

太阳能光源和引诱剂对松墨天牛的组合诱捕效果*

顾宇彤^{1**} 王德辉² 徐颂明³ 吴佳昊¹ 杜永斌¹ 金京¹ 樊建庭^{1***}

(1. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 生物农药高效制备技术国家地方联合工程实验室, 杭州 311300;

2. 建昌县自然资源事务服务中心, 葫芦岛 125300; 3. 桐庐县林业水利局, 桐庐 311500)

摘要 【目的】为明确不同太阳能光源波长对松墨天牛 *Monochamus alternatus* 诱捕效果的影响, 并评价太阳能光源与引诱剂联合应用对松墨天牛引诱剂的促进作用, 以应用于松墨天牛的绿色防控。【方法】选择波长为 365-370、370-375、380-385、390-395、395-400、400-405、405-420、515-520、580-590 和 600-610 nm 的 10 种太阳能 LED 光源, 测定不同光源对松墨天牛的林间诱捕效果, 并筛选出诱捕效果最好的光源波长, 选择此波长与引诱剂组合对松墨天牛进行诱捕试验。【结果】10 种不同波长太阳能光源对松墨天牛均表现出一定的引诱作用, 其中波长为 380-385 nm 的太阳能光源对松墨天牛诱捕效果最好, 诱捕量为 (12.00±6.53) 头, 其次是 390-395 nm, 显著优于波长为 365-370、370-375、390-395、395-400、400-405、405-420、515-520、580-590 和 600-610 nm; 与单独使用引诱剂相比, 太阳能光源与引诱剂组合对松墨天牛诱捕效果具有显著的促进作用 ($P<0.05$)。太阳能光源与引诱剂诱捕量均值为 (21.83±10.65) 头, 比单独引诱剂诱捕效果提高 35%, 为单独太阳能光源诱捕效果的 5.9 倍; 引诱剂诱、太阳能光源和太阳能光源与引诱剂联合应用捕到的松墨天牛雌雄性比分别为 2.4 : 1、1.7 : 1 和 3.3 : 1, 均具有显著的偏雌性。【结论】太阳能光源与引诱剂联合应用具有比单独引诱剂诱捕更好的诱捕效果。这一结论对降低松墨天牛种群密度和减少松材线虫病传播几率具有重要意义。

关键词 松墨天牛; 引诱剂; 太阳能诱捕; 组合应用; 偏雌性比

Using a combination of a solar light source and an attractant to trap *Monochamus alternatus*

GU Yu-Tong^{1**} WANG De-Hui² XU Song-Ming³ WU Jia-Hao¹
DU Yong-Bin¹ JIN Jing¹ FAN Jian-Ting^{1***}

(1. National and Local Joint Engineering Laboratory for Biopesticide Efficient Preparation Technology, School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. Jianchang Natural Resources Service Center, Huludao 125300, China; 3. Tonglu County Forestry and Water Conservancy Bureau, Tonglu 311500, China)

Abstract 【Objectives】To determine the relative attractiveness of different solar light source wavelengths to *Monochamus alternatus*, and to evaluate the benefits of using a combination of a solar light source and an attractant. 【Methods】The attractiveness of 10 different light wavelengths (365-370, 370-375, 380-385, 390-395, 395-400, 400-405, 405-420, 515-520, 580-590 and 600-610 nm) to *M. alternatus*, and that of a combination of a solar light source and an attractant, were quantified and compared. 【Results】A wavelength of 380-385 nm was significantly better than all other wavelengths tested for trapping *M. alternatus*. The combination of a solar light source and F₂ attractant captured significantly more *M. alternatus* ($P<0.05$), on average, (21.83±10.65) individuals per trap; 35% more than the number captured using only attractant and 5.9 times more than when using only a solar light source. In addition, the female-to-male ratio captured by the attractant was 2.4 : 1, whereas the

*资助项目 Supported projects: 浙江省基础公益研究计划 (LGN21C160005); 浙江省重点研发项目 (2019C02023)

**第一作者 First author, E-mail: 715166463@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: fanjt123@sina.com

收稿日期 Received: 2021-01-15; 接受日期 Accepted: 2021-07-22

female-to-male ratio trapped using a solar light source alone was 1.7 : 1. **[Conclusion]** Using a combination of a solar light source and an attractant trapped significantly more insects than using an attractant alone. This finding can potentially improve the control of *M. alternatus*, thereby reducing the transmission of pine wood nematode disease.

