栎旋木柄天牛生殖行为研究*

徐 天[1**] 嵇保中[1***] 张琼岛[1] 刘曙雯[2]
巨云为[1] 叶 建[1] 吴光喜[3] 王廷先[3]
(1. 南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037;2. 南京市中山陵园管理局 南京 210014;
3. 江西省三清山风景名胜区管理委员会 上饶 334702)

摘 要 为了阐明栎旋木柄天牛 *Aphrodisium sauteri* Matsushita 生殖行为的方式和特点,寻找有效的防治手段,本试验观察了栎旋木柄天牛的生殖行为,并在林间尝试了成虫诱集。结果表明:雌雄成虫之间表现出较强的吸引作用,近距离时雌雄虫可相互吸引,而远距离时雌虫引诱力更强。室内试验中求偶时间会随着成虫的衰弱而增加。成虫交配主要发生于白天。羽化出孔后 1 ~ 14 日龄雌虫和 2 ~ 13 日龄雄虫均可多次交配。成虫一次完整交配平均需时 70.12 min,交配后保护平均仅用时 3.86 min。一次完整交配过程中,不同日龄成虫的交配历时、交配间隔历时及交配次数都存在差异,各日龄成虫的交配间隔历时均大于交配历时。交配或产卵经历对雄虫交配行为的影响明显大于雌虫。雌虫产卵前期平均为 30.71 h。雌虫每产 1 粒卵平均需时 99.58 s,并随日龄增长显著加长。每头雌虫平均每日产卵量和总产卵量分别为 7.89 和 26.20 粒。雌虫多在白天产卵,用产卵器触探树皮表面寻找合适的产卵部位。卵主要产于树皮裂缝和枝条疤痕内,一般每次产卵 1 粒,卵表面无覆盖物。

关键词 栎旋木柄天牛,生殖行为,成虫诱集

A study on reproductive behavior of *Aphrodisium sauteri* Matsushita

XU Tian[1**] JI Bao-Zhong[1***] ZHANG Qiong-Dao[1] LIU Shu-Wen[2]
JU Yun-Wei[1] YE Jian[1] WU Guang-Xi[3] WANG Ting-Xian[3]
(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Management Office of Sun Yatsen's Mausoleum, Nanjing 210014, China; 3. Management Committee of Sanqing Mountain, Shangrao 334702, China)

Abstract In order to find effective control methods for *Aphrodisium sauteri* Matsushita, the reproductive behavior of this longhorn beetle was observed and a field test for trapping adults conducted. The results show that females and males mutually attract each other at short distances, but at long distances females tend to attract males. In a laboratory experiment, the duration of calling behavior increased with adult age. Mating mainly took place in daytime. 1st—14th day females and 2nd—13th day males could mate several times after they left eclosion holes. A complete mating lasted 70.12 min on average. The average protective duration after mating was 3.86 min. In a complete mating, the duration of mating, interval of mating and frequency of mating differed among adults of different ages. The interval of mating was always longer than the duration of mating. Previous reproductive experience had a greater influence on males' mating behaviors than on female's. The average preoviposition period of females was 30.71 h. Females took, on average, 99.58 s to lay an egg, and oviposition time increased with female age. The average number of eggs laid by a female was 7.89 in one day and the total number of eggs laid by a female in her life time was 26.20. Females touched the bark surface with their ovipositors to find oviposition sites and usually laid eggs in daytime. Eggs were mainly laid in cracks in bark and scars on branches. Usually only one egg was laid at a time and the eggs were uncoated.

