

视觉和触角在栗山天牛雄虫近距离 搜寻配偶行为中的作用

魏建荣^{1,*}, 高 纯², 高俊崇³, 董丽君¹

(1. 河北大学生命科学学院, 河北保定 071002; 2. 辽宁省宽甸县森林病虫害防治站, 辽宁宽甸 118200;
3. 吉林省森林病虫害防治站, 长春 130022)

摘要: 栗山天牛 *Massicus raddei* (Blessig) 是中国栎树类树种的主要蛀干害虫, 在吉林省和辽宁省主要危害蒙古栎 *Quercus mongolica* 和辽东栎 *Quercus liaotungensis* 的主干, 给当地造成了重大的经济损失和生态灾害。为了明确是否有信息化学物质参与雄性成虫的配偶搜寻和识别过程中, 采用行为观测笼, 分别对栗山天牛雄虫的视觉和嗅觉作用进行了研究。结果显示: 致盲后的雄虫能进行正常的配偶搜寻和交尾, 而且正常的雄虫对只有视觉刺激而无化学刺激的蜡封雌虫尸体毫无反应, 说明视觉对雄虫搜寻配偶所起的作用很小。切除 7 节以上鞭节的雄虫交尾次数大大下降, 切除全部 9 节鞭节的雄虫完全不能实现交尾行为, 而切除全部鞭节的雌虫能正常交尾, 说明雄虫的触角特别是其端部 7 节鞭节在识别配偶并成功交尾方面起着重要的作用, 并且可能由其感受雌虫所释放的信息化学物质。

关键词: 栗山天牛; 搜寻行为; 交尾; 视觉; 蛀干害虫

中图分类号: Q963 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2013)07-0824-07

Roles of vision and antennae in the short-distance mate searching behavior of male adults of *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae)

WEI Jian-Rong^{1,*}, GAO Chun², GAO Jun-Chong³, DONG Li-Jun¹ (1. College of Life Sciences, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China; 2. Kuandian Forest Pest and Disease Control Station, Kuandian, Liaoning 118200, China; 3. Forest Pest and Disease Control and Quarantine General Station of Jilin Province, Changchun 130022, China)

Abstract: *Massicus raddei* (Blessig) is a main wood borer of chestnut tree in China and it attacks the trunk of *Quercus mongolica* and *Quercus liaotungensis* in Liaoning and Jilin provinces, Northeast China. It has already caused serious damage to the local economy and forest ecology. In order to explore whether semiochemicals would help the male mate-searching, we devised a bioassay cage to observe the searching and mating behavior of male adults of *M. raddei*, and to access their visual and olfactory capability from their behavior. The results showed that the blind males could have normal searching and mating behavior. The normal males had no behavioral response to dead females enveloped with paraffin. Both results indicated that vision plays little role on the process of males searching for females. The searching and mating ability of males, with seven segments of antennal flagella removed significantly decreased. Removing whole antennal flagella would deprive the mating capability of males. However, the females who lost the whole antennal flagella could still successfully mate with the normal males. These results suggest that male antennae, especially the terminal seven segments, play important roles in searching and mating behavior of males and may contribute to sensing the semiochemicals released from females.

Key words: *Massicus raddei*; searching behavior; mating; vision; wood borer

栗山天牛 *Massicus raddei* (Blessig) 属鞘翅目 (Coleoptera) 天牛科 (Cerambycidae), 是自 20 世纪 90 年代以来在我国东北林区危害严重的蛀干性害

虫, 主要钻蛀取食辽东栎 *Quercus liaotungensis* 和蒙古栎 *Quercus mongolica* 的主干, 给以栎树为主的天然次生林带来重大的生态灾害和经济损失 (唐艳龙

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题 (2006BAD08A12); 河北大学自然科学研究计划项目 (2010-205)

作者简介: 魏建荣, 男, 1972 年 11 月生, 博士, 研究员, 主要从事林木害虫生物防治和化学生态学研究, E-mail: weijr@hbu.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author, Tel.: 0312-5077334; E-mail: weijr@hbu.edu.cn

收稿日期 Received: 2013-03-30; 接受日期 Accepted: 2013-05-23

等, 2010)。成虫体呈灰棕色, 个体较大, 体长 4.0~4.8 cm, 体宽 1.0~1.5 cm。触角近黑色, 约为体长的 1.5 倍, 共 11 节, 第 1 节为柄节, 粗大呈筒状, 第 3 节较长, 约等于第 4 和 5 节之和, 其中第 3~11 节均为鞭节(陈世襄等, 1959)。栗山天牛在东北地区 3 年发生 1 代, 较为整齐, 每 3 年出现 1 次大规模的成虫羽化, 7 月下旬至 8 月上旬为成虫的羽化盛期, 成虫历期约 30 d(高纯等, 2008)。成虫白天和夜晚均活动, 但在夜晚活动较强(唐艳龙等, 2011), 有较强的趋光性(高纯等, 2008; 姜莉等, 2010)。雌虫的平均寿命约为 22.3 d, 雄虫的平均寿命约为 19.1 d(孙家礼等, 2010)。

