

不同波长 LED 灯对油松毛虫的诱捕效果与评价*

王文龙^{1**} 任利利¹ 张连生² 马云波² 骆有庆^{1***}

(1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室, 北京 100083;
2. 辽宁省建平县林业局森林病虫害防治检疫站, 建平 122400)

摘要 【目的】分析油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu 对不同波长 LED 灯的趋向性, 评价其诱捕效果, 为合理应用 LED 灯监测和防治油松毛虫提供科学依据。【方法】通过野外诱捕和室内趋性试验分析不同波长 LED 灯 (365、380、420、470 nm) 对油松毛虫的诱集效果, 分析油松毛虫上灯节律。比较野外灯诱组和室内对照组雌虫产卵量。【结果】野外诱捕结果表明, 紫外光区 365 nm、380 nm LED 灯的诱虫量显著高于蓝光区 420 nm、470 nm 的 LED 灯; 雌、雄虫上灯高峰期为 23:30—1:00。室内趋光性试验结果显示, 油松毛虫对紫外光 365 nm 和 380 nm LED 灯有明显的趋向性。室内对照组的平均产卵量 (550 ± 89) 粒/头与野外灯诱组的平均产卵量 (263 ± 88) 粒/头差异极显著, 前者约为后者的 2 倍, 诱捕到的雌虫在林间仍有一半卵未被产出。【结论】在夜间 2:30 之前利用紫外光波段的 LED 灯对油松毛虫有良好的诱捕效果; 灯诱能减少油松毛虫雌虫在林间产卵, 从而降低林间下一代虫口数量, 可用于野外监测和防治。本研究为合理使用 LED 灯监测和防治油松毛虫提供参考。

关键词 油松毛虫, LED 灯诱效果, 上灯节律, 产卵量

Evaluation of trapping *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu using different wavelength LED lights

WANG Wen-Long^{1**} REN Li-Li¹ ZHANG Lian-Sheng² MA Yun-Bo² LUO You-Qing^{1***}

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. The Forest Quarantine Station of Jianping County in Liaoning Province, Jianping 122400, China)

Abstract [Objectives] To evaluate the effectiveness of trapping *Dendrolimus tabulaeformis* with different wavelength LED lamps and thereby identify the best wavelength of LED lamp for monitoring and controlling this pest. [Methods] The attractiveness of four different wavelengths of LED lamps (365, 380, 420, 470 nm) to *D. tabulaeformis* was measured by trapping in the field and conducting phototaxis selection experiments in a laboratory. The activity rhythm of *D. tabulaeformis* was analyzed and the fecundity of females light-trapped in the field was compared with that of an indoor control group. [Results] Significantly different numbers of *D. tabulaeformis* were trapped using 365 nm and 380 nm lights in the UV region and 420 nm and 470 nm lamps in the blue region. Males and females were trapped mainly between 23:30 and 1:00. The average fecundity of females light-trapped in the field (550 ± 89) eggs/adult was significantly higher than that of an indoor control group (263 ± 88) eggs/adult. About half the eggs of light-trapped females had not been laid. [Conclusion] UV light-traps caught most *D. tabulaeformis* before 2:30 at night. Light-trapping reduced the amount of eggs laid, thereby decreasing the abundance of the subsequent generation in the forest. These results provide a useful reference for using LED lights to monitor and control *D. tabulaeformis*.

