华山松大小蠹对 LED 灯的趋光行为*

查玉平[1**] 张子一[1] 陈京元[1] 洪承昊[1] 程 宇[2] 华 祥[3] 易家喜[4]

（1. 湖北省林业科学研究院，武汉 430075；2. 湖北生态工程职业技术学院，武汉 430200；3. 神农架林区林业有害生物防治检疫站，神农架 442400；4. 神农架林业有害生物天敌繁育场，神农架 442400）

摘 要 **【目的】** 研究不同波长的 LED 光源对华山松大小蠹 *Dendroctonus armandi* Tsai *et* Li 成虫趋光行为的影响，为研发华山松大小蠹专用 LED 诱虫灯提供科学依据。**【方法】** 通过室内行为学试验分析不同波长和强度的 LED 灯光对华山松大小蠹的引诱效果，以及雌、雄虫趋光行为的差异。**【结果】** 华山松大小蠹雌雄虫对 365-665 nm 范围内的 6 种 LED 光（光强为 1 000 lx）都具有趋性。雌成虫对紫外光（365-370 nm）最为敏感，趋光率为 60%；雄虫则对绿光（515-535 nm）最敏感，趋光率为 52.5%。雌、雄虫均不存在避光行为反应，避光率为 0。在红光区（655-665 nm），华山松大小蠹的趋光行为存在性别差异（$P<0.01$）；但其他光波范围内，其趋光行为不存在性别差异（$P>0.05$）。在一定光波范围内，光强对于华山松大小蠹成虫的趋光行为也有较大的影响。紫外光区（365-370 nm）内，雌、雄虫在不同光强下的趋光行为都存在显著差异，并且在 1 000 lx 光强下的趋光率最高。**【结论】** 华山松大小蠹成虫的感光系统存在一定的性别差异，而且雄虫对光强变化更为敏感。研究结果为研发华山松大小蠹专用诱虫灯提供参考。

关键词 华山松大小蠹；光谱；趋光；避光；LED

Phototaxis of *Dendroctonus armandi* adults to LED lights

ZHA Yu-Ping[1**] ZHANG Zi-Yi[1] CHEN Jing-Yuan[1] HONG Cheng-Hao[1] CHENG Yu[2] HUA Xiang[3] YI Jia-Xi[4]

(1. Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430075, China; 2. Hubei Ecology Polytechnic College, Wuhan 430200, China; 3. Station of Forest Pests Management and Quarantine of Shennongjia, Shennongjia 442400, China; 4. Forestry Pest Predators Breeding Farm of Shennongjia, Shennongjia 442400, China)

Abstract **[Objectives]** To develop a specialized light trap for *Dendroctonus armandi* Tsai *et* Li. **[Methods]** The phototactic response of adult *D. armandi* beetles to LED lights of different wavelengths was studied in a laboratory and the relative attractiveness of different wavelengths to both male and female adults analyzed. **[Results]** All light wavelengths tested（365-665 nm, 1 000 lx）elicited phototactic behavioral responses. Female adults were most sensitive to ultraviolet light (365-370 nm) with a 60% phototaxis rate, whereas males were most sensitive to green light (515-535 nm) with a 52.5% phototaxis rate. Neither sex was photophobic to any wavelength. The sexes differed significantly ($P<0.01$) in their response to red light (655-665 nm) but not to any other wavelength ($P>0.05$). Light intensity had a significant effect on phototaxis in the ultraviolet region (365-370 nm); both sexes were most attracted to a light intensity of 1 000 lx. **[Conclusion]** Males are more sensitive to light intensity, which suggests that there could be sexual differences in the photoreceptor system of adult *D. armandi*. These results provide a scientific basis for research and development of a light trap for adult *D. armandi*.