栗山天牛幼虫营隐蔽性生活, 较难防治, 目前研究和应用较多的是利用其天敌昆虫进行生物防治(姜杰和郑柏华, 2005; Wei *et al.*, 2008, 2009; 魏建荣等, 2009; 王小艺等, 2010; Yang *et al.*, 2013)。成虫期主要采用灯光诱集、人工捕捉的方法进行防治(高纯等, 2008; 姜静等, 2010), 但在郁闭度较大的林区, 由于灯光照射距离有限, 因此诱虫灯间的距离不能太远, 而且因成虫多降落于诱虫灯附近的树干上而很少直接扑灯, 故还需人工在光源附近实施抓捕, 导致灯诱的成本较高。

昆虫个体释放的性信息素或聚集信息素是吸引同种其他个体的信息化学物质, 可以利用人工合成的这类信息化学物质监测害虫的发生或对害虫进行控制, 目前已鉴定出天牛科一些种类的性信息素或聚集信息素(Allison *et al.*, 2004; 王广利和迟德富, 2007)。如果栗山天牛个体也能够释放吸引同种其他个体的信息化学物质, 那么就可以将这类信息化学物质应用到栗山天牛的监测与防治实践中。作者在林间观察发现, 成虫两性交尾前主要是雄性追逐雌性, 因此, 本研究试图通过观察雄虫在近距离内搜索异性的行为, 分析栗山天牛雄虫在寻找雌虫的过程中是否涉及到信息化学物质。同其他昆虫一样, 天牛的嗅觉感器主要分布在触角上(宁眺等, 2004; 程红等, 2008), 其鞭节在雄性识别雌性方面起着重要作用(Lu *et al.*, 2007), 因此, 本研究的重点是通过测试雄成虫触角鞭节在寻找异性时的作用, 推断雌雄成虫间是否存在化学信号联系。

很多昆虫在近距离寻找配偶时, 会综合应用视觉和嗅觉感受外界刺激以作出相应的行为反应(Strom *et al.*, 2001; Szentesi *et al.*, 2002; Fukaya *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2007)。因此, 本研究需首先搞清楚视觉因素在雄虫寻找雌虫时是否起作用, 即是

否会影响到成虫对嗅觉刺激因子的判断和反应。

1 材料与方法

1.1 试虫来源

供试的栗山天牛成虫采自辽宁省宽甸县大西岔镇。2008 年和 2011 年分别是 3 年一度的成虫大量羽化年份。分别于当年的 7 月下旬成虫羽化期, 每天晚上 21:00~23:00 在受害林分中用黑光灯诱捕成虫, 带回室内。室内实验所使用的成虫为前一天晚上灯诱所得。

1.2 行为观测笼的制作

参考 Fukaya (2004) 的方法, 略作改变, 设计制作栗山天牛行为观测笼(长×宽×高=120 cm×60 cm×60 cm)。笼架以不锈钢制作, 四周以白布围罩, 留一面开口(60 cm×60 cm)进行实验操作和观察。由于栗山天牛雄虫触角横向展开的最大幅度可以达到 18 cm, 因此在笼底白布上用铅笔绘成如图 1 所示小方格, 方格大小为 20 cm×20 cm。观测笼水平放于地面。根据栗山天牛的活动习性(唐艳龙等, 2011), 实验在每晚 19:30 以后进行。

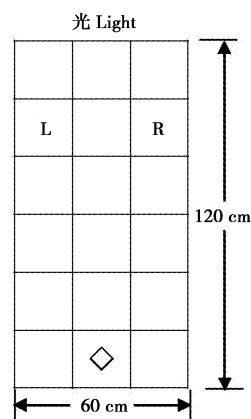


图 1 行为观测笼示意图

Fig. 1 Diagrammatic drawing of bioassay cage
“L”或“R”示蜡封成虫位置; 菱形框示雄虫释放位置。“L” or “R” indicate the position of females enveloped with paraffin. The diamond box indicate the position of releasing males.

