

松蠹狄金小蜂的光谱行为研究

陈友,罗长维,陈丽花
(重庆城市管理职业学院,重庆 401331)

摘要:松蠹狄金小蜂是我国南方主要造林树种华山松的重大蛀干害虫——华山松木蠹象的优势寄生蜂。为了避免灯光诱杀华山松木蠹象时错杀松蠹狄金小蜂,利用昆虫视觉行为学研究方法,研究松蠹狄金小蜂的光谱行为。结果表明,在波长340~689 nm光谱内的9个单色光中,松蠹狄金小蜂对除中心波长649 nm红色光外的其余8个单色光都具有趋向性,其中最敏感光谱依次为340 nm紫外光、415 nm紫色光、549 nm黄绿光,松蠹狄金小蜂在相应测试装置中1 min平均位移分别为23.55 cm、20.09 cm、19.28 cm,趋向率分别是88.0%、80.0%、76.0%。由此可见,松蠹狄金小蜂是一种趋光性昆虫,但其敏感光谱与华山松木蠹象的敏感光谱重叠较多,因此,与防治相比,利用单色光开展华山松木蠹象及松蠹狄金小蜂的种群监测具有更大的应用空间。

关键词:松蠹狄金小蜂;趋光性;单色光;紫外光;紫色光
中图分类号: S476.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2015)05-0102-05

Study on Phototactic Behavior of *Dinotiscus armandi*

CHEN You, LUO Changwei, CHEN Lihua
(Chongqing City Management College, Chongqing 401331, China)

Abstract: *Dinotiscus armandi* is a major parasitic wasp of *Pissodes punctatus*, which is a destructive stem-boring pest attacking *Pinus armandi*, an important afforesting pine in Southern China. In order to avoid *D. armandi* being killed when light traps *P. punctatus*, this study dealt with the visual behavior response of *D. armandi* to nine monochromatic lights (ranging from 340 nm to 689 nm with about 40-nm step). The results demonstrated that *D. armandi* could be attracted by eight of nine monochromatic lights, the exception being red light (649 nm), which implied broad sensitivity to the spectrum of light. *D. armandi* was most sensitive to ultraviolet (340 nm), violet (415 nm), and green-yellow (549 nm) light. The averaged tendency displacements of the wasp in one minute were 23.55 cm, 20.09 cm and 19.28 cm during its tendency to 340 nm, 415 nm and 549 nm light. And the averaged tendency rates of the wasp were 88.0%, 80.0%, 76.0% separately to three lights in the same order. Thus, *D. armandi* is found to be a phototactic insect, and its sensitive spectrum overlaps the sensitive spectrum of *P. punctatus* much more, as a result, using monochromatic light to monitor the population of *P. punctatus* and *D. armandi* has wider application field than to control *P. punctatus*.

Key words: *Dinotiscus armandi*; phototaxis; monochromatic light; ultraviolet light; violet light

松蠹狄金小蜂(*Dinotiscus armandi*)为华山松大
小蠹(*Dendroctonus armandi*)的主要寄生蜂^[1],同时
也是华山松木蠹象(*Pissodes punctatus*)的优势寄生
蜂。在云南省会泽县者海林场,华山松木蠹象本地

7种寄生蜂中,松蠹狄金小蜂数量最多,占寄生蜂总
数的41.85%^[2];在云南省施甸县大亮山林场,松蠹
狄金小蜂也是华山松木蠹象的本地寄生天敌^[3]。
华山松木蠹象是危害华山松(*Pinus armandi*)的

收稿日期:2014-11-17
基金项目:云南省教育厅科学研究基金项目(2011Y498);重庆城市管理职业学院高层次人才科研启动基金项目
作者简介:陈友(1973-),男,四川内江人,副教授,博士,主要从事昆虫学教学与研究。E-mail:chenyou2235@163.com