Key words *Aphrodisium sauteri*, reproductive behavior, adults trapping

* 资助项目:江西三清山风景区蛀干害虫防治研究(2008 - 1)。
** E-mail:xusky007@yahoo.com.cn
*** 通讯作者,E-mail:jbz9885@nifu.edu.cn
收稿日期:2011-03-13,接受日期:2011-03-26

栎旋木柄天牛 *Aphrodisium sauteri* Matsushita，又名台湾柄天牛，属鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae 天牛亚科 Cerambycinae 柄天牛属 *Aphrodisium* Thomson(刘世儒和郭树嘉，1989；刘玉军，2009)，是国家林业局2003年首次发布的重要危险性林业有害生物。自20世纪80年代起，该虫先后在河南、山东、江西和安徽山区造成严重危害(卢风亭等，1985；刘世儒和郭树嘉，1989；俞云祥，2002；刘玉军等，2008)。该天牛主要危害壳斗科 Fagaceae 植物，幼虫蛀食树干边材，老龄幼虫在化蛹前环绕枝干蛀食，使寄主环蛀处以上部分脱水枯死，极易引起风折，乃至整株死亡。栎旋木柄天牛多发生于高海拔山区的天然次生林，不仅对森林植被造成很大破坏，在土层稀薄的高山地区更易导致水土流失等严重后果。该天牛幼虫多由树冠向下危害，虫孔位置高，各受害林分散于陡峭的山脊、悬崖上，交通十分不便。在这种条件下针对幼虫期的化学防治措施很难实施。因此，寻找出有效的防治手段显得十分必要。

近年来，对于天牛成虫化学生态学及其行为特性的研究受到广泛关注(Linsley，1959；Hanks，1999；嵇保中等，2002；Allison *et al.*，2004；江望锦等，2005；周琳等，2006；王广利和迟德富，2007)。但目前对栎旋木柄天牛乃至柄天牛属仅做过一些生物学习性的初步研究(卢风亭等，1985；刘世儒和郭树嘉，1989；余云祥，2002；黄志森，2005；涂克林等，2006；刘玉军等，2009)，生殖行为的研究尚未见有报道。为了解栎旋木柄天牛生殖行为的方式和特点，并探索有效的防治方法，作者对栎旋木柄天牛的生殖行为进行了较详细的观察，并在林间初步尝试了成虫诱集。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

1.1.1　人工饲养　人工饲养包括野外饲养和室内饲养。

野外饲养：2010年5、6月在三清山南部和东部景区寻找因老龄幼虫环蛀而导致枯死或折断的枝干。此前已了解老龄幼虫环蛀后，掉头向上蛀食约10～60 cm做蛹室化蛹。因此，选择因环蛀枯死、但尚未折断的枝干，用海绵条(宽5 cm、厚2 cm，长度视捆绑处枝径而定)捆绑于环蛀点及其上方约100 cm处。然后将尼龙纱网捆绑于两海绵条中间并缠绕3圈(将海绵条一并缠绕进去)，形成两层纱网的网室，用撕裂线捆绑两端的海绵条固定，纱网接缝处用别针封口，以捕捉羽化出孔的成虫。

室内饲养：2009年9月下旬从三清山南部景区采集含有栎旋木柄天牛老龄幼虫的小叶青冈木段，分别锯成50 cm长，放入编织袋内(长70 cm×宽20 cm×高65 cm)。将袋口封好并检查无漏洞后放入位于南部景区的养虫室内(海拔1 100 m)；将2010年5、6月在三清山南部和东部景区寻找到的含蛹且方便采集的虫害木，选择带虫的部位，锯下后置于南部索道上站附近的露天堆积点(海拔1 100 m)。用纱网捆绑后(方法同野外饲养)，按照原生长方向将枝干靠墙倾斜放置，并在木段上方遮盖一层防雨布。

1.1.2　人工捕捉　2010年7月成虫羽化期，在三清山南部和东部虫害严重林分(海拔900～1 500 m)，人工捕捉成虫。

1.1.3　成虫饲养　2010年7月成虫羽化期，逐日收集羽化出孔成虫，并捕捉野外活动的成虫。采获的成虫单独装入牙签盒(高9 cm、直径5 cm)内编号，记录羽化时间。每天用5 mL注射器向牙签盒内注入1～2 mL的1%蜂蜜水，形成水滴，供成虫取食。

1.2　成虫生殖行为观察

1.2.1　试验地设立　2010年7月9—15日，在三清山金沙管理站后竹林内选空地搭建临时试验场所(海拔450 m，试验期间温度(27.0±2)℃，湿度85.0%±10%)。地面平整后，铺上河沙以防止雨天泥泞。后将2个正方形防雨棚(高×长×宽：1.8 m×3 m×3 m)立于修整好的空地上。棚内支1顶蚊帐(高×长×宽：1.6 m×1.8 m×1.8 m)，蚊帐正上方设照明灯。