1.3 雄虫致盲后对雌虫的行为反应

取 3 对活跃的栗山天牛成虫, 将雄虫的复眼全部用棕色漆涂抹致盲, 然后引入图 1 所示观测笼, 持续观察 60 min, 记录雌雄虫的交尾次数。观察时借助于笼外较为微弱的散射光(照度为 200~300 lx), 可以看清楚雌、雄虫的行为。

1.4 正常雄虫对蜡封雌虫的行为反应

将 1 头活体雌虫置于 -20℃ 条件下 2 h 以上,

冷冻致死,然后置于常温下,待虫体温度恢复常温后,立即调整虫体形态如正常爬行的姿态,迅速投入溶化的切片用石蜡对虫体全身进行封蜡,然后取出。目的是隔绝雌虫虫体释放的化学物质(魏建荣等,2008)。

在观测笼观察口的正对面一侧笼外 30 cm 处设置一盏功率为 25 W 的光源,透过白布进入笼内的灯光为较为柔和的散射光。取石蜡封好的 1 头雌虫置于图 1 中的“L”或“R”点,实验开始时,取行动活跃的雄虫放在图 1 中的“◇”点,以头部朝向对面的光源释放,观察其行动方向和轨迹。实验于 19:30 开始,每次释放 1 头雄虫,雄虫爬出或飞出图 1 所示范围或趴在原释放点 5 min 不动,即结束观察,该虫不作为有效数据进行统计,更换新成虫重新进行释放、观察。每释放 1 头雄虫前,将雌虫所处的位置于“L”或“R”处进行互调,以避免方向性所带来的影响。同一天内雌虫在“L”处的观察结果和“R”处的观察结果各为 1 组重复,实验进行 2 天共 4 组重复,总计释放雄成虫 84 头。

根据雌成虫所处的位置,将图 1 中每个小方格内雄虫的行动方向和轨迹分为 3 类:雄虫朝着雌虫所在的方向爬,称为“趋向”;雄虫在小方格内沿释放方向朝光源直行,称为“直行”;雄虫朝向除上述方向以外的其他方向爬,称为“偏离”。统计距离雌虫所处位置不同方格内雄虫的行动方向和轨迹,并记录雄虫是否有试图与蜡封雌虫交尾的行为。

1.5 雄成虫触角在寻找配偶时的作用

预备实验显示,切除掉 3 节鞭节后的雄成虫,其在近距离内搜寻配偶的行为与正常雄虫没有区别,因此本实验只对切除 4 节鞭节后的雄虫行为开始观察记录。取行动活跃的雄虫 3 头,分别从其触角鞭节的端部起始计算,切去 4 节鞭节后引入图 1 所示的行为观测笼,再引入活跃的正常雌虫和雄虫各 3 头。为了在观察中有效识别各头成虫,采用不同颜色的油漆在其鞘翅上进行标记。观测笼外正上方 2 m 处设置一台 40 W 日光灯以提供光源。观察从每晚 19:30 开始,至 21:30 结束,即以 2 h 作为一个观察时间单位,人工记录成虫的接触和交尾次数。每天更换新的试虫,重复观测 3 次。再顺序切除雄虫触角 5, 6, 7, 8 和 9 节鞭节后,分别重复上述实验。

1.6 雌成虫触角对雌雄虫交尾的影响

在近距离内,雌、雄虫之间可能存在有互动反应,因此雌虫的触角也可能参与影响两性间的接触

和交尾。取行动活跃的雌虫 3 头,分别用不同颜色油漆标记后切掉其触角全部鞭节,引入行为观测笼,再引入活跃的正常雌虫和雄虫各 3 头。实验条件和观察方法同 1.5 节中对雄虫的观察。更换新的试虫重复 3 次观测。

1.7 数据统计分析

运用 SPSS 13.0 软件进行数据分析。采用 One Way ANOVA 中的 Tukey 法对下列数据开展多重比较:雄虫对蜡封雌虫的行为反应试验中,在距雌虫同一水平距离的方格内雄虫在不同行进方向之间的数量比较;切掉不同鞭节数后的雄虫交尾次数的比较。采用独立样本 T 检验法对切除部分或全部鞭节的成虫交尾次数与同时在同一观测笼中的正常成虫交尾次数进行比较。原始数据比较前用平方根法(Sqrt)进行归一化处理。

2 结果

2.1 雄虫致盲后对雌虫的行为反应

观察发现,用漆致盲雄虫的复眼不能阻止雄虫找寻雌虫,雄虫活动如常。雄虫在迅速爬行过程中通过触角的摆动仍然可以找到正常雌虫进行交尾。在观察的 60 min 内,其中 1 头雄虫先后与 3 头雌虫发生交尾;1 头雄虫与 2 头雌虫发生交尾;另 1 头则没有发生交尾行为。

2.2 雄虫对蜡封雌虫的行为反应

观察结果显示,释放后有反应的成虫为 66 头,无反应或直接起飞的成虫为 18 头。在实验条件下,雄虫对蜡封的雌虫没有显著的趋向或识别反应(图 2)。即使有 8 头雄虫曾从雌虫体侧或身体上爬过(雄虫触角均已接触到雌虫虫体),但未见有求偶、试图交尾的动作发生,说明雄虫在没有感受到合适的化学刺激时,其视觉对其配偶搜寻行为和交尾行为没有多大作用。同时,也间接说明雄虫对雌虫活体的嗅觉感受对其近距离搜寻和交尾极为重要。