Key words *Monochamus alternatus*; attractant; solar trap; combination application; female biased sex ratio

松墨天牛 *Monochamus alternatus* 是我国重要的林业检疫害虫,也是携带和传播松材线虫病的主要媒介昆虫(周冰颖, 2018)。松墨天牛幼虫期危害松树的枝干韧皮部及木质部,羽化后,成虫身体携带大量线虫,在补充营养和产卵过程中,体内携带的松材线虫通过伤口感染健康松树(李霜雯等, 2020)。松墨天牛与松材线虫的协同危害对我国森林资源造成了巨大危害(史先慧等, 2017)。

自 20 世纪 80 年代以来,国内外对松墨天牛防治技术开展了大量研究。松墨天牛防治手段主要包括生物防治、化学防治和物理防治(肖稻青等, 2014)。生物防治多为以虫治虫、以菌治虫,但防治成本高,治虫效率低(李美娜, 2017)。化学防治主要包括噻虫啉、绿色威雷等杀虫剂的应用,对害虫有胃毒、触杀作用,防治快速高效,但过度使用或不当使用会对环境造成一定破坏(周洋等, 2016)。松墨天牛有明显的趋光性,可以采用灯光诱杀的方法进行防治(杨现明等, 2020)。朱诚棋等(2017)研究表明,汞灯和黑光灯对松墨天牛都有较好的诱捕效果,其中汞灯诱捕效果最好,但成本太高,黑光灯成本低,操作简单。我国灯光诱杀的装备发展经历了白炽灯、黑光灯、双波灯、频振式杀虫灯等阶段。太阳能光源是在 LED 灯的基础上加上太阳能发电系统,LED 灯亮度较高,节能环保,是目前最佳的诱虫光源(涂小云, 2014),太阳能发电系统可持续发电,适合在供电困难的地区使用。目前,对天牛诱集光源(主要是黑光灯和高压汞灯)的研究较多,市场上广泛使用的黑光灯波长大约在 360 nm(梁细弟等, 2000),而太阳能光源波长对天牛诱捕效率的影响研究较少。

引诱剂诱捕法是近年来国内外研究运用较多且较为安全、有效的一种防治方法(赵锦年等, 2000)。樊建庭等(2013)研究发现聚集信息素

对植物源信息素引诱樟子松墨天牛 *M. galloprovincialis* 和松墨天牛均有增效作用,且诱捕效果比单独使用植物源引诱剂提高 4-5 倍。以聚集信息素和植物源信息素为主要有效成分的松墨天牛引诱剂具有诱捕效率高、持效性更长等优点,成为监测和诱杀松墨天牛防控松材线虫病的主要措施。市场上有 APF-I 型(福建农林大学研发)和 F2 型(浙江农林大学研发)等松墨天牛引诱剂在推广应用。梁细弟等(2000)研究发现,引诱剂诱杀效果明显优于 450 W 高压汞灯。

研究表明,不同波长光源对昆虫诱捕效果存在差异,紫外光区杀虫灯对夜蛾、毒蛾和灯蛾的诱集效果明显高于可见光区杀虫灯(郭虹等, 2012)。全光谱(380-680 nm)的探照灯对暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* Motschulsky 的诱捕作用显著高于紫外光(主波长 365 nm)的测报灯,而对铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* Motschulsky 诱捕作用显著低于测报灯(陈琦等, 2020)。不同颜色光源对昆虫诱捕效果也存在差异光源,不同颜色光源对螺旋粉虱 *Aleurodicus disperses* Russell 的诱捕效果差异显著,浅桃红色光源效果最好(郑凌燕等, 2009);绿光灯和普通黑光灯 2 种光源均对棉盲蝽 *Cotton mirids* 成虫有诱捕效果,绿光灯效果优于黑光灯(张巧丽, 2019)。另有研究发现,昆虫诱捕器等配备 LED 光源后,昆虫对诱捕器的趋性增强(Mann et al., 2009;涂小云等, 2014),Duehl 等(2011)研究发现太阳能光源与化学引诱剂结合使用能诱捕到更多的拟谷盗属甲虫 *Tribolium castaneum*。

