

云斑天牛对不同受害状态下山核桃挥发物成分的触角电位和行为反应

马艳¹, 史黎央¹, 赵艺², 徐华潮¹

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300; 2. 陕西省渭南市大荔县林业局, 陕西 大荔 715100)

摘要: 为探索能影响云斑天牛 *Batocera horsfieldi* 行为反应的山核桃 *Carya cathayensis* 挥发物, 采用活体植物动态顶空套袋吸附法收集不同受害状态(健康、天牛取食、天牛产卵和天牛钻蛀后)山核桃释放的挥发物, 并运用气相色谱-触角电位测量系统(GC-EAD)及Y型嗅觉仪技术分析鉴定出对云斑天牛有电生理及行为反应的挥发物。结果表明: 云斑天牛成虫对不同受害状态下山核桃挥发物中蒎烯、萜品烯、壬醛、 α -萜品醇、五甲基苯、丙烯酸异辛酯、2,6-二甲基萘及正十六烷8种挥发物均产生电生理反应。嗅觉反应结果显示: 萜品烯对云斑天牛雄成虫产生显著的引诱作用($P<0.05$); 壬醛对云斑天牛雌成虫产生极显著的引诱作用($P<0.01$), 对其雄成虫产生显著的引诱作用($P<0.05$); 而蒎烯对云斑天牛雌成虫产生极显著的驱避作用($P<0.01$); α -萜品醇则对其雌成虫产生极显著的引诱作用($P<0.01$), 对其雄成虫产生显著的驱避作用($P<0.05$)。研究结果说明: α -萜品醇和壬醛对云斑天牛雌成虫产生较强的引诱作用, 而蒎烯对其雌成虫产生较好的驱避作用; 萜品烯和壬醛对云斑天牛雄成虫产生较强的引诱作用, 而 α -萜品醇则对其雄成虫产生较好的驱避作用。图4表1参25

关键词: 森林保护学; 云斑天牛; 山核桃; 植物挥发物; 气相色谱-触角电位测量系统(GC-EAD); Y型嗅觉仪
中图分类号: S763 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2019)03-0437-07

Electroantennogram and behavioral responses of *Batocera horsfieldi* (Coleoptera: Cerambycidae) to volatiles released from the *Carya cathayensis* in different damaged states

MA Yan¹, SHI Liyang¹, ZHAO Yi², XU Huachao¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Forest Enterprise of Dali County, Dali 715100, Shaanxi, China)

Abstract: To explore the volatiles from the *Carya cathayensis*, which affect the behavioral response of the brown mulberry longhorn beetle, *Batocera horsfieldi*, and to provide a theoretical basis for screening plant-originated attractants or repellents of this insect. In the *C. cathayensis* of Lin'an Yayuan Village, 3 *C. cathayensis* trees were vandamly selected from different damaged states [healthy (ck), as well as feeding, oviposition and boring damage by longicorn beetle]. The volatiles were collected by using dynamic headspace adsorption living plants, and those causing electrophysiological and behavioral responses in *B. horsfieldi* were identified by gas chromatography-electrophysiological antennal detecting system (GC-EAD) and Y-tube olfactometer. Results showed that the *B. horsfieldi* adults had significant electrophysiological responses to eight volatiles of *C. cathayensis* volatiles with different damaged states, including (1R)-(+)-alpha-pinene, g-terpinene, nonanal, α -terpineol, pentamethyl phenyl, 2-ethylhexyl acrylate, 2,6-dimethylnaphthalene and hexadecane. Female and

收稿日期: 2018-05-21; 修回日期: 2018-09-17

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(LY17C160005)

作者简介: 马艳, 从事昆虫化学生态学和害虫防治等研究。E-mail: 851149644@qq.com。通信作者: 徐华潮, 教授, 博士, 从事森林昆虫研究。E-mail: xhcinsect@zafu.edu.cn

male adults had the strongest electrophysiological responses to nonanal and α -terpineol followed. The olfactory reaction showed that g-terpinene had a significant attractivity to male adults of *B. horsfieldi* ($P < 0.05$). Also nonanal had a highly significant attractivity to female adults ($P < 0.01$) and a significant attractivity to male adults ($P < 0.05$). Meanwhile, (1R)-(+)- α -pinene had a highly significant repellent activity to female adults ($P < 0.01$). In addition α -terpineol had a highly significant attractivity to female adults ($P < 0.01$), but a significant repellent activity to male adults ($P < 0.05$). These results indicate that α -terpineol and nonanal showed strong attractivity to female adults of *B. horsfieldi*, while (1R)-(+)- α -pinene showed good repellent activity, g-terpinene and nonanal showed strong attractivity to male adults, while α -terpineol showed good repellent activity. [Ch, 4 fig. 1 tab. 25 ref.]

