



杨帆, 王甦, 张君明, 等. 增殖植物和植物诱导抗性挥发物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的嗅觉行为影响及田间诱集作用 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (6): 1250–1257.

增殖植物和植物诱导抗性挥发物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的嗅觉行为影响及田间诱集作用

杨帆¹, 王甦², 张君明², 张帆², 谭晓玲³, 易图永^{1*}

(1. 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410128; 2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北方果树病虫害绿色防控北京市重点实验室, 北京 100097; 3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要: 利用增殖植物与植物诱导抗性物质诱集天敌昆虫, 实现对天敌昆虫种群的主动调控, 已经成为现代保护型生物防治的热点。本研究针对捕食性天敌东亚小花蝽和寄生性天敌浅黄恩蚜小蜂, 选择 7 种植物源诱集物质: 玉米花粉、油菜花粉、琉璃苣花、金盏菊花、无味母菊花、苜蓿花、猫薄荷叶片, 两种人工合成植物诱导抗性物质水杨酸甲酯和茉莉酸甲酯作为气味源, 分别在室内使用嗅觉仪检测以及在有机果园实际生产中使用天敌诱集装置, 分析比较各自对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的诱集作用。室内研究结果表明, 水杨酸甲酯与玉米花粉对东亚小花蝽雌成虫吸引力最高, 其次为茉莉酸甲酯。开花植物中, 金盏菊花的诱集作用最佳。浅黄恩蚜小蜂趋向于选择两种人工合成挥发物, 且对玉米花粉的选择高于其它植物源。有机苹果园内, 水杨酸甲酯和茉莉酸甲酯对东亚小花蝽的诱集作用十分显著。玉米花粉和金盏菊对东亚小花蝽诱集作用高于其它植物材料。浅黄恩蚜小蜂倾向选择水杨酸甲酯与茉莉酸甲酯, 而植物源材料间的吸引力无显著差异。本研究结果表明植物诱导抗性物质与增殖植物物质均可以有效诱集东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂, 可以作为一种有效的保护型生物防治技术加以应用。

关键词: 东亚小花蝽; 浅黄恩蚜小蜂; 植物诱导抗性挥发物; 增殖植物; 嗅觉仪

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2017) 06-1250-08

Olfactory influences and field attractions of enhancing plant and herbivore induced defense volatiles to predaceous flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) and parasitoid wasp *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae)

YANG Fan¹, WANG Su², ZHANG Jun-Ming², ZHANG Fan², TAN Xiao-Ling³, YI Tu-Yong^{1*}
(1. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Beijing Key Lab of Disease and Pests Green Protection of Orchards in North China, Institute of Plant & Environment Protection, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Utilization of enhancement plant and herbivore induced defense volatile (HIPV) for positively regulating the population dynamic of natural enemy has been confirmed as the hot spot of modern conservation biological control. Present study investigated the attractive influences of 7 botanic odor materials as pollen of maize and rape, flowers of borage, marigold pot, Tasteless chamomile and alfalfa,

基金项目: 北京市农林科学院青年基金项目 (QNJJ201410)

作者简介: 杨帆, 男, 1990 年生, 贵州都匀人, 硕士研究生, 研究方向为农业害虫防治研究, E-mail: yfwork@hotmail.com

*** 通讯作者** Author for correspondence, E-mail: yituyong@hunau.net

收稿日期 Received: 2017-02-15; **接受日期** Accepted: 2017-05-22

leave of catmint, and two artificial synthetic HIPVs methyl salicylate (MeSA) and Methyl jasmonate (MeJA) to predatory flower bug *Orius sauteri* and parasitoid *Encarsia sophia* in the lab by 10-arms olfactometer indoor and in the organic apple orchard by odor trapper. The results of indoor olfactory tests showed MeSA and maize pollen attracted most of *O. sauteri*, and followed by MeJA. The marigold pot is the most attractive botanic recourse here. *E. sophia* tended to select both MeSA and MeJA significantly, and preferred more to maize pollen than other botanic odors. We also observed the significantly highest attraction by MeSA and MeJA to wild *O. sauteri* in orchard investigation. Maize pollen and marigold pot showed lower attraction than these HIPVs, but both were higher than others. Similarly, *E. sophia* could be attracted more to MeSA and MeJA. The attraction from all the botanic odors did not show significantly different. Our research indicated that the utilization of enhancement plant and HIPV may help us positively regulate the migration and aggregation of *O. sauteri* or *E. sophia*, which may also benefit the practical conservation biological control as an efficient solution.