目前,将太阳能灯光诱杀技术和引诱剂诱杀技术联合应用于松墨天牛的报道相对较少,本研究通过测试不同波长的光源对松墨天牛的诱捕作用,并评价太阳能光源对松墨天牛引诱剂诱捕效果,为绿色防治松墨天牛,减少松材线虫病的传播几率提供科学依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

太阳能光源诱捕器和松墨天牛引诱剂由杭州费洛蒙生物科技有限公司提供。太阳能光源诱捕器构件主要包括遮雨盖、太阳能光源系统、LED 灯、十字交叉板、漏斗和集虫瓶等, 其中太阳能光源系统包括太阳能板(单晶硅, 16 W)、锂电池(3.7 V, 4 400 mA)、LED 灯(5 W)和光控控制器, LED 灯的波长分别为 365-370、370-375、380-385、390-395、395-400、400-405、405-420、515-520、580-590 和 600-610 nm。

1.2 试验地概述

试验地设在浙江省杭州市富阳区洞桥镇(116°E, 39°N)和临安区太湖源镇(119°E, 30°N), 试验林地林分相似, 都为松阔混交林, 主要树种为马尾松 *Pinus massoniana*、老鼠矢 *Symplocos stellaris*、苦槠 *Castanopsis sclerophylla*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 和一些矮小杂灌木, 林下郁闭度较高, 马尾松密度为长势一般, 林中发现较多死亡株和濒危株, 且受到松墨天牛危害严重。

1.3 试验方法

1.3.1 太阳能光源诱捕器对松墨天牛的诱捕 选择富阳区洞桥镇为试验地, 将太阳能光源诱捕器挂在松树侧枝上, 诱捕器的收集杯底距离地面 1.5 m, 每个诱捕器之间的距离为 30-40 m。诱捕器光源设置为波长 365-370、405-420、515-520、580-590 和 600-610 nm, 每种波长设置 5 个重复。太阳能光源诱捕器具有光感控制器, 设置傍晚 19:30 自动开灯, 早晨 5:30 自动关灯, 每 3 d 调查 1 次, 并记录诱捕到的松墨天牛成虫数量和性别。

选择临安区太湖源镇为试验地, 对光源为 365-370 nm 附近的波长进行诱捕效果筛选。诱捕器光源波长设置为 365-370、370-375、380-385、390-395、395-400 和 400-405 nm, 每种波长设置 5 个重复。不同光源对松墨天牛的调查与统计方

法同上。

1.3.2 太阳能光源与引诱剂组合对松墨天牛的诱捕 根据 1.3.1 实验结果选择诱捕效果最好的光源波长作为 LED 灯光源, 在临安区太湖源镇试验地, 设置引诱剂、LED 灯光源和引诱剂 LED 灯光源组合的 3 种处理诱捕器, 每个处理设置 4 个诱捕器作为重复。其他方法同 1.3.1。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS19.0 软件进行分析, 不同处理对松墨天牛的诱捕数量的差异显著性采用 ANOVA 进行方差分析, 并用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同波长太阳能光源对松墨天牛诱捕效果的比较

在富阳, 不同波长太阳能诱捕器对松墨天牛成虫的诱捕量如图 1 所示。试验结果表明, 太阳能光源波长为 365-370、405-420、515-520、580-590 和 600-610 nm 的诱捕器对松墨天牛的诱捕量存在显著差异 ($F=38.630$, $df=4$, $P=0.000$)。

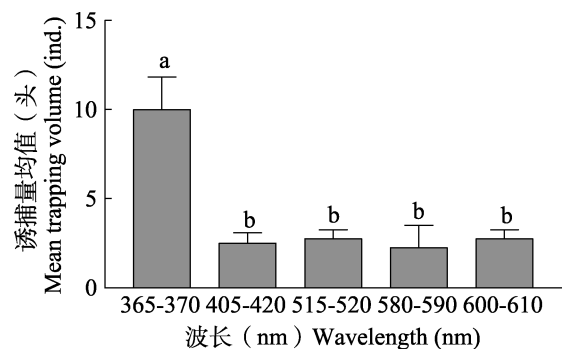


图 1 不同波长太阳能光源对松墨天牛诱捕效果(富阳)

Fig. 1 Experiments on the effects of solar trapping with different wavelengths on *Monochamus alternatus* (Fuyang)

柱上标有不同小写字母表示松墨天牛诱捕量在不同波长之间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference at the 0.05 level among different wavelengths of the trapping amount of *Monochamus alternatus*. The same as below.