Key words: forest protection; *Batocera horsfieldi*; *Carya cathayensis*; volatiles; GC-EAD; Y-tube olfactory

云斑天牛 *Batocera horsfieldi* 属鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae 沟胫天牛亚科 Lamiinae 白条天牛属 *Batocera*, 又名白条天牛, 是在中国广泛分布的一种丰富且具有破坏性的天牛。幼虫蛀食活树干的内皮和边材部分, 导致树容易断裂, 其基本生物学特性与亚科其他天牛相似, 生命周期通常在 2 a 内完成^[1]。成虫出现在初夏, 主要以山核桃 *Carya cathayensis* 的枝条为食。云斑天牛性成熟, 雌雄成虫交配后, 雌虫将卵存放在寄主树的树皮下度过整个夏天。孵化后的幼虫立即进入内部树皮, 化蛹前至少喂食 20 个月^[2]。据报道, 在浙江省杭州市临安区, 多数山核桃被天牛钻蛀, 其种类主要有桑天牛 *Apriona germari*, 星天牛 *Anoplophora chinensis* 和云斑天牛^[3]。云斑天牛幼虫主要生活在寄主植物树干内, 而成虫会飞行, 鞘翅坚硬且耐药性强, 一般的物理和化学方法很难防控。许多植食性昆虫利用气味作为寄主定位的线索, 无论是营养、配偶地点还是存放其后代^[4-8]。有研究显示: 植物挥发性气体能引起天牛显著的行为反应^[9-10]。植物挥发性气体是多种微浓度的挥发性化合物组成的混合物^[11], 可以调控天牛取食、产卵和交配等行为^[12]。如 ZHUGE 等^[13]发现: 云斑天牛可能依赖特定比例的挥发物来寻找定位寄主植物; 寄主植物挥发物中的壬醛对云斑天牛有较好的林间诱捕效果^[14]。植物在自然状态、受到天牛攻击或机械损伤时释放的挥发物在种类和浓度上存在差异^[15]。天牛利用识别植物挥发物的化学成分和相对含量来甄别植物的状态, 进而做出反应^[16], 如光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 对受到天牛攻击后的复叶槭 *Acer negundo* 的挥发物有显著驱避效果, 而对健康复叶槭的挥发物有显著引诱效果^[17]。近年来, 许多国内外学者通过研究昆虫和植物挥发物之间的化学联系, 明确昆虫和植物挥发物互作机制, 探究如何利用有益昆虫或防控有害昆虫, 可以采用类似方法来探索防控云斑天牛的防治方法。本研究运用动态顶空套袋吸附法收集不同受害状态下山核桃释放的挥发物, 并通过气相色谱-触角电位测量系统(GC-EAD)技术和 Y 型嗅觉仪技术, 检测能引起云斑天牛显著电生理和行为反应的挥发物, 为筛选云斑天牛的植物源引诱剂或驱避剂的成分和比例提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试植物和虫源

试验所用云斑天牛成虫和山核桃样树来自于浙江省杭州市临安区玲珑街道雅园村的山核桃苗圃基地(30°12'N, 119°38'E, 平均海拔 113 m)。山核桃苗圃基地有少量苦楝 *Melia azedarach*, 林下除杂草外无其他植被, 林地地势较平坦。其中山核桃树龄 5~20 年生, 树高为 3~15 m, 胸径为 8~25 cm, 林冠郁闭度约 0.5。虫源利用云斑天牛的假死性进行人工捕捉。

1.2 采用动态顶空采集法收集山核桃挥发物

在山核桃林中随机选取健康状态以及被天牛取食、产卵和钻蛀受害状态的山核桃(树龄为 5~10 年生, 树高为 5~15 m, 胸径为 10~15 cm)各 3 株并标记, 其中各株样树仅 1 种受害状。采用活体植物动态顶空吸附法在同一时间收集样树不同受害状态下山核桃释放的挥发物, 采样 6 h(9:00-16:00), 重复 3 次。为消除空气中的气体对采集样品的污染, 各种受害状态设空白对照样 2 份。具体的收集方法和步骤参见文献[18]。