Key words: *Orius sauteri*; *Encarsia sophia*; herbivore induced defense volatile; enhancement plant; olfactometer

应用天敌昆虫对农林有害生物进行生物防治是现阶段环境友好型绿色植保技术体系的核心 (Rosenheim *et al.*, 1995)。人们通过人工大规模繁育技术生产天敌昆虫, 继而通过淹没式释放天敌昆虫来抑制害虫的发生发展, 降低农业损失。但是大量投入活体天敌昆虫不但成本较高, 过量残留的天敌昆虫会产生非靶标作用 (Non-target impact), 严重影响靶标农业生态系统内外的生物多样性水平和生态平衡 (Louda *et al.*, 2003)。自上世纪 90 年开始, 随着保护型生物防治 (Conservation Biological Control) 的不断发展, 研究者开始关注于如何利用各种增殖植物以及人工合成的挥发性化学物质, 实现主动吸引自然生境中的天敌昆虫进入靶标农业生态系统, 大幅减少天敌昆虫的净投入。同时在天敌控害作用完成后对天敌昆虫进行诱集回收, 以降低天敌昆虫产生的非靶标作用 (Barbosa and Benrey, 1998)。

增殖植物是指可以对天敌昆虫在种群迁移、定殖过程中产生辅助增效作用的非作物植物, 主要包括蜜源植物、营养补充植物以及诱集植物等 (Baggen *et al.*, 1999)。而植物诱导抗性物质是指植物在遭到植食性昆虫攻击、病原物入侵或物理因子破坏时, 通过自身的防御响应机制而合成的一类挥发性次生代谢产物。此类代谢产物可以主动趋避外来植食性昆虫并且吸引天敌昆虫, 从而降低其对植物自身的侵害 (Khan *et al.*, 2008)。随着化学生态学和昆虫化学行为学研究的发展, 目

前人们已经明确了多种植物诱导抗性物质, 如水杨酸甲酯 (MeSA) 和茉莉酸甲酯 (MeJA) 可以对诸多天敌昆虫产生主动诱集作用, 并且有些已经成功应用于天敌昆虫生物防治增效进程中 (James, 2003)。因此, 筛选和评价增殖植物以及植物诱导抗性物质对不同天敌昆虫的气味诱集调控作用, 对成功实现有害生物的保护型生物防治应用具有重要意义。

本研究选择 2 种重要天敌, 捕食性天敌东亚小花蝽 *Orius sauteri* (Poppus) 和寄生性天敌浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* Girault & Dodd 作为研究对象。东亚小花蝽隶属半翅目 Hemiptera, 花蝽科 Anthocoridae, 可以取食蔬菜及果园内的多种蚜虫、粉虱、叶螨和蓟马等多种农林害虫 (王方海和周伟儒, 1998)。浅黄恩蚜小蜂属膜翅目 Hymenoptera, 蚜小蜂科 Aphelinidae, 可以防治设施蔬菜、果园内及花卉植物上的多种同翅目粉虱科的害虫 (Luo and Liu, 2011)。本研究使用嗅觉仪在室内研究比较了不同增殖植物与人工合成的植物诱导抗性物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的诱集作用, 并在有机苹果园内完成上述物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂自然种群的实际诱集作用评价。通过本研究, 我们可以筛选出对上述两种天敌昆虫具有主动吸引调控作用的最佳功能物质或植物, 对进一步利用上述生态增效因子提升这两种天敌昆虫的生物防治应用功效奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

东亚小花蝽: 本研究所用东亚小花蝽在2015年5月–8月采自北京市昌平区流村镇王家园七星苹果合作社内。共采集成虫1210头(雄651头,雌559头)。本研究将所得东亚小花蝽成虫移至北京市农林科学院植物保护环境保护研究所天敌昆虫研究室的昆虫饲养室内定殖(以全自动环境控制系统控制室内环境条件为:温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,光照周期16 L:8 D,光照强度3000 lux,相对湿度 $70\% \pm 5\%$)。每日提供以芸豆苗饲养的朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) 为猎物对东亚小花蝽试验种群进行扩繁,在自制养虫笼(45.0 cm × 55.0 cm × 68.0 cm,铝合金及120目塑料纤维纱网制)内繁殖3代以上供试。

浅黄恩蚜小蜂: 本研究所用浅黄恩蚜小蜂由中国农业科学院植物保护所万方浩研究员提供。所得成蜂150对转移至北京市农林科学院植物保护环境保护研究所天敌昆虫研究室的昆虫饲养室内定殖(环境条件同上)。每50对浅黄恩蚜小蜂饲养于同上规格的养虫笼内。笼内提供2–3株带

有足量烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 卵或若虫的番茄苗作为扩繁寄主,同时提供适量蜂蜜水作为营养补充物质。室内连续饲养扩繁3代以上供试。

1.2 嗅觉仪的准备

使用一套定制的十臂气味嗅觉仪器(10-arm olfactometer,京仪,北京)评价了不同气味源对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的诱集作用。如图1所示,中心样本释放仓(Insect Releasing Chamber,直径45.0 cm,高1.5 cm)中心处开有一直径为3.0 cm的样本引入孔。样本释放仓通过胶皮管与10条玻璃气味臂相连。气流按照图示方向,相继通过4个舱室:包括蒸馏水过滤室,活性炭吸附室,诱集室(收集诱集到的天敌昆虫)和气味源室。中心样本释放仓与一抽气泵(阳光工业, Airpower 6-C,北京)相连,工作时提供气流流速为1200 mL/min(预备实验表明在此流速下天敌昆虫不受气流流速直接干扰)。为了避免环境对诱集效果评价的影响,本研究将整套气味嗅觉仪放置在一个白色塑料盒(120.0 cm × 120.0 cm × 80.0 cm)中。盒中设置四只照射强度分别为800 lux的冷光源以保证趋光性不影响试验结果。

