

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.04.023

2种早竹造瘿害虫植物源诱控技术

耿显胜^{1*}, 舒金平¹, 张威¹, 石坚²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 浙江省德清县森林病虫害防治检疫站, 浙江 德清 313200)

摘要: [目的] 筛选刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂植物源引诱剂, 优化影响诱捕效果的因素, 为2种早竹造瘿害虫植物源诱控技术的应用提供技术支撑。[方法] 采用林间生物测定法比较7种候选引诱剂的引诱效果, 比较3种悬挂高度和5种诱捕器类型对诱捕效果的影响, 并监测刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂林间的种群动态。[结果] 水杨酸甲酯原液、顺-3-己烯-1-醇原液和反-2-己烯醛1000倍液作为引诱剂的诱捕器诱捕刚竹泰广肩小蜂数量分别为 154.40 ± 129.04 、 35.20 ± 35.75 、 24.00 ± 20.30 头, 显著高于对照组诱捕器的诱虫量 ($P < 0.05$)。反-2-己烯醛1000倍液、顺-3-己烯-1-醇10000倍液 and β -紫罗兰酮1000倍液作为引诱剂的诱捕器诱捕竹泰广肩小蜂数量分别为 29.50 ± 28.43 、 25.67 ± 16.26 、 20.25 ± 3.95 头, 显著高于对照组诱捕器的诱虫量 ($P < 0.05$)。冠层的上层和中层诱捕造瘿害虫的数量显著多于冠层的下层 ($P < 0.05$), 而冠层的上层和中层诱捕造瘿害虫的数量差异不显著 ($P > 0.05$)。不同类型诱捕器诱捕造瘿害虫的数量差异显著 ($P < 0.05$), 小船型诱捕器的诱虫量显著多于三角形诱捕器的诱虫量 ($P < 0.05$), 而三角形诱捕器的诱虫量显著多于桶型诱捕器 ($P < 0.05$)、实蝇诱捕器 ($P < 0.05$) 和夜蛾诱捕器的诱虫量 ($P < 0.05$)。[结论] 4月下旬到5月上旬, 使用水杨酸甲酯与顺-3-己烯-1-醇30:1比例的混合物作为引诱剂, 在早竹冠层的中层或上层悬挂小船型诱捕器, 能够诱捕到更多的刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂。

关键词: 造瘿害虫; 早竹; 挥发物; 引诱剂; 诱捕器

中图分类号: S763.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)04-0184-07

化学农药的大量使用, 在杀死害虫的同时也杀死了天敌昆虫等非靶标生物, 且环境中残留的农药威胁人类健康, 造成害虫抗药性 (resistance)、再增猖獗 (resurgence) 和农药残留 (residue) 的“3R”问题。害虫植物源诱控技术利用靶标害虫特别敏感或偏好的挥发物组合诱杀靶标害虫, 不仅能避免化学农药的大量使用, 缓解“3R”问题, 且防治效果好, 使用简单, 节约成本^[1-3]。植物源诱控技术已在橘小实蝇 (*Bactrocera dorsalis* (Hendel))^[1,4]、柑橘大实蝇 (*Bactrocera minax* (Enderlein))^[1]、棉铃虫 (*Helicoverpa armigera* (Hübner))^[5]、苹果蠹蛾 (*Cydia pomonella* (L.))^[6]、红脂大小蠹 (*Dendroctonus valens* LeConte)^[7]、松墨天牛 (*Mono-*

chamus alternatus Hope)^[8]等害虫规模化防治中推广应用, 产生了显著的经济效益和生态效益。

造瘿害虫是早竹 (*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao) 林的重要害虫, 在浙江德清县早竹林严重发病林地危害率高达70%^[9], 且近年来其危害呈上升的趋势。通过对虫瘿昆虫的饲养和物种鉴定, 明确了早竹造瘿害虫有竹瘿广肩小蜂 (*Aiolomorpha rhopaloides* Walker)、刚竹泰广肩小蜂 (*Tetramesa phyllostrachitis* Gahan)、竹泰广肩小蜂 (*Tetramesa bambusae* Philips) 等^[9-10], 而竹泰广肩小蜂和刚竹泰广肩小蜂数量最多, 是主要的早竹造瘿害虫。刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂的卵、幼虫、蛹和初羽化成虫均生活于封闭虫瘿的内

