



徐蕾, 吴广, 杨振德, 李贝娜, 韦善方, 黄嘉诚. 云斑白条天牛对核桃、桉树的趋向性和 EAG 反应 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (4): 959–965.

云斑白条天牛对核桃、桉树的趋向性和 EAG 反应

徐蕾¹, 吴广¹, 杨振德^{1,2*}, 李贝娜¹, 韦善方³, 黄嘉诚³

(1. 广西大学林学院, 南宁 530004; 2. 广西森林生态与保育重点实验室, 南宁 530004;

3. 巴马瑶族自治县核桃产业发展局, 广西巴马 547500)

摘要: 云斑白条天牛 *Batocera lineolata* 严重危害核桃树和桉树, 是一种寄主范围较广的蛀干害虫。本研究通过弄清云斑白条天牛对核桃和桉树两种寄主树种挥发物的行为反应差异, 为利用信息素监测和防治云斑白条天牛提供理论依据。本研究采用触角电位 (EAG) 反应和 “Y” 型嗅觉仪技术测定了云斑白条天牛对寄主核桃和桉树各部位挥发物的趋向性和 EAG 反应。结果表明: 核桃种群的云斑白条天牛成虫对核桃树皮、叶片和嫩枝挥发物的趋向率均高于桉树相应部位挥发物的趋向率。雌性天牛交尾后对核桃树皮的选择性显著高于交尾前对核桃树皮的选择性; 相反, 雄性天牛交尾后对核桃树皮的选择性显著低于交尾前对核桃树皮的选择性。核桃种群云斑白条天牛成虫对核桃和桉树的树皮、嫩枝和叶片的挥发物均有较强的 EAG 反应; 其中, 雌性天牛对核桃树皮挥发物的 EAG 反应值显著高于雄虫的 EAG 反应值; 未交尾雄虫对桉树嫩枝挥发物的 EAG 反应值显著高于核桃嫩枝的 EAG 反应值。可见, 来源于核桃种群的云斑白条天牛更趋向于选择核桃, 性别和交尾与否对其趋向性和 EAG 反应也存在一定影响。

关键词: 云斑白条天牛; 寄主挥发物; 选择趋向性; EAG 反应

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 04-0959-07

Selectivity and EAG response of *Batocera lineolata* to walnut (*Juglans regia*) and Eucalyptus (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) volatiles

XU Lei¹, WU Guang¹, YANG Zhen-De^{1,2*}, LI Bei-Na¹, WEI Shan-Fang³, HUANG Jia-Cheng³

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Guangxi Forest Ecological and Conservation Key Laboratory, Nanning 530004, China; 3. Development Bureau of Walnut Industry in Bama Yao Autonomous County, Bama 547500, Guangxi Province, China)

Abstract: *Batocera lineolata*, a stem borer pest with a wide diversity of hosts, is a serious threat to *Juglans regia* and *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*. The assessment of behavioral responses of *B. lineolata* to the host species *J. regia* and *E. grandis* × *E. urophylla*'s volatiles, provides a theoretical basis to the use of pheromones for the monitoring and controlling the borer pest's spread. EAG and Y-tube olfactometer were used to detect EAG and selective responses of *B. lineolata* to the host species volatiles. The results showed that the reaction of *B. lineolata* towards *J. regia* bark, leaf and twigs' volatiles, were higher than towards *E. grandis* × *E. urophylla*'s volatiles. Mated females had a significantly higher selectivity to *J. regia* bark than unmated females. Oppositely, mated males had a significantly lower selectivity to *J. regia* bark than unmated males. The adult *B. lineolata* sampled from *J. regia* had a slightly strong EAG response to

基金项目: 广西自然科学基金 (2017GXNSFAA198142); 广西林业科技项目 (桂林科字 [2014] 第 25 号); 广西创新驱动发展专项 (桂 AA17204087-10)

作者简介: 徐蕾, 女, 1995 年生, 云南普洱人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生理生态学, E-mail: 903108032@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 杨振德, 博士, 教授, 主要研究方向为森林保护学, E-mail: dzyang68@126.com

收稿日期 Received: 2019-12-03; 接受日期 Accepted: 2020-03-31

the bark, twigs and leaves of *J. regia* and *E. grandis* × *E. urophylla*, among that females had an significantly higher EAG response to *J. regia* bark volatiles than males, and unmated male had a significantly higher EAG response to *E. grandis* × *E. urophylla* twigs than *J. regia*. It can be seen that *B. lineolata* had a selectivity to the host plant *J. regia*. Sex and mating statuses influence the selectivity and EAG response of *B. lineolata* to the host plants *J. regia* and *E. grandis* × *E. urophylla*'s volatiles.

