

马尾松树针叶挥发性化学物质对松毛虫 赤眼蜂嗅觉及寄生行为的影响*

王 勇^{1,2} 肖铁光^{**} 何 忠² 戈 峰²

(1. 湖南农业大学生物安全科技学院 长沙 410128;

2. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理国家重点实验室 北京 100101)

Effects of masson pine volatiles on olfactory and parasitic behavior of *Trichogramma dendrolimi*. WANG Yong^{1,2}, XIAO Tie-Guang^{**}, HE Zhong², GE Feng² (1. College of Biology Safety Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract The olfactory behavior of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura to nine pine needles volatiles were investigated with Y-tube olfactometer, four volatiles were identified could affect the olfactory behavior of *T. dendrolimi*, they were α -pinene, β -pinene, limonene and α -terpineol acetate, but it should be noted that α -pinene and β -pinene have a most significant effect. Bioassays to parasitic behavior of *T. dendrolimi* were conducted in laboratory, we mixed different compounds by these four or three volatiles to compare single components to investigate the percentage of parasitism, the results showed that both of them could affect the percentage of parasitism significantly, and this result also same as the conclusion of olfactory behavior experiment basically. However, compounds had not caused highest percentage of parasitism compared single components, this may suggested some single components play a dominant role in parasitic behavior of *T. dendrolimi*.

Key words masson pine volatiles, *Trichogramma dendrolimi*, olfactory behavior, parasitic behavior

摘 要 应用 Y 型嗅觉仪测定松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 对 9 种马尾松树针叶挥发性物质对的嗅觉行为反应, 确定了 4 种对于松毛虫赤眼蜂有影响活性的马尾松树针叶挥发性物质。它们分别是 α - 蒎烯, β - 蒎烯, 柠檬烯, α - 萜品醇乙酸酯 4 种物质, 其中尤以 α - 蒎烯和 β - 蒎烯 2 种物质作用最显著。产卵生测实验中, 4 种活性挥发性物质的混合物分别与它们的单一成分、 α - 蒎烯、 β - 蒎烯分别与除去它们后的混合物进行比较。结果显示, 与对照相比, 它们均能对松毛虫赤眼蜂的产卵寄生率产生显著影响, 该结果也和 Y 型嗅觉仪下的实验结果基本一致。但在单一物质和混合物对松毛虫赤眼蜂的寄生率影响比较中, 混合物并没有使松毛虫赤眼蜂产生最高的寄生率, 这说明可能是某种单一物质在其寄生过程中起主导作用。

关键词 马尾松挥发性化学物质, 松毛虫赤眼蜂, 嗅觉行为, 寄生行为

昆虫在寻找寄主和产卵场所等一系列过程中, 能否发现寄主是其繁衍后代的关键, 而寄主的栖息地一般由多种生物群落组成, 寄生蜂必须借助于那些与寄主有关的信号找到寄主, 研究表明挥发性化学物质起着关键作用^[1,2]。寄生性天敌通过识别寄主的栖息地植物的挥发性物质和昆虫特异性信息素进行寄主的定向、鉴别和选择。因此研究天敌寄主的栖息地(植物)

