

虫害诱导果实挥发物对蝇蛹金小蜂趋性行为的影响及其成分初步鉴定

赵海燕¹, 梁广文², 陆永跃^{2*}

(1. 海南省农业科学院植物保护研究所/海南省植物病虫害防控重点实验室, 海口 571100; 2. 华南农业大学昆虫学系, 广州 510642)

摘要 为了解果实挥发物在蝇蛹金小蜂寻找寄主过程中的作用, 本文采用“Y”形嗅觉仪测试了健康果实及虫害诱导果实挥发物对蝇蛹金小蜂的引诱趋性。测定结果表明, 虫伤 1 d 的番石榴和阳桃果实挥发物对蝇蛹金小蜂雌蜂具有显著的引诱作用。进而选取了虫伤 1 d 的番石榴和阳桃果实, 利用固相微萃取法对其挥发物进行了收集, 并用 GC-MS 对收集到的挥发物进行了初步鉴定。鉴定结果表明, 虫伤 1 d 的番石榴果实挥发物中共检测到 8 种化合物, 多是萜烯类化合物, 其中反式-石竹烯的相对含量最高, 其次是二十二烷醇; 虫伤 1 d 的阳桃果实挥发物成分中共鉴定出 16 种物质, 主要为烷烃类、萜烯类、酯类及酮类, 其中 α -紫罗兰酮含量最高, 其次为 11-硬酯炔酸甲酯。

关键词 虫害诱导; 果实挥发物; 蝇蛹金小蜂

中图分类号: S 476.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.04.012

Attraction of *Pachycrepoideus vindemmiae* by herbivore-induced fruit volatiles to and extraction and GC-MS identification of the active components

Zhao Haiyan¹, Liang Guangwen², Lu Yongyue²

(1. Hainan Academy of Agricultural Sciences, Institute of Plant Protection; Hainan Key Laboratory for Control of Plant Diseases and Insect Pests, Haikou 571100, China; 2. Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract In order to understand the roles of fruit volatiles and herbivore-induced fruit volatiles in host searching of *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani), the orientation responses of *P. vindemmiae* to the volatiles under different treatments were studied with a “Y”-tube olfactometer. The female adults of *P. vindemmiae* were significantly attracted by the volatiles from guava fruits damaged by larvae for one day (DG-1d) and carambola fruits damaged by larvae for one day (DC-1d). Then, the chemical constituents from the DG-1d and DC-1d were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) with headspace solid-phase microextraction (SPME). The results showed that eight compounds were obtained and the main compounds were terpenes and sesquiterpenes from the volatiles emitted from LDGF-1D. The relative content of trans-caryophyllene was the highest, followed by 1-docosanol from DG-1d volatiles. In addition, sixteen compounds were identified from the volatiles emitted from DC-1d, including alkanes, terpenes, esters and ketone. The relative content of α -lonone was the highest, followed by 11-octadecynoic acid methyl ester.

Key words herbivore-induction; fruit volatile; *Pachycrepoideus vindemmiae*

蝇蛹金小蜂 [*Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani)] 属于小蜂总科 (Chalcidoidea), 金小蜂科 (Pteromalidae), 金小蜂亚科 (Pteromalinae), 是一种能够寄生环裂亚目多种蝇类蛹的抑生型 (idiobiont)

寄生蜂。它广泛分布于世界 60 多个国家和地区, 如美国、巴西、澳大利亚、丹麦、哥伦比亚和中国等^[1-2], 是双翅目中许多害虫的天敌^[2-3]。蝇蛹金小蜂过去常用于家畜和鸟类饲养过程中所招致蝇类的生物防

收稿日期: 2015-06-27

修订日期: 2015-09-30

基金项目: 海南省自然科学基金(20153065); 海南省农业科学院农业科技创新专项经费(CXZX201419)

