集曲线都是“凸”形的。蓝色 LED 灯（450-460 nm）诱集规律与前 3 种灯相反，收集曲线是“凹”形的。**【结论】** 肚倍夏迁蚜的最敏感光谱是 670、460、610 和 590 nm 的单色光。LED 灯可结合移动式收集装置用于肚倍夏迁蚜的迁飞收集，有助于提高收集效率。

关键词 肚倍蚜；光谱；趋光性；LED

Phototaxis of the summer migrant *Kaburagia rhusicola* Takagi

ZHA Yu-Ping[1**] ZHANG Zi-Yi[1] CHEN Jing-Yuan[1***] YUE Jian-Gen[2] WU Bo[2] SONG De-Ying[3]

(1. Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430075, China; 2. Zhushan County Forestry Bureau, Zhushan 442200, China; 3. Wufeng County Forestry Bureau, Wufeng 4434003, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the phototaxis of *Kaburagia rhusicola* Takagi adults to different light wavelengths, and the effects of phototaxis on collection efficiency, in order to develop a special collection device for these aphids. **[Methods]** The phototaxis of *K. rhusicola* to 21 monochromatic lights from 325-770 nm was measured in a laboratory and differences in the number of aphids trapped by 4 different types of light were analyzed. **[Results]** Every monochromatic light (325-770 nm, 15 lx) induced phototactic responses. Summer migrants significantly preferred red light (670 nm) to all other wavelengths except 460 nm (P< 0.01). In addition to 670 nm, three other light wavelengths; 460, 610, and 590 nm, were also significantly preferred to the other wavelengths (P < 0.05). The relative attractiveness of four different light wavelengths in mobile collection devices specially designed for collecting the summer migrants was tested over three days. There were large differences in the capture-time curves of the 4 wavelengths. The curves of the orange LED light (600- 610 nm), the red LED light (655-665 nm) and the white fluorescent light were all “convex” shapes. However, that of the blue LED light (450-460 nm) was “concave”. **[Conclusion]** Summer migrants are most attracted to 670, 460, 610 and 590 nm monochromatic lights. The combination of a movable collecting device and an LED light source can improve the collection efficiency of summer migrants.

Key words *Kaburagia rhusicola* Takagi; spectra; phototaxis; LED

肚倍蚜 *Kaburagia rhusicola* Takagi 隶属于半翅目 Hemiptera、蚜总科 Aphidoidea、蚜科 Aphididae，一生经历夏迁蚜、过夏越冬若蚜、春迁蚜、性蚜、干母及干雌等虫型，包括瘿内世

*资助项目 Supported projects：“十三五”国家重点研发计划项目课题（2018YFD0600403）

**第一作者 First author，E-mail：zhayuping@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：jingyuanchen@hotmail.com

收稿日期 Received：2019-03-25；接受日期 Accepted：2019-04-25

代和瘿外世代 2 个阶段，在夏寄主青麸杨 *Rhus potaninii* Maxim 和冬寄主美灰藓 *Eurohypnum leptothallum* (C. Muell.) Ando 上转主寄生，分布于湖北、陕西、四川等省（向和，1980；雷朝亮，2011）。春季，过夏越冬若蚜发育为春迁蚜，从冬寄主美灰藓迁飞到夏寄主青麸杨的树干上。春迁蚜在树干缝隙中产下雌雄性蚜，性蚜成熟后交配产下干母。干母爬行至叶片上，取食寄生形成纺锤形虫瘿，即肚倍。虫瘿体积随着瘿内干雌种群数量的增长而增长，并且当瘿内干雌密度达到临界值时，瘿内干雌转变成有翅蚜（夏迁蚜）迁飞到冬寄主上（查玉平等，2016）。夏季，虫瘿成熟爆裂，第 3 代干雌发育成夏迁蚜再由青麸杨迁飞到美灰藓上，夏迁蚜在藓枝上孤雌生殖过夏越冬若蚜，若蚜在新发藓枝上形成白蜡球。当年夏迁蚜的迁飞成功率会直接影响过夏越冬若蚜的基数，从而影响翌年的肚倍产量。

