

# 五角枫挥发物的提取鉴定及黄斑星天牛对主要组分的触角电位反应

李广伟<sup>1</sup>, 芦屹<sup>2</sup>, 陈秀琳<sup>1</sup>, 尚天翠<sup>1</sup>

(1. 伊犁师范学院 生物与地理科学学院, 新疆 伊宁 835000;  
2. 新疆维吾尔自治区植物保护站, 乌鲁木齐 830006)

**摘要:**在确定新疆伊犁地区黄斑星天牛成虫嗜食寄主的基础上,利用GC-MS技术鉴定五角枫嫩枝和叶片的挥发物组分,并利用触角电位反应测定成虫对主要挥发物的电生理活性.研究表明,在多寄主植物混栽区,黄斑星天牛成虫更偏好取食五角枫的嫩枝补充营养,更喜好在早柳和复叶槭枝干上刻槽产卵.从五角枫挥发物中共鉴定到34种化合物,其中萜烯类和酯类物质是主要组分,相对含量分别占挥发物组成的70.49%和23.94%.*(Z)*- $\beta$ -罗勒烯、桉烯、 $\beta$ -石竹烯、 $\alpha$ -水芹烯和乙酸-顺-3-己烯酯在挥发物组成中所占的比例较高,分别达21.07%、19.59%、7.35%、13.58%和12.99%.在10 mg·mL<sup>-1</sup>质量浓度下,雌虫对 $\beta$ -石竹烯的EAG反应显著高于其他供试气味物质,雄虫对乙酸乙酯和 $\alpha$ -蒎烯的EAG反应最为强烈,雄虫对 $\alpha$ -蒎烯和乙酸乙酯的EAG反应显著高于雌虫;雌虫对 $\beta$ -石竹烯和2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯的EAG反应显著高于雄虫.本试验在黄斑星天牛成虫感受信息化学物质的角度分析了成虫偏好五角枫的原因,对利用化学生态手段调控该虫的危害具有一定的理论指导意义.

**关键词:**黄斑星天牛;寄主选择;植物挥发物;触角电位反应;嗅觉通讯

**中图分类号:**S763.3

**文献标志码:**A

黄斑星天牛 *Anoplophora nobilis* Ganglbauer 是我国林木上的一种毁灭性蛀干害虫,能对杨 *Populus* spp., 柳 *Salix* spp., 槭 *Acer* spp., 榆 *Ulmus* spp.、五角枫 *Acer mono*、侧柏 *Platycladus orientalis*, 山核桃 *Chinese walnut*, 白蜡 *Fraxinus chinensis*、苦楝 *Melia azedarach* 等多种树木造成严重危害<sup>[1-3]</sup>.黄斑星天牛幼虫营钻蛀危害,生活隐蔽,一旦蛀入枝干化学药剂防治的效果将大大降低.目前,治理黄斑星天牛仍以化学防治为主,兼以生物、机械和物理防治措施<sup>[4]</sup>.由于幼虫存活率高、危害大、防治困难,传统防治措施在持续控制黄斑星天牛方面面临诸多困难,探索无公害、持续控制此虫的新方法、新技术是目前亟待解决的重要难题.在长期调查中发现,初羽化成虫在寄主植物挥发物的诱导下常具有转移到嗜食寄主上补充营养完成发育的习性.由于不同地域树木种植格局差异较大,目前对黄斑星天牛最适寄主的界定还未有一致的结论,如张凤娟等<sup>[5]</sup>研究表明光肩星天牛对复叶槭 *Acer negundo* 的咬食程度最高,达80%;杨雪彦等<sup>[6]</sup>对黄斑星天牛在混交林中选择寄主的行为研究发现,元宝枫 *Acer truncatum* 是成虫的嗜食寄主;桑巴叶等<sup>[7]</sup>认为早柳 *Salix matsudana* 是黄斑星天牛成虫的最嗜寄主.总之,依据黄斑星天牛发生区林木栽植的实际格局,通过研究成虫对寄主植物的选择试验确定本地种群的嗜食寄主,对利用化学生态手段调控该虫的危害具有重要意义.