2.3 切掉不同节数鞭节的雄虫与正常雌虫的交尾次数

切掉不同节数鞭节后的雄虫与正常雌虫的交尾次数,均低于同笼观察的正常雄虫(图 3),其中,切掉 7, 8 和 9 节鞭节后的雄虫与正常雌虫的交尾次数,分别与正常雄虫相比均有显著差异(分别为 $t = -5.263$, $df=6$, $P < 0.01$; $t = 4.215$, $df=6$, $P < 0.01$; $t = 14.348$, $df=4$, $P < 0.01$)。切掉不同节数鞭节后的雄虫交尾次数在不同实验组间有显著差

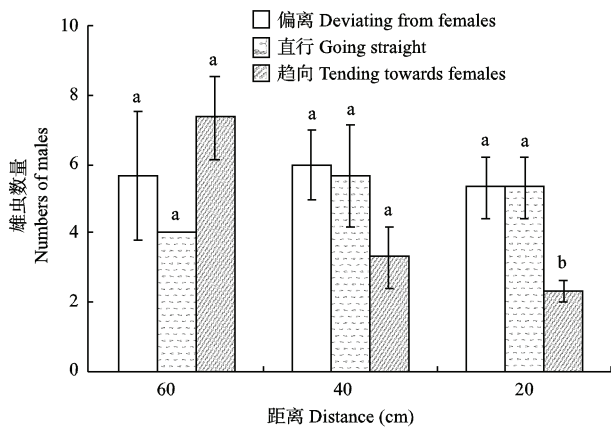


图2 距蜡封栗山天牛雌虫不同距离时雄虫在不同行走方向上的数量比较

Fig. 2 Comparison of the number of male adults of *Massicus raddei* on different walking directions from different distance with females enveloped with paraffin

柱顶小写字母不同显示同一距离内选择3种不同行走方向的雄虫数量有显著差异($P < 0.05$)。Different lowercase letters above bars mean significant difference in number of male adults on different walking directions in the same distance ($P < 0.05$).

异, 其中切掉4节鞭节后的雄虫交尾次数显著高于去掉7节以上鞭节的雄虫交尾次数($F = 4.446$, $df = 20$, $P < 0.05$)。正常雄虫的交尾次数在不同实验组间没有显著差异($F = 0.897$, $df = 20$, $P > 0.05$)。

2.4 去掉全部鞭节后的雌虫与正常雄虫的交尾

在观测时间单位内, 去掉全部9节鞭节后的雌虫交尾次数平均为 1.44 ± 0.48 次/头, 同时观测的处于同一观测笼内的正常雌虫的交尾次数为 2.33 ± 1.33 次/头, 两者虽有差异, 但并不显著($t = -0.535$, $df = 4$, $P > 0.05$)。另外, 去掉9节鞭节后的雌虫与正常雄虫的接触次数为 2.33 ± 0.69 次, 同笼内的正常雌虫与雄虫的接触次数为 4.67 ± 1.69 次, 两者差异也不显著($t = -1.345$, $df = 4$, $P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 部分实验设计的问题

观察结果显示, 成虫可以多次交尾, 因此本实

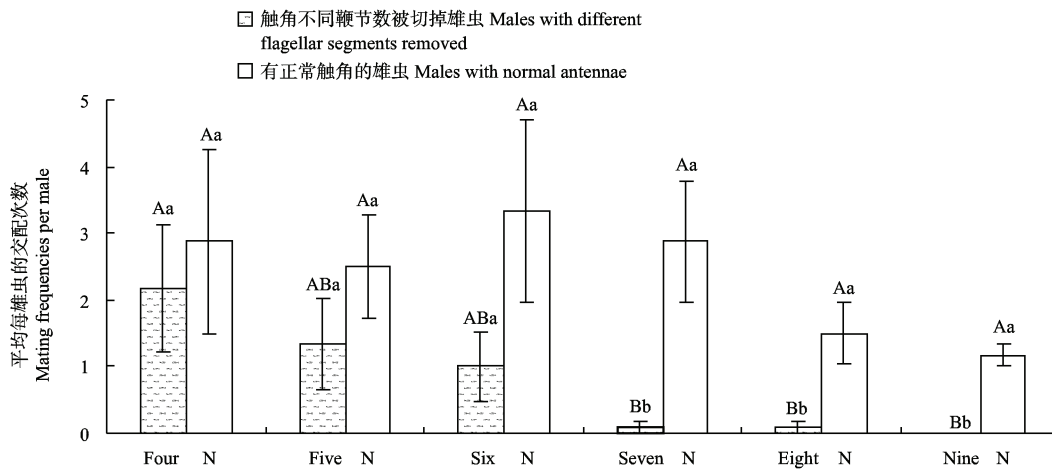


图3 切掉不同节数鞭节的栗山天牛雄虫的交尾次数与正常雄虫的交尾次数比较

Fig. 3 Comparison of mating frequencies between normal male adults and male adults with different flagellar segments removed in *Massicus raddei*

