

# 辛酸乙酯对橘小实蝇产卵的驱避作用

李慧静 谢明学 程代凤\* 陆永跃

(华南农业大学植物保护学院, 广州 510642)

**摘要:**为进一步明确驱避橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 产卵的挥发物成分,于室内测试橘小实蝇对被产卵不同时间的番石榴果实的产卵偏好,利用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术、气相色谱-触角电位(gas chromatography-electroantennographic detection, GC-EAD)联用技术和生物测试等方法鉴定被产卵不同时间的番石榴果实中可驱避橘小实蝇产卵的挥发物。结果表明,被产卵48 h后的番石榴果实可显著驱避橘小实蝇产卵,橘小实蝇在未被产卵和被产卵番石榴果实中的产卵量分别为238.9粒和90.7粒。被产卵48 h后的番石榴果实中产生了辛酸乙酯,该物质可引起橘小实蝇雌成虫触角发生电生理反应。0.25、0.5、1和2  $\mu\text{L/mL}$ 的辛酸乙酯均可驱避橘小实蝇雌成虫,驱避率分别为28%、48%、48%和28%。含有辛酸乙酯浓度分别为0.25、0.5、1和2  $\mu\text{L/g}$ 的番石榴果泥可显著驱避橘小实蝇产卵,果泥中被产卵量分别为105.7、125.5、100.8和157.9粒,显著低于对照。番石榴果实表面分别涂抹浓度为50、100和200  $\mu\text{L/mL}$ 辛酸乙酯后,在选择试验中,番石榴中橘小实蝇幼虫数量分别为164.5、27.5和4.8头;非选择性试验中,番石榴中橘小实蝇幼虫数量分别为187.6、95.2和30.6头,均显著低于对照。表明辛酸乙酯可显著驱避橘小实蝇雌成虫的产卵,具有开发成橘小实蝇驱避剂的潜力。

**关键词:** 橘小实蝇; 番石榴; 挥发物; 寄主选择; 驱避

## Repellent effects of ethyl caprylate on the oviposition of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis*

Li Huijing Xie Mingxue Cheng Daifeng\* Lu Yongyue

(College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong Province, China)

**Abstract:** To further clarify the volatile components repelling oviposition of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis*, the preference of *B. dorsalis* to guava was determined at different time points after oviposition; besides, the volatile components that repel *B. dorsalis* in egg-infested guava were identified with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-electroantennographic detection (GC-EAD) and bioassay. The results showed that the guava with oviposited eggs could significantly deter oviposition behavior of *B. dorsalis* at 48 h, and the number of eggs laid in non-infested and egg-infested guavas was 238.9 and 90.7, respectively. Ethyl caprylate was detected in guava at 48 h after the initial egg deposition, which could elicit electrophysiological response from the female fly antenna. Bioassay results showed that ethyl caprylate at the concentrations of 0.25, 0.5, 1 and 2  $\mu\text{L/mL}$  could deter *B. dorsalis* and the repellence rates were 28%, 48%, 48% and 28%, respectively. Guava puree containing 0.25, 0.5, 1 and 2  $\mu\text{L/g}$  ethyl caprylate could significantly repel the oviposition of *B. dorsalis*, and the number of eggs in the treated puree was 105.7, 125.5, 100.8 and 157.9, respectively, which were significantly lower than the corresponding controls. After coating with ethyl caprylate at the concentrations

of 50, 100 and 200  $\mu\text{L/mL}$ , in choice test, the number of *B. dorsalis* larvae in guava fruits was 164.5, 27.5 and 4.8, respectively; in no-choice test, the number of *B. dorsalis* larvae in guava fruits was 187.6, 95.2 and 30.6, respectively, which were significantly lower than the corresponding controls. These results indicated that ethyl caprylate had a significant repellent effect on the oviposition of *B. dorsalis*. It had the potential for being developed as a repellent.