的挥发性物质影响其各种行为的内在机理, 不但可以揭示寄主植物—昆虫—天敌三层营养与信息联系实质, 而且可为利用天然生物活性物质防治害虫提供参考价值。

* 国家自然科学基金重点项目(30330490)。

** E-mail: tieguang@21cn.com

重登收稿日期: 2008-05-20, 修回日期: 2008-07-14

马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker 是中国重要的林业害虫, 松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 是其最主要的寄生性天敌^[3], 有关松毛虫赤眼蜂对其寄生行为的研究国内已研究日趋深入。但国内外有关松毛虫赤眼蜂是如何利用马尾松松树挥发性化学物质, 以及哪些物质对其寄主进行定位有重要影响的研究报道还很少。研究表明组成马尾松树挥发性物质的主要是萜烯类化合物, 如三环烯、 α -蒎烯、莰烯、 β -蒎烯、宁烯、柠檬烯、水芹烯、石竹烯、大香叶烯、雪松烯等。其中单萜的种类最多, 且包括里那醇、苯甲醛、乙基己醇、马鞭草烯醇、马鞭草烯酮、辛醛、壬醛、癸醛等^[4,5]。本研究通过 GC-MS 鉴定马尾松松树的挥发性化学物质, 筛选出马尾松树叶主要挥发性化学物质, 分析它们对松毛虫赤眼蜂嗅觉和产卵行为的影响, 以期确定影响松毛虫赤眼蜂嗅觉和产卵行为的挥发性化学物质, 探讨松树树叶挥发性化学物质在松毛虫侵害中的作用。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本实验采用人工繁殖的松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 雌蜂, 蜂种由北京市农林科学院提供。实验前保证赤眼蜂没有行为选择经验。并用 30% 蜜糖水在相对湿度 70%, 温度 25℃, 光照 8L: 16D 条件下饲养。

柞蚕卵 *Antheraea pernyi* Guerin: 将新鲜的柞蚕剖腹取卵(北京市农林科学院提供), 水洗消毒后凉干, 用胶水将其均匀粘贴在卵卡纸(10 cm × 8 cm)上, 每张卵卡上卵粒的数量保持基本一致(约 100 粒), 预实验显示卵粒数量能够保证赤眼蜂能充分寄生, 并确定了实验所用胶水对其行为无影响。

供试的化合物: 在本研究中, 选择相对含量大于 0.5% 的 9 种松树树叶挥发性化学物质, 研究它们对松毛虫赤眼蜂嗅觉及寄生行为的影响。实验所需化学物质均采用标准样品(纯度 95% ~ 98%, 购自 Aldrich, Fluka 公司, 见表

1)。

表 1 实验中所用的 9 种化学物质的纯度及来源

挥发性化学物质	纯度(%)	来源公司
α -蒎烯 α -pinene(ap)	98	Aldrich
莰烯 Camphene(cam)	95	Aldrich
β -蒎烯 β -pinene(bp)	98	Aldrich
柠檬烯 Limonene(limo)	97	Aldrich
里那醇 Linalool(lina)	95	Fluka
乙酸龙脑酯 Borneol, acetate(yisuan)	98	Fluka
α -萜品醇乙酸酯 α -terpineol acetate(atie)	98	Fluka
β -榄香烯 β -elemene(blan)	98	Fluka
β -石竹烯 β -caryophyllene(bshi)	98	Aldrich

1.2 实验方法

1.2.1 松树针叶挥发性化学物质的鉴定 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 m × 0.25 mm × 0.25 μ m); 程序升温, 30℃开始, 保持 2 min, 然后以 5℃/min 的速率升到 200℃; 进样口温度 200℃; 载气为高纯 He(99.999%), 载气流速为 1 mL/min; 进样量 2 μ L, 无分流进样; 电离方式 EI, 电离能量 70 eV; 接口温度 250℃, 离子源温度 230℃, 四极杆温度 150℃; 扫描质量范围: 30~300 amu。马尾松挥发物成分的鉴定采用 Xcalibur 1.2 版本软件, NIST98 谱图库兼顾色谱保留时间及萜烯标样的出峰顺序完成。通过面积归一化法以各类挥发物的相对含量定量。

1.2.2 Y 型嗅觉仪测定 参考魏佳宁等^[6]的方法进行测定。经质谱分析, 鉴定出马尾松松树针叶所含的挥发性物质组分及相对含量, 选取 9 种主要松树松针所含挥发性化学物质标样分别对松毛虫赤眼蜂进行 Y 型嗅觉仪(北京化学冶炼所制作)行为测定。Y 型嗅觉仪用玻璃制成, 臂长 20 cm, 内径 2 cm, 两臂夹角 90 度, 柄长 20 cm。嗅觉仪置入观察箱(95 cm × 60 cm × 45 cm), 保证箱内灯光均匀。室内温度保持在 (26±1)℃。湿度 60% ~ 70%。用膜泵从引导管抽气, 将外界空气经水和活性碳的过滤和净化进入两臂, 合并进入引导管, 并调整流量计将两臂内的气流控制在 160 mL/min。首先, 将处

