

两种对云斑天牛有林间诱捕效果的植物源物质*

张冬勇^{1**} 柳建定² 王菊英² 朱 宁¹ 徐华潮¹ 樊建庭^{1***}

(1. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 杭州 311300; 2. 余姚市森林病虫害防治检疫站, 宁波 315400)

摘 要 【目的】为了探明对云斑天牛 *Batocera horsfieldi* (Hope)有效的引诱物质。【方法】研究了云斑天牛对白蜡树、山核桃、黄山栎树和野蔷薇 4 种寄主植物的室内取食偏好性,采用动态顶空吸附法结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析了植物挥发物成分,然后利用触角电位-气相色谱联用技术(GC-EAD)测定植物挥发物对云斑天牛触角的反应,最后对相关化合物进行了野外诱捕试验。【结果】结果表明:云斑天牛最喜欢取食的寄主植物是白蜡树,其次是黄山栎树和山核桃,野蔷薇没有取食;寄主植物挥发物成分中,萜烯类和烷烃类等物质占主要成分,不同寄主植物的挥发物中多种成分存在显著性差异;壬醛引起了云斑天牛显著的 GC-EAD 反应;最后,林间诱捕试验结果显示,顺-3-己烯醇和壬醛分别在林间诱捕到了一定量的云斑天牛,并且都是雄虫,同时顺-3-己烯醇还诱捕到了星天牛 *Anoplophora chinensis* (Forster)。【结论】试验结果说明,顺-3-己烯醇和壬醛是两种对云斑天牛具有林间引诱效果的植物源物质,同时,顺-3-己烯醇是云斑天牛和星天牛共享的植物源引诱物质。

关键词 云斑天牛, 取食, GC-MS, GC-EAD, 诱捕

Two plant compound lures for trapping *Batocera horsfieldi* (Hope) in the field

ZHANG Dong-Yong^{1**} LIU Jian-Ding² WANG Ju-Ying² ZHU Ning¹
XU Hua-Chao¹ FAN Jian-Ting^{1***}

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China;

2. Yuyao Forest Pest Control and Quarantine Station of Zhejiang, Ningbo 315400, China)

Abstract [Objectives] To identify effective lures for trapping *Batocera horsfieldi* (Hope). [Methods] The feeding preferences of *B. horsfieldi* adults on the host plants *Carya cathayensis* Sarg., *Fraxinus chinensis* Roxb., *Koelreuteria integrifoliola* Merr. and *Rosa multiflora* Thunb. were studied. We used the adsorption method combined with GC-MS to analyze host plant volatiles extracted from healthy branches of these plants, and GC-EAD to detect the antennal response of adult beetles to the extracted host plant volatiles. We then tested the effectiveness of related compounds as lures for trapping *B. horsfieldi* in the field. [Results] *F. chinensis* was the preferred host plant of *B. horsfieldi*, followed by *K. integrifoliola* and *C. cathayensis*; no insects fed on *R. multiflora*. The main components of host plant volatiles were terpenes and hydrocarbons, and volatiles differed significantly between host plants. Nonanal caused a significant GC-EAD reaction in *B. horsfieldi*. Field trapping showed that cis-3-hexenol and nonanal were effective in luring male *B. horsfieldi* into traps. Cis-3-hexenol also attracted *Anoplophora chinensis* beetles into traps. [Conclusion] Test results indicate that cis-3-hexenol and nonanal are two effective lures for trapping *B. horsfieldi* in the field. Cis-3-hexenol effectively lures both *B. horsfieldi* and *A. chinensis* into traps.

Key words *Batocera horsfieldi*, feeding, GC-MS, GC-EAD, trapping

*资助项目 Supported projects: 国家林业公益性行业科研专项 (201304403)

**第一作者 First author, E-mail: 979224878@qq.com

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

收稿日期 Received: 2015-11-24, 接受日期 Accepted: 2016-02-20

云斑天牛 *Batocera horsfieldi* (Hope) 属鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae, 又名多斑白条天牛, 是一种危害性很大的农林业害虫。该虫广泛分布于河北、安徽、江苏、浙江、江西、湖北、湖南、福建、台湾, 广东、广西、四川、云南、河南等地, 以长江流域以南地区受灾最为严重。云斑天牛个体大, 世代周期长, 寄主分布范围广, 可危害杨树、柳树、女贞、核桃、桑、麻栎、二球悬铃木、油橄榄、泡桐、板栗等近百种阔叶林木和果树 (张执中, 1999), 在中国有害生物风险分析 PRA 值为 2.04, 属于高度危险性林业有害生物 (李建庆等, 2009)。