**Key words:** *Bactrocera dorsalis*; guava; volatile; host selection; repellence

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 属双翅目实蝇科, 具有繁殖快、适生性强和寄主范围广的特点, 可为害 46 科 250 余种植物, 是一种重要的农业害虫 (Aketa-rawong et al., 2014)。橘小实蝇雌成虫喜在寄主果实上产卵, 幼虫孵化后在寄主果实上取食为害, 严重时可导致果实迅速腐烂, 对农业经济造成严重的损失 (方薛交等, 2017)。长期以来, 橘小实蝇田间防治主要采用化学药剂, 但化学药剂的频繁使用不但污染环境, 同时会诱发橘小实蝇产生抗药性, 进一步增加防治难度 (Jin et al., 2011), 而利用植物源挥发物防控橘小实蝇, 不仅操作简便, 绿色环保, 而且橘小实蝇不会产生抗药性, 因此其逐渐成为橘小实蝇防治领域的研究热点 (Cheng et al., 2017; 金梦娇等, 2021)。

一方面, 大量研究表明橘小实蝇具有明显的产卵选择偏好 (许益鏊等, 2005; 刘慧等, 2014; 周双云等, 2020), 如袁盛勇等 (2005) 研究发现相对于完好的果实表面, 橘小实蝇偏好在果实表面机械损伤的伤口上产卵, 且产卵量随果实的成熟度增加而增加; 马镭等 (2015) 发现龙眼裂果中的多种烯类物质是吸引橘小实蝇产卵的活性物质; 榴莲果肉中的 2-甲基丁酸乙酯对橘小实蝇也有引诱作用 (莫如江等, 2014)。另一方面, 大量研究表明一些物质对橘小实蝇产卵有显著的驱避作用 (欧剑峰等, 2005; 王玉赞等, 2010; 李智伟等, 2017), 如从芒果中鉴定的挥发物异松油烯对橘小实蝇有显著的驱避作用 (施伟等, 2010); 被橘小实蝇产卵的番石榴、橙子和芒果也可显著驱避橘小实蝇产卵, 相比于未被产卵的番石榴, 被产卵的番石榴中鉴定到了一种新的挥发物——辛酸乙酯 (Li et al., 2020)。辛酸乙酯在昆虫的定向选择行为中具有重要作用 (Cossé et al., 1995; 宫田睿, 2012), 如辛酸乙酯可显著提高中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* (石庆型等, 2015)、斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* (Larson et al., 2020)、橘色短背茧蜂 *Psytalia concolor* (Benelli & Canale, 2013) 和西印度按实蝇 *Anastrepha obliqua* (Toledo et al., 2009) 等昆虫对其寄主的选择效率。另外, 中美按实蝇 *A.*

*striata* (Cruz-López et al., 2015; Diaz-Santiz et al., 2016) 和地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Vaničková et al., 2012) 的雄成虫还可释放辛酸乙酯作为其性信息素来吸引雌成虫。然而, 有关辛酸乙酯驱避昆虫的报道较少。

鉴于被产卵的番石榴中可鉴定到辛酸乙酯, 且被产卵的番石榴可显著驱避橘小实蝇产卵 (Li et al., 2020), 推测番石榴中新出现的辛酸乙酯可能具有驱避橘小实蝇产卵的作用。为进一步证实被产卵的番石榴果实对橘小实蝇的产卵驱避作用, 本研究利用气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用技术和气相色谱-触角电位 (gas chromatography-electroantennographic detection, GC-EAD) 联用技术系统鉴定被产卵的番石榴果实中的辛酸乙酯及其对橘小实蝇雌成虫的电生理活性, 测定辛酸乙酯标准品处理果实对橘小实蝇产卵的驱避作用, 以期为实现橘小实蝇的绿色防控提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试昆虫和植物: 2015 年 6 月自广州市杨桃公园杨桃落果上采集橘小实蝇, 从中挑取其幼虫, 在不接触任何药剂的情况下于室内连续饲养至少 30 代以上, 饲养条件为温度  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 70%~80%、光周期 14 L: 10 D。幼虫使用人工饲料饲养, 人工饲料由香蕉 5 kg、玉米粉 5 kg、酵母粉 1 kg、纸巾纤维 1 kg、白糖 1 kg、浓盐酸 40 mL、苯甲酸钠 20 g 及水 10 L 搅拌混合制成; 幼虫发育至 3 龄老熟时放入湿度为 30% 的细沙中化蛹, 3 d 后将蛹从细沙中挑出, 放入长 35 cm、宽 35 cm、高 35 cm 的木制养虫笼中等待羽化, 羽化成虫使用含酵母粉和白糖 (质量比为 1:1) 的人工饲料和洁净水饲养, 选择交配后处于成熟期的 15~20 日龄雌成虫供试。番石榴品种为珍珠, 其果实购于市场, 75% 酒精表面擦拭消毒后备用。