* 通信作者 E-mail: luyongyue@scau.edu.cn

治,主要作为家蝇(*Musca domestica* L.)和厩螫蝇(*Stomoxys calcitrans* L.)的控制措施被利用^[4-5]。美国夏威夷和南美诸国引进该蜂对地中海实蝇[*Ceratitis capitata* (Wiedemann)]、南美按实蝇[*Anastrepha fraterculus* (Wiedemann)]、墨西哥按实蝇[*A. ludens* (Löw)]和西印度按实蝇[*A. obliqua* (Macquart)]等蝇类进行控制^[6]。近年来,在哥斯达黎加、美国、澳大利亚、丹麦和哥伦比亚等地大规模的繁殖释放控制实蝇类害虫,其寄生率达到了40%^[6-7]。在我国,主要以橘小实蝇[*Bactrocera dorsalis* (Hendel)]和家蝇为寄主开展了一些蝇蛹金小蜂生物学特性方面的研究^[8-12]。关于寄主挥发物对蝇蛹金小蜂嗅觉行为的影响尚未见报道。

植物释放挥发性信息化合物和部分非挥发性信息化合物对昆虫的行为起着重要的调控作用。挥发性信息化合物主要分为两类:自然状态下植物释放的挥发性物质和虫害诱导的植物挥发物。寄主植物挥发物在天敌昆虫搜索和定位寄主的过程中起着重要作用^[13-14],而植食性昆虫诱导的植物挥发物可作为互益素吸引天敌昆虫对害虫的搜寻和定位^[15]。在植物-害虫-天敌体系中,昆虫取食诱导植物产生对天敌具有引诱作用的化学物质^[16],这一现象普遍存在。目前这一领域研究多关注于植食性昆虫取食植物叶片后产生的挥发物对天敌的影响,而取食植物果实后产生的挥发物对天敌的影响报道较少。因而,本文以芒果(*Mangifera indica* Linn.)、阳桃(*Averrhoa carambola* Linn.)和番石榴(*Psidium guajava* Linn.)果实为试材,研究了3种果实不同处理挥发物对寄生蜂选择行为的影响,同时选取了对寄生蜂引诱力最强的处理,对其挥发物进行了收集和鉴定,以期明确蝇蛹金小蜂在栖境选择和寻找寄主过程中利用植物挥发物的来源及其作用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试蝇蛹金小蜂为华南农业大学生态学实验室内饲养的种群。寄生蜂的饲养:羽化后的寄生蜂置于养虫笼内(25 cm×25 cm×30 cm),每笼密度为100~150对雌雄蜂,然后将含有200头左右橘小实蝇蛹的培养皿(直径9 cm,蛹均匀地平铺在培养皿底部)置于笼内,24 h后将蛹移出。笼内提供清水和15%的蜂蜜水作为寄生蜂成虫食物。将移出的橘小

实蝇蛹放入底部含有少量湿润细沙的一次性杯子中(250 mL),蛹的上面覆盖3~5 cm的湿润细沙,用滤布(120目)封口,置于养虫室内,待蜂羽化。将初羽化的寄生蜂成对放入指形管内,备用。

供试橘小实蝇采自广州市阳桃园,将带有实蝇幼虫的果实带回实验室,让其在沙内化蛹,获得实蝇蛹。

供试植物果实为番石榴(‘芭乐’品种)、阳桃(‘台湾蜜丝’品种)和芒果(‘小台芒’品种)。

寄主饲养、寄生蜂繁殖及其试验均在温度(26±1)℃,湿度(RH)65%±5%,光周期L//D=14 h//10 h的室内进行。

1.2 试验设计及处理

试验共设9个处理,即:①健康完好的果实 vs 空白对照;②机械损伤的果实 vs 空白对照;③虫伤1 d果实 vs 空白对照;④虫伤4 d果实 vs 空白对照;⑤虫伤8 d果实 vs 空白对照;⑥健康完好的果实 vs 虫伤1 d果实;⑦健康完好的果实 vs 虫伤4 d果实;⑧健康完好的果实 vs 虫伤8 d果实。空白对照指味源瓶内没有放任何物质。机械损伤果实的获得:用镊子在完好无损健康的果实表面扎孔;虫伤果实的获得:取完好无损健康的果实,将每个果实接入约10粒橘小实蝇卵,分别于第1天,第4天和第8天用于试验。试验中各处理的英文及简写如表1所示。

