

DOI: 10.5846/stxb201311032656

范丽华, 牛辉林, 张金桐, 刘金龙, 杨美红, 宗世祥. 脐腹小蠹聚集信息素的提取鉴定和引诱效果. 生态学报, 2015, 35(3): 892-899.

Fan L H, Niu H L, Zhang J T, Liu J L, Yang M H, Zong S X. Extraction and Identification of aggregation pheromone components of *Scolytus schevyrewi* Semenov (Coleoptera: Scolytidae) and trapping test. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 892-899.

脐腹小蠹聚集信息素的提取鉴定和引诱效果

范丽华^{1,*}, 牛辉林², 张金桐¹, 刘金龙¹, 杨美红¹, 宗世祥³

¹ 山西农业大学文理学院化学生态研究所, 太谷 030801

² 宁夏哈巴湖国家级自然保护区管理局高沙窝管理站, 盐池 751501

³ 北京林业大学省部建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083

摘要: 为了确定脐腹小蠹 *Scolytus schevyrewi* Semenov 的聚集信息素成分, 对脐腹小蠹成虫后肠和虫粪的挥发物进行了提取鉴定和引诱试验。经气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 鉴定, 结果表明: 雌成虫后肠挥发物成分有十四烷、十五烷、十六烷、十八烷、十九烷、十二酸和十四酸, 其中十四酸含量最高, 达到了 42.2%; 雄成虫后肠挥发物成分有十一烷、十四烷、十五烷、十六烷、十八烷和十九烷, 十六烷 (23.3%) 和十九烷 (21.5%) 含量最多; 雌成虫虫粪挥发物成分有十一烷、十二烷、十四烷、十六烷、十八烷和十九烷, 十九烷含量最高, 为 29.9%; 雄成虫虫粪挥发物成分有庚烷、十一烷、十二烷、十四烷、十六烷、十八烷、二十二烷和二十三烷, 庚烷 (20.5%) 相对含量最多。此外, 借助触角电位仪测定了脐腹小蠹雌雄虫触角对这些单一物质刺激的反应, 结果显示, 触角电位相对值较大的为十二酸、十四酸和十八烷。雌雄间比较发现十二酸、十四酸和十九烷刺激后雌雄间触角电位相对值差异达到了显著水平 ($P < 0.05$)。田间诱捕结果显示, 十二酸、十四酸、十九烷对脐腹小蠹的引诱数量雌雄间差异性达到了显著水平 ($P < 0.05$), 成虫诱捕总量最多的是十八烷, 诱捕量达 32.1 头, 其后诱捕量较多的为十二酸 (24.1 头) 和十四酸 (22.7 头)。可以推断, 十八烷、十九烷、十二酸和十四酸是脐腹小蠹聚集信息素的主要成分。

关键词: 脐腹小蠹; 聚集信息素; 提取; 鉴定; 触角电位; 田间引诱

Extraction and identification of aggregation pheromone components of *Scolytus schevyrewi* Semenov (Coleoptera: Scolytidae) and trapping test

FAN Lihua^{1,*}, NIU Huilin², ZHANG Jintong¹, LIU Jinlong¹, YANG Meihong¹, ZONG Shixiang³

¹ Institute of Chemical Ecology of Art and Science College, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China

² Gaoshawo Management Station of Ningxia Habahu Natural Reserve, Yanchi 751501, China

³ Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The banded elm bark beetle (BEBB), *Scolytus schevyrewi* Semenov (Coleoptera: Scolytidae), is a pest of *Ulmus pumila* L. This pest, which was first reported in Asia, carries spores of the fungal pathogen that causes Dutch elm disease. In recent years, an extensive elm forest in Yanchi County, Ningxia Province, was severely damaged by the BEBB, resulting in large-scale destruction and death of trees. At least 98% of the mortalities occurred in forestry stations, with the extent of damage similar to that produced by a raging fire. The staff of local bureaus of environmental protection and forestry bureaus implemented various measures to revive these forests; however, their efforts yielded little success. Foreign countries have installed traps to preserve their forests from further destruction due to BEBB infestation. For example, these pests were collected in Colorado, USA, using traps containing attractants for woodborers (i.e., α -pinene and ethanol) as bait,

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目 (2012BAD19B0701); 山西农业大学科技创新基金项目 (201227); 山西农业大学博士科研启动项目 (XB2011006)

