

被害马尾松 (*Pinus massoniana*) 针叶挥发性物质的提取、鉴定及蚕饰腹寄蝇 (*Blepharipa zebina*) 的电生理活性

徐延熙^{1,2}, 孙绪良², 秦小微¹, 苏建伟¹, 戈 峰^{1,*}

(1. 农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 中国科学院动物研究所, 北京 100080 2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘要 :试验使用动态顶空吸附的方法,提取了被害马尾松 (*Pinus massoniana*) 针叶挥发物,并通过气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 及标准样品进行鉴定。结果表明,被害马尾松针叶挥发性物质主要包括绿叶挥发物、单萜、含氧单萜及倍半萜等四大类物质,挥发物中以单萜的含量最高,其它 3 类物质含量较低。通过触角电位图 (EAG) 技术,测定了 23 种挥发性物质标准样品的石蜡油溶液对蚕饰腹寄蝇 (*Blepharipa zebina*) 雌蝇的电生理活性。结果表明,蚕饰腹寄蝇雌蝇对 α -蒎烯、 β -蒎烯、长叶烯、苧烯、乙酸冰片酯等的相对触角电位反应值与湿润空气对照相比并无显著差异,雌蝇对其它刺激物的相对触角电位反应值与湿润空气对照相比均存在显著差异。同时测定了雌蝇对 8 种标样,在 5 个浓度系列下的剂量-反应,并分析了反应阈值。结果表明,蚕饰腹寄蝇雌蝇对顺-3-己烯-1-醇和里哪醇的反应阈值为 $0.1 \mu\text{g}/\mu\text{l}$,对壬醛的反应阈值为 $1 \mu\text{g}/\mu\text{l}$,对柠檬烯、 α -水芹烯、2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、 β -石竹烯 4 种物质的反应阈值为 $100 \mu\text{g}/\mu\text{l}$,而对 α -蒎烯,在测试的剂量范围内不存在反应阈值。在确定对蚕饰腹寄蝇有生理活性的物质成分和分析反应阈值的基础上,对寄生蝇类定位寄主的机制进行了讨论。

关键词 :马尾松;马尾松毛虫;挥发性物质;蚕饰腹寄蝇;触角电位

文章编号 :1000-0933 (2007)11-4403-09 中图分类号 :Q143 文献标识码 :A

The absorption and identification of volatiles from pine needles of *Pinus massoniana* Lamb. damaged by *Dendrolimus punctatus* (Walker) and the antennal responses of female *Blepharipa zebina* (Walker) to these volatile compounds

XU Yan-Xi^{1,2}, SUN Xu-Gen², QIN Xiao-Wei¹, SU Jian-Wei¹, GE Feng^{1,*}

1 State Key Laboratory of Insect and Rodent Pests Integrated Management Institute of Zoology Chinese Academy of Sciences Beijing 100080 China

2 College of Plant Protection Shandong Agriculture University Taian 271018 China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4403 ~ 4411.

Abstract : *Dendrolimus punctatus* (Walker) (Lepidoptera : Lasiocampidae) is the primary insect pest of pine forests in China. *Blepharipa zebina* (Walker) (Diptera : Tachinidae) is the important natural enemy of the pine caterpillars. The

基金项目 :国家自然科学基金重点资助项目 (30330490)

收稿日期 :2006-11-26 ;修订日期 :2007-03-30

作者简介 :徐延熙 (1979 ~) 男,山东招远人,硕士,主要从事化学生态学研究,现在济南市农业局工作. E-mail :yanxi_xu@163.com

* 通讯联系人 Corresponding author. E-mail :gef@ioz.ac.cn

致谢 :蒙中国科学院动物研究所赵建铭研究员鉴定寄蝇种类,动物所何忠高级工程师、王睿工程师在试验中给予热心指导,魏佳宁博士后,王鸿雷、樊建庭、张龙娃博士及北京林业大学任琴博士提供部分试验标样,在此一并致谢!

Foundation item :The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30330490)

Received date 2006-11-26 ;**Accepted date** 2007-03-30

Biography :XU Yan-Xi, Master, mainly engaged in chemical ecology. E-mail :yanxi_xu@163.com

volatiles from the *Pinus massoniana* damaged by *Dendrolimus punctatus* were collected with the method of dynamic headspace absorption. And they were identified using the gas chromatographic-mass spectrometry (GC-MS) and the standard samples. The results showed that there were 4 different chemical classes in the volatiles compounds including the general green volatiles, hydrocarbon monoterpenes, oxygenated monoterpenes and sesquiterpenoids. Hydrocarbon monoterpenes had the largest quantity and other chemical classes had the small quantity in the volatiles compounds. Antennal olfactory responses of female *B. zebina* to 23 pine volatiles compounds were measured by electroantennogram (EAG) techniques. The results showed that no significant differences were found in the antennal olfactory responses of female *B. zebina* to β -pinene, α -pinene, longifolene, camphene, bornyl acetate and humidity air. But there were significant difference between other compounds and humidity air. Such as cis-3-hexen-1-ol, cis-3-hexenyl acetate, 1-octen-3-ol, 3-octanol, linalool, limonene, they all could elicit high EAG responses. Dose-response of *B. zebina* to serial stimulus loads (0.1, 1, 10, 100, 1000 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) of 8 standard chemicals and the threshold were also measured and analyzed. Dose-response curves constructed from EAGs revealed a low threshold (0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) for cis-3-Hexen-1-ol and linalool, a moderate threshold (1 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) for nonanal and a high threshold (100 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) for Limonene, α -phellandrene, 2,6-dimethyl-2,4,6-octatrien and β -caryophyllene. There is no threshold for α -pinene in the serial stimulus loads. The role of pine volatiles in host habitat location of tachinid fly was discussed.

