

光肩星天牛对山核桃挥发性组分的触角电位分析

杜和芬¹, 王佩星², 徐华潮², 张娓娓², 王紫薇²

(1. 浙江省温州市龙湾区农林局, 浙江 温州 325024; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 近年来危害山核桃 *Carya cathayensis*, 给浙江省临安市山核桃产业造成巨大影响。为给光肩星天牛引诱剂和驱避剂的开发提供基础数据, 测定光肩星天牛成虫对 α -蒎烯、 β -蒎烯、对二氯苯、邻二甲苯、莰烯、柠檬烯、樟脑、罗勒烯、对乙基苯乙酮等 9 种山核桃植株挥发物 5 个浓度的触角电位 (EAG) 反应。结果表明: 光肩星天牛雌虫触角对 β -蒎烯的 EAG 活性高于其他化合物, 而雄虫触角对柠檬烯、罗勒烯有明显的 EAG 反应。此外, 光肩星天牛雄虫触角对柠檬烯的 EAG 反应活性随浓度的升高而加大, 而光肩星天牛雄虫触角对樟脑的 EAG 反应活性则随浓度的升高而降低。表明天牛触角对不同种挥发物质的不同浓度所产生的 EAG 活性都存在差异, 且雌雄差异显著 ($P < 0.05$)。这些特性很有可能为研发高效特异性光肩星天牛引诱剂与趋避剂提供理论基础。表 2 参 19

关键词: 森林保护学; 光肩星天牛; 山核桃; 植株挥发物; 触角电位

中图分类号: S763.38

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2016)01-0166-06

EAG responses of Asian longhorn beetle *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) to volatiles of hickory

DU Hefen¹, WANG Peixing², XU Huachao², ZHANG Weiwei², WANG Ziwei²

(1. Agriculture and Forest Enterprise of Longwan District, Wenzhou 325024, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To provide basic information for development of attractants and repellents of *Anoplophora glabripennis*, electroantennography (EAG) instrumentation was used to examine the EAG response of *A. glabripennis* adults to nine kinds of *Carya cathayensis* (hickory) volatiles, including: α -pinene, β -pinene, ocimene, 1,4-dichlorobenzene, 1,2-xylene, camphene, limonene, camphor and so on, at five concentrations (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} mol·L⁻¹). Significant differences ($P < 0.05$) were present for the feeling strength of the antennae in relation to volatiles from female and male adults. For female adults β -pinene elicited the highest EAG response (relative EAG values is about 17.4), for male adults EAG responses to limonene and ocimene were apparent (relative EAG values is about 13.4 and 7.3). In addition, EAG showed a response to different concentrations of volatile matter for tentacles, significantly different among different samples ($P < 0.05$) by LSD method. This study will provide a theoretical foundation for research and development of attractants and repellents of *A. glabripennis*. [Ch, 2 tab. 19 ref.]

Key words: forest protection; *Anoplophora glabripennis*; *Carya cathayensis* (hickory); volatiles; electroantennography (EAG)

收稿日期: 2015-01-31; 修回日期: 2015-03-20

基金项目: 浙江省重大科技专项重点项目 (2010C12029); 国家重点基础研究发展计划 (“973” 计划) 项目 (2009CB119205); 浙江农林大学科研发展基金人才启动项目 (2013FR061)

作者简介: 王佩星, 从事森林有害昆虫综合防治研究。E-mail: wpx126@126.com。通信作者: 徐华潮, 教授, 博士, 博士生导师, 从事昆虫系统学及有害生物综合治理研究。E-mail: xhcinsect@zafu.edu.cn