1.3 嗅觉行为测定方法

采用“Y”形嗅觉仪测定蝇蛹金小蜂对不同处理果实挥发物的反应,以自制的玻璃瓶(250 mL带磨砂口的容量瓶)作味源瓶,内盛不同处理的果实。嗅觉仪的两臂及直管臂均长10.0 cm,内径1.5 cm,两臂夹角75°,为了避免由于周围光强不均匀影响寄生蜂的趋性行为,把嗅觉仪放于由金属丝制成的正方形盒子内,正方形盒子四周用蜡纸(30 cm×30 cm×30 cm)遮盖,在盒子的正上方放一个40W白炽灯以使两测试臂的光强一致。“Y”形嗅觉仪两臂分别通过硅胶管与味源瓶相连。在气流进入味源瓶之前,先经过活性炭和蒸馏水瓶过滤,以净化空气和增加空气湿度。气泵连接在“Y”形嗅觉仪主臂上,抽气速度400 mL/min,侧臂的气流量通过气体流量计控制在200 mL/min。生测时,通过小的指形管,将寄生蜂雌蜂逐头引入嗅觉仪的直管内,然后观察记载3 min内寄生蜂的行为反应。选择标准如下:当某蜂爬至出口处或超过某臂1/2处并持续1 min以

上者,记该蜂对该臂的气味源作出选择。如蜂引入后 5 min,仍不做出选择,则结束对该蜂的行为观察。每测定 5 头,调换嗅觉仪方位一次,用以消除几何位置对寄生蜂行为可能产生的影响。每测定 10 头,用

95%乙醇清洗嗅觉仪并用吹风机吹干、冷却。每个处理共测 60 头蜂。当更换处理时,用超声波清洗装置,并用 95%乙醇清洗、用烘箱烘干。试验于每日的 09:00—16:00 在(26±1)℃的室内进行。

表 1 果实处理的英文及其简写

Table 1 The fruits and treatments with English expressions and abbreviations

果实 Fruit	处理 Treatment	英文 English	简写 Abbreviation
番石榴 <i>Psidium guajava</i>	健康完好	Intact guava fruit	IG
	机械损伤	Guava fruit damaged mechanically	MDG
	虫伤 1 d	Guava fruit damaged by larvae for one day	DG-1d
	虫伤 4 d	Guava fruit damaged by larvae for four days	DG-4d
	虫伤 8 d	Guava fruit damaged by larvae for eight days	DG-8d
芒果 <i>Mangifera indica</i>	健康完好	Intact mango fruit	IM
	机械损伤	Mango fruit damaged mechanically	MDM
	虫伤 1 d	Mango fruit damaged by larvae for one day	DM-1d
	虫伤 4 d	Mango fruit damaged by larvae for four days	DM-4d
	虫伤 8 d	Mango fruit damaged by larvae for eight days	DM-8d
阳桃 <i>Averrhoa carambola</i>	健康完好	Intact carambola fruit	IC
	机械损伤	Carambola fruit damaged mechanically	MDC
	虫伤 1 d	Carambola fruit damaged by larvae for one day	DC-1d
	虫伤 4 d	Carambola fruit damaged by larvae for four days	DC-4d
	虫伤 8 d	Carambola fruit damaged by larvae for eight days	DC-8d

1.4 挥发物收集与鉴定

采用固相微萃取法对果实挥发物进行采集。取虫伤 1 d 的番石榴和阳桃果实,将其放入广口瓶中,锡箔纸和封口膜封口,使瓶内充满气体。固相微萃取头为 85 μm Polyacrlate (美国 SUPELCO 公司),使用前在气相色谱(Agilent 7890A)中,将萃取针头插入气相色谱仪的进样口进行老化,老化温度为 250℃,载气流量为 0.8 mL/min,分流比 50:1,老化时间为 2 h。老化结束后将固相微萃取头(PA 型白色平头,85 μm)穿透封口膜(铝箔)插入瓶内,距离蛹约 1~2 cm,固定微萃取手柄,然后小心地推出萃取头。吸附完成后立即进行气相色谱-质谱联用仪(美国 Finnigan TRACE)进样分析。