Key Words : *Pinus massoniana* Lamb. ; *Dendrolimus punctatus* (Walker) ; volatiles ; *Blepharipa zebina* (Walker) ; Electroantennogram (EAG)

马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* (Walker) 是我国森林的重要害虫, 主要危害我国南方各省区的马尾松 *Pinus massoniana* Lamb., 还可危害湿地松 *Pinus elliotii* Engelm.、火炬松 *Pinus taeda* L. 等, 常间歇性猖獗成灾^[1~3]。

蚕饰腹寄蝇 *Blepharipa zebina* (Walker) 属于寄蝇科 Tachinidae, 饰腹寄蝇属 *Blepharipa* Rondani, 属全国广布种, 在我国除大量寄生马尾松毛虫、赤松毛虫、思茅松毛虫和西伯利亚松毛虫之外, 也可寄生家蚕和柞蚕等。该蝇产卵于松针上, 当马尾松毛虫幼虫取食时连卵一起吞下, 在胃液作用下孵化出蝇蛆, 并在体腔内发育, 待松毛虫结茧化蛹后, 老熟蝇蛆钻出寄主入土化蛹, 一般每个寄主只出蝇蛆 1 头^[4~6]。

植物-植食者-天敌三级营养关系间的化学通讯是当前国际昆虫生态学研究领域的热点问题, 也是化学生态学研究的前沿方向^[7]。植物挥发性物质在昆虫寻找寄主植物以及天敌寻找寄主的过程中, 发挥着重要作用, 已经被国内外的很多学者的研究成果所证实^[8~20]。马尾松针叶挥发性物质成分对马尾松毛虫成虫的生理活性以及对其产卵行为的影响, 已有学者做了相关的研究报道^[21~22], 但是其对马尾松毛虫寄生性天敌的作用的研究报道很少, 尤其寄生蝇化学生态学方面的研究, 国内未见报道。作者通过对虫害后的马尾松挥发性物质提取、鉴定以及对蚕饰腹寄蝇的触角电位测定, 确定了对具有生理活性的物质成分, 为研究马尾松针叶挥发性物质在寄生蝇类寻找寄主中的作用奠定基础, 进一步为马尾松毛虫的综合治理和生态调控提供理论和应用上的依据。

1 材料和方法

1.1 被害马尾松针叶挥发性物质提取、鉴定

1.1.1 针叶挥发性物质的提取

2005 年 4 月底, 采用动态顶空吸附的方法, 于江西省赣州市兴国县马尾松林内, 选取 7 棵遭受马尾松毛虫危害 (中等程度 40% ~ 60%, 目测, 以所剩针叶占总针叶的百分比计) 的马尾松 (高约 2 m), 将松树枝条上的 4 ~ 5 龄的马尾松毛虫幼虫移去, 提取针叶挥发物。具体方法包括: 用韧性的微波炉加热用袋 (large size 型, 美国 Reynolds 公司) 将选定的马尾松枝条套住, 用便携式气泵 (QC-1 型大气采样仪, 北京劳动保护科学研究所) 迅速抽出袋内的杂质空气, 然后立即冲入过滤后的空气, 过滤空气是将外界空气依次通过两级过滤介质

(无臭活性炭 ,GDX-201 型国产吸附剂)进入采样袋内 ;当空气充到接近正常体积后 ,即保持袋内空气容量 ,将气泵、过滤介质、采样袋、吸附管 (装有 Porapak Q 吸附剂 ,两端填有玻璃毛的圆形玻璃管 $6\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$)等连接成闭路系统 ,使过滤后的空气在系统中循环流动 ,将马尾松针叶挥发性物质吸附在吸附管中的吸附剂内 ;采样时 ,控制流速在 100 ml/min ,采样时间是 30 min 。提取后的吸附管用聚四氟乙烯的盖子盖好并低温保存 ,室内用 $600\text{ }\mu\text{l}$ 的重蒸正戊烷将吸附的挥发性物质洗脱在 2 ml 的样品瓶 (美国 Agilent 公司)内 ,用于气相色谱-质谱联用仪分析。

1.1.2 针叶挥发性物质的鉴定

将洗脱的针叶挥发性物质在气相色谱-质谱联用仪 (Agilent 6890N-5973N 型)上进样 ,通过谱库检索和标样定性。气相色谱-质谱联用仪条件 :色谱柱为 DB-WAX ($60\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$) ,程序升温 30°C 开始 ,保持 2 min ,然后以 5°C/min 的速率升到 200°C ,进样口温度 200°C ,载气为高纯 He (99.999%) ,载气流速为 1 ml/min ,进样量 $2\text{ }\mu\text{l}$,无分流进样 ,电离方式 EI ,电离能量 70 eV ,接口温度 250°C ,离子源温度 230°C ,四极杆温度 150°C ,扫描质量范围 $30\sim300\text{ amu}$ 。

