

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.02.018

枣实蝇对枣果挥发物的选择行为

梁 萌¹, 阿不都瓦哈·艾再孜², 阿地力·沙塔尔^{1*}

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆昌吉州玛纳斯县平原林场, 新疆 玛纳斯 832200)

摘要: [目的] 探究对枣实蝇有引诱作用的挥发性物质, 研发基于行为调节的防治技术。[方法] 采用 Y 型嗅觉仪测定了枣实蝇成虫对 6 种枣果挥发物的选择行为反应, 并在室内试验的基础上进行田间引诱试验。[结果] 室内试验结果显示, 枣实蝇成虫对 6 种枣果挥发物具有显著正趋性。枣实蝇雌虫对棕榈酸乙酯、月桂酸乙酯、肉豆蔻酸的选择率较强, 选择率均为 30% 以上; 雄虫对亚油酸乙酯、油酸乙酯的选择率较强, 选择率均为 25% 以上, 从不同浓度梯度 (原液、10% 溶液、1% 溶液) 的选择率和选择系数来看, 随浓度的递减, 其选择率和选择系数也在递减, 原液的选择率分别为 10% 溶液及 1% 溶液的 2.5 倍及 5 倍以上。田间试验发现: 肉豆蔻酸对枣实蝇雌虫的诱集效果较强, 2 d 最多诱捕数量为 15 头·只⁻¹, 平均诱捕数量为 11.4 头·只⁻¹, 十四酸乙酯次之。在 6 种不同挥发物中油酸乙酯和亚油酸乙酯对枣实蝇雄虫的引诱效果较强。经单因素方差分析发现, 在 6 种挥发性物质及混合物中, 月桂酸乙酯及十四酸乙酯对枣实蝇雌雄虫的引诱效果之间存在显著性差异。其他挥发物之间无显著差异。[结论] 枣果挥发物中棕榈酸乙酯、月桂酸乙酯、肉豆蔻酸与枣实蝇偏爱选择密切相关。在田间试验中: 枣实蝇成虫对肉豆蔻酸的选择率较强, 为研发枣实蝇引诱剂提供了理论依据。

关键词: 枣实蝇; 挥发物; 嗅觉仪; 选择率; 选择系数

中图分类号: S763.306.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)02-0145-09

实蝇类昆虫主要借助寄主气味挥发物识别、搜寻并最终确定适宜寄主^[1]。基于寄主植物挥发物与实蝇定向行为的内在联系, 利用寄主植物挥发性提取物诱捕实蝇已成为近年来实蝇防治研究的热点。刘桂清^[2]等人利用 Y 型嗅觉仪测试了性成熟与性未成熟不同生理状态下桔小实蝇 (*Bactrocera dorsalis*) 雌雄成虫对番石榴果肉及叶主要挥发成分石竹烯的反应, 结果表明番石榴叶和果肉对性成熟与性未成熟的两性成虫均能产生显著的引诱效果。2018 年杜田华等人利用 Y 型嗅觉仪测定了柑橘大实蝇雌、雄成虫对 3 种不同处理的中国板栗和 7 种挥发性化合物的选择行为反应, 结果发现中国板栗中的柠檬烯、异丁醛、 α -蒎烯、苯乙酸甲酯对柑橘大实蝇有显著的引诱作用^[3]。Mary L 等分别

研究了桔小实蝇成虫对不同寄主及寄主果实不同成熟阶段的选择行为反应, 发现桔小实蝇雌虫对成熟的番石榴果实选择性最强^[4]。Waqar Jaleel 等利用 Y 型嗅觉仪测试了桔小实蝇对 3 种主要挥发性化合物的反应, 结果表明: 3-carene 与 β -caryophyllene 和 α -humulene 3 种物质混合, 对桔小实蝇有很强的引诱作用^[5]。

目前, 从寄主中鉴别出的一些挥发物成分已成功应用于地中海实蝇 (*Ceratitis capitata*)、墨西哥实蝇 (*Anastrepha ludens*) 和苹果实蝇 (*Rhagoletis pomonella*) 的防治中^[6], 但关于红枣果实中对枣实蝇起引诱作用的主要成分目前尚无报道。枣实蝇 (*Carpomya vesuviana* Costa) 是我国重要的检疫性害虫, 仅分布于新疆吐鲁番地区。国内自 2007 年

收稿日期: 2019-04-28 修回日期: 2019-09-22

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支疆项目 (2016E02011); 新疆维吾尔自治区林业有害生物防治检疫局项目“枣实蝇成虫监测和田间应用技术研发”资助