在我国大部分地区 2~3 年发生一代, 以幼虫或成虫在蛀道和蛹室内越冬 (嵇保中等, 2002; 刁志娥和丁福波, 2004)。其成虫为害寄主植物新枝皮和嫩叶, 幼虫蛀食枝干, 造成花木生长势衰退, 凋谢乃至死亡。目前对云斑天牛的防治主要还是利用物理和化学方法 (杨德敏等, 1999; 王四宝等, 2003), 生物防治也主要集中在寄主天敌的研究 (刘芳等, 2004)。由于云斑天牛幼虫隐蔽性较强, 防治难度较大, 现有的技术和方法防治效果不理想, 逐渐兴起的环保意识和食品安全问题也对化学农药的使用提出了更高的要求, 探索绿色无公害的生态防控技术成为未来发展的一种趋势。

成虫是云斑天牛唯一有行为导向的虫态, 其行为导向是对嗜食寄主呈明显的趋性, 这一趋性的源动力在于满足生殖活动对营养的需要 (严敖金等, 1997), 能够引起天牛远距离行为反应的关键物质主要是植物的挥发性有机物。植物挥发性有机物是植物通过次生代谢途径合成的低沸点、易挥发的小分子化合物, 参与植食性昆虫行为的调控 (Takasu *et al.*, 2000; 孔祥波等, 2001)。有研究表明, 植物释放的特定的挥发性气味物质能够对天牛起到引诱的作用 (Ikeda *et al.*, 1980; Du and Yan, 1994; Allison *et al.*, 2004)。

Zhuge 等 (2010) 分析了美洲黑杨 *Populus deltoides* 和野蔷薇 *Rosa multiflora*, 发现 8 种化合物对云斑天牛的 EAG 反应最强, 分别是反-3-己烯酯, 3-萜烯, 1-戊烯-3-醇, 3-戊醇, 顺-2-

戊烯醇, 己醛, 反-2-己烯醛, 反-2-己烯醇, 并且雌虫交配状态对 EAG 的反应没有显著影响。Yang 等 (2011) 发现, 在寄主植物挥发物中, 顺-3-己烯醇: 壬醛: 三氯乙烯: β -月桂烯 ($Z:N:T:M$) = 57:15:17:11 引起了云斑天牛最强的 EAG 反应, Y 型嗅觉仪试验中, 也显示出更强的吸引作用。王保新 (2014) 在 EAG 和行为反应试验中, (Z)-3-己烯-1-醇对未交配雌、雄虫的 EAG 反应最强, 并且在 Y 型嗅觉仪试验中产生明显的引诱作用。

目前, 对于云斑天牛引诱剂的研究, 主要集中在寄主植物挥发物成分分析和室内行为测试方面, 还未见林间诱捕效果的报道。本文主要是研究云斑天牛喜欢取食的寄主植物, 分析其中的有效物质, 从而为开发云斑天牛引诱剂, 实现对云斑天牛危害的生态控制提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验所用云斑天牛成虫均采集于浙江省慈溪市沿海防护林 (东经 $121^{\circ}18'$ 、北纬 $30^{\circ}20'$, 平均海拔 2.2 m) 的白蜡树, 利用云斑天牛的假死性进行人工捕捉。防护林为白蜡树、木麻黄、柳树、黄山栎树、海滨木槿和无患子的混交林带, 林地地势较平坦, 其中白蜡树受到云斑天牛严重危害, 平均树高约 10 m, 平均胸径约 20 cm, 林冠郁闭度约为 0.5, 林下无其它植被。在 5 月初, 会陆续有云斑天牛成虫羽化出孔。

1.2 供试植物

山核桃 *Carya cathayensis* Sarg.、白蜡树 *Fraxinus chinensis* Roxb.、黄山栎树 *Koelreuteria integrifoliola* Merr. 和野蔷薇 *Rosa multiflora* Thunb. 1 年生枝条采自于浙江农林大学校园。

1.3 室内取食试验

取食试验在室内进行, 温度为 25~28℃, 光周期为 L:D=14:10。无选择取食试验, 将 30 cm 长×0.5 cm 直径的白蜡树、山核桃、黄山栎树和野蔷薇的 1 年生枝条各 2 根分别放入不同的木制

养虫笼 (50 cm×40 cm×40 cm), 每个养虫笼放入饥饿 5 h 且活性较好的 1 对云斑天牛成虫 (1 雌虫+1 雄虫), 重复 5 次。选择性取食试验, 将上述 1 年生的 4 种枝条各 2 根放入同一个养虫笼中, 每个养虫笼放入饥饿 5 h 的 2 对云斑天牛成虫 (2 雌虫+2 雄虫), 重复 5 次。待取食 48 h 后, 枝条上的取食刻痕用透明硫酸纸记录下来, 然后用坐标纸测量取食面积。