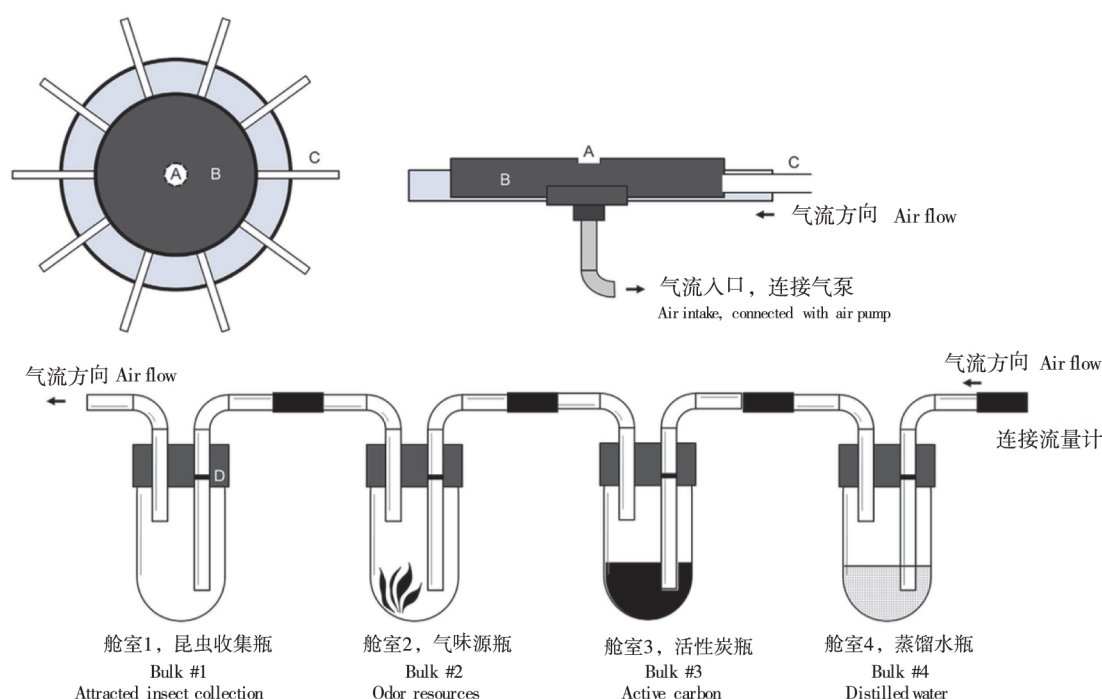


图1 10臂嗅觉仪装置结构示意图

Fig. 1 The structure and arrangement of 10-arms olfactometer

注: A, 进口; B, 中央释放室; C, 诱集臂。Note: A, Insect entrance; B, Central releasing chamber; C, Attractive odor arm.

预试验结果表明东亚小花蝽 ($X^2 = 8.38$, $P = 0.12$) 和浅黄恩蚜小蜂 ($X^2 = 11.38$, $P = 0.62$) 在未提供气味源的情况下对各臂的选择没有显著性差别。

1.3 气味源的准备

共选择 9 种气味源物质, 包括 7 种植物材料: 玉米 *Zea mays* L. 花粉 (15 g)、油菜 *Brassica campestris* L. 花粉 (15 g)、琉璃苣 *Borago officinalis* L. 花 (3 朵)、金盏菊 *Calendula officinalis* L. 花 (3 朵)、无味母菊 *Matricaria perforata* Merat 花 (3 朵)、紫花苜蓿 *Medicago sativa* L. 花 (3 朵)、猫薄荷 *Nepeta cataria* L. 叶片 (5 片); 以及两种人工合成植物诱导抗性物质水杨酸甲酯 (MeSA, 5 mL, 15% v/v, Symbol line chem. Finland) 和茉莉酸甲酯 (MeJA, 5 mL 15% v/v, Symbol line chem. Finland)。以上各气味源物质中, 花粉及花朵均采自新鲜植株。所得植物组织封存在密封塑胶袋中, 保存于 -10°C 冰箱备用。

1.4 嗅觉选择试验

将 65 头随机选择的东亚小花蝽雌成虫引入中心样本释放仓。同时, 将上述 9 种气味源物质按照对应规格随机放置在各臂远端的气味源室内。气味源放入前须保证气味源室清空超过 30 min。从东亚小花蝽和气味源放置完成起, 经 30 min 后记录各诱集臂上昆虫诱集室内诱集所得的天敌昆虫数量。另一臂未提供任何气味源物质可视为对照。重复 10 次。每次重复需将气味源物质取出, 并用蒸馏水清洗全部诱集臂通道和舱室。每次重复内采用不同的东亚小花蝽成虫, 并随机在不同诱集臂内布设气味源有机物质。

另随机取初羽化的浅黄恩蚜小蜂成虫 65 头, 引入中心样本释放仓, 重复前述步骤, 统计在 30 min 内各诱集臂上昆虫诱集室内诱集所得的天敌昆虫数量。同样设置一臂不提供任何气味源物质可视为对照。重复 10 次, 每相近两次重复间需用蒸馏水清洗整个设备内壁一次。

1.5 不同气味源物质在有机苹果园中的有机增效应用评价

采用本研究团队设计制作的的天敌诱集装置 (Wang *et al.*, 2009), 结合上述气味源物质, 在有机苹果园内评价这些物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂自然种群的诱集作用。本研究于 2015 年 8 月间, 在北京市昌平区王家园村七星苹果合作社内, 随机选取不同采样点挂设天敌诱集装置。每