波长为 365-370 nm 的太阳能光源诱捕成虫数量最多, 松墨天牛诱捕量为 (10.00±1.83) 头, 为其它波长的 3-4 倍, 其余波长的诱捕量均值之间差异不显著 (图 1)。

在临安, 不同波长太阳能诱捕器对松墨天牛成虫的诱捕量如图 2 所示, 在 365-370 nm 波长附近范围内继续进行筛选, 太阳能光源波长为 365-370、370-375、380-385、390-395、395-400

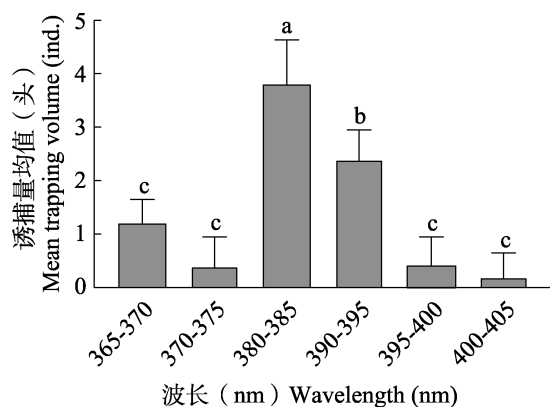


图 2 不同波长太阳能光源对松墨天牛诱捕效果 (临安)
Fig. 2 Experiments on the effects of solar trapping with different wavelengths on *Monochamus alternatus* (Linan)

和 400-405 nm 的诱捕器对松墨天牛都表现出一定的诱捕效果, 且不同波长光源之间对松墨天牛的诱捕量存在显著差异 ($F=5.486$, $df=5$, $P=0.003$), 其中太阳能光源的波长为 380-385 nm 对松墨天牛的诱捕效果最好 (图 2)。

2.2 太阳能光源与引诱剂组合对松墨天牛的诱捕

与单独太阳能光源和单独引诱剂对松墨天牛的诱捕效果比, 太阳能光源波长为 380-385 nm 与引诱剂组合显著提高对松墨天牛的诱捕效果 (表 1)。其中对松墨天牛雌雄总体 ($F=85.4$, $df=2$, $P=0.00$)、雄虫 ($F=31.2$, $df=2$, $P=0.00$) 和雌虫诱捕量差异显著 ($F=9.0$, $df=2$, $P=0.00$)。由表 1 可知, 组合诱捕方式所诱捕成虫数量最多, 诱捕效果最佳, 其中雌雄总体诱虫量均值为 (21.83±3.87) 头, 单独太阳能光源雌雄诱虫量均值为 (3.67±1.03) 头, 组合诱捕效果为太阳能光源的 5.9 倍, 单独引诱剂雌雄诱虫量均值为 (16.67±4.89) 头, 诱捕效果提高 35%。另外, 引诱剂诱捕到的松墨天牛雌雄性比为 2.4 : 1, 具有显著的偏雌性, 而太阳能光源诱捕到的松墨天牛雌雄性比为 1.7 : 1, 也同样具有显著的偏雌性。

表 1 太阳能光源与引诱剂组合诱捕试验
Table 1 Combined trapping test of attractant and solar trap

处理 Approach	诱捕量均值 (头) Mean trapping volume (ind.)			雌雄比 Sex ratio
	♀+♂	♀	♂	
引诱剂 Attractant	16.17±1.47a	11.50±2.43a	4.670±2.16a	2.4 : 1
太阳能光源 Solar light source	3.67±1.03b	2.33±0.81b	1.33±0.52b	1.7 : 1
太阳能光源+引诱剂 Solar light source + attractant	21.83±3.87a	16.67±4.89a	5.17±1.94a	3.3 : 1

数据为平均值±标准差, 同列数据后标有不同小写字母表示不同处理之间松墨天牛诱捕量差异显著 ($P<0.05$)。
Data are mean ± SD, and followed by different lowercase letters indicate significant difference between different treatments of *M. alternatus* ($P<0.05$).