1.3 云斑天牛成虫对不同受害状态下山核桃挥发物的触角电位反应

在中国科学院动物研究所实验室进行雌、雄云斑天牛成虫对不同受害状态下山核桃枝条挥发物洗脱液的触角电位反应实验。GC-EAD 分析采用 Agilent 6890N 气相色谱, 色谱柱为 HP-5MS, 载气: 高纯度氮气, 流速 $1.0 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; 进样量 $2.0 \mu\text{L}$, 无分流进样, 进样口温度 $220 \text{ }^\circ\text{C}$, 氢火焰离子检测器, 检测器温度 $280 \text{ }^\circ\text{C}$ 。柱温升温程序: $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 恒温 1 min , 然后以 $4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度升温到 $220 \text{ }^\circ\text{C}$ 恒温 3 min , 共运行 49 min 。测试的样品为不同受害状态下山核桃枝条挥发物洗脱液和对照正己烷溶剂, 试验用虫均为活体, 重复 5 次, GC-EAD 与色谱图上的化合物的峰形和保留时间进行对比, 从而鉴定出对雌、雄云斑天牛触角有触角电位反应的物质。具体测定方法和步骤参见文献[18]。

1.4 云斑天牛成虫对 8 种标准挥发物的嗅觉反应

据云斑天牛成虫对不同受害状态下山核桃挥发物的触角电位反应, 选择有强烈电生理反应的 8 种挥发物(表 1), 用 1.0 mL 液体石蜡作溶剂将各化合物配制成浓度为 $1.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液^[19]。Y 型嗅觉仪生物测定装置的规格和嗅觉反应的实验方法和步骤参见文献[18]。

表 1 8 种标准挥发物的名称、纯度和来源
Table 1 Name, purity and source of the eight standard volatiles

化合物	纯度/%	CAS 号	来源
蒎烯(1R)-(+)-alpha-pinene	99	7785-70-8	阿拉丁
萜品烯 g-terpinene	98	99-85-4	南京草本源生物科技有限公司
壬醛 nonanal	96	124-19-6	阿拉丁
α -萜品醇 α -terpineol	≥ 96	98-55-5	上海源叶生物科技有限公司
五甲基苯 pentamethyl phenyl	≥ 98	700-12-9	阿拉丁
丙烯酸异辛酯 2-ethylhexyl acrylate	≥ 99	103-11-7	阿拉丁
2,6-二甲基萘 2,6-dimethylnaphthalene	98	581-42-0	阿拉丁
正十六烷 hexadecane	98	544-76-3	阿拉丁

1.5 数据分析

试验数据用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。比较云斑天牛成虫对不同化合物行为反应的差异显著性通过卡方检验来分析^[20-21], 其中选择率计算公式如下: 选择率=(气味臂内的总虫数或对照臂的总虫数/测试的总虫数) $\times 100\%$ 。