供试试剂及仪器: 98% 辛酸乙酯 (ethyl caprylate) 标准品, 深圳菲斯生物科技有限公司。7890B/5977B-GC/MSD 气相色谱-质谱联用仪、7890A 气相

色谱-触角电位联用仪,安捷伦科技有限公司;直径100  $\mu\text{m}$  的聚二甲基硅氧烷(polydimethylsiloxane, PDMS)固相微萃取头,美国 Supelco 公司;YMM4-300型Y型嗅觉仪,上海豫明仪器有限公司;产卵诱集装置,自制,在长60 cm、宽60 cm、高60 cm的木制养虫笼内对角位置各放置1个对照产卵杯和1个处理产卵杯;产卵杯,自制,在25 mL 酱料杯盖子上用解剖针均匀扎12个小孔。

## 1.2 方法

### 1.2.1 橘小实蝇对不同番石榴的产卵选择试验

取1个100 g新鲜成熟番石榴果实沿中线对半切开,一半不做任何处理,作为对照组,另一半放入饲养30头性成熟橘小实蝇雌成虫的笼中接卵1 h后取出,作为处理组,即被产卵番石榴,分别用保鲜膜将果实切口完整包裹,放入1 L灭菌塑料盒内于温度( $25\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ 、黑暗、相对湿度70%~80%室内培养,分别于培养0 h(为了排除橘小实蝇卵驱避橘小实蝇产卵的可能)和48 h后取出,用镊子将虫体挑除(0 h不需挑除虫体),将对照组和处理组番石榴果实分别放入料理机内打成果泥,分别称取2 g果泥放入产卵杯中,将产卵杯分别放到产卵诱集装置中的对角位置,向诱集装置中释放30头交配后处于产卵期的橘小实蝇雌成虫,重复10次。产卵诱集2 h后取出产卵杯,统计产卵量。

### 1.2.2 被产卵番石榴果实挥发物的GC-MS鉴定

为明确被产卵的番石榴中可能影响橘小实蝇产卵选择的挥发物种类,应用GC-MS联用技术对被产卵番石榴和对照番石榴果实进行挥发物鉴定并比较两者的差异。取1个100 g新鲜成熟番石榴果实沿中线对半切开,一半不做任何处理,作为对照组,另一半放入饲养30头性成熟橘小实蝇雌成虫的笼中接卵1 h后取出,作为处理组,即被产卵番石榴,分别用保鲜膜将果实切口完整包裹,放入1 L灭菌塑料盒内于温度( $25\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ 、黑暗、相对湿度70%~80%的室内培养,48 h后取出,将对照组和处理组的番石榴果实分别用料理机打成果泥,4 $^{\circ}\text{C}$ 保存备用。每个处理称取2 g果泥放入20 mL萃取瓶内,用铝箔纸封口,用萃取头于37 $^{\circ}\text{C}$ 顶空萃取30 min,取出萃取头,将萃取头插入GC-MS进样口,热解吸10 min后进行物质分析,每个处理5个重复。气相色谱条件:进样口温度240 $^{\circ}\text{C}$ ,以110.9 kPa氮气作为载气,柱流量2.41 mL/min,不分流进样。升温程序:柱初温50 $^{\circ}\text{C}$ ,保持1 min,以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率上升至140 $^{\circ}\text{C}$ ,再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率上升至250 $^{\circ}\text{C}$ ,保留10 min。质谱条

件:EI电离源,电子能量70 eV,离子源温度200 $^{\circ}\text{C}$ ,接口温度230 $^{\circ}\text{C}$ ,全扫描模式,扫描范围45~450质荷比。挥发物谱图经NIST14.0谱库检索定性,离子碎片与谱库物质相似度>80%作为挥发物鉴定标准。根据鉴定结果比较分析被产卵48 h的番石榴与新鲜番石榴中挥发物的差异。