收稿日期: 2019-09-02 修回日期: 2020-03-18

基金项目: 浙江省科技计划项目公益技术应用研究类 (2017C32055)

* 通讯作者: 耿显胜. E-mail: gxsh2001@163.com

部, 隐蔽危害, 防治困难。每年4—5月份, 刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂的成虫羽化出孔^[9], 并在其短暂的成虫期完成交配、产卵和寄主选择行为。羽化出孔的成虫脱离虫瘿的保护, 是其生活史上最薄弱的时期, 在此阶段防控更易获得成功。同时, 造瘿害虫的寄主选择行为主要由寄主挥发物来调控, 故发展植物源诱控技术, 在造瘿害虫成虫羽化出孔后诱杀, 可望解决造瘿害虫难以防治的问题。

研究表明, 挥发物为基础的诱控技术诱捕效果受到挥发物配方和剂量、挥发物释放速率、诱捕器类型、诱捕器悬挂高度等因素的影响^[11-13], 只有充分优化整合这些影响因素, 才能最大限度提高害虫诱控效果。本研究使用6种早竹挥发物标准品和早竹提取物制备诱芯, 通过林间生物测定法筛选对早竹造瘿害虫有引诱效果的挥发物配方; 设置不同类型的诱捕器和不同的悬挂高度, 比较诱捕器的类型和悬挂高度对诱捕效果的影响; 通过监测林间造瘿害虫的种群动态, 确定刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂的林间活动规律。研究结果为早竹造瘿害虫植物源诱控技术研发应用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 化学试剂和诱捕器

水杨酸甲酯 (CAS号 119-36-8)、 β -紫罗兰酮 (CAS号 14901-07-6)、顺-3-己烯-1-醇 (CAS号 928-96-1)、反-2-己烯醛 (CAS号 6728-26-3)、(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇 (CAS号 150-86-7) 和反-2-己烯醇 (CAS号 928-95-0) 购于 Sigma-Aldrich 公司。琼脂糖 (CAS号 9012-36-6) 购于 Genview 公司。石油醚 (CAS号 8032-32-4) 购于国药集团化学试剂有限公司。三角形诱捕器、小船型诱捕器、桶型诱捕器、夜蛾诱捕器 (不含诱芯)、实蝇诱捕器 (不含诱芯) 和全型空白诱芯购于北京中捷四方生物科技股份有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 早竹小枝挥发物的提取和成分分析 在浙江德清县山民村早竹造瘿害虫生态调控示范林采集无病虫害的早竹小枝, 带回实验室, 自来水洗净后放入瓷盘中, 并将瓷盘置于鼓风干燥箱内, 80℃下烘干, 使用万能研磨仪 (天津泰斯特有限公司) 研磨成粉末。

称取早竹粉末 100 g, 并按液料比 8:1 的比例加入纯净水, 采用水蒸气蒸馏法提取早竹挥发物的蒸馏液, 蒸馏液按 1:1 的比例加入石油醚萃取, 获取早竹小枝挥发物, 并保存于-20℃冰箱中备用。采用气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术检测挥发物的化学成分, 检测时使用的色谱条件和质谱条件同文献 [14]。GC-MS 获得的质谱数据使用标准质谱图库 NIST 08 检索, 并结合质谱图中的分子离子峰和碎片离子峰定性分析挥发物的化学成分。

1.2.2 不同植物源引诱剂引诱效果监测 将购买的顺-3-己烯-1-醇、反-2-己烯醛、(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇、反-2-己烯醇、水杨酸甲酯和早竹提取物使用石油醚稀释成 0、1 000、10 000 倍 3 个浓度梯度; β -紫罗兰酮使用石油醚稀释成 1 000、10 000、100 000 倍 3 个浓度梯度。稀释液使用移液器取 130 μ L 加入到全型空白诱芯内, 待其挥发完后再重复添加 1 次。将诱芯用细铁丝固定在三角形诱捕器上, 完成诱捕器的制作。试验以添加石油醚的全型空白诱芯作为对照, 每种诱芯设置 5 个重复。