2 结果

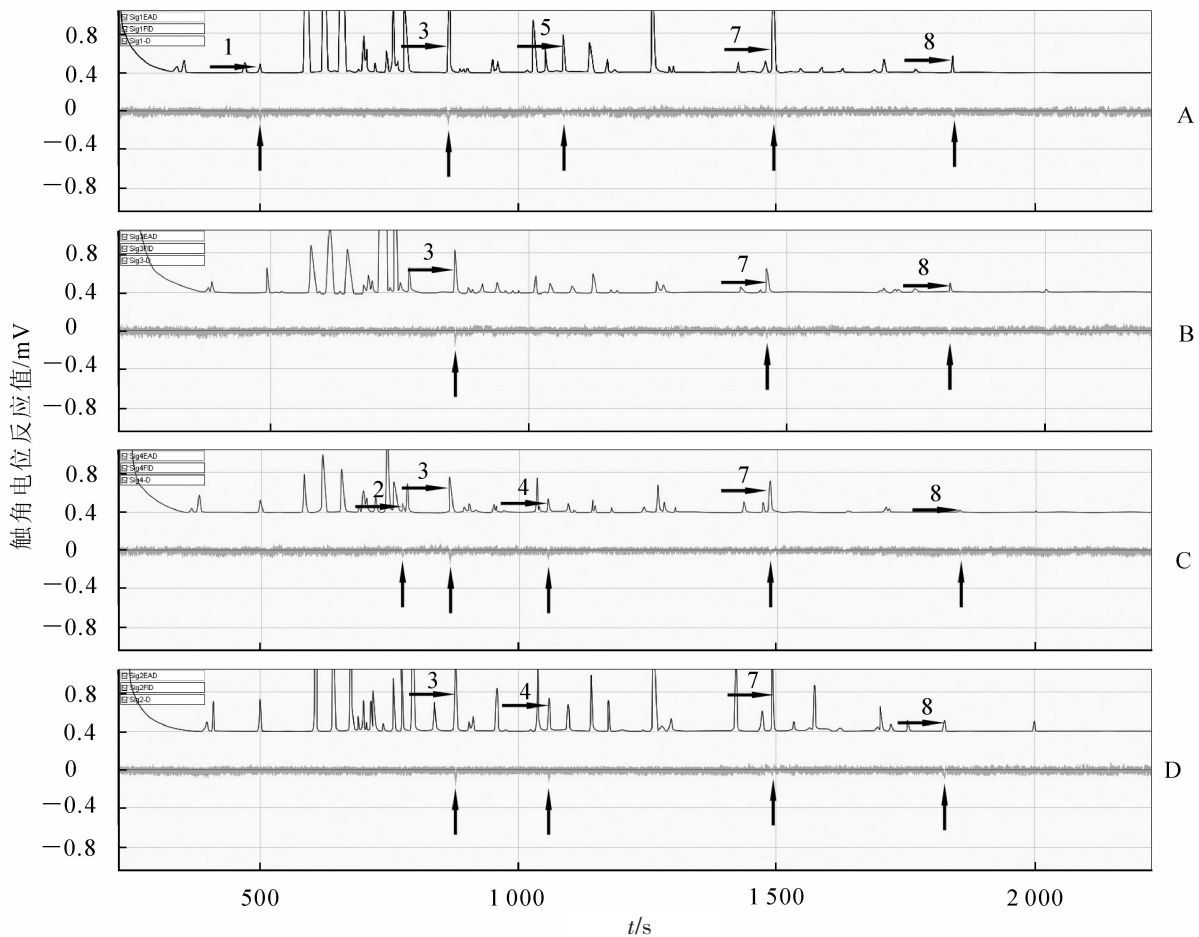
2.1 云斑天牛成虫对不同受害状态下山核桃挥发物的触角电位反应

每种受害状态选择 1 个电生理反应明显且重复的图谱(图 1 和图 2)。从图 1 和图 2 可知: 云斑天牛雌雄成虫对不同受害状态下山核桃挥发物的电生理反应是不同的, 其中雌成虫触角仅对健康山核桃挥发物中的蒎烯、壬醛、五甲基苯、2,6-二甲基萘及正十六烷有电生理反应, 雌成虫触角仅对取食受害的山核桃挥发物中的壬醛、2,6-二甲基萘及正十六烷有电生理反应, 雌成虫触角仅对产卵受害的山核桃挥发物中的萜品烯、壬醛、 α -萜品醇、2,6-二甲基萘及正十六烷有电生理反应, 雌成虫触角仅对钻蛀受害的山核桃挥发物中的壬醛、 α -萜品醇、2,6-二甲基萘及正十六烷有电生理反应(图 1); 雄成虫触角仅对健康的山核桃挥发物中的 α -萜品醇、丙烯酸异辛酯及 2,6-二甲基萘有电生理反应, 雄成虫触角仅对取食受害的山核桃挥发物中的萜品烯、壬醛及 α -萜品醇有电生理反应, 雄成虫触角仅对产卵受害的山核桃挥发物中的萜品烯、壬醛、2,6-二甲基萘及正十六烷有电生理反应, 雄成虫触角仅对钻蛀受害的山核桃挥发物中的壬醛、丙烯酸异辛酯、2,6-二甲基萘及正十六烷有电生理反应(图 2)。

综上所述, 云斑天牛雌雄成虫触角仅对蒎烯、萜品烯、壬醛、 α -萜品醇、五甲基苯、丙烯酸异辛酯、2,6-二甲基萘及正十六烷有电生理反应。

2.2 云斑天牛成虫对 6 种化合物的行为反应

卡方检验结果表明: 云斑天牛雌雄成虫对这 8 种化合物显示出的行为反应是存在差异的。其中壬醛和 α -萜品醇对云斑天牛雌成虫有极显著引诱作用($P < 0.01$), 雌成虫对这 2 种化合物的选择率分别是



A. 健康; B. 取食受害; C. 产卵受害; D. 钻蛀受害。

1. 蒎烯(1*R*)-(+)- α -pinene; 2. 萜品烯 *g*-terpinene; 3. 壬醛 nonanal; 4. α -萜品醇 α -terpineol; 5. 五甲基苯 pentamethyl phenyl; 6. 丙烯酸异辛酯 2-ethylhexyl acrylate; 7. 2,6-二甲基萘 2,6-dimethylnaphthalene; 8. 正十六烷 hexadecane