Four – Nine: 分别为切掉4~9节鞭节的雄虫 Males with four to nine flagellar segments removed, respectively; N: 正常雄虫 Normal males. 图中数据为均值 $\pm$ 标准误; 同一组内柱上小写字母不同显示去掉部分鞭节的雄虫与正常雄虫间有显著差异; 柱上大写字母不同表示去掉不同节数鞭节的雄虫间或不同处理组正常雄虫间差异显著 (Tukey 氏检验, $P < 0.01$)。Data are mean $\pm$ SE; Different lowercase letters above bars mean significant difference between males with some flagellar segments removed and normal males (Independent-samples *T* test, $P < 0.05$), while different uppercase letters mean significant difference between males with different flagellar segments removed or between normal males in different treatment groups (Tukey's test, $P < 0.01$).

验可以不必考虑野外采回的供试虫源是否已经交尾, 因其在野外交尾与否并不影响在室内进一步发生交尾行为。采用野外捕捉的成虫作为供试虫源的另外一个原因是室内无法得到足够数量的已知日龄

或生理状态的栗山天牛成虫。

观测笼大小的设计参考了栗山天牛个体的大小。栗山天牛体长一般为 $4.0 \sim 4.8$ cm, 体宽 $1.0 \sim 1.5$ cm (陈世镛, 1959), 但因雄虫的触角较长, 两

根触角的横向伸展幅度可达 18 cm, 因此将笼内小格画成 20 cm × 20 cm。观测中发现, 虽然雄虫在笼中活动时触角不断摆动, 但不会同时横向伸展, 两根触角的摆动方向常有不同。结合长时间的观察, 认为本实验中所使用观测笼的大小基本可以满足实验目的。不过, 更大尺寸的观测笼会更易模拟野外的环境。

在 1.4 节实验中, 作者采用了石蜡密封雌虫虫体的方法以隔绝雌虫身体所携带的化学物质。固体石蜡系固态高级烷烃混合物的俗名, 分子式为 C_nH_{2n+2} , 其中 $n = 20 \sim 40$, 一般为直链烷烃, 还有少量带个别支链的烷烃和带长侧链的单环烷烃, 通常是白色或无色、无味的蜡状固体。因石蜡基本上不挥发和没有味道, 已为有些研究者采用作为昆虫信息素的释放载体 (De Lame *et al.*, 2007)。在一些昆虫触角电位实验中还将液体石蜡 (C_9 - C_{16} , 主要为正构烷烃) 用作对照溶剂 (李建光等, 1999)。另外, 本实验中雌虫体所包裹的蜡层极薄 (石蜡层的厚度 < 0.5 mm), 肉眼从外观上较难看出虫体曾被石蜡封裹, 所以应该不会影响到雄虫对雌虫的视觉识别。若采用冻死后未经处理的成虫直接做实验, 正如樊建庭 (2007) 所指出的, 不能排除虫体上接触信息素的作用。

1.4 节实验中的光源设置系参考昆虫化学生态学实验中风洞设计技术原理 (杜家纬, 1988)。因栗山天牛成虫具有趋光性 (高纯等, 2008; 姜静等, 2010), 因此在释放点的对面设置光源, 可以借助光源的引诱力促使雄虫向前方 (雌虫体所在的大约位置) 爬行。如果采用其他的光源设置方法或不设置光源, 释放后的雄虫将会乱爬, 较难达成实验观察目的。在 Fukaya 等 (2004) 测试星天牛 *Anoplophora chinensis* (Forster) 的实验中 (魏建荣等, 2011), 则是使观测笼向上倾斜 75° 的角度来促使成虫向前爬行。

3.2 雄虫触角对于雄虫近距离搜寻配偶并促成交尾的重要性

作者于栗山天牛成虫活动高峰期在林间调查时发现, 成虫常常在寄主树干上快速爬行, 长长的触角如雷达般迅速摆动, 一旦接触到异性, 雄虫就会迅速爬至雌虫体上, 发生交尾行为。由于触角是昆虫身体上最主要的嗅觉器官, 因此推测嗅觉在搜索异性方面起着重要的作用。本研究结果表明, 栗山天牛雄性触角在近距离搜寻配偶并促成交尾方面起着关键作用, 而视觉在寻找配偶方面所起作用不