在生态调控示范林冠层的下层悬挂诱捕器诱捕早竹造瘿害虫。试验于 2018 年 4 月 2 日开始, 至 2018 年 5 月 14 日结束, 期间于 4 月 23 日更换诱芯和粘虫板 1 次。4 月 23 日和 5 月 14 日统计粘虫板上早竹造瘿害虫的数量, 相同编号诱捕器 2 次统计结果合并, 为该诱捕器的诱虫量。

1.2.3 诱捕器不同悬挂高度诱捕效果监测 参考滕小慧等^[15]的方法制作诱芯。使用微波炉制备 2% 的琼脂糖凝胶 400 mL, 将凝胶置于 90℃ 的水浴锅内保温, 使胶液的温度保持在 90℃。将水杨酸甲酯和顺-3-己烯-1-醇按 30:1 的比例混合, 取 44.44 mL 混合液缓慢加入到保温的凝胶中, 边加入边搅拌。加入完成后, 再剧烈搅拌 10 min。将混合均匀的凝胶倒入 50 mL 的离心管内, 每管 25 mL, 待凝胶完全凝固后盖上离心管盖, 于 4℃ 冰箱暂存。诱芯在使用前用电烙铁在离心管管壁和盖子上打 5 个直径为 5 mm 的小孔, 并用细铁丝将其固定在三角形诱捕器上, 完成诱捕器制作。

在生态调控示范林同株早竹冠层的上层、中层和下层分别悬挂 1 个诱捕器, 共设置 4 个重复。试验于 2019 年 4 月 10 日开始, 至 2019 年 6 月 11 日结束, 期间于 4 月 30 日更换诱芯和粘虫板 1 次。

4月30日和6月11日统计粘虫板上早竹造瘿害虫的数量,相同编号诱捕器2次统计结果合并,为该诱捕器的诱虫量。

1.2.4 不同类型诱捕器诱捕效果监测 在2 mL的离心管内放入一个全型空白诱芯,将1 mL水杨酸甲酯和顺-3-己烯-1-醇的混合物(30:1)添加到离心管内,完成诱芯的制作。将诱芯用细铁丝固定在三角形诱捕器、小船型诱捕器、桶型诱捕器、夜蛾诱捕器(不含诱芯)和实蝇诱捕器(不含诱芯)上,完成诱捕器的制作。

在生态调控示范林选取6个区组悬挂诱捕器,每个区组于早竹冠层的下层悬挂5种类型诱捕器各1个。试验于2019年4月10日开始,至2019年6月11日结束,期间于4月30日更换诱芯和粘虫板1次。4月30日和6月11日统计粘虫板上早竹造瘿害虫的数量,相同编号诱捕器2次统计结果合并,为该诱捕器的诱虫量。

1.2.5 早竹林造瘿害虫种群时序动态监测 诱芯的制作方法同1.2.3节,但将盛放凝胶的载体改成直径6 cm的培养皿底,并将培养皿底粘在粘虫板的中心,完成诱捕器的制作。在试验早竹林冠层的下层悬挂5个诱捕器。试验于2019年3月17日开始,每周更换诱芯和粘虫板2次,更换的粘虫板统计其粘附的造瘿害虫数量,试验至6月11日结束。

1.2.6 数据处理 使用Excel 2010和SPSS 23.0软件处理获得的数据。按照沈佐锐^[16]的方法对原始数据进行对数变换,并进行方差分析和差异显著性检验。若变换后的数据依然方差不整齐,则对数据进行非参数检验。

2 结果与分析

2.1 不同植物源引诱剂引诱效果监测

本研究分析、鉴定出顺-3-己烯-1-醇、反-2-己烯醛、(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇、反-2-己烯醇、 β -紫罗兰酮、水杨酸甲酯等早竹挥发物。购买上述6种挥发物标准品,用于早竹造瘿害虫的林间诱捕试验。非参数检验发现,不同引诱剂对刚竹泰广肩小蜂引诱效果差异显著($\chi^2=34.97$; $P=0.028<0.05$)。除了早竹提取物原液、早竹提取物10 000倍液、反-2-己烯醛原液、反-2-己烯醛10 000倍液、 β -紫罗兰酮1 000倍液、 β -紫罗兰酮100 000倍液和(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-