Key words *Dendroctonus armandi*; spectra; phototaxis; photophobism; LED

华山松大小蠹 *Dendroctonus armandi* 属于鞘翅目 Coleoptera 齿小蠹科 Ipidae 大小蠹属 *Dendroctonus* Tsai *et* Li，是我国特有种，主要危害健康华山松，与其共生真菌协同作用造成大面

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2017YFD0600100）；湖北省林业科技支撑重点项目（Lykjzc201302）

**通讯作者 Corresponding author，E-mail：zhayuping@163.com

收稿日期 Received：2018-08-17；接受日期 Accepted：2019-01-22

积的华山松枯死（陈小平等，2008；张子一等，2015）。华山松大小蠹具有虫体小、生活隐蔽、世代重叠等特点（王兴旺等，2014），且缺乏有效的防治手段，一直是威胁我国华山松健康发展的重要害虫之一。近年来，由于气候变化等因素，华山松大小蠹在我国湖北、四川和陕西等地危害日益严重，对当地生态环境安全构成重大威胁（张子一等，2015；王茹琳等，2016），如何进行有效的防控已经迫在眉睫。

大多数昆虫都具有趋光性，并在寻找食物、交配和搜索产卵场所等方面起到重要作用（边磊等，2012）。利用昆虫的趋光性进行害虫防治的历史悠久，趋光诱杀和避光驱虫等原理得到广泛认可和应用。潘洪涛和张金波（2006）在落叶松林设点布灯诱杀松毛虫，防治效果达到 80%以上。在橄榄园中，使用黑光灯诱杀金龟子成虫效果显著，受害指数不到对照区的二分之一（范秀云等，2009）。但是，一般常用的杀虫灯在诱杀害虫的同时也会诱捕到害虫天敌。有研究表明昆虫能够感觉到的光谱范围较广，并且不同昆虫的敏感光谱存在较大差异（Agee *et al.*，1990；Chen *et al.*，2004；涂小云等，2012；冯娜等，2015）。因此，充分利用昆虫的敏感光谱可以做到精准诱杀靶标害虫，而不会误伤天敌昆虫。

LED 光源具有单色性好、光谱窄、体积小、寿命长、能耗低、可组合性好等优点，在现代农业中的设施栽培、组织培养、植物工厂和太空农业等方面得到了广泛应用（杨其长，2008）。不少学者也将 LED 光源应用于农林害虫的监测和诱杀。鞠倩等（2010）试验表明暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* Motschulsky 在波长范围为 380-430 nm 的 LED 光源下趋光行为反应率为 60%。王文龙等（2017）则评价了不同波长 LED 灯对油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai *et* Liu 的诱捕效果。Otieno 等（2018）试验显示 LED 灯增强了蓝色粘胶诱捕器诱杀西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* Pergande 的效果。

虽然国内外学者就农林重要害虫对不同光源的趋光性行为开展了大量深入的研究（周强等，2006），但是有关华山松大小蠹趋光性研究以及灯光诱捕技术尚未见报道。本研究采用光行为学方法，测定华山松大小蠹对不同 LED 光源的行为反应，以期确定华山松大小蠹的敏感光谱，为研究灯光防控华山松大小蠹的新技术提供基础理论依据。

1　材料与方法

1.1　虫源

在神农架林区采集受华山松大小蠹为害的华山松木段（每段约 80 cm 长），放在大型网笼（95 cm×95 cm×95 cm）中。每天收集羽化出来的华山松大小蠹成虫，挑选健康、活力一致的个体，雌雄分别放置在避光容器中备用。

1.2　试验装置

依据华山松大小蠹特点并参考相关文献自行设计制作行为反应装置（冯娜等，2015；蒋月丽等，2015），主要由光源（光强可调）、趋光反应室、避光反应室和栖息活动室等构成（图 1）。光源的编号和波长见表 1。

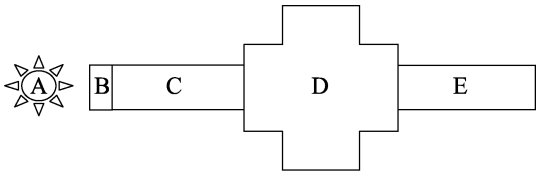

图 1　趋光反应装置示意图

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

A. 光源；B. 趋光反应室；
C. 栖息活动室；D. 避光反应室。
A. Light; B. Phototactic room; C. Roosting room; D. 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，自上午 8:00 开始。室内温度（20±1）℃，相对湿度 60%±5%。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。为减小误差，每一波长采用 8 组试虫，雌、雄各 4 组，每组试虫为 20 头，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