黄斑星天牛成虫之所以能在最适宜的寄主植物上补充营养和产卵繁殖,寄主植物释放的挥发性物质对成虫的寄主定位具有强烈的导向作用,成虫灵敏的嗅觉系统在寄主定位、产卵场所选择等嗅觉通讯中起着重要作用<sup>[8,9]</sup>.分析某一特定地区黄斑星天牛成虫嗜食寄主植物及其挥发物组成,筛选和利用寄主植物挥发物制备引诱剂是防治黄斑星天牛的重要举措.本文通过比较新疆伊宁市黄斑星天牛危害严重且混栽的5种寄

收稿日期:2016-10-23;修回日期:2017-02-20.

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(2015211C299);新疆维吾尔自治区高校科研计划项目(XJEDU2014S062).

作者简介(通信作者):李广伟(1982-),男,甘肃会宁人,伊犁师范学院助理研究员,博士,主要从事农业害虫综合治理研究,E-mail:xbbjb2010@sina.com.

主植物上的羽化孔数、产卵刻槽数、成虫数及成虫嗜食性,确定了成虫在伊宁市的嗜食寄主植物,通过动态顶空吸附、气相色谱—质谱联用技术(gas chromatography—mass spectroscopy, GC—MS)提取、分析了五角枫的挥发物组成,利用电生理技术测定了成虫对部分挥发物组分的触角电位反应(Electroantennogram, EAG),为进一步研制植物源引诱剂提供了理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料与仪器

试验所用黄斑星天牛采自新疆伊宁市(寄主植物五角枫),选择旱柳 *Salix matsudana*, 小叶榆 *Ulmus minor*, 复叶槭、五角枫和侧柏 5 种寄主树种测定黄斑星天牛成虫对不同寄主植物的选择性;选取健康且无缺损的五角枫嫩枝和叶片提取挥发物。试验所用仪器及非生物材料:大气采样仪(QC—1,北京市劳动保护科学研究所)、流量计(LZB—3WB,常州市科德热工仪表有限公司)、昆虫触角电位测量系统(Syntech)、气相色谱—质谱联用仪(7890A—5975C, Agilent)、微波炉专用袋(406 mm×444 mm, Reynolds, USA)、活性炭(60~80目)、吸附剂(Porapak Q, Waters, USA)、玻璃棉(Supelco, USA),挥发物的化学合成品为色谱纯或分析纯。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 黄斑星天牛寄主选择调查

选择旱柳、小叶榆、复叶槭、五角枫和侧柏 5 种伊宁市及周边普遍栽植的黄斑星天牛寄主树种,以每种寄主枝干上的羽化孔、产卵刻槽数、成虫数以及成虫的嗜食性为统计指标,实验在新疆伊宁市伊犁师范学院校园、行道树及周边防护林连片栽植的寄主上进行。除成虫嗜食性指标外,其余指标的调查每种树种均设 5 个调查点,每点随机调查 5 株,每个树种共计调查 25 株。在旱柳、小叶榆、复叶槭和五角枫上分东南西北随机选取 4 个枝干(直径 5~8 cm)记录 2.5 m 内的羽化孔、产卵刻槽数,侧柏上统计整个枝干上的数量;成虫数为每株寄主植物上的总虫数。采集 5 种寄主植物的幼嫩枝条并将其截至 20 cm 后各选取 5 枝分别置于饲养黄斑星天牛的养虫缸中(供试成虫已饥饿 12 h),每个养虫缸置于 5 头成虫,每个处理 3 个重复,24 h 后统计取食情况,如不取食,用“—”表示;啃食嫩枝的面积小于 1/5,用“+”表示;啃食嫩枝的面积大于 1/2,用“++”;其他,用“+++”表示。

#### 1.2.2 五角枫挥发物的提取

用锋利剪刀采集五角枫的嫩枝,然后用蒸馏水冲洗清除枝条、叶片表面的灰尘及杂物并晾干,准确称取 300 g 样品置于 Reynolds 微波炉袋中,采用动态顶空吸附法抽提。大气采样仪出气口依次连接活性炭、流量计、加湿器、采样袋进气口、采样袋出气口、吸附剂和大气采样仪进气口。为了最大限度地减小空气背景对样品挥发物测定结果的干扰,在流量计和加湿器之间增加了一个吸附剂,对进入采样袋的空气进行双重过滤。具体步骤主要包括抽气、充气 and 循环采气,首先排除采样袋内的空气,然后关闭采样袋的出气口,开通大气采样仪的出气口进行充气,待采样袋内的空气占总体器的 3/4 左右时,将吸附剂与采样袋出气口和大气采样仪的进气口相连组成闭合回路进行抽提,所用连接管均为聚四氟乙烯管。采样时间 8 h,流速 700 mL·min<sup>-1</sup>,样品及空白对照各 3 次重复。采样结束后在氮气保护下用 1.5 mL 正己烷进行洗脱,并用氮气浓缩至 500 μL,加入内标乙酸庚酯(终质量浓度 8.7 ng·μL<sup>-1</sup>)后将样品置于-20℃保存备用。