醇1 000倍液这7组引诱剂诱捕的刚竹泰广肩小蜂数量与对照组间的差异不显著外($P>0.05$),其它14组引诱剂诱捕的刚竹泰广肩小蜂数量均显著高于对照组($P<0.05$)。水杨酸甲酯原液、顺-3-己烯-1-醇原液和反-2-己烯醛1 000倍液作为引诱剂的诱捕器诱捕刚竹泰广肩小蜂数量最多(图1),分别为 154.40 ± 129.04 、 35.20 ± 35.75 、 24.00 ± 20.30 头,远高于对照诱捕器的诱虫量(3.75 ± 1.71 头)。

非参数检验发现,不同引诱剂对竹泰广肩小蜂的引诱效果差异显著($\chi^2=39.62$; $P=0.008<0.05$)。反-2-己烯醛原液和1 000倍液、顺-3-己烯-1-醇10 000倍液、 β -紫罗兰酮1 000倍液和100 000倍液、水杨酸甲酯10 000倍液、早竹提取物1 000倍液和反-2-己烯醇1 000倍液8组引诱剂诱捕器诱捕的竹泰广肩小蜂数量显著高于对照组($P<0.05$)。其中反-2-己烯醛1 000倍液、顺-3-己烯-1-醇10 000倍液和 β -紫罗兰酮1 000倍液作为引诱剂的诱捕器诱捕竹泰广肩小蜂数量最多(图1),分别为 29.50 ± 28.43 、 25.67 ± 16.26 和 20.25 ± 3.95 头,高于对照诱捕器的诱虫量(8.00 ± 2.16 头)。

2.2 诱捕器不同悬挂高度诱捕效果监测

生态调控示范林内于早竹冠层的上层、中层和下层分别悬挂诱捕器,比较诱捕器的不同悬挂高度对2种早竹造瘿害虫诱捕效果的影响。研究发现,冠层的上层诱捕的造瘿害虫数量多于冠层的中层,而冠层的中层诱捕的造瘿害虫数量多于冠层的下层(图2)。方差分析表明,诱捕器悬挂于不同高度时,诱捕的造瘿害虫数量间存在显著差异($F=7.675$, $P=0.022<0.05$),冠层的上层和中层诱捕的造瘿害虫数量显著多于冠层的下层($P<0.05$),而冠层的上层和中层诱捕的造瘿害虫数量间差异不显著($P>0.05$)。

2.3 不同类型诱捕器对2种早竹造瘿害虫的诱捕效果

采用5种不同类型的诱捕器在生态调控示范林6个区组进行诱捕试验,发现小船型诱捕器和三角形诱捕器诱捕到更多的造瘿害虫,而桶型诱捕器、实蝇诱捕器和夜蛾诱捕器诱捕的造瘿害虫数量少(图3)。随机区组方差分析表明,不同类型诱捕器诱捕的造瘿害虫数量间差异显著($F=20.042$, $P=0.000<0.05$);而区组间的差异不显著($F=0.794$, $P=0.566>0.05$)。统计分析还发现,小船型诱捕器