1.2 虫源

2005 年 7 月底作者于重庆市巴南区采集了大量马尾松毛虫茧。收集从松毛虫茧中脱落的寄生蝇蛹 ,放置在小型的木纱笼 ($30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$)内 ,待其羽化。将当天羽化的蚕饰腹寄蝇放置在此种木纱笼内 ,饲以 30% 的蜜糖水 ,供其自由交配^[4-6]。选取交配后 ,饲喂 $2\sim3\text{ d}$ 的蚕饰腹寄蝇雌蝇用做试验材料。

1.3 触角电位 (EAG) 试验

1.3.1 触角电位仪 (荷兰 Syntech 公司) 装置

触角电位仪主要包括 Syntech UN-06 直流/交流放大器 ,Syntech CS-05 刺激放大器 ,Syntech MP-15 微动操作仪 ,Syntech WILD M3Z 双目实体显微镜 ,Syntech EAG 分析软件。连续气体流量为 1.8 L/min ,刺激气体流量为 1.5 L/min 。调节刺激时间为 0.2 s 。

1.3.2 触角的连接

将蚕饰腹寄蝇雌蝇的头部迅速切下 ,将一根充有电生理盐水 (Ringer's 电生理盐水)的毛细管的尖端插在头后的头孔内 ,作为参比电极 ;将雌蝇的一根触角的端部插在另一根充有电生理盐水的毛细管的尖端 ,作为记录电极。将两个电极与微动操纵器上的两个电极 (含直径为 0.2 mm 的 Ag-AgCl 电极)相连。

1.3.3 标样溶液的配制及触角电位测定

将标准化合物 (见表 1) 配成 $100\text{ }\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的石蜡油溶液。触角电位测定之前 ,取石蜡油溶液 ($10\text{ }\mu\text{l}$)滴在放有滤纸条 ($4\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$)的巴斯德吸管内。吸管末端连接刺激气体控制装置 ,保持每次刺激时间为 0.1 s ,连续两次的刺激时间间隔为 30 s 以上。每头雌蝇的触角对同一样品重复 3 次 ,每个样品重复 8 根触角 ,每头雌蝇仅使用 1 个触角。选用 8 种标样 (顺-3-己烯-1-醇、壬醛、 α -蒎烯、柠檬烯、 α -水芹烯、2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、里哪醇、 β -石竹烯) ,分别配成 $0.1\text{ }\mu\text{l}$, 10 , 100 , $1000\text{ }\mu\text{g}/\mu\text{l}$ 5 个浓度系列 ,分别刺激雌蝇的触角 ,重复方法同上。

1.3.4 触角电位反应值的计算方法

以 $100\text{ }\mu\text{g}/\mu\text{l}$ 的己醇 (98% ,美国 Acros 公司) ,作为参考化合物。所有刺激物测得的触角电位反应值均为相对于己醇的相对值。测定时 , 5 种刺激物为一组 ,每组前后各刺激 1 次参考化合物 ,以消除触角反应的衰减对测试结果的影响。具体的计算公式参考 Denis T. 等^[23]。

1.4 数据统计

用 SPSS 10.0 统计软件对试验数据进行方差分析和多重比较。相对触角电位反应值为上述公式计算值的平均值 $\pm$ 标准误差。

2 结果与分析

2.1 马尾松针叶挥发物的分析鉴定

马尾松针叶挥发物通过动态顶空吸附收集、用重蒸后的正戊烷洗脱后 ,通过 GC-MS 进样 ,用谱库检索和

标准样品定性。被害马尾松针叶挥发性物质的主要组分鉴定结果见表 2。结果表明 ,被害马尾松针叶挥发性物质中主要含有脂肪酸的衍生物、单萜、氧化单萜 (单萜醇、单萜酯)和倍半萜类物质。四大类挥发物中以单萜的含量最高 ,其中 α -蒎烯和 β -蒎烯含量分别为 63.8% 和 21.7%。脂肪酸的衍生物、氧化单萜和倍半萜类物质含量均不高。动态顶空吸附的方法收集针叶挥发物 ,较之以前溶剂提取的方法 ,能够较准确的反映自然环境中挥发物的真实组成。