#### 1.2.3 五角枫挥发物的成分分析

利用 GC—MS 对五角枫挥发物的成分进行鉴定,GC—MS 的工作条件参照文献[10,11]略有改动。GC 的工作条件:色谱柱:DB—5MS 毛细色谱柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm),通过液氮脱附,无分流进样,进样量 1.0 μL,载气为高纯氦气,压力 20 kPa。升温程序为初温 40℃保持 3 min,然后以 6℃·min<sup>-1</sup>的速度升温至 250℃并保持 3 min,之后以 10℃·min<sup>-1</sup>的速度升温至 280℃并保持 2 min 以驱赶残留在毛细管内的杂质。经 GC 分离后的不同挥发物组分先后进入四级杆质谱得到鉴定。MS 工作条件:电离方式为 EI 源,电离能量 70 eV,离子源发生器温度 230℃,发射电流 150 μA,接口温度 250℃,质量扫描范围(m·z<sup>-1</sup>)19~435。挥发物的鉴定主要通过自动检索 NIST08 谱库分析不同组分的质谱数据。另外,参考相关组分的标准图谱对

自动检索结果进行核对和补充,利用色谱峰面积归一法计算挥发物各组分的相对含量。

#### 1.2.4 EAG 反应

使用触角电位仪测定黄斑星天牛对五角枫含量最高的 12 种挥发物的 EAG 反应,挥发物化学合成品的纯度、来源等基本信息见表 1。根据文献[3,12,13]关于光肩星天牛对不同浓度寄主植物挥发物的 EAG 反应的试验结果,将待测挥发物的化学合成品用液体石蜡稀释至  $10 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$  的浓度进行测定,刺激气流流速设定为  $400 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,持续气流流速为  $100 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,刺激时间 0.5 s,2 次刺激间隔 60 s。

将滤纸条剪成  $3.0 \text{ cm} \times 0.8 \text{ cm}$  大小,对折后沿 1 mL 枪头内壁展开,作为试验用挥发物的载体,挥发物载量  $20 \mu\text{L}$ 。选择活跃的黄斑星天牛成虫,用刀片将触角鞭节端部三节切下,再切除最末端的少许末梢,将触角末鞭节端部和鞭节端部第三节分别用 Spectra 360 导电胶固定在记录电极和参考电极上。调整气味混合管与触角间的距离约 1 cm。为了消除外界环境及不同天牛个体对气味反应的差异,分别以液体石蜡和  $100 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  顺-3-己烯-1-醇的 EAG 反应为对照和参比,测定样品前后分别用对照溶液和参比溶液各测定 1 次,每个样品测定 5 根触角,样品 EAG 反应的相对值 = (样品 EAG 测量值 - CK 平均值) / (参比 EAG 测量值 - CK 平均值)。

表 1 12 种测试化合物的基本信息

化合物	纯度/%	分子式	相对分子质量	生产商
顺-3-己烯-1-醇	98.0(AR)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	100.16	Sigma-Aldrich
$\alpha$ -蒎烯	98.0(AR)	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136.23	Sigma-Aldrich
桉烯	75.0(AR)	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136.23	Sigma-Aldrich
$\beta$ -月桂烯	$\geq 90.0(\text{GC})$	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136.23	Aladdin
(-)-柠檬烯	$> 95.0(\text{GC})$	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136.23	TCI
$\beta$ -罗勒烯	$\geq 90(\text{AR})$	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136.23	Macklin
$\beta$ -石竹烯	$> 90.0(\text{GC})$	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	TCI
$\alpha$ -水芹烯	$\geq 85.0(\text{FG})$	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136.23	Sigma-Aldrich
乙酸-顺-3-己烯酯	$> 97.0(\text{GC})$	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	142.20	TCI
2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯	98.0(AR)	$\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{O}_2$	184.27	Aladdin
乙酸乙酯	$\geq 99.7(\text{GC})$	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	88.11	Aladdin
反-2-己烯醛	98.0(AR)	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	98.15	Alfa