1.4 挥发物的收集与分析

采用动态顶空吸附法分别抽取山核桃、白蜡树和黄山栎树的枝条的气体挥发物。用无色无味的进口聚乙烯袋 (Reynolds, Richmond, VA, USA) 套裹枝条部位, 空气通过含有 5 cm 活性炭的玻璃管 (7 cm×1 cm ID) 纯化后, 进入含有枝条的塑料袋。每个聚乙烯袋连着末端封有玻璃棉且含有 0.5 cm Super-Q 吸附剂的玻璃管 (7 cm×0.5 cm ID)。然后玻璃管与 QC-1S 大气采样仪 (北京劳动保护研究所) 的进气口相连接, 含有活性炭的玻璃管则与大气采样仪的出气口相连, 采样设备的所有部件通过硅胶管相连。气流计的流速维持 1.5 L/min, 采样时间为 5 h (10:00—15:00), 每个处理重复 5 次。各个挥发物样品用含有以正十二烷 (150 µg/L) 为内标的色谱纯正己烷 (1 500 µL) 溶剂洗脱, 洗脱样品保存在零下 5 冰箱待用。

采用 Agilent 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪分析挥发物。载气: 高纯度氦气, 流速 1 mL/min, 色谱柱为 HP-5MS, 30 m (long)×0.25 mm (ID)×0.25 µm (film)。每次进样 2 µL, 不分流进样, 升温程序: 初始为 50, 恒温 1 min, 以 8 /min 的速率升温到 250, 保持 6 min, 共运行 32 min。溶剂延迟 3 min。离子源温度 230, 四级杆温度 150。检测器温度是 280, 前进样口温度是 220, 电子轰击电压 70 eV, 质量扫描范围 30~500。样品中化合物成分的鉴定是通过与 NIST 质谱库的出峰时间对比完成, 定量分析通过内标正十二烷的峰面积计算。

1.5 GC-EAD 测定

GC-EAD 实验在中国科学院动物研究所进

行。将活性较好的云斑天牛成虫的整根触角由基部快速剪下, 触角末梢切除少许, 将触角横搭在事先沾有导电胶的叉状电极的两端上, 触角两端浸没在导电胶内, 最后将叉状电极插入 EAG 探头中。取白蜡树枝条洗脱液 2 µL 进样到气相色谱中进行 GC-EAD 分析。试验用虫均为活体, 重复 5 次, GC-EAD 色谱图上的化合物的峰形和保留时间进行对比, 从而鉴定出对云斑天牛触角有 EAD 反应的物质。对照使用正己烷溶剂 2 µL 进行同样方法的测试。

采用 Agilent 6890N-5973N 气相色谱, 色谱柱为 HP-5MS, 载气: 高纯度氦气, 流速 1 mL/min; 无分流进样, 进样口温度 220, 检测器温度 280。升温程序条件: 初始温度为 50, 保持 1 min, 以 8 /min 的速率上升到 250, 保持 6 min, 共运行 32 min。氢火焰检测器。

1.6 野外诱捕试验

在浙江省慈溪市沿海防护林 (东经 121°18′、北纬 30°20′) 开展云斑天牛的野外诱捕试验。我们选取了前面试验中对云斑天牛有显著 GC-EAD 反应的化合物和 Zhuge 等 (2010) 报道的对云斑天牛有强烈 EAG 反应的几种化合物, 进行林间诱捕试验, 试验方案见表 1。将供试化合物分别滴加到过滤纤维载体 (20 mm×10 mm) 上, 然后通过聚乙烯缓释袋 (10 cm×5 cm×120 µm) 进行释放。每个处理设置 5 个重复。对照采用不添加任何化合物的缓释袋, 同样设置 5 个重复。将 BF-1 型天牛诱捕器 (杭州科森农化有限公司) 均挂于白蜡树林地通风良好的道路口, 其下端距离地面 1.5 m, 缓释袋悬挂于诱捕器中间的凹槽处。随机的挂放于林间, 各诱捕器之间间隔 30 m。该试验于 2015 年 5 月 13 日开始, 6 月 14 日结束。每星期调查 1 次, 每次调查时将第一个诱捕器的缓释袋调换到第 2 个诱捕器上, 第 2 个缓释袋调换到第 3 个诱捕器上, 依次类推, 最后一个诱捕器的缓释袋换到第一个诱捕器上, 以减少不同地理位置对试验结果的影响。详细记录每个诱捕器诱捕到的天牛种类、雌雄和数量等信息。

表 1 云斑天牛成虫野外诱捕试验方案
Table 1 The treatment employed in the trapping experiments for *Batocera horsfieldi* adult

处理 Treatment	化合物 Compound	容量 (mL) Volume	纯度 (%) Purity	重复 Repeat	释放装置 Release device	挥发量 (mg/d) Volatile quantity
1	顺-3-己烯醇 cis-3-hexen-1-ol	5	98	5	缓释袋 Slow release sachet	17
2	ZNTM	5	—	5	缓释袋 Slow release sachet	152
3	壬醛 Nonanal	5	95	5	缓释袋 Slow release sachet	75
4	3-萜烯 3-carene	5	90	5	缓释袋 Slow release sachet	156
5	反-2-己烯醛 trans-2-hexen-1-al	5	98	5	缓释袋 Slow release sachet	72
6	反-2-己烯醇 trans-2-hexen-1-ol	5	96	5	缓释袋 Slow release sachet	19
7	顺-2-戊烯醇 cis-2-penten-1-ol	5	95	5	缓释袋 Slow release sachet	22
8	1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	5	98	5	缓释袋 Slow release sachet	56
9	3-戊醇 3-pentanol	5	98	5	缓释袋 Slow release sachet	40
10	空白对照 CK	—	—	5	缓释袋 Slow release sachet	—