3 结论与讨论

光源是昆虫产生趋性的刺激物, 不同光源的光波长是影响昆虫趋光行为的最主要因素 (涂小云等, 2014)。有研究采用 303-580 nm 中 18 个单波长太阳能灯在林间开展对栗山天牛 *Massicus raddei* 的诱杀研究, 330 nm 太阳灯诱杀栗山天牛

总量最多, 是林间诱杀此虫的最优波长 (王建军等, 2019)。青杨脊虎天牛 *Xylotrechus rusticus* Linnaeus 对低波长区间 (320-368 nm) 具有趋光性, 对 368 nm 较 360 nm 更为敏感 (丁俊男等, 2017)。李建光等 (2013) 研究定制和筛选了 9 种不同波长的灯管对美国白蛾 *Hyphantria cunea* 进行监测, 不同波长对美国白蛾的诱捕效果有显

著差异, 美国白蛾较为敏感的波长有 335、345、351、362、368 nm 等, 其中对 351 nm 最为敏感。在蓝色波段中, 450 nm 的诱虫色板对烟蓟马 *Thrips tabaci* 的诱集效果显著高于 430、470、480、490 nm 的诱虫色板 (米娜等, 2019)。本研究比较了不同波长太阳能光源对松墨天牛的诱捕效果, 试验结果与分析数据表明, 波长范围为 380-385 nm 的太阳能光源对松墨天牛诱捕效果最好, 其次是 390-395 nm, 显著优于 365-370、370-375、395-400、400-405、405-420、515-520、580-590 和 600-610 nm 等波长, 初步可推测松墨天牛的特征光谱极有可能是光波长 380-385 nm 种的某一波长。可见, 松墨天牛有其自身最为敏感的波长, 并且临近波长对松墨天牛的诱捕效果也存在显著差异。

太阳能光源和引诱剂联合应用比单独使用效果更好, 如引诱剂和太阳能测报灯对桑螟 *Maroyollia pyloalis* Walker 均具有诱杀效果, 两种方法联合诱杀桑螟的效果比单独使用其中任一方法的诱杀效果要好 (曹红妹等, 2017)。刘琼等 (2014) 对烟草夜蛾 *Helicoverpa assulta* 的研究也得到了类似的结果, 在诱虫灯上方加放性诱剂, 可以提高单灯诱虫效果。本研究通过比较太阳能光源和引诱剂组合与两者单独应用于松墨天牛诱捕的效果, 组合诱捕方式所诱捕成虫数量最多, 诱捕效果最佳, 其中雌雄总体诱虫量均值为 (21.83±3.87) 头, 比单独引诱剂诱捕效果提高 35%, 为单独太阳能光源诱捕效果的 5.9 倍, 组合应用效果优于单独应用效果, 由此看灯光诱杀和性诱剂诱捕技术存在互补作用, 两者互不干扰, 组合使用能发挥双重诱捕效果。

本研究结果显示, 引诱剂诱捕的松墨天牛雌雄比为 1.7 : 1, 具有显著的偏雌性。研究表明, 由植物挥发物和聚集性信息素组成的引诱剂诱捕到的松墨天牛具有显著的偏雄性 (Teale *et al.*, 2011; 樊建庭等, 2013), 而自然界中松墨天牛雌性比最大 0.64, 最低 0.41, 平均 0.51, 性比因不同年份和地区有变化 (柴希民和蒋平, 2003)。Fan 等 (2007) 曾报道植物性挥发物诱捕到的松墨天牛存在显著的偏雄性, 池田俊弥 (1988) 研