理样品和对照溶剂(正己烷)各 100 μL 分别滴于 2 张小滤纸片(1 cm $\times$ 4 cm), 分别置于两臂端部圆球状空间内作为气味源。将单头无经验的寄生蜂雌蜂引入引导管, 开始抽气, 并观察寄生蜂在管中的行为。在观察箱中, 每测试 5 头蜂, 两臂位置对调 1 次, 每测试完 5 头蜂更换 Y 型管。记录每头寄生蜂 15 min 内的行为选择性, 如果虫不活跃, 记为没有选择。在进入两臂 5 cm 的地方画一道线, 第一选择性为寄生蜂进入一个臂且活动超过该线, 而最后选择性指 15 min 计时完毕时, 它在管中的位置。松毛虫赤眼蜂在嗅觉仪中除开两臂的引导区域的行为参数也同时被记录。也同时记录寄生蜂在管中不同位置的活动时间, 如在引导区或 2 个臂内的活动时间。预实验显示, 与空白相比, 寄生蜂对对照溶剂没有选择差异。实验对 9 种物质分别进行测试。每种物质用蜂 30 只, 计为 30 个重复。实验中标准化合物用正己烷溶剂稀释 10 倍。

1.2.3 四边形产卵选择笼实验 制备正方体形状(40 cm $\times$ 40 cm $\times$ 40 cm)的纱笼, 用于赤眼蜂产卵选择实验: 把制备好的柞蚕卵卵卡挂在纱笼的壁上, 每次实验 4 张卵卡分别于四壁挂置。卵卡制备好后用松树的挥发性物质标准样品溶于正己烷处理, 将配制好的溶剂均匀滴洒在卵卡上, 用量 1 000 μL , 溶剂浓度为 1: 10。混合物中各物质组成比例同自然条件下未受害松针提取物物质组成比例。将赤眼蜂源放置在笼的中间位置, 任其自由选择卵卡寄生。在相同条件下使各笼内赤眼蜂出蜂量基本保持一致。保持环境湿度 70%, 温度 25 $^{\circ}\text{C}$, 光照 8L: 16D。在光照期间内, 在实验室内放置毛玻璃使室内光线均匀, 以消除视觉因素对松毛虫赤眼蜂行为的影响。放置 24 h 后取下卵卡放入相同环境条件下, 使实验卵粒内寄生的松毛虫赤眼蜂从卵开始发育直到出蜂, 出蜂完毕统计卵粒的寄生率。统计卵粒寄生率方法参考耿金虎^[7], 以具羽化孔的卵数量与供试总卵数量的百分比估计。

根据 Y 型嗅觉仪测定结果, 在此实验中用

单一物质和物质组合分别处理卵卡, 实验设置 6 个处理组合, 组合为 α - 蒎烯, β - 蒎烯, 柠檬烯, α - 蒎品醇乙酸酯分别与它们的混合物(comp: α - 蒎烯+ β - 蒎烯+ 柠檬烯+ α - 蒎品醇乙酸酯)比较, 以及 α - 蒎烯, β - 蒎烯分别与除去它们后的混合化合物(β - 蒎烯+ 柠檬烯+ α - 蒎品醇乙酸酯), (α - 蒎烯+ 柠檬烯+ α - 蒎品醇乙酸酯)比较。各处理设置 2 张没有经化合物处理的卵卡对照。实验重复 6 次。

1.3 统计分析

数据统计分析采用 spss 统计软件处理。采用卡平方(χ^2)检验分析寄生蜂在行为仪中对处理样品与空白对照的选择性。利用成对样本 t - 检验比较寄生蜂在两臂中的时间差异。采用独立样本 t - 检验和单因素方差分析对产卵选择实验结果进行统计。寄生率多重比较采用 LSD 法, 百分率数据统计前用反正弦转换。停留时间和寄生率数据均采用平均值 $\pm$ 标准(Mean $\pm$ SE)。