表中所有化合物均采购于上海百灵威科技有限公司; ZNTM 为顺-3-己烯醇: 壬醛: 三氯乙烯: β -月桂烯=57: 15: 17: 11。
The compounds in the table are bought from shanghai J&K Scientific Ltd; ZNTM was cis-3-hexen-1-ol: Nonanal: Trichloroethylene: β -myrcene=57: 15: 17: 11.

1.7 统计分析

数据分析采用统计软件 SPSS16.0, 不同寄主的取食量之间的差异, 不同寄主植物气体挥发物成分之间的差异和不同化合物野外诱捕量之间的差异显著性通过方差 (ANOVA) 分析, 采用 Duncan's 多重比较法。

2 结果与分析

2.1 室内取食试验

云斑天牛对 4 种寄主植物的室内取食结果显示, 云斑天牛对不同种寄主植物枝条存在显著的取食偏好性。在无选择取食试验中, 喜好顺序为: 白蜡树>山核桃>黄山栎树, 野蔷薇取食量为零, 不同寄主植物间的取食量差异性显著(图 1)。选择取食试验结果显示, 云斑天牛只取食了白蜡树枝条, 其它的枝条没有被取食(图 2)。两个取食试验都显示, 白蜡树是云斑天牛最喜欢取食的寄主植物。

2.2 寄主植物气体挥发物成分分析

由表 2 可见, 分离所得的气体挥发物成分分析结果显示, 白蜡树枝条主要气体挥发物检测到 14 种, 黄山栎树检测到 14 种, 山核桃检测到 18

种。这些挥发物成分中, 萜烯类和烷烃类等物质占主要成分。不同寄主植物的气体挥发物中多种成分存在显著性差异。其中, 顺-3-己烯醇只在白蜡树中检测到; 月桂烯、乙酸顺式-3-己烯酯、柠檬烯和 α -法尼烯等物质只在山核桃中检测到,

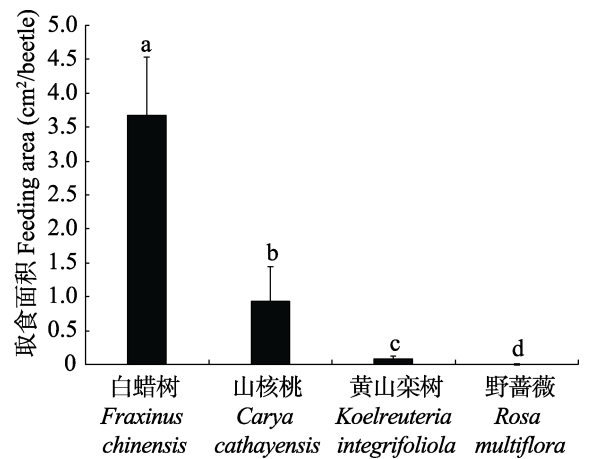


图 1 云斑天牛成虫对 4 种寄主枝条的无选择性取食试验

Fig. 1 Non-selective feeding behaviors of *Batocera horsfieldi* adults on the four host plant twigs

柱上标有不同字母代表云斑天牛在不同寄主间取食量差异显著。下图同。

Histograms with different letters indicate that the feeding area of *Batocera horsfieldi* on different host plants are significantly different. The same below.

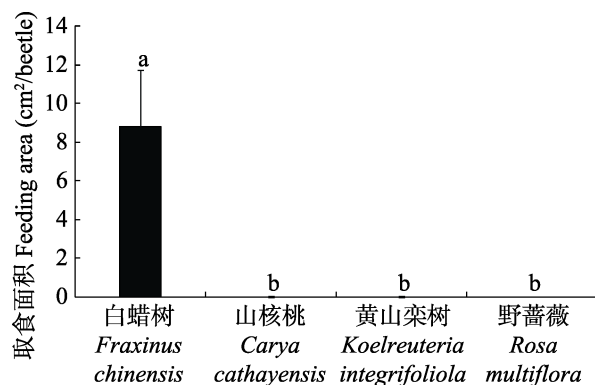


图2 云斑天牛成虫对4种寄主枝条的选择性取食行为
Fig. 2 Selective feeding behaviors of *Batocera horsfieldi* adults on the four host plant twigs

白蜡树和黄山栎树中没有检测到；十五烷只在黄山栎树中检测到；而十八烷在白蜡树和山核桃中检测到；罗勒烯只在山核桃和黄山栎树中检测到。莰烯在黄山栎树和山核桃中的含量显著高于白