一种毁灭性蛀干害虫,为全国林业危险性有害生物,具有分布广、寄主域宽、蔓延速度快、危害木死亡快等特点^[4]。为寻找更加安全、生态的防治方法和监测手段,华山松木蠹象生态控制研究课题组开展了华山松木蠹象趋光特性研究,结果表明,华山松木蠹象成虫在室内测试装置中对中心波长 415 nm、340 nm 和 451 nm 的单色光表现出强烈趋性^[5];5 种不同颜色 LED 灯在林间对华山松木蠹象都具有一定的诱集效果,诱虫数量大小顺序为紫光灯 > 绿光灯 > 黄光灯 > 蓝光灯 > 红光灯,其中紫光灯诱虫数显著多于其他光源^[6]。因而利用趋光性来防治和监测华山松木蠹象具有较大可行性。然而,灯光诱杀也存在较严重的非专一性问题,即在诱杀害虫的同时也杀伤了大量天敌及中性昆虫,不仅削弱自然控制能力,而且影响了森林生态系统的生物多样性。为避免或减小杀虫灯在诱集目标害虫时对天敌昆虫的错杀,本课题组进一步对松蠹狄金小蜂的光谱行为展开研究,找出其与华山松木蠹象敏感光谱的差异,为研制既能有效诱集华山松木蠹象,又能最大限

度避免松蠹狄金小蜂受害的诱虫装置提供依据。

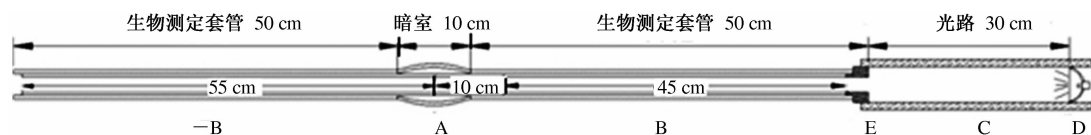
1 材料和方法

1.1 供试昆虫

松蠹狄金小蜂采自云南省会泽县国营者海林场联合林区吴家小丫口 ($26^{\circ}26' \text{ N}$ 、 $103^{\circ}36' \text{ E}$ ，海拔 $(2\,649 \pm 100) \text{ m}$)。4 月下旬在林间选取内含华山松木蠹象老熟幼虫和蛹的华山松被害木，剥去树皮，将所有被寄生的华山松木蠹象蛹和老熟幼虫带回，置于云南林业职业技术学院昆虫实验室的智能人工气候箱（南京恒裕仪器设备制造有限公司，RP-300A 型）中，模拟自然光热条件培养，等待其中的松蠹狄金小蜂羽化。羽化后的成虫用蜂蜜水饲养，选取饲喂 2 d 且健康活泼的松蠹狄金小蜂成虫做趋向行为测试。

1.2 测试装置

趋光行为测试装置为单臂套管结构,由光源、滤光片、硅橡胶接口、遮光布、暗室和生物测定套管组成,如图1所示。



A:暗室; B 和 -B:生物测定套管; C:光源区; D:卤钨灯; E:硅橡胶塞

图1 松蠹狄金小蜂趋光行为测试装置

1.2.1 光源 采用功率为 50 W 的 PHILIPS 卤钨灯 (飞利浦中国投资有限公司) 作为光源。用滑动变阻器 (广东佛山市三水西南教学仪器厂) 调节光照强度, 用数字式照度计 (深圳市金达通仪器仪表公司, LX-1010B 型) 测量光强度。将卤钨灯置入钢管 (图 1 中 C 部分: 长 30.0 cm、外径 6.0 cm、内径 5.0 cm) 右侧 (图 1 中 D 部分), 钢管左侧与内置滤光片的硅橡胶接口 (图 1 中 E 部分) 相连。

1.2.2 暗室 即暗适应室,为松蠹狄金小蜂趋光测试前进行暗适应的地方,暗室由1节长度为10 cm的有机玻璃内衬管(外径3.0 cm、内径2.5 cm)再加上1个由遮光布和矿泉水瓶制成的外套筒组成(图1中A部分),为了提高试验效率,共制作10个暗室,轮换使用。

1.2.3 生物测定套管 由2根深色不透光的PPR外套管(外径4.0 cm、内径3.0 cm)和有机玻璃内衬管(外径3.0 cm、内径2.5 cm)(图1中-B、B部分)组成。为便于测试时的迅速连接,内外套管采用错位相连处理,2根外套管长度均为50 cm,2根内衬管一根长度为45 cm(图1中B部分),一根为