究发现使用植物性挥发物诱捕时雌性比为 0.37, 这一结果可能与雌雄的行为习性或者引诱剂的不同有关。植物性挥发物能吸引松墨天牛雄虫, 而雄虫通过挥发性信息素吸引雌虫 (Teale *et al.*, 2011)。本研究中引诱剂诱捕表现出的偏雌性可能与此有关。雌雄成虫对不同波长的趋性也存在一定差异, 太阳能光源诱捕到的松墨天牛雌雄比为 1.7 : 1, 同样表现出显著的偏雌性。廖成家等 (2018) 研究发现太阳能灯诱灭虫器诱集到的栗山天牛雌虫较多, 诱捕期间雌性比率均值均大于 0.50; 郑英荣等 (2014) 使用单波长太阳能灯对杨毒蛾 *Stilpnotia candida* 开展诱杀研究, 诱虫灯诱杀杨毒蛾总量的雌雄比 2.1 : 1, 对雌蛾的诱杀效果更好, 推测可能与昆虫雌雄的视觉系统有关。太阳能光源和引诱剂组合和单独诱捕均表现出了显著的偏雌性, 能对雌虫进行大量诱捕, 有助于减少雌虫的产卵量, 降低松墨天牛种群密度。

近年来, 综合防治的理念和方法已经逐步应用到害虫的防控中, 将多种防治技术集成运用显得尤为重要。本文研究结果证明, 太阳能光源与引诱剂联合应用比单独使用引诱剂诱捕的效果好, 尤其是对雌虫的诱捕。这一结果对降低松墨天牛种群密度、减少松材线虫病传播几率具有重要意义。针对松墨天牛的防治, 建议在今后仍需开展以下研究: (1) 继续优化太阳能光源波长和功率, 提高对松墨天牛的诱捕效果; (2) 研发松墨天牛智能监测系统, 实现诱捕昆虫图像自动识别和数据自动传输功能, 提高松墨天牛的绿色防控技术和监测技术水平。

参考文献 (References)

- Cao HM, Zhu YH, Hu GP, Du XM, 2017. Study on the effect of *Diaphania pyloalis* Walker on attractant and solar forecast lamp. *Newsletter of Sericulture and Tea*, 42(6): 16–17. [曹红妹, 朱运华, 胡桂萍, 杜贤明, 2017. 桑螟对引诱剂和太阳能测报灯趋向效果研究. 蚕桑茶叶通讯, 42(6): 16–17.]
- Chai XM, Jiang P, 2003. Occurrence and Control of Pine Wilt Disease. Beijing: China Agriculture Press. 219. [柴希民, 蒋平, 2003. 松材线虫病的发生和防治. 北京: 中国农业出版社. 219.]
- Chen Q, Zhang YD, Fan ZY, Liu D, Shen HL, Hou YH, Chen L, Duan Y, Huang JR, Li SM, 2020. Trapped effects of two lights