Key words *Dendrolimus tabulaeformis*, LED light-trapping effect, light-trapping rhythm, fecundity

*资助项目 Supported projects: 国家公益性行业科研专项“重大森林虫灾监测预警的关键技术研究”(201404401)

**第一作者 First author, E-mail: ky2011wwl@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: youqingluo@126.com

收稿日期 Received: 2017-09-28, 接受日期 Accepted: 2017-11-01

油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu 属鳞翅目 (Lepidoptera) 枯叶蛾科 (Lasiocampidae) 松毛虫属 (*Dendrolimus*), 是我国重要的森林害虫之一。油松毛虫是典型的夜行性趋光昆虫, 生产中常用诱虫灯进行诱捕防治。

目前常用的诱虫灯有双波灯 (刘立春等, 1999)、黑光灯 (王新苗等, 2008; 朱银飞, 2010; 陈华爽, 2011)、频振式杀虫灯 (陈合志, 2002; 方明刚, 2002; 刘友文和谢小春, 2002)。常用黑光灯的波长一般在 330~380 nm 范围内, 中心峰值在 360 nm 左右, 大多数鳞翅目害虫对该范围光源较为敏感 (张广学等, 2004; 赵建伟, 2008; 姜静等, 2010)。卢军等 (2011) 研究表明大多数趋光性昆虫喜好 330~400 nm 的紫外线。李建光等 (2013) 使用不同波长黑光灯监测美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury 时发现其对 351 nm 波长黑光灯最为敏感。丁岩钦等 (1974) 在对棉铃虫和烟青虫进行 13 种单色光的行为选择试验中表明: 棉铃虫和烟青虫对 333 nm 和 383 nm 单色光反应率较高。冯娜等 (2015) 选取 340~605 nm 范围内 14 个单色光研究东亚小花蝽 *Orius sauteri* Poppius 成虫的趋、避光行为, 不同波长的单色光均能引起东亚小花蝽的趋光行为, 但是不同波长之间有较大差异。

刘友文和谢小春 (2002) 通过佳多频振式杀虫灯与黑光灯诱杀马尾松毛虫 *D. punctatus* Walker 的防治对比试验, 表明频振式杀虫灯的诱杀效果良好。黄烈燕等 (2008) 研究表明利用黑光灯诱杀马尾松毛虫不仅能降低马尾松毛虫成虫的产卵量, 还可以降低当代成虫的虫口密度。

灯诱方法的应用与光源的发展密不可分, 上述常用的双波灯、黑光灯和频振式杀虫灯大多选用荧光灯, 其利用低压汞蒸气放电释放出紫外线, 通过荧光粉的反射转换成可见光, 发光效率高于白炽灯和卤素灯, 较为节能环保; 且其发光温度低, 使用寿命长。但是双波灯、黑光灯和频振式杀虫灯体积均较大; 且使用电源电压要求为 220 V, 在偏远林区的应用较为困难。随着

材料学和光物理学的不断发展, 第 4 代人造光源 LED 灯的出现几乎带动了整个照明产品的升级换代。LED 灯具有发光效率高、耗电量少、寿命长、安全性强、单色性好等优点 (程丽玲, 2015), 已经被广泛应用于各个领域, 但在林业害虫防治上尚未得到广泛应用。本研究选用 4 种不同波长 LED 灯诱捕油松毛虫, 并评价其诱捕效果, 以期在未来利用 LED 灯防治油松毛虫提供合理的建议。

1 材料与方法

1.1 样地选择

建平县地处辽宁省西部, 属半湿润半干旱的大陆性季风气候 (牛军生等, 2011)。建平县造林以人工林为主, 少量次生林, 主要为油松纯林和沙棘杨树混交林。姜凤岐等 (2007) 指出目前建平县油松林出现衰退现象, 可能导致病虫害的多发和暴发。建平县朱碌科镇主要为油松人工纯林, 树龄 50~60 年, 树高为 5~7 m, 平均胸径约为 15 cm, 2014 年油松毛虫危害严重, 平均失叶率达 70%。2015 年 7—8 月, 于油松毛虫成虫发生期, 在朱碌科镇 (N 41°40'40", E 119°51'43") 油松纯林中进行灯诱试验。