收稿日期: 2013-10-30; **网络出版日期:** 2014-07-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanlihua2011@163.com

whereas those in Utah were gathered in traps baited with ethanol or the 3 components of the aggregation pheromone of the Eurasian spruce engraver, *Ips typographus* L. (Coleoptera: Scolytidae). Chemical communication in bark beetles using aggregation pheromones plays a key role in mate location and in harming host plants. However, the components of the aggregation pheromone of the BEBB remain unidentified. To screen the chemicals of the BEBB aggregation pheromone, the volatiles in male and female adult hindguts and feces were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry in the laboratory and in the elm forest fields in Yanchi County. The volatiles of male adult hindguts mainly contained seven components—tetradecane, pentadecane, hexadecane, octadecane, nonadecane, dodecanoic acid, and myristic acid—of which myristic acid was predominant (42.2%). The volatiles of the female adult hindgut consisted of six ingredients—undecane, tetradecane, pentadecane, hexadecane, octadecane, and nonadecane—of which hexadecane (23.3%) and nonadecane (21.5%) were the predominant types. Volatiles in male feces consisted of six components—undecane, dodecane, tetradecane, hexadecane, octadecane, and nonadecane—of which nonadecane was predominant (29.9%), whereas those in female feces contained eight chemicals—heptanes, undecane, dodecane, tetradecane, hexadecane, octadecane, docosane, and tricosane—of which the alkanes accounted for 20.5%. In addition, the responses of adult antennae to 10 μL of individual volatiles at a concentration of 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ were measured using an electroantennogram (EAG) detector. Among the various substances examined, dodecanoic acid, myristic acid, and octadecane showed the strongest response. By comparing the EAG values of the substances in the antennae in females with those in males, dodecanoic acid, myristic acid, and nonadecane reached significant levels ($P < 0.05$) in terms of responses. Both adult males and female BEBB were collected in the field using cross-shaped traps containing chemoattractants from June 25th to July 4th in 2010. There was a significant difference ($P < 0.05$) between the number of male and female BEBBs captured using dodecanoic acid, myristic acid, and nonadecane. In terms of the trapping effect, octadecane was most effective, resulting in 32.1 adults trapped, followed by dodecanoic acid (24.1 adults), and myristic acid (22.7 adults). Therefore, octadecane, nonadecane, dodecanoic acid, and myristic acid are the most probable main components of the BEBB aggregation pheromone.

Key Words: *Scolytus schevyrewi* Seme.; aggregation pheromone; extraction; identification; eag; trapping test

自2008年以来,宁夏盐池县的白榆 *Ulmus pumila* L. 林遭受了脐腹小蠹 *Scolytus schevyrewi* Semenov 的严重危害,出现了成片白榆干枯死亡的现象^[1-2],严重影响到了林区的生态环境,该县环境保护与林业局森防站实施了打农药、挂药液瓶和砍伐被害树干等多项措施,但效果终不理想。

为尽快地控制脐腹小蠹对白榆林的危害蔓延,依据一种仿生学原理,找到该害虫的聚集信息素,采用集中诱杀的技术,实现对脐腹小蠹的有效控制^[3]。目前,有几十种小蠹聚集信息素成分已被鉴定^[4-8],研究大多是关于为危害针叶树的小蠹^[9-12],对危害阔叶树小蠹的聚集信息素研究很少,只涉及到4种小蠹,分别为杏树小蠹 *S. amygdali*^[13],山毛榉双色小蠹 *Taphrorychus bicolor*^[14],欧洲榆小蠹 *S. multistriatus*^[15-18],欧洲大榆小蠹 *S. scolytus*^[17,19],其中危害榆树的两种小蠹虫欧洲榆小蠹和欧洲大榆小蠹的聚集信息素成分,不同的人研究结果是不同的,甚至相同的人在不同时间发表的物质成分是不同的。对欧洲榆小蠹的聚集信息素物质而言,Gore等认为有3种成分^[15],分别为4-甲基-3-庚醇、 α -波纹小蠹素(5-乙基-2,4-二甲基-6,8-二羟二环[3.2.1]辛烷)和 α -萜澄茄油烯;Cuthbert and Peacock^[16]认为欧洲榆小蠹的聚集信息素为1-庚醇、波纹小蠹素和萜澄茄油烯3种成分;Blightet等^[17]认为只有4-甲基-3-庚醇1种成分;Dickenset等^[18]认为应是己醛和1-己醇二种成分。对欧洲大榆小蠹的聚集信息素而言,Blightet等^[19]认为其成分为苏-4-甲基-庚-3-醇、庚-3-醇和 α -苏-4-甲基-波纹小蠹素3种物质;Blightet等^[17]则认为只有4-甲基-3-庚醇1种成分。

小蠹的聚集信息素是由其虫体产生,并能引起雌、雄两性同种昆虫聚集行为反应的化学物质^[5],这些物质一般在其消化系统中产生^[20]。测定昆虫对某些化合物的反应所采取的技术种类主要包括触角电位仪、

“Y”型双向选择嗅觉仪和风洞技术等^[21-22]。其中,触角电位仪是一种快速检测触角对气味的反应活性和敏感性非常重要的生物测定方法,是昆虫信息素及其他挥发性信息化合物生物测定非常得力的工具之一^[23-24]。

迄今为止,国内外还没有人发现脐腹小蠹的昆虫源聚集信息素。本文利用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)鉴定了脐腹小蠹后肠和虫粪中的挥发性物质,并借助触角电位仪测定了脐腹小蠹对这些挥发性物质的触角电位(EAG)反应。最后,在田间进行诱捕试验,试图找到对脐腹小蠹具有生物活性的聚集信息素物质,并探讨利用这些物质来防治脐腹小蠹。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