表 1 LED 光源编号与波长
Table 1 The number and wavelengths of LED lights

编号 Number	I	II	III	IV	V	VI
波长（nm） Wavelengths	365-370	400-410	450-460	510-535	585-595	655-665
颜色 Color	紫外 Ultraviolet light	近紫外 Near ultraviolet light	蓝 Blue light	绿 Green light	橙 Orange light	红 Red light

数，计算其趋光率和避光率。应用 DPS 软件进行分析处理。

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 不同光强趋光行为反应 在 1.3.1 试验基础上，选择雌、雄成虫趋光率最高的光源（分别为 I 和 IV）进行光强（5 000、1 000、500 lx）影响测试。试验条件同 1.3.1。各光强处理后，统计趋光室和避光室的试虫个数，应用公式（1）、（2）计算其趋光率和避光率。应用 DPS 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同光谱趋光行为反应

从图 2 和图 3 可以看出，365-665 nm 范围内的 6 种 LED 光（光强为 1 000 lx）均能引起华山松大小蠹成虫的趋光行为。雌虫趋光行为反应曲线中，趋光率最高的区域是紫外光区(365-370 nm)，趋光率为 60%；其次是近紫外光区（400-410 nm），趋光率达到 51.25%。随后，雌虫的趋光率由高到低，依次为 47.5%、46.25%、40%和 32.5%，分别在绿光区（515-535 nm）、红光区（655-665 nm）、橙光区（585-595 nm）和蓝光区（450-460 nm）。雌虫在紫外光区的趋光率显

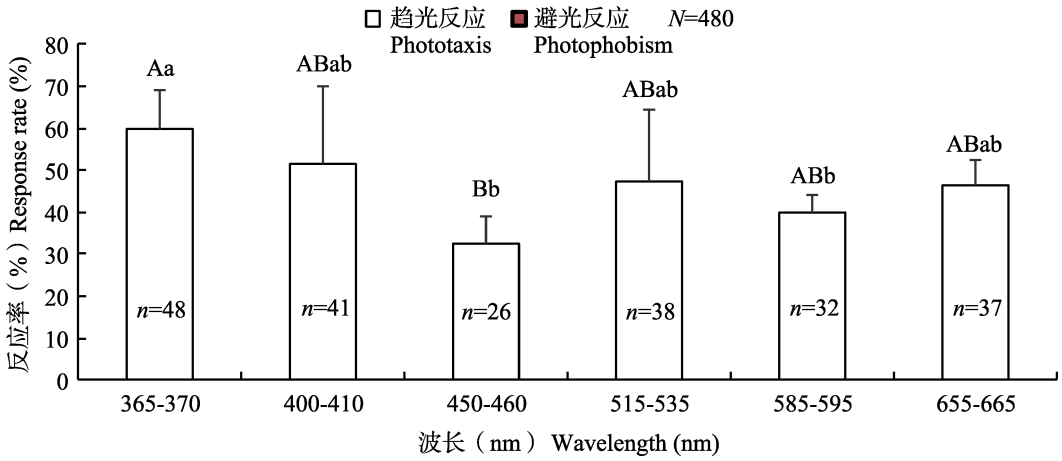

图 2 华山松大小蠹雌成虫的趋光、避光反应图
Fig. 2 Phototaxis and photophobism behavior response of *Dendroctonus armandi* females

图中数据为平均数±标准差，标有不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著，不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著，均以 Duncan 氏新复极差法进行多重比较分析。
N: 总试虫数，*n*：反应虫数。下图同。
Data in the graph is the mean ± SE. Histograms with different capital letters indicate significant difference at the 0.01 level by Duncan's multiple range tests; while with different small letters indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range tests.
N: Total numbers of females across all four replicates. *n*: Total numbers of females with response across all four replicates. The same below.