TCI: 东京化成工业株式会社(Tokyo Chemical Industry); Alfa: 美国 Alfa Aesar 试剂公司;

#### 1.2.5 数据统计

利用 SPSS 18.0 统计软件进行方差分析和 Duncan 多重比较。雌雄虫对同一挥发物 EAG 反应值的差异显著性采用配对样本 *T* 检验进行检测。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄斑星天牛对不同寄主植物的选择性

从表 2 可以看出,侧柏和旱柳枝干上的羽化孔数量显著高于小叶榆、复叶槭和五角枫( $df=24, F=41.772, P<0.05$ ),但旱柳和侧柏枝干上的羽化孔数差异不显著( $df=9, F=0.921, P>0.05$ )。旱柳和复叶槭枝干上的产卵刻槽数相对较多,分别达  $1.67 \text{ 个} \cdot \text{枝}^{-1}$  和  $1.49 \text{ 个} \cdot \text{枝}^{-1}$ ,显著高于其他 3 种寄主( $df=24, F=77.099, P<0.05$ )。黄斑星天牛成虫在五角枫上的着落量最大,平均可达  $2.70 \text{ 头} \cdot \text{株}^{-1}$ ,显著高于其他 4 种寄主上的成虫数量( $df=24, F=78.153, P<0.05$ )。黄斑星天牛对不同寄主植物的嗜食性试验表明,成虫不取食 5 种寄主树种的叶片和小叶榆、侧柏的嫩枝,对复叶槭和旱柳的嫩枝分别有少量和中等程度的取食,对五角枫嫩枝有强烈的取食嗜好,成虫在 24 h 内能将供试的五角枫嫩枝表皮全部取食。

### 2.2 五角枫挥发物鉴定及成分分析

从五角枫嫩枝和叶片的挥发物中共鉴定到 34 种化合物,包括 6 种醇类、13 种萜烯类、1 种烯烃、3 种醛

类、9种酯类和2种酮类物质(表3)。从不同类型挥发物的组成来看,萜烯类和脂类物质是最主要的组分,分别占挥发物组成的38.23%和26.47%,相对含量分别占挥发物组成的70.49%和23.94%。从不同组分挥发物的相对含量来看,(Z)- $\beta$ -罗勒烯在挥发物组分中所占的比例最高,达21.07%;桉烯、 $\beta$ -石竹烯和 $\alpha$ -水芹烯也是主要的挥发物成分,所占比例分别达19.59%、7.35%和13.58%;乙酸-顺-3-己烯酯是绿叶挥发物的衍生物,相对含量占挥发物组成的12.99%;顺-3-己烯-1-醇、正己醇和反-2-己烯醛是典型的绿叶挥发物,但在挥发物组成中相对含量较低,分别仅占1.85%、0.59%和0.27%。此外,还鉴定到两种酮类物质对乙基苯乙酮和1-(2,3-二甲基苯基)-乙酮,但其相对含量较低,分别占挥发物组成的0.22%和0.06%。

表2 黄斑星天牛对不同寄主植物的选择性

寄主	羽化孔/(个·枝 <sup>-1</sup> )	产卵槽/(个·枝 <sup>-1</sup> )	成虫数/(头·株 <sup>-1</sup> )	成虫嗜食性
旱柳	1.33±0.12 a	1.67±0.06 a	1.54±0.13 b	++
小叶榆	0.68±0.03 b	0.78±0.05 c	0.82±0.72 c	-
复叶槭	0.52±0.04 b	1.49±0.03 b	0.98±0.68 c	+
五角枫	0.41±0.04 b	0.74±0.08 c	2.70±0.13 a	+++
侧柏	1.48±0.11 a	0.78±0.03 c	0.67±0.37 c	-