GC-MS 分析条件:样品解析时间 1 min,氦气做载气,流速 1.0 mL/min。无分流进样,分流阀 1 min 后打开。气相色谱进样口温度 280℃,SPME 纤维头在进样器中停留 3 min,进行样品热脱附。采用 DB-5MS 色谱柱(长 30 mm,膜厚 0.25 μm);升温程序:柱温 60℃保持 5 min,以 5℃/min 速率升到 100℃,然后以 10℃/min 速率升到 250℃,保持 2 min;进样口温度 280℃,载气为氦气(1 mL/min);传输线温度 250℃;电离源为 EI 源(70 eV, 230℃);四级杆温

度为 150℃,扫描质量范围:30~550 amu。

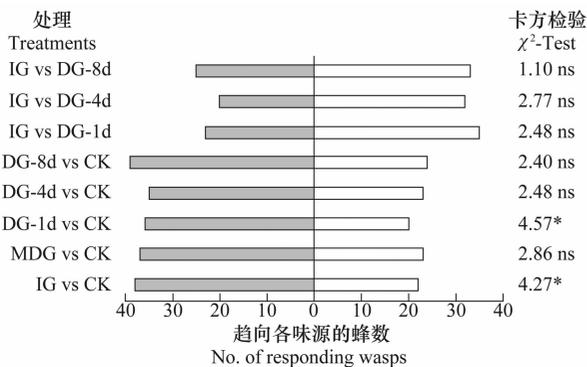
挥发性物质的鉴定:样品成分分析根据 GC-MS 分析得到的总离子流图中的各峰经质谱扫描后得到质谱图,通过质谱计算机谱库检索(Willey 库和 NIST98 库)初步确定化合物,忽略未检出物质的峰面积。并与文献比较,通过比对标准样品的质谱图、保留时间、考马斯指数等方法对挥发物进行鉴定,扣除空气本底后采用面积归一法计算样品中不同物质的相对含量,并根据成分的峰面积值相对定量分析。

2 结果与分析

2.1 3 种水果不同处理挥发物在蝇蛹金小蜂寄主搜索中的作用

蝇蛹金小蜂雌蜂对番石榴不同处理挥发物的嗅觉反应结果如图 1 所示。健康完好的番石榴和虫伤 1 d 的番石榴果实挥发物对蝇蛹金小蜂雌蜂的嗅觉行为与对照相比,其差异均达到了显著水平($P < 0.05$)。这表明,健康完好的番石榴和虫伤 1 d 的番石榴果实释放的挥发物对蝇蛹金小蜂雌蜂有显著的引诱作用,其余番石榴果实处理的挥发物对蝇蛹金小蜂雌蜂的选择行为没有显著影响。

蝇蛹金小蜂对芒果果实不同处理挥发物的趋向反应如图 2 所示。结果表明,芒果果实处理挥发物对蝇蛹金小蜂的定向选择均没有显著影响。



*表示经 χ^2 检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同
The asterisk * represents significant difference and ns represents no significant difference at $P < 0.05$ level by *Chi*-square test. The same below

图 1 蝇蛹金小蜂雌蜂对不同处理番石榴果实挥发物的行为反应

Fig. 1 Responses of female *Pachycrepoideus vindemniae* to volatiles from guava fruits under different treatments

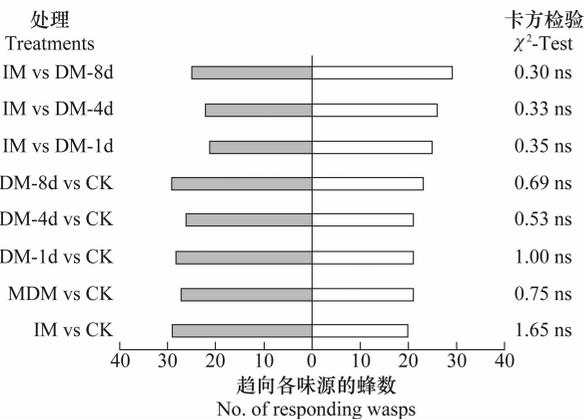


图 2 蝇蛹金小蜂雌蜂对不同处理芒果果实挥发物的行为反应

Fig. 2 Responses of female *Pachycrepoideus vindemniae* to volatiles from mango fruits under different treatments