* 通讯作者: 阿地力·沙塔尔, 博士, 教授, 电话: 13999972602, Email: adl1968@126.com

在新疆首次发现枣实蝇以来,先后对枣实蝇的形态特征、生物学特性、危害情况、发生规律及控制技术和分子生物学等方面进行了较为深入的研究^[7-13]。目前,国内对枣实蝇的监测及防治主要依赖黄色粘虫板及化学农药。但黄色粘虫板专一性不强,效果不够理想;并由于长期使用化学农药导致了3R等诸多问题的出现。由于寄主植物挥发物提取的引诱剂具有污染少,持效期长、操作方便等优点而成为实蝇类害虫监测和防治的关键技术之一。因此,研究和开发枣实蝇的引诱剂,探求高效环保的枣实蝇田间监测和防治新技术备受广泛关注。

本研究在室内以Y型嗅觉仪测试了枣实蝇对6种不同枣果挥发性物质的行为反应,以室内试验为基础,在田间悬挂含有不同挥发物的诱捕器引诱枣实蝇,明确了6种挥发性物质对枣实蝇的引诱效果,旨在为枣实蝇引诱剂的研发提供理论依据。

表1 供试挥发物

Table 1 Test volatiles

编号 Number	名称 Name	纯度 Purity/%	形态 Form	来源 Source of Products
ZG	棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	95	液态 Liquid	成都格雷西亚化学技术有限公司 Chengdu Grecian chemical technology co. LTD
YS	油酸乙酯 Ethyl oleate	95	液态 Liquid	天津市致远化学仪器有限公司 Tianjin zhiyuan chemical testing co. LTD
SS	亚油酸乙酯 Ethyl linoleate	95	液态 Liquid	上海凯玛实业有限公司 Shanghai kaima industrial co. LTD
GM	月桂酸乙酯 Ethyl laurate	95	液态 Liquid	成都格雷西亚化学仪器有限公司 Chengdu Grecian chemical testing co. LTD
XS	十四酸乙酯 Ethyl myristate	95	液态 Liquid	山东西亚化学工业有限公司 Shandong west chemical industry co. LTD
KS	肉豆蔻酸 Nutmeg acid	95	固态 solid	东京化成工业株式会社 Tokyo Chemical Industry

1.2 试验仪器

RTOP型智能人工气候培养箱(浙江托普仪器有限公司)、实蝇类昆虫成虫饲养装置(新型实用专利)^[15]、培养皿($\Phi=10$ cm)、吸虫器、蜂蜜(黑蜂蜂蜜),酵母膏(北京奥博星生物技术有限公司)、脱脂棉、量筒、无菌水、电子天平、三角型诱捕盒(宝鸡市广仁生物科技有限公司)、普通黄色粘虫板(宁波纽康生物技术有限公司),Y型嗅觉仪。

1.3 室内试验

选择羽化7 d的20头枣实蝇为1组,一次性全部放入Y型嗅觉仪中,1个区作为处理区,将被待试枣果挥发性物质浸湿的脱脂棉置于诱集瓶内(测试过程中每隔3 h换1次测试物),剩下的1个区为对照,清水浸湿的脱脂棉置于诱集瓶内,测试臂中空气流量为 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。每种物质分为3个浓

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫 供试虫源:2016年7月在吐鲁番市艾丁湖乡琼库勒村($42^{\circ}53'45'' \text{ N}$ 、 $89^{\circ}3'29'' \text{ E}$)枣园中采集有幼虫的枣果,将有虫枣果带回室内置于沙土上,使幼虫自然脱果入土化蛹。将所获得的蛹带回室内,置于温度 $28 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $35\% \pm 5\%$,光周期 $14 \text{ L} : 10 \text{ D}$ 条件下饲养。每隔3~5 h收集1次羽化的成虫。按羽化时间进行分笼饲养,喂食20%蜂蜜水+20%酵母膏液(按1:1),将雌雄成虫分开饲养。

1.1.2 供试挥发物 根据穆启运和陈锦屏对3种红枣挥发性化学物质中的研究结果^[14]筛选出含量较多的6种挥发物作为待测物质。具体信息见表1,分别进行了室内和田间试验。为方便表示,各物质均用字母代替。

度梯度,每个梯度每次测试20头成虫,重复3次。雌雄虫分别进行测定。观察成虫的反应,每1 h观察1次,连续观察12 h。测试过程中,停留在基臂的成虫视为未发生反应,进入诱集瓶中的成虫视为选择性反应。每种挥发物设3种浓度梯度(原液、10%溶液、1%溶液)每个浓度梯度重复3次。固体先用无水乙醇溶解,然后按液体稀释方法稀释,(其中10%溶液取1份100 mL的原液加入9份900 mL水;1%溶液取1份10 mL的原液加入9份990 mL水),每次测试之后,均需用75%酒精冲洗嗅觉仪所有管道,并置于烘箱中将其烘干6 h,以避免前后2次测试物质的气味产生相互影响。测试在室温 $28 \sim 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行,在嗅觉仪上方提供2盏30 W以上的日光灯作为均匀光源。整个试验雌虫和雄虫分开测试。枣实蝇成虫对各挥发性组分的选择率和选择系数以公式(1、2)