注:小写字母表示不同寄主之间在 $P<0.05$ 水平的Duncan多重比较结果。

### 2.3 黄斑星天牛对五角枫主要挥发物的EAG反应

在 $10\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的浓度下,雌、雄虫触角对待测挥发物均有一定强度的反应。雌虫对 $\beta$ -石竹烯的EAG反应最为强烈,显著高于其他物质;对顺-3-己烯-1-醇、 $\alpha$ -蒎烯、桉烯、月桂烯、乙酸乙酯和反-2-己烯醛的气味刺激也较敏感,EAG反应相对值介于0.60~0.81之间,且雌虫对以上6种物质的EAG反应值差异不显著(表4);雌虫触角对2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯的EAG反应相对值最小,表明黄斑星天牛对此种物质的刺激不敏感。雄虫触角对乙酸乙酯和 $\alpha$ -蒎烯的EAG反应最为强烈,EAG反应相对值显著高于其他物质(表4),对(-)-柠檬烯和2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯的EAG反应相对较弱,反应相对值分别仅为0.286和0.111;雄虫触角对其他挥发物均有中等强度的反应,EAG反应相对值介于0.40~0.70之间。

比较雌、雄虫对同种挥发物EAG反应可以看出,雄虫对 $\alpha$ -蒎烯和乙酸乙酯的EAG反应显著高于雌虫触角,雌虫对 $\beta$ -石竹烯和2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯的EAG反应显著高于雄虫。雌、雄虫对顺-3-己烯-1-醇、桉烯、月桂烯、(-)-柠檬烯、 $\beta$ -罗勒烯、 $\alpha$ -水芹烯、乙酸-顺-3-己烯酯和反-2-己烯醛EAG反应值差异不显著(表4)。

## 3 讨论

在新疆伊犁地区,杨树也是黄斑星天牛重要的寄主植物,由于主栽品种小叶杨、钻天杨和新疆杨树体高大,枝干距地面过高,本研究现有基础无法做到准确调查,故没有将杨树包含在此次调查的范围。与其他4种寄主植物相比,旱柳上黄斑星天牛的羽化孔、产卵刻槽数和成虫数均较高,成虫也可以取食嫩枝补充营养,可以认为旱柳是黄斑星天牛较适宜的寄主树种。穆丹等<sup>[14]</sup>的研究也表明光肩星天牛成虫在补充营养阶段对旱柳和五角枫有明显的选择行为。侧柏枝干上的羽化孔数量最多(1.48个·枝<sup>-1</sup>),但产卵刻槽数和成虫数量反而较少,对出现这种现象的原因进一步追踪调查发现,以上4~5年的侧柏在调查前1~2年通过区外调运栽植,在新的生态环境下,成虫羽化后大多飞离原寄主植物至邻近的其他寄主上补充营养,未表现出明显的“印痕现象”<sup>[15]</sup>,表明在伊宁市林木混栽区侧柏对成虫的吸引能力较弱。五角枫枝干上的羽化孔、产卵刻槽数相对较少,但成虫着落量显著高于羽化孔数(达6.6倍),成虫对五角枫嫩枝有强烈的取食偏好,表明在多寄主混栽区黄斑星天牛初羽化成虫存在寄主转移补充营养的习性,在新疆伊犁地区以五角枫作为诱饵树诱捕黄斑星天牛是潜在的一种防治措施。

寄主植物挥发物的组成受环境温度、湿度、昼夜节律、营养状况、病虫害等多因素的影响,利用吸附剂提取挥发物也受提取方法、吸附剂极性等的影

34种化合物,其中萜烯类物质是最重要的组分.张凤娟等<sup>[17]</sup>利用超临界CO<sub>2</sub>萃取技术(20 MPa—35 ℃)在五角枫嫩枝和叶片挥发物中共鉴定到41种化合物,其中以醇类物质为主,醛类次之,萜烯类物质的数量相对较少.本试验只用极性吸附剂Porapak Q进行抽提,可能是导致鉴定的挥发物种类稍低于超临界CO<sub>2</sub>萃取的主要原因.牛永浩<sup>[18]</sup>用不同极性的色谱柱检测被谷蠹侵染的小麦挥发物时发现在挥发物种类和含量组成上有明显的差异.五角枫释放的挥发物对成虫寄主选择具有明显的引诱作用,但具有生物活性的组分配比还有待进一步深入研究.