趋光性是昆虫经过长期进化形成的重要的行为特征之一，在其生命活动中具有重要的作用（程文杰等，2011）。国内外学者针对这一特征开展了大量的基础理论研究及应用，提出了光定向行为假说、生物天线假说、光干扰假说、光胁迫假说等（桑文等，2016），并利用光趋性防治和监测害虫（Shimoda and Honda，2013）。但是，早期的诱虫灯多为黑光灯、高压汞灯等，具有广谱的杀虫作用，导致天敌与害虫都大量减少，对当地的生物多样性损害极大（边磊等，2012）。如何利用标靶昆虫的敏感光谱进行精准诱集或驱避已经成为当今国内外研究热点（Katsuki *et al.*，2013；冯娜等，2015；Travis *et al.*，2015；张安盛等，2015；Paris *et al.*，2017）。Katsuki 等（2013）研究表明烟草甲 *Lasioderma serricorne*（Fabricius）对紫外线（UV，375 nm）和蓝色 LED（470 nm）最为敏感，而绿色 LED（520 nm）几乎吸引不到烟草甲。张安盛等（2015）和冯娜等（2015）分别测试了棕榈薊马 *Thrips palmi* Karny 和东亚小花蝽 *Orius sauteri* (Poppius)的敏感光谱，证实光谱对它们的趋光行为有一定的影响。其中，棕榈薊马雌成虫对于蓝光（483 nm）趋光率最大，而紫外光（380 nm）的避光率最大。东亚小花蝽与棕榈薊马相反，趋光率较高的区域在紫外区（340、360 和 380 nm），避光率最高的在蓝光区（483 nm）。Travis 等（2015）研究发现调整了光谱成分的 LED 灯吸引夜间昆虫的数量显著少于普通的 LED 灯，例如定制 LED 灯吸引的双翅目昆虫是普通 LED 灯吸引的 1/3。

目前，我国肚倍生产已经进入了人工培育阶段，与野生、半野生阶段相比，人工培育大幅度提高了倍子产量（杨子祥，2011）。倍蚜的人工培育是肚倍生产中的关键环节，肚倍夏迁蚜的收集是其重要组成部分。虽然，生产中已经开始应用灯光诱集肚倍夏迁蚜（查玉平等，2018），但应用的光源各种各样，效果也千差万别，主要是对其趋光性尚未进行深入研究。本文详细研究了肚倍夏迁蚜对不同光谱的趋光性以及在生产中的应用，研究结果有助于提高人工条件下对肚倍夏迁蚜的集中收集，改进人工培育技术，为肚倍生产提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　虫源

在野外采集接近成熟但尚未爆裂的肚倍，在实验室内解剖。挑选大小一致、健康的夏迁蚜，每 50 头装入 1 个带盖遮光的 EP 管中。备用。

1.2　试验装置

行为反应装置依据肚倍蚜特点并参考相关文献（蒋月丽等，2015），自行设计制作，主要由光源、滤光片、趋光反应室、避光反应室和栖息活动室等构成（图 1）。

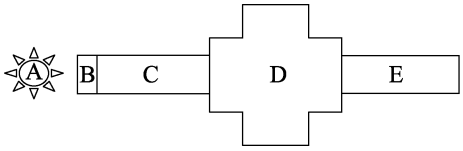

图 1　趋光反应装置示意图

Fig. 1　The sketch map of light-path in phototaxis behavior experiment

A: 光源；B: 滤光片；C: 趋光反应室；D: 栖息活动室；E: 避光反应室。

A: Light; B: Filter; C: Phototactic room; D: Roosting room; E: Photophobism room.

1.3 试验方法

1.3.1 不同光谱趋光行为反应 试验在暗室中进行，室内温度(20±1) ℃，相对湿度 60%±5%。自上午 8：00 开始，每次处理前进行暗反应 2 h，光刺激为 20 min，各处理间隔 15 min。不同光波长（325、340、380、405、420、440、460、492、510、530、550、570、590、610、630、650、670、690、700、750 和 770 nm），在固定光强度（15 lx）条件下，30 min 后，统计趋光反应室和避光反应室中试虫数量。每种波长重复 6 次，每次试虫 50 头。为减少试验误差，每一波长采用 6 组试虫，处理过的试虫不再用于试验。各波长处理后，统计趋光室和避光室的试虫个数，并计算其趋光率和避光率。应用 DPS 软件进行统计学分析。