表 1 23 种标准化合物的来源
Table 1 Sources of twenty-six standard chemicals

标准化合物 Standard chemicals	纯度 (%) Purity degree	公司 Company
顺-3-己烯-1-醇 cis-3-Hexen-1-ol	98	Acros
顺-3-己烯乙酸酯 cis-3-Hexenyl acetate	99	Lancaster
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	98	Acros
辛醇 3-Octanol	99 +	Acros
壬醛 Nonanal	95	Acros
α -蒎烯 α -Pinene	98	Aldrich
β -蒎烯 β -Pinene	99	Aldrich
月桂烯 Myrcene	—	Aldrich
α -萜品烯 α -Terpinene	90	Acros
γ -萜品烯 γ -Terpinene	98 +	Acros
柠檬烯 Limonene	97	Aldrich
α -水芹烯 α -Phellandrene	95	Fluka
萜品油烯 Terpinolene	≥ 85	Fluka
莰烯 Camphene	95	Aldrich
2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 2,6-Dimethyl-2,4,6-Octatrien	80	Aldrich
罗勒烯 Ocimene (70 % cis-ocimen and 25 % limonen)	—	Fluka
3-萜烯 3-Carene	99	Aldrich
里哪醇 Linalool	95	Fluka
α -萜品醇 α -Terpineol	99	Acros
乙酸冰片酯 Bornyl acetate	95	Aldrich
乙酸里哪酯 Linalyl acetate	≥ 95	Fluka
β -石竹烯 β -Caryophyllene	98	Aldrich
长叶烯 Longifolene	≥ 99	Fluka

2.2 蚕饰腹寄蝇对主要马尾松针叶挥发性物质的触角电位反应值

蚕饰腹寄蝇对主要马尾松针叶挥发性物质的触角电位反应值见表 3。从表 3 可以看出 ,雌蝇对 23 种马尾松针叶挥发物标样 (除乙酸冰片酯)的触角电位相对反应值均高于石蜡油和湿润空气对照。但雌蝇对 α -蒎烯、 β -蒎烯、长叶烯、莰烯的相对触角电位反应值与湿润空气对照相比并无显著差异。雌蝇对顺-3-己烯-1-醇、顺-3-己烯乙酸酯、1-辛烯-3-醇、辛醇等几种脂肪酸族化合物触角电位反应值均较高 ,以顺-3-己烯-1-醇最高 ,其与其它所有的刺激物相比 ,均存在显著差异。马尾松挥发性物质中 ,萜类物质的种类和含量均较高 , α -蒎烯、 β -蒎烯是马尾松挥发物中含量较高的两种物质^[21] ,但此两种单萜并未引起明显的触角电位反应 ,而雌蝇对其 10 种单萜的触角电位反应相对值与对照相比均存在显著差异。如柠檬烯、 α -水芹烯、罗勒烯等均能引起雌蝇明显的触角电位反应。在含氧单萜及其衍生物等刺激物中 ,雌蝇对里哪醇和 α -萜品醇的触角电位反应值均较高 ,对乙酸里哪酯的反应偏低 ,但仍然高于对照值 ,与两种对照值均存在显著差异 ,而对乙酸冰片酯的反应最低 ,甚至略低于湿润空气对照值。试验结果表明 ,被害马尾松针叶挥发性物质的不同组分对蚕饰腹寄蝇有不同的电生理活性 ,进而也预示了其对寄生蝇行为功能起着不同的作用。

表 2 被害马尾松针叶挥发物的主要组分及相对含量

Table 2 The chemical components and their relative contents of the volatiles collected from the *P. massoniana* Lamb. damaged by *D. punctatus*

化合物名称	分子式	分子量	相对含量 (%)
Name of compound	Molecular formula	Molecular mass	Relative content
三环萜 Tricylene	C ₁₀ H ₁₆	136	3.28
α-蒎烯 α-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	63.8
莰烯 Camphene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.44
β-蒎烯 β-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	21.7
桉萜 Sabinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.26
3-萜烯 3-Carene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.14
β-月桂烯 β-Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	136	1.06
α-水芹烯 α-Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.05
α-萜品烯 α-Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.03
柠檬烯 Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	2.44
β-水芹烯 β-Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	136	3.99
罗勒烯 Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.08
γ-萜品烯 γ-Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.02
萜品油烯 Terpinolene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.12
辛醇 Octanol	C ₈ H ₁₈ O	130	0.02
顺-3-己烯乙酸酯 cis-3-Hexenyl acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	142	0.01
2,6-二甲基-2,4-β-辛三烯 2,6-Dimethyl-2,4-β-Octatrien	C ₁₀ H ₁₆	136	0.04
顺-3-己烯-1-醇 cis-3-Hexen-1-ol	C ₆ H ₁₂ O	100	0.01
壬醛 Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	142	0.17
α-萜品醇 α-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.09
里哪醇 Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.06
乙酸里哪酯 Linalyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.03
长叶烯 Longifolene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.11
乙酸冰片酯 Bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.02
β-石竹烯 β-Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.01
α-石竹烯 α-Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.01