2 结果与分析

2.1 GC/MS 鉴定

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、单蒎、氧化单蒎(单蒎醇、单蒎酯)和倍半蒎类物质。四大类挥发物中以单蒎的含量最高, 而脂肪酸的衍生物、氧化单蒎和倍半蒎类物质含量均不高。结果表明健康和受害的马尾松针叶主要挥发物组成相同, 但各组分的相对含量不同。其中, 3 种类型的松针中物质组分相对含量大于 0.5% 的物质是 α - 蒎烯, 蒎烯, β - 蒎烯, 柠檬烯, β - 石竹烯, 里娜醇, α - 蒎品醇乙酸酯, β - 榄香烯, 乙酸龙脑酯。

2.2 Y 型嗅觉仪测定

采用 Y 型嗅觉仪测定松毛虫赤眼蜂对各种针叶挥发性物质的行为结果见图 1~ 3。与对照相比, α - 蒎烯, β - 蒎烯对松毛虫赤眼蜂行为影响显著。其中, 在第一选择参数上(图 1), 选择处理臂和对照臂($P=0.06$), 无选择行为($P=0.025$)的结果差异显著; 同样在最后选择

参数(图2)(分别为 $P=0.003, 0.007$)和选择时间参数($P=0.000, 0.000$)上,差异也显著。但是在第一和最后选择参数上,赤眼蜂在柠檬烯, α -萜品醇乙酸酯2种物质下的趋性表现为无选择的蜂只数多于选择处理臂的蜂只数,其中在

第一选择上差异还表现为显著($P=0.045, 0.027$)。但在两臂停留时间上各物质明显高于对照(图3)($P<0.05$)。而其它的几种挥发性物质和对照相比在以上参数指标上均无显著性差异(图1~3)。