1.2.2　成虫求偶行为室内观察　选1～4、5～8、9～12日龄的栎旋木柄天牛雌雄虫各6对，成虫鞘翅上用白色油漆标记。供试成虫分别置于蚊帐内对角位置，观察记录成虫求偶的行为及时间。

1.2.3　成虫交配行为的日龄特点　选取相同日龄的雌雄成虫2对，做好标记后交叉放于蚊帐内四角。观察记录成虫求偶、抱对、交尾及配后保护的行为及时间。每天观察从8:00开始，停止活动后将试虫捉回放入牙签盒内。2、3、4、5、6～9、9～

13 日龄各重复 5 次。

1.2.4 交配及产卵经历对交配行为的影响 选取尚未交配的雌雄虫 2 对，用白色油漆分别标记后，依次放入蚊帐内对角处。待交配完成后取出雄虫放回牙签盒内继续饲养。雌虫则放入装有小叶青冈（*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*（Blume）Oerst.）、多脉青冈（*C. multinervis* Cheng *et* T. Hong）、木荷（*Schima superba* Gardn. *et* Champ.）等枝条（枝径 1.0～5.0 cm）的养虫笼（高 54 cm、直径 27 cm）中产卵。2 d 后，将已交配过的雄虫取出，与未交配的雌虫再次交配。雌虫则在产卵后第 2 天，与未交配的雄虫再次交配。观察记录各次交配中，成虫求偶、抱对、交尾及配后保护的行为及时间。最后一次交尾完成到雄虫离开雌虫为交配后的保护时间（杨洪等，2007）。

1.2.5 成虫产卵行为观察 将已交配雌虫放入装有小叶青冈、多脉青冈、木荷等枝条（枝径 1.0～5.0 cm、长 30～40 cm）的养虫笼（高 54 cm、直径 27 cm）中，置于林下防雨棚中。观察记录各雌虫的产卵行为和时间。每天统计雌虫产卵数量，更换新鲜枝条。

1.2.6 数据分析 试验数据用 SPSS 17.0 进行统计分析，用 Microsoft Office Excel 2003 绘图，成虫交配行为及产卵历时的日龄变化采用单因素方差分析，Duncan 法多重比较。雄虫不同交配及产卵经历对交配行为的影响采用独立样本 *t* 检验比较。

1.3 成虫林间诱集及野外求偶行为观察

1.3.1 试验地点 试验地点分别在三清山南部景区登山步道两侧（海拔 1 100～1 300 m）和东部景区高空栈道外侧（海拔 1 200～1 400 m），各长 800 m。上述地点虫害枯死木较多，羽化期常能见到成虫飞行。

1.3.2 诱集方法 以段木饲养和野外采集的成虫为引诱源。设计了 3 种简易诱捕器（图 1）：

①截取 2 个透明塑料瓶（高 22 cm，直径 6.5 cm）的上半部分。将 1 个带孔的圆形塑料隔板（直径 6.5 cm）塞入其中 1 个塑料瓶内，用铁丝固定。再将另一塑料瓶上半部倒插在隔板上方，形成 1 漏斗。两瓶固定后在上缘穿入带有挂钩的细绳。隔板下方放入成虫作为引诱源。成虫释放的气味穿过隔板上的圆孔散发，隔板还可防止成虫交配。②将透明塑料瓶（高 35 cm，直径 10 cm）剪成两半，上半部倒插入下半部中，形成 1 漏斗。固定后在漏斗上缘穿入带有挂钩的细绳。瓶底打几个小孔，以防雨天积水。引诱源成虫放入下半部瓶中。③以塑料桶（高 18 cm，内径 15 cm）作为集虫器，悬挂的绳索下端系 1 个表面带孔的透明牙签盒（高 9 cm、直径 5 cm），引诱源成虫置于牙签盒内。桶内加入适量肥皂水，以防诱获的成虫逃逸。