于5月中旬,在脐腹小蠹扬飞后的营养取食期,寻找被脐腹小蠹危害严重的白榆树桩,将其锯为木段带回室内,剥去韧皮部,露出了正在取食的脐腹小蠹成虫,分辨其雌雄,额部圆凸且额毛少的为雌虫,扁平额毛多的为雄虫,将雌雄脐腹小蠹分别饲养在放有白榆韧皮部组织的圆柱形(直径10 cm,高15 cm)玻璃缸中,任其取食。在室内饲养时,用黑色聚乙烯塑料遮盖以避光,模拟其在榆树树干中自然取食的状况。饲养时,室内温度为18—27℃,湿度为30%—40%。

1.2 脐腹小蠹后肠挥发物的提取

将已分开饲养至完全成熟的雌雄脐腹小蠹成虫,参照 Blomquist 等^[3]和 Phillips 等^[25],分别确定其中肠和后肠的位置,切下后肠及相关组织(部分中肠、马氏管和一些脂肪体),放入装有2 mL 重蒸正戊烷的5 mL 采样瓶中。每个采样瓶收集到50个后肠,在冷却状态下放置48 h,然后将提取液用滤膜过滤后转移到另一个干净的采样瓶中,置冰箱中冷藏保存,以备分析。

1.3 脐腹小蠹虫粪挥发物的提取

收集分别饲养有30头雌雄脐腹小蠹成虫的圆柱形玻璃缸(规格同上)底部的虫粪和被蛀食后掉落的榆树韧皮部碎屑混合物,饲养3 d后,在 Leica M 26 解剖镜下,用解剖针仔细分辨并分离虫粪和榆树韧皮部碎屑,辨别时根据虫粪为红褐色的有规则的圆形或椭圆形,树皮屑为白色不规则形,放在准备好的5 mL 采样瓶中,加入1 mL 的重蒸正戊烷,放置48 h,滤膜过滤后转移到另一个干净的采样瓶中,置冰箱中冷藏保存,以备分析。

1.4 GC-MS 条件

1.4.1 脐腹小蠹后肠挥发物 GC-MS 分析条件

Finnigan Trace DSQ 气相色谱仪,HP-1 毛细柱长度、直径和膜厚度为50 m×0.22 mm×0.33 μm;起始温度80℃,保持2 min;以5℃/min 升温到200℃,然后以20℃/min 升温到280℃,保持10 min。

1.4.2 脐腹小蠹虫粪挥发物 GC-MS 分析条件

thermo 公司生产 GC 型号 Trace 2000,MS 型号 Plaris Q,DB-5MS 毛细柱,毛细管长度、直径和膜厚度为30 m×0.25 mm×0.15 μm;40℃保持1 min,10℃/min 升到270℃,270℃保持5 min。

1.5 GC-MS 结果的分析

将 GC-MS 检测结果获得的图谱与有机物数据图谱库系统 NIST 2008 相比对,得到图谱中峰所对应的化合物名称,计算各个峰面积和峰面积之和的比值,可得每种挥发物成分的相对百分含量。

1.6 触角电位试验方法

用荷兰 Syntech 公司生产的触角电位仪测定。调节刺激气体流速为20 mL/min,连续气体流量为120 mL/min。刺激持续0.1 s,两次刺激间隔30 s。迅速将脐腹小蠹成虫触角切下,在触角锤头部的正中,先用尖细的解剖针刺1个小孔,然后将充有生理盐水的毛细管插入其中,作为记录电极;在触角的基部插入另一个充有生理盐水的毛细管,作为对比电极。将试验所用化合物用丙酮分别配成浓度为10 μg/μL,每次将10 μL 的样品滴于滤纸条上。待溶剂挥发后,迅速将滤纸条放置在巴斯德吸管中,吸管末端连接刺激气体控制装置。刺激

顺序以摩尔质量从小到大的顺序。每支触角由每个样品轮流刺激 1 次后,中间相隔 10 min,继续轮流刺激,共轮流重复 3 次,且每轮刺激前及最后均有溶剂丙酮刺激作为对照。每个样品至少重复 5 根触角。

1.7 田间诱捕

诱捕器为十字型小蠹诱捕器,从中捷四方公司购买。诱芯为自制诱芯,用微量移液器取各成分的单组分 50 mg,放入 2 mL 的塑料离心管中,用棉花塞满离心管,起到缓释作用,将离心管盖子打开并挂在诱捕器的侧板上。

于 2010 年 6 月 25 日到 7 月 4 日,在宁夏盐池县高沙窝机械化林场第 29 号白榆林斑,该试验地为立地条件相同且脐腹小蠹危害白榆严重,将配好的诱芯挂在诱捕器的中部。随机悬挂诱捕器,每 2 个诱捕器间距大于 30 m,每 2d 检查 1 次,记录诱集到的脐腹小蠹雌雄成虫数。为保证随机性,每次检查时,将诱芯随机调换位置,对照为不挂任何诱芯。每个处理设 4 个重复。