表3 五角枫嫩枝和叶片挥发物的成分分析

化合物	峰面积	质量浓度/(ng·μL <sup>-1</sup> )	质量分数/%
顺-3-己烯 <sup>-1</sup> -醇	22 625 966±153 467	15.02±0.10	1.85±0.08
顺-2-己烯 <sup>-1</sup> -醇	3 214 746±230 862	2.13±0.15	0.26±0.01
正己醇	6 576 797±160 244	4.37±0.10	0.54±0.01
β-松油醇	416 980±25 690	0.28±0.02	0.03±0.001
芳樟醇	2 374 911±130 014	1.58±0.09	0.19±0.02
叶绿醇	23 701 426±1 070 940	15.74±0.71	1.93±0.08
α-蒎烯	27 087 598±793 355	17.98±0.53	2.21±0.06
蒎烯	937 399±13 002	0.62±0.01	0.08±0.01
桉烯	240 826 978±2 003 400	159.89±13.30	19.59±0.84
β-月桂烯	37 158 417±1 838 310	24.67±1.22	3.04±0.19
(-)-柠檬烯	23 371 719±1 463 130	15.52±0.97	1.91±0.06
(E)-β-罗勒烯	4 539 218±198 174	3.01±0.13	0.37±0.03
(Z)-β-罗勒烯	256 417 869±14 440 600	170.24±9.59	21.07±1.90
别罗勒烯	3 718 332±211 625	2.47±0.14	0.30±0.01
松油烯	7 426 186±163 648	4.93±0.11	0.61±0.03
3-萜烯	2 880 959±103 846	1.91±0.07	0.24±0.01
β-石竹烯	89 766 475±893 912	59.60±0.59	7.35±0.35
α-法尼烯	1 706 706±156 288	1.13±0.10	0.14±0.01
α-水芹烯	166 858 076±12 441 700	110.78±8.26	13.58±0.50
1-十三烯	868 945±25 939	0.58±0.17	0.07±0.00
反-2-己烯醛	3 270 012±126 249	2.17±0.08	0.27±0.00
癸醛	283 284±18 962	0.19±0.01	0.02±0.00
反-2-癸烯醛	1 580 062±185 615	1.05±0.12	0.13±0.01
乙酸-顺-3-己烯酯	157 626 994±20 453 800	104.65±13.58	12.99±1.15
丁酸-顺-3-己烯酯	17 045 817±1 452 990	11.32±0.97	1.39±0.10
己酸-顺-3-己烯酯	2 912 797±67 359	1.93±0.44	0.24±0.01
邻氨基苯甲酸-顺-3-己烯酯	1 546 872±90 816	1.03±0.60	0.13±0.01
2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯	46 935 311±2 893 410	31.16±1.92	3.83±0.14
丁酸-反-2-己烯酯	4 285 362±162 672	2.85±0.11	0.35±0.00
乙酸乙酯	55 786 044±3 234 790	37.04±2.15	4.55±0.09
丁酸己酯	5 491 446±174 697	3.65±0.11	0.45±0.01
乙酸环己烯酯	162 450±20 001	0.11±0.03	0.01±0.00
对乙基苯乙酮	2 821 199±238 109	1.87±0.32	0.22±0.01
1-(2,3-二甲基苯基)-乙酮	786 168±21 002	0.52±0.11	0.06±0.01

选取五角枫挥发物组成中相对含量最高的12种化学合成品进行了EAG反应试验,发现除(-)-柠檬烯、2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯外,雌、雄虫对其他化合物特别是萜烯类物质有较强的触角电生理活性,推测萜烯类物质在黄斑星天牛寄主定位中起着重要作用.范丽清等<sup>[19]</sup>通过行为测定发现α-蒎烯、水芹烯、桉

烯和乙酸乙酯对光肩星天牛具有明显的引诱作用;Ikeda等<sup>[20]</sup>发现一定浓度的 $\alpha$ -蒎烯对松墨天牛有明显的引诱作用;李硕等<sup>[13]</sup>的研究也表明 $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 $\alpha$ -蒎烯对雌雄光肩星天牛均具有显著的引诱活性;Phillips等<sup>[21]</sup>和Nehme等<sup>[22]</sup>发现单萜烯类挥发物对不同种类的天牛均有一定程度的引诱活性.从光肩星天牛及近缘物种对寄主植物挥发物的触角电位反应和行为反应可知,萜烯类化合物是光肩星天牛识别补充营养寄主五角枫的重要指示性化合物.本试验在参考光肩星天牛及其他近缘物种对不同浓度挥发物EAG反应的基础上,选取相对含量较高的组分仅仅测试了 $10\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的挥发物的EAG反应值,但对能引起最大EAG反应的挥发物的浓度不能确定,需后续试验进一步完善、补充.