计算。

$$\text{选择率}/\% = \frac{\sum \text{各诱捕瓶中的虫数}}{\text{测试总虫数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{选择系数}/\% = \frac{\text{诱捕瓶中虫数量} - \text{对照瓶中虫的数量}}{\text{测试总虫数量}} \times 100 \quad (2)$$

1.4 田间试验

试验于2016年6月20日—9月在吐鲁番市艾丁湖乡团结4村(枣园面积2.8 hm²)、团结5村(枣园面积5 hm²)、大庄子村(枣园面积1 hm²)等地的枣园中进行, 地理位置42°53'45" N、89°3'29" E, 海拔高度为-153 m。枣树树龄7~10年生, 树高为2~3 m, 株行距2 m×6 m, 行间间作苜蓿, 往年枣实蝇中度至严重发生的枣园。

选择立地条件相似的3块样地, 装有各种挥发物的三角型诱捕器按随机排列的方式悬挂在枣树背阴面树冠的枝条上。诱捕器悬挂高度离地面1.5 m, 相邻两个诱捕器间隔5 m左右。供试挥发物分别为ZG、YS、SS、GM、XS、KS, 液体取1 mL, 滴在三角型诱捕器中央的干棉花团上, 固体称取1 g放在诱捕器中间, 在诱捕器上编号以方便调查和进行相应诱集结果记录。每块样地设6个处理,

5个重复, 对照诱捕器的棉球滴上清水作为对照(CK), 每隔2 d观察1次, 连续观察8 d, 分别记录诱捕到的雌虫和雄虫数量, 诱捕率和平均诱捕数量, 以公式(3、4)计算。

$$\text{诱捕率}/\% = \frac{\text{诱捕总虫数}}{\text{诱捕器总数量}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{平均诱捕数量} = \frac{\text{总诱捕数量}}{\text{诱捕器总数量}} \quad (4)$$

1.5 数据处理

所采集的数据运用SPSS19软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 经方差分析显著后, 利用多重比较法进行差异显著性测定。

2 结果与分析

2.1 枣实蝇雌虫对不同挥发物的选择性

试验结果由表2可知, 枣实蝇雌虫对6种枣果挥发物原液均有一定的选择性, 对棕榈酸乙酯、肉豆蔻酸和月桂酸乙酯的选择性较强, 选择率和选择系数均为30%以上, 十四酸乙酯的次之。枣实蝇对6种枣果挥发物原液的选择率大小顺序为棕榈酸乙酯>肉豆蔻酸>月桂酸乙酯>十四酸乙酯>亚油酸乙酯>油酸乙酯, 即分别为33.3%、32.5%、30%、

表2 枣实蝇雌虫对不同挥发物原液的行为反应

Table 2 The reaction of female *Carpomya vesuviana* to different original liquid

挥发物 Volatiles	单位时间内反应虫数Responsive insect quantity in unit time/头							选择率 Selectivity/%	选择系数 Selectivity coefficient/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	12 h		
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	1.67	1.33	2.67	4.33	5	5	6.67	33.3a	31.7a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
油酸乙酯 Ethyl oleate	0.67	1.33	2	2.67	3	3	3.33	16.7c	15.0c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
月桂酸乙酯 Ethyl linoleate	1.67	3.33	4	5	5	5.33	6	30.0ab	30ab
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
亚油酸乙酯 Ethyl laurate	0.67	1.67	2.33	2.33	2.67	2.67	3.67	18.4c	18.4c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
十四酸乙酯 Ethyl myristate	2	2.33	2.67	3.67	4	4	5.67	28.4ab	26.7b
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	2.5	3.5	4	4	3.5	6.5	6.5	32.5a	30.0ab
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—

注: 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。单位时间内反应虫数为观察的时间段内引诱到的枣实蝇数量。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level. Responsive insect quantity in unit time means the trapping of *Carpomya vesuviana* in the observe time.