1.2 研究方法

1.2.1 林间诱虫灯设置 在中国科学院半导体研究所照明研发中心订制 LED 诱虫灯用于本试验。参数如下: 额定电压 12 V, 额定功率 5 W, 中心波长分别为 365 nm (紫外光)、380 nm (紫外光)、420 nm (蓝光) 和 470 nm (蓝光)。诱虫灯悬挂在油松纯林中高度约为 2 m, 灯下 20 cm 处挂一块 1.5 m × 1.5 m 白布用以收集油松毛虫, 诱虫灯随机排布, 两灯间距 50 m 以上, 每种灯重复 3 次, 共 12 个灯。电源为 12 V、17 Ah 的蓄电池。晴朗天气条件下于 2015 年 7 月 18 日、23 日、28 日和 31 日, 在晚 20:30 至凌晨 4:00 的时间段进行诱集, 每隔 1.5 h 收集白布上各灯诱集到的油松毛虫, 带回室内区分雌雄并统计数量。

1.2.2 油松毛虫上灯节律研究 统计每个时间段所有灯诱到的油松毛虫雌、雄虫数量, 计算每个时间段诱到的雌、雄虫占当天诱集总量的百分比, 用于分析油松毛虫雌、雄虫上灯节律。

1.2.3 室内趋光选择试验 2015 年 7 月初, 在建平县油松林中采集油松毛虫蛹并带回实验室, 置于光照培养箱中待其羽化, 光照培养箱温度为 (25 ± 1) , 相对湿度为 $(70 \pm 5)\%$, 光周期为 16 L : 8 D。每头蛹单独放置在 300 mL 的塑料果冻杯中。待油松毛虫羽化后, 将 2 日龄油松毛虫雌、雄成虫各 30 头黑暗处理 2 h 后, 分别放入自制的昆虫趋光选择行为试验箱中 (图 1 : C)。箱体由有机玻璃加工制成, 箱体外侧粘贴一层可以隔绝光源的黑色卡纸。诱集箱 (图 1 : A) 尺寸为 30 cm × 30 cm × 60 cm, 上盖中间有一小孔用以固定光源; 通道 (图 1 : B) 选用聚氯乙烯 (Polyvinylchloride, PVC) 管, 其直径为 10 cm, 长度为 20 cm, 可以保证油松毛虫成虫顺利飞过。供试虫箱 (图 1 : C) 体积为 60 cm × 60 cm × 60 cm, 上盖可以打开用以投放油松毛虫供试成虫。为减少各诱集箱 (图 1 : A) 中的光源在供试虫箱 (图 1 : C) 中汇集对供试虫的影响, 将各个诱集通道错位设置 (图 1)。为保证油松毛虫趋光节律不受其生物节律影响, 试验选在夜间进行。试验光源为上述 365、380、420、470 nm 的 LED 灯。每 0.5 h 统计每个诱集箱 (图 1 : A)

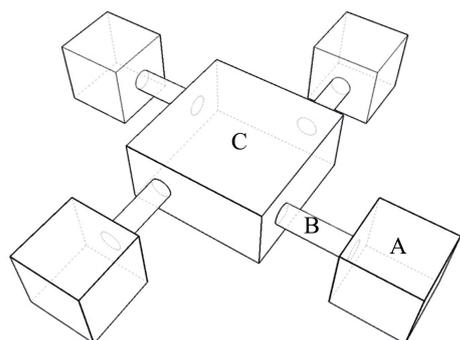


图 1 油松毛虫成虫趋光选择行为试验箱示意图
Fig. 1 The diagram for phototaxis selection behavior of *Dendrolimus tabulaeformis*

- A. 诱集箱 (含光源); B. 通道; C. 供试虫箱。
A. Baiting box (light source included); B. Channel;
C. Test insects box.