1.8 数据分析

利用 SPSS 11.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 GC-MS 分析结果

2.1.1 脐腹小蠹成虫后肠挥发物的鉴定

脐腹小蠹成虫后肠挥发物成分的离子图见图 1(雌虫)和图 2(雄虫),其主要成分的保留时间以及每种成分的相对百分含量见表 1,雌成虫后肠挥发性物质成分有:十四烷、十五烷、十二酸、十六烷、十四酸、十八烷和十九烷五种正烷烃和两种酸,其中十四酸含量最高,达到了 42.2%,十四烷最少,占 5.71%,其余成分相对含量均在 10%左右。雄成虫后肠挥发性物质成分有:十一烷、十四烷、十五烷、十六烷、十八烷和十九烷六种正烷烃,十六烷(23.3%)和十九烷(21.5%)含量最多,其余相对含量从多到少依次为十五烷(18.4%)、十八烷(17.7%)、十四烷(14.4%)和十一烷(4.59%),与雌虫相比雄虫并无酸的成分。

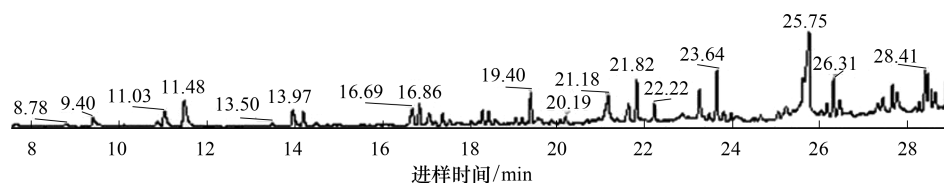


图 1 脐腹小蠹雌成虫后肠挥发物成分的离子图

Fig.1 The ion chromatogram of hindgut components of female adults of *Scolytus schevyrewi* Semenov

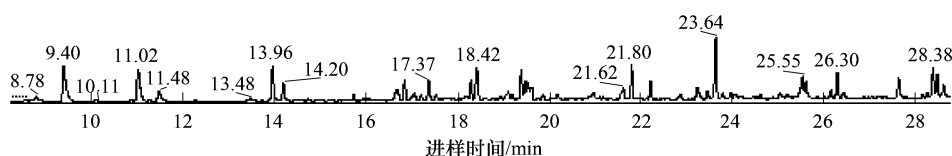


图 2 脐腹小蠹雄成虫后肠挥发物成分的离子图

Fig.2 The ion chromatogram of hindgut components of male adults of *Scolytus schevyrewi* Semenov

2.1.2 脐腹小蠹成虫粪挥发物的鉴定

脐腹小蠹成虫粪挥发物成分总离子图见图 3(雌虫)和图 4(雄虫),其主要成分的保留时间和每种成分的相对百分含量见表 2,雌成虫粪挥发性物质成分有:十一烷、十二烷、十四烷、十六烷、十八烷和十九烷,六种物质全部为正烷烃,其中十九烷含量最高,达到了 29.9%;其后依次为十六烷(23.4%)和十八烷(18.7%),最少为十四烷、十二烷和十一烷,相对含量在 5%左右。雄成虫粪挥发性物质成分有:庚烷、十一烷、十二烷、十四烷、十六烷、十八烷、二十二烷和二十三烷八种正烷烃,庚烷(20.5%)相对含量最多,其余从多到少依

次为十六烷(16.5%)、十八烷(16.5%)、二十二烷(12.3%)和二十三烷(9.78%)、十四烷(8.13%)、十一烷(2.93%)和十二烷(2.41%)。

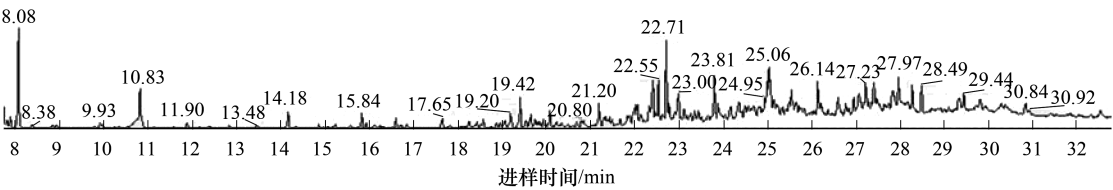


图3 脐腹小蠹雌成虫虫粪挥发物成分的离子图
Fig.3 The ion chromatogram of feces components of female adults of *Scolytus schevyrewi* Semenov

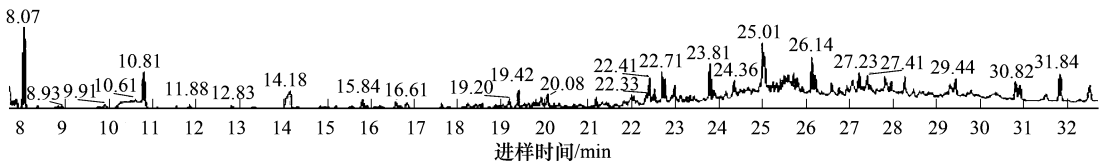


图4 脐腹小蠹雄成虫虫粪挥发物成分的离子图
Fig.4 The ion chromatogram of feces components of male adults of *Scolytus schevyrewi* Semenov