28.4%、18.4%、16.7%。结合表 2、表 3 和表 4 来看, 枣实蝇雌虫对不同浓度梯度的 6 种枣果挥发物的选择率和选择系数, 随浓度的降低, 选择率和选择系数也呈递减趋势。

表 3 枣实蝇雌虫对不同挥发物 10% 溶液的行为反应

Table 3 The reaction of female *Carpomya vesuviana* to different 10% liquid

挥发物 Volatiles	单位时间内反应虫数Responsive insect quantity in unit time/头							选择率 SeleSelectivity/%	选择系数 Selectivity coefficient/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	12 h		
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	0.67	0.33	0.33	1.67	2	2	2	10.0b	8.4b
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
油酸乙酯 Ethyl oleate	0	0.33	0.33	0.67	0.67	1	1.67	8.3bc	6.7c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
月桂酸乙酯 Ethyl linoleate	0.33	1.33	1.67	2	2	1.67	1	5.0c	5.0c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
亚油酸乙酯 Ethyl laurate	0.33	0.33	0.33	1	1	1	1	5.0c	5.0c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
十四酸乙酯 Ethyl myristate	0	0.67	1	1.33	1.67	1.67	2	10.0b	8.4b
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0.5	0.5	2	2	2	2.5	3.5	17.5a	15.0a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—

注: 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。单位时间内反应虫数为观察的时间段内引诱到的枣实蝇数量。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level. Responsive insect quantity in unit time means the trapping of *Carpomya vesuviana* in the observe time.

表 4 枣实蝇雌虫对不同挥发物 1% 溶液的行为反应

Table 4 The reaction of female *Carpomya vesuviana* to different 1% liquid

挥发物 Volatiles	单位时间内反应虫数Responsive insect quantity in unit time/头							选择率 Selectivity/%	选择系数 Selectivity coefficient/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	12 h		
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	0	0	0	0.33	0.33	0.67	0.67	3.30ab	1.7bc
CK	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05	—	—
油酸乙酯 Ethyl oleate	0	0	0	0.33	0	0	0.33	1.7b	0.0b
CK	0	0	0	0	0	0	0.05	—	—
月桂酸乙酯 Ethyl linoleate	0	0	0	0.33	0.67	0.67	1	5.0a	5.0ab
CK	0	0	0.05	0.05	0.05	0	0	—	—
亚油酸乙酯 Ethyl laurate	0	0	0	0	0.33	0.33	0.33	1.65b	1.7bc
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
十四酸乙酯 Ethyl myristate	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.67	3.3ab	1.7bc
CK	0	0	0	0	0	0.05	0.05	—	—
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0	0.5	0.5	1	1	1	1	5.0a	2.50bc
CK	0	0	0	0	0	0	0.05	—	—

注: 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。单位时间内反应虫数为观察的时间段内引诱到的枣实蝇数量。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level. Responsive insect quantity in unit time means the trapping of *Carpomya vesuviana* in the observe time.

对枣实蝇雌成虫 6 种不同挥发物的选择系数和选择率进行单因素方差分析和多重比较可知, 棕榈酸乙酯与月桂酸乙酯和肉豆蔻酸之间无显著差异 ($P>0.05$), 但与十四酸乙酯、亚油酸乙酯、油酸乙酯之间有显著差异 ($P<0.05$)。枣实蝇雌成虫对棕榈酸乙酯、肉豆蔻酸和月桂酸乙酯的选择性较强。从不同稀释倍数的选择率和选择系数来看, 原液的选择率比 10% 溶液的选择率大 2.5 倍以上, 同时比 1% 溶液的选择率大 5 倍以上。可见, 挥发物浓度与枣实蝇的选择率和选择系数之间呈正比, 即挥发物浓度越高, 枣实蝇雌成虫对其趋性越强。

2.2 枣实蝇雄虫对不同挥发物选择性测定

雄虫 (表 5) 对亚油酸乙酯原液的选择性较强, 选择率和选择系数分别到 28.3%、26.7%, 油酸乙酯原液的选择性次之。对 6 种挥发物原液的选择率由大到小为亚油酸乙酯>油酸乙酯>棕榈酸乙酯>十四酸乙酯>肉豆蔻酸>月桂酸乙酯。选择率分别为 28.3%、25%、21.6%、16.7%、16.7% 和 15%。结合表 5、表 6 和表 7 来看, 枣实蝇对不同浓度梯度的 6 种枣果挥发物的选择率和选择系数, 随浓度的递减, 其选择率和选择系数也在递减。

经选择系数和选择率进行单因素方差分析和多

重比较可知, 亚油酸乙酯原液与其他 5 种挥发物原液之间有显著差异 ($P<0.05$)。表明枣实蝇雄虫对油酸乙酯类物质较雌虫相对敏感。从 6 种枣果挥发物的不同浓度梯度来分析, 各挥发物原液的选择率和选择系数远远高于 10% 溶液和 1% 溶液, 说明挥发物浓度越高, 枣实蝇雄虫对其趋性越强。