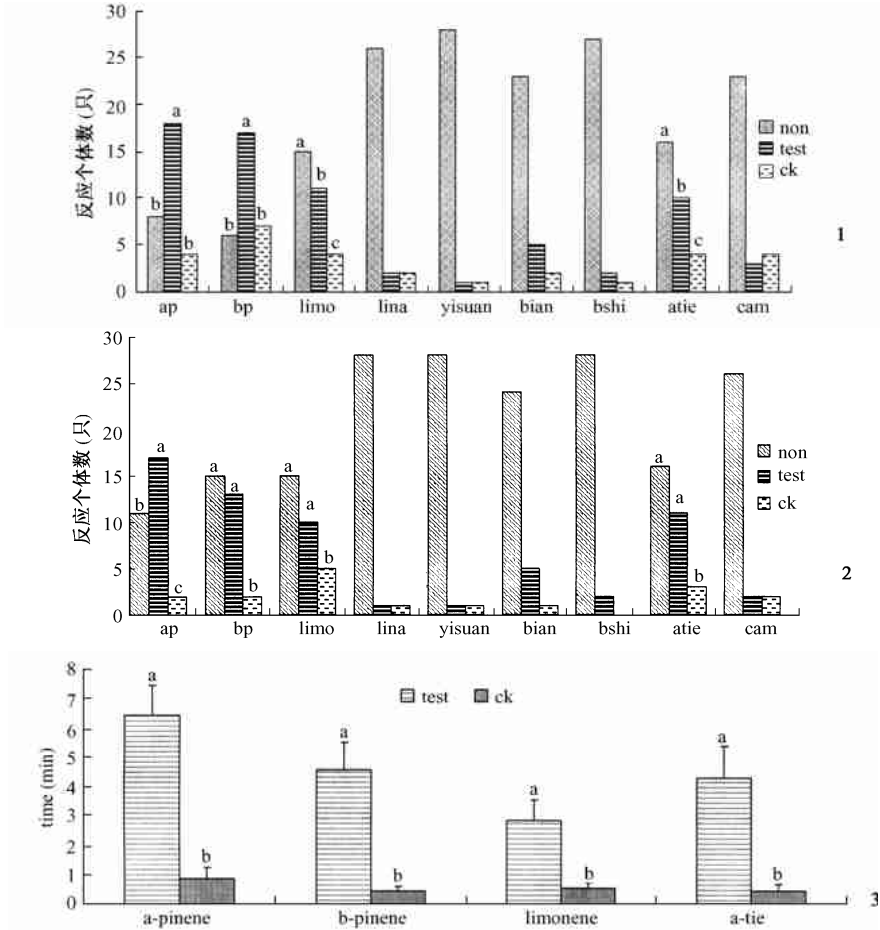


图 1~ 3 利用 χ^2 检验寄生蜂选择处理或选择对照的个体数量是否存在显著差异(图 1, 图 2)。

采用配对 t - 检验比较寄生蜂在两臂中平均活动时间是否存在显著差异(图 3)。“non”“test”“ck”分别代表嗅觉仪引导区域(嗅觉仪中放蜂点到两臂分开处之间的一段区域),物质处理臂,空白对照臂。时间比较图中白色数据柱表示赤眼蜂在物质处理臂停留时间,浅灰色数据柱表示在对照臂中停留时间。不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。时间数据采用 $\text{Mean} \pm \text{SE}$ 。本实验各比较组合用蜂数都超过 40 只。

2.3 四边形产卵选择笼实验

在各处理组合结果图 4 表明,各处理卵卡的寄生率都显著高于对照($P < 0.05$)。在单一物质与 4 种物质混合物(comp)比较的实验处理中, α -蒎烯与 comp 的处理卵卡寄生率差异显著,前者高于后者。 β -蒎烯高于 comp 但差异不显著。而柠檬烯, α -萜品醇乙酸酯卵卡寄生

率显著低于混合物(comp)。在 α -蒎烯, β -蒎烯分别与除去它们后的混合化合物(bl+ t: β -蒎烯+ 柠檬烯+ 萜品醇乙酸酯), (ala- t: α -蒎烯+ 柠檬烯+ 萜品醇乙酸酯)比较的实验处理中, α -蒎烯卵卡寄生率显著高于(β -蒎烯+ 柠檬烯+ 萜品醇乙酸酯),而 β -蒎烯显著低于后者。

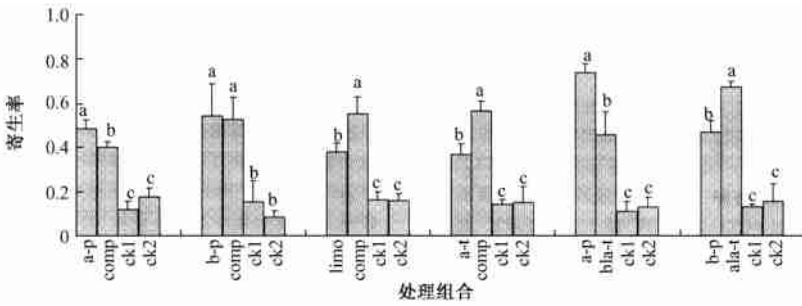


图4 物质处理浓度在(1:10 v/v)下,各处理组合下松毛虫赤眼蜂卵寄生率(Mean±SE)的比较

单因素方差分析处理物质对松毛虫赤眼蜂对人工卵卡寄生率的影响,组内各物质处理下的寄生率采用多重比较,不同字母表示组内差异显著($P < 0.05$)。图中6组组间相互独立,无比较关系。图中各比较组合中均设置2个空白溶剂对照,记为CK1,CK2。