表1 脐腹小蠹成虫后肠挥发物主要成分及相对含量

Table 1 The main hindgut components and relative percentage composition of adults of *Scolytus schevyrewi* Semenov

物质名称 Compounds	保留时间 Retention time/min	相对含量/% Relative percentage composition	
		雌虫 Female	雄虫 Male
十一烷 Undecane	8.78	—	4.59
十四烷 Tetradecane	16.86	5.71	14.4
十五烷 Pentadecane	19.37	8.04	18.4
十二酸 Dodecanoic acid	21.18	12.1	—
十六烷 Hexadecane	21.80	10.4	23.3
十四酸 Myristic acid	25.75	42.2	—
十八烷 Octadecane	26.30	10.4	17.7
十九烷 Nonadecane	28.39	11.1	21.5

表2 脐腹小蠹成虫虫粪挥发物主要成分及相对含量

Table 2 The main feces components and relative percentage composition of adults of *Scolytus schevyrewi* Semenov

物质名称 Compounds	保留时间 Retention time/min	相对含量/% Relative percentage composition	
		雌虫 Female	雄虫 Male
庚烷 Heptane	8.08	—	20.5
十一烷 Undecane	16.61	4.26	2.93
十二烷 Dodecane	18.25	6.25	2.41
十四烷 Tetradecane	21.20	6.54	8.13
十六烷 Hexadecane	23.81	23.4	16.5
十八烷 Octadecane	26.14	18.7	16.5
十九烷 Nonadecane	27.23	29.9	—
二十二烷 Docosane	30.82	—	12.3
二十三烷 Tricosane	32.52	—	9.78

2.2 脐腹小蠹成虫触角对其后肠和虫粪主要挥发性物质的电位反应

从脐腹小蠹雌雄成虫后肠和虫粪挥发性化学信息物质中,选取鉴定出的12种化学信息物质(表3),利用触角电位仪测定触角对这些物质的电位反应,结果见图5所示,单一物质刺激下,雌雄虫的触角对12种物质的电位反应相对值较对照差异均达到了显著水平($P<0.05$),触角电位反应相对值较大的为十二酸、十四酸、十八烷;雌雄成虫比较,十二酸、十四酸和十九烷3种单一物质刺激后触角反应的相对值雄虫显著高于雌虫($P<0.05$),其余化学物质刺激后脐腹小蠹的触角电位反应值雌雄间差异均未达到显著水平。

2.3 脐腹小蠹的后肠和虫粪主要挥发性物质对脐腹小蠹的林间引诱

脐腹小蠹的林间引诱结果如表4所示,与对照相比,12种物质(表3)对脐腹小蠹的诱捕量均达到了显著水平($P<0.05$)。十二酸、十四酸、十九烷对脐腹小蠹雄虫的引诱数量显著高于雌虫数量($P<0.05$),其余单一物质对脐腹小蠹诱捕量雌雄虫间均无显著性差异。12种物质中对脐腹小蠹雌雄虫诱捕总量最多的是十八烷,达32.1头,其后诱捕量较多的依次为十二酸(24.1)、十四酸(22.7)、十一烷(19.2)、十九烷(18.2)、十六烷

(18.1)、二十二烷(17.1)和十二烷(16.0),庚烷、十四烷、十五烷和二十三烷的成虫诱捕总量最少。

表 4 林间诱脐腹小蠹的诱捕量

Table 4 Trapping catch numbers of *Scolytus schevyrewi* Semenov in the forest

序号 Number	处理 Treatment	诱捕量/头 trap catch numbers	
		雄虫 male	雌虫 female
1	庚烷 Heptane	6.65±2.87	8.26±3.29
2	十一烷 Undecane	10.9± 4.66	8.37±4.56
3	十二烷 Dodecane	8.39± 3.57	7.56±2.67
4	十四烷 Tetradecane	6.64± 2.47	8.33±2.51
5	十五烷 Pentadecane	7.33± 3.89	7.27±4.55
6	十二酸 Dodecanoic acid	15.4±1.81	8.68±2.55 *
7	十六烷 Hexadecane	10.6±3.55	7.48±2.89
8	十四酸 Myristic acid	14.8±1.40	7.90±2.12 *
9	十八烷 Octadecane	15.5±1.28	16.6±3.12
10	十九烷 Nonadecane	11.9±2.44	6.28±2.11 *
11	二十二烷 Docosane	9.44± 3.23	7.62±3.78
12	二十三烷 Tricosane	5.68± 1.13	6.34±4.33
13	对照 Control	2.11±0.17	1.12±0.17

* 表示雌雄差异达显著水平($P<0.05$)