表4 黄斑星天牛对五角枫主要挥发物的触角电位反应

化合物	EAG反应相对值		独立样本T检验
	雌虫	雄虫	
顺-3-己烯-1-醇	0.807±0.127 b	0.615±0.073 bc	0.378
$\alpha$ -蒎烯	0.608±0.06 bcd	0.837±0.064 ab	0.042*
桉烯	0.740±0.048 bc	0.557±0.050 c	0.079
$\beta$ -月桂烯	0.649±0.080 bcd	0.432±0.054 dc	0.083
(-)-柠檬烯	0.312±0.027 ef	0.286±0.045 d	0.532
$\beta$ -罗勒烯	0.402±0.044 def	0.483±0.061 dc	0.391
$\beta$ -石竹烯	1.021±0.053 a	0.555±0.034 c	0.000**
$\alpha$ -水芹烯	0.432±0.054 def	0.649±0.081 bc	0.083
乙酸-顺-3-己烯酯	0.521±0.072 cde	0.640±0.084 bc	0.311
2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯	0.220±0.018 f	0.111±0.018 e	0.004**
乙酸乙酯	0.626±0.048 bcd	0.901±0.055 a	0.018*
反-2-己烯醛	0.618±0.067 bcd	0.664±0.049 bc	0.682

注:小写字母表示雌雄虫对不同挥发物EAG反应值的Duncan多重比较,\*表示雌、雄虫触角对同种挥发物EAG反应值T检验在 $P<0.05$ 水平的差异显著性.

## 参 考 文 献

- [1] 骆有庆,李建光.光肩星天牛的生物学特性及发生现状[J].植物检疫,1999,13(1):5-7.
- [2] CARTER M, SMITH M, HARRISON R. Genetic analyses of the asian longhorned beetle (Coleoptera, Cerambycidae, *Anoplophora glabripennis*), in North America, Europe and Asia[J]. Biological Invasions, 2010, 12(5): 1165-1182.
- [3] 杜和芬,王佩星,徐华潮,等.光肩星天牛对山核桃挥发性组分的触角电位分析[J].浙江农林大学学报,2016,33(1):166-171.
- [4] 遇文婧,赵红盈.光肩星天牛防控技术研究进展[J].中国农学通报,2016,32(10):114-119.
- [5] 张凤娟.光肩星天牛对槭树挥发物的响应及虫害诱导信号物质研究[D].北京:北京林业大学,2006.
- [6] 杨雪彦,王富贵,周嘉熹.混交林中天牛成虫选择行为研究[J].西北林学院学报,1995,10(2):22-26.
- [7] 桑巴叶,王爱静,史彦江,等.新疆黄斑星天牛的生物学特性研究[J].新疆农业科学,2010,47(6):1126-1131.
- [8] 杜佳纬.植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制[J].植物生理学报,2001,27(3):193-200.
- [9] SATO K, TOUIHARA K. Insect olfaction: receptors, signal transduction, and behavior[J]. Results & Problems in Cell Differentiation, 2009, 47: 203-220.
- [10] 诸葛飘飘.杨树云斑天牛成虫寄主定位中的信息化学物质[D].武汉:华中农业大学,2009.
- [11] 高海波,沈应柏.早柳机械损伤后挥发物释放的时序性规律的研究[J].山东林业科技,2007(5):47-48.
- [12] 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反应和行为反应[J].生态学杂志,2013,32(1):142-148.
- [13] 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):9-15.
- [14] 穆丹,刘正奎,陶袁,等.光肩星天牛成虫对植物气味的选择反应[J].哈尔滨师范大学(自然科学学报),2014,30(4):94-97.
- [15] 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.
- [16] 王紫薇,徐华潮,张妮妮,等.光肩星天牛对寄主植物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.
- [17] 张凤娟,吴晓颖,杨莉,等.超临界 $\text{CO}_2$ 萃取五角枫挥发物及其对光肩星天牛的嗅觉行为反应[J].林业科学,2007,43(6):146-150.
- [18] 牛永浩.固相微萃取与气质联用检测储粮及储粮害虫挥发性化合物的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [19] 李建光.光肩星天牛对寄主植物挥发性物质的行为反应及作用机理的研究[D].北京:北京林业大学,2001.
- [20] IKEDA T, ODA K, YAMANE A, et al. Volatiles from pine logs as the attractant for the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. Journal of the Japanese Forestry Society, 1980, 62: 150-152.