里的油松毛虫的数量, 直到诱集箱中油松毛虫数量不再增加为止, 试验重复 3 次。

1.2.4 野外灯诱组和室内对照组雌蛾产卵量比较 每次野外灯诱试验时, 随机选取诱捕到的 5 头油松毛虫雌虫单独放置在 300 mL 的塑料杯中, 标记为野外灯诱组; 待其产卵, 统计产卵量。将上述试验中带回实验室内饲养羽化的油松毛虫雌蛾和雄蛾放置在一起, 待其交配产卵, 标记为室内对照组, 每 5 对为一个处理, 统计产卵量, 试验重复 4 次。比较灯光诱捕到的油松毛虫雌蛾和室内羽化的雌蛾产卵量。

1.3 数据分析

在比较不同波长 LED 灯诱捕效果时, 为消除每日林间背景虫口数量的变化对试验结果的影响, 将每日诱虫量归一化处理, 用 y_{ij} 表示每日每灯诱虫量, m_i 表示每日总诱虫量, Z_{ij} 表示每日每灯矫正诱虫量, 于是有公式:

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij}}{m_i} \times 100\%$$

求得 Z_{ij} 值 (i 表示日期, j 表示灯号)。

不同波长 LED 灯的诱捕油松毛虫数量用 Graphpad Prism 7.0 进行单因素方差分析, 多重比较用 Tukey's 检验。t-检验比较野外灯诱组和室内对照组雌蛾产卵量。

2 结果与分析

2.1 不同波长 LED 灯对油松毛虫诱捕效果

比较不同 LED 灯诱捕油松毛虫的矫正诱虫量 (图 2), 不同波长之间差异极显著 ($P < 0.0001$), 紫外光区 365 nm 灯对油松毛虫雌、雄虫矫正诱集量均最多, 380 nm 灯引诱效果次之, 最后是蓝光区的 420 nm 和 470 nm 的灯, 其中 420 nm 和 470 nm 灯对雌虫的诱捕效果无明显差异。紫外光区的 LED 灯诱捕到的雌、雄虫分别占各自诱捕量的 72.3% 和 64.4%。雄虫和雌虫对不同波长灯趋性差异不显著。

2.2 油松毛虫夜间不同时间段的上灯节律

油松毛虫夜间不同时段上灯数量的结果

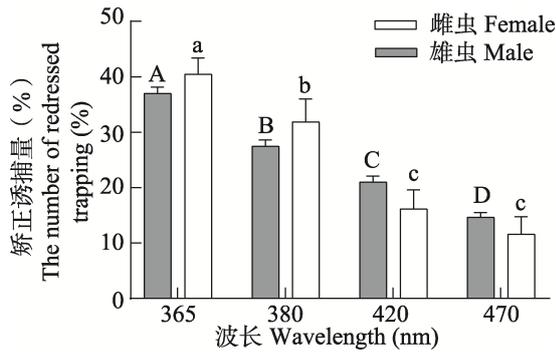


图2 不同波长LED灯诱捕油松毛虫矫正诱捕量百分比
Fig. 2 The number of redressed trapping *Dendrolimus tabulaeformis* in different wavelength LED lamps

柱上标有不同大写字母表示雄虫各比较组间差异极显著 ($P < 0.01$); 标有不同小写字母表示雌虫各比较组间差异极显著 ($P < 0.01$)。图3同。

Histograms with different capital letters indicate statistically significant difference between each male comparison groups ($P < 0.01$), while with different lowercase letters indicate statistically significant difference between each female comparison groups ($P < 0.01$). The same as Fig. 3.

(图3)显示,油松毛雌、雄虫主要集中在夜间22:00—2:30上灯,该时间段诱到的油松毛虫雌、雄虫数量分别占其当夜诱虫总量的78.4%和74.7%。雌、雄虫上灯数量最高峰均出现在凌晨1:00前后,其中雄虫在23:30—1:00上灯数量与22:00—23:00和1:00—2:30上灯数量差异不显著;而雌虫在23:30—1:00上灯数量与22:00—23:00和1:00—2:30上灯数量差异极显著。2:30后油松毛虫上灯数量明显减少。