表 3 试验所用化学物质

Table 3 Tested chemicals in the study

物质 Compounds	纯度/% Purity	厂家 Factory
庚烷 Heptane	99	TCI
十一烷 Undecane	99	TCI
十二烷 Dodecane	99	TCI
十四烷 Tetradecane	99	TCI
十五烷 Pentadecane	98	Sigma-aldrich
十二酸 Dodecanoic acid	98	北京化工厂
十六烷 Hexadecane	99	TCI
十四酸 Myristic acid	98	北京化工厂
十八烷 Octadecane	99	TCI
十九烷 Nonadecane	99	Fluka
二十二烷 Docosane	99	Supelco
二十三烷 Tricosane	99	Sigma-aldrich

3 讨论

在脐腹小蠹雌雄成虫后肠和虫粪挥发性化学信息物质的 GC-MS 分析中发现,表 3 中的 12 种化学成分在室内触角 EAG 反应测试中,触角反应的相对值较对照有显著效果,田间诱捕试验中诱捕量较对照显著,说明,这些化学物质成分都是与脐腹小蠹聚集有关的化学信息物质。

雌虫后肠中的十四烷、十五烷、十六烷、十八烷和十九烷,雄虫后肠中的十一烷、十四烷、十五烷、十六烷、十八烷、十九烷和二十三烷,雌虫虫粪中十一烷、十二烷、十四烷、十六烷、十八烷和十九烷,雄虫虫粪中的庚烷、十一烷、十二烷、十四烷、十六烷、十八烷、二十二烷和二十三烷,这些来自脐腹小蠹虫体的挥发性物质在范丽华等用 3 种不同方法提取,并通过 GC-MS 分析鉴定得到的白榆树干的挥发性物质成分中均能找到^[26]。Martín 等采用石油醚和乙醚混合浸泡提取了白榆、欧洲白榆 *U. Laevis* 和小叶榆 *U. minor* 的树干挥发物成分,并通过 GC-MS 进行了鉴定,最终认为小蠹在搜寻和确定寄主以及进行种间的化学通讯,在很大程度上利用了寄主的挥发性正烷烃类物质^[27]。Gore 等^[15]和 Cuthbert and Peacock 等^[16]鉴定的欧洲榆小蠹的聚集信息 α -萜澄茄油烯均来自其寄主英国榆树 *U. procera*。十二酸和十四酸两种物质对脐腹小蠹有明显的引诱作用,但其不属于脐腹小蠹寄主的挥发物成分,可以认为,脐腹小蠹与聚集有关的化学信息物质成分大多来自其寄主白榆,部分物质成分是其利用寄主的挥发物成分作为前体并通过生化途径合成了其用来进行化学通讯的化学信息物质^[3,28]。

鞘翅目昆虫中,聚集信息素可由雄虫或雌虫单独产生,对两性成虫均有引诱作用,同时聚集信息素有时也

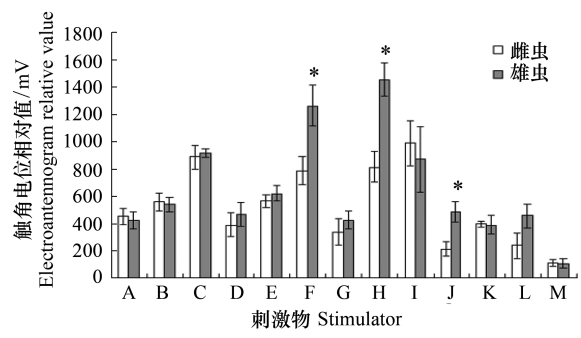


图 5 脐腹小蠹雌雄成虫的触角电位反应的相对值

Fig.5 EAG relative value of adults of *Scolytus schevyrewi* Semenov

A:庚烷; B:十一烷; C:十二烷; D:十四烷; E:十五烷; F:十二酸; G:十六烷; H:十四酸; I:十八烷; J:十九烷; K:二十二烷; L:二十三烷; M:对照; * 表示雌雄差异达显著水平($P<0.05$)

担任性信息素的功能^[11,29]。Liu 等^[30]认为红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte 的瘤额大小蠹素 frontalin ((1S,5R)-1,5-二甲基-6,8-二氧[3,2,1]-二环辛烷)在雌虫中产生,试验中将瘤额大小蠹素加入到红脂大小蠹的聚集信息素成分 3-萜烯中,诱捕量可以提高 200%,但如果再增加瘤额大小蠹素的浓度,会明显降低诱捕到的雌虫的数量,认为瘤额大小蠹素既是红脂大小蠹的聚集信息素又是其性信息素。在脐腹小蠹成虫虫粪中分析得到的挥发物成分中,十九烷在雌虫虫粪中相对含量为 29.9%,而在雄虫虫粪中尚未提取到,十二酸(12.1%)和十四酸(42.2%)只存在于脐腹小蠹雌虫后肠中,雄虫触角反应相对值对以上 3 种物质较雌虫有显著性强烈($P < 0.05$)的反应以及田间诱捕试验中 3 种物质对脐腹小蠹雄虫较雌虫有显著多($P < 0.05$)的诱捕量,推断,十九烷、十二酸和十四酸是脐腹小蠹成虫聚集信息素主要成分,同时又可能作为脐腹小蠹的性信息素成分。对于十八烷而言,在雌雄虫中无论是后肠还是虫粪中所占相对含量都相当,结合 EAG 实验和田间诱捕试验的诱捕量,推断十八烷是脐腹小蠹聚集信息素的主要成分。