图1 云斑天牛雌成虫对不同受害状态下山核桃释放的挥发物的触角电位反应图谱

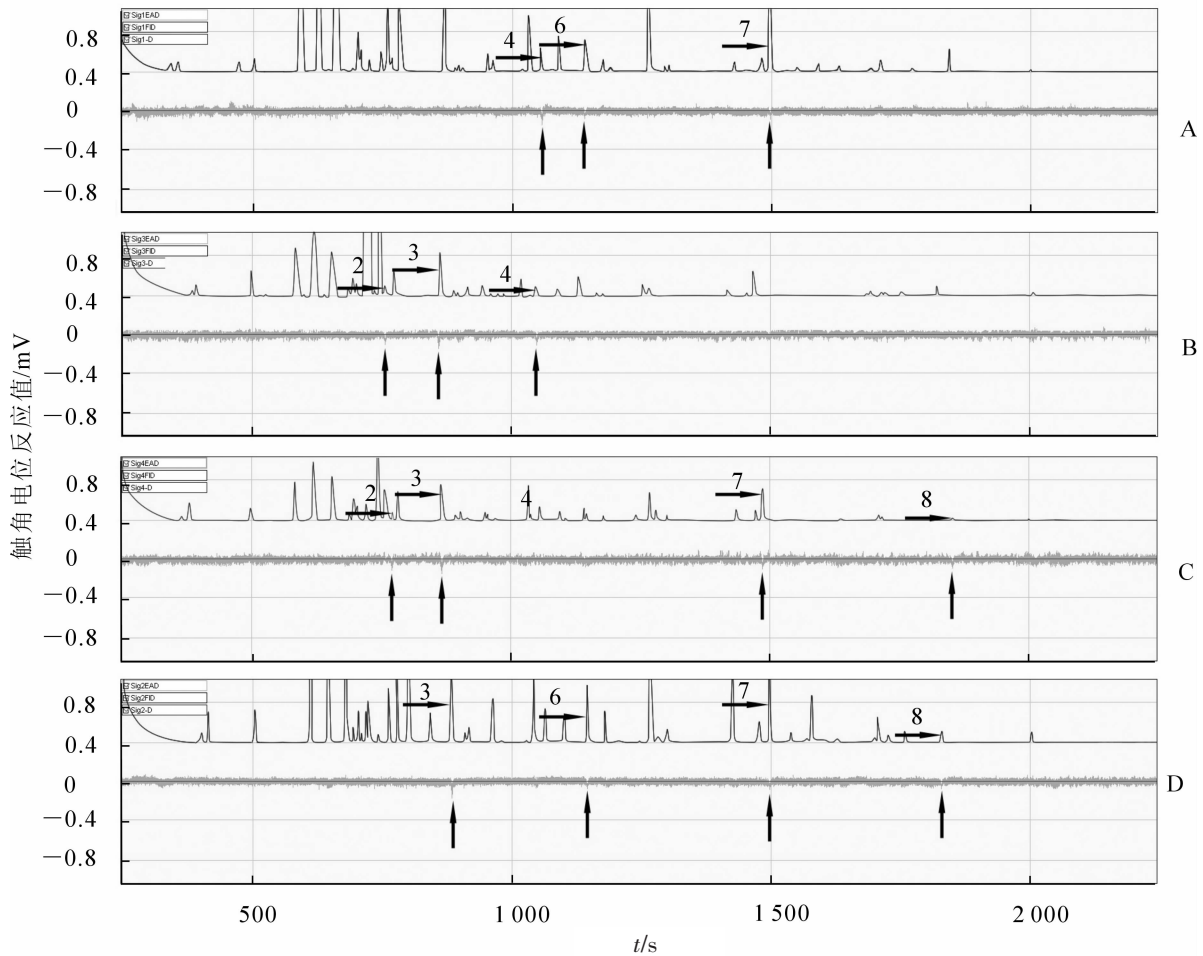
Figure 1 Electroantennogram responses pattern of female *Batocera horsfieldi* adults to volatiles released from the *Carya cathayensis* in different damaged states