种气味物质诱集装置布设 5 处, 另有 5 处天敌有机装置填充有湿润的脱脂棉作为对照。所有有机装置均架设在离地面 0.5 m 的高度, 任意相邻的有机装置间距不小于 15 m。24 h 后记录各诱集装置内诱集到的东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的成虫数量。本研究于当年 8 月间每周重复 1 次。

1.6 数据统计

利用线性对数模型分析方法 (GLMM), 以不同气味源物质和空白对照作为独立变量对室内东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂嗅觉评价以及室外诱集评价结果进行统计分析 (Turling and Wäckers, 2004; Tamò *et al.*, 2006)。利用 Duncan 检验室内外研究中不同处理间的组间差异进行两两比较 ($P = 0.05$)。统计分析借助统计分析软件 Rcode (3.02) 完成。

2 结果与分析

2.1 东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂对不同气味源物质的嗅觉选择

室内嗅觉仪检测分析结果如图 2 所示。结果表明, 不同气味源对东亚小花蝽雌成虫均有显著的诱集作用 ($F = 17.63$, $P < 0.01$)。其中水杨酸甲酯 (11.5 ± 0.9 头) 与玉米花粉 (9.6 ± 1.1 头) 所诱集到的虫量最高, 其次为茉莉酸甲酯 (8.2 ± 0.8 头) 和金盏菊花 (8.0 ± 0.6 头), 且显著大于其它处理。开花植物中, 金盏菊花的诱集作用最佳, 其次为苜蓿花 (6.6 ± 0.6 头)。其它各种开花植物 (油菜花粉: 4.2 ± 0.5 头; 琉璃苣花: 5.6 ± 0.4 头; 无味母菊花: 4.3 ± 0.3 头; 猫薄荷叶片: 4.0 ± 0.4 头) 作用一致, 仅显著高于空白对照 (2.2 ± 0.2 头)。

不同气味源物质对浅黄恩蚜小蜂的室内嗅觉仪检测分析结果如图 3 所示。结果表明, 不同气味源对浅黄恩蚜小蜂成虫均有显著的诱集作用 ($F = 23.22$, $P < 0.01$)。植物诱导抗性物质水杨酸甲酯 (15.2 ± 1.8 头) 和茉莉酸甲酯 (15.3 ± 1.7 头) 对浅黄恩蚜小蜂的吸引力最高, 且显著大于其它处理。在各植物材料中, 玉米淀粉 (7.5 ± 0.4 头) 的诱集量最高且显著大于其它植物。除猫薄荷叶片外 (2.2 ± 0.4 头), 剩余各植物 (油菜花粉: 5.2 ± 0.5 头; 琉璃苣花: 4.4 ± 0.4 头; 金盏菊花: 4.6 ± 0.3 头; 无味母菊: 5.3 ± 0.5 头; 苜蓿花: 4.2 ± 0.2 头) 处理间对浅黄恩蚜小蜂的诱集量无显著差异, 但均显著高于空白对照 (1.7 ± 0.1 头)。

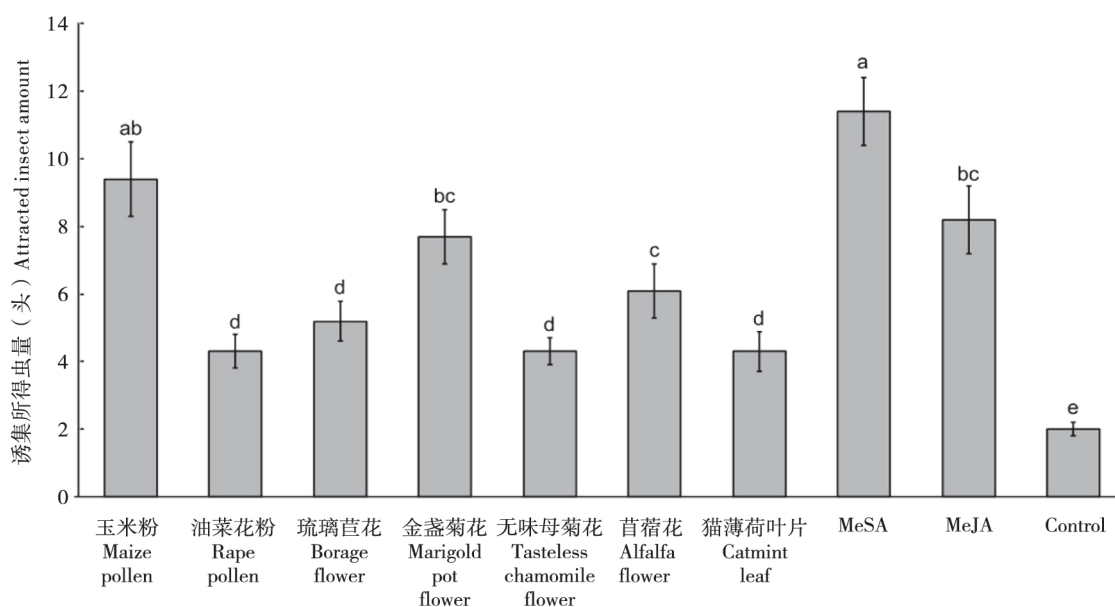


图2 东亚小花蝽对不同气味源物质的嗅觉响应

Fig. 2 The olfactory responses of *Orius sauteri* to various odor resources

注: 不同柱顶端不同字母表示经 Duncan 法检测组间存在显著差异 ($P < 0.05$), 下同。Note: The different letters on the top of each column indicate the significant differences among treatments by Duncan Test at $P = 0.05$. The same below.