55 cm(图 1 中 -B 部分),测试时从测试装置左侧推进内衬管,使 2 节内衬管紧密相连。

1.2.4 滤光片和硅橡胶接口 选用沈阳仪表科学研究院汇博光学技术有限公司生产的滤光片,其主要参数见表 1。打磨硅橡胶塞,使其能将钢管和生物测定套管无缝相连,并用打孔器在硅橡胶塞中心钻孔,孔内放置滤光片,保证光路通透,整个装置不漏光(图 1 中 E 部分)。

表 1 趋光特性测定用单色光滤光片的光学性质

中心波长/nm	半波带宽/nm	峰值透射率/%
340	11.0	57.4
381	7.2	45.0
415	8.4	41.0
451	8.3	48.7
504	7.2	48.2
549	8.5	50.8
601	8.0	46.6
649	8.7	54.1
689	8.9	59.1

1.3 测定方法

测试时,将 1 头松蠹狄金小蜂试虫放入暗室中

暗适应 30 min,然后将整个暗室迅速连接在生物测定管之间(图 1),扣紧内外套管和暗室遮光套筒,使连接处不漏光,让松蠹狄金小蜂在内衬管内自由爬行。通过观察两端均为黑暗和两端均为自然光情况下松蠹狄金小蜂的爬行行为,来确定松蠹狄金小蜂趋光行为反应的有效距离和测试时间,然后开始正式测试。

1.3.1 两端均为自然光的爬行行为预试验 不用图 1 中的 C、D、E 部分,只用 -B、A 和 B 部分,两端的开口直接向室内敞开,测试在室内自然光下(200 lx)进行,观察松蠹狄金小蜂在自然光刺激下的爬行情况,测试其爬行速度,共测试 20 头松蠹狄金小蜂,观察记录其爬出套管的时间,以确定单色光测试松蠹狄金小蜂趋向行为的测试时间。结果显示,在两端都是自然光的情况下,20 头松蠹狄金小蜂爬出管口的平均用时为 1 min 34 s,爬行速度最快的用时 1 min 5 s,爬行最慢的用时 2 min 13 s,因而将试验测试时间定为 1 min。

1.3.2 两端均为黑暗的爬行行为预试验 不用图 1 中的 C、D、E 部分,只用 -B、A 和 B 部分,且两端的开口处用黑色遮光布做成的塞子封堵,观察松蠹狄金小蜂在没有光线刺激下的爬行情况,并根据其在黑暗情况下的爬行距离来确定计算趋向率的分界点,以判断单色光刺激是否对松蠹狄金小蜂的爬行行为有效。根据 1.3.1 的试验结果,松蠹狄金小蜂趋光行为测试时间定为 1 min,因此,本试验测定 1 min 松蠹狄金小蜂在内衬管内的爬行距离,共测试 20 头松蠹狄金小蜂。结果显示,在两端都是黑暗的情况下,20 头松蠹狄金小蜂 1 min 在套管内的平均位移为 1.68 cm,其中爬行最远的松蠹狄金小蜂爬出暗室 9 cm,最近的是在暗室内,爬行位移为 0 cm,因此在下面的测试试验中把爬出暗室的距离是否达到或超过 9 cm 作为计算松蠹狄金小蜂趋向率的分界点,即爬行距离为 9 cm 及以上的,认为单色光对其刺激有效。

1.3.3 松蠹狄金小蜂的光谱行为反应试验 采用完整的测试装置(图 1),一端(-B)的开口处用黑色遮光布做成的塞子封堵,另一端用滤光片置于硅橡胶接口中来获得单色光,每个滤光片为 1 个处理,共 9 个处理;另设 2 个对照处理,一个是两端黑暗对照处理,即在放滤光片的位置用遮光布封堵,使生物测定管两头均为黑暗;另一个是一端黑暗一端全光对照处理,即在放置滤光片的位置,不放任何物体,让卤钨灯产生的全光照直接通过硅橡胶连接塞的中心孔进入生物测定管。通过调节滑动变阻器使滤光