表 3 蚕饰腹寄蝇雌蝇对 26 种刺激物的触角电位反应相对值

Table 3 The averaged EAG responses of female *B. zebina* (Walker) to 26 stimuli

刺激物 Stimulus	相对反应值 Normalized EAG
顺-3-己烯-1-醇 cis-3-Hexen-1-ol	111.73 ± 15.73 a
己醇 Hexyl alcohol *	100.00 ± 0.00 b
顺-3-己烯乙酸酯 cis-3-Hexenyl acetate	97.74 ± 17.04 b
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	78.63 ± 9.51 c
辛醇 3-Octanol	75.23 ± 13.35 cd
里哪醇 Linalool	66.92 ± 18.66 de
柠檬烯 Limonene	60.09 ± 4.38 ef
α-水芹烯 α-Phellandrene	59.44 ± 8.57 efg
α-萜品醇 α-Terpineol	58.67 ± 5.62 efgh
2,6-二甲基-2,4-β-辛三烯 2,6-Dimethyl-2,4-β-Octatrien	52.58 ± 6.75 fgh
壬醛 Nonanal	52.33 ± 16.87 fgh
罗勒烯 Ocimene	50.34 ± 6.89 fghij
γ-萜品烯 γ-Terpinene	48.25 ± 3.27 ghijk
月桂烯 Myrcene	47.26 ± 4.42 hijkl
萜烯 3-Carene	46.48 ± 7.16 ijkl
β-石竹烯 β-Caryophyllene	44.22 ± 7.07 ijkl
萜品油烯 Terpinolene	42.09 ± 6.64 ijklm
α-萜品烯 α-Terpinene	41.21 ± 5.30 ijklmn
乙酸里哪酯 Linalyl acetate	39.17 ± 4.56 jklmno
β-蒎烯 β-Pinene	37.57 ± 4.78 klmnop
α-蒎烯 α-Pinene	35.99 ± 8.54 lmnop
长叶烯 Longifolene	31.12 ± 5.32 mnopq
莰烯 Camphene	29.77 ± 7.61 nopq
湿润空气 Humidity air	29.55 ± 7.74 opq
乙酸冰片酯 Bornyl acetate	26.83 ± 14.53 pq
石蜡油 Paraffin oil	24.09 ± 6.52 q

表中 * 代表己醇为参考刺激物,表中数字旁标注的小写字母表示蚕饰腹寄蝇雌蝇对不同刺激物的触角电位相对值之间的 Duncan 比较,相同的字母表示差异不显著,不同的字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Hexyl alcohol is a standard stimulus; Small letters show Duncan comparison results of *B. zebina* to different stimuli, the same letter means no significant difference and the different letter means significant different each other.

2.3 蚕饰腹寄蝇雌蝇对不同剂量标准化合物的触角电位反应

用于测定的 8 种标准化合物分别属于 4 大类化合物,即单萜,含氧单萜,倍半萜和脂肪酸族化合物。蚕饰腹寄蝇雌蝇对 8 种标准化合物的剂量-反应曲线见图 1。在所测的剂量范围内,蚕饰腹寄蝇雌蝇对顺-3-己烯-1-醇、壬醛、 α -水芹烯的触角电位相对反应值,随着剂量的增加,一直呈增大的趋势。而对 α -蒎烯、柠檬烯、2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、里哪醇和 β -石竹烯 6 种物质的触角电位相对值均在 1000 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ 的剂量上开始呈现下降趋势。通过对反应阈值的计算,表明蚕饰腹寄蝇雌蝇对顺-3-己烯-1-醇和里哪醇的反应阈值为 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$,对壬醛的反应阈值为 1 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$,对柠檬烯、 α -水芹烯、2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、 β -石竹烯四种物质的反应阈值为 100 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$,而对 α -蒎烯,在测试的剂量范围内不存在反应阈值。低反应阈值的化学物质为蚕饰腹寄蝇雌蝇从较远的地方就能感受到的信息化学物质,高反应阈值的化学物质为雌蝇在较近的地才能感受到的信