### 1.2.3 橘小实蝇对番石榴挥发物的触角电位反应

为验证1.2.2中在被产卵的番石榴果实中特异出现的挥发物对橘小实蝇产卵选择的影响,采用GC-EAD联用技术测试特异出现的挥发物对橘小实蝇雌成虫触角的电生理反应。触角电位测试前,先用手术刀将处于产卵期的橘小实蝇雌成虫头部切下,再切下其中1根触角鞭节末端,将头部和触角切口分别连接到充满0.9% NaCl的2个玻璃电极上,其中参考电极连接头部,记录电极连接触角端部,保持触角接收GC中分离挥发物(挥发物采取1.2.2中的方法制备并进样至GC中进行分离)的面积最大化,将电极与触角电位仪探头连接,挥发物经GC分离后,随气流吹扫至橘小实蝇触角,结合GC的挥发物信号,在挥发物峰出现时,橘小实蝇触角产生EAD信号即认为橘小实蝇对该挥发物有电生理反应。待EAD基线平稳后开始记录触角电位信号,记录的信号经EAD二通道数据采集器放大被输入到计算机的采集卡上,采用Syntech 4.6软件对数据进行采集。重复测试3头以上雌成虫触角。

### 1.2.4 辛酸乙酯对橘小实蝇雌成虫的驱避作用

为进一步明确1.2.3中鉴定的对雌成虫有电生理反应的辛酸乙酯在驱避橘小实蝇中的作用,采用Y型嗅觉仪测定橘小实蝇对辛酸乙酯的行为反应。使用正己烷将辛酸乙酯标准品配制成浓度分别为0.25、0.5、1及2  $\mu\text{L}/\text{mL}$ 的工作液,4 $^{\circ}\text{C}$ 保存备用。为降低光源不均匀对橘小实蝇选择偏好的影响及同时利用趋光性提高橘小实蝇的出管选择率,在Y型管两臂正上方放置功率10 W、长20 cm的LED灯管作为光源,嗅觉仪中气流流量为400 mL/min。测定时,Y型嗅觉仪的一个味源瓶中分别加入不同浓度的辛酸乙酯工作液1 mL,另一个味源瓶中加入1 mL正己烷(对照)。试验过程中,一次放入1头处于产卵期的雌成虫,每头试虫测试5 min,以进入Y型管一侧超过5 cm且停留时间超过30 s的为有效选择。每测试10头试虫使用酒精对Y型管擦拭烘干并调换气味源。每个浓度测试记录50头试虫,并计算驱避率。驱避率=(对照组虫数-处理组虫数)/(对照组虫数+处理组虫数) $\times 100\%$ 。

### 1.2.5 辛酸乙酯对橘小实蝇产卵行为的驱避作用

为进一步测试辛酸乙酯对橘小实蝇产卵的驱避作用,取新鲜成熟番石榴果实,表面用75%酒精擦拭,使用料理机将其打成果泥。取产卵杯放入2 g果泥,分别加入0.5、1、2和4  $\mu\text{L}$  辛酸乙酯标准品并搅拌均匀,制成辛酸乙酯含量分别为0.25、0.5、1和2  $\mu\text{L/g}$  的果泥,以含有不同浓度辛酸乙酯的果泥为处理组,以不添加辛酸乙酯的果泥为对照,每次将对照组和1个处理组的产卵杯分别放到产卵诱集装置内的对角位置,向产卵诱集装置内释放30头处于产卵期的橘小实蝇雌成虫,每组试验10个重复。2 h后取出产卵杯,分别统计产卵量。

### 1.2.6 辛酸乙酯对番石榴果实的保护作用

取100 g新鲜成熟番石榴,表面用75%酒精擦拭后,备用。根据Li et al. (2020)研究结果被产卵48 h后的番石榴中辛酸乙酯含量为828  $\mu\text{g/g}$ 。根据所购买的辛酸乙酯标准品的纯度与密度,为使番石榴果实上辛酸乙酯浓度约为0.5、1和2  $\mu\text{L/g}$ ,使用正己烷将辛酸乙酯标准品配制成50、100及200  $\mu\text{L/mL}$  工作液,取1 mL不同浓度的辛酸乙酯工作液用棉球分别均匀涂抹于番石榴果实表面,以均匀涂抹1 mL正己烷的番石榴作为对照,将3个不同浓度辛酸乙酯处理的番石榴和1个正己烷处理的番石榴作为1组,同时放进产卵诱集装置的4个角落进行产卵选择性试验。向产卵诱集装置内释放200头处于产卵期的雌成虫,接卵30 min后将果实取出,75%酒精擦拭表面后,分别放入1 L灭菌塑料盒内于温度(25 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ 、黑暗、相对湿度70%~80%的室内培养,7 d后取出果实,用镊子将果肉中幼虫挑出,统计果实内幼虫数量,试验重复5次。