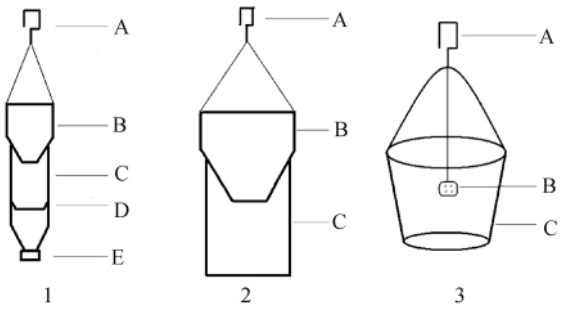


图 1 3 种诱捕器示意图

Fig. 1 Sketch maps of three types of traps

1. A：挂钩 hook，B：塑料漏斗 plastic funnel，C：塑料瓶 plastic bottle，D：塑料隔板 plastic partition，E：瓶盖 cap；2. A：挂钩 hook，B：塑料漏斗 plastic funnel，C：塑料瓶 plastic bottle；3. A：挂钩 hook，B：牙签盒 toothpicks box，C：塑料桶 plastic drum.

林间诱集时，在 3 种诱捕器内分别装入 1 头成虫（<5 日龄）。东、南部试验地点内各设引诱点 3 个，点距 200 m。每种诱捕器在各点分别悬挂 4 个（雌雄各 2 头），距地面和林缘均为 3～5 m；另在东、南部试验地点内各设裸虫引诱点 1 个，即将 1 根细线系于成虫（<5 日龄）前胸背板处，悬挂在林缘处 2～3 m 高的枝条上。点内各虫（雌 4 头、雄 2 头）间距 5 m。同时观察记录野外成虫求偶的行为及时间。林间诱集时间为 10:00—16:00。诱集试验前确认引诱点内无该天牛成虫，然后设置引诱源。每 2 h 检查引诱点内的成虫活动情况。试验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 求偶行为

通过对 18 对分别处于 1～4、5～8、9～12 日龄段的雌雄虫在蚊帐内（虫距 <4 m）求偶行为的观察发现，求偶平均需时 28.67 min（5～79 min）（n =18）。随着日龄增加，成虫求偶时间有增加的趋

势(图 2)。其中,9 ~ 12 日龄的成虫所需时间明显大于前 2 个日龄段。出现这一现象的原因可能是成虫衰老而导致活力下降。根据试验观察,成虫寿命一般在 15 d 左右,9 ~ 12 日龄成虫腹部明显较前 2 个日龄段干缩,雄虫尤为明显,由此可以判断这一时期的成虫确实已经进入衰老期。

放入蚊帐一段时间后,雌雄虫缓慢地爬向高处。爬行时,触角不停地上下前后摆动,并逐渐移向异性所在的方向,雌雄虫均存在相互趋近的行为。爬行一段后,停下用前足或口器梳理触角。当爬行到一定高度时,雌雄虫均出现振翅欲飞的动作,并偶尔飞行一小段距离。雌虫爬行时频繁伸出黄色的外生殖器不断地触碰蚊帐并留下少量透明粘液。在逐渐接近异性但尚未接触时,雌雄虫行动明显加快,触角摆动更加频繁,雄虫出现腹部伸展弯曲的现象。

野外求偶行为的观察结果与室内观察结果基本一致。雌雄成虫均沿枝条按螺旋形路线缓慢地向高处爬行,触角不停地上下前后摆动。一段时间后有雄虫从远处飞来,在雌虫周围盘旋。雌虫出现振翅、外生殖器伸出等现象。

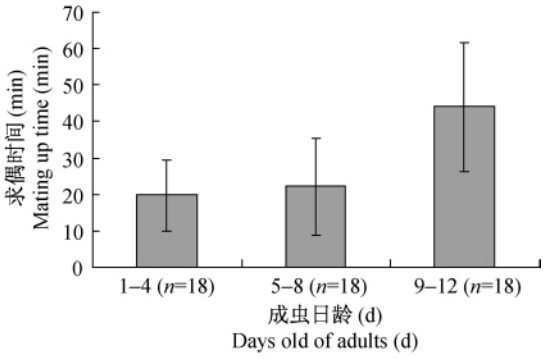


图 2　不同日龄段成虫求偶时间(平均数 ± 标准误)