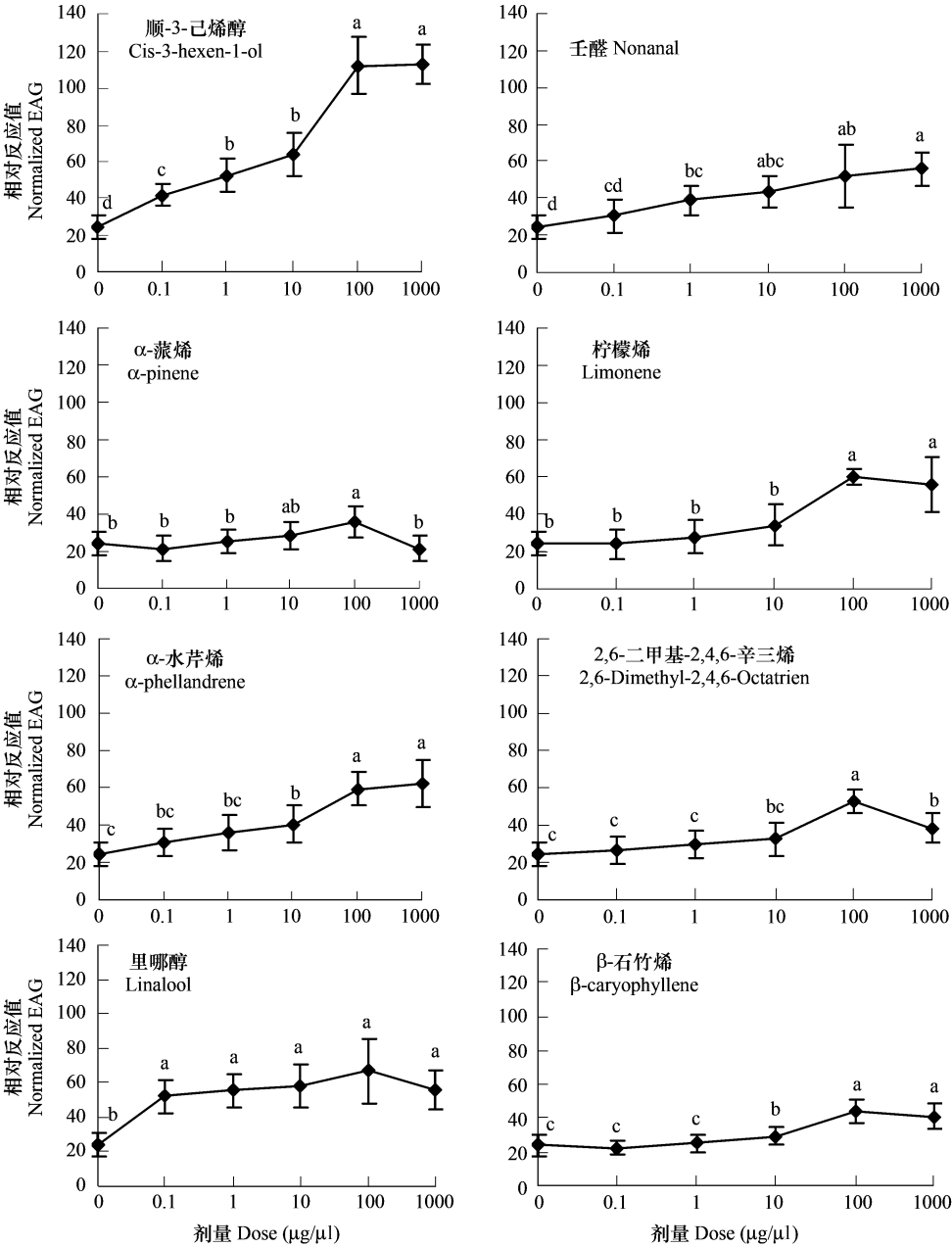


图 1 蚕饰腹寄蝇雌蝇对 8 种标准化合物的剂量反应

Fig. 1 Dose-response curves constructed from EAGs of female *B. zebina* (Walker) to serial stimulus loads of 8 standard chemicals

息化学物质^[24,25]。

3 讨论

寄生蜂寻找寄主的机理国内外学者进行大量的研究和报道,而且大多数的研究集中在对寄生蜂定位寄主的嗅觉机制的研究上^[8~20]。已有的研究表明,寄主植物的挥发性物质,寄主本身的粪便、蜜露、丝、表皮、口腔分泌物、卵、鳞片、血淋巴及各种信息素都可以作为寄生蜂定位寄主的重要信号^[8~20]。寄生蝇是另一类重要的寄生性天敌,其在形态、生理以及寄生方式上与寄生蜂都有显著的不同,因而寄生蝇对寄主的定位和选择的机制也有所不同^[27]。由于多数寄生蝇具有较发达的视觉系统和活动探测能力,所以视觉信号和寄主的活动在其定位寄主的过程中具有重要的作用^[26~28]。我国学者在研究中也曾发现蚕饰腹寄蝇随着马尾松毛虫取食,而不断将卵产在松毛虫即将取食的松针上^[4,6]。这也证明了视觉作用和松毛虫的活动在蚕饰腹寄蝇定位寄主中的作用。国外已有的研究结果表明寄主取食后的植物挥发物对寄生蝇有明显的引诱作用^[27,29,30]。通过 EAG 试验,测定了被害马尾松针叶挥发物(27 种)中的大部分成分(23 种)对蚕饰腹寄蝇的电生理活性。其中除 α -蒎烯、 β -蒎烯、长叶烯、苧烯和乙酸冰片酯等 5 种成分之外,大多数成分(18 种)对雌蝇均有明显的电生理活性。认为由于蚕饰腹寄蝇寄主范围较广,其对容易探测到的甚至是可靠性较低的挥发性物质(如绿叶挥发物)均具有较高的敏感性^[31]。在这些活性成分中,雌蝇对脂肪酸的衍生物(含绿叶挥发物)如顺-3-己烯-1-醇、顺-3-己烯乙酸酯等有高的 EAG 反应值,这与许多对寄生蜂的测定结果相似^[10,12,13,32]。里哪醇在多种寄生蜂寻找寄主中发挥着重要作用^[11,12,32],蚕饰腹寄蝇对里哪醇同样具有较高的 EAG 反应值。这也预示了植物挥发性物质成分在寄生蜂和寄生蝇寻找寄主中的作用也有许多相同或相似之处。通过试验还证明,雌蝇对顺-3-己烯-1-醇和里哪醇具有低的反应阈值,是雌蝇从较远的地方就能感受到的信息化学物质,雌蝇对柠檬烯、 α -水芹烯、2,6-二甲基-2,4-辛三烯、 β -石竹烯等 4 种成分具有高的反应阈值,是雌蝇在较近的地方才能感受到的信息化学物质^[24,25]。这些活性成分在蚕饰腹寄蝇寻找寄主中的具体作用如何,还有待于室内和田间的行为试验来进一步证实。