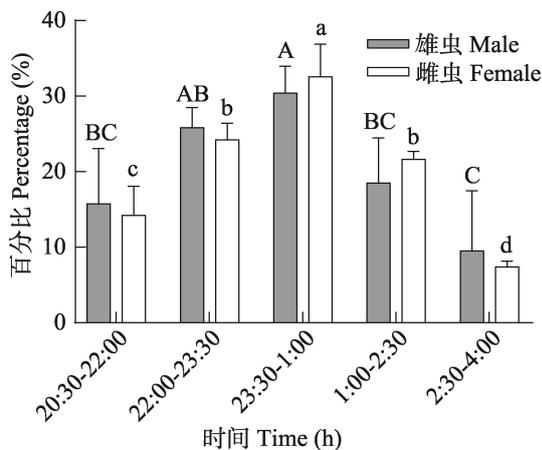


图3 油松毛虫夜间上灯节律
Fig. 3 The light-trapping rhythm of *Dendrolimus tabulaeformis* during night

2.3 趋光选择行为试验

室内油松毛虫趋光选择行为试验结果(图4)表明,油松毛虫在0.5、1、1.5 h 3个时间段内对4种波长的LED灯趋向性基本一致,均明显趋向设有紫外光的365 nm和380 nm灯的诱集箱,而对蓝光的420 nm和470 nm灯趋性较低。其中在0.5 h内,365 nm和380 nm灯与420 nm和470 nm灯诱集数量差异显著 ($P < 0.05$); 1 h和1.5 h内,365、380、420 nm灯与470 nm灯诱集数量差异显著。这与野外灯诱结果基本一致,在1 h和1.5 h内,365 nm和380 nm灯与420 nm灯引诱油松毛虫数量差异不显著,有可能是420 nm灯与紫外光光谱范围较为接近,而且自制的供试虫箱体积(60 cm × 60 cm × 60 cm)偏小,油松毛虫活动区域受限导致。

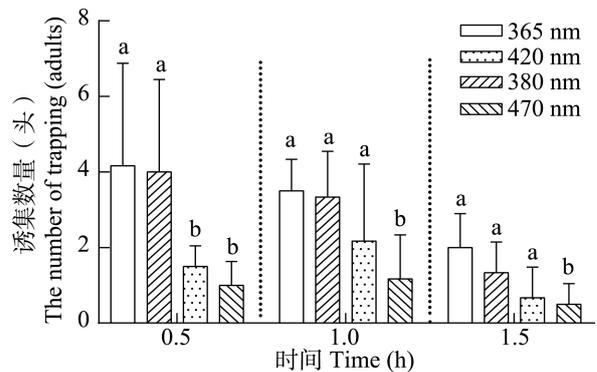


图4 不同波长LED灯在同一时间段对油松毛虫诱集数量

Fig. 4 The trapping number of *Dendrolimus tabulaeformis* at different wavelengths of LED light lamps during the same time period

柱上标有不同小写字母表示各比较组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Histograms with lowercase letters indicate statistically significant difference between each comparison groups ($P < 0.05$).

2.4 野外灯诱组和室内对照组雌蛾产卵量比较

在野外灯诱时观察发现,灯诱到的大部分雌虫能产卵并且卵可孵化,这表明大多数雌虫在被灯光诱捕到时已经完成交配。通过比较室内对照组和野外灯诱组油松毛虫雌虫产卵量(图5)得知,室内羽化的油松毛虫雌虫交配后的产卵量(550 ± 89)粒/头与野外灯诱到的油松毛虫产卵

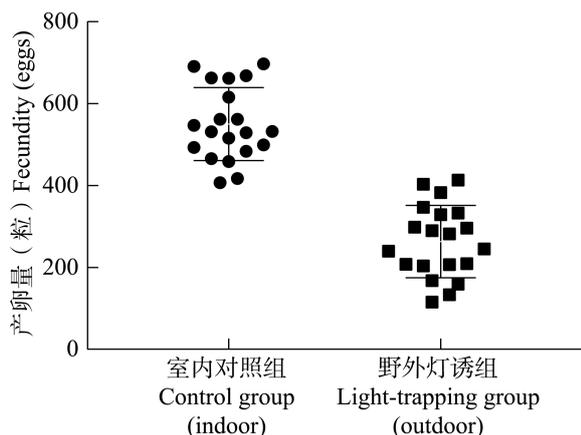


图 5 野外灯诱组和室内对照组油松毛虫雌虫产卵量
Fig. 5 The fecundity of *Dendrolimus tabulaeformis* between light-trapping outdoor and control indoor