Key words: *Batocera lineolata*; host volatiles; selective preference; EAG response

云斑白条天牛 *Batocera lineolata* 隶属于鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae, 是一种适应性很强的多寄主蛀干害虫, 生活史较为复杂, 成虫和幼虫均可造成危害, 在我国主要分布于湖北、湖南、广东、广西、贵州、四川、云南等 16 个省区 (自治区) (肖刚柔, 1992), 其分布接近国土面积的 20% (李建庆等, 2008)。据记载, 2005 年在广西桂林约有 26 hm² 15 年生中径材桉树林受云斑天牛危害, 受害株率达 20% 以上, 并导致桉树大量死亡 (奚福生等, 2007); 调查发现, 广西河池市凤山县、天峨县、南丹县成片核桃林发生云斑天牛虫害 (韩俊严等, 2014)。Y 型嗅觉仪可以用来测定昆虫对宿主的选择行为, 而触角电位技术 (Electroantennography, EAG) 是从一系列化学物质中筛选出对昆虫有生理反应的部分化合物, 在探讨昆虫性信息素、对植物挥发物的反应以及感知植物气味的机理方面发挥着重要的作用 (田厚军等, 2011)。

近年来, 不少学者运用 Y 型嗅觉仪和 EAG 技术对天牛与寄主的相互关系进行了研究。Yang 等 (2013) 采用 Y 型嗅觉仪结合气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 法分析了未受云斑白条天牛侵害和受到云斑白条天牛侵害的冬青属植物 *Dipsacaceae* 挥发物对未交配雌、雄成虫的触角电位和行为反应, 得出受害的植物会产生特异挥发物对天牛产生更大的刺激作用, 使天牛对寄主的 EAG 反应更强。王紫薇等 (2016) 研究发现, 光肩星天牛对金丝垂柳 *Salix babylonica*、意大利杨树 *Populus euramevicana*、苦楝 *Melia azedarach* 等的选择差异与寄主植物挥发物中的萜烯类化合物有关。星天牛对砂糖橘 *Citrus reticulata* cv. *Shiyeju* 和苦楝 *Melia azedarach* 枝叶浸提物的 8 种组分产生不同程度的 EAG 反应 (钱明惠等, 2018); 光肩星天牛雌、雄成虫触角对复叶槭 *Acer negundo* 10 种挥发物的 EAG 反应差异显著 (李硕等, 2016)。

寄主的不同部位和挥发物不同比例和浓度对天牛的行为和 EAG 反应也存在一定影响。卓志航等 (2016) 研究发现云斑白条天牛对核桃的树皮

和树叶挥发物产生不同的 EAG 反应; 进一步分析表明核桃树皮中挥发性成分含量最高的 3 种物质依次是: 醇类桉叶油醇、萜烯类左旋-萜烯蒎烯和芳香族化合物 p-伞花烃, 核桃树叶中, 挥发性成分含量最高的 3 种物质依次是: 萜烯类 1-石竹烯、萜烯类 β 蒎烯和萜烯类。王保新等 (2014) 研究云斑天牛成虫对光皮桦 *Betula luminifera*、法国冬青 *Viburnum awabuki* 及核桃等植物中 10 种主要挥发物的 EAG 反应, 发现当挥发物浓度为 100 μg/μL 时, 云斑白条天牛成虫对所测试的植物挥发物的 EAG 反应最强。马艳等 (2019) 研究表明多斑白条天牛 *Batocera horsfieldi* 对山核桃不同受害状态下释放的挥发物产生显著不同的电生理反应, 推测这种差异是由于不同受害状态下山核桃挥发物的成分、比例和浓度不同导致。

随着广西桉树和核桃种植面积的迅速扩展, 云斑白条天牛对桉树和核桃的危害日益严重。在核桃林和桉树林相邻的情况下, 核桃种群的云斑白条天牛是否更倾向于选择原寄主核桃危害? 是否存在向新寄主桉树转移扩散和适应的风险? 交配状态是否影响产卵寄主和产卵位置选择? 弄清这些问题对于云斑白条天牛的科学防控具有重要意义。本文报道云斑白条天牛对核桃和桉树两种寄主植物挥发物的触角电位和行为反应, 为阐明其寄主选择机制并利用行为控制法对其进行防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试天牛及寄主材料

2017 年 11 月于广西河池市巴马县核桃种植基地采集被云斑白条天牛严重危害的核桃木段, 置于 50 cm × 60 cm × 80 cm 的塑料箱中保存。次年 5 月上旬刚羽化出孔未交配的成虫鉴别雌雄后分别放入 50 cm × 60 cm × 80 cm 的养虫笼中用新鲜的核桃枝条饲养, 同时到巴马县核桃种植基地采集成虫, 鉴别雌雄和交配状况后分别放入养虫笼中饲养备用。已交配雄虫腹部绒毛磨损, 形成明显的