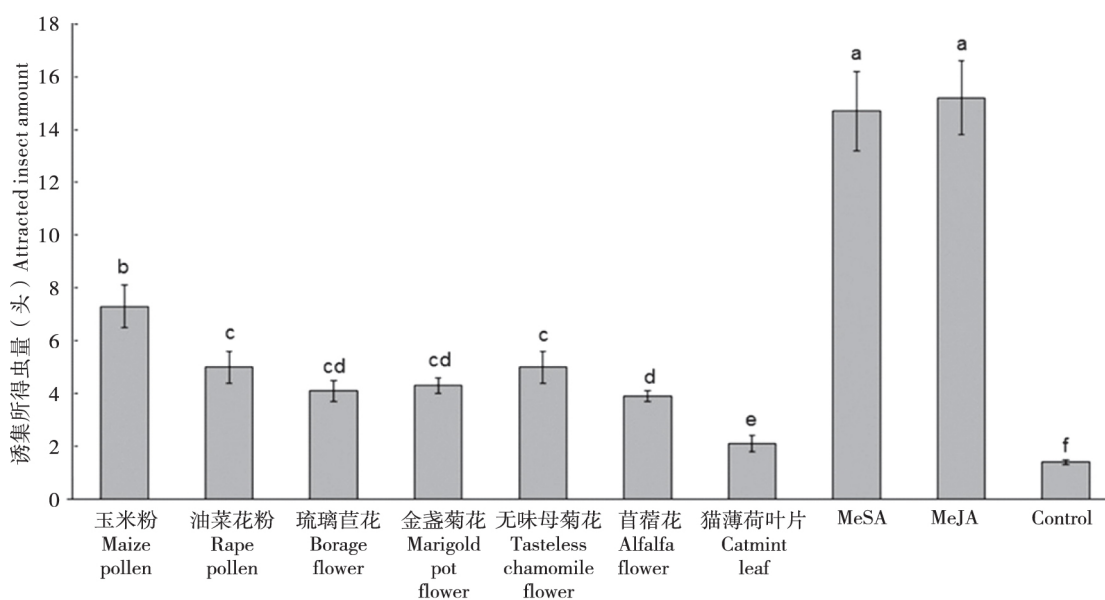


图3 浅黄恩蚜小蜂对不同气味源物质的嗅觉响应

Fig. 3 The olfactory responses of *Encarsia sophia* to various odor resources

2.2 有机苹果园内有机物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的吸引作用

有机苹果园内不同诱集物质对东亚小花蝽的诱集作用研究结果如图4所示。与室内嗅觉评价试验结果相似,不同气味源物质对于东亚小花蝽成虫的诱集作用存在显著差异,且显著高于空白对照 ($F = 36.89$, $P < 0.01$)。各诱集物质中,人工合成的植物诱导抗性物质水杨酸甲酯 ($37.3 \pm$

2.3 头) 对东亚小花蝽的诱集作用最高,其次为茉莉酸甲酯 (28.4 ± 2.1 头)。植物材料中,玉米花粉 (21.1 ± 1.3 头) 为最高,显著大于金盏菊 (16.4 ± 0.8 头) 和苜蓿花 (8.1 ± 0.8 头)。其它各植物材料 (油菜花粉: 6.1 ± 0.5 头; 琉璃苣花: 5.2 ± 0.6 头; 无味母菊: 5.0 ± 0.5 头; 猫薄荷叶片: 5.0 ± 0.7 头) 间对东亚小花蝽的诱集作用无显著差异。