Fig. 2　Durations of adults mating in different days old (mean ± SE)

2.2　相遇行为

在蚊帐内观察发现的成虫相遇时行为:(1)当两雌虫接触后都立即改变爬行方向相互避让,未出现打斗现象。(2)多数情况下两雄虫接触后立即改变爬行方向相互避让,极少数情况下发生打斗,彼此撕咬对方的触角和足,一段时间后弱者逃离。(3)雌雄相遇后如雄虫没有交配意向,则雄虫接触后立即改变方向避开雌虫,雌虫尾随一小段距离后停止。如雄虫有交配意向,则立即抱对。多数情况下雌虫配合,停下不动。在极少数情况下,雌虫继续爬行,雄虫一直尾随,追上雌虫后迅速抱对。雌虫未出现反抗。(4)雄虫与正在交配的一对成虫相遇,雄虫表现出较强烈的进攻性。新来雄虫曲腹试图强行与雌虫交配,或 2 雄虫互相咬住对方的触角和足,并用头试图顶开对方,直至败者离去。如果此时交配的雄虫正在交尾,则无论另一头雄虫如何攻击,都不会将外生殖器拔出。有时还会出现 1 ~ 2 头雄虫爬到一对正在交配的成虫背上试图交尾。(5)雌虫与正在交配的一对成虫相遇,雌虫迅速避让,但会在附近徘徊一段时间后离开。

2.3　交配行为

雌成虫在出孔后 1 日龄时便可交配,而雄虫在 1 日龄时则没有交配意向,将 1 日龄雌雄成虫放在一起也不发生交配现象。雄虫 2 日龄开始交配,12 日龄后,雄虫不再交配,而直到 14 日龄雌虫仍可交配。

成虫主要白天活动,18:00 后光线变暗,成虫活动逐渐停止。白天大部分时间均可交配,多集中于 10:00—16:00。成虫一次完整交配平均需时 70.12 min(n = 48)。成虫交配行为如图 3(A ~ C)所示,雄虫先用前足紧抓住雌虫鞘翅边缘,中足紧抱雌虫腹部,后足翘起。雄虫在交尾间隔期,会有节律地每隔几秒上下快速颤抖几次,雌虫也随雄虫一起颤抖。交尾时,雄虫身体从后向前有规律地不断蠕动。雄虫下颚须和下唇须不停地摩擦雌虫的鞘翅前部。若此时出现其它雄虫,雄虫会在很长一段时间内(最长近 1 h)不拔出外生殖器,但不出现身体蠕动的现象,直至雌虫强行离开。在每次成功交尾之前,雄虫总会出现 1 ~ 3 次交尾几秒后断开的情况,这种情况下雄虫身体也不蠕动。交尾时雄虫身体蠕动的现象是否是由于输精造成,还需要进一步研究证实。

试验中共观察到完整的交配行为 48 次,有交配后保护的 39 次。交配后保护的时间较短,平均需时 3.86 min(n = 39),最长 24.33 min,5 min 以下的占 82.05%。交配完成后,雄虫从雌虫背部滑落,便迅速离开。

2.4　交配行为的日龄特点

不同日龄成虫一次完整交配过程中每次交配

间隔历时、交配间隔总历时、每次交配历时、交配总历时、交配次数见表 1。3 ~ 5 日龄成虫的交配总历时、交配间隔总历时都明显长于其它日龄成虫。随着日龄增加,成虫每次交配间隔历时、交配次数的变化无明显规律,而每次交配历时在 10 ~ 13 日龄(成虫衰老期)会显著增长。各日龄成虫每次交配间隔历时、交配间隔总历时都分别大于每次交配历时、交配总历时。

表 1 栎旋木柄天牛成虫交配行为的日龄特点(平均数 ± 标准误)

Table 1 Characteristics of mating behaviors of *Aphrodisium sauteri* adults in different days old (mean ± SE)