蝇蛹金小蜂对阳桃果实不同处理挥发物的趋向反应如图 3 所示。虫伤 1 d 的阳桃果实释放的挥发物能显著引起蝇蛹金小蜂雌蜂的定向选择,蝇蛹金小蜂雌蜂对虫伤 1 d 的阳桃果实和空白对照的选择率分别为 63.16% 和 46.84%。健康完好的阳桃果实、机械损伤的阳桃果实、虫伤 4 d 和 8 d 的阳桃果实挥发物对蝇蛹金小蜂雌蜂的定向选择没有显著影响。上述结果表明,虫伤 1 d 的阳桃果实释放的挥发物对蝇蛹金小蜂的嗅觉定向反应具有显著活性。

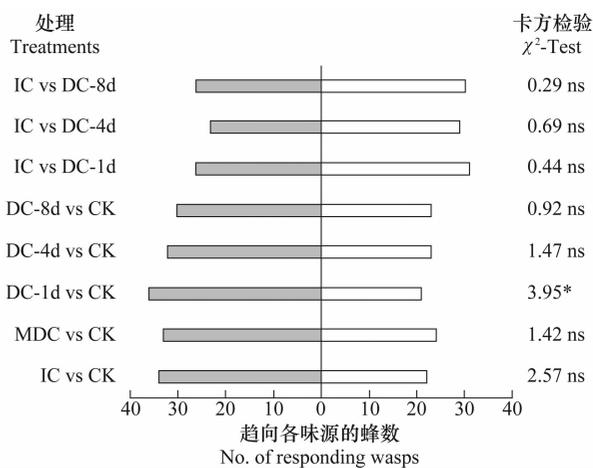


图 3 蝇蛹金小蜂雌蜂对不同处理阳桃果实挥发物的行为反应

Fig. 3 Responses of female *Pachycrepoideus vindemniae* to volatiles from carambola fruits under different treatments

2.2 虫伤 1 d 番石榴和阳桃挥发性成分分析

用 SPME-GC-MS 法分析了虫伤 1 d 番石榴和阳桃的挥发性成分。结果表明,虫伤 1 d 番石榴果实共检测到 8 种化合物(表 2),大多是萜烯类化合物,其中反式-石竹烯的相对含量最高,为 53.61%,其次是二十二烷醇相对含量为 21.19%,顺-去氢白菖烯相对含量最低,为 1.14%。收集橘小实蝇虫伤 1 d 的阳桃果实的挥发物,共检测到 16 种化合物(表 2),主要为烷类 5 种、萜烯类 6 种、酯类 4 种及酮类 1 种质,其相对含量分别为 8.17%、16.89%、22.9% 和 25.71%,其中 α -紫罗兰酮含量最高,其次为 11-硬酯炔酸甲酯。

表 2 虫伤 1 d 的番石榴果实主要挥发性化学物质的 GC-MS 结果

化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	相对含量/% Relative content
α -蒎烯 α -pinene	$C_{10}H_{16}$	9.52
α -绿叶烯 α -patchoulene	$C_{15}H_{24}$	3.16
反式-石竹烯 <i>trans</i> -caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	53.61
香橙烯 Aromadendrene	$C_{15}H_{24}$	5.68
α -葎草烯 α -humulene	$C_{15}H_{24}$	3.37
顺-去氢白菖烯 1S, <i>cis</i> -calamenene	$C_{15}H_{22}$	1.14
萜澄茄烯 Cadinene	$C_{15}H_{24}$	2.33
二十二烷醇 1-docosanol	$C_{22}H_{46}O$	21.19