大, 这与眉斑并脊天牛 *Glenea cantor* (Fabricius) 不太一样 (Lu *et al.*, 2007), 但可能同一部分其他鞘翅目昆虫相似, 视觉只在识别寄主植物的外形方面起着一定作用 (Szentesi *et al.*, 2002; Goyer *et al.*, 2004)。虽然栗山天牛具有较强的趋光性 (高纯等, 2008; 姜静等, 2010), 但只能说明其视觉的感光性较强, 不等于其在识别配偶方面起重要作用。切掉不同节数鞭节的雄虫的交尾次数受到了影响, 特别是切掉 7 节鞭节后的雄虫, 交尾次数已显著低于失去 4 节鞭节后的雄虫和同组的正常雄虫, 说明雄性触角端部 7 节上生有雄性识别和检测配偶必不可少的感受器。栗山天牛触角鞭节的不同节对嗅觉刺激的感受与嗅觉感器在鞭节不同节上的分布数量有关, 栗山天牛的感器主要分布在端部 7 节, 尤以端部 4 节为最多 (作者将另文发表)。本研究结果与眉斑并脊天牛雄性触角端部 5 节所具有的不可替代的功能 (Lu *et al.*, 2007) 相似, 但与松褐天牛 *Monochamus alternatus* Hope 的嗅觉识别有些差异, 松褐天牛雄虫在失去整个触角的情况下仍然可以找到雌虫, 发生交尾行为 (樊建庭等, 2007)。

如果说雄虫的多节鞭节 (超过 7 节) 被切掉后仍然可以借助除嗅觉以外的视觉或机械感器找到配偶, 但可能由于切除鞭节引发了雄虫身体的痛觉反应, 进而影响到雄虫的积极交尾行为, 那么正常雄虫对蜡封雌虫尸体没有丝毫反应, 说明确实有与嗅觉感受有关的信息化学物质参与到雄虫触角识别雌虫的过程中, 当然也不排除与振动 (机械感器感受) 有关的信息。对于活体雌虫发出的振动信息是否会影响雌、雄虫间的互动, 还需要借助录制相应的振动信号后进行回放, 以观察雄虫的反应, 不过, 即使雄虫对雌虫发出的振动信号有搜寻反应, 这种信号的传播距离也可能极短, 不具备在生产实践中应用的价值。

失掉全部鞭节后的雌虫仍能与正常雄虫进行交尾, 说明雌成虫的触角在两性交尾中可能起次要作用, 也间接说明雌虫可能不需要感受来自雄虫的信息化学物质也能够实现两性交尾。

本研究采用了切除触角的方式研究雄、雌虫触角的作用, 这种手术式的研究方法可能会对成虫的神经产生影响。未来研究中应尽可能采用其他对虫体伤害较小的方法, 或许采用纳米级的胶质材料涂抹待研究的触角相关区域是未来的解决办法。

3.3 观测笼中雄虫与雌虫的接触

在记录观测笼中雌、雄虫交尾次数的同时, 记

录了雌雄虫间具有互动反应的接触次数。结果显示, 切掉不同节数鞭节后的雄虫与雌虫的接触次数均少于处于同一笼中同时观测的正常雄虫, 但无显著性差异。切掉不同节数鞭节的雄虫与正常雌虫的接触次数也无显著性差异 ($F = 2.175$, $df = 20$, $P > 0.05$)。即使切掉全部鞭节后的雄虫也与雌虫有短促的互动反应, 这可能与触角鞭节外的其他部位的感受器有关, 包括触角柄节上的刺、下颚须与下唇须(宁眺等, 2004), 以及分布于足上的一些感受器, 当然也包括其视觉。此外, 与失掉鞭节的雄虫发生互动反应的是正常雌虫, 其感觉器官也会对雄虫有一定的反应。

3.4 下颚须和下唇须的作用

眉斑并脊天牛的下颚须对雄虫的配偶搜寻和交尾行为没有多大影响(Lu *et al.*, 2007)。本研究, 失掉 9 节鞭节后的栗山天牛雄虫, 虽然还保留有完整的下颚须与下唇须, 但已完全不能与雌性交尾, 说明雄虫下颚须与下唇须对促成交尾的作用远小于触角。另外作者曾在预备实验中发现, 保留触角鞭节但已切掉下颚须与下唇须的雄性, 能够和正常雄性一样与雌虫正常交尾, 因此在本实验中未进一步对雄性下颚须与下唇须的作用进行研究。