寄生蝇定位寄主的过程是视觉、听觉、嗅觉以及触觉等物理、化学因子共同作用的综合过程^[27]。国外已有的对寄生蝇定位寄主的研究,多采取行为测定的方法,并证实了视觉和听觉作用、寄主植物的挥发物和寄主的排泄物(虫粪等)以及寄主的活动在其定位寄主中的作用^[26~30],但并没有从具有引诱作用的混合物中分析单一成分对寄生蝇的作用。EAG 数据可以表明蚕饰腹寄蝇对被害马尾松针叶挥发物中的成分是否有反应和反应程度的大小,为人们提供了许多与其行为相关的信息,这对有针对性地发掘对蚕饰腹寄蝇有引诱活性的成分甚为有利,也为寄生蝇类在生物防治中的应用开辟了新的途径^[25,28,33]。下一步的工作将从具有 EAG 活性的成分中,筛选出对蚕饰腹寄蝇具有行为活性的化合物或混合物,为进一步揭示寄生蝇寄主选择的机理,为寄生蝇在马尾松毛虫综合治理和生态调控中发挥更大的作用提供理论和应用上的依据^[33]。

References :

- [1] Hou T Q. The pine caterpillars in China. Beijing Science Press, 1987.
- [2] Chen C J. Integrated management of pine caterpillars in China. Beijing China Forestry Press, 1990.
- [3] Sun M Y, Xi F S, Liu Z. Natural enemies of *Dendrolimus punctatus* (Walker) in China. Nanning Guangxi People Press, 1986.
- [4] Zhao J M, Liang E Y. The tachinid flies of primary pests in China. Beijing Science Press, 1984.
- [5] Xue W Q, Zhao J M. Flies of China (Volume2). Shenyang Liaoning Science and Technology Press, 1996.
- [6] Liu Y Z, Zhao J M, Li L F *et al.* Fauna of Tachinidae from Shanxi Province, China. Beijing Science Press, 1998. 3-22, 207-209.
- [7] Du J W. Review and expectation of chemical ecology in China. In: Review and expectation of ecology in China. Beijing: Weather Press, 2004. 45-54.
- [8] Lu Y J, Zhang X X. Effect of interaction of volatiles and sex pheromone on EAG response of *Helicoverpa armigera* (Hubei). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(2): 308-313.
- [9] Chen Z M, Xu N, Han B Y, *et al.* Chemical communication between tea plant-Herbivore- Natural enemies. Journal of Tea Science, 2003, 23

(supplement) 38 —45.

[10] Lou Y G ,Cheng J A. Herbivore-induced plant volatiles :primary characteristics ,ecological functions and its release mechanism. *Acta Ecologica Sinica* 2000 20 (6) :1097 —1106.

[11] Dong W X ,Hu B W ,Zhang Z N ,*et al.* Electrophysiological and behavioral responses of *Microplitis mediator* to tobacco plant volatiles. *Acta Ecologica Sinica* 2004 24 (10) :2252 —2256.

[12] Turlings T C J ,Tumlinson J H ,Lewis W J. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. *Science* ,1990 250 :1251 —1253.

[13] Vison S B ,Williams H J. Host selection behavior of *Campoplex sonorensis* :A model system. *Biol. control* ,1991 1 :107 —117

[14] Morgan D J W ,Hare J D. Volatile cues used by the parasitoid *Aphytis melinus* ,for host location :California red scale revisited. *Entomol. Exp. Appl.* ,1998 88 :235 —245.

[15] Meiners T ,Westerhaus C ,Hilker M. Specificity of chemical cues used by a specialist egg parasitoid during host location. *Entomol. Exp. Appl.* , 2000 95 :151 —159.

[16] Park K C ,Elias D ,Donato B ,*et al.* Electroantennogram and behavioural responses of different forms of the bird cherry-oat aphid ,*Rhopalosiphum padi* to sex pheromone and a plant volatiles. *J. Insect Physiol.* 2000 46 :597 —604.

[17] Dainius P ,Fernando I ,Wittko F ,*et al.* Odour-mediated nectar forging in the silver Y moth ,*Autographa gamma* (Lepidoptera :Noctuidae) : behavioural and electrophysiological responses to floral volatiles. *Oikos* 2002 99 :75 —82.

[18] Zhang Q H ,Schlyter F ,Battisti A ,*et al.* Electrophysiological responses of *Thaumetopoea pityocampa* females to host volatiles :implications for host selection of active and inactive terpenes. *J. Pest Science* 2003 76 :103 —107.

[19] Sandrine J ,John A P ,Lester J W ,*et al.* Antennal electrophysiological responses of three parasitic wasps to caterpillar-induced volatiles from maize (*Zea mays mays*) ,cotton (*Gossypium herbaceum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*). *J. Chem. Ecol.* 2005 31 (5) :1023 —1038.

[20] David G J. Further field evaluation of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *J. Chem. Ecol.* 2005 31 (3) : 481 —495.

[21] Zhao C H ,Wu D M ,Yan Y H ,*et al.* Analysis of masson pine needle volatiles and their electroantennogram activity with masson pine caterpillar. *Scientia Silvae Sinicae* ,1995 31 (2) :125 —131.