表 3 虫伤 1 d 的阳桃果实主要挥发性
化学物质的 GC-MS 结果

Table 3 The GC-MS results of major volatiles of DC-1d

化合物名称 Compound name	分子式 Molecular formula	相对含量/% Relative content
辛酸甲酯 Methyl octanoate	C ₉ H ₁₈ O ₂	3.36
苯甲酸乙酯 Ethyl benzoate	C ₉ H ₁₀ O ₂	5.63
辛酸乙酯 Ethyl caprylate	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	5.29
7,9,19-大柱三烯 Megastigma-7(E), 9,13-triene	C ₁₃ H ₂₀	0.64
11-硬酯炔酸甲酯 11-Octadecynoicacid, methyl ester	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	8.62
反式 4,6,8-大柱三烯 Megastigma-4,6(E),8(E)-triene	C ₁₃ H ₂₀	3.13
α-蒎烯 α-pinene	C ₁₀ H ₁₆	4.88
顺式 4,6,8-大柱三烯 Megastigma-4,6(Z),8(E)-triene	C ₁₃ H ₂₀	2.92
α-古芸烯 α-gurjunene	C ₁₅ H ₂₄	4.12
α-紫罗兰酮 α-ionone	C ₁₃ H ₂₀ O	25.71
α-芹子烯 α-selinene	C ₁₅ H ₂₄	1.20
十六烷 Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	2.24
2,3',5-三甲基二苯基甲烷 2,3',5'-Trimethyldiphenylmethane	C ₁₆ H ₁₈	2.79
正十八烷 Octadecane	C ₁₈ H ₃₈	0.80
正二十七烷 Heptacosane	C ₂₇ H ₅₆	1.52
正十九烷 Nonadecane	C ₁₉ H ₄₀	0.72

3 小结与讨论

在植物-害虫-天敌三级系统中,通过长期的协同进化,彼此之间可通过一些特异性的信息化合物建立联系,从而相互影响,相互制约。寄生性和捕食性天敌在寄主搜索定位过程所利用的信息化合物可以来自寄主本身、寄主的食料、两者的互作以及与寄主关联生物等。植物的挥发性次生化合物在寄主定向过程中起着重要的作用^[17]。植物释放的信息化合物可作为互益素对害虫的天敌具有引诱作用已有较多报道,如李师等^[18]报道了水稻挥发物对稻虱红螯蜂雌蜂有显著的引诱作用;刺桐姬小蜂雌成虫对刺桐挥发物有显著的趋性反应^[19]。目前多数研究集中在寄主植物不同处理,寄主本身释放的挥发物对害虫、捕食性天敌和寄生性天敌寄主定向的影响,而寄主果实对寄生蜂的选择趋向的影响尚未见报道。本文研究表明,健康番石榴果实挥发物在蝇蛹金小蜂搜索定位寄主的过程中表现出显著的引诱活性。