交配斑; 已交配雌虫为背部绒毛磨损, 形成明显交配斑 (嵇保中等, 1996)。

寄主植物核桃和桉树均采自广西大学林学院教学实践基地。其中, 核桃 6 年生, 树高 6.5 m, 胸径为 16.7 cm; 广林 9 号桉树 3 年生, 树高 7.2 m, 胸径 12.6 cm。上午 8:00 在树高 1.3 m 处采集树皮、3 m 处采集嫩枝和树叶等健康无病虫害材料用于测试。

1.2 嗅觉行为反应生测

参考王保新等 (2014) 的方法采用 Y 型嗅觉仪进行云斑白条天牛嗅觉行为反应生测。Y 型嗅觉仪主臂 45 cm, 两侧臂 35 cm, 臂间夹角 75°。主臂和侧臂内径均为 10 cm, 交叉处采用标准磨口制成。两侧臂分别用 Telfon 管与 250 mL 味源瓶相连。测试前将天牛饥饿处理 12 h, 称取新剪下的桉树和核桃树的树皮、嫩枝、树叶各 3.0 g, 放入味源瓶中。将 10 min 内进入测试臂 10 cm 并停留超过 30 s 的天牛计为有选择, 其余的计为无选择 (试验条件: 红光, 室温 23~29℃)。供测试的成虫分为未交尾的雌虫、雄虫和已经交尾过的雌虫、雄虫 4 组, 每组成虫各 8 头, 共 32 头。每组测试 3 次, 每次测定间隔为 2 d。Y 型嗅觉仪测定 3 次选择行为后, 交换样品室的端口, 并用无水乙醇清洗 Y 型管以及连接样品室的 Telfon 管, 用蒸馏水润洗, 并用电吹风吹干后进行下一组的试验。

1.3 触角电位 (EAG) 测定

采用荷兰 Syntech 公司生产的触角电位仪测定云斑白条天牛对寄主挥发物的 EAG 反应值。测试前先将天牛饥饿处理 12 h, 选用成虫触角的鞭节最末 1 节测定 EAG 反应值, 测定前用解剖刀将其切下, 并切除尖端 1 mm。将制后触角横搭在事先沾有导电胶的电极上, 确保触角两端浸没在导电胶内, 将电极插入 EAG 探头中进行信号采集、放

大和转换分析。以寄主植物嫩枝、树皮和树叶的挥发物作为刺激源, 刺激源为人工采集的原材料, 没有采用任何试剂提取, 仅通过人工收集装入到密封袋或色谱瓶中。空气作为对照 (CK), 每次取 1.0 g 样品放入样品管中, 每个气味源样品重复刺激同一个成虫 2 根触角, 每根触角重复测定 3 次, 共 6 次。刺激顺序为: 对照 (空气) → 样品 → 对照 (空气)。每个气味源样品测试雌成虫和雄成虫各 3 头, 测试共 36 次。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 2010 进行处理, 用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。云斑天牛对不同寄主挥发物的趋向率及对不同部位挥发物的 EAG 反应差异分析采用了卡方检验, 当 $P < 0.05$ 时, 差异达显著水平, 进行多重比较。通过以下公式来计算趋向率和 EAG 反应值:

趋向率 (%) = $\frac{\text{进入气味臂的天牛总数}}{\text{测试天牛总数}} \times 100$

EAG 反应值 = $EAG_A - EAG_B$

EAG_A : 寄主样品 EAG 测量值; EAG_B : 对照 EAG 测量值。

2 结果与分析

2.1 云斑白条天牛对核桃、桉树挥发物的选择趋向性

核桃种群的云斑白条天牛对核桃和桉树各部位挥发物都存在一定的趋性, 说明核桃和桉树的嫩枝、树叶、树皮都存在引起核桃云斑白条天牛产生行为反应的挥发物, 其中云斑白条天牛对核桃各部位挥发物的趋向率均高于对桉树各部位挥发物的趋向率, 且最高趋向率达 85.71% (表 1)。

表 1 云斑白条天牛对核桃、桉树各部位挥发物的趋向率
Table 1 Selection rate of *Batocera lineolata* to *Juglans regia* and *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*'s volatiles

测试部位 Test sites	趋向率 (%) Selection rates			
	未交尾雄虫	未交尾雌虫	已交尾雄虫	已交尾雌虫
	Unmated male	Unmated female	Mated male	Mated female
桉树嫩枝 <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> twig	42.86	50.00	75.00	72.73
桉树叶 <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> leaf	66.67	56.25	46.15	54.55
桉树树皮 <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> bark	66.67	27.27	54.55	44.44
核桃嫩枝 <i>J. regia</i> twig	72.73	73.68	75.00	76.19
核桃树叶 <i>J. regia</i> leaf	76.19	78.26	77.78	78.95
核桃树皮 <i>J. regia</i> bark	80.00	78.95	76.19	85.71