3.5 栗山天牛成虫释放的信息化学物质

对于天牛科的大多数种类来说, 目前仍未鉴定出具有长距离作用效果的性信息素(Allison *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2007; 王广利和迟德富, 2007)。栗山天牛是否存在长距离作用的性信息素目前仍未可知, 作者推测栗山天牛可能是根据寄主植物的化学和物理信息首先找到寄主树木, 然后雄虫通过感受雌虫的一些接触类信息化学物质找到配偶, 这类物质可能是纯粹的性信息素, 也可能是性信息素前体发生氧化等化学反应后的产物(Wichham *et al.*, 2012), 这类产物或许具有一定的挥发性, 并与寄主植物相关的信息素类物质共同起作用。基于本试验设计的研究还未能判断出雄虫触角感受的是挥发性还是非挥发性的信息素, 体表物质提取实验(Fukaya *et al.*, 2004; 樊建庭等, 2007)和完全消除视觉影响的风洞或“Y”型嗅觉仪实验(Wichham *et al.*, 2012)将是下一步的研究内容, 如果这类信息化学物质具有较强的挥发性, 则可以在生产实践中进行应用以监测或控制栗山天牛。

致谢 中国林业科学研究院唐艳龙博士曾帮助在野外采集天牛成虫, 河北大学生物科学专业 2009 级

学生张永超参与了部分室内观察工作, 在此一并致谢!

参考文献 (References)

- Allison JD, Borden JH, Seybeld SJ, 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecology*, 14(3-4): 123-150.
- Chen SX, Xie YZ, Deng GF, 1959. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 1. Coleoptera: Cerambycidae. Science Press, Beijing. 43. [陈世襄, 谢蕴贞, 邓国藩, 1959. 中国经济昆虫志(第1册). 鞘翅目: 天牛科. 北京: 科学出版社. 43]
- Cheng H, Yan SC, Xu B, Li J, Peng L, 2008. The ultrastructure and distribution of main antennal sensilla of *Xylotrechus rusticus*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(2): 223-232. [程红, 严善春, 徐波, 李杰, 彭璐, 2008. 青杨脊虎天牛触角主要感器的超微结构及其分布. 昆虫知识, 45(2): 223-232]
- De Lame FM, Miller JR, Attrerholt CA, Gut LJ, 2007. Development and evaluation of an emulsified paraffin wax dispenser for season-long mating disruption of *Grapholita molesta* in commercial peach orchards. *J. Econ. Entomol.*, 100(4): 1316-1327.
- Du JW, 1988. Insect Pheromone and Application. China Forestry Publishing House, Beijing. 118-125. [杜家纬, 1988. 昆虫信息素及其应用. 北京: 中国林业出版社. 118-125]
- Fan JT, Wei W, Sun JH, 2007. Does the contact sex pheromone of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, exist? *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(1): 125-129. [樊建庭, 韦卫, 孙江华, 2007. 松墨天牛是否存在雌性接触信息素? 昆虫知识, 44(1): 125-129]
- Fukaya M, Akino T, Yasuda T, Yasui H, Wakamura S, 2004. Visual and olfactory cues for mate orientation behaviour in male white-spotted longicorn beetle, *Anoplophora malasiaca*. *Entomol. Exp. Appl.*, 111(2): 111-115.
- Gao C, Meng YJ, Xu DW, Zhang H, 2008. Control methods of *Massicus raddei* adult. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology*, (1): 56-57. [高纯, 孟怡君, 徐大伟, 张辉, 2008. 栗山天牛成虫期防治技术. 辽宁林业科技, (1): 56-57]
- Goyer RA, Lenhard GJ, Strom BL, 2004. The influence of silhouette color and orientation on arrival and emergence of *Ips* pine engravers and their predators in loblolly pine. *Forest Ecol. Manag.*, 191: 147-155.
- 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, 孙光冀, 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, Luo YQ, Jin YJ, 1999. Electroantennogram activity of ash-leaf maple (*Acer negundo*) volatiles to *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). *Journal of Beijing Forestry University*, 21(4): 1-5. [李建光, 骆有庆, 金幼菊, 1999. 复叶槭挥发性物质对光肩星天牛的触角电位反应. 北京林业大学学报, 21(4): 1-5]