植食性昆虫取食寄主植物后能诱导植物产生更多挥发性物质或特异性的挥发性物质,这为寄生蜂远距离检测寄主提供了线索,该挥发物的量一般较

大,但准确性较低,不如植食性昆虫所产生的挥发物可靠。植食性昆虫诱导被害植物产生挥发性次生物质和昆虫本身释放的一些挥发物,为天敌搜寻定位寄主提供了有力的保障。已有的试验结果表明,昆虫取食为害后诱导寄主植物产生的挥发物对寄生蜂有明显的引诱作用。稻虱红螯蜂雌蜂对白背飞虱危害后的水稻有显著的趋性^[18]。多异瓢虫对瓜蚜为害后植物挥发物也有显著的作用^[21];Wen 等^[22]的研究表明,被棉铃虫为害的烟草对中红侧沟茧蜂 [*Microplitis mediator* (Haliday)] 雌蜂的引诱力显著高于未受害烟草。许宁^[23]发现被茶尺蠖 (*Ectropis oblique* Prout) 取食后的茶树新梢释放 2 种芳樟醇氢化物(呋喃型和吡喃型),这使得其比完整新梢更能有效地吸引茶尺蠖幼虫寄生蜂单白绵绒茧蜂 (*Apanteles* sp.)。本文选取了橘小实蝇为害较严重的 3 种水果:番石榴、芒果和阳桃,测定了不同处理条件下的挥发物对蝇蛹金小蜂寄生搜索定位反应的影响,结果表明,虫伤 1 d 的番石榴果实和虫伤 1 d 的阳桃果实释放的挥发物对该蜂有显著的引诱作用。机械损伤的阳桃果实、虫伤 4 d 和 8 d 的阳桃和番石榴果实及芒果果实的所有处理的挥发物对蝇蛹金小蜂的嗅觉定向反应均没有显著的影响。挥发物在橘小实蝇搜寻、识别并确定寄主的过程中起着重要作用。有报道腐烂果实上的果生链核盘菌(美澳型核果褐腐菌) [*Monilinia fruticola* (G. Winter) Honey] 产生的乙醇和乙醛对实蝇茧蜂具有明显的引诱作用^[20]。而本试验表明,腐烂(即,虫伤 8 d 的果实)的番石榴、芒果和阳桃果实产生的物质对蝇蛹金小蜂均没有显著的引诱作用。蝇蛹金小蜂对芒果果实各处理均没有明显的趋向性,可能由于所采取的实验装置空间太小,选取的果实较大,果实释放的挥发物质的量较大造成的;也可能由于芒果不能释放对蝇蛹金小蜂趋向性有显著影响的物质,具体原因有待进一步分析。本试验所用果实均为离体果实,与自然界中果树上生长的果实相比,挥发物释放的规律,释放量及某一时间段释放的种类可能存在差异,从而导致蝇蛹金小蜂对不同果实的趋向性与本试验结果存在差异。

植物在自然状态下会释放挥发性次生化合物,一般认为这些物质分子量在 100~250 之间,主要包括烃、醛、醇、酯、酮、有机酸和萜烯类化合物^[24-25]。挥发性物质一般分为两类:一类是一般性气味组分,通常指含有 6 个碳原子的直链醛、酯和醇类化合物、