	日龄 Days old					
	2(n = 10)	3(n = 10)	4(n = 10)	5(n = 10)	6 - 9(n = 10)	10 - 13(n = 10)
观察次数 Number of observations	74	250	156	196	130	34
交配次数(次) Number of matings	7.40 ± 0.80b	25.00 ± 1.41e	15.60 ± 4.32c	19.60 ± 1.02d	13.00 ± 1.67c	3.40 ± 1.02a
每次交配间隔历时(min) Interval of each mating	5.11 ± 0.98bc	3.14 ± 0.15a	5.72 ± 1.20c	3.49 ± 0.65a	4.08 ± 0.53ab	4.03 ± 0.57ab
交配间隔总历时(min) Total interval of matings	38.55 ± 4.89b	73.04 ± 6.29d	74.79 ± 13.16d	62.86 ± 11.90cd	50.01 ± 12.39bc	11.09 ± 3.29a
每次交配历时(s) Duration of each mating	60.70 ± 7.04a	86.35 ± 5.53b	76.20 ± 7.02ab	83.01 ± 21.10b	74.76 ± 7.27ab	108.02 ± 17.06c
交配总历时(min) Total duration of matings	7.44 ± 0.61a	26.66 ± 5.68c	21.25 ± 3.30bc	25.51 ± 6.10c	16.21 ± 2.84b	7.28 ± 1.82a

注:同行数据后标有不同字母表示差异显著(P < 0.05)。

Data followed by the different letters within a row are significantly different at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

2.5 交配及产卵经历对交配行为的影响

不同交配及产卵经历的成虫一次完整交配过程中每次交配间隔历时、交配间隔总历时、每次交配历时、交配总历时、交配次数见表 2。雄虫初次交配时,交配次数和交配总历时都显著大于再次交配,再次交配时每次交配间隔历时则显著长于初次交配。雄虫前后 2 次交配的间隔总历时及每次交配历时则无明显变化。雌虫 2 次交配时各项指标均没有显著差异。

2.6 产卵行为

雌虫产卵多在白天 9:00—18:00。交配后不立即产卵,产卵前期平均 30.71 h(19 ~ 75 h)(n = 12)。产卵前,雌虫先寻找合适的产卵地点。雌虫沿枝条按螺旋形路线来回缓慢地爬行,触角不停地上下小幅摆动,产卵器频繁伸出,触探树皮表面。遇裂缝时,停下将产卵器插入其中触探(图 3: D,E)。雌虫多在树皮裂缝或疤痕内产卵,少数情况下将卵直接产于树皮表面或枝条分叉处(图 3:

表 2　不同交配及产卵经历对栎旋木柄天牛成虫交配行为的影响（平均值 ± 标准误）

Table 2　Effects of different mating and oviposition experiences on mating behavior of *Aphrodisium sauteri* adults（mean ± SE）

		观察次数（次） Number of observations	交配次数（次） Number of matings	每次交配间隔历时（min） Interval of each Mating	交配间隔总历时（min） Total intervals of matings	每次交配历时（s） Duration of single mating	交配总历时（min） Total duration of matings
雄虫 Male	初次交配 $n=10$ First mating	180	18.00 ± 5.22*	3.57 ± 0.58	59.23 ± 16.05	82.32 ± 2.01	25.10 ± 7.41*
	再次交配 $n=10$ Secondary mating	100	10.00 ± 1.10	6.02 ± 1.39*	54.99 ± 14.70	79.00 ± 8.87	13.32 ± 2.33
雌虫 Female	初次交配 $n=10$ First mating	160	16.00 ± 5.29	4.03 ± 0.66	62.24 ± 20.63	81.95 ± 5.15	23.54 ± 7.08
	再次交配 $n=10$ Secondary mating	156	15.60 ± 2.42	3.88 ± 0.74	55.67 ± 7.21	73.14 ± 5.73	18.32 ± 4.47

注:数据后标有* 表示在 0.05 水平上差异显著（ t-test）。

Data followed by asterisk indicate significantly different at 0.05 level by t-test.