片出口处的单色光光强保持一致。每次测试 1 头松蠹狄金小蜂,1 min 后,迅速抽出内衬管,记录松蠹狄金小蜂在生物测定管中的位移(朝向光源记录为正值,背向光源记录为负值,在暗室内的记录为 0)。每次测试完后,用 95% 的乙醇擦拭内衬管管壁,然后用吹风机吹干,再进行下一个试验。为了提高试验效率,共准备 4 套内衬管和 10 个暗室,轮换使用。测试过的松蠹狄金小蜂不重复使用,以避免其学习行为对测试结果产生影响。每个处理测试 50 头松蠹狄金小蜂,分 5 组,每组测试 10 头,计算 1 个趋向率,趋向率 = 有效趋光反应的虫数/试虫数 $\times 100\%$ 。

1.4 统计分析

测试数据用 SPSS 11.5 软件进行统计分析。松蠹狄金小蜂在不同单色光处理下的趋向率差异用方差分析(ANOVA)进行测定。在方差分析前,对每组数据进行方差齐性、正态分布检验,以确定该组数据满足方差分析的要求。若方差分析结果显著,再对不同处理间趋向率进行两两比较(LSD),分析不同处理之间的差异性。

2 结果与分析

2.1 松蠹狄金小蜂对不同单色光的趋向位移

如表 2 所示,松蠹狄金小蜂对不同波长单色光的趋向位移均大于全黑暗对照组的位移,小于全光对照组的位移。在全黑暗对照处理下,松蠹狄金小蜂的趋向位移为 5.32 cm,在全光对照处理下,松蠹狄金小蜂的趋向位移为 27.15 cm,2 个对照的趋向位移差异显著($P < 0.05$),说明松蠹狄金小蜂具有明显的趋光性。在 9 个单色光中,松蠹狄金小蜂趋光行为强弱顺序为 340 nm > 415 nm > 549 nm > 381 nm > 451 nm > 601 nm > 504 nm > 689 nm > 649 nm,其中松蠹狄金小蜂趋光行为表现最强烈的前 3 个单色光依次是波长 340 nm 紫外光、415 nm 紫色光和 549 nm 黄绿光,其在这 3 个单色光下的平均位移分别是 23.55 cm、20.09 cm 和 19.28 cm;趋光行为表现最弱的 3 个单色光依次是中心波长 649 nm 红色光、689 nm 红色光和 504 nm 绿色光,其在这 3 个单色光下的平均位移分别是 6.88 cm、8.44 cm 和 9.62 cm。总体上,松蠹狄金小蜂在除波长 649 nm 红色光外的其余 8 个单色光下的趋向位移均显著高于全黑暗对照,低于全光对照($P < 0.05$)。松蠹狄金小蜂趋向位移最大的紫外光(340 nm)与其余单色光比较差异显著($P < 0.05$),415 nm 紫色光与 549 nm 黄绿光之间无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 松蠹狄金小蜂对不同单色光的趋向位移

单色光波长/nm	单色光所属光谱区域	1 min 的趋向位移/cm
689	红色光	8.44 ± 3.47b
649	红色光	6.88 ± 3.23ab
601	橙色光	17.82 ± 6.55c
549	黄绿光	19.28 ± 5.24cd
504	绿色光	9.62 ± 5.43b
451	蓝色光	18.57 ± 3.37c
415	紫色光	20.09 ± 2.83d
381	紫外光	18.58 ± 4.56c
340	紫外光	23.55 ± 5.23e
对照 1	两端黑暗	5.32 ± 1.36a
对照 2	一端黑暗一端全光	27.15 ± 4.99f

注:不同字母表示在 0.05 水平差异显著,下同。

2.2 松蠹狄金小蜂对不同单色光的趋向率

从图 2 可以看出,松蠹狄金小蜂对 9 个单色光的趋向率均大于两端黑暗对照组的趋向率(36.0%),低于一端黑暗一端全光处理对照组的趋向率(92.0%)。在 9 个单色光中,松蠹狄金小蜂趋