蜡树，癸烷、对二氯苯、苯乙酮和十一烷在黄山栎树中的含量显著高于白蜡树和山核桃，壬醛在白蜡树中的含量与山核桃和黄山栎树中的含量没有显著差异，十三烷在山核桃中的含量显著高于白蜡树和黄山栎树，而 α -蒎烯、癸醛、十四烷、十六烷和十七烷在不同树种间没有显著差异。

2.3 云斑天牛对白蜡树枝条气体挥发物的GC-EAD反应

根据5次重复实验的图谱，选择其中一个刺激较为明显且具有重复反应的图谱，云斑天牛成虫对白蜡树枝条挥发性物质的GC-EAD分析结果显示，云斑天牛触角对壬醛具有显著的刺激反应，保留时间8.1 min。

2.4 野外诱捕试验

野外诱捕试验结果显示，顺-3-己烯醇对云斑

表2 云斑天牛3种寄主植物气体挥发物成分

Table 2 Chemical components of volatiles from three host plants of *Batocera horsfieldi* ($\mu\text{g/L}$)

化合物 Compound	白蜡树 <i>F. chinensis</i>	黄山栎树 <i>K. integrifoliola</i>	山核桃 <i>C. cathayensis</i>
顺-3-己烯醇 cis-3-hexen-1-ol	6.38 $\pm$ 0.39a	0b	0b
α -蒎烯 α -pinene	82.44 $\pm$ 2.94a	74.68 $\pm$ 5.62a	110.72 $\pm$ 10.87a
莰烯 Camphene	2.38 $\pm$ 0.39b	6.64 $\pm$ 0.23a	6.82 $\pm$ 0.25a
月桂烯 Myrcene	0b	0b	5.26 $\pm$ 0.65a
癸烷 Decane	10.48 $\pm$ 0.53b	18.49 $\pm$ 2.28a	6.00 $\pm$ 1.00b
乙酸顺式-3-己烯酯 cis-3-hexen-1-ol acetate	0b	0b	61.15 $\pm$ 3.16a
对二氯苯 1,4-dichlorobenzene	29.50 $\pm$ 2.41b	48.61 $\pm$ 5.20a	25.31 $\pm$ 5.11b
柠檬烯 (-)-limonene	0b	0b	18.12 $\pm$ 1.06a
罗勒烯 Ocimene	0b	66.84 $\pm$ 3.51a	58.61 $\pm$ 1.70a
苯乙酮 Acetophenone	19.09 $\pm$ 0.60b	26.14 $\pm$ 1.89a	16.94 $\pm$ 1.36b
十一烷 Undecane	39.21 $\pm$ 2.26b	74.65 $\pm$ 5.00a	46.33 $\pm$ 5.06b
壬醛 Nonanal	31.38 $\pm$ 2.41ab	54.27 $\pm$ 5.84a	17.86 $\pm$ 3.93b
癸醛 Decanal	15.89 $\pm$ 2.25a	26.68 $\pm$ 2.35a	11.25 $\pm$ 2.87a
十三烷 Tridecane	20.79 $\pm$ 1.87b	20.83 $\pm$ 1.69b	35.11 $\pm$ 2.98a
十四烷 Tetradecane	22.01 $\pm$ 2.37a	14.30 $\pm$ 2.68a	21.93 $\pm$ 1.85a
十五烷 Pentadecane	0b	4.42 $\pm$ 0.24a	0b
α -法尼烯 α -farnesene	0b	0b	5.09 $\pm$ 0.84a
十六烷 Hexadecane	35.60 $\pm$ 4.43a	15.52 $\pm$ 1.26a	33.42 $\pm$ 1.91a
十七烷 Heptadecane	16.98 $\pm$ 3.32a	10.71 $\pm$ 1.31a	18.21 $\pm$ 1.27a
十八烷 Octadecane	6.56 $\pm$ 0.36a	0b	5.41 $\pm$ 0.74a

表中数据为平均值 $\pm$ 标准误 (mean $\pm$ SE)，数据后标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$ ，Duncan's 多重比较)。

The data in the table are mean $\pm$ SE, and those followed by different letters indicate significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