未交尾的云斑白条天牛对桉树叶和桉树树皮的挥发物在性别间存在显著差异 ($P < 0.05$), 雄性云斑天牛对桉树叶和桉树树皮的趋向率高于雌性对桉树叶和桉树树皮的趋向率; 已交尾云斑天牛对桉树叶和桉树树皮的挥发物在性别间也存在显著差异 ($P < 0.05$), 交尾后云斑天牛雌虫对桉树叶的趋向率显著高于雄性天牛对桉树叶挥发物的趋向率, 对桉树树皮挥发物的趋向率显著低于雄性云斑天牛对桉树树皮的趋向率。未交尾的云斑白条天牛对核桃树各部位挥发物的趋向率在性别间无显著差异 ($P > 0.05$), 但在交尾后雌性天牛对核桃树皮挥发物的趋向率显著高于雄性对树皮挥发物的趋向率 ($P < 0.05$), 而对

嫩枝和树叶挥发物在雌雄间没有显著差异 (图 1)。

未交尾雄虫对桉树叶和桉树树皮的趋向率显著高于已交尾雄虫对桉树叶和桉树树皮挥发物的趋向率, 已交尾雄虫对桉树嫩枝挥发物的趋向率显著高于未交尾雄虫对桉树嫩枝挥发物的趋向率; 已交尾雌虫对桉树嫩枝和桉树树皮挥发物的趋向率显著高于交尾前雌虫对桉树嫩枝和桉树树皮的趋向率, 交尾前后雌虫对桉树叶挥发物的趋向率差异不显著。未交尾雄虫对核桃树皮挥发物的趋向率显著高于已交尾雄虫对核桃树皮挥发物的趋向率; 已交尾雌虫对核桃树皮挥发物的趋向率显著高于未交尾雌虫对树皮挥发物的趋向率 (图 2)。