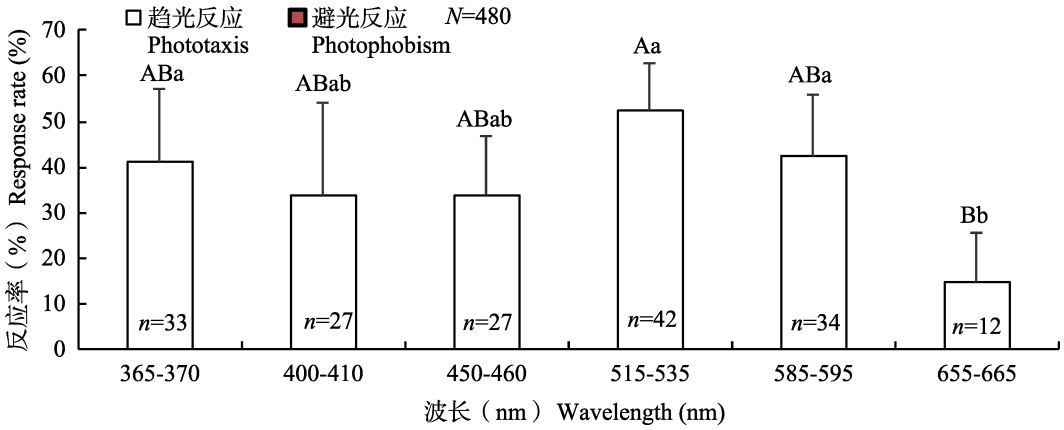

图 3　华山松大小蠹雄成虫的趋光、避光行为曲线

Fig. 3　Phototaxis and photophobism behavior response of *Dendroctonus armandi* males

著高于蓝光区的趋光率（$P<0.01$）和橙光区的趋光率（$P<0.05$，$df=18$）。雄虫趋光行为反应曲线中趋光率最高的区域是绿光区（515-535 nm）。其他区域的雌虫趋光率由高到低，依次为橙光区的 42.5%、紫外光区的 41.25%、近紫外光区的 33.75%、蓝光区的 33.75%和红光区的 15%。雄虫在红光区的趋光率显著低于绿光区的趋光率（$P<0.01$，$df=18$）、橙光区的趋光率（$P<0.05$，$df=18$）和紫外光区的趋光率（$P<0.05$，$df=18$）。在红光区，雌虫的趋光率显著高于雄虫的趋光率（$P<0.01$，$df=18$），其他光区则差异不显著。此外，雌、雄虫均不存在避光行为反应，避光率为 0。

结果显示，光波长对于华山松大小蠹成虫的趋光行为反应具有较大影响，在部分不同光区间存在显著性差异。而且，在红光区华山松大小蠹成虫的趋光行为存在性别差异。

2.2　不同光强趋光行为反应

从图 4 和图 5 可以看出，3 种不同光强的 LED 光均能引起华山松大小蠹成虫的趋光行为，并且雌、雄虫在光强 1 000 lx 下的趋光率最高。在紫外光区（365-370 nm），雌虫在光强 1 000 lx 下的趋光率显著高于光强 500 lx 下的趋光率（$P<0.05$, $df=9$）。无论是紫外光区还是绿光区（515-535 nm），而雄虫在光强 1 000 lx 下的趋光率显著高于其他 2 个光强下的趋光率（$P<0.01$, $df=9$）。此外，雌、雄虫均不存在避光行为反应，避光率为 0。

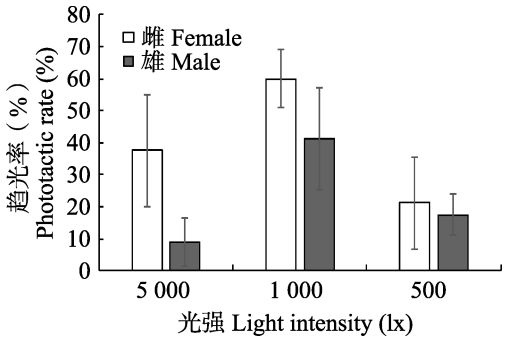

图 4　紫外光区（**365-370 nm**），华山松大小蠹雌、雄成虫的趋光反应

Fig. 4　Response rates of *Dendroctonus armandi* female and male adult on the ultraviolet light (365-370 nm)