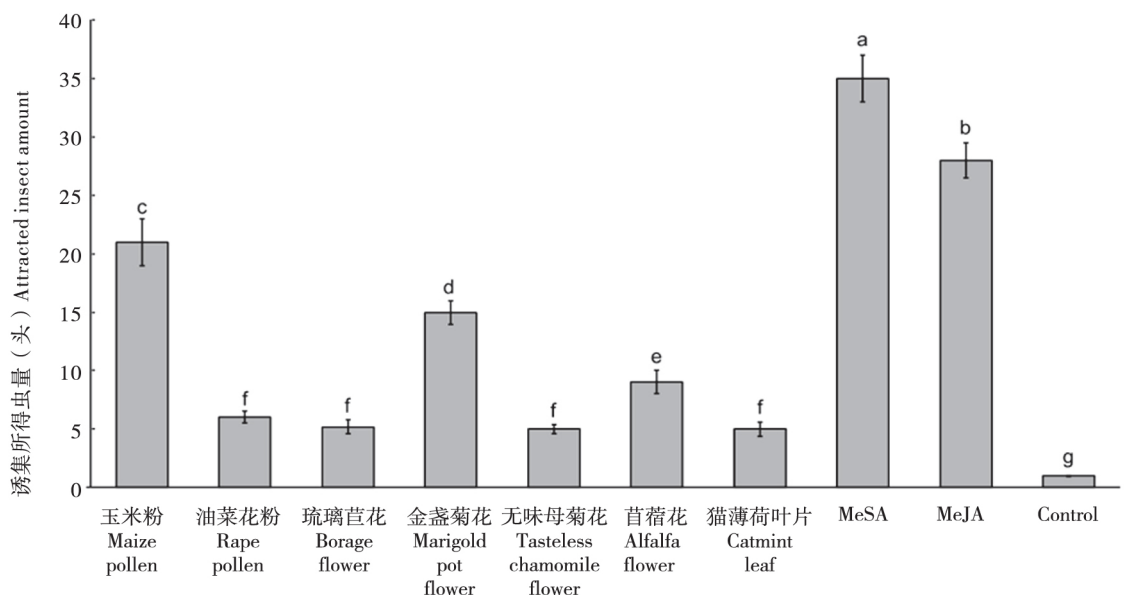


图 4 不同气味源物质在有机苹果园内对东亚小花蝽的诱集作用

Fig. 4 The attraction of different odor resources to *Orius sauteri* in the organic apple orchard

有机苹果园内不同诱集物质对浅黄恩蚜小蜂的诱集作用研究结果如图 5 所示。同样地, 不同气味源物质对于浅黄恩蚜小蜂成虫的诱集作用仍然存在显著差异, 均高于空白对照 ($F = 36.89$, $P < 0.01$)。与对东亚小花蝽的诱集作用一致, 人工合成的植物诱导抗性物质水杨酸甲酯 (36.8 ± 4.1 头) 和茉莉酸甲酯 (33.7 ± 3.5 头) 对浅黄恩蚜小蜂的诱集作用无显著差异且高于其它处理。其它植物物质中除猫薄荷叶片 (13.6 ± 2.0 头) 对浅黄恩蚜小蜂的诱集作用较低外, 其余各处理间

(玉米花粉: 23.2 ± 4.1 头; 油菜花粉: 21.0 ± 2.9 头; 琉璃苣花: 24.9 ± 2.1 头; 金盏菊花: 22.0 ± 2.3 头; 无味母菊花: 19.9 ± 2.4 头; 苜蓿花: 22.9 ± 2.1 头) 未见显著差异。

3 结论与讨论

本研究针对重要的捕食性天敌东亚小花蝽, 在室内通过多臂嗅觉仪比较分析了植物材料和植物诱导抗性物质对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂的

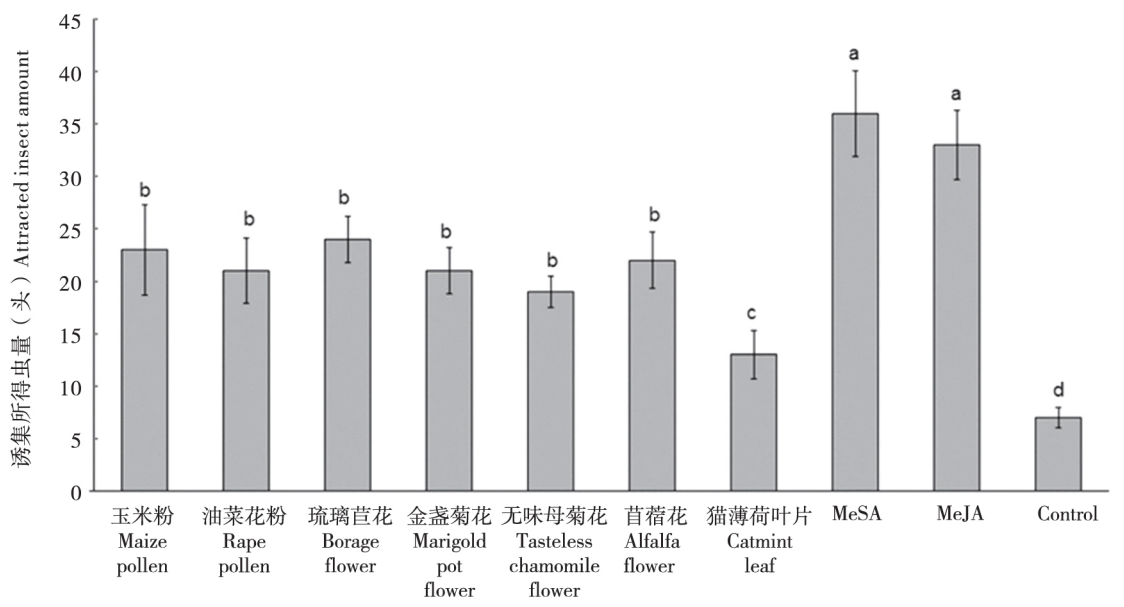


图 5 不同气味源物质在有机苹果园内对浅黄恩蚜小蜂的诱集作用

Fig. 5 The attraction of different odor resources to *Encarsia sophia* in the organic apple orchard

嗅觉吸引作用。此外,在有机果园实际比较了这些诱集物质对这两种重要天敌的田间诱集作用。

本研究结果不但帮助我们明确了东亚小花蝽与不同增殖植物和植物诱导抗性物质之间的化学生态作用关系,并且为进一步推动合理应用增殖植物和功能气味源物质主动调节天敌昆虫种群聚集度和种群迁移动态奠定了基础。