[22] Zhao C H ,Yan Y H. Oviposition behaviour of the pine caterpillar moth *Dendrolimus punctatus* influenced by needle volatiles of *Pinus massoniana*. *Scientia Silvae Sinicae* 2003 39 (6) :91 —93.

[23] Denis T ,Frederic M P. Electroantennogram responses of Douglas-fir seed chalcids to plant volatiles. *J. Insect Physiol.* ,1998 44 :483 —490.

[24] Dickens J C. Olfaction in the boll weevil *Anthonomus grandis* Bob. (Coleoptera :Curculionidae) :Electroantennogram studies. *J. Chem. Ecol.* , 1984 10 :1759 —1785.

[25] Li Y S ,Dickens J C ,Steiner W W M. Antennal olfactory responsiveness of *Microplitis croceipes* (Hymenoptera :Braconidae) to cotton plant volatiles. *J. Chem. Ecol* ,1992 18 :1761 —1774.

[26] Allen G R ,Kamien D ,Berry O ,*et al.* Larviposition host cues and planidial behavior in the sound-locating parasitoid fly *Homotrixia allenii* (Diptera : Tachinidae). *J. Insect Behav.* ,1999 12 (1) :67 —79.

[27] Stireman J O. Host location and selection cues in a generalist tachinid parasitoid. *Entomol. Exp. Appl.* 2002 103 :23 —34.

[28] Mondor E B ,Roland J. Host locating behaviour of *Leschenaultia exul* and *Patelloa pachypyga* two tachinid parasitoids of the forest tent caterpillar , *Malacosoma disstria*. *Entomol. Exp. Appl.* ,1997 85 :161 —168.

[29] Zvereva E L ,Rand N E. Fly parasitoid *Megaselia opacicornis* uses defensive secretions of the leaf beetle *Chrysomela lapponica* to locate its host. *Oecologia* 2004 140 :516 —522.

[30] Tanaka C ,Kainoh Y ,Honda H. Host frass as arrestant chemicals in locating host *Mythimna separata* by the tachinid fly *Exorista japonica*. *Entomol. Exp. Appl.* 2001 100 :173 —178.

[31] Stireman J O. What determines host range in parasitoids ?An analysis of a tachinid parasitoid community. *Oecologia* ,2003 135 :629 —638.

[32] Yan Z G ,Yan Y H ,Kang L ,*et al.* EAG responses of *Campoplex chloridae* Uchida to plant volatiles and host pheromone gland compounds. *Acta Entomologica Sinica* 2006 49 (1) :1 —9.

[33] Xu Y X ,Sun X G ,Han R D *et al.* Parasitoids of *Dendrolimus punctatus* in China. Chinese Bulletin of Entomology 2006 43 (6) 767—773.

参考文献：

[1] 侯陶谦. 中国松毛虫. 北京 :科学出版社 ,1987.

[2] 陈昌洁. 松毛虫综合管理. 北京 :中国林业出版社 ,1990.

[3] 孙明雅 ,奚福生 ,刘政. 马尾松毛虫天敌图志. 南宁 :广西人民出版社 ,1986.

[4] 赵建铭 ,梁恩义. 中国主要害虫寄蝇. 北京 :科学出版社 ,1984.

[5] 薛万琦 ,赵建铭. 中国蝇类 (下册). 沈阳 :辽宁科学技术出版社 ,1996.

[6] 刘银忠 ,赵建铭. 山西省寄蝇志. 北京 :科学出版社 ,1998. 3~22 207~209.

[7] 杜家纬. 我国化学生态学的回顾和展望. 见 :生态学研究回顾与展望. 北京 :气象出版社 2004. 45~54.

[8] 鲁玉杰 ,张孝羲. 棉铃虫对几种信息化合物的触角电位 (EAG)反应. 生态学报 ,2003 23 (2) 308~313.

[9] 陈宗懋 ,许宁 ,韩宝瑜 ,等. 茶树-害虫-天敌间的化学信息联系. 茶叶科学 2003 23 (增) 38~45.

[10] 娄永根 ,程家安. 虫害诱导的植物挥发物 :基本特性、生态学功能及释放机制. 生态学报 2000 20 (6) :1097~1106.

[11] 董文霞 ,胡保文 ,张钟宁 ,等. 中红侧沟茧蜂对烟草挥发物的触角电生理及行为反应. 生态学报 2004 24 (10) 2252~2256.

[12] 赵成华 ,伍德明 ,阎云花 ,等. 马尾松针叶挥发性成分的鉴定及其对马尾松毛虫的触角电位反应. 林业科学 ,1995 31 (2) :125~131.

[22] 赵成华 ,阎云花. 马尾松针叶中的挥发物质对马尾松毛虫产卵行为的影响. 林业科学 2003 39 (6) 91~93.

[32] 颜增光 ,阎云花 ,康乐 ,等. 棉铃虫齿唇姬蜂对植物挥发性物质和寄生性信息素腺体化合物的 EAG 反应. 昆虫学报 2006 49 (1) :1~9.

[33] 徐延熙 ,孙绪良 ,韩瑞东 ,等. 我国马尾松毛虫寄生性天敌的研究进展. 昆虫知识 2006 43 (6) 767~773.