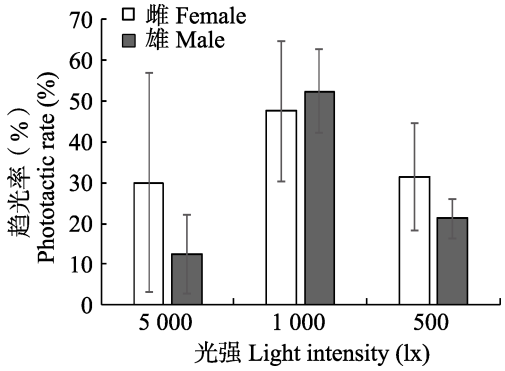

图 5　绿光区（**515-535 nm**），华山松大小蠹雌、雄成虫的趋光反应

Fig. 5　Response rates of *Dendroctonus armandi* female and male adult on the green light (515-535 nm)

结果显示，光强对于华山松大小蠹成虫的趋光行为反应也有较大影响，而且在一定光强范围内，1 000 lx 是引起华山松大小蠹成虫趋光行为的最佳光强，无论升高还是降低都会使得该虫的

趋光率下降。此外，雄虫比雌虫对光强变化更为敏感。

3 讨论

趋光性是大多数昆虫的主要行为习性，是其长期进化的结果，在昆虫生命活动中具有重要的作用（蒋月丽等，2015）。国内外学者在昆虫趋光性方面开展了大量的研究工作，并在利用光趋性防治害虫的研究取得大量成果（边磊等，2012；桑文等，2016）。有研究表明，昆虫通过视觉器官感受外界光源，不同波长和不同光强的光对昆虫的影响也不同（范凡等，2012；冯娜等，2015；张安盛等，2015）。因此，不少学者利用标靶昆虫的敏感光谱，设计专一的诱杀灯进行精准诱集（Travis *et al.*，2015；Paris *et al.*；2017）。此外，LED 灯是新型人造光源，具有波长窄而丰富、体积小好配比等优点（程丽玲，2015），可以针对标靶昆虫设计特定波长组合的 LED 灯进行精准诱杀（涂小云等，2014）。本试验显示，华山松大小蠹雌、雄虫分别对紫外光（365-370 nm）和绿光（515-535 nm）最敏感，而且光强为 1 000 lx 时，华山松大小蠹雌、雄虫趋光率最高。这个结果可以作为利用 LED 灯进行精准诱杀的基础依据。

试验结果还显示，性别对华山松大小蠹成虫的趋光行为有较大影响。在红光区（655-665 nm），雌虫的趋光率显著高于雄虫的趋光率（$P<0.01$，$df=18$）。这一结果与江幸福等（2010）得出的雌虫比雄虫趋光行为强的结论一致。程文杰等（2011）提出影响雌雄成虫趋光性的因素有飞行能力、复眼、光源、日龄、交配与产卵等。本试验中，测试用华山松大小蠹雌雄成虫均为刚羽化的 1 日龄，而且室内收集，程文杰等（2011）所提的影响因素均无区别，这表明华山松大小蠹成虫趋光行为的性别差异，可能是雌雄虫本身的感光系统存在一定的差异。

本研究确定了华山松大小蠹雌、雄虫的 LED 光源最敏感光谱和适宜光强，为开发通过灯光诱杀华山松大小蠹的新技术提供了理论依据，并有待于林间实践检验。

参考文献 (References)

Agee HR, Mitchell ER, Flanders RV, 1990. Spectral sensitivity of the compound eye of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 83(4): 817–819.

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.]

Chen TY, Chu CC, Fitzgerald G, Natwick ET, Henneberry TJ, 2004. Trap evaluations for thrips (Thysanoptera: Thripidae) and hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environmental Entomology*, 33(5): 1416–1420.

Chen XP, Wang XW, Li T, Li Q, Li F, 2008. Advance in researches on *Dendroctonus armandi*. *Journal of Sichunan Forestry Science and Technology*, 29(4): 56–58. [陈少平, 王兴旺, 李涛, 李强, 李锋, 2008. 华山松大小蠹的研究进展. 四川林业科技, 29(4): 56–58.]

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.]

Fan F, Ren HM, Lu LH, Zhang LP, Wei GS, 2012. Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Acta Ecologica Sinica*, 32(6): 1790–1795. [范凡, 任红敏, 吕利华, 张莉萍, 魏国树, 2012. 光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响. 生态学报, 32(6): 1790–1795.]