取番石榴果实进行上述同样处理后,将其单独放入产卵诱集装置内进行产卵非选择性试验。向产卵诱集装置内释放50头处于产卵期的雌成虫,接卵30 min后将果实取出,75%酒精擦拭表面后,分别放入1 L灭菌塑料盒内于温度(25 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ 、黑暗、相对湿度70%~80%的室内培养,7 d后取出果实,用镊子将果肉中幼虫挑出,统计果实内幼虫数量,试验重复5次。

### 1.3 数据分析

利用Excel 2013及SPSS 22.0软件进行数据分析。采用 $t$ 检验法对橘小实蝇对被产卵番石榴的产卵选择性及辛酸乙酯对橘小实蝇产卵行为进行差异显著性检验;采用卡方检验对辛酸乙酯对橘小实蝇的驱避作用进行差异显著性检验;选择性试验采用

Kruskal-Wallis非参数检验法进行差异显著性检验,非选择性试验采用单因素方差分析及Tukey多重比较法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 被产卵的番石榴对橘小实蝇的产卵驱避作用

番石榴被产卵后不同时间,其对橘小实蝇的产卵驱避作用不同(图1)。刚被产卵的番石榴(0 h)对橘小实蝇产卵无驱避作用,对照番石榴果实中橘小实蝇的产卵量为79.7粒,被产卵的番石榴果实中橘小实蝇的产卵量为94.9粒;被产卵48 h后的番石榴果实可显著驱避橘小实蝇产卵,产卵量仅为90.7粒,显著低于其对照的238.9粒( $P<0.001$ ,图1)。

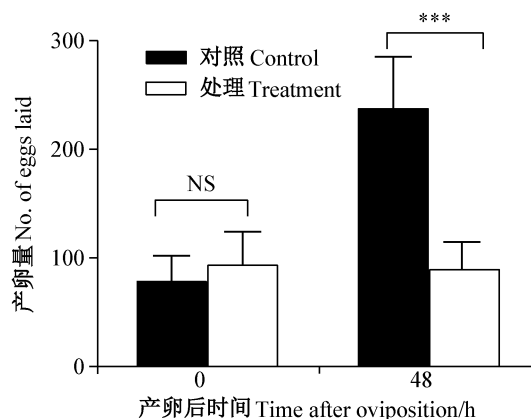


图1 橘小实蝇对被产卵番石榴的产卵选择性

Fig. 1 Oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* to egg-infested guava

图中数据为平均数 $\pm$ 标准误。\*\*\*表示经 $t$ 检验法检验差异显著( $P<0.001$ ); NS表示差异不显著。Data in the figure are mean $\pm$ SE. \*\*\* indicates significant difference by  $t$  test ( $P<0.001$ ); NS indicates no significant difference.

### 2.2 番石榴挥发物鉴定及其对橘小实蝇电生理活性

GC-MS鉴定结果显示,新鲜番石榴果实中挥发物成分比较简单,而被产卵48 h的番石榴果实中挥发物成分与其差别不大,仅出现了1个新的化合物——辛酸乙酯(图2-A)。电生理试验结果表明,被产卵48 h的番石榴果实中出现的辛酸乙酯能刺激橘小实蝇雌成虫触角产生明显的电生理反应(图2-B)。

### 2.3 辛酸乙酯对橘小实蝇的驱避作用

当辛酸乙酯浓度为0.25、0.5、1和2  $\mu\text{L/mL}$  时均可显著驱避橘小实蝇雌成虫( $P<0.05$ 或 $P<0.001$ ),驱避率分别为28%、48%、48%和28%(图3)。另外,辛酸乙酯对橘小实蝇产卵也表现出驱避作用。在对照番石榴果泥中,橘小实蝇产卵量分别为628.7、213.6、216.9和618.3粒,而在辛酸乙酯含量分别为

0.25、0.5、1 和 2  $\mu\text{L/g}$  的番石榴果泥中,橘小实蝇的产卵量分别为 105.7、125.5、100.8 和 157.9 粒,均显著低于对照( $P<0.01$  或  $P<0.001$ ,图 4)。