趋光率（%）=趋光反应室虫数/总虫数×100（1）

避光率（%）=避光反应室虫数/总虫数×100（2）

1.3.2 不同光谱灯的应用 在 1.3.1 试验基础上，选择肚倍蚜趋光率较高的橙色 LED 灯（600-610 nm）、红色 LED 灯（655-665 nm）、蓝色 LED 灯（450-460 nm）及白色日光灯，分别安装在可移动式收集装置上（图 2：C）。当肚倍成熟时，采集大小基本一致且完好无损的肚倍，剖开观察，确定其中干雌是否全部转化为有翅蚜（夏迁蚜），若全部为夏迁蚜则备用。选好 120 个肚倍后，放置到 4 个可移动式收集装置的载物层，每个可移动式收集装置放置 30 个肚倍。同时，开始收集肚倍夏迁蚜，自 8:00-20:00 开灯诱集，室内温度（20±1） ℃，相对湿度 60%±5%。每日记录迁飞数量，观察迁飞规律。应用 DPS 软件进行统计学分析。

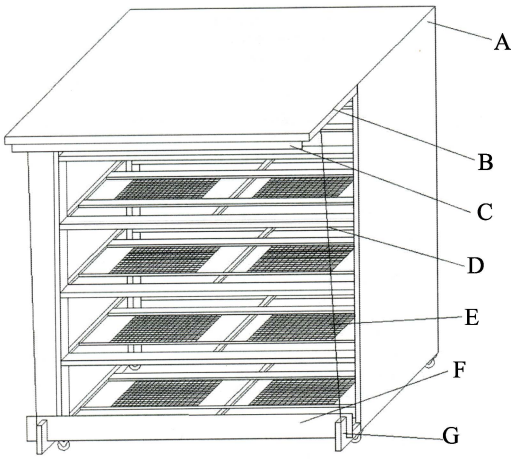

图 2 可移动式收集装置示意图

Fig. 2 The sketch map of mobile collection device

A：支架；B：平行支架；C：灯管；D：透明塑料罩；E：载物层；F：集虫器；G：“ L ”形支架。

A: Carrier; B: Parallel bracket; C: Lamp; D: Transparent plastic cover; E: Carrier layer; F: Collecting insects device; G: “L” bracket.

2 结果与分析

2.1 不同光谱趋光行为反应

从表 1 和图 3 可以看出，肚倍夏迁蚜的趋光性较强而基本不存在避光行为。肚倍夏迁蚜对 670 nm 单色光趋向性最强，平均趋光率达到了 25.5%；其次是 460 nm 波段的单色光，平均趋光率为 23.5%；随后是 610 nm 和 590 nm 的单色光，平均趋光率分别为 19.0%和 18.5%；单色光 492、750、670、510、420、440、570 和 530 nm 等，平均趋光率均达到了 10%以上。其他波段的单色光条件下，肚倍夏迁蚜平均趋光率均低于 8%。

数据分析显示，肚倍夏迁蚜对处于红光区的 670 nm 波段单色光趋向性极显著高于其他波段的单色光（除了 460 nm 以外）（$P < 0.01$，$df = 20$，$n = 6$）；对青光区的 460 nm 波段单色光趋向性显著高于其他波段的单色光（除了 670 nm 以外）（$P<0.05$，$df = 20$，$n = 6$）；对黄光区的 610 nm 和 590 nm 的单色光趋向性则显著高于除了 670 nm 和 460 nm 以外其他波段的单色光（$P < 0.05$，$df = 20$，$n = 6$）。而肚倍夏迁蚜的平均避光率在 0-4%之间，几乎不存在避光行为。该研究结果提示在人工收集中可以采用 670、460、610 和 590 nm 波段的光源诱集蚜虫。

2.2 不同光强趋光行为反应

由图 4 可以看出，利用可移动式收集装置结合灯光收集肚倍夏迁蚜所需要的时间为 3 d，即可将虫瘿内的夏迁蚜基本收集完全。但是，4 种光波的灯诱集规律存在较大的差异。其中，橙色 LED 灯、红色 LED 灯和白色日光灯诱集的肚倍