量 (263 ± 88) 粒/头差异极显著 ($P < 0.0001$), 前者约为后者的 2 倍。尽管野外灯光诱捕到的雌虫在林间已产卵约 50%, 但尚有一半卵未被产出, 这表明利用灯诱可减少油松毛虫雌虫在林间产卵, 从而达到防治效果。

3 讨论

油松毛虫是我国较为重要的森林害虫之一, 广泛分布于我国的油松林区, 北起内蒙古宁城 ($N 41.5^\circ$), 南至海南岛屯昌 ($N 19.7^\circ$), 且油松毛虫幼虫聚集危害, 暴发时短时间内即可吃光针叶甚至导致林木死亡, 在林业生产上危害较大 (刘友樵和武春生, 2006)。

本研究评价灯光诱捕油松毛虫的诱捕效果, 旨在探讨利用灯诱在监测、防治油松毛虫的应用意义。在监测方面, 需要选取对油松毛虫引诱效果最佳的光源。本研究表明诱捕效果最好的光源是 365 nm LED 灯。在防治方面, 由于油松毛虫以幼虫危害, 诱到成虫数量多少对当代害虫危害并无直接控制作用, 但是诱到的雌虫是否交配产卵, 可影响下一代虫口数量。本研究表明在成虫期 (羽化高峰期) 灯诱, 诱捕到的雌虫在林间尚有一半卵未被产出。在诱捕时可减少雌虫在林间的产卵, 从而可以降低下一代油松毛虫虫口数量。

温度是影响昆虫活动的限制因素, 可能会影响油松毛虫夜间上灯节律, 这和本研究中凌晨 2:30 以后气温下降, 油松毛虫活动减少, 诱虫

数量减少相一致。此外湿度、光照、降雨、月相等环境因素均可能影响昆虫的上灯节律 (Nowinszky and Puskás, 2010; Nowinszky *et al.*, 2012; Steinbauer *et al.*, 2012)。

张行国等 (2017) 在研究黏虫 *Mythimna separate* Walker、小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg 和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 的上灯行为节律时发现这 3 种害虫在夜间有两个上灯高峰 2:00—3:00 和 3:00—4:00, 呈“双峰型”上灯节律。明确油松毛虫上灯行为节律, 可以确定在具体生产中的开灯时长, 降低成本, 节能环保。本研究中油松毛虫上灯节律只有一个高峰期 (23:30—1:00 前后), 因此在生产中, 建议在夜间高峰期前进行灯诱。

本研究通过野外灯诱和室内趋光选择试验表明紫外光波段的 LED 灯对油松毛虫诱捕效果良好, 雌、雄虫对不同波长的 LED 灯趋性无显著差异。在夜间 2:30 之前利用紫外光波段的 LED 灯对油松毛虫有良好的诱捕效果。通过比较野外灯诱组和室内对照组油松毛虫雌虫产卵量, 发现诱捕到的雌虫在林间仍有一半卵未被产出, 因此灯诱能够减少雌虫在林间产卵, 从而降低林间下一代虫口数量, 为合理使用 LED 灯监测和防治油松毛虫提供参考和科学依据。

参考文献 (References)