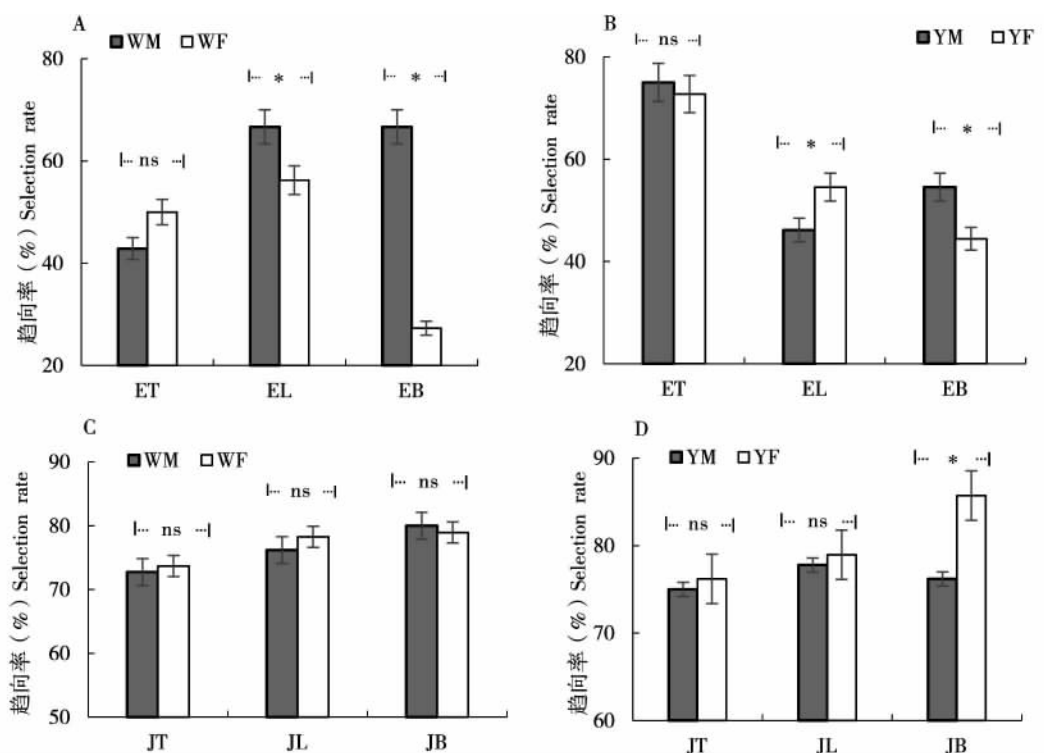


图 1 云斑白条天牛对核桃、桉树各部位挥发物趋向率的性别差异

Fig. 1 Sex influence on the selection rate of *Batocera lineolata* to *Juglans regia* and *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*'s volatiles
 注: A, C, 未交尾成虫; B, D, 已交尾成虫; WM, 未交尾雄虫; WF, 未交尾雌虫; YM, 已交尾雄虫; YF, 已交尾雌虫; ET, 桉树嫩枝; EL, 桉树叶; EB, 桉树树皮; JT, 核桃嫩枝; JL, 核桃树叶; JB, 核桃树皮 “*” 表示不同类型天牛成虫对同一挥发物的趋向率间差异显著 ($P < 0.05$), “ns” 表示不同类型天牛成虫对同一挥发物的趋向率间差异不显著 ($P > 0.05$), 下同。Notes: A, C, unmated adult; B, D, mated adult; WM, unmated male adult; WF, unmated female adult; YM, mated male adult; YF, mated female adult; ET, *E. grandis* × *E. urophylla* Twig; EL, *E. grandis* × *E. urophylla* Leaf; EB, *E. grandis* × *E. urophylla* Bark; JT, *J. regia* Twig; JL, *J. regia* Leaf; JB, *J. regia* Bark “*” represents the difference was significant between the selection rates of different types of adult *B. lineolata* to the same volatiles ($P < 0.05$), “ns” represents the difference was not significant between the selection rates of different types of adult *B. lineolata* to the same volatiles ($P > 0.05$), the same as below.

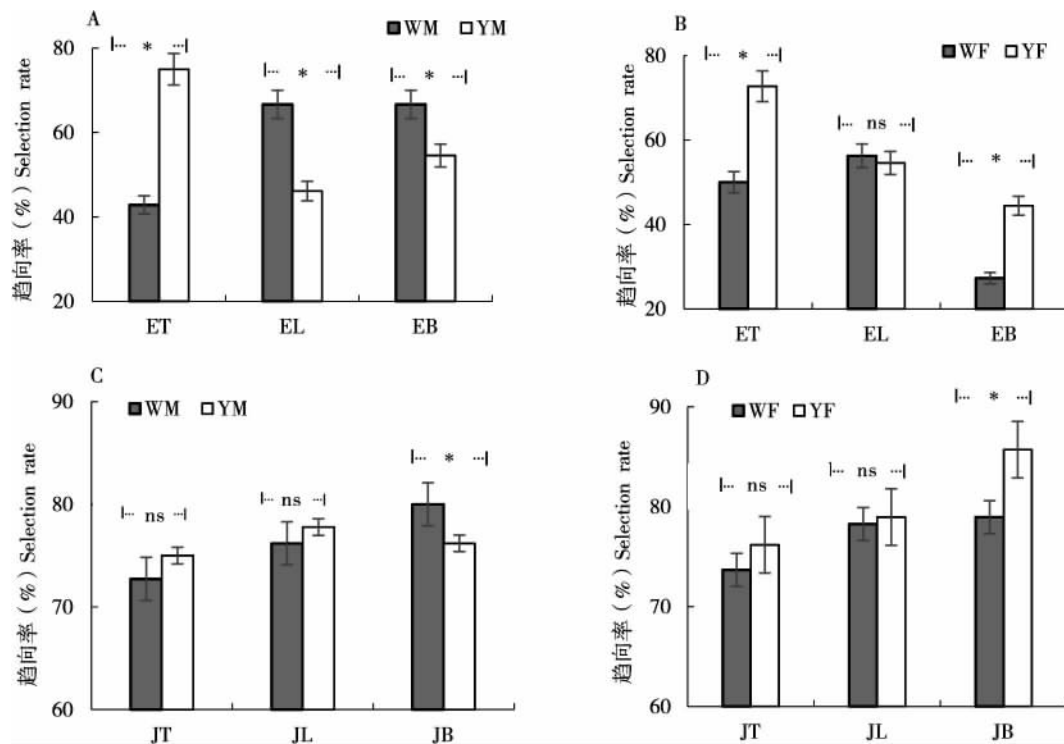


图2 云斑白条天牛交尾与否对核桃、桉树各部位挥发物趋向率的影响

Fig. 2 Mating statuses influence the selection rate of *Batocera lineolata* to *Juglans regia* and *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*'s volatiles

注: A, C, 雄成虫; B, D, 雌成虫; Notes: A, C, male adult; B, D, female adult.