2.3 不同挥发物对枣实蝇的田间引诱效果

试验结果见表 8, 可知 6 种不同挥发物以及 6 种挥发物的混合物对枣实蝇成虫在田间的引诱效果有一定的差异。通过连续 8 d 引诱试验发现, 肉豆蔻酸和十四酸乙酯的引诱效果较强, 总诱捕数量分别为 209 头、208 头, 平均诱捕量为 13.8 头·张⁻¹。2 d 最高诱捕数量为 23 头·张⁻¹ 和 18 头·张⁻¹。6 种不同枣果挥发物头 2 d 对枣实蝇成虫的诱捕效果从大到小排序为: 肉豆蔻酸>十四酸乙酯>月桂酸乙酯>棕榈酸乙酯>混合>亚油酸乙酯>油酸乙酯, 分别为 18.2 头·只⁻¹、17.6 头·只⁻¹、14 头·只⁻¹、13.2 头·只⁻¹、12.2 头·只⁻¹、10 头·只⁻¹ 和 9 头·只⁻¹。

对总平均诱捕虫数进行单因素方差分析, 可知 6 种不同挥发物对枣实蝇的田间诱捕效果之间有极显著差异 $P=106.8>10.6$ 。进行多重比较发现, 肉豆蔻酸和十四酸乙酯之间无显著差异 ($P>0.05$),

表 5 枣实蝇雄虫对不同挥发物原液的行为反应

Table 5 The reaction of male *Carpomya vesuviana* to different original liquid

挥发物 Volatiles	单位时间内反应虫数 Responsive insect quantity in unit time/头							选择率 Selectivity/%	选择系数 Selectivity coefficient/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	12 h		
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	2.33	2.67	3	3.33	3.33	3.67	4.33	21.6c	20.0b
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
油酸乙酯 Ethyl oleate	2	2.67	3	3.67	3.67	4	5	25.0b	25.0a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
月桂酸乙酯 Ethyl linoleate	0.67	2	2.67	2.67	2.67	3	3	15.0d	15.0c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
亚油酸乙酯 Ethyl laurate	1.67	2.33	2.67	3.33	3.67	3.67	5.67	28.3a	26.7a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
十四酸乙酯 Ethyl myristate	0.67	1.67	2	2.67	3	3	3.33	16.7d	15c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	1	1.33	2.67	3	3	3	3.33	16.7d	13.5c
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—

注: 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。单位时间内反应虫数为观察的时间段内引诱到的枣实蝇数量。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level. Responsive insect quantity in unit time means the trapping of *Carpomya vesuviana* in the observe time.

表6 枣实蝇雄虫对不同挥发物10%溶液的行为反应

Table 6 The reaction of male *Carpomya vesuviana* to different 10% liquid

挥发物 Volatiles	单位时间内反应虫数Responsive insect quantity in unit time/头							选择率 Selectivity/%	选择系数 Selectivity coefficient/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	12 h		
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	0.67	1.33	2	2	2	2	2	10.0a	8.4a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
油酸乙酯 Ethyl oleate	0.67	0.67	1	1.33	1.33	1.33	1.67	8.3ab	8.3a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
月桂酸乙酯 Ethyl linoleate	0.67	0	0.33	0.33	0.33	0.67	0.67	3.4cd	3.3b
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
亚油酸乙酯 Ethyl laurate	0.33	0.67	1	1.67	2	2	1.67	8.4ab	6.7a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
十四酸乙酯 Ethyl myristate	0	0.67	0.67	1	1	1	1	5.0bc	3.4b
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0	0.33	0.67	1.33	1	0.67	1	5.0bc	1.7b
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—

注: 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。单位时间内反应虫数为观察的时间段内引诱到的枣实蝇数量。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level. Responsive insect quantity in unit time means the trapping of *Carpomya vesuviana* in the observe time.

表7 枣实蝇雄虫对不同挥发物1%溶液的行为反应

Table 7 The reaction of male *Carpomya vesuviana* to different 1% liquid

挥发物 Volatiles	单位时间内反应虫数Responsive insect quantity in unit time/头							选择率/% Selectivity	选择系数/% Selectivity coefficient
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	12 h		
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.67	3.3bc	1.7a
CK	0	0	0	0	0	0.05	0.05	—	—
油酸乙酯 Ethyl oleate	0	0.33	0	0.33	0.33	0.33	0.33	1.7bc	1.7a
CK	0	0	0	0.05	0	0	0	—	—
月桂酸乙酯 Ethyl linoleate	0	0	0	0	0	0	0	0.0c	0.0a
CK	0	0	0	0	0	0	0	—	—
亚油酸乙酯 Ethyl laurate	0	0	0	0.33	0.67	0.33	1	5.0ab	3.4a
CK	0	0	0	0	0.05	0.05	0.05	—	—
十四酸乙酯 Ethyl myristate	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33	1	5.0ab	3.4a
CK	0	0	0	0	0	0	0.05	—	—
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0	0	0	0	0	0.33	0.67	3.4bc	0.0a
CK	0	0	0	0	0	0	0.01	—	—

注: 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。单位时间内反应虫数为观察的时间段内引诱到的枣实蝇数量。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level. Responsive insect quantity in unit time means the trapping of *Carpomya vesuviana* in the observe time.