76.67%和74.44%，而蒎烯对云斑天牛雌成虫有极显著的驱避作用($P < 0.01$)，雌成虫对其选择率仅22.22%，其余5种化合物对云斑天牛雌成虫没有明显的行为反应(图3)；萜品烯、壬醛和 α -萜品醇能引起云斑天牛雄成虫显著的行为反应($P < 0.05$)，其中萜品烯和壬醛对其有引诱作用，雄成虫对它们的选择率分别是70.00%和73.33%，而 α -萜品醇对其有驱避作用，雄成虫对其选择率仅27.78%，其余5种化合物不能引起云斑天牛雄成虫显著的行为反应(图4)；雌雄虫对这8种化合物显示出的行为反应差别主要是 α -萜品醇对雌成虫有极显著的引诱作用，而对雄成虫有显著的驱避作用。结果表明：引起云斑天牛成虫触角产生电生理反应的挥发物不一定会对云斑天牛产生显著的引诱或趋避作用。

3 结论与讨论

有报道显示：植食性昆虫对不同浓度的同一化合物产生的电生理反应有差异^[22]。触角电位实验结果表明：云斑天牛成虫对在不同受害状态下山核桃释放的挥发物中的蒎烯、萜品烯、壬醛、 α -萜品醇、五甲基苯、丙烯酸异辛酯、2,6-二甲基萘及正十六烷8种挥发物产生显著的电生理反应，但云斑天牛成虫对不同受害状态下山核桃中这8种挥发物存在不同的电生理反应。这可能是因为这8种挥发物虽在不同受害状态下山核桃挥发物中都存在，但比例和浓度不同。

卡方检验结果表明：壬醛和 α -萜品醇对云斑天牛雌成虫均存在极显著引诱作用($P < 0.01$)，萜品烯和壬醛对云斑天牛雄成虫产生显著引诱作用($P < 0.05$)；而蒎烯对云斑天牛雌成虫产生极显著驱避作用



A. 健康; B. 取食受害; C. 产卵受害; D. 钻蛀受害。1. 蒎烯; 2. 萜品烯; 3. 壬醛; 4. α -萜品醇; 5. 五甲基苯; 6. 丙烯酸异辛酯; 7. 2,6-二甲基萘; 8. 正十六烷

图 2 云斑天牛雄成虫对不同受害状态下山核桃释放的挥发物的触角电位反应图谱

Figure 2 Electroantennogram responses pattern of male *Batocera horsfieldi* adults to volatiles released from the *Carya cathayensis* in different damaged states

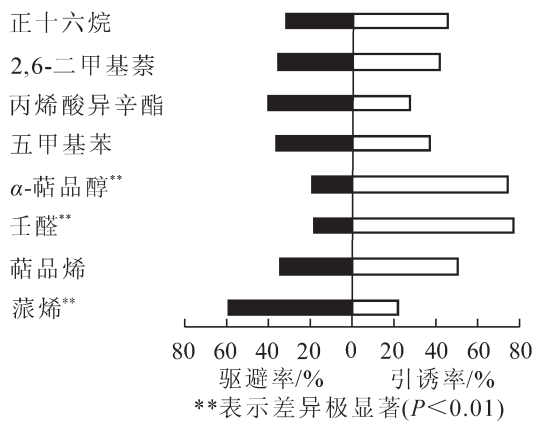


图 3 云斑天牛雌成虫对 8 种标准挥发物的行为反应

Figure 3 Behavioral responses of female *B. horsfieldi* adults to eight standard volatiles

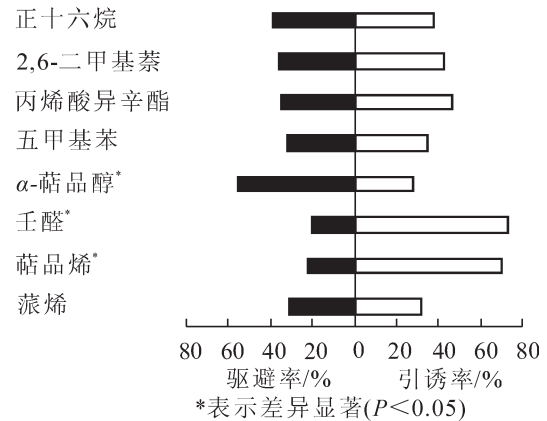


图 4 云斑天牛雄成虫对 8 种标准挥发物的行为反应

Figure 4 Behavioral responses of male *B. horsfieldi* adults to eight standard volatiles

($P < 0.01$), α -萜品醇对云斑天牛雄成虫产生显著驱避作用($P < 0.05$)。张冬勇^[14]报道, 壬醛引起云斑天牛产生显著的电生理反应, 将其作为诱芯时诱捕到了云斑天牛; 且 YANG 等^[23]报道中 m (顺-3-己烯醇): m (壬醛): m (三氯乙烯): m (β -月桂烯) = 57:15:17:11 引起云斑天牛产生最强的电生理和行为反应,