F ~ H）。产卵时，雌虫产卵器和腹部末端上下小幅蠕动。产卵结束后雌虫即离开，卵表面无任何覆盖物。刚产下的卵黄色、柔软有黏性，能牢牢地粘在树皮上或卡在裂缝内，1 ~ 2 d 后卵壳变硬。雌虫每次产卵 1 粒，若树皮裂缝或疤痕内空间较大，可产 4 ~ 5 粒，同一雌虫再次路过时仍会产卵。雌虫每产 1 粒卵平均需时 99.6 s（36 ~ 300 s）（n = 40），并随雌虫日龄的增长显著加长。每头雌虫平均每日产卵 7.89 粒（1 ~ 16 粒）（n = 18），平均总产卵量 26.20 粒（n = 15）。

2.7　林间诱集效果

3 种诱捕器分别诱到成虫 0、2（1 雄、1 雌）、1（1 雌）头。诱捕器挂好后约 3 h 有成虫飞来。引诱来的成虫均未进入诱捕器中，诱捕器③诱来的雌虫距离诱捕器不足 0.5 m，在诱捕器附近的叶片上缓慢爬行。诱捕器②诱来的 2 头成虫发现时与诱捕器还有 3 ~ 5 m 的距离。裸虫引诱来雄虫 5 头、雌虫 0 头。雌虫放上枝条后 1 h 左右便有雄虫飞来。仅 1 头雄虫锁定雌虫位置后抱对成功，其它雄虫均在附近来回盘旋。综合上述结果：成虫之间存在明显的吸引现象，其中雌虫对雄虫的引诱活性更强。

3　讨论

嵇保中等（2002）将天牛聚集行为归纳为 3 类：1. 在成虫补充营养场所聚集；2. 在产卵场所聚集。上述两类通过特定场所实现远距离聚集后，性信息素在近距离内发挥作用；3. 性信息素作用距离较远，成为个体聚集的重要媒介物质。这类天牛的成虫一般不具有补充营养习性。栎旋木柄天牛成虫仅补充水和蜜露等液体物质，但在林间开花植物上没有发现成虫的聚集现象。室内和林间引诱试验中成虫之间表现出较明显的吸引作用，在蚊帐中对近距离求偶行为的观察发现，雌雄虫均可吸引对方。同时，研究过程中发现雌雄成虫都会释放较强烈的芳香性气味。林间裸虫引诱时，雌虫的引诱力更强。但在以雄虫为诱芯的诱捕器附近也发现有雌虫。雌雄成虫谁是性信息素的释放者，是否存在阶段性角色分工与转化；芳香性气味物质在成虫聚集和生殖活动中的作用等，还需要进一步研究确定。目前的研究已经证明多种天牛的性信息素可在短距离内产生作用，而对于栎旋木柄天牛这类无明显补充营养现象，通过远距离性信息素聚集的种类则还缺少相关研究报道。在本次试验中我们所观察到的这些现象，是对此类天牛成虫生殖行为的理论补充。

虽然因林间引诱试验时已是成虫羽化末期且林间成虫密度较低等原因，导致成虫诱集数量不多，但可以证明成虫之间确实存在远距离的吸引力。目前国内利用天牛成虫性信息素进行天牛防



图 3　栎旋木柄天牛交配、产卵行为及产卵部位

Fig. 3　Mating and ovipositing behaviors and oviposition sites of *Aphrodisium sauteri*

A. 交尾间隔状 situation of interval of matings; B. 交尾状 situation of matings; C. 竞争情况下交配后保护 protection after mating when competition; D. 寻找产卵部位 searching for oviposition site; E. 产卵 ovipositing; F. 卵产于树皮裂缝内 eggs laid in cracks of bark; G. 卵产于枝条疤痕内 an egg laid in a scar of branches; H. 卵产于树皮表面 an egg laid in bark surface.