但二者与棕榈酸乙酯、油酸乙酯、亚油酸乙酯、挥发物混合物和对照之间有显著差异 ($P>0.05$)。从

雌虫诱捕结果来看, 田间试验结果与室内试验结果相对比较吻合。

2.4 不同挥发物质对枣实蝇雌、雄成虫的诱捕效果比较

6种不同挥发物对枣实蝇雌雄虫的诱捕效果见表9,可以看出不同挥发物对枣实蝇雌雄虫引诱效果有一定的差异,肉豆蔻酸对枣实蝇雌虫的引诱效果较强,2d最多诱捕数量为15头·只⁻¹,平均诱捕数量为11.4头·只⁻¹,十四酸乙酯的次之。十四酸乙酯对雄虫的引诱效果较好,最多诱捕数量为8头·只⁻¹,平均为7.2头·只⁻¹。肉豆蔻酸的次之。经方差分析可知,在6种不同枣果挥发物之中,除油酸乙酯和亚油酸乙酯外其他4种挥发物引诱到的雌虫数量明显高于雄虫数量。经单因素方差分析发现,在6种挥发性物质及其混合物中,枣实蝇雌、

雄虫对月桂酸乙酯和十四酸乙酯的选择性在两两性之间差异显著,对其他挥发物则无显著差异。说明就所测试的挥发性物质而言,除月桂酸乙酯和十四酸乙酯外,枣实蝇对其他挥发物的选择行为在两两性之间没有差别。

可见,在田间肉豆蔻酸的引诱效果较好,这可能与挥发物的物理形态有关系,6种挥发物当中除了肉豆蔻酸外其他5种挥发物都是液体,吐鲁番夏季高温干旱,7—8月的平均温度在40℃以上,这种极端高温干旱气候条件导致液体极易在空气中挥发,持效期较短,但肉豆蔻酸是固体,挥发速度与液体相比缓慢且稳定,因此对枣实蝇的引诱效果高,且较为稳定。

表8 不同挥发物对枣实蝇引诱效果

Table 8 Attractant effects of different volatiles on the *Carpomya vesuviana* Costa

挥发物 Volatiles	诱捕器数/只 Trap	8 d诱捕总量/头 8 d trapping amount	8 d总平均有数量/(头·只 ⁻¹) 8 d mean trapping	2 d平均诱捕数量/(头·只 ⁻¹) 2 d mean trapping	2 d最高诱虫数量/(头·只 ⁻¹) 2 d maximum trapping
棕榈酸乙酯 Ethyl palmitate	15	163	10.8±6.5ab	13.2±2.8b	16.0
油酸乙酯 Ethyl oleate	15	104	6.9±5.4bc	9.0±1.2c	8.0
亚油酸乙酯 Ethyl linoleate	15	117	7.8±3.2b	10.0±1.0c	9.0
月桂酸乙酯 Ethyl laurate	15	182	12.1±4.7a	14.0±1.1b	13.0
十四酸乙酯 Ethyl myristate	15	208	13.8±5.5a	17.6±0.8a	18.0
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	15	209	13.8±6.2a	18.2±5.1a	23.0
混合物 mixture	15	134	6.8±4.5bc	12.2±2.0bc	14.0
CK	15	13	0.2±1.3d	0.87±1.2d	2.0

注: 同列不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level.

表9 不同挥发物质对枣实蝇雌、雄成虫的诱捕效果比较

Table 9 Comparison of the effects of different volatiles on the female and male adults *Carpomya vesuviana* Costa

挥发物 Volatiles	总诱捕量/头 Totaltrapping	平均诱虫数量/(头·只 ⁻¹) Mean trapping		配对T检验概率 T test
		雌虫±标均误	雄虫±标均误	
棕榈酸乙酯(ZG) Ethyl palmitate	13.2	7.4±1.48	5.8±1.79	0.63
油酸乙酯(YS) Ethyl oleate	9.0	3.6±0.83	5.4±0.45	0.12
亚油酸乙酯(SS) Ethyl linoleate	10	3.8±1.14	6.2±1.79	0.35
月桂酸乙酯(GM) Ethyl laurate	14	8.2±1.67	5.8±1.00	0.02
十四酸乙酯(XS) Ethyl myristate	17.6	10.4±2.70	7.2±3.80	0.01
肉豆蔻酸(KS) Nutmeg acid	18.2	11.4±2.39	6.8±1.22	0.05
混合物(六种挥发物)6 volatiles mixture	10.1	5.4±0.67	4.7±0.42	0.12
CK	1.7	0.9±0.15	0.8±0.40	0.72