山核桃 *Carya cathayensis* 为中国特有珍贵干果和木本油料，主产于浙皖交界的天目山区。然而山核桃受云斑天牛 *Batocera horsfieldi*，桑天牛 *Apriona germari*，光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 等多种天牛的危害日趋严重，幼虫蛀食山核桃枝干，严重时甚至造成整株枯死^[1-2]。光肩星天牛是一类重要的森林昆虫，种类繁多，分布广泛^[3-4]。天牛类蛀干型害虫的幼虫具有隐蔽活动、分散危害的特点^[5]。针对天牛成虫期在外裸露活动、补充营养等习性，从天牛化学生态学及其行为防治技术的研究，探明植物挥发性次生物质的组分以及天牛的化学感受器对植物挥发物的反应机制，已成为防控天牛类蛀干害虫的主要研究方向，有助于开发天牛植物源引诱剂或驱避剂，提出天牛类蛀干害虫防治的新策略^[6-7]。天牛雌、雄成虫触角对植物挥发性化合物反应的敏感部位位于末端，利用常规的电生理方法即可以检测出挥发物是否会引起昆虫生理反应^[8]。触角电位(electroantennography, EAG)是最早用于昆虫信息物质研究的电生理技术，由于其高灵敏度和选择性，在快速检测昆虫信息物质中得到了广泛的应用^[6]。已有研究表明：光肩星天牛成虫对月桂烯、水芹烯、萹烯、茨烯、蒎烯、柠檬烯、罗勒烯、乙酸乙酯和正己烷等植物挥发物均有明显的 EAG 反应^[9]。本研究通过探讨不同寄主山核桃植株挥发物对光肩星天牛 EAG 反应的影响，以期研究天牛类蛀干害虫感知植物气味的机制，为光肩星天牛植物源引诱剂与趋避剂的研究做铺垫。

1 试验材料

1.1 供试昆虫

研究所用的光肩星天牛雌、雄成虫来自于浙江省临安市横路乡登村山核桃林。将受虫害山核桃植株砍下后，由浙江农林大学森林保护重点实验室人工饲养，温度为 25 ℃，湿度 75%，待其幼虫羽化飞出即可。选取处于初羽化状态的天牛成虫用作实验材料。

1.2 供试植物源挥发性物质及其配制

采用顶空吸附采样的方法收集山核桃植株的气体挥发物。根据气相色谱-质谱联用(gas chromatography/mass spectrum, GC-MS)对寄主山核桃植株挥发性气体的化学成分测定分析后，选择其中的 10 种挥发性物质单体进行 EAG 分析。其纯度及来源见表 1。

表 1 光肩星天牛 EAG 试验所用的 10 种标准挥发物的名称、纯度及来源

Table 1 Name, purity and sources of 10 kinds of standard volatiles			
编号	样品名称	纯度/%	来源
1	对二氯苯 1,4-dichlorobenzene	≥99	Aladdin Industrial Corporation
2	邻二甲苯 1,2-xylene	≥98	Aladdin Industrial Corporation
3	α-蒎烯 α-pinene	≥98	上海源叶生物技术有限公司
4	β-蒎烯 β-pinene	≥98	上海源叶生物技术有限公司
5	茨烯 camphene	≥98	上海源叶生物技术有限公司
6	柠檬烯 limonene	≥98	上海源叶生物技术有限公司
7	樟脑 camphor	≥96	上海源叶生物技术有限公司
8	罗勒烯 oclmene	≥90	Aladdin Industrial Corporation
9	对乙基苯乙酮 4'-ethylacetopheneone	>97	Aladdin Industrial Corporation
10	β-石竹烯 β-caryophyllene	≥90	Aladdin Industrial Corporation

将各种挥发物标准品分别溶于液体石蜡中，并使用涡旋混合器使其充分混合，配制成基本浓度为 1.0 mol·L⁻¹ 的溶液。试验前分别用液体石蜡将其稀释成所需浓度。试验设为 10⁻¹，10⁻²，10⁻³，10⁻⁴ 和 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个不同浓度，以液体石蜡(天津市百世化工有限公司)作对照。

2 试验设计

2.1 触角电位反应

本研究采用的触角电位仪由荷兰 Syntech 公司生产的智能化数据获取控制器 IDAC-4，微动操作仪 Syntech MN-151，刺激气流控制器 Syntech CS-55，及 Syntech 软件处理系统组成。刺激气流流速设定为