Fan XY, Li YZ, Wang XL, Lin LJ, Yu HL, Guan JC, 2009. Experiment on attraction of scarab adults (Scarabaeidae) to a black light lamp in the Chinese olive (*Canarium album*) plantation. *Journal of Guangdong Forestry Science and Technology*, 25(5): 31–34. [范秀云, 李奕震, 王祥林, 林丽静, 于华利, 关健翔, 2009. 黑光灯诱杀橄榄种植园金龟子成虫试验. 广东林业科技, 25(5): 31–34.]

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.]

Jiang XF, Zhang ZZ, Luo LZ, 2010. Phototaxis of the beet webworm *Loxostege sticticalis* to different wave lengths and light intensity. *Plant Protection*, 36(6): 69–73. [江幸福, 张总泽, 罗礼智, 2010. 草地螟成虫对不同光波和光强的趋光性. 植物保护, 36(6): 69–73.]

Jiang YL, Wu YQ, 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.]

Ju Q, Qu MJ, Chen JF, Zhao ZQ, Niu HL, Zhou Q, Yu SL, 2010. The influence of spectral and sexual differences on phototaxis action of several kinds of beetles. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(3): 512–516. [鞠倩, 曲明静, 陈金凤, 赵志强, 牛虎力, 周强，禹山林, 2010. 光谱和性别对几种金龟子趋光行为的影响. 昆虫知识, 47(3): 512–516.]

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.]

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.

Pan HT, Zhang JB, 2006. Experiment of trapping *Dendrolimus superans* with insecticidal lamp. *Pretection Forest Science and Technology*, (2): 23–24. [潘洪涛, 张金波, 2006. 杀虫灯诱杀松毛虫的试验. 防护林科技, (2): 23–24.]

Paris TM, Allan SA, Udell BJ, Stansly PA, 2017. Wavelength and polarization affect phototaxis of the asian citrus psyllid. *Insect*, doi: 10.3390/insects8030088.

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*, 370(1667): 1–10.

Tu XY, Chen YS, Chen J, Hu ZL, Jin YQ, Xu F, 2012. Effects of different LED light sources on the behavior of *Brithys crini* (Lepitoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(10): 1185–1192. [涂小云, 陈元生, 陈娟, 胡章龙, 金义钦, 徐飞, 2012. 不同波段 LED 光源对毛健夜蛾行为的影响. 昆虫学报, 55(10): 1185–1192.]

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.]

Wang XW, Zhang ZJ, Yang W, Yang CP, Li F, 2014. A preliminary study of the biological character of *Dendroctonus armandi*. *Journal of Sichunan Forestry Science and Technology*, 35(1): 56–58. [王兴旺, 张紫晋, 杨伟, 杨春平，李峰, 2014. 华山松大小蠹生物学特性初步研究. 四川林业科技, 35(1): 56–58.]

Wang RL, Yu HB, Wang YL, Jiang G, Lin S, Shen ZH, 2016. Potential geographical distribution of *Dendroctonus armandi* in China based on the MaxEnt prediction. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 6(5): 36–40. [王茹琳, 余华彬, 王闫利, 姜淦, 林姗, 沈沾红, 2016. 基于 MaxEnt 的华山松大小蠹在中国潜在分布区预测. 气象科技进展, 6(5): 36–40.]

Yang QC, 2008. Application and prospect of light-emitting diode (LED) in agriculture and bio-industry. *Jorunal of Agricultural Science and Technology*, 10(6): 42–47. [杨其长, 2008. LED在农业与生物产业的应用与前景展望. 中国农业科技导报, 10(6): 42–47.]

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.]

Zhang ZY, Zha YP, Wang SM, Hong CH, Zeng B, Chen JY, 2015. Bionomics of *Dendroctonus armandi* in Shennongjia forestry district. *Forest Pest and Disease*, 34(6): 1–4. [张子一, 查玉平, 王少明, 洪承昊, 曾博, 陈京元, 2015. 神农架林区华山松大小蠹生物学特性研究. 中国森林病虫, 34(6): 1–4.]

Zhou Q, Xu RQ, Cheng XT, 2006. Bio-photo-electro effect of insects and its application in pest control. *Progress in Modern Biomedicine*, 6(4): 70–72. [周强, 徐瑞清, 程小铜, 2006. 昆虫的生物光电效应与虫害治理应用. 现代生物医学进展, 6(4): 70–72.]