3 讨论

在植物—植食性昆虫—寄生蜂三级营养系统中,植物挥发物起着重要作用,它为寄生蜂定位寄主栖境、寻找寄主提供信息^[8]。寄主的栖息地一般由多种生物群落组成,寄生蜂必须借助于那些与寄主有关的信号进一步缩小搜索范围,并最终找到寄主^[9,10]。邱中良等对松毛虫赤眼蜂的观察表明,寄主植物和雌蜂气味的共同作用是其雄蜂在寄主栖境定位中的关键因子^[11]。寄生蜂作为“植物—植食性昆虫—寄生蜂”三级营养关系中的一部分,其行为和生理受到其它2层营养级的影响,源于寄主(植食性昆虫)的信息显然是最可靠的,但是由于进化选择的压力,植食性昆虫会尽量隐藏自己不被天敌发现;同时,由于植食性昆虫只是复杂环境中的一小部分,其信息物质相对较少,因此难以在远距离被寄生蜂察觉到,从而存在着可察觉性低的问题,就植物而言,其生物量相对较大,挥发性物质的含量高,能够在较远的距离被察觉到,然而,植物气味只能给予寄主存在与否及其适宜性的间接信息,其可靠性较差。因此源于寄主及其食料(植物)的信息存在可靠性可察觉性问题^[12,13]。一般寄生蜂能否对寄主准确定位主要取决于所利用的线索物质的可靠性和可检测性。毫无疑问,直接来自寄主栖息地(植物)的信号最可靠,能够使寄生蜂准确定位寄主。如十字花科植物中所特有的烯丙基异硫氰酸酯能

够引诱菜蚜茧蜂 *Diaeretiella rapae*; Powell 和 Zhang 利用 Y 型嗅觉计证实了蚜茧蜂 *Aphidius uzbekistanicus* 对寄主植物气味产生趋性反应^[14,15]。我们在实验中用马尾松树的挥发性物质研究对松毛虫赤眼蜂寄主栖息地定向定位的影响,探讨了马尾松树挥发性物质作为引诱松毛虫赤眼蜂定位其寄主的可靠性。实验结果显示松树的挥发性化学物质中存在能显著影响松毛虫赤眼蜂嗅觉及寄生行为的物质,如 α -pinene, β -pinene 等,这些物质在不同的实验设置中都表现出了作为松毛虫赤眼蜂行为搜索信息物质的可探测性。

准确探明各种植物挥发物中对寄生性天敌的主要活性组分,是研究植物挥发物中的一个难点。这不仅是由于植物挥发物涉及到的种类多,而且还由于植物挥发物的不同组成,包括挥发物的绝对量、组分数以及各组分比例,都会影响到寄生性天敌的行为反应。目前通过行为生测来判断挥发物中的活性组分主要通过2种途径^[16]。一种是通过测定寄生性天敌对单一挥发物组分的行为反应;另一种是通过测定寄生性天敌对几种挥发物组分混合物的行为反应。这2种途径,都存在各自的局限性。就第1种而言,它不能了解到植物挥发物组分间的相互作用;第2种则不能区分起主要作用的组分。此外,就研究方法而言,目前大多是用滤纸片沾上待测的一种或几种挥发物组分,然后进行生测。这往往使得待测的挥发物的释放速率不同于真正植物的释放速率。这样,得出的结

果有可能与自然的情况不相一致。因此,有必要发展一套测定植物挥发物中活性组分的研究方法。我们的实验首先探讨了马尾松树的9种主要挥发性物质对松毛虫赤眼蜂的嗅觉行为影响,结果表明并不是所有的挥发性化学物质能够显著影响其嗅觉行为,其中 α -蒎烯, β -蒎烯,柠檬烯以及 α -萜品醇乙酸酯4种物质在嗅觉仪测试中表现出了对赤眼蜂行为的显著影响,但是 α -蒎烯和 β -蒎烯2种物质的影响作用更加明显。为此,我们再通过设置单一挥发物组分和挥发物混合物相互组合对松毛虫赤眼蜂进行了室内产卵生测,并在具体的实验操作中用有机溶剂对挥发物组分进行稀释,在根据自然条件下的物质组成比例控制实验中的物质浓度处理人工制作柞蚕卵卡,寄生完成后统计寄生率。进而比较有效的控制了挥发物的释放速率,并使实验环境符合各生物的最适宜环境,用寄生率这个参数来反映寄生蜂的寄生状况也具有科学性。因而更能准确的表明 α -蒎烯, β -蒎烯等物质的确能对松毛虫赤眼蜂的寄主定向定位行为产生显著影响。实验结果表明松毛虫赤眼蜂在寄主搜索定向定位过程中嗅觉行为和产卵寄生行为具有一致性。