400.0 mL·min⁻¹, 持续气流流速设定为 100.0 mL·min⁻¹, 刺激时间为 0.5 s, 2 次刺激的间隔为 40 s^[12]。

滤纸剪成 1.5 cm × 0.8 cm 大小, 对折成 1.5 cm × 0.4 cm 塞入干净的巴斯德管顶部, 用作挥发物的载体, 塞入后的滤纸能够在巴斯德管内滑动为宜。试验时每次用移液器将待测样品均匀滴于滤纸载体上, 并将其滑入巴斯德管内^[10-11]。测试的计量为 10 μL·次⁻¹。

选择活跃的刚羽化的光肩星天牛成虫, 在用锋利的手术刀片将其整根触角从基部切下, 再切除触角鞭节的尖端少许末梢。触角柄节端用 Spectra 360 型导电胶固定在参考电极上, 切开小口的触角末鞭节端通过导电胶与记录电极相接^[11]。调整气味混合管与触角间距离为 1.0 cm。触角的活性因离体时间的延长而降低, 测试过程中需定时标定触角的活性。标定方法: 在各种挥发物 EAG 测定前后各做 1 次 10⁻³ mol·L⁻¹ 浓度的 β-石竹烯(aladdin industrial corporation)标样的 EAG 测定^[11-12]。

测定光肩星天牛雌、雄成虫对 5 个浓度梯度寄主植物挥发物单品的 EAG 反应, 测试以浓度从低到高的顺序进行, 刺激部位为触角最敏感节端部第 2 节, 以液体石蜡为对照, 重复刺激光肩星天牛雌、雄成虫各 3 只触角, 重复测定 5 次·触角⁻¹。

为了消除外界影响, 以同浓度的石蜡油溶液为对照, 测定样品前后分别用对照溶液测定 1 次。将样品 EAG 测量值减去前后对照的平均值, 得到样品 EAG 反应的绝对值。以标准化合物质量分数为 1%β-石竹烯的 EAG 值为参比, 消除不同天牛对气体反应存在的个体差异。参比值减去前后对照溶液的平均值, 得到参比样品 EAG 反应的标准值。将样品反应的绝对值除以参比样品反应的标准值, 得到了样品反应的相对值^[11]。

2.2 数据统计分析方法

所有试验数据皆采用 SPSS 软件进行统计分析。2 个因素间差异显著性用配对样本 *t* 检验。单变量双因素间的交互作用采用单变量多因素方差分析法。最小显著差多重比较法(LSD)分析各组间的配对比较。

3 结果与分析

光肩星天牛成虫对 9 种挥发物 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴ 和 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个浓度的 EAG 反应, 根据每次试验所测量的对照值及参照值分别计算样本 EAG 反应相对值, 如表 2 所示。光肩星天牛雌、雄虫对上述 9 种植物挥发性化合物的刺激反应存在较大的差异, 除对邻二氯苯、对二甲苯、樟脑、对乙基苯乙酮、α-蒎烯、β-蒎烯、罗勒烯等的个别浓度反应差异不显著之外, 雌、雄成虫对其余大部分挥发物的 EAG 反应差异显著(*P* < 0.05)。此外, 光肩星天牛对同种化合物的不同浓度的 EAG 反应相对值存在显著性差异。

光肩星天牛雄虫对 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 2 个浓度的茨烯, 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个浓度罗勒烯, 10⁻¹, 10⁻³ mol·L⁻¹ 等 2 个浓度的 β-蒎烯, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 3 个浓度的 α-蒎烯, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 4 个浓度的对二甲苯, 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 3 个浓度的樟脑以及 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个浓度的柠檬烯的 EAG 相对反应值较大, 反应较为显著。对 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个浓度的对乙基苯乙酮的 EAG 相对反应值较小, 表明光肩星天牛雄虫对其不敏感。

光肩星天牛雌虫对 10⁻², 10⁻³ mol·L⁻¹ 等 2 个浓度的茨烯, 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个浓度的 β-蒎烯, 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴ mol·L⁻¹ 等 4 个浓度的 α-蒎烯, 10⁻¹, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 3 个浓度的邻二氯苯, 10⁻¹, 10⁻³, 10⁻⁴ mol·L⁻¹ 等 3 个浓度的对二甲苯, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 4 个浓度的对乙基苯乙酮, 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个浓度的樟脑的 EAG 相对反应值较大, 反应较为显著。而对 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ mol·L⁻¹ 等 5 个浓度的罗勒烯以及柠檬烯的 EAG 相对反应值较小, 这点与光肩星天牛雄虫的反应正好相反。