其中壬醛是混合物的一种成分。

云斑天牛雌雄成虫对挥发物的电生理和行为反应有差异。据报道：天牛在定位寄主时主要通过触角上的感受器来识别寄主植物^[24]，说明这可能是天牛触角的性二型导致的差异。TOOKER等^[21]研究发现：香草烯不能引起黄蜂 *Antisrophus rufus* 显著的行为反应，但它可以加强其他挥发物的作用，说明植物挥发物中某一挥发物本身不能引起植食性昆虫显著的引诱或趋避反应，但其存在可能会加强或遏制其他挥发物的作用。如嗅觉反应实验中的五甲基苯、丙烯酸异辛酯、2,6-二甲基萘和十六烷，虽不能引起云斑天牛产生显著的行为反应，但其作用不容忽略，在后期的研究中需加以重视。

供试天牛是从野外人工捕捉的，无法确保天牛成虫虫龄的完全一致，这可能会对实验结果产生一定的影响，因为不同虫龄的天牛成虫对挥发物的反应可能不同。天牛对植物化学指纹图谱(chemical fingerprint)^[25]的识别是极其复杂的，研究单一挥发物对云斑天牛的作用仅是第一步，还需要进一步的研究，即将不同有效成分按特定比例混配进行嗅觉反应实验和林间诱捕试验。

4 参考文献

- [1] 严敖金, 嵇保中, 钱范俊, 等. 云斑天牛 *Batocera horsfieldi*(Hope)的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 1997, **21**(1): 1 - 6.
YAN Aojin, JI Baozhong, QIAN Fanjun, et al. A study on *Batocera horsfieldi* (Hope) [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 1997, **21**(1): 1 - 6.
- [2] 张冬勇, 周书永, 朱宁, 等. 山核桃天牛危害调查及种类的鉴别方法[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(1): 42 - 49.
ZHANG Dongyong, ZHOU Shuyong, ZHU Ning, et al. Damage investigation and an identification method for different species of *Carya cathayensis* longhorned beetles [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(1): 42 - 49.
- [3] 朱宁, 张冬勇, 沈红霞, 等. 光肩星天牛产卵偏好性及寄生植物挥发物成分分析[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(6): 1059 - 1064.
ZHU Ning, ZHANG Dongyong, SHEN Hongxia, et al. Oviposition preferences of *Anoplophora glabripennis* on three host plants and composition analysis of host plant volatiles [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(6): 1059 - 1064.
- [4] STANJEK V, HERHAUS C, RITGEN U, et al. Changes in the leaf surface chemistry of *Apium graveolens* (Apiaceae) stimulated by jasmonic acid and perceived by a specialist insect [J]. *Helvetica Chimica Acta*, 1997, **80**(5): 1408 - 1420.
- [5] RUTHER J, REINECKE A, THIEMANN K, et al. Mate finding in the forest cockchafer, *Melolontha hippocastani*, mediated by volatiles from plants and females [J]. *Physiol Entomol*, 2000, **25**(2): 172 - 179.
- [6] INUI Y, MIYAMOTO Y, OHGUSHI T. Comparison of volatile leaf compounds and herbivorous insect communities on three willow species [J]. *Popul Ecol*, 2003, **45**(1): 41 - 46.
- [7] van der GOES, van NATERS W, CARLSON J R. Insects as chemosensors of humans and crops [J]. *Nature*, 2006, **444**(7117): 302 - 307.
- [8] HU Jiafu, ANGELI S, SCHUETZ S, et al. Ecology and management of exotic and endemic Asian longhorned beetle *Anoplophora glabripennis* [J]. *Agric For Entomol*, 2009, **11**(4): 359 - 375.
- [9] PARÉ P W, TUMLINSON J H. Plant volatiles as a defense against insect herbivores [J]. *Plant Physiol*, 1999, **121**(2): 325 - 331.
- [10] ALLISON J D, BORDEN J H, SEYBOLD S J. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera) [J]. *Chemoecology*, 2004, **14**(3/4): 123 - 150.
- [11] 严善春, 张丹丹, 迟德福. 植物挥发性物质对昆虫作用的研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(2): 310 - 313.
YAN Shanchun, ZHANG Dandan, CHI Defu. Advances in studies on the effects of plant volatiles on insects behavior [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14**(2): 310 - 313.
- [12] 王红伟, 杨伟, 杨桦, 等. 横坑切梢小蠹对植物挥发物的电生理和行为反应[J]. 生态学杂志, 2014, **33**(5): 1260 - 1266.
WANG Hongwei, YANG Wei, YANG Hua, et al. Electrophysiogram and behavioral responses of *Tomicus minor* (Hartig) (Coleoptera: Scolytidae) to plant volatiles [J]. *Chin J Ecol*, 2014, **33**(5): 1260 - 1266.