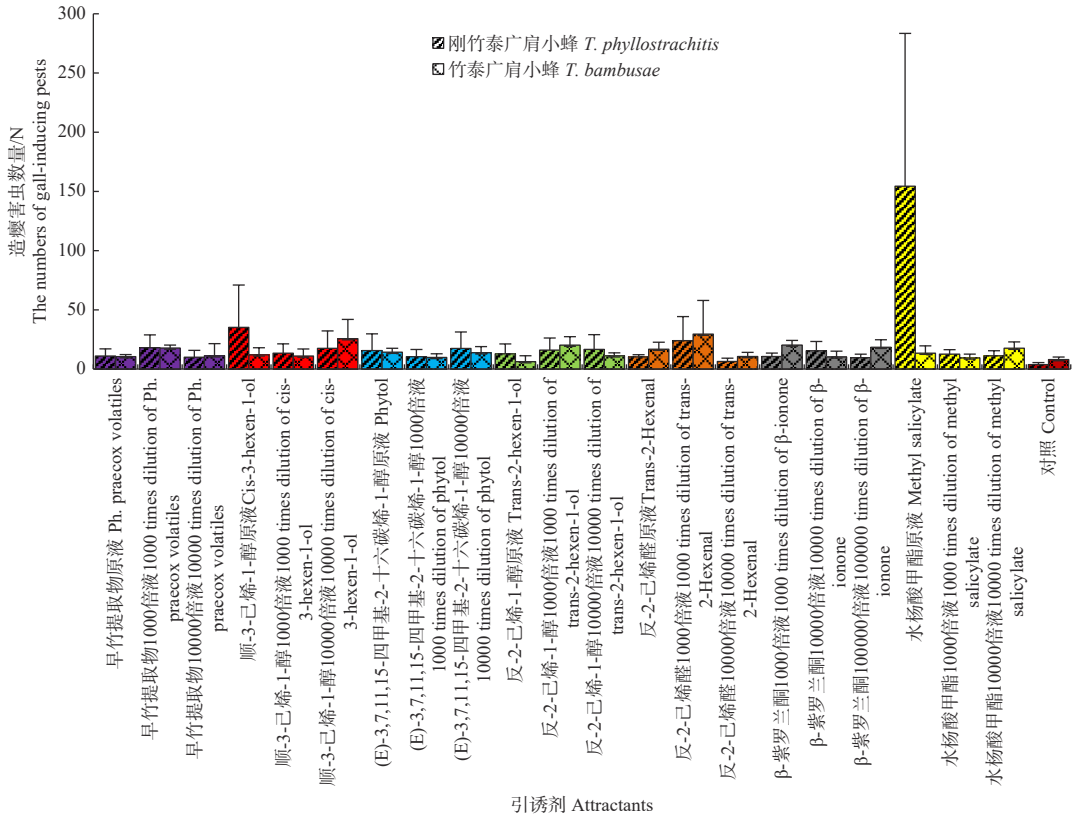


图1 不同挥发物作为引诱剂诱捕的造瘿害虫的数量

Fig. 1 The number of 2 species of gall-inducing pests trapped by different volatiles as attractants

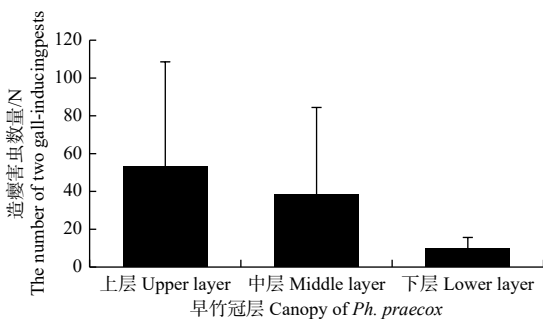


图2 诱捕器不同悬挂高度的诱捕效果

Fig. 2 The trapping effects of three different trap heights

的诱虫量显著多于三角形诱捕器的诱虫量 ($P < 0.05$), 而三角形诱捕器的诱虫量显著多于桶型诱捕器 ($P < 0.05$)、实蝇诱捕器 ($P < 0.05$) 和夜蛾诱捕器的诱虫量 ($P < 0.05$)。

2.4 早竹林2种造瘿害虫种群时序动态

利用筛选出的引诱剂配方监测刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂林间的种群时序动态。研究发现, 刚竹泰广肩小蜂成虫开始活动的时间比竹泰广肩小蜂成虫早, 且活动的历期较竹泰广肩小蜂长, 但2种造瘿害虫成虫活动的高峰期较接近。刚竹泰广

肩小蜂成虫于4月2日开始被诱捕到, 诱捕高峰期为4月23日到5月3日, 5月24日后无该虫被诱捕到; 竹泰广肩小蜂成虫于4月20日开始被诱捕到, 诱捕高峰期为4月20日到4月30日, 5月21日后无该虫被诱捕到(图4)。

3 讨论

植食性昆虫选择寄主植物的行为可分为前后两个连续阶段, 即搜寻阶段和接触试探阶段, 在搜寻阶段, 植物释放特异性的挥发物是植食性昆虫搜寻寄主植物的重要信号物质, 昆虫利用嗅觉感受器官对这些物质进行识别而到达植物^[17-18]。因此, 植物挥发物在调节昆虫的寄主选择行为中发挥重要功能, 故可以利用植物挥发物的活性组分来诱杀害虫^[3,19]。