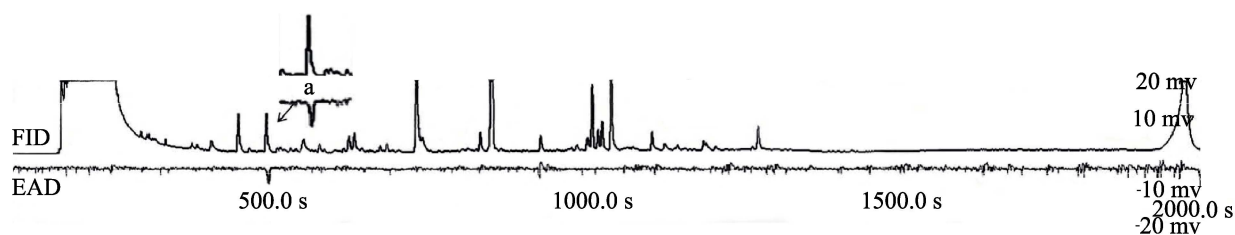


图 3 云斑天牛对白蜡树枝条气体挥发物的 GC-EAD 反应图谱

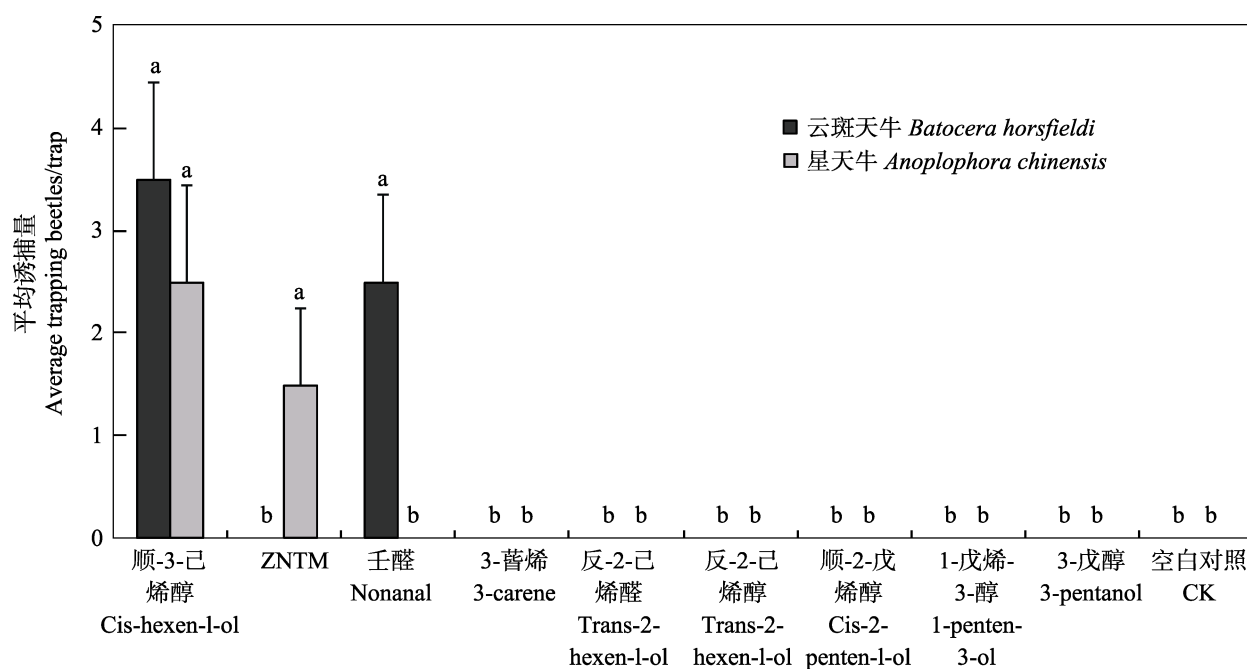
Fig. 3 The GC-EAD spectrum of *Batocera horsfieldi* reaction to volatiles of *Fraxinus chinensis* twigs

图 4 不同化合物对云斑天牛和星天牛的野外诱捕结果

Fig. 4 The trapping results of *Batocera horsfieldi* and *Anoplophora chinensis* to different compounds.

天牛的平均诱捕量为每个诱捕器 3.5 头, 而壬醛则为每个诱捕器 2.5 头, 而且全部是雄虫。另外, 顺-3-己烯醇和 ZNTM 配比混合物还诱捕到了星天牛, 平均诱捕量分别为 2.5 头和 1.5 头, 并且也全部都是雄虫。其它化合物和空白对照则没有诱捕到任何天牛。

3 结论与讨论

用白蜡树、山核桃、黄山栎树和野蔷薇 4 种寄主植物对云斑天牛成虫的选择性取食试验和无选择性取食试验, 结果都表明, 白蜡树是云斑天牛最喜欢取食的树种, 其次是黄山栎树和山核桃, 但是并不取食野蔷薇。高瑞桐和王宏乾 (1995) 报道, 野蔷薇为云斑天牛最喜欢取食的

树种, 这一结论跟我们的试验结果有些出入, 可能是云斑天牛不同地理种群在长期进化过程中, 与当地的寄主植物形成了不同的相互进化关系, 从而影响了天牛对寄主的选择偏好性。合理配置诱饵树已经成为一种重要的杨树天牛防控技术 (骆有庆和李建光, 1999), 因此我们建议, 在云斑天牛危害严重的山核桃林地套种白蜡树作为引诱树, 通过引诱云斑天牛成虫过来补充营养, 然后集中处理杀死, 这样可以大大减轻山核桃树被云斑天牛危害的压力。