天敌在寻找寄主的过程中,信息化合物起着重要作用^[17-19],作为信息化合物的植物挥发性物质是一类组成复杂的混合物,其成分是一些分子量在100~200的有机化学物质,包括烃类、醇类、醛类、酮类、酯类、有机酸、含氮化合物以及有机硫化物等^[20,21]。我们实验中所用到的化合物包括酯类,萜烯类,醇类,因而挥发性物质的选取比较有代表性,这为我们设计实验提供了前提,使实验结果更有科学性。同时,由于赤眼蜂是全世界害虫生物防治中研究最多、应用最广的一类卵寄生蜂。柞蚕 *Antheraea pernyi* 卵粒大,具有较高的繁蜂效率,价格低廉,便于储运,是我国赤眼蜂商品化生产中最重要的人工繁蜂中间寄主。由柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂是我国最主要的生防产品,广泛应用于防治多种农林害虫^[7]。我们的实验用柞蚕卵为松毛虫赤眼蜂的产卵供试寄主,因此保证了实

验操作中材料选用的连贯性,高效性和同时性,为我们得出科学的结论提供保障。

本实验仅对松毛虫赤眼蜂通过寄主植物的挥发物气味对寄主栖息地定向进行了研究,至于在野外自然生境下不同被害程度的松针内,是同一挥发物质含量发生了变化,还是产生了新的挥发性物质决定了松毛虫赤眼蜂的定向选择,这个问题目前尚不清楚,需要进一步对不同类型和被害程度的松针的挥发物质进行鉴定,并对发生变化或新产生的物质进行生物测定来加以明确。

参 考 文 献

1 侯照远,严福顺. 昆虫学报. 1997, **40**(2): 94~ 107.

2 鲁玉杰,张孝羲. 昆虫知识, 2001, **38**(4): 262~ 266.

3 黄丽莉,刘兴平,韩瑞东,等. 昆虫知识. 2006, **43**(2): 215 ~ 218.

4 胡永建,任琴,金幼菊,等. 生态学报, 2007, **27**(2): 565~ 570.

5 Martin D., Gershenson J., Bohlmann J. *Plant Physiol.*, 2003, **132**(3): 1 586~ 1 598.

6 Wei J. N., Kang L.e. *Chem. Senses*, 2006, **31**(5): 467~ 477.

7 耿金虎,沈佐锐,李正西,等. 昆虫学报, 2005, **48**(6): 903~ 909.

8 桂玲,邓曙东,张青文,等. 植物保护. 2004, **30**(3): 23~ 26.

9 Vinson S. B. *Biol. Contr.* 1998, **11**: 79~ 96.

10 刘树生,施祖华. 中国生物防治, 1996, **12**(2): 78~ 84.

11 邱中良,周建中,黄娟,等. 昆虫天敌, 1995, **17**(1): 1~ 6.

12 王建武,周强,徐涛,等. 生态学报, 2003, **23**(9): 1 791~ 1 797.

13 Turling T. C. J., Tumlinson J. H., Lewis W. J. *Science*, 1990, **250**(4 985): 251~ 1 253.

14 Powell W., Zhang Z. T. *Physiol. Ent.*, 1983, **8**: 439~ 443.

15 Read D. P., Feeny P. P., Root R. B. *Can. Entomol.*, 1970, **102**: 1 567~ 1 578.

16 娄永根,汪霞,杜孟浩,等. 生态学杂志, 2005, **24**(4): 438 ~ 442.

17 Tunlinsong J. H., Turhngs T. C. J., Lewis W. J. *Agricul. Zool. Rev.*, 1992, **5**: 221~ 252.

18 Vet L. E. M., Dicke M. *Ann. Rev. Entomol.*, 1992, **37**: 141 ~ 172.

19 Vinson S. B. *Ann. Rev. Entomol.*, 1976, **21**: 109~ 133.

20 张峰,阚炜,张钟宁. 生态学报, 2001, **21**(6): 1 025~ 1 033.

21 白树雄,王振营,何康来. 中国生物防治, 2001, **17**(2): 85~ 91.