- [13] ZHUGE P P, LUO S L, WANG M Q, *et al.* Electrophysiological responses of *Batocera horsfieldi* (Hope) adults to plant volatiles [J]. *J Appl Entomol*, 2010, **134**(7): 600 – 607.
- [14] 张冬勇. 山核桃天牛危害调查及其云斑天牛植物源引诱物质研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016.
ZHANG Dongyong. *The Damage Investigation of Carya cathayensis Longhorned Beetles and Study on Plant Attractant of Batocera horsfieldi* [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2016.
- [15] MÜLLER C, HILKER M. The effect of a green leaf volatile on host plant finding by larvae of herbivorous insect [J]. *Naturwissenschaften*, 2000, **87**(5): 216 – 219.
- [16] 杨桦, 杨伟, 杨茂发, 等. 法国冬青和光皮桦挥发物日节律及云斑天牛的触角电位反应[J]. *应用生态学报*, 2011, **22**(2): 357 – 363.
YANG Hua, YANG Wei, YANG Maofa, *et al.* Diurnal rhythm of viburnum awabuki and *Betula luminifera* volatiles and electroantennogram response of *Batocera horsfieldi* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(2): 357 – 363.
- [17] 李继泉, 樊慧, 金幼菊. 光肩星天牛对损伤后复叶槭植株的行为反应[J]. *北京林业大学学报*, 2003, **25**(5): 42 – 46.
LI Jiquan, FAN Hui, JIN Youju. Behavior response of *Anoplophora glabripennis* (Motsh.) to the mechanical-wounded and herbivore-fed *Acer negundo* L. [J]. *J Beijing For Univ*, 2003, **25**(5): 42 – 46.
- [18] 马艳, 史黎央, 赵艺, 等. 不同危害状态下寄主山核桃挥发物成分的比较及桑天牛对其组分的 GC-EAD 和行为反应[J]. *昆虫学报*, 2018, **61**(5): 574 – 584.
MA Yan, SHI Liyang, ZHAO Yi, *et al.* Comparison of volatiles released from the host *Juglans mandshurica* in different damaged states and the GC-EAD and behavioral responses of *Apriona germari* (Coleoptera: Cerambycidae) to these volatiles [J]. *Acta Entomol Sin*, 2018, **61**(5): 574 – 584.
- [19] 毕拥国, 郭丽, 王志刚, 等. 桑天牛对 5 种植物源挥发性化合物及其混合物的触角电位和行为反应[J]. *蚕业科学*, 2017, **43**(1): 32 – 38.
BI Yongguo, GUO Li, WANG Zhigang, *et al.* Electroantennogram and behavioral responses of *Apriona germari* to five plant volatiles and their mixtures [J]. *Sci Seric*, 2017, **43**(1): 32 – 38.
- [20] HERN A, DORN S. A female-specific attractant for the codling moth, *Cydia pomonella*, from apple fruit volatiles [J]. *Naturwissenschaften*, 2004, **91**(2): 77 – 80.
- [21] TOOKER J H, CRUMRIN A L, HANKS L M. Plant volatiles are behavioral cues for adult females of the gall wasp *Antistrophus rufus* [J]. *Chemoecology*, 2005, **15**(2): 85 – 88.
- [22] YANG Hua, YANG Wei, YANG Maofa, *et al.* Effects of plant volatiles on the EAG and behavioral responses of *Batocera horsfieldi* Hope (Coleopter: Cerambycidae) [J]. *J Agric Urban Entomol*, 2010, **27**(1): 20 – 32.
- [23] YANG Hua, YANG Wei, YANG Maofa, *et al.* The EAG and behavioral responses of *Batocera horsfieldi* (Coleoptera: Cerambycidae) to the composition of volatiles [J]. *Kansas Entomol Soc*, 2011, **84**(3): 217 – 231.
- [24] BARATA E N, MUSTAPARTA H, PICKENTT J A, *et al.* Encoding of host and non-host plant odours by receptor neurons in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *J Comp Physiol*, 2002, **188**(2): 121 – 133.
- [25] PICHERSKY E, GERSHENZON J. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2002, **5**(3): 237 – 243.