#### 2.4 辛酸乙酯对番石榴果实的保护作用

随着番石榴果实上涂抹辛酸乙酯浓度的增加,橘小实蝇在番石榴果实上的产卵量逐渐降低(图 5)。在选择性试验中,当番石榴果实上未涂抹辛酸乙酯时,在果实中橘小实蝇幼虫数量为 534.8 头,当

涂抹浓度分别为 50、100 和 200  $\mu\text{L/mL}$  的辛酸乙酯时,果实中橘小实蝇幼虫数量分别为 164.5、27.5 和 4.8 头,均显著低于对照( $P<0.05$ ,图 5-A)。在非选择性试验中,当番石榴果实上未涂抹辛酸乙酯时,果实中橘小实蝇幼虫数量为 410.4 头,当涂抹浓度分别为 50、100 和 200  $\mu\text{L/mL}$  的辛酸乙酯时,果实中橘小实蝇幼虫数量分别为 187.6、95.2 和 30.6 头,同样均显著低于对照( $P<0.05$ ,图 5-B)。

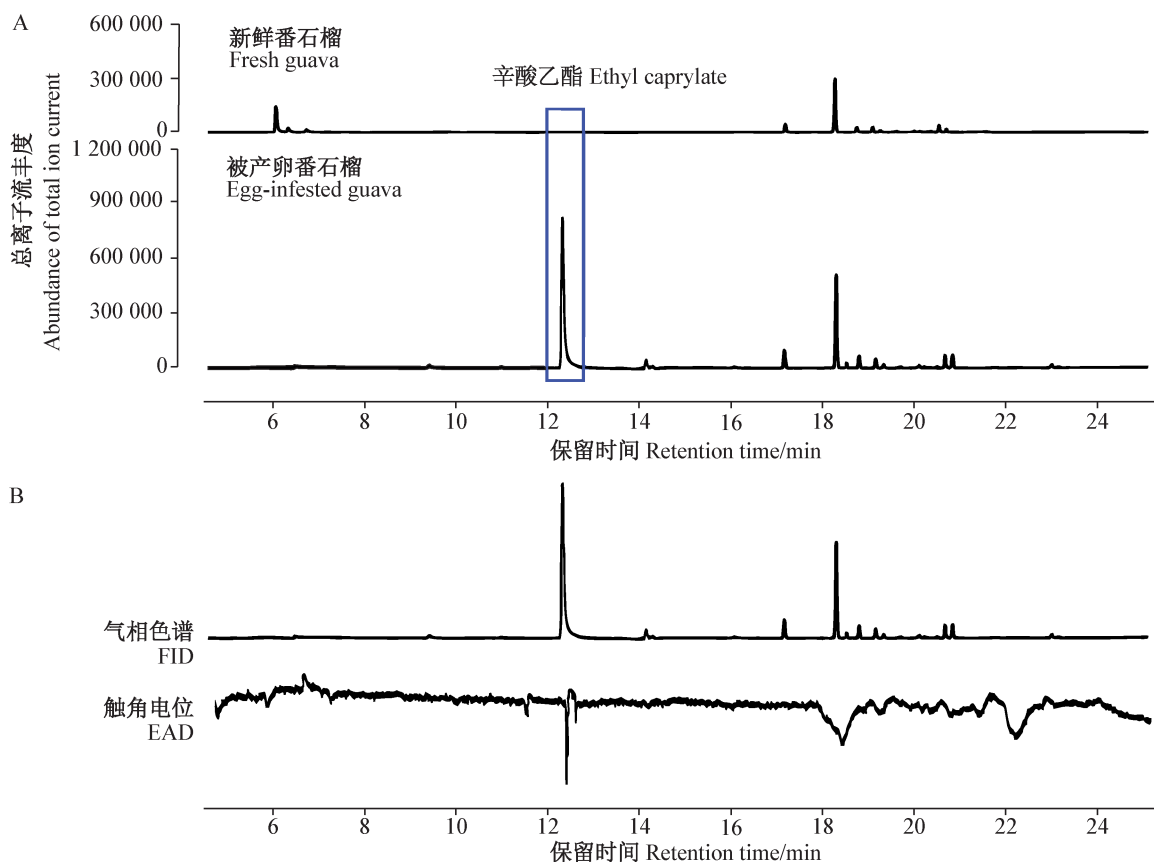


图2 番石榴果实挥发物的GC-MS鉴定(A)及其对橘小实蝇雌成虫的电生理活性(B)