Negron^[31]等利用乙醇、乙醇和 α -蒎烯的混合物、云杉八齿小蠹的引诱剂包括小蠹二烯醇、马鞭草烯醇和 2-甲基-3-丁烯-2-醇以及欧洲榆小蠹引诱剂包括波纹小蠹素、己醇、己醛、萜橙茄烯和 4-甲基-3-庚醇的单一物质分别对脐腹小蠹和欧洲榆小蠹进行诱捕,结果显示,只有 2-甲基-3-丁烯-2-醇和波纹小蠹素较其它物质对脐腹小蠹有显著高的诱捕效果($P=0.0245$),这两种物质间对脐腹小蠹的引诱效果没有差异显著性。值得注意的是,波纹小蠹素作为欧洲榆小蠹的引诱剂平均一周诱捕到的脐腹小蠹成虫数量较欧洲榆小蠹要多 10 头。多数昆虫的聚集信息素在同属中具有极大的相似性^[5],但本研究对脐腹小蠹后肠和虫粪挥发物成分的 GC-MS 分析结果中没有鉴定出欧洲榆小蠹的聚集信息素成分波纹小蠹素,而且也没有鉴定出对脐腹小蠹有显著诱捕效果的 2-甲基-3-丁烯-2-醇,所以脐腹小蠹的聚集信息素成分是否含这两种物质成分还待进一步的鉴定去证实。

昆虫在寻找寄主时往往是通过多种化合物的共同作用来实现的^[32],来自小蠹自身、其寄主或存在于环境中的物质,经常会以混合方式起作用,这样来提高种的特异性^[5]。脐腹小蠹聚集信息素成分的配比和最佳释放速度以及范丽华等^[26]文中列出的脐腹小蠹寄主挥发物的其它物质是否也可作为其聚集信息素成分,有待研究。

参考文献 (References):

- [1] 李月华. 盐池县林木主要病虫害的发生现状及综合防治措施. 宁夏农林科技, 2007, (5): 127-127, 135-135.
- [2] 范丽华, 张金桐, 李月华, 骆有庆, 宗世祥, 杨美红. 脐腹小蠹形态特征和生物学特性. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 657-663.
- [3] Blomquist G J, Teran R F, Aw M, Song M, Gorzalski A, Abbott N L, Chang E, Tittiger C. Pheromone production in bark beetles. Insect Biochemical Molecular Biology, 2010, 40(10): 699-712.
- [4] 赵博光. 国外鉴定的昆虫聚集信息素. 北京林业大学学报, 1993, 15(2): 117-124.
- [5] 姜勇, 雷朝亮, 张钟宁. 昆虫聚集信息素. 昆虫学报, 2002, 45(6): 822-832.
- [6] 张庆贺, 马建海, 赵丰钰, 史全顺, 王国仓. 青海云杉(拟)齿小蠹聚集信息素研究进展. 林业科学, 2012, 48(6): 118-126.
- [7] Byers J A, Birgersson G, Francke W. Aggregation pheromones of bark beetles, *Pityogenes quadridens* and *P. bidentatus*, colonizing Scotch pine: olfactory avoidance of interspecific mating and competition. Chemoecology, 2013, 23(4): 251-261.
- [8] Duduman M L. Field response of the northern spruce bark beetle *Ips duplicatus* (Sahlberg) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) to different combinations of synthetic pheromone with (-)- α -pinene and (+)-limonene. Agricultural and Forest Entomology, 2014, 16(1): 102-109.
- [9] Zhang Q H, Ma J H, Zhao F Y, Song L W, Sun J H, Cognato A I. Aggregation pheromone of the oriental spruce engraver, *Pseudips orientalis*, from China. Agriculture Forest Entomology, 2011, 13(1): 67-75.
- [10] Zhang Q H, Ma J H, Zhao F Y, Song L W, Sun J H. Aggregation pheromone of the Qinghai spruce bark beetle, *Ips nitidus* Eggers. Journal of Chemical Ecology, 2009, 35(5): 610-617.
- [11] Pajares J A, Álvarez G, Ibeas F, Gallego D, Hall D R, Farman D I. Identification and field activity of a male-produced aggregation pheromone in the pine sawyer Beetle, *Monochamus galloprovincialis*. Journal of Chemical Ecology, 2010, 36(6): 570-583.
- [12] Zhang Q H, Song L W, Ma J H, Han F Z, Sun J H. Aggregation pheromone of a newly described spruce bark beetle, *Ips shangrila* Cognato and Sun, from China. Chemoecology, 2009, 19(4): 203-210.