- on the Scarab (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Environmental Entomology*, 42(1): 193–198. [陈琦, 张运栋, 范志业, 刘迪, 沈海龙, 侯艳红, 陈莉, 段云, 黄建荣, 李世民, 2020. 两种光源对金龟子的诱捕效果. 环境昆虫学报, 42(1): 193–198.]
- Chitian JM, 1988. Attracting substances of *Monochamus alternatus* and its utilization. *Foreign Forestry*, 15(1): 33–35. [池田俊弥, 1988. 松褐天牛的引诱物质及其利用. 国外林业, 15(1): 33–35.]
- Ding JN, Lai YC, Yu J, Chi DF, 2017. Control effect of black light lamp and non-woven fabric bands with *Beauveria bassiana* on *Xylotrechus rusticus* L. *Journal of Hunan Agricultural University (Social Sciences)*, 43(5): 539–543. [丁俊男, 来永才, 宇佳, 迟德富, 2017. 黑光灯和白僵菌无纺布对青杨脊虎天牛的防治效果. 湖南农业大学学报(自然科学版), 43(5): 539–543.]
- Duehl AJ, Cohnstaedt LW, Arbogast RT, Teal PEA, 2011. Evaluating light attraction to increase trap efficiency for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*, 104(4): 1430–1435.
- Fan JT, Kang L, Sun JH, 2007. Role of host volatiles in mate location by the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *Environ. Entomol.*, 36(1): 58–63.
- Fan JT, Meng JG, Baode W, Zhao LL, Sun JH, 2013. Field trapping the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) using an aggregation pheromone and host volatiles. *Chinese Bulletin of Entomology*, 50(5): 1274–1279. [樊建庭, 孟俊国, Baode Wang, 赵莉茜, 孙江华, 2013. 聚集性信息素和植物源信息素对松墨天牛的联合诱捕作用. 应用昆虫学报, 50(5): 1274–1279.]
- Guo H, Han XH, Xu ZC, 2012. Effect comparison of different wavelengths insecticidal lamps in Lepidopteran pests trapping. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 40(2): 146–149. [郭虹, 韩献华, 许志春, 2012. 不同波长杀虫灯对鳞翅目害虫的诱杀效果. 山西农业科学, 40(2): 146–149.]
- Liao CJ, Tang H, Wang XY, Gao C, Lü J, 2018. The trapping-and-killing effects of solar lamp on *Massicus raddei* adults in forests. *Liaoning Forestry Science Technology*, 45(4): 15–18. [廖成家, 唐桦, 王小艺, 高纯, 吕军, 2018. 太阳能灯诱灭虫器对栗山天牛的林间诱杀效果. 辽宁林业科技, 45(4): 15–18.]
- Li JG, Zhou ZB, Liu RS, Wang WC, Tao WQ, Qu HX, 2013. Fluorescent tube at different wavelength applied to study *Hyphautria cunea* Drury 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.]
- Li MN, Ye QR, Liu Y, 2017. Analysis on the control measures of pine wood nematode disease. *Agricultural Development and Equipments*, 23(6): 180. [李美娜, 叶巧茹, 刘颖, 2017. 浅析松材线虫病的防治措施. 农业开发与装备, 23(6): 180.]
- Li SW, Lv XL, Tian YM, Zhang B, 2020. Biological characteristics and life history of *Monochamus alternatus* in Dalian area. *Protection Forest Science and Technology*, 38(1): 84–85. [李霜雯, 吕晓亮, 田宇明, 张波, 2020. 大连地区松墨天牛生物学特性及生活史探析. 防护林科技, 38(1): 84–85.]
- Liang XD, Zhu JG, Zhou GX, Luo JP, Chen GX, 2000. Comparison and evaluation of attracting methods to *Monochamus alternatus*. *Forest Research*, 13(4): 366–369. [梁细弟, 朱建国, 周关校, 骆建平, 陈贵新, 2000. 几种诱杀松墨天牛方法的效果比较及评价. 林业科学研究, 13(4): 366–369.]
- Liu Q, Wen LZ, Xu L, 2014. Study on trapping efficiency of solar trap lamps and the sex pheromones to *Helicoverpa assulta* (Guenee) in tobacco fields. *Central Chinese Insect*, 8(10): 42–45. [刘琼, 文礼章, 徐练, 2014. 烟草夜蛾对太阳能诱虫灯和性诱剂趋向效果的比较研究. 华中昆虫研究, 8(10): 42–45.]
- Mann RS, Kaufman PE, Butler JF, 2009. *Lutzomyia* spp. (Diptera: Psychodidae) response to olfactory attractant-and light emitting diode-modified mosquito magnet X (MM-X) traps. *Journal of Medical Entomology*, 46(5): 1052–1061.
- Mi N, Zhang QK, Wang HH, Wu SY, Lei ZR, 2019. The phototaxis behavior of *Thrips tabaci* and trapping effect of different wavelength sticky cards in the field. *Science Agricultural Sinica*, 52(10): 1721–1732. [米娜, 张起恺, 王海涛, 吴圣勇, 雷仲仁, 2019. 烟蓟马趋光规律及不同波长色板田间诱捕效果. 中国农业科学, 52(10): 1721–1732.]
- Shi XH, Ma T, Lu XX, Shen J, Sun CH, Wen XJ, Deng PX, 2017. Research progress in adult behavior and chemical ecology of *Monochamus alternatus*. *Forest Research*, 30(5): 854–865. [史先慧, 马涛, 陆雪雷, 沈婧, 孙朝辉, 温秀军, 邓培雄, 2017. 松墨天牛成虫行为与化学生态学研究进展. 林业科学研究, 30(5): 854–865.]
- Teale S, Wickham J, Zhang F, Su J, Chen Y, Xiao W, Hanks LM, Millar JG, 2011. A male-produced aggregation pheromone of *M. alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a major vector of pine wood nematode. *Journal of Economic Entomology*, 104(5): 1592–1598.
- Tu XY, Chen YS, Zhi Y, 2014. Effects of light-emitting diode illumination on insect behavior and biological characters. *Plant Protection*, 52(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, 52(2): 11–15.]