- Chen HS, Yu ZX, Miao J, Wu YQ, Duan Y, Jiang YL, Du ZB, 2011. Changes of the number and sex ratio of the black light-induced. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1770-1774. [陈华爽, 郁振兴, 苗进, 武予清, 段云, 蒋月丽, 都振宝, 2011. 黑光灯诱集麦红吸浆虫成虫的数量及性比的变化. 应用昆虫学报, 48(6): 1770-1774.]
- Chen HZ, Lin SR, Wu YS, 2002. Application of jiaoduo frequency vibration insecticidal lamp in forest pest control. *Forest Pest and Disease*, 21(s1): 51-54. [陈合志, 林淑荣, 吴艳山, 2002. 佳多频振式杀虫灯在林业害虫防治中的应用. 中国森林病虫, 21(s1): 51-54.]
- 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.]
- Ding YQ, Gao WZ, Li DM, 1974. Study on the phototactic behavior of nocturnal moths: The response of *Hiliothis armigera* (Hübner) and *Heliothis asulta* Guenee to different monochromatic light.

- Chinese Journal of Applied Entomology*, 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. *应用昆虫学报*, 17(3): 307–317.]
- Fang MG, 2002. Application of Jiaduo frequency trembler grid lamps in the forecast and control of *Monochamus alternatus*. *Forest Pest and Disease*, 21(s1): 25–26. [方明刚, 2002. 佳多频振式杀虫灯在松墨天牛测报与防治中的应用. *中国森林病虫*, 21(s1): 25–26.]
- Feng N, Fan F, Tao P, 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, 陶晔, 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.]
- Huang LY, Jian GL, Guo R, Li MZ, Liu HX, Meng XB, 2008. Black light trapping effect and practice of *Dendrolimus punctatus* adults. *Jiangxi Plant Protection*, 31(3): 108–109. [黄烈燕, 简国林, 郭荣, 李明泽, 刘华新, 蒙相斌, 2008. 黑光灯诱杀马尾松毛虫成虫实践与成效. *江西植保*, 31(3): 108–109.]
- Jiang FQ, Yu ZY, Zeng DH, 2007. An ecological perspective of afforesting Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) plantations in western Liaoning province. *Chinese Journal of Ecology*, 26(12): 2069–2074. [姜凤岐, 于占源, 曾德慧, 2007. 辽西地区油松造林的生态学思考. *生态学杂志*, 26(12): 2069–2074.]
- Jiang J, Yang ZQ, Tang YL, Tang H, Sun GJ, Gao ZQ, 2010. Trapping technology about adults of *Massicus raddei* by a special black light. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 369–374. [姜静, 杨忠岐, 唐艳龙, 唐桦, 孙光翼, 高志强, 2010. 专用黑光灯对栗山天牛的诱杀技术研究. *环境昆虫学报*, 32(3): 369–374.]
- Li JG, Zhou ZB, Liu RS, Wang WC, Tao WQ, Qu HX, 2013. Fluorescent tube at different wavelength applied to study *Hyphautria cunea* monitor technology. *Plant Quarantine*, 27(3): 57–59. [李建光, 周在豹, 刘若思, 汪万春, 陶万强, 屈海学, 2013. 不同波长灯管应用于监测美国白蛾的研究. *植物检疫*, 27(3): 57–59.]
- Liu LC, Chen XB, Chen JJ, Chen HX, Gu GH, Ma YQ, Gao JC, Wang BM, Wang GS, Deng YL, Ji FY, 1999. Effects of double-wave trapping light on the forecast and control of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 36(1): 7–10. [刘立春, 陈小波, 陈建军, 陈惠祥, 顾国华, 马元清, 高均长, 王宝明, 王根山, 邓永林, 季凤玉, 1999. 双波 4 号诱虫灯在棉铃虫测报和防治上的应用效果. *应用昆虫学报*, 36(1): 7–10.]
- Liu YQ, Wu CS, 2006. *Fauna Sinica Insect. vol. 47. Lepidoptera: Lasiocampidae*. Beijing: Science Press. 47–51. [刘友樵, 武春生, 2006. 中国动物志. 昆虫纲. 第 47 卷鳞翅目: 枯叶蛾科. 北京: 科学出版社. 47–51.]