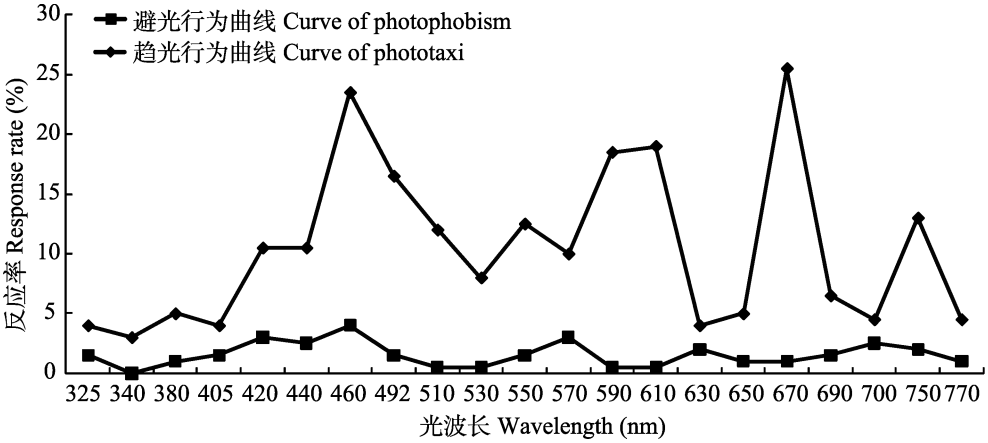

图 3　肚倍夏迁蚜趋/避光行为曲线图

Fig. 3　Response curves of phototaxis and photophobism behavior of the summer migrant *Kaburagia rhusicola*

表 1　21 种单色光刺激下肚倍夏迁蚜的趋光率、避光率比较

Table 1　Spectral response rate of the phototaxis and photophobis behavior of the summer migrant *Kaburagia rhusicola* at 21 monochromatic lights

单色光（nm） Monochromatic light	平均趋光率（%） Mean response rate of phototaxis	平均避光率（%） Mean response rate of photophobism
325	4.00±1.63 Igh	1.50±1.00 ABbcd
340	3.00±2.00 Ih	0.00±0.00 Bd
380	5.00±2.00 GHIgh	1.00±2.00 ABbcd
405	4.00±2.31 Igh	1.50±1.00 ABbcd
420	10.50±3.00 EFGdef	3.00±1.15 ABab
440	10.50±1.91 EFGdef	2.50±1.00 ABabc
460	23.50±3.42 Aba	4.00±2.31 Aa
492	16.50±3.00 CDbc	1.50±1.00 ABbcd
510	12.00±1.63 DEFde	0.50±1.00 Bcd
530	8.00±4.32 EFGHIefg	0.50±1.00 Bcd
550	12.50±2.52 Decd	1.50±1.91 ABbcd
570	10.00±2.83 EFGHdef	3.00±1.15 ABab
590	18.50±1.91 BCb	0.50±1.00 Bcd
610	19.00±3.46 BCb	0.50±1.00 Bcd
630	4.00±2.31 HIgh	2.00±1.63 ABabcd
650	5.00±2.58 GHIgh	1.00±1.15 ABbcd
670	25.50±3.00 Aa	1.00±2.00 ABbcd
690	6.50±1.00 FGHIfgh	1.50±1.91 ABbcd
700	4.50±3.42 HIgh	2.50±1.91 ABabc
750	13.00±4.76 DEcd	2.00±1.63 ABabcd
770	4.50±1.00 HIgh	1.00±1.15 ABbcd

数据后标有不同大写及小写字母表示经 Duncan 氏多重比较检验在 1%和 5%水平上的差异显著。

Data with different capital and lowercase letters indicate significant difference at the 1% and 5% level by Duncan's multiple range test, respectively.