2.2 云斑白条天牛对核桃、桉树不同部位挥发物的 EAG 反应

云斑天牛成虫对核桃和桉树的树皮、嫩枝和树叶挥发物均有明显的 EAG 反应 (图 3)。其中, 云斑天牛雌成虫对核桃树皮挥发物的 EAG 反应值显著高于雄性成虫 ($P < 0.05$), 而天牛成虫对嫩枝和树叶挥发物的 EAG 反应值在性别间无显著差异 ($P > 0.05$), 表明核桃树皮可能存在对天牛雌成虫具有较强特异性刺激作用的挥发物。云斑白条天牛未交尾雄虫对核桃嫩枝挥发物的 EAG 反应值显著低于对桉树嫩枝挥发物的 EAG 反应值 ($P < 0.05$), 说明桉树嫩枝挥发物对未交尾天牛雄虫具有更大刺激作用, 可能对未交尾云斑天牛核桃种群雄虫具有较大的趋避或引诱作用。云斑白条天牛核桃种群已交尾雌虫对核桃树叶挥发物的 EAG 反应值显著高于对桉树叶挥发物的 EAG 反应值 ($P < 0.05$), 说明核桃树叶对已交尾雌虫的刺激作用大于桉树叶, 核桃种群的云斑白条天牛更倾向于选择核桃树作为其产卵目标寄主。

3 讨论与结论

云斑白条天牛在寄主选择时具有优先选择原寄主的特点。阎雄飞 (2008) 研究发现, 光肩星天牛 *Anoplophora auriculata* 对原寄主树种枝条挥发物气味表现出正趋性反应。王峰等 (2007) 研究光肩星天牛在不同寄主树种上的取食、交配、产卵等情况, 发现光肩星天牛成虫在进行寄主选择时, 对原寄主具有一定“记忆效应”。光肩星天牛成虫在其原寄主植物上刻槽和产卵的比率最高, “记忆效应”表现得十分明显。本研究结果表明, 核桃种群云斑白条天牛对原寄主核桃的选择趋性高于对新寄主桉树的选择趋性, 推测核桃种群云斑白条天牛同样也存在对原寄主的“记忆效应”。但核桃种群云斑天牛对新寄主桉树也具有一定的选择趋向性, 推测云斑白条天牛在危害原寄主核桃的同时还存在向新寄主桉树转移扩散和适应的趋势, 说明云斑白条天牛具有行为可塑性, 在应对复杂多变环境时具有快速适应环境的能力而产生对新寄主的适应机制。

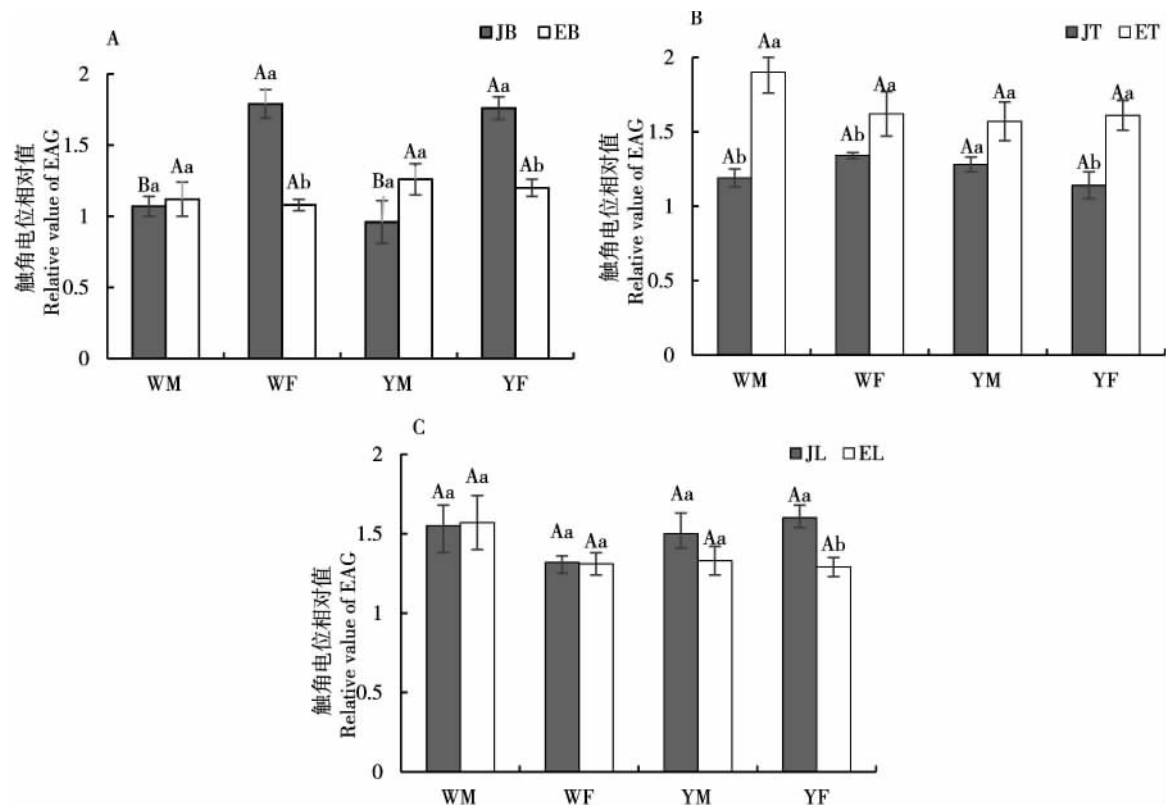


图3 云斑白条天牛对核桃和桉树各部位挥发物的 EAG 反应

Fig. 3 EAG response of adult *Batocera lineolata* to *Juglans regia* and *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*'s volatiles