光肩星天牛雄虫对罗勒烯、对二甲苯、樟脑、柠檬烯以及 α-蒎烯反应较为明显, 其中对柠檬烯的 EAG 反应值最大, 对邻二氯苯和对乙基苯乙酮则几乎无明显反应; 光肩星天牛雌虫对樟脑、β-蒎烯以及 α-蒎烯的 EAG 反应效果明显, 其中对 β-蒎烯的 EAG 反应值最大, 对茨烯、邻二氯苯以及柠檬烯反应不明显。

表 2 光肩星天牛成虫对山核桃挥发物成分单品的 EAG 反应相对值

Table 2 Relative EAG responses of beetles to five different concentrations of 9 kinds of volatile compounds

挥发性化合物	挥发物浓度/(mol·L ⁻¹)	EAG 的相对平均值		雌雄配对样本 <i>t</i> 检验
		雄虫	雌虫	
苧烯	10 ⁻⁵	1.135 ± 0.135 a	0.369 ± 0.000 d	0.000 3
	10 ⁻⁴	1.344 ± 0.339 a	0.548 ± 0.048 c	0.021 8
	10 ⁻³	0.035 ± 0.006 c	1.720 ± 0.467 b	0.001 5
	10 ⁻²	0.678 ± 0.006 b	2.680 ± 0.011 a	0.000 0
	10 ⁻¹	0.660 ± 0.127 b	0.248 ± 0.012 e	0.002 3
罗勒烯	10 ⁻⁵	7.136 ± 1.143 a	0.952 ± 0.191 b	0.001 2
	10 ⁻⁴	1.234 ± 0.170 c	0.084 ± 0.003 b	0.237 3>0.05
	10 ⁻³	5.842 ± 0.172 b	0.163 ± 0.157 a	0.053 3>0.05
	10 ⁻²	7.321 ± 0.318 a	0.692 ± 0.084 b	0.000 4
	10 ⁻¹	2.229 ± 0.112 c	0.163 ± 0.063 b	0.039 8>0.05
β-蒎烯	10 ⁻⁵	0.715 ± 0.335 a	6.440 ± 4.710 b	0.051 3>0.05
	10 ⁻⁴	0.544 ± 0.194 a	3.190 ± 1.060 b	0.006 6
	10 ⁻³	1.830 ± 1.760 a	2.500 ± 1.000 b	0.301 6>0.05
	10 ⁻²	1.980 ± 1.520 a	17.400 ± 2.109 a	0.000 1
	10 ⁻¹	1.500 ± 0.553 a	13.000 ± 4.000 a	0.003 9
α-蒎烯	10 ⁻⁵	4.011 ± 0.671 a	0.847 ± 0.625 b	0.002 0
	10 ⁻⁴	3.610 ± 0.542 a	8.280 ± 0.450 a	0.000 2
	10 ⁻³	0.787 ± 0.256 b	8.570 ± 4.770 a	0.238 0>0.05
	10 ⁻²	4.340 ± 0.737 a	2.810 ± 2.140 b	0.152 1>0.05
	10 ⁻¹	0.766 ± 0.022 b	3.810 ± 0.500 b	0.000 2
邻二氯苯	10 ⁻⁵	0.250 ± 0.050 a	1.770 ± 0.841 b	0.017 8
	10 ⁻⁴	0.405 ± 0.395 a	1.170 ± 0.733 b	0.112 9>0.05
	10 ⁻³	0.350 ± 0.250 a	0.748 ± 0.582 b	0.168 5>0.05
	10 ⁻²	0.530 ± 0.270 a	0.773 ± 0.151 b	0.123 0>0.05
	10 ⁻¹	0.205 ± 0.121 a	3.250 ± 0.659 a	0.000 7
对二甲苯	10 ⁻⁵	3.240 ± 1.840 a	0.229 ± 0.188 c	0.023 9
	10 ⁻⁴	3.760 ± 0.040 a	1.690 ± 0.010 ab	0.000 0
	10 ⁻³	3.480 ± 0.080 a	2.560 ± 0.648 a	0.035 5
	10 ⁻²	1.140 ± 0.460 b	0.958 ± 0.458 b	0.326 7>0.05
	10 ⁻¹	0.600 ± 0.480 b	2.310 ± 1.650 ab	0.079 3
对乙基苯乙酮	10 ⁻⁵	0.350 ± 0.103 b	2.910 ± 0.050 a	0.000 0
	10 ⁻⁴	0.550 ± 0.241 ab	3.400 ± 0.171 a	0.000 0
	10 ⁻³	0.450 ± 0.786 b	1.710 ± 0.052 b	0.001 8
	10 ⁻²	1.000 ± 0.572 a	1.820 ± 0.789 b	0.077 9>0.05
	10 ⁻¹	0.650 ± 0.335 ab	0.547 ± 0.140 c	0.329 7>0.05
樟脑	10 ⁻⁵	2.560 ± 1.690 a	4.390 ± 2.390 ab	0.169 9>0.05
	10 ⁻⁴	2.850 ± 0.525 a	2.710 ± 1.060 b	0.426 7>0.05
	10 ⁻³	2.180 ± 0.050 ab	4.286 ± 0.357 ab	0.000 3
	10 ⁻²	0.813 ± 0.187 bc	5.071 ± 0.929 a	0.000 7
	10 ⁻¹	0.650 ± 0.025 c	5.140 ± 0.000 a	0.000 0
柠檬烯	10 ⁻⁵	2.840 ± 0.781 c	0.952 ± 0.191 a	0.007 6
	10 ⁻⁴	2.690 ± 1.440 c	0.084 ± 0.003 c	0.017 5
	10 ⁻³	4.780 ± 1.280 bc	0.163 ± 0.163 c	0.001 7
	10 ⁻²	7.190 ± 3.500 b	0.692 ± 0.084 b	0.016 2
	10 ⁻¹	13.400 ± 2.190 a	0.163 ± 0.163 c	0.000 2