Fig. 2 GC-MS identification of guava volatiles (A) and their electrophysiological activity against *Bactrocera dorsalis* (B)

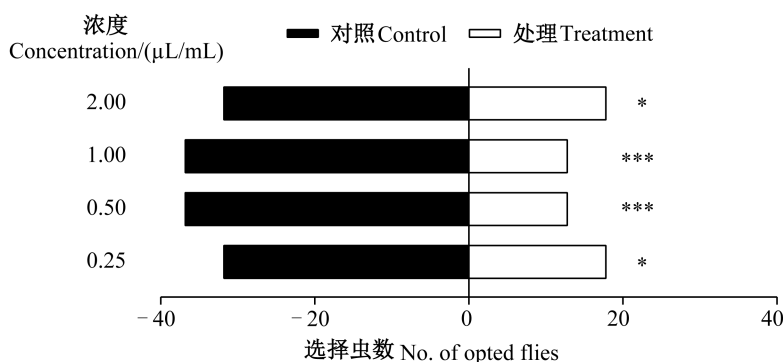


图3 不同浓度辛酸乙酯对橘小实蝇雌成虫嗅觉反应的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of ethyl caprylate on the olfactory preference of female adult *Bactrocera dorsalis*

\*和\*\*\*分别表示处理与对照之间经卡方测验法检验差异显著( $P<0.05$  或  $P<0.001$ )。\* or \*\*\* indicates significant difference between the treatment and the control by  $\chi^2$  test ( $P<0.05$  or  $P<0.001$ ).

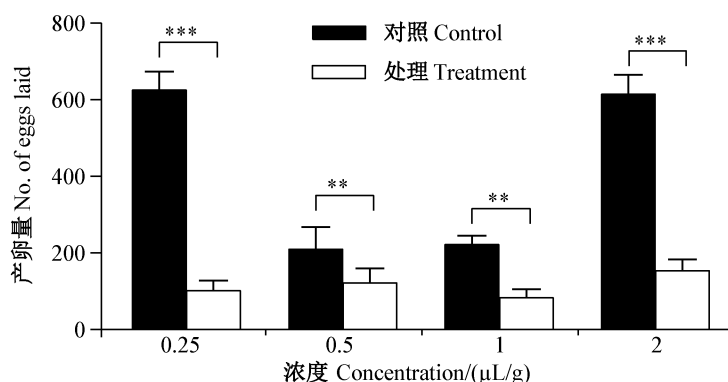
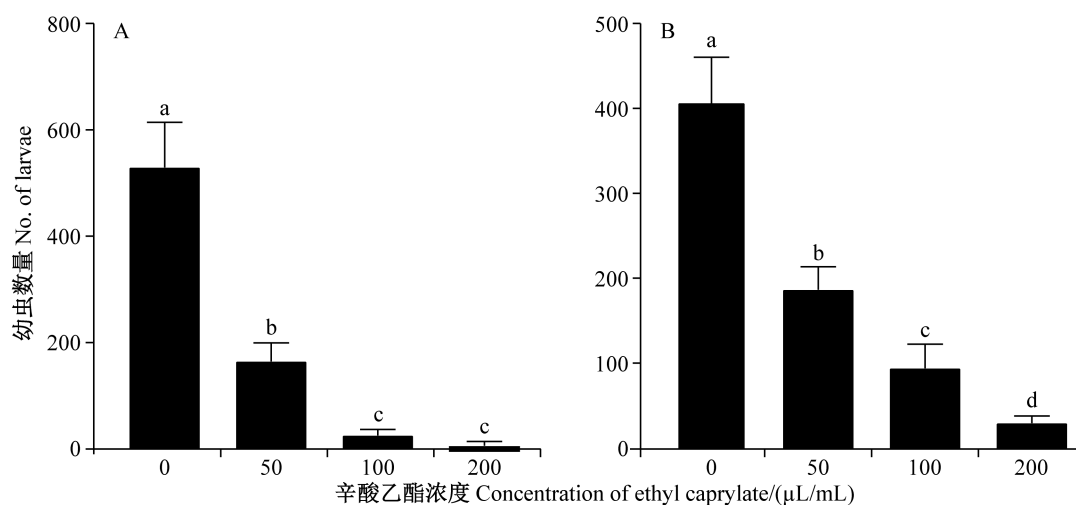