萜类和不饱和脂肪酸化合物等;另一类为特异性气体组分,主要指虫害诱导的植物挥发物,其主要成分可分为4类:萜类化合物、绿叶性气味、含氮化合物和除绿叶性气味以外的醛、醇、酮、酯及一些呋喃衍生物^[26]。本文采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术结合气相-质谱法(GC-MS)对虫伤1d番石榴和阳桃果实的挥发性成分进行了分析,分别鉴定出8种和16种挥发性化合物,前者主要成分为萜烯类和酮类;后者主要成分为烷类、萜烯类、酯类及酮类。虫伤阳桃和番石榴果实都释放萜烯类化合物,这类物质可能对寄生蜂的嗅觉定位产生了影响,也有可能是其他特异性物质种类,具体哪种成分对寄生蜂具有引诱活性,还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Marchiori C H, Silva C G. First occurrence of parasitoid *Spalangia endius* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) in pupae of *Zaprionus indianus* Gupta (Diptera: Drosophilidae) in Brazil [J]. Brazilian Journal of Biology, 2003, 63 (2): 361 - 362.
- [2] Carvalho A R D, Almeida D, José M, et al. Mortality of larvae and pupae of *Chrysomya megacephala* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae) and its parasitism by microhymenopteran in Rio de Janeiro county, RJ, Brazil [J]. Neotropical Entomology, 2004, 33 (4): 505 - 509.
- [3] Marchiori C H, Pereira L A, Filho O M S, et al. *Pachycrepoides vindemmiae* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae) as parasitoid of Diptera, in Brazil [J]. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia, 2004, 54(6): 665 - 667.
- [4] Petersen J J, Watson D W, Pawson B M. Evaluation of *Muscidifurax zaraptor* and *Pachycrepoides vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae) for controlling flies associated with confined beef cattle [J]. Biological Control, 1992, 2: 44 - 50.
- [5] Wharton R A. Classical biological control of fruit Tephritidae [M]//Robinson A, Harper G, eds. World crop pests, fruit flies; their Biology, natural Enemies, and control. Elsevier Science, Amsterdam, 1989:303 - 313.
- [6] Ovruski S, Aluja M, Sivinski J, et al. Hymenopteran parasitoids on fruit-infesting Tephritidae (Diptera) in Latin America and the southern United States; diversity, distribution, taxonomic status and their use in fruit fly biological control [J]. Integrated Pest Management Reviews, 2000, 5 (2): 81 - 107.
- [7] Geden C J, Hogsette J A. Suppression of house flies (Diptera: Muscidae) in Florida poultry houses by sustained releases of *Muscidifurax raptorellus* and *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae) [J]. Environmental Entomology, 2006, 35 (1): 75 - 82.
- [8] 林文超. 几种因子对蝇蛹金小蜂寄生橘小实蝇效能的影响 [D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [9] 谢惠英. 蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoides vindemmiae* (Rondani) 对两种蝇蛹的寄生特性研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [10] 施亮, 陈中正, 胡好远. 蝇蛹金小蜂对家蝇蛹选择策略的初步探讨 [J]. 安徽农学通报, 2010, 16(5): 64 - 66.
- [11] 陈中正, 刘继兵, 贺张, 等. 蝇蛹金小蜂对家蝇蛹的寄生策略 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(6): 175 - 176.
- [12] 段毕升, 郑金土, 方磊, 等. 蝇蛹金小蜂对黑腹果蝇蛹的寄生习性 [J]. 热带作物学报, 2012, 33(6): 1111 - 1115.
- [13] 侯照远, 严福顺. 寄生蜂寄主选择行为研究进展 [J]. 昆虫学报, 1997, 2 (40): 94 - 107.
- [14] 白树雄, 王振营, 何康来. 信息化合物对寄生蜂寄主定向与定位行为的调控 [J]. 中国生物防治, 2001, 17(2): 86 - 91.
- [15] 陈华才, 娄永根, 程家安. 二化螟绒茧蜂对二化螟及其寄主植物挥发物的趋性反应 [J]. 昆虫学报, 2002, 45(5): 617 - 622.
- [16] Tumlinson J H, Turlings T C J, Lewis W J. The semiochemical complexes that mediate insect parasitoid foraging [J]. Agricultural Zoology Reviews, 1992, 5: 221 - 245.
- [17] Tumlinson J H, Lewis W J, Vet L E. How parasitic wasps find their hosts [J]. Scientific American, 1993, 268(3): 100 - 106.
- [18] 李帅, 陈文龙, 金道超, 等. 不同水稻挥发物对稻虱红螯蜂雌蜂的引诱作用 [J]. 植物保护学报, 2014, 2(2): 203 - 209.
- [19] 李军, 梁广文, 郭强, 等. 刺桐姬小蜂雌成虫对寄主植物挥发物的嗅觉行为反应 [J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(1): 55 - 59.
- [20] Vinson S. Parasitoid-host relationship [J]. Chemical Ecology of Insects, 1984, 1: 205 - 233.
- [21] 李艳艳, 周晓榕, 庞保平, 等. 多异瓢虫对瓜蚜为害后植物挥发物的行为反应及挥发物成分分析 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (2): 153 - 160.
- [22] Dong Wenxia, Zhang Zhongning, Fang Yuling, et al. Response of parasitoid microplitis mediator to plant volatiles in an olfactometer [J]. Insect Science, 2000, 7(4): 344 - 350.
- [23] 许宁. 挥发性物质在茶树-茶尺蠖-绒茧蜂三重营养关系中的化学通讯作用 [D]. 杭州: 浙江农业大学, 1996.
- [24] Metcalf R L, Metcalf E R. Plant kairomones in insect ecology and control [M]. London: Springer, 1992.
- [25] Paré P W, Tumlinson J H. Induced synthesis of plant volatiles [J]. Nature, 1997, 385(6611): 390 - 392.
- [26] 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 [J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1097 - 1106.

(责任编辑: 田 喆)