治的研究很少。栎旋木柄天牛危害主要发生在高山地区,化学防治和生物防治面临交通不便、虫源有限等不利因素。本次试验的这一发现可以为今后对该天牛的防治研究提供新的思路和理论基础。结合虫害木清理,室内羽化采集成虫,开展活虫林间引诱可以作为一项简便有效的防治措施;如能进一步查明信息素成分,开发出高效的人工诱芯,则可克服虫源限制,提高引诱和防治效果。但该虫雌雄均多次交配,基于生殖行为的引诱,对林间种群的实际影响还需要深入考察。

试验发现,雄虫在羽化出孔后的第 1 日不交配,而雌虫却存在交配活动。从雌雄成虫羽化出孔时序特点看,早期主要为雄虫,中、后期雌虫逐渐增多,这与多数昆虫的情况类似,这种雌虫出孔后即可发生交配,而雄虫不能的情况,是室内小范围密集个体出现的现象,还是林间普遍存在的自然情况,有待研究查明。

栎旋木柄天牛雌雄成虫均可多次交配。一次交配历时较长,但交配完成后雌雄即分离,保护时间很短甚至没有。交配后雌虫不立即产卵,产卵前期约 30 h。雌虫主要通过产卵器上的感器确定产卵场所。雌虫口器不发达,产卵前不制作刻槽,主要选择树皮裂缝、枝条疤痕等天然场所产卵,卵表面无覆盖物。产卵行为与红腹柄天牛 *A. faldermannii rufiventris* Gressitt(黄志森,2005)、皱绿柄天牛 *A. gibbicolle* White(涂克林等,2006)等同属种类相似。栎旋木柄天牛主要危害活立木,产卵量较低。卵裸露于树皮表面或裂缝内,存活率极易受到天敌、恶劣天气等不利因素的影响。但近年来在不同省份却屡有该虫暴发成灾的报道,其卵期的保护机制值得探索。

参考文献(References)

Allison JD, Borden JH, Seybold SJ, 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *J. Chemoecol.*, 14 (3/4):123—150.

Hanks LM, 1999. Influence of the larval host plant on reproductive strategies of cerambycid beetles. *Annu. Rev. Entomol.*, 44 (1):483—505.

Linsley EG, 1959. Ecology of Cerambycidae. *Annu. Rev. Entomol.*, 4(1):99—138.

黄志森, 2005. 红腹柄天牛的生物学特性. 华东昆虫学报, 14 (2):128—131.

嵇保中, 魏勇, 黄振裕, 2002. 天牛成虫行为研究的现状与展望. 南京林业大学学报, 26 (2):79—83.

江望锦, 嵇保中, 刘曙雯, 宋杰, 2005. 天牛成虫信息素及嗅觉感受机制研究进展. 昆虫学报, 48 (3):427—436.

刘世儒, 郭树嘉, 1989. 台湾柄天牛的初步研究. 山东林业科技, (3): 51—55.

刘玉军, 叶要清, 吴俊, 王滨, 张龙娃, 丁德贵, 2009. 台湾柄天牛生物学习性及危害特性. 中国森林病虫, 28 (2):18—19 转 26.

刘玉军, 张龙娃, 何亚琼, 王滨, 丁德贵, 李增智, 2008. 栎旋木柄天牛高毒力球孢白僵菌菌株的筛选. 昆虫学报, 51 (2): 143—149.

卢风亭, 劳宁军, 张宗尧, 王春长, 刘成超, 1985. 栎旋木柄天牛的初步研究. 森林病虫通讯, (1):1—5.

涂克林, 李贵玉, 薛振南, 李光平, 蒋得斌, 廖德宝, 2006. 皱绿柄天牛生物学特性的研究. 广西林业科学, 35 (2): 61—65.

王广利, 迟德富, 2007. 天牛化学通讯及其在害虫综合治理中的应用. 林业科学, 43(9):88—95.

杨洪, 王进军, 赵志模, 杨德敏, 唐志强, 2007. 松褐天牛的交配行为. 昆虫学报, 50(8):807—812.

俞云祥, 2002. 三清山景区高海拔地带的 3 种森林害虫记述. 江西林业科技, (5):25—26.

周琳, 马志卿, 冯岗, 张兴, 2006. 天牛性信息素、引诱植物和植物性引诱剂的研究与应用. 昆虫知识, 43 (4): 433—438.