说明：表中数据是 15 次重复的平均值±标准误。同一列相同字母表示天牛对不同样品 EAG 反应数据的 LSD 多重比较差异不显著(*P*>0.05)。该 2 组数据表示 EAG 测量的平均值。

4 结论与讨论

本研究通过从触角电位图中获取光肩星天牛成虫对山核桃植株挥发性气体化合物的反应情况。山核桃植株释放的挥发性气体是由数十种化合物组合而成,且受不同的生境影响化合物的成分组成与浓度比例不同。通过使用各种挥发性化合物的不同浓度一一刺激光肩星天牛的触角,筛选出最佳的挥发性化合物种类以及浓度,设计出针对光肩星天牛最为有效的植物源引诱剂配方。

从数据分析可知,光肩星天牛成虫对上述9种山核桃植株气体挥发物的EAG反应程度存在较大的差异,如光肩星天牛雄虫对罗勒烯、对二甲苯、樟脑、柠檬烯以及 α -蒎烯反应较为明显,其中对柠檬烯的EAG反应值最大,对邻二氯苯和对乙基苯乙酮则几乎无反应;光肩星天牛雌虫对樟脑、 β -蒎烯以及 α -蒎烯的EAG反应效果明显,其中对 β -蒎烯的EAG反应值最大,对茨烯、邻二氯苯以及柠檬烯反应不明显。

光肩星天牛雌、雄虫对山核桃植物挥发性化合物的反应存在较大的差异,在今后植物源引诱剂的研究方面需要加以注意,雄虫对罗勒烯、柠檬烯以及 α -蒎烯的反应明显,对柠檬烯的EAG反应相对反应值随浓度递增,对其余化合物则在浓度达最大值时EAG反应相对值有下降;雌虫则对 α -蒎烯、 β -蒎烯反应明显,使用 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度处理雌虫触角所获得的EAG反应相对值达到所有试验最大值,足以说明雌虫对 β -蒎烯的敏感度,与雄虫相比最为明显的区别是雌虫对各浓度的柠檬烯皆不敏感,对罗勒烯则起初随着浓度上升,EAG反应相对值也呈上升趋势,到达 $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,EAG反应相对值达到最大,随后则有下降的趋势。雌虫对樟脑的EAG反应相对明显。