向率的大小依次为中心波长 340 nm (88.0%) > 415 nm (80.0%) > 549 nm (76.0%) > 381 nm (70.0%) > 601 nm (60.0%) > 451 nm (56.0%) = 504 nm (56.0%) > 689 nm (54.0%) > 649 nm (48.0%),其中松蠹狄金小蜂趋光行为表现最强烈的前 3 个单色光依次是紫外光(340 nm)、紫色光(415 nm)和黄绿光(549 nm),与趋向位移指标呈现的结果相同;其对中心波长 649 nm 和 689 nm 红色光的趋光行为表现最弱。试验中发现,在两端均为黑暗的对照处理中,部分松蠹狄金小蜂停留在暗室内,绕着生物测定管内壁爬行,没有任何趋向,少量松蠹狄金小蜂从释放点爬到两端距离 9 cm 左右位置,之所以仍然有 36.0% 左右的趋向率,是因为在计算趋向率时,等于 9 cm 的,本试验将其认定为具有趋光性,再加上测试开始时有一个将暗室内衬管推进的动作,对松蠹狄金小蜂爬向测试装置光源方向有一定促进作用。

松蠹狄金小蜂的趋向率在 9 个单色光、黑暗对

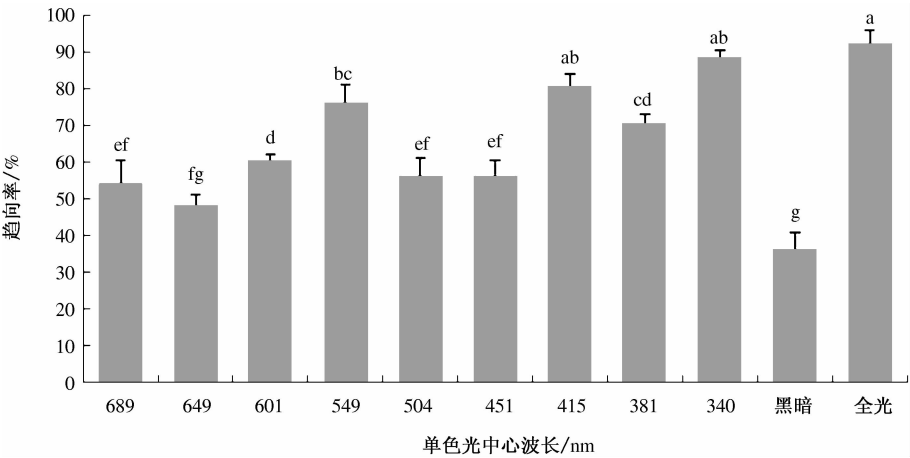


图 2 松蠹狄金小蜂对不同单色光的趋向率

照与全光对照之间差异显著 ($F_{10,44} = 15.545$, $P < 0.05$),其对黑暗对照的趋向率与全光对照的趋向率之间差异显著 ($P < 0.05$,图 2)。在趋光反应试验中,松蠹狄金小蜂对除波长 649 nm 红色光外的其余 8 个单色光的趋向率均显著高于全黑暗对照,而 649 nm 红色光与全黑暗对照之间没有显著差异。松蠹狄金小蜂趋向率最高的 3 个单色光(波长 340 nm 紫外光、波长 415 nm 紫色光、波长 549 nm 黄绿光)之间无显著差异;松蠹狄金小蜂对中心波长 415 nm 紫色光、340 nm 紫外光的趋向率与对全光照的趋向率无显著差异,但与除 549 nm 黄绿光外的其他单色光间差异显著。

3 结论与讨论

本研究表明,全光照下,松蠹狄金小蜂 1 min 的

平均趋向位移为 27.15 cm,平均趋向率为 92.0%;全黑暗下,1 min 的平均趋向位移仅为 5.32 cm,平均趋向率仅为 36.0%,2 个处理之间差异显著,说明松蠹狄金小蜂具有明显的趋光性。不同单色光处理下,松蠹狄金小蜂对除中心波长 649 nm 红色光外的其余 8 个单色光都具有趋向性,其中对中心波长 340 nm 紫外光、415 nm 紫色光和 549 nm 黄绿光 3 个单色光表现强烈的趋向性,趋向位移和趋向率都显著高于其他单色光,与 Peitsch 等^[7]采用光谱扫描法检测 43 种膜翅目昆虫单个感光细胞的光谱敏感度试验结果高度吻合(测试的膜翅目昆虫最大反应灵敏度光谱为 340 nm、430 nm 和 535 nm 3 个高峰)。