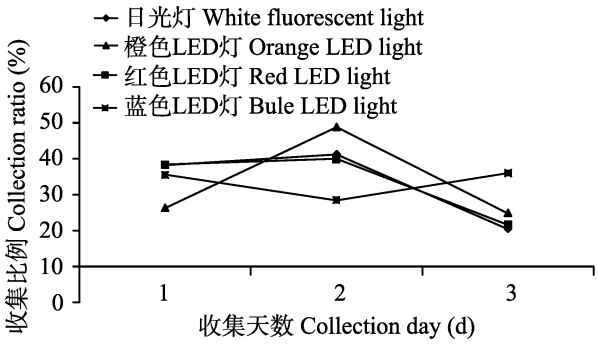

图 4 肚倍夏迁蚜的灯光收集

Fig. 4 Light collection of the summer migrant *Kaburagia rhusicola*

夏迁蚜规律相似，收集曲线都是“ ^ ”形的，在第 2 天达到最高峰。橙色 LED 灯与红色 LED 灯和白色日光灯诱集规律不同之处在于：前者第 1 天和第 3 天诱集量（26.30%和 24.86%）都显著少于第 2 天的诱集量（48.84%），而后两者第 1 天诱集量（38.32%和 38.27%）与第 2 天诱集量（39.98%和 41.22%）相差不大，并显著多于第 3 天（21.70%和 20.51%）。蓝色 LED 灯诱集规律与前 3 种灯相反，收集曲线是“ v ”形的，第 2 天诱集量（28.49%）跌入谷底，第 1 天诱集量（35.50%）和第 3 天诱集量（36.01%）相差无几。

3 讨论

蚜虫和大多数昆虫一样具有趋光性，目前监测和控制蚜虫种群的有效方法之一就是色板诱杀。国内外对蚜虫趋光性及色板的应用等方面进行深入研究（胡小敏等，2011；Grecco *et al.*，2016）。本试验的趋光行为研究显示，肚倍夏迁蚜对 670、460、610 和 590 nm 波段的单色光趋向性较强。这与前面有关蚜虫趋性的结果既有出入也有相符之处。例如，肚倍夏迁蚜对 460 nm 光趋性较强印证了 Hajong 和 Varman（2002）关于许多迁飞蚜虫只趋向波长小于 500 nm 的光源的观点。而肚倍夏迁蚜对 610 nm 和 590 nm 波段的单色光的趋性则符合大多数学者提出的黄色是蚜虫最佳引诱色，最吸引蚜虫的光波长在 500-600 nm 范围的结论（Chittka and Dőring，2007；付国需等，2009；胡小敏等，2011；Saha *et al.*，2018）。但是，肚倍夏迁蚜对 670 nm 的单色光趋性最强，与诸多研究结果不符。可能原因有以下 3 个。一是大多数试验是在自然光谱条件下进行的，采用的光谱成分比较混杂，而本试验采用滤光片光谱成分单一，造成结果不一致。二是有可能不同研究采用的光强不同造成的。因为有报道称光强对昆虫的趋光行为影响较大（程文杰等，2011）。三是因为试验昆虫种类不同造成的。此外，从生产应用来看，实验室单色光趋性也不能完全贴合实际发生情况，橙色 LED 灯、红色 LED 灯和白色日光灯诱集的肚倍夏迁蚜规律相似，蓝色 LED 灯诱集规律则完全相反。因此，室内测试出的昆虫敏感光谱在实践应用时还应多加检验论证。

LED 灯是第 4 代人造光源，与传统光源相比，具有波长窄、波长类型丰富、发光效率高、寿命长、体积小等优点（程丽玲，2015），广泛应用在现代农业的植物照明、畜禽养殖等各个方面。LED 灯对昆虫的影响也成为了国内外昆虫学者的研究热点。有学者提出针对标靶昆虫设计特定波长组合的 LED 灯，将对非标靶昆虫的影响降到最低，有利于保护生物多样性（涂小云等，2014）。Infusino 等（2017）比较了 LED 灯、白炽灯和汞灯诱捕鳞翅目昆虫的效果，发现 LED 灯适用于采集大型蛾类群落并且具有高效能、防大雨、抗机械损伤等优点。王文龙等（2017）则测试了不同波长 LED 灯（365、380、420、470 nm）对油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* (Tsai *et* Liu)的诱集效果，结果显示油松毛虫对紫外光 365 nm 和 380 nm LED 灯有明显的趋向性。还有报道指出 LED 灯有助于增强诱捕器对西花蓟马的引诱效果（Otieno *et al.*，2018）。因此，LED 灯结合可移动式收集装置用于肚倍夏迁蚜的迁飞收集，不仅有助于减少其他昆虫混入，为肚倍迁飞蚜提供稳定、优良的迁飞条件，而且节约能耗，增强安全性，提高收集效率，为提高肚倍产量奠定了基础。