由于不同性别的昆虫存在嗅觉生理方面的特殊差异,直接导致在寻找寄主、繁殖后代等行为中所起的作用不同^[12-13]。光肩星天牛雌、雄个体之间触角感受器的类型虽没存在明显差异,但感受器的分布存在性二型现象,这种差异也体现在本次研究之中^[13-14]。雌、雄个体触角感受器针对不同浓度的寄主挥发物产生的活性不同可能与嗅觉相关蛋白(气味结合蛋白、气味降解酶、化学感受蛋白、感觉神经元膜蛋白、气味受体)和甘油激酶、清道夫受体、 β -乙酰葡萄糖胺转移酶同源蛋白等有关,但由于目前针对鞘翅目相关嗅觉基因家族报道的内容较少,且已报道的受体蛋白同源性均较低,尚不能系统的解释上述差异^[14-15]。

由于EAG反应仅能表示光肩星天牛对挥发性化合物的敏感程度,不能说明光肩星天牛究竟是趋向还是趋避,所以需要通过下一步行为测试才能获知其效果。光肩星天牛在识别寄主植物的过程中,寄主植物释放的挥发性信息化学物质起着重要的通信引导作用^[16-17]。寄主植物所释放的气味源于多种微浓度挥发性次生物质组成的复杂混合物,植物挥发物对昆虫的驱避、引诱等同样源于多种挥发物的协同作用^[18-19]。利用这些天然的挥发性化学物质来防治光肩星天牛具有很重要的理论和实践意义。目前,针对光肩星天牛还有许多基础研究和应用研究工作还未完成,如进一步对光肩星天牛触角感受器的透射电镜以及触角结合蛋白开展深入研究,探明光肩星天牛寄主选择定位化学信息的指纹图谱,明确光肩星天牛触角内特异气味识别系统及其分子作用机制,尚需致力于该研究领域的相关学者共同努力。

5 参考文献

- [1] 陈志雄, 应学兵, 谢飞军. 山核桃主要病害的发生与防治[J]. 现代农业科技, 2011(19): 206 - 210.
CHEN Zhixiong, YIN Xuebing, XIE Feijun. The main diseases prevention and control of hickory [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2011(1): 206 - 210.
- [2] ZELLNER B D, AMORIM A C L, MIRANDA A L P. Screening of the odour-activity and bioactivity of the essential oils of leaves and flowers of *Hyptis passerina* Mart. from the Brazilian Cerrado [J]. *J Braz Chem Soc*, 2009, **20**(2): 322 - 332.
- [3] 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.
- [4] 丁保福. 光肩星天牛取食寄主后虫粪挥发性、半挥发性物质的比较[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 5 - 20.
DING Baofu. *Comparison the Volatile and Essential oil of Anoplophora glabripennis Larval Frass on Different Host*