3 讨论

昆虫与寄主植物挥发性物质的关系问题一直是昆虫研究的热点问题,以寄主植物挥发物质来引诱昆虫,影响昆虫对寄主的取食、产卵、定向行为^[16]。

本试验中所选的6种挥发性物质是骏枣果实中含量最多的几种成分,在室内利用Y型嗅觉仪测试枣实蝇对枣果中不同挥发性物质的选择反应,并在此基础上在野外进行了田间诱杀试验。室内试验结果表明,这些挥发物对枣实蝇均具有一定的引诱作用,雌虫对棕榈酸乙酯、月桂酸乙酯、肉豆蔻酸的选择率较强,选择率均为30%以上。室内试验结果与野外试验结果相对比较吻合。

引诱物的剂量和引诱时间直接影响引诱率,张淑颖、刘桂清^[17-18]报道,在相同条件下,随着所测果实挥发物剂量的增大,橘小实蝇成虫对果肉挥发物的反应也随之增强。从枣实蝇对不同浓度梯度(原液、10%溶液、1%溶液)的6种枣果挥发物的选择率和选择系数来看,随浓度的递减,其选择率和选择系数也在递减,各挥发物原液的选择率和选择系数均高于10%溶液和1%溶液。本研究结果跟张淑颖的结果基本一致。

在田间通过连续8d监测数据来看,肉豆蔻酸和十四酸乙酯的引诱效果较强,月桂酸乙酯的次之。昆虫性别不同,在气味识别器官的构造和数量上也会存在一定差异,从而导致其对不同气味物质的识别及趋性反应的差异^[18]。张淑颖^[19]在室内测定了橘小实蝇成虫对芒果果肉挥发性物质的趋性,结果表明芒果果肉挥发性物质对两性成虫均能产生显著的引诱效果,雌虫的趋性高于雄虫。本试验结果显示,在6种不同挥发物中除了油酸乙酯和亚油酸乙酯外其他4种挥发物对雌虫引诱效果比雄虫强。其中肉豆蔻酸对枣实蝇雌虫的诱捕效果比雄虫最好,十四酸乙酯的次之。亚油酸乙酯对雄虫的引诱效果较好,油酸乙酯次之。

刘桂清研究报道,在室内橘小实蝇性未成熟雌虫对石竹烯在60min达到显著水平,但田间引诱试验发现,石竹烯对橘小实蝇雌虫并未产生引诱作用。本试验室内和田间试验结果表明,在室内枣实蝇雌虫对棕榈酸乙酯的选择性较强,肉豆蔻酸和月桂酸乙酯次之,雄虫对油酸乙酯的选择性较强,亚油酸乙酯的次之,而田间试验发现,肉豆蔻酸对雌虫的诱集效果最好,十四酸乙酯和月桂酸乙酯次

之。油酸乙酯的和亚油酸乙酯对雄虫的诱集数量虽然比雌虫的多,但诱集总数量比肉豆蔻酸的诱集数量低。室内和野外出现差异可能与6种枣果挥发物物理性状有关。因供试的6种枣果挥发物中,肉豆蔻酸是固体,其余5种挥发物都是液体,固体和液体在挥发性能上的不同而导致引诱效果方面存在差异。此外,野外试验在枣园中进行,枣园中枣树的果实本身就含有试验设计中的6种挥发物成分,因此引诱剂的浓度在本试验设计的浓度基础上发生了一定程度的改变,即在野外试验中,引诱剂的浓度是试验设计的浓度与枣果本身含有该成分浓度的叠加。因此会出现差异。利用枣果挥发物在生产上监测和防治枣实蝇,不仅能减少枣实蝇的危害,提高水果的产量和质量,还能够减少化学农药的使用,减少对天敌的伤害,减轻对环境的污染,符合食品安全发展的趋势,具有广阔的市场前景。

4 结论

枣果挥发物中棕榈酸乙酯、月桂酸乙酯、肉豆蔻酸与枣实蝇偏爱选择密切相关。在田间试验中:枣实蝇成虫对肉豆蔻酸的选择率较强,为研发枣实蝇引诱剂提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 杜家纬. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制[J]. 植物生理学报, 2001, 27(3): 193-200.
- [2] 刘桂清, 黄 鸿, 刘景业, 等. 番石榴挥发物对桔小实蝇成虫的引诱作用[J]. 环境昆虫学报, 2010, 32(2): 291-294+286.
- [3] 杜田华, 华登科, 何章章, 等. 柑橘大实蝇成虫对板栗挥发物的行为反应[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(2): 474-484.
- [4] MARY L, JIAN J, RUSSELL H. Volatile host fruit odors as attractants for the oriental fruit fly (*Diptera: Tephritidae*)[J]. Journal of Economic Entomology, 2000, 93(1): 93-100.
- [5] Waqar Jaleel, Yurong He, Lihua Lü. The response of two *Bactrocera* species (*Diptera: Tephritidae*) to fruit volatiles[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2019, 22(3): 758-765.
- [6] 莫如江, 欧阳倩, 钟宝儿. 榴莲果肉挥发物对橘小实蝇雄虫的引诱作用[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(5): 1336-1342.
- [7] 张润志, 汪兴坚, 阿地力·沙塔尔. 检疫性害虫枣实蝇的鉴定与入侵威胁[J]. 昆虫知识, 2007, 44(6): 928-931.
- [8] 阿地力·沙塔尔, 何善勇, 田呈明, 等. 枣实蝇在吐鲁番地区的发生及蛹的分布规律[J]. 植物检疫, 2008, 22(5): 295-29.
- [9] 何善勇, 阿地力·沙塔尔, 温俊宝, 等. 枣实蝇在中国的风险评估[J]. 林业科学, 2011, 47(3): 107-116+197.