本研究确定了肚倍夏迁蚜的最敏感光谱，为开发通过灯光高效收集肚倍夏迁蚜的新技术提供了理论依据，并在生产实践中进行了检验。

参考文献 (References)

Bian L, Sun XL, Gao Y, Luo ZX, Jin S, Zhang ZQ, Chen ZM, 2012. Research on the light tropism of insects and the progress in application. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1677–1686. [边磊, 孙晓玲, 高宇, 罗宗秀, 金珊, 张正群, 陈宗懋, 2012. 昆虫光趋性机理及其应用进展. 应用昆虫学报, 49(6): 1677–1686.]

Cheng LL, 2015. Photobiological Safety Requirement and Measurement. Hangzhou: Zhejiang University Press. 8–10. [程丽玲，2015. 光生物安全要求与检测. 杭州: 浙江大学出版社. 8–10.]

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.]

Chittka L, Dőring TF, 2007. Are autumn foliage colors red signals to aphids? *PLOS Biology*, 5(8): 1640–1644.

Feng N, Fan F, Tao B, Yang XF, Wei GS, 2015. Effect of spectral sensitivity response on the phototaxis of *Orius sauteri* (Poppius). *Acta Ecologica Sinica*, 35(14): 4810–4815. [冯娜, 范凡, 陶晡, 杨小凡, 魏国树, 2015. 光谱对东亚小花蝽趋光行为的影响. 生态学报, 35(14): 4810–4815.]

Fu GX, Li WZ, Wu SY, Yuan GH, Wang YH, Wang YH, Chai JJ, 2009. Bioassays on phototactic responses of *Myzys persicae* (Homoptera: Aphididae) to different monochromatic lights. *Acta Entomologica Sinica*, 52(10): 1171–1176. [付国需, 李为争, 吴少英, 原国辉, 王英慧, 安靖靖, 柴晓乐, 2009. 桃蚜对不同单色光趋性反应的测定. 昆虫学报, 52(10): 1171–1176.]

Grecco ED, Pratissoli D, Zago HB, Fragoso DFM, Carvalho JR, 2016. Management of insect vectors of viruses in tomato plants using different densities of yellow traps. *Journal of Life Sciences*, 10: 185–191.

Hajong SR, Varman AR, 2002. A report on positive phototaxis exhibited by polymorphic forms of an aphid. *Journal of Insect Behavior*, 15(2): 295–298.

Hu XM, Wang YH, Lin XH, Chen TC, 2011. Preference of aphids to different color sticky cards and different wavelengths of yellow sticky boards. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 20(9): 190–193. [胡小敏, 王云虎, 林星华, 陈台春, 安德荣, 雷仲仁，2009. 蚜虫对不同色卡敏感性及对不同波长黄色粘虫板趋性. 西北农业学报, 20(9): 190–193.]

Infusino M, Brehm G, Marco CD, Scalercio S, 2017. Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera). *European Journal of Entomology*, 114: 25–33.

Jiang YL, WuYQ, Li T, Gong ZJ, Duan Y, Miao J, Guo YY, 2015. Behavioural responses of *Anomala corpulenta* Motschulsky (Coleoptera: Scarabaeoidea) to different spectral light. *Acta Entomologica Sinica*, 58(10): 1146–1150. [蒋月丽, 武予清, 李彤, 巩中军, 段云, 苗进, 郭予元, 2015. 铜绿丽金龟对不同光谱的行为反应. 昆虫学报, 58(10): 1146–1150.]

Katsuki M, Arikawa K, Wakakuwa M, Omae Y, Okada K, Sasaki R, Shinoda K, Miyatake T, 2013. Which wavelength does the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleptera: Anobiidae), prefer? Electrophysiological and behavioral studies using linght-emitting diodes (LEDs). *Applied Entomology and Zoology*, 48(4): 547–551.