植物挥发物是植物在环境温度下释放到空气中的小分子代谢物, 目前已鉴定出的植物挥发物超过1700种, 而能够影响昆虫行为的植物挥发物达数百种^[3,20-21]。鉴定影响昆虫行为的植物挥发物主要采用触角电位技术、气相色谱-触角电位联用技

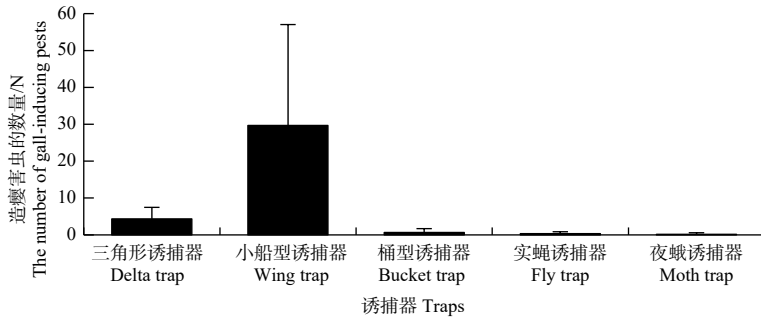


图3 5种不同形状诱捕器的诱捕效果

Fig. 3 The trapping effects of 5 different shapes traps

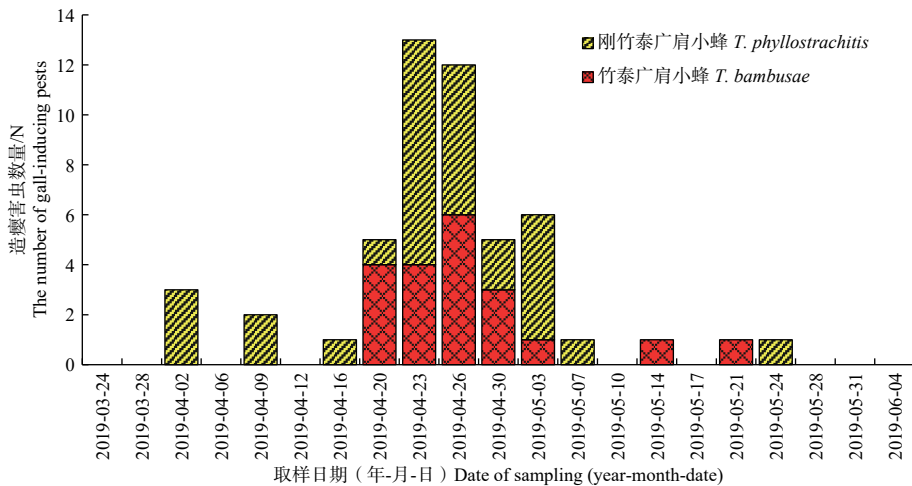


图4 刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂种群时序动态

Fig. 4 The temporal dynamics of the populations of *T. phyllostrachitis* and *T. bambusae*

术、实验室生物测定、林间生物测定等技术方法^[3]。本研究使用6种早竹来源挥发物标准品和早竹提取物作为候选引诱剂，采用林间生物测定法，测定了7种不同候选引诱剂的引诱效果。结果表明，水杨酸甲酯原液强烈地引诱刚竹泰广肩小蜂，用其作为引诱剂的诱捕器诱捕刚竹泰广肩小蜂数量的平均值为154.40头，最大值为379头。研究还发现，使用低浓度的反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇、 β -紫罗兰酮和反-2-己烯醇作为引诱剂的诱捕器诱捕到较多的竹泰广肩小蜂，且诱捕量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。因此，基于刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂的诱捕量，初步确定以水杨酸甲酯和顺-3-己烯-1-醇 30:1 比例的混合物作为刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂的引诱剂配方。

挥发物为基础的诱控技术的诱捕效果除了受挥发物配方和剂量影响外，诱捕器类型和诱捕器悬挂高度也显著影响诱捕效果^[12-13]。翟小伟等^[12]比较了诱捕器颜色、类型、放置位置等因素对苹果蠹蛾诱