- [10] 何善勇, 温俊宝, 阿地力·沙塔尔, 等. 检疫性有害生物枣实蝇研究进展[J]. 林业科学, 2010, 46(07): 147-154.
- [11] 阿地力·沙塔尔, 张 伟, 程晓甜, 等. 枣实蝇不同地理种群的亲缘关系[J]. 林业科学, 2012, 48(6): 136-140.
- [12] 程晓甜, 阿地力·沙塔尔, 张 伟, 等. 枣实蝇特异引物PCR鉴定技术[J]. 林业科学, 2013, 49(11): 98-102.
- [13] 丁吉同. 枣实蝇飞翔能力及其对环境因子的适应性研究[D]. 乌鲁木齐, 新疆农业大学, 2015.
- [14] 穆启运, 陈锦屏. 3种红枣的挥发性化学成分的乙醇提取及测定[J]. 西北植物学报, 2002, 22(3): 641-645.
- [15] 阿地力·沙塔尔, 母俊景, 彭东虎. 一种实蝇类昆虫成虫饲养装置[P]. 新疆. ZL201520366657.X. 2015-11-18. 2015.
- [16] 付佑胜. 橘小实蝇植物源引诱剂和诱集产卵材料的研究[D]. 武汉, 华中农业大学, 2004.
- [17] 张淑颖, 肖 春, 叶 敏. 香蕉果肉挥发物对桔小实蝇成虫的引诱作用[J]. 华中农业大学学报, 2006(5): 512-514.
- [18] 严善春, 程 红, 杨 慧. 青杨脊虎天牛对植物源挥发物的EAG和行为反应[J]. 昆虫学报, 2006, 49(5): 759-767.
- [19] 张淑颖, 肖 春, 李正跃. 芒果挥发物对桔小实蝇成虫的引诱作用[J]. 云南农业大学学报, 2007(5): 659-664.

Selective Behavioral Response of *Carpomya vesuviana* Costa to Volatile Substances of Jujube

LIANG Meng¹, ABDUWAHAP Aziz², ADIL Sattar¹

(1. College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. Manas Plain Forest Farm of Manas County, Manas 832200, Xinjiang, China)

Abstract: [Objective] To study the volatile substances of jujube trees attractive to *Carpomya vesuviana* Costa. [Method] The experiment was carried out in July 2016. The choice behavior of adult *C. vesuviana* to 6 kinds of volatile substance from jujube fruit was measured. On the basis of laboratory test, field validation test was carried out. [Result] The result of selection behavior experiment in laboratory showed that the adult *C. vesuviana* had significant positive tropism for the 6 kinds of volatile substance. The selectivity of female to ethyl palmitate, ethyl laurate and myristic acid was stronger, which was higher than 30%. The selectivity and selectivity coefficient of different concentration gradients (stock, 10% solution, 1% solution) were observed. It was showed that the selection rate and selection coefficient decreased with the decrease of concentration. The selectivity to the stock solution was 2.5 times and 5 times that of 10% solution and 1% solution. In field trials, it was found that the effect of myristic acid on the female of *C. vesuviana* was stronger, the maximum number of 2 d traps was 15/head, and the average number of traps was 11.4/head, followed by ethyl myristate. Ethyl oleate and ethyl linoleate had stronger attraction effect on the male *C. vesuviana*. As far as the attracting effect is concerned, there were significant differences between male and female *C. vesuviana* to ethyl laurate and ethyl myristate, while there was no significant difference among other volatiles. [Conclusion] Among the volatile substances of jujube fruit, ethyl palmitate, ethyl laurate and myristic acid are closely related to the preference of *C. vesuviana*. In field trials, the selectivity of adults *C. vesuviana* Costa to myristic acid is higher, which can provide a theoretical basis for the research and development of attractant.

Keywords: *Carpomya vesuviana*; volatiles; olfactometer; selection rate; selectivity coefficient

(责任编辑: 崔 贝)