顺-3-己烯醇只在白蜡树中有检测到, 但顺-3-己烯醇在白蜡树中检测到的含量并不大, 同时壬醛在白蜡树、山核桃和黄山栎树中也都有分布, 白蜡树中壬醛的含量与其在山核桃和黄山栎树

中的含量没有显著差异,说明云斑天牛对白蜡树取食的偏好可能并不完全取决于关键的引诱成分作用,有报道也认为植物体内的糖含量与云斑天牛的取食量、寿命和雌虫产卵量呈密切的正相关(高瑞桐和王宏乾,1995)。

壬醛引起了云斑天牛显著的 GC-EAD 反应,并且在野外诱捕试验中,顺-3-己烯醇和壬醛都对云斑天牛显示出一定的诱捕效果。王保新等(2014)报道,顺-3-己烯醇在测试的 10 种寄主挥发物中,对云斑天牛显示出最强的 EAG 反应和室内行为反应。并且顺-3-己烯醇和壬醛都是 Yang 等(2011)报道中引起云斑天牛最强 EAG 反应和行为反应的混合物成分之一。这些结果与我们林间诱捕试验结果一致。然而,Zhuge 等(2010)报道的引起云斑天牛显著 EAG 反应的 3-萜烯等化合物在林间并没有诱捕到云斑天牛。以上结果说明,顺-3-己烯醇和壬醛化合物是对云斑天牛具有林间诱捕效果的植物源引诱物质。同时,我们观察到,这两种物质引诱到的云斑天牛都是雄虫,没有诱捕到雌虫。这一现象可能是植物源成分的一个共性,植物源成分对松墨天牛的诱捕结果中,具有明显的偏雄现象,雄虫占到诱捕总量的三分之二(樊建庭等,2013),而雌性聚集性信息素对松墨天牛的诱捕结果中,雌虫占大多数(Fan et al., 2007)。

另外,顺-3-己烯醇和 ZNTM 配比混合物还诱捕到了星天牛雄虫,在 ZNTM 配比混合物中也含有顺-3-己烯醇这一成分,并且占混合物的 57%,这说明顺-3-己烯醇是对星天牛有效的一种植物源物质。而且这些试验结果也证明,云斑天牛和星天牛分享相同的植物源引诱成分物质顺-3-己烯醇,这可能也跟这两种天牛具有共同的寄主植物有关,比如杨树、柳树、核桃、梧桐等(梁潇予等,2008;王保新等,2014)。

ZNTM 混合物中同时含有顺-3-己烯醇和壬醛两种化合物,然而却没有诱捕到云斑天牛,这两种可能的解释,一是三氯乙烯和月桂烯两种物质添加后,抑制了顺-3-己烯醇和壬醛的引诱效果,另一种可能就是这两种有效物质可能存在某种配比才能对云斑天牛起到引诱效果。由于云

斑天牛是一种寄主范围非常广泛的昆虫,寻找到有效的植物源成分就显得非常困难,而且需要解决有效成分之间的最佳配比,最佳挥发量等问题。另外,云斑天牛是否存在有效的昆虫性信息素等问题都需要进一步的探索研究。

致谢:感谢中国科学院动物研究所韦卫高级工程师在 GC-EAD 试验部分给予的指导,感谢宁波市慈溪沿海防护林杨师傅协助进行野外诱捕试验,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- Allison JD, Borden JH, Seybold SJ, 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecology*, 14(3/4): 123-150.
- Diao ZE, Ding FB, 2004. Occurrence and control of white-stiped longhorn, *Batocera horsfieldi* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) on Chinese ash, *Fraxinus chinensis* Roxb. *Entomological Journal of East China*, 13(2): 49-52. [刁志娥, 丁福波, 2004. 云斑天牛在白蜡树上的发生与防治研究. 华东昆虫学报, 13(2): 49-52.]
- Du YJ, Yan FS, 1994. The role of plant volatiles in tritrophic interactions among phytophagous insects, their host plants and natural enemies. *Acta Entomologica Sinica*, 37(2): 233-250. [杜永均, 严福顺, 1994. 植物挥发性次生物质在植食性昆虫、寄主植物和昆虫天敌关系中的作用机理. 昆虫学报, 37(2): 233-250.]
- Fan JT, Kang L, Sun JH, 2007. Role of host volatiles in mate location by the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *Environmental Entomology*, 36 (1): 58-63.
- Fan JT, Meng JG, Wang BD, Zhao LL, Sun JH, 2013. Field trapping the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) using an aggregation pheromone and host volatiles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(5): 1274-1279. [樊建庭, 孟俊国, BD 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.]
- Gao RT, Wang HQ, 1995. Study on the habit of absorbing replenishing nutrition of *Batocera horsfieldi* and its relation with the host trees. *Forst Research*, 8(6): 619-623. [高瑞桐, 王宏乾, 1995. 云斑天牛补充营养习性及与寄主树关系的研究. 林业科学研究, 8(6): 619-623.]
- Ikeda T, Enda N, Yamane A, Oda K, Toyoda T, 1980. Attractants for the Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus* HOPE (Coleoptera: Cerambycidae). *Applied Entomology & Zoology*, 15(3): 358-361.