- 11–15.]
- Wang JJ, Luan QS, Wang JX, Wang Q, Bai HM, Zhang WY, 2019. Trapping *Massicus raddei* experiments by single-wavelength solar lamps. *Forest Pest and Disease*, 38(4): 33–37. [王建军, 栾庆书, 王敬贤, 王琴, 白慧敏, 张伟一, 2019. 单波长太阳能灯诱杀栗山天牛. *中国森林病虫*, 38(4): 33–37.]
- Xiao DQ, Fan HY, Wu XL, Luo H, 2014. Study on control methods of *Monochamus alternatus* Hope. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 4(3): 7–8, 25. [肖稻青, 范海元, 吴小龙, 罗洪, 2014. 松墨天牛防治探讨. *农业灾害研究*, 4(3): 7–8, 25.]
- Yang XM, Lu YH, Liang GM, 2020. Insect phototaxis behavior and light trapping technology. *China Illuminating Engineering Journal*, 31(5): 22–31. [杨现明, 陆宴辉, 梁革梅, 2020. 昆虫趋光行为及灯光诱杀技术. *照明工程学报*, 31(5): 22–31.]
- Zhang QL, 2019. Analysis of the trapping effect of light sources of different wavelengths on cotton mirids. *China Agricultural Technology Extension*, 35(6): 63–65. [张巧丽, 2019. 不同波长的光源对棉盲蝽的诱集效果分析. *中国农技推广*, 35(6): 63–65.]
- Zhao JN, Jiang P, Wu CS, Sun SL, Jiang LY, Lin CC, 2000. Studies on *Monochamus alternatus* attractant and the attractability. *Forest Research*, 13(3): 262–267. [赵锦年, 蒋平, 吴沧松, 孙胜利, 姜礼元, 林长春, 2000. 松墨天牛引诱剂及引诱作用研究. *林业科学研究*, 13(3): 262–267.]
- Zheng LY, Fu YG, Han DY, Bi RJ, Jin Q, Wang YJ, 2009. Trapping of adult *Aleurodicus dispersus* Russell with color lamp. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 30(8): 1143–1146. [郑凌燕, 符悦冠, 韩冬银, 毕仁军, 金启安, 王玉洁, 2009. 彩色光源诱捕螺旋粉虱成虫的效果初探. *热带作物学报*, 30(8): 1143–1146.]
- Zheng YR, Wang JJ, Lv LL, Wang W, Wang Q, 2014. Trapping experiments of *Stilpnolia candida* by single-wavelength solar lamp. *Liaoning Forestry Science and Technology*, 41(3): 12–14, 38. [郑英荣, 王建军, 吕琳丽, 王微, 王琴, 姜旭, 2014. 单波长太阳能灯诱杀杨毒蛾研究. *辽宁林业科技*, 41(3): 12–14, 38.]
- Zhou BY, 2018. Biological control of *Bursaphelenchus xylophilus* and its vector insect *Monochamus alternatus*. *Journal of Green Science and Technology*, 56(22): 118–121. [周冰颖, 2018. 松材线虫病及其媒介昆虫松墨天牛的生物防治. *绿色科技*, 56(22): 118–121.]
- Zhou Y, Du B, Wang BJ, Du P, 2016. A summary of comprehensive prevention measures for *Monochamus alternatus* Hope. *Sichuan Forestry Exploration and Design*, 38(2): 92–96. [周洋, 杜波, 王本军, 杜鹏, 2016. 松墨天牛综合防治综述. *四川林勘设计*, 38(2): 92–96.]
- Zhu CQ, Wang B, Shen J, Mou J, Qin WQ, Wen XJ, 2017. Research progress on integrated controlling techniques against *Monochamus alternatus*. *Chinese Plant Protection*, 37(2): 19–24. [朱诚棋, 王博, 沈婧, 牟静, 秦文权, 温秀军, 2017. 松墨天牛综合防治进展. *中国植保导刊*, 37(2): 19–24.]