- [13] Ben-Yehuda S, Tolasch T, Francke W, Gries R, Gries G, Dunkelblum D, Mendel Z. Aggregation pheromone of the almond bark beetle *Scolytus amygdali* (Coleoptera: Scolytidae). *IOBC wprs Bulletin*, 2002, 25: 1-12.
- [14] Francke W, Bartels J, Meyer H, Schröder F, Kohnle U, Baader E, Vite J P. Semiochemicals from bark beetles: New results, remarks, and reflections. *Journal of Chemical Ecology*, 1995, 21(7): 1043-1063.
- [15] Gore W E, Pearce G T, Lanier G N, Simeone J B, Silverstein R M, Peacock J W, Cuthbert A. Aggregation attractant of the European elm bark beetle, *Scolytus multistriatus*. *Journal of Chemical Ecology*, 1977, 3(4): 429-446.
- [16] Cuthbert R A, Peacock J W. Response of the elm bark beetle, *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Scolytidae), to component mixtures and doses of the pheromone, multilure. *Journal of Chemical Ecology*, 1978, 4(3): 363-373.
- [17] Blight M M, Henderson N C, Wadhams L J. The identification of 4-methyl-3-heptanone from *Scolytus scolytus* and *S. multistriatus* (Marsham). Absolute configuration, laboratory bioassay and electrophysiological studies on *S. scolytus*. *Insect Biochemistry*, 1983, 13(1): 27-38.
- [18] Dickens J C, Jang E B, Light D M, Alford A R. Enhancement of insect pheromone responses by green leaf volatiles. *Naturwissenschaften*, 1990, 77(1): 29-31.
- [19] Blight M M, Wadhams L J, Wenham M J. Volatiles associated with unmated *Scolytus scolytus* beetles on English elm: Differential production of α -multistriatin and 4-methyl-3-heptanol, and their activities in a laboratory bioassay. *Insect Biochemistry*, 1978, 8(3): 135-142.
- [20] Wood D L, Browne L E, Silverstein R M, Rodin J O. Sex pheromones of bark beetles-I. Mass production, bio-assay, source, and isolation of the sex pheromone of *Ips confusus* (LeC.). *Journal of Insect Physiology*, 1966, 12(5): 523-536.
- [21] Fu X W, Guo X R, Luo M H, Yuan G H, Li W Z, Wu S Y. Electrophysiological and behavioral responses of *Helicoverpa assulta* (Guenée) and *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to tobacco volatile compounds of high concentration. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(9): 902-909.
- [22] 陈大风, 李叶静, 孔祥波, 张真, 王鸿斌, 焦相杰, 段瑞龙, 陈洁, 李继峰. 落叶松八齿小蠹对聚集信息素和寄主挥发性萜烯成分的电生理响应. *林业科学*, 2013, 49(11): 89-97.
- [23] Pureswaran D S, Borden J H. New repellent semiochemicals for three species of *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytidae). *Chemoecology*, 2004, 14(2): 67-75.
- [24] Shepherd W P, Huber D P W, Seybold S J, Fettig C J. Antennal responses of the western pine beetle, *Dendroctonus brevicomis* (Coleoptera: Curculionidae), to stem volatiles of its primary host, *Pinus ponderosa*, and nine sympatric nonhost angiosperms and conifers. *Chemoecology*, 2007, 17(4): 209-221.
- [25] Phillips T W, Nation J L, Wilkinson R C, Foltz J L, Pierce H D, Oehlschlager A C. Response specificity of *Dendroctonus terebrans* (Coleoptera: Scolytidae) to enantiomers of its sex pheromones. *Annual Entomology Society of American*, 1990, 83(2): 251-257.
- [26] 范丽华, 牛辉林, 张金桐, 宗世祥, 杨美红, 刘金龙. 脐腹小蠹寄主白榆挥发性物质的分析. *山西农业大学学报:自然科学版*, 2013, 33(4): 305-312.
- [27] Martín D, García-Vallejo M C, Pajares J A, López D, Díez J J. Elm bark components and their potential influence on bark beetle feeding. *Investigation Agraria; Sistemasy Recursos Forestales*, 2004, 13(1): 227-235.
- [28] Margaret M, Blight F A, Mellon L J, Wadhams M J. Volatiles associated with *Scolytus scolytus* beetles on English elm. *Experientia*, 1977, 33(7): 845-847.
- [29] Zhang Q H, Schneidmiller R G, Hoover D R, Young K, Welshons D O, Margaryan A, Aldrich J R, Chauhan K R. Male-produced pheromone of the green lacewing, *Chrysopa nigricornis*. *Journal of Chemical Ecology*, 2006, 32(10): 2163-2176.
- [30] Liu Z D, Xu B B, Miao Z W, Sun J H. The pheromone Frontalin and its dual function in the invasive bark beetle *Dendroctonus valens*. *Chemical Senses*, 2013, 38(6): 485-495.
- [31] Negrón J F, Witcosky J J, Cain R J, LaBonte J R, Duerr II D A, McElwey S J, Lee J C, Seybold S J. The banded elm bark beetle: A new threat to elms in North America. *American Entomologist*, 2005, 51(2): 84-93.
- [32] 路荣春, 王鸿斌, 张真, 金幼菊. 利用云南松挥发性物质监测和防治云南纵坑切梢小蠹的研究进展. *西北林学院学报*, 2008, 23(2): 124-128.