人工合成诱导抗性物质作为一类可以直接吸引天敌昆虫聚集、从而提升天敌潜在控害效能的功能挥发物质,是保护型生物防治应用技术研究的热点 (Simpson *et al.*, 2011)。本研究结果表明,人工合成植物诱导抗性物质水杨酸甲酯与茉莉酸甲酯对东亚小花蝽和浅黄恩蚜小蜂有很强的诱集作用。水杨酸甲酯和茉莉酸甲酯作为植物诱导抗性通路的主要代谢产物,可以在抑制植食性昆虫直接取食的同时吸引天敌昆虫辅助植物进行防御,形成共轭型的三级营养关系 (Pickett *et al.*, 1997)。通过外源施加此类人工合成植物诱导抗性物质,可主动提升植物自身的抗性代谢水平,提升植物自身对植食性昆虫的抵抗能力 (Paré and Tumlinson, 1999)。近年来,人们开始通过在田间布设水杨酸甲酯等主动提升生态系统内的天敌昆虫多样性水平和种群密度来提升农业生态系统对害虫的抵抗力。通过在害虫爆发前期释放水杨酸甲酯,可以帮助天敌昆虫提早进入靶标农业生态系统构建定殖种群,从而抑制害虫种群的初期爆发,大幅降低主动释放大量天敌昆虫的成本投入 (Simpson *et al.*, 2011)。本研究中,水杨酸甲酯和茉莉酸甲酯在有机果园实际中表现出显著的诱集效果。这种技术可以直接帮助我们高效利用自然生境中的天敌昆虫资源,并且在天敌大规模投入后起到再回收的作用,从而提升天敌昆虫的净利用率。

与人工合成植物诱导抗性挥发物质作用类似,增殖植物在本研究中同样显示出了显著的诱集效果。增殖植物作为生态系统的有机组成,对食物网结构组成的干扰较为缓和,而且对天敌昆虫种群具有可持续的支持作用 (Gurr *et al.*, 2016)。本研究中,玉米花粉作为一种重要的植物增效物质在室内和果园中均显示出对东亚小花蝽较强的诱集能力。这与我们前期针对玉米花粉诱集捕食性瓢虫等的研究结果类似 (Wang *et al.*, 2009)。因此,本研究表明玉米花粉作为重要的天敌营养补充物质,对于捕食性天敌的诱集作用很强,非常

适合在田间作为天敌昆虫种群迁移定殖的辅助作用物质。此外,开花植物作为重要的天敌增殖辅助植物,对天敌昆虫的初期定殖成功率和逆境可持续生存有着重要的辅助 (Gurr *et al.*, 2016)。但是在本研究中,除金盏菊以外的各种开花植物对于东亚小花蝽的诱集作用均较低。特别是在有机果园实际应用中,各开花植物的诱集作用均低于室内嗅觉试验。这可能是因为植物自身的香气挥发作用会受到环境因子的严重制约 (Sagae *et al.*, 2008)。实际生产中,开放的农业生态系统内温度升高与空气扰动增强均会干扰开花植物挥发性物质的持续浓度 (Sustained concentration),从而减少对各类昆虫的吸引作用 (Seymour *et al.*, 2003)。同时,本研究中选择猎物昆虫口密度相对较高的季节进行研究,捕食性天敌在营养补充方面的需求较低,因此可能造成东亚小花蝽对开花植物气味的低选择性。因此对于增殖植物诱集管理捕食性天敌的应用还要注意与应用季节相配合,从而发挥更好的调控作用。

相较于捕食性天敌,寄生蜂对于气味更为敏感。寄生蜂主要通过自身化学感受器对不同化学信号源的感知来选择定殖生境以及定位寄主猎物 (Rains *et al.*, 2006)。植物诱导抗性物质是一类重要的寄生蜂寄主定位化学信号物质,也是植物与节肢动物群落协同进化产生的一种紧密的生态伴随关系产物 (Kessler and Baldwin, 2001)。寄生蜂一方面可以通过直接感知寄主昆虫所散发出的特殊气味来搜寻寄主,另一方面通过感知植物产生的挥发性防御次生代谢物质来定位寄主可能存在的区域,从而提高猎物搜索效率 (Dicke and Baldwin, 2010)。与诸多研究结果相似,本研究中嗅觉仪研究结果表明浅黄恩蚜小蜂作为一种寄生性天敌,对人工合成挥发性植物诱导抗性物质水杨酸甲酯与茉莉酸甲酯的趋向性远大于植物组织 (van Pecke *et al.*, 2001)。尽管这些化合物具有很强的挥发性,在自然生境中持续作用的时间有限,但是在本研究中依然发现在一个月的时间内水杨酸甲酯与茉莉酸甲酯依然可以有效的收集浅黄恩蚜小蜂。目前,人们已经开始尝试在农业害虫防治进程中应用植物诱导抗性挥发物质 (Pichersky and Gershenzon, 2002)。作为直接释放天敌昆虫的合理补充,这些人工合成的挥发物质可以有效的回收寄生蜂,特别是利用寄主扩繁后的子代寄生蜂。而通过收集与助迁保护可以提高寄生性天敌