捕效果的影响，发现三角形诱捕器和水瓶式诱捕器的诱虫效果最好，且诱捕器悬挂在树冠中部的诱虫量显著高于树冠的上部。李丽莉等^[13]比较了不同高度、不同方位、不同诱芯剂量、不同类型诱捕器对梨小食心虫 (*Grapholitha molesta* Busck) 诱虫量的影响，发现7种类型诱捕器中以三角形诱捕器的诱捕效果最好，且诱捕器悬挂高度越高诱捕效果越好。本研究使用水杨酸甲酯和顺-3-己烯-1-醇混合物配方 (30:1) 制备成诱芯，用于比较诱捕器悬挂高度和诱捕器类型对诱捕效果的影响。研究表明，在早竹冠层的上层和中层悬挂诱捕器，能够诱捕到更多的造瘿害虫，这可能与造瘿害虫趋向于在早竹冠层的中上层活动和寻找寄主有关^[22]。本研究比较了不同类型诱捕器对诱捕量的影响，发现小船型诱捕器诱捕的造瘿害虫数量显著多于三角形诱捕器 ($P < 0.05$)，而三角形诱捕器诱捕的造瘿害虫数量显著多于桶型诱捕器 ($P < 0.05$)、实蝇诱捕器 ($P < 0.05$) 和夜蛾诱捕器 ($P < 0.05$)。因此，在后续的

造瘿害虫大量诱杀时宜使用小船型诱捕器。

本研究对2种造瘿害虫的林间种群时序动态监测发现, 刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂的成虫活动高峰期较接近, 均在4月下旬到5月上旬之间, 因此可以利用这一规律, 合理安排悬挂诱捕器的时间, 提高植物源诱控技术的防控效果。

4 结论

本研究采用林间生物测定法比较了7种挥发物对2种早竹造瘿害虫的引诱效果, 发现水杨酸甲酯强烈地引诱刚竹泰广肩小蜂, 而低浓度的顺-3-己烯-1-醇对竹泰广肩小蜂具有很好的引诱效果。比较了不同类型的诱捕器和不同悬挂高度对诱捕效果的影响, 监测了2种早竹造瘿害虫林间的种群时序动态。研究结果表明, 在4月下旬到5月上旬, 使用水杨酸甲酯与顺-3-己烯-1-醇 30:1 比例的混合物作为引诱剂, 在早竹冠层的中层或上层悬挂小船型诱捕器, 能够诱捕到更多的刚竹泰广肩小蜂和竹泰广肩小蜂。研究结果为高效早竹造瘿害虫植物源诱控技术研发及早竹造瘿害虫的生态调控提供技术支撑。

参考文献:

[1] 杨普云, 李 萍, 王立颖, 等. 农作物害虫食源诱控技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.

[2] 蔡晓明, 李兆群, 潘洪生, 等. 植食性害虫食诱剂的研究与应用[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 8-35.

[3] Gregg P C, Del Socorro A P, Landolt P J. Advances in attract-and-kill for agricultural pests: beyond pheromones[J]. Annual Review of Entomology, 2018, 63(1): 453-470.

[4] Jang E B. Effectiveness of plastic matrix lures and traps against *Bactrocera dorsalis* and *Bactrocera cucurbitae* in Hawaii[J]. Journal of Applied Entomology, 2011, 135(6): 456-466.

[5] Gregg P C, Del Socorro A P, Hawes A J, et al. Developing bisexual attract-and-kill for polyphagous insect: ecological rationale versus pragmatics[J]. Journal of Chemical Ecology, 2016, 42(7): 666-675.

[6] Light D M, Knight A L. Specificity of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) for the host plant kairomone, ethyl (2E, 4Z)-2, 4-decadienoate: field bioassays with pome fruit volatiles, analogue, and isomeric compounds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(10): 4046-4053.

[7] 苗振旺, 赵明梅, 王立忠, 等. 强大小蠹植物源引诱剂林间应用技术[J]. 昆虫知识, 2003, 40(4): 346-349.

[8] 赵锦年, 蒋 平, 吴沧松, 等. 松墨天牛引诱剂及引诱作用研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(3): 262-267.

[9] 耿显胜, 舒金平, 王浩杰. 早园竹林2种造瘿小蜂及其形成的虫瘿的研究[J]. 林业科学研究, 2014, 27(6): 764-768.

[10] 耿显胜, 陈奕洁, 石 坚, 等. 不同寄主竹种上竹瘿广肩小蜂生物学特性研究[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(2): 220-226.