对紫外光和紫色光敏感的昆虫在以往研究中较多见,烟蚜茧蜂的敏感光谱包含紫外光^[8];苹果

绵蚜蚜小蜂的敏感光谱为 340 nm 紫外光和 440 nm 蓝紫光^[9];在 Peitsch 等^[7]研究的 43 种膜翅目昆虫中,有 28 种昆虫对 340 nm 的紫外光敏感,30 种昆虫对 430 nm 蓝紫光敏感。这也进一步证实了短波光对昆虫诱集力较大的结论^[10]。除对紫外光和紫色光外,松蠹狄金小蜂对黄绿光(549 nm)也有较强的趋向性。之前研究也发现很多对黄绿光具有较强趋向性的昆虫,如烟蚜茧蜂的敏感光谱也有中心波长 568 nm 黄绿光^[8],桃蚜的有翅蚜对中心波长 538.9 nm、549.9 nm 黄绿光表现出明显趋性^[11],对棉铃虫的视网膜电位图(ERG)分析中发现其光谱敏感反应峰值为 562 nm 黄绿光^[12]。在 Peitsch 等^[7]研究的 43 种膜翅目昆虫中,全部昆虫对 550 nm 的黄绿光敏感。

华山松木蠹象对 9 个单色光都具有不同程度的趋向性^[5],而松蠹狄金小蜂对除中心波长 649 nm 红色光外的其余 8 个单色光都具有趋向性,说明两者对单色光的趋向均表现出广谱性,而且华山松木蠹象的敏感光谱(依次为 415 nm 紫色光、340 nm 紫外光、451 nm 蓝色光)^[5]与松蠹狄金小蜂(依次为 340 nm 紫外光、415 nm 紫色光和 549 nm 黄绿光)重叠较多。因此,利用单色光来防治华山松木蠹象将不可避免对寄生蜂造成一定程度的伤害,与防治相比,利用趋光性开展华山松木蠹象及其寄生蜂种群监测具有更大的应用空间。

参考文献:

[1] Yang Z Q. A preliminary survey of parasitic wasps of *Dendroctonus armandi* Tsai et Li (Coleoptera, Scolytidae) in Qinling Mountains with description of three new species

and a new Chinese record (Hymenoptera: Pteromalidae) [J]. Journal Entomotaxonomia, 1987, 9(3): 175-184.

[2] 陈敏. 华山松木蠹象生物防治研究[D]. 昆明: 西南林学院, 2007.

[3] 王晓佳. 华山松木蠹象生态控制研究[D]. 昆明: 西南林学院, 2009.

[4] 谢开立, 李永和, 段兆尧, 等. 实施华山松木蠹象可持续控制策略与技术[J]. 林业实用技术, 2002(4): 6-8.

[5] Chen Y, Luo C W, Kuang R P, et al. Phototactic behavior of armand pine bark-weevil, *Pissodes punctatus* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. Journal of Insect Science, 2013, 3: 1-10.

[6] 罗长维, 陈友, 罗正方. 利用趋光性林间诱集华山松木蠹象[J]. 河南农业科学, 2014, 43(10): 79-82.

[7] Peitsch D, Fietz A, Hertel H, et al. The spectral input system of Hymenopteran insects and their receptor-based colour vision [J]. Journal of Comparative Physiology (Series A), 1992, 170(1): 23-40.

[8] Chen Z, Kuang R P, Zhou J X, et al. Phototactic behaviour in *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Biocontrol Science and Technology, 2012, 22(3): 271-279.

[9] 李刚. 苹果绵蚜蚜小蜂重要生物学及发育始点和有效积温研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.

[10] Michael D A. Introduction to insect behavior[M]. New York: Macmillan Publishing Co. Inc., 1980: 31-33.

[11] 付国需, 李为争, 吴少英, 等. 桃蚜对不同单色光趋性反应的测试[J]. 昆虫学报, 2009, 52(10): 1171-1176.

[12] 魏国树, 张青文, 周明群, 等. 棉铃虫 (*Helicoverpa armigera* (Hübner)) 蛾复眼视网膜电位研究[J]. 生物物理学报, 1999, 15(4): 682-687.