- Lou J, Zheng BH, 2005. Mass rearing of *Sclerodermus guani* and its application in control of *Massicus raddei*. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology*, (6): 29–30. [娄杰, 郑柏华, 2005. 管氏肿腿蜂人工繁殖及在防治栗山天牛中的应用. 辽宁林业科技, (6): 29–30]
- Lu W, Wang Q, Tian MY, He XZ, Zeng XL, Zhong YX, 2007. Mate location and recognition in *Glenea cantor* (Fabr.) (Coleoptera: Cerambycidae; Lamiinae): roles of host plant health, female sex pheromone, and vision. *Environ. Entomol.*, 36(4): 864–870.
- Ning T, Liu YJ, Sun JH, 2004. The ultrastructure of sensilla on head of *Monochamus alternatus* adult. *Entomological Knowledge*, 41(6): 566–571. [宁眺, 刘拥军, 孙江华, 2004. 松墨天牛成虫头部感受器超微结构的观察. 昆虫知识, 41(6): 566–571]
- Strom BL, Goyer RA, Shea PJ, 2001. Visual and olfactory disruption of orientation by the western pine beetle to attractant-baited traps. *Entomol. Exp. Appl.*, 100: 63–67.
- Sun JL, Sun GJ, Dong XN, Gao ZQ, Tang YL, Jiang J, Yang ZQ, 2010. Studies on biological characteristics and biocontrol techniques for *Massicus raddei*. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology*, (4): 5–7, 11. [孙家礼, 孙光冀, 董小宁, 高志强, 唐艳龙, 姜静, 杨忠岐, 2010. 栗山天牛的生物学特性及生物防治技术研究. 辽宁林业科技, (4): 5–7, 11]
- Szentesi Á, Weber DC, Jermy T, 2002. Role of visual stimuli in host and mate location of the Colorado potato beetle. *Entomol. Exp. Appl.*, 105(2–3): 141–152.
- Tang YL, Jiang L, Yang ZQ, Wang XY, Lv J, Suo M, 2011. Activity rhythm of *Massicus raddei* adult (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Environmental Entomology*, 33(1): 17–24. [唐艳龙, 姜静, 杨忠岐, 王小艺, 吕军, 索默, 2011. 栗山天牛成虫的活动规律. 环境昆虫学报, 33(1): 17–24]
- Tang YL, Yang ZQ, Wei JR, Wang XY, Wang XH, Wang W, 2010. Research progress of *Massicus raddei* Blessig (Coleoptera: Cerambycidae). *Forest Pest and Disease*, 29(3): 30–33, 26. [唐艳龙, 杨忠岐, 魏建荣, 王小艺, 王晓红, 王伟, 2010. 栗山天牛研究进展. 中国森林病虫, 29(3): 30–33, 26]
- Wang GL, Chi DF, 2007. The chemical communication and their application in integrated pest management in the Cerambycidae (Coleoptera). *Scientia Silvae Sinicae*, 43(9): 88–95. [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]
- Wang XY, Yang ZQ, Tang YL, Jiang L, Gao C, Liu YC, Zhang XW, 2010. Parasitism of *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethyidae) on the young larvae of *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(6): 675–682. [王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 姜静, 高纯, 刘云程, 张显文, 2010. 白蜡吉丁肿腿蜂对栗山天牛低龄幼虫的寄生作用. 昆虫学报, 53(6): 675–682]
- Wei JR, Yang ZQ, Hao HL, Du JW, 2008. (R)-(+)-limonene, kairomone for *Dastarcus helophoroides* (Fairmaire), a natural enemy of longhorned beetles. *Agr. Forest. Entomol.*, 10(4): 323–330.
- Wei JR, Yang ZQ, Poland TM, Du JW, 2009. Parasitism and olfactory responses of *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrididae) to different cerambycid hosts. *BioControl*, 54(6): 733–742.
- Wei JR, Yang ZQ, Tang H, Ma JH, Du JW, 2008. Behavior of a cerambycid parasitoid beetle (*Dastarcus helophoroides*). *Scientia Silvae Sinicae*, 44(7): 50–55. [魏建荣, 杨忠岐, 唐桦, 马建海, 杜家伟, 2008. 花绒寄甲成虫的行为观察. 林业科学, 44(7): 50–55]
- Wei JR, Yang ZQ, Wang PY, Sun XG, Sun LG, 2009. Control of *Massicus raddei* (Blessig) (Coleoptera: Cerambycidae) by parasitic beetle *Dastarcus helophoroides* Sharp (Coleoptera: Bothrididae). *Chinese Journal of Biological Control*, 25(3): 285–287. [魏建荣, 杨忠岐, 王平彦, 孙绪良, 孙垒光, 2009. 利用花绒寄甲控制栗山天牛林间试验效果. 中国生物防治, 25(3): 285–287]
- Wei JR, Zhao WX, Zhang YA, 2011. Research progress on *Anoplophora chinensis*. *Plant Quarantine*, 25(5): 81–85. [魏建荣, 赵文霞, 张永安, 2011. 星天牛研究进展. 植物检疫, 25(5): 81–85]
- Wickham JD, Xu Z, Teale SA, 2012. Evidence for a female-produced, long range pheromone of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Insect Science*, 19(3): 355–371.
- Yang ZQ, Tang H, Wang XY, Wei JR, Zhao HB, 2013. A new species of *Cerchysiella* (Hymenoptera: Encyrtidae) parasitic in larva of chestnut trunk borer (Coleoptera: Cerambycidae) from China with notes on its biology. *J. Nat. Hist.*, 47(3(4)): 129–138

(责任编辑: 袁德成)