- Ji BZ, Wei Y, Huang ZY, 2002. Present situations and prospects of researches on adult's behavior of longicorn beetles. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 26(2): 79-83. [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: 自然科学版, 26(2): 79-83.]
- Kong XB, Wang R, Gao W, Zhao CH, 2001. Technique and applications of coupling gas chromatography with electroantennographic detector. *Entomological Knowledge*, 38(4): 304-309. [孔祥波, 王睿, 高伟, 赵成华, 2001. 气相色谱与触角电位检测器联用技术及其应用. 昆虫知识, 38(4): 304-309.]
- Li JQ, Yang ZQ, Mei ZX, Zhang YL, 2009. Pest risk analysis and control measure of *Batocera horsfieldi*. *Forest Research*, 22(1): 148-153. [李建庆, 杨忠岐, 梅增霞, 张雅林, 2009. 云斑天牛的风险分析及其防治控制对策. 林业科学研究, 22(1): 148-153.]
- Liang XY, Yang W, Yang YL, Yang CP, Yang Y, 2008. Preference of *Batocera horsfieldi* for adults to feeding plants. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 78-82. [梁潇予, 杨伟, 杨远亮, 杨春平, 杨毅, 2008. 云斑天牛对补充营养寄主的选择性. 昆虫知识, 45(1): 78-82.]
- Liu F, Lou YG, Chen JA, 2003. Herbivory insect induced plant volatiles: evolutionary products of plant-herbivore-natural enemy interactions. *Entomological Knowledge*, 40(6): 481-486. [刘芳, 娄永根, 程家安, 2003. 虫害诱导的植物挥发物: 植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物. 昆虫知识, 40(6): 481-486.]
- Luo YQ, Li JG, 1999. The effective measures to control of poplar longicorn disasters-the rational allocation of multiple tree species. *Forest Pest and Disease*, (3): 45-48. [骆有庆, 李建光, 1999. 控制杨树天牛灾害的有效措施——多树种合理配置. 中国森林病虫, (3): 45-48.]
- Takasu F, Yamamoto N, Kawasaki K, Togashi K, Kishi Y, Shigesada N, 2000. Modeling the expansion of an introduced tree disease. *Biological Invasions*, 2(2): 141-150.
- Wang BX, Yang H, Yang W, Cai Y, Zhou M, He XH, 2014. EAG and behavioral responses of *Batocera lineolata* Chevrolat (Coleoptera: Cerambycidae) to ten plant volatiles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 481-489. [王保新, 杨桦, 杨伟, 杨春平, 蔡艳, 周梦, 何晓华, 2014. 云斑天牛对 10 种植物挥发物的 EAG 和行为反应. 应用昆虫学报, 51(2): 481-489.]
- Wang SB, Fan MZ, Li ZZ, Huang YP, 2003. Advances in research on natural microbial enemies of *Monochamus alternatus*. *Entomological Knowledge*, 40(4): 303-307. [王四宝, 樊美珍, 李增智, 黄勇平, 2003. 松褐天牛微生物的研究进展. 昆虫知识, 40(4): 303-307.]
- Yan AJ, Ji BZ, Qian FJ, 1997. A study on *Batocera horsfieldi* (Hope). *Journal of Nanjing Forestry University*, 21(1): 1-5. [严敖金, 嵇保中, 钱范俊, 1997. 云斑天牛 *Batocera horsfieldi*(Hope)的研究. 南京林业大学学报, 21(1): 1-5.]
- Yang DM, Zeng CH, Yang P, Zhou ZJ, Yang W, 1999. Prospect of using *Scleroderma sichuanensis* Xiao to control boring insects in three gorge reservoir's area of the Yangtze River. *Chinese Journal of Biological Control*, 15(3): 140-141. [杨德敏, 曾垂惠, 杨萍, 周祖基, 杨伟, 1999. 三峡库区利用硬皮肿腿蜂防治天牛类害虫. 中国生物防治, 15(3): 140-141.]
- Yang H, Yang W, Liang XY, Yang MF, Yang CP, Zhu TH, WU XL, 2011. The EAG and behavioral responses of *Batocera horsfieldi* (Coleoptera: Cerambycidae) to the composition of volatiles. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 84(3): 217-231.
- Zhang ZZ, 1999. *Forest Entomology*. Beijing: Chinese Forestry Publishing House Press. 354-356. [张执中主编, 1999. 森林昆虫学. 北京: 中国林业出版社. 354-356.]
- Zhuge PP, Luo SL, Wang MQ, Zhang G, 2010. Electrophysiological responses of *Batocera horsfieldi* (Hope) adults to plant volatiles. *Journal of Applied Entomology*, 134(7): 600-607.