- [21] PHILLIPS T W, WIKING A J, ATKINSON T II, et al. Synergism of turpentine and ethanol as attractants for certain pine-infesting beetles (Coleoptera)[J]. *Environmental Entomology*, 1988, 17(3): 456-462.
- [22] NEIME M E, KEENA M A, ZHANG J R, et al. Attraction of *Anoplophora glabripennis* to male-produced pheromone and plant volatiles[J]. *Environmental Entomology*, 2009, 38(6): 1745-1755.

## Extraction and Identification of Host-Plant Volatiles of *Acer mono* and EAG Responses of *Anoplophora nobilis* to the Primary Compounds of *A. mono* Volatiles

Li Guangwei<sup>1</sup>, Lu Yi<sup>2</sup>, Chen Xiulin<sup>1</sup>, Shang Tiancui<sup>1</sup>

(1. College of Biology & Geography, Yili Normal University, Yining 835000, China;

2. Xinjiang Station of Plant Protection, Urumqi 830006, China)

**Abstract:** To explore the most appropriate hosts of nutrient supplement and oviposition for *Anoplophora nobilis* adults in Yili Prefecture, the volatiles composition of *Acer mono* were analyzed with GC-MS, and the electrophysiological activities of adults towards main volatiles were tested by EAG responses. The results showed that *A. nobilis* preferred fresh twigs of *A. mono* for diet supplement and carve twigs to oviposit in mixed plant area. Thirty-four volatiles were identified from shoots and leaves of *A. mono*, and terpenoids and esters were the major components, with the relative concentration up to 70.49% and 23.94%, respectively. (*Z*)- $\beta$ -ocimene, sabinene,  $\beta$ -caryophyllene,  $\alpha$ -phellandrene and cis-3-Hexenyl acetate represented a higher proportion in all components, with the relative concentration of 21.07%, 19.59%, 7.35%, 13.58% and 12.99%, respectively. With the concentration of 10 mg  $\cdot$  mL<sup>-1</sup>, the EAG responses of female adults to  $\beta$ -caryophyllene was significantly higher than the other volatile compounds, and the male showed the most intensively EAG responses to ethyl acetate and  $\alpha$ -pinene. The EAG responses of male adults to ethyl acetate and  $\alpha$ -pinene were significantly stronger than female, while the female adults had more strongly EAG responses to  $\beta$ -caryophyllene and cis-3-Hexenyl-2-methyl butyrate compared to males. This study will contribute to further research of chemical fingerprinting relating to host location of *A. nobilis*, therefore have a certain practical significance to development plant source attractants.

**Keywords:** *Anoplophora nobilis*; host selection; plant volatiles; electroantennogram responses; olfactory communication

[责任编辑 王凤产]

(上接第 52 页)

## Effects of SNP and Its Photolysis Products on the Seedlings Growth of Rice and Expression of Marker Genes for Five Plant Hormones

Liang Weihong, Wang Gaohua, Du Jingyao, Ge Huiwen, Shi Jia, Peng Jingjing, Wang Meina

(College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** Taking japonica cultivar Nipponbare rice as materials, the effects of sodium nitroprusside and its photolysis products KNO<sub>2</sub>, K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> on the rice seedlings growth were analyzed, and marker genes for five different plant hormones in rice seedlings roots under the above treatments were detected by qRT-PCR in the study. The results showed that SNP can obviously inhibit the root length and plant height of the two rice seedlings, which implement mainly through its photolysis products K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>. Moreover, the expression of the marker genes of auxin, cytokinins, abscisic acid and gibberellic acid were inhibited after the treatment of SNP and K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> in rice roots, but the marker gene of nitric oxide was inhibited by SNP, induced by K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>.

**Keywords:** sodium nitroprusside; rice; seedling; plant hormone; gene expression

[责任编辑 王凤产]