[11] 王四宝, 刘云鹏, 樊美珍, 等. 不同诱捕技术对松褐天牛的诱捕效果[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 505-508.

[12] 翟小伟, 刘万学, 张桂芬, 等. 苹果蠹蛾性信息素诱捕器田间诱捕效应影响因子[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 801-806.

[13] 李丽莉, 张思聪, 张安盛, 等. 几种因素对梨小食心虫性诱剂诱捕量的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 44(7): 95-97.

[14] 魏 琦, 荀 航, 喻 谨, 等. 苦竹属竹叶挥发油比较研究[J]. 林产化学与工业, 2015, 35(2): 122-128.

[15] 滕小慧, 高新国, 龚东风, 等. 金龟甲广谱引诱剂配方筛选及田间评价[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(5): 859-864.

[16] 沈佐锐. 昆虫生态学及害虫防治的生态学原理[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.

[17] 秦玉川. 昆虫行为学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[18] 王琛柱, 黄玲巧. 植食性昆虫对寄主植物的选择[M]//孔垂华, 娄永根. 化学生态学前沿. 北京: 高等教育出版社, 2010.

[19] Mensah R K, Gregg P C, Del Socorro A P, et al. Integrated pest management in cotton: exploiting behaviour-modifying (semiochemical) compounds for managing cotton pests[J]. Crop and Pasture Science, 2013, 64(8): 763-773.

[20] Shrivastava G, Rogers M, Wszelaki A, et al. Plant volatiles-based insect pest management in organic farming[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2010, 29(2): 123-133.

[21] Baldwin I T. Plant volatiles[J]. Current Biology, 2010, 20(9): 392-397.

[22] 耿显胜, 舒金平, 孟海林. 2种经营方式下早竹林虫瘿的空间分布研究[J]. 林业科学研究, 2016, 29(6): 951-955.

Plant Volatiles-based Attract-and-kill Technology Against Two Species of Gall-inducing Pests on *Phyllostachys praecox*

GENG Xian-sheng¹, SHU Jin-ping¹, ZHANG Wei¹, SHI Jian²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Station of Forest Disease and Pest Control and Quarantine of Deqing County, Zhejiang Province, Deqing 313200, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To develop a plant volatiles-based attracticide against *Tetramesa phyllostrachitis* and *T. bambusae*, and to optimize the factors affecting the efficiency of trapping. [Method] The attractiveness of 7 candidate attractants were assessed, the effects of different heights and trap types on the efficiency of trapping were compared, and the population dynamics of the 2 species of pests in *Phyllostachys praecox* forest were monitored. [Result] The amount of *T. phyllostrachitis* trapped by methyl salicylate, cis-3-hexen-1-ol and 1 000 times dilution of trans-2-hexenal were 154.40 ± 129.04 , 35.20 ± 35.75 and 24.00 ± 20.30 , respectively, which were significantly more than that of the control group ($P < 0.05$). The amount of *T. bambusae* trapped by 1 000 times dilution of trans-2-hexenal, 10 000 times dilution of cis-3-hexen-1-ol and 1 000 times dilution of β -ionone were 29.50 ± 28.43 , 25.67 ± 16.26 and 20.25 ± 3.95 , respectively, which were significantly more than that of the control group ($P < 0.05$). The amount of gall-inducing pests trapped in the upper and medium layers of the canopy were significantly more than that in the lower layers of the canopy ($P < 0.05$), but no significant difference was observed in the amount of gall-inducing pests trapped in the upper and medium layers of the canopy ($P > 0.05$). The amount of gall-inducing pests trapped by different types of trap had significantly different ($P < 0.05$), the wing traps caught more pest than delta traps ($P < 0.05$), while delta traps caught more than bucket traps ($P < 0.05$), fly traps ($P < 0.05$) and moth traps ($P < 0.05$). [Conclusion] From late April to early May, more *T. phyllostrachitis* and *T. bambusae* can be trapped by wing traps, when the traps are suspended in the middle or upper layers of canopy, and the mixture of methyl salicylate and cis-3-hexen-1-ol at a ratio of 30:1 is used as attractant.

Keywords: gall-inducing pests; *Phyllostachys praecox*; plant volatiles; attractants; traps

(责任编辑: 金立新)