注: 不同大写字母表示不同类型天牛试虫对同一种挥发物源的 EAG 反应间有显著差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示同一种类型试虫对不同挥发物源的 EAG 反应间有显著差异 ($P < 0.05$)。Note: Different capital letters indicate significant difference between EAG response of different types of *B. lineolata* to the same volatiles ($P < 0.05$). The different lowercase letters indicate significant difference between EAG response of the same types of *B. lineolata* to the different volatiles ($P < 0.05$).

不同地理种群的云斑白条天牛偏好取食不同的寄主。杨洋 (2017) 在研究杨树云斑白条天牛对补充营养寄主桉树和核桃的选择时发现云斑白条天牛雌成虫主要选择取食桉树而选择取食核桃不明显, 但是本研究结果表明核桃云斑白条天牛成虫在寄主选择上雌雄成虫均嗜好核桃树而非桉树。造成试验结果不一致的原因主要是云斑白条天牛的原生寄主不同: 四川省罗青县的云斑白条天牛原寄主为杨树, 而本研究的云斑白条天牛原寄主为广西巴马瑶族自治县的核桃树。推测四川杨树云斑白条天牛种群和广西核桃云斑白条天牛种群发生了分化, 从而导致寄主选择行为的改变, 这需要进行进一步的研究验证。

交尾后的云斑白条天牛对原寄主树皮挥发物具有较强的趋向性。陈建民等 (2018) 研究表明, 咖啡脊虎天牛 *Xylotrechus quadripes* 在产卵寄主选择阶段能够明显区分金银花、泡桐和榆树, 大量卵产于金银花枝条缝隙内。本试验分别对不同寄主

的树皮、嫩枝和树叶部位进行趋向性测试和 EAG 反应测试, 发现交尾后的云斑白条天牛雌成虫对核桃树皮挥发物的趋向率显著高于雄成虫和交尾前的雌成虫对树皮挥发物的趋向率, 说明雌虫在产卵时对核桃树皮的位置有更大的趋向性。这与交尾后的云斑白条天牛雌成虫选择树皮作为产卵位置的产卵选择行为一致 (李建庆等, 2018), 也提示核桃树皮中存在引诱雌虫天牛前来产卵的活性物质。这为从寄主树皮中提取调控云斑白条天牛产卵位置选择的活性物质提供思路。