的可持续利用。本研究中不同植物组织对于浅黄恩蚜小蜂的诱集作用差异不大,但是也高于空白对照。如前所述,增殖植物在保护型生物防治中主要扮演营养补充因子和生态补偿因子的角色。Jonsson 等(2008)分析比较了将水杨酸甲酯与三种开花植物联合应用时农田内的生物多样性丰度变化情况。研究表明尽管增殖植物不能显著提升某一两种寄生蜂的种群密度,但是可以显著延长寄生蜂的生物多样性以及活跃的周期。结合本研究的结果可以发现,增殖植物对于寄生蜂的诱集作用在短时间内的平均强度较低。但是寄生蜂在生长发育与繁殖期均需要大量的营养补充,因此这些增殖植物所提供的蜜源营养等对于寄生蜂的支撑增效作用是单纯使用人工合成诱集物质所不能替代的。

混合利用植物诱导抗性物质与增殖植物,形成“诱集与增效”组合,是目前保护型生物防治技术体系中的热点问题(Jonsson *et al.*, 2008)。本研究结果同样显示出植食性植物与植物诱导抗性物质结合使用的必要性。因此,进一步综合使用人工合成诱导抗性挥发物质与增殖植物,结合两者在种群调控与定殖辅助方面的作用,将可以更好地发挥出各自在天敌增效调控方面的优势,实现天敌昆虫对害虫的可持续控害。

参考文献 (References)

- Baggen LR, Gurr GM, Meats A. Flowers in tri-trophic systems: Mechanisms allowing selective exploitation by insect natural enemies for conservation biological control [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1999, 91: 155–161.
- Barbosa P, Benrey B. The influence of plants on insect parasitoids: Implications for conservation biological control [J]. *Conservation Biological Control*, 1998, 7: 55–82.
- Dicke M, Baldwin IT. The evolutionary context for herbivore – induced plant volatiles: Beyond the ‘cry for help’ [J]. *Trends in Plant Science*, 2010, 15 (3): 167–175.
- Gurr GM, Lv ZX, Zheng XS, *et al.* Multi – country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture [J]. *Nature Plants*, 2016, 2: 16014.
- James DG. Field evaluation of herbivore – induced plant volatiles as attractants for beneficial insects: Methyl salicylate and the green lacewing, *Chrysopa nigricornis* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29: 1601–1609.
- Jonsson M, Wratten SD, Landis DA, *et al.* Recent advances in conservation biological Control of arthropods by arthropods [J]. *Biological control*, 2008, 45: 172–175.
- Kessler A, Baldwin IT. Defensive function of herbivore – induced plant volatile emissions in nature [J]. *Science*, 2001, 291 (5511): 2141–2144.
- Khan ZR, James DG, Midega CA, *et al.* Chemical ecology and conservation biological control [J]. *Biological Control*, 2008, 45: 210–224.
- Louda SM, Pemberton RW, Johnson MT, *et al.* Nontarget effects—the Achilles’ heel of biological control? Retrospective analyses to reduce risk associated with biocontrol introductions [J]. *Annual Review of Entomology*, 2003, 48: 365–396.
- Luo C, Liu TX. Fitness of *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitizing *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Insect Science*, 2011, 18: 84–91.
- Paré PW, Tumlinson JH. Plant volatiles as a defense against insect herbivores [J]. *Plant Physiology*, 1999, 121 (2): 325–332.
- Pichersky E, Gershenzon J. The formation and function of plant volatiles: Perfumes for pollinator attraction and defense [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2002, 5: 237–243.
- Pickett JA, Wadhams LJ, Woodcock CM. Developing sustainable pest control from chemical ecology [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, 64 (2): 149–156.
- Rains GC, Utlley SL, Lewis WJ. Behavioral monitoring of trained insects for chemical detection [J]. *Biotechnology Progress*, 2006, 22: 2–8.
- Rosenheim JA, Kaya HK, Ehler LE, *et al.* Intraguild predation among biological – control agents: Theory and evidence [J]. *Biological Control*, 1995, 5 (3): 303–335.
- Sagae M, Oyama – Okubo N, Marchesi E, *et al.* Effect of temperature on the floral scent emission and endogenous volatile profile of *Petunia axillaris* [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2008, 72 (1): 110–115.
- Seymour RS, White CR, Gibernau M. Environmental biology: Heat reward for insect pollinators [J]. *Nature*, 2003, 426 (6964): 243–244.
- Simpson M, Gurr GM, Simmons AT, *et al.* Attract and reward: Combining chemical ecology and habitat manipulation to enhance biological control in field crops [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48 (3): 580–590.
- Tamò C, Ricard I, Held M, *et al.* A comparison of naive and conditioned responses of three generalist endoparasitoids of lepidopteran larvae to host-induced plant odours [J]. *Animal Biology*, 2006, 56 (2): 205–220.
- Turlings TC, Wäckers F. Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plants [J]. *Advances in Insect Chemical Ecology*, 2004, 2: 21–75.
- van Poecke RMP, Posthumus MA, Dicke M. Herbivore-induced volatile production by *Arabidopsis thaliana* leads to attraction of the parasitoid *Cotesia rubecula*: Chemical, behavioral, and gene-expression analysis [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27: 1911–1928.
- Wang FH, Zhou WR. Biology and artificial rearing of *Orius sauteri* [J]. *Natural Enemy*, 1998, 20: 42–44. 王方海, 周伟儒. 东亚小花蝽的生物学及其人工繁殖 [J]. *昆虫天敌*, 1998, 20: 42–44.