- Liu YW, Xiao XC, 2002. Effect comparison between Jiaduo frequency trembler grid lamps and black light lamps in the control of *Dendrolimus punctatus*. *Forest Pest and Disease*, 21(s1): 23–24. [刘友文, 谢小春. 2002. 佳多频振式杀虫灯与黑光灯诱杀马尾松毛虫效果比较. *中国森林病虫*, 21(s1): 23–24.]
- Lu J, Teng ZW, Tan ZJ, Chen JJ, 2011. Computation and simulation of intensity distribution of black light lamp. *Transactions of the CSAE*, 27(8): 247–251. [卢军, 滕子文, 谭佐军, 陈建军, 2011. 黑光灯光场分布的计算与模拟. *农业工程学报*, 27(8): 247–251.]
- Niu JS, Wen SY, Wang HB, 2011. Study on rainfall and soil moisture changes in western Liaoning province. *Modern Agricultural Science and Technology*, (1): 316–317. [牛军生, 温树影, 王洪斌, 2011. 辽宁西部地区降雨规律与土壤水分变化研究. *现代农业科技*, (1): 316–317.]
- Nowinszky L, Puskás J, 2010. Possible reasons for reduced light trap catches at a full moon: shorter collecting distance or reduced flight activity? *Advances in Bioresearch*, 1(1): 205–220.
- Nowinszky L, Kiss O, Szentkirályi F, Puskás J, Ladányi M, 2012. Influence of illumination and polarized moonlight on light-trap catch of caddisflies (*Trichoptera*). *Advances in Bioresearch*, 2(3): 79–90.
- Steinbauer MJ, Haslem A, Edwards ED, 2012. Using meteorological and lunar information to explain catch variability of Orthoptera and Lepidoptera from 250 w farrow light traps. *Insect Conservation & Diversity*, 5(5): 367–380.
- Wang XM, Hua L, Wei JL, Cheng YQ, Niu YH, 2008. On black light lamp control efficacy to field orchard pest. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 26(6): 253–256. [王新苗, 花蕾, 魏吉利, 程彦卿, 牛永浩, 2008. 黑光灯在防治生态果园害虫中的应用. *干旱地区农业研究*, 26(6): 253–256.]
- Zhang GX, Zheng G, Li XJ, Bo J, 2004. Discussion of using frequency tremble grid lamps from angle of protecting biodiversity. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 41(6): 532–535. [张广学, 郑国, 李学军, 卜军, 2004. 从保护生物多样性角度谈频振式杀虫灯的应用. *应用昆虫学报*, 41(6): 532–535.]
- Zhang XG, Jia YF, Wen Y, Wan GJ, Chen FJ, 2017. Behavioral rhythms of three Lepidopteran pests; *Mythimna separata*, *Agrotis ypsilon* and *Helicoverpa armigera*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(2): 190–197. [张行国, 贾艺凡, 温洋, 张逸飞, 万贵钧, 陈法军, 2017. 粘虫、小地老虎和棉铃虫三种鳞翅目害虫上灯行为节律研究. *应用昆虫学报*, 54(2): 190–197.]
- Zhao JW, He YX, Weng QY, 2008. Application and research of insect light traps in China. *Entomological Journal of East China*, 17(1): 76–80. [赵建伟, 何玉仙, 翁启勇, 2008. 诱虫灯在中国的应用研究概况. *华东昆虫学报*, 17(1): 76–80.]
- Zhu YF, Ma R, Zhang WX, Wen JB, 2010. A preliminary discussion on taxis of *Cydia pomonella* (Linnaeus) adults to the different wavelength of black light lamp. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 33(6): 506–508. [朱银飞, 马荣, 张卫星, 温俊宝, 2010. 苹果蠹蛾成虫对不同波长黑光灯的趋性研究初探. *新疆农业大学学报*, 33(6): 506–508.]