天牛对寄主植物的定向选择是一个非常复杂的过程。本研究发现核桃种群云斑天牛成虫对寄主核桃和桉树的树皮、嫩枝、树叶的挥发物具有一定的趋向性和 EAG 反应, 雌成虫对核桃树皮的趋向性和 EAG 反应最强, 但核桃和桉树挥发物中究竟是何种物质对云斑天牛雌雄虫产生定向作用有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Chen JM, Liu S, Qiao HL, et al. Study on spawning behavior of *Xylotrechus quadripes* on three hosts by pest of *Lonicera japonica* Thunb [J]. *Journal of Chinese Modern Traditional Chinese Medicine*, 2018, 20 (5): 581–585. [陈建民, 刘赛, 乔海莉, 等. 金银花害虫咖啡脊虎天牛对三种寄主的产卵行为研究 [J]. 中国现代中药, 2018, 20 (5): 581–585]
- Han JY, Xie DZ, Lu CJ. Investigation and control measures of walnut pests and diseases in Hechi City [J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2014, 3: 156–158. [韩俊严, 谢代祖, 卢长江. 河池市核桃病虫害调查及防治措施 [J]. 绿色科技, 2014, 3: 156–158]
- Ji BZ, Qian FJ, Yan AJ. Improvement of method studying *Batocera horsfieldi* (Hope) [J]. *Forest Pest and Disease*, 1996, 1: 45–46. [嵇保中, 钱范俊, 严放金. 云斑天牛研究方法的改进 [J]. 森林病虫通讯, 1996, 1: 45–46]
- Li JQ, Yang ZQ, Mei ZX, et al. Pest risk analysis and control countermeasure of *Batocera horsfieldi* [J]. *Forestry Scientific Research*, 2009, 22 (1): 148–153. [李建庆, 杨忠岐, 梅增霞, 等. 云斑天牛的风险分析及其防控对策 [J]. 林业科学研究, 2009, 22 (1): 148–153]
- Li S, Gao W, Chen XC, et al. Electroantennogram response of *Anoplophora glabripennis* to *Acer negundo* volatiles [J]. *Forest Pests and Diseases*, 2016, 35 (2): 9–14. [李硕, 高薇, 程相称, 等. 光肩星天牛对复叶槭挥发物的触角电位及行为反应 [J]. 中国森林病虫, 2016, 35 (2): 9–14]
- Li JQ, Mei ZX, Xia JB, et al. Harm and Biological Control Techniques of *Batocera lineolata* [M]. Beijing: Science Press, 2018. [李建庆, 梅增霞, 夏家宝, 等. 云斑天牛的危害与生物防治技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2018]
- Ma Y, Shi LY, Zhao Y, et al. Electroantennogram and behavioral responses of *Batocera horsfieldi* to volatiles released from the *Carya cathayensis* in different damaged states [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural and Forestry University*, 2019, 36 (3): 437–443. [马艳, 史黎央, 赵艺, 等. 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 [J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36 (3): 437–443]
- Qian MH, Huang YH, Huang ZH, et al. GC – EAD response of longhorned beetle, *Anoplophora chinensis* to extraction from host plant branches and leaves [J]. *Journal of Environmental Insects*, 2018, 40 (3): 690–694. [钱明惠, 黄咏槐, 黄泽翰, 等. 星天牛对寄主植物枝叶浸提物的触角电位反应 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (3): 690–694]
- Tian HJ, Chen YX, Huan YQ. Advances in electroantennogram (EAG) technique of insect [J]. *Journal of Fujian Agriculture*, 2011, 26 (5): 907–910. [田厚军, 陈艺欣, 黄玉清. 昆虫触角电位技术的研究进展 [J]. 福建农业学报, 2011, 26 (5): 907–910]
- Wang ZW, Xu HC, Zhang WW, et al. *Anoplophora glabripennis* host – plant selection with main host – plant volatile chemical component analysis [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural and Forestry University*, 2016, 33 (4): 558–563. [王紫薇, 徐华潮, 张妮妮, 等. 光肩星天牛对寄主的选择及主要寄主挥发物的化学成分分析 [J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33 (4): 558–563]
- Wang BX, Yang Y, Yang W, et al. EAG and behavioral responses of *Batocera lineolata* to ten plant volatiles [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (2): 481–489. [王保新, 杨桦, 杨伟, 等. 云斑天牛对 10 种植物挥发物的 EAG 和行为反应 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (2): 481–489]
- Wang F, Luo YQ, Tian GF, et al. “Memory effect” in host selection of *Anoplophora auriculata* adults [J]. *Forest Pests and Diseases*, 2007, 26 (4): 11–14. [王峰, 骆有庆, 田桂芳, 等. 光肩星天牛成虫寄主选择中的“记忆效应” [J]. 中国森林病虫, 2007, 26 (4): 11–14]
- Xiao GR. China Forest Insects [M]. Beijing: China Forestry Press, 1992: 472–473. [肖刚柔. 中国森林昆虫 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 472–473]
- Xi FS, Luo JT, Li GY, et al. Eucalyptus Pests and Pests in China [M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2007. [奚福生, 罗基同, 李贵玉, 等. 中国桉树病虫害及害虫天敌 [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2007]
- Yang H, Yang W, Yang CP, et al. Electrophysiological and behavioral responses of the white – striped longhorned beetle, *Batocera lineolata*, to the diurnal rhythm of host plant volatiles of holly, *Viburnum awabuki* [J]. *Journal of Insect Science*, 2013, 13: 85.
- Yan XF. Study on the Effect of “Memory” on Host Selection of *Anoplophora auriculata* Adults [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008. [阎雄飞. 光肩星天牛成虫寄主选择“记忆”效应研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2008]
- Yang Y. Preference for Feeding Plants and Analysis of Different Expression of Olfactory Genes of *Batocera lineolata* [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2017. [杨洋. 云斑天牛补充营养的寄主选择性与嗅觉基因表达差异分析 [D]. 成都: 四川农业大学, 2017]
- Zhuo ZH, Yang W, Xu DP, et al. Volatile components in bark and leaf of host plant *Juglans regia* of *Batocera lineolata* [J]. *Journal of Northwest University of Agriculture and Forestry*, 2016, 44 (5): 205–212. [卓志航, 杨伟, 徐丹萍, 等. 云斑天牛寄主核桃树皮及树叶的挥发性成分 [J]. 西北农林科技大学学报, 2016, 44 (5): 205–212]