- Species* [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009: 5 – 20.
- [5] 张海滨, 王建伟, 朱小峰, 等. 星天牛幼虫龄期的划分[J]. 应用昆虫学报, 2011, **48**(3): 688 – 694.
ZHANG Haibin, WANG Jianwei, ZHU Xiaofeng, *et al.* Determination of larval instars of citrus long-horned beetle, *Anoplophora chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Chin J Appl Entomol*, 2011, **48**(3): 688 – 694.
- [6] 江望锦. 松墨天牛成虫与寄主间化学信息联系机制的初步研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005: 12 – 19.
JIANG Wangjin. *Preliminary Studies on Chemical Information Communication Mechanism between Monochamus alternates Hope and Host Plants* [D]. Nanjing: Nanjing Forest University, 2005: 12 – 19.
- [7] 范丽清, 严善春, 孙宗华, 等. 光肩星天牛对植物源挥发物的触角电位和行为反应[J]. 生态学杂志, 2013, **14**(1): 142 – 148.
FAN Liqing, YAN Shanchun, SUN Zonghua, *et al.* EAG and behavioral responses of Asian longhorn beetle *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) to plant volatiles [J]. *Chin J Ecol*, 2013, **14**(1): 142 – 148.
- [8] LEAL W S. Odorant reception in insects: roles of receptors, binding proteins and degrading enzymes [J]. *Ann Rev Entomol*, 2013, **58**: 373 – 391.
- [9] GEIER M, BOSCH O J, BOECKH J. Influence of odour plume structure on upwind flight of mosquitoes towards hosts [J]. *J Exper Biol*, 1999, **202**(12): 1639 – 1648.
- [10] ERBILGIN N, RAFFA K F. Opposing effects of host monoterpenes on responses by two sympatric species of Bark beetles to their aggregation pheromones [J]. *J Chem Ecol*, 2000, **26**(11): 2527 – 2548.
- [11] 宁眺, 樊建庭, 方宇凌, 等. 不同危害状态下寄主萜烯挥发物含量的变化及松墨天牛对其组分的触角电位反应[J]. 昆虫学报, 2006, **49**(2): 179 – 188.
NING Tiao, FAN Jianting, FANG Yulin, *et al.* Changes in contents of host volatile terpenes under different damaged states and electroantennogram response of *Monochamus alternates* Hope to these volatiles [J]. *Acta Entomol Sin*, 2006, **49**(2): 179 – 188.
- [12] LOPES O, BARATA E N, MUSTAPARTA H, *et al.* Fine structure of antennal sensilla basiconica and their detection of plant volatiles in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* Fabricius (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Arthro Struc & Dev*, 2002, **31**(1): 1 – 13.
- [13] POTTING R P J, VET L E M, DICKE M. Host microhabitat location by stem-borer parasitoid cotesia flavipes: the role of herbivore volatiles and locally and systemically induced plant volatiles [J]. *J Chem Ecol*, 1995, **21**(5): 525 – 539.
- [14] 张岩松, 邹吉敏, 张勇. 光肩星天牛生物学特性及防治[J]. 中国林副特产, 2005, **76**(3): 53 – 54.
ZHANG Yansong, ZOU Jimin, ZHANG Yong. Biological characteristics of *Anoplophora glabripennis* [J]. *For By-Prod Spec China*, 2005, **76**(3): 53 – 54.
- [15] 王伟, 李倩, 魏建荣, 等. 光肩星天牛 mRNA 差异显示体系的建立与触角差异表达基因的筛选[J]. 西北农林科技大学学报, 2010, **38**(11): 57 – 70.
WANG Wei, LI Qian, WEI Jianrong. Establishment of optimum DDRT-PCR system and screening of antennae differentially expressed genes of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *J Northwest A & F Univ*, 2010, **38**(11): 57 – 70.
- [16] 熊昌勇, 骆雪莲, 吴柳泳. 桉树云斑天牛生物学特性及引诱剂防治研究[J]. 山东林业科技, 2010, **40**(5): 22 – 24.
XIONG Changyong, LUO Xuelian, WU Liuyong. Research on control attracting effect of *Eucalyptus batocera* horsfieldi [J]. *J Shandong For Sci Technol*, 2010, **40**(5): 22 – 24.
- [17] JUSTUS K A, MURLIS J, JONES C, *et al.* Measurement of odor-plume structure in a wind tunnel using a photoionization detector and a tracer gas [J]. *Environ Fluid Mech*, 2002, **2**(1/2): 115 – 142.
- [18] OGURA N, TABATA K, WANG W. Rearing of the colydiid Beetle predator, *Dastarcus helophoroides*, on artificial diet [J]. *BioControl*, 1999, **44**(3): 291 – 299.
- [19] SHEPHERD W P, SULLIVAN B T. Southern pine Beetle, *dendroctonus frontalis*, antennal and behavioral responses to nonhost leaf and Bark volatiles [J]. *J Chem Ecol*, 2013, **39**(4): 481 – 493.