Lei CL, 2011. Insect Resource Sciences. Wuhan: Hubei Science and Technology Press. 180−181. [雷朝亮, 2011. 昆虫资源学. 武汉: 湖北科学技术出版社. 180−181.]

Otieno JA, Stukenberg N, Weller J, Poehling HM, 2018. Efficacy of LED-enhanced blue sticky traps combined with the synthetic lure Lurem-TR for trapping of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*). *Journal of Pest Science*, 91(4): 1301–1314.

Paris TM, Allan SA, Udell BJ, Stansly PA, 2017. Wavelength and polarization affect phototaxis of the asian citrus psyllid. *Insect*, 8(3): 88.

Saha S, Dasgupta S, Raychaudhuri D, 2018. Site and spectral hue determine landing of alate aphids for invasion to winter crops/flowering plants. *Workd Scientific News*, 106: 12–23.

Sang W, Zhu ZH, Lei CL, 2016. Review of phototaxis in insects and an introduction to the light stress hypothesis. *Chinses Journal of Applied Entomology*, 53(5): 915–920. [桑文, 朱智慧, 雷朝亮, 2016. 昆虫趋光行为的光胁迫假说. 应用昆虫学报, 53(5): 915–920.]

Shimoda M, Honda K, 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied Entomology and Zoology*, 48(4): 413–421.

Travis L, Hannah LA, John FE, Steve F, Lesly F, Eric HY, Laina NP, Wilson AY, Andre MB, 2015. Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods. *Philosophical Transactions B: Biological Sciences*, 370(1667): 1–10.

Tu XY, Chen YS, Zhi Y, 2014. Effect of light-emitting diode illumination on insect behavior and biological characters. *Plant Protection*, 40(2): 11–15. [涂小云, 陈元生, 支忆, 2014. LED 光源对昆虫行为学和生物学特性的影响. 植物保护, 40(2):

11–15.]

Wang WL, Ren LL, Zhang LS, Ma YB, Luo YQ, 2017. Evaluation of trapping *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai *et* Liu using different wavelength LED lights. *Chinge Journal of Applied Entomology*, 54(6): 955–960. [王文龙, 任利利, 张连生, 马云波, 骆有庆, 2017. 不同波长LED灯对油松毛虫的诱捕效果与评价. 应用昆虫学报, 54(6): 955–960.]

Xiang H, 1980. Studies of Chinese gall-nut aphids on *Rhus Rotaninii* Maxim. *Entomotaxonomia*, 11(4): 303–313. [向和, 1980. 中国青肤杨五倍子蚜虫的研究. 昆虫分类学报, 11(4): 303–313.]

Yang ZX, 2011. Technical Specification for the High-yielded Breeding of Chinese Gallnut. Beijing: China Forestry Publishing House. 14–18. [杨子祥, 2011. 五倍子高产培育技术. 北京: 中国林业出版社. 14–18.]

Zha YP, Yang ZX, Chen JY, Cai SS, 2016. Relationship between popylation dynamics and gall development of the gall aphid *Kaburagia rhusicola* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(7): 791–796. [查玉平, 杨子祥, 陈京元, 蔡三山, 2016. 肚倍蚜瘿内种群动态与虫瘿生长发育的关系. 昆虫学报, 59(7): 791–796.]

Zha YP, Zhang ZY, Yue JG, Yu GW, Chen JY, 2018. Migration and reproduction of the summer migrant *Kaburagia rhusicola* under the artiticial environment. *Journal of Environmental Entomology*, 40(1): 11–15. [查玉平, 张子一, 乐建根, 俞卫国, 陈京元, 2018. 人工环境下肚倍夏迁蚜的迁飞与繁殖研究. 环境昆虫学报, 40(1): 11–15.]

Zhang AS, Yu Y, Zhuang QY, Song YQ, Peng ZY, Zhou XH, Li LL, Men XY, 2015. Effect of spectral sensitivity and intensity on the behavioral response of the *Thrips palmi* female adult. *Acta Ecologica Sinica*, 35(11): 3555–3561. [张安盛, 于毅, 庄乾营, 宋亚秋, 彭宗英, 周仙红, 李丽莉, 门兴元, 2015. 光谱和光强度对棕榈蓟马雌成虫行为反应的影响. 生态学报, 35(11): 3555–3561.]