图4 不同浓度辛酸乙酯对橘小实蝇产卵的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of ethyl caprylate on the oviposition behavior of *Bactrocera dorsalis*

图中数据为平均数±标准误。\*\*和\*\*\*分别表示经 *t* 检验法检验差异显著 ( $P<0.01$  或  $P<0.001$ )。Data in the figure are mean±SE. \*\* or \*\*\* indicates significant difference by *t* test ( $P<0.01$  or  $P<0.001$ ).



A: 选择性试验; B: 非选择性试验。A: Choice test; B: no-choice test.

图5 不同浓度辛酸乙酯对番石榴果实的保护作用

Fig. 5 Protection effects of different concentrations of ethyl caprylate on guava fruits

图中数据为平均数±标准误。选择性试验中不同小写字母表示经 Kruskal-Wallis 非参数检验法检验差异显著 ( $P<0.05$ ); 非选择性试验中不同小写字母表示经单因素方差分析及 Tukey 多重比较法检验差异显著 ( $P<0.05$ )。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase letters on the bars in choice test indicate significant difference by Kruskal-Wallis nonparametric test ( $P<0.05$ ); different lowercase letters on the bars in no-choice test indicate significant difference by one-way ANOVA with Tukey multiple comparison method ( $P<0.05$ ).

### 3 讨论

挥发物是昆虫接收和识别环境因子的重要信息来源,其种类或浓度高低均影响昆虫行为(李姝等, 2016; 孙小旭等, 2018)。使用挥发物来防控害虫可达到生态、经济和社会效益的统一。开发一种有效的挥发物驱避剂对橘小实蝇的田间防治具有重要意义。本研究证明,辛酸乙酯可强烈驱避橘小实蝇产卵,说明该物质具有开发为橘小实蝇驱避剂的潜力。在多种寄主中辛酸乙酯可由昆虫产卵诱导合成

(谷小红等, 2017),并且仅在较高浓度下对桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 有驱避作用,在低浓度下则对桃蛀螟有吸引活性(李得宇, 2014),这表明辛酸乙酯对部分昆虫的行为影响是具有剂量效应且表现出双重作用。本研究仅测试了 0.25~2 μL/g 浓度范围内辛酸乙酯对橘小实蝇产卵的驱避作用,并未测试更广浓度范围的辛酸乙酯对橘小实蝇的行为影响,因此,辛酸乙酯对橘小实蝇的行为影响是否同样具有双重作用需要进一步探讨。

雌成虫喜欢在寄主资源竞争少、远离天敌的地

方产卵(Gripenberg et al., 2010; Refsnider & Janzen, 2010),这样能有效避免后代间对寄主资源的过度竞争,确保幼虫可顺利生长发育(Cheseto et al., 2017)。Cai et al. (2020)研究表明被橘小实蝇产卵的寄主中合成的辛酸乙酯对橘小实蝇的天敌馮氏茧蜂 *Fopius arisanus* 具有显著的吸引作用。另外,水果开始腐烂后也会产生大量的辛酸乙酯(Feng et al., 2018)。因此,推测辛酸乙酯对橘小实蝇而言可能是劣质寄主的挥发物标志,橘小实蝇对该物质的利用可能是其在进化过程中形成的一种有利于种群繁衍的能力。但是,该物质是如何产生以及其对橘小实蝇产卵行为的驱避机制仍需探索。

橘小实蝇主要以雌成虫在果实上产卵、幼虫孵化取食果肉的方式为害,因此在农业防治中驱避橘小实蝇产卵是一项重要且有效的措施。本研究结果表明,较小浓度范围内辛酸乙酯对橘小实蝇的驱避活性随着浓度的提升而增强,且当浓度增加至一定程度时,其驱避活性增加并不显著,而寄主选择试验中使用的是涂抹法,在橘小实蝇实际防治中较难操作。因此,后续结合田间试验及实际生产成本测定辛酸乙酯的最适浓度,并且进一步探索一种更易于实际操作的使用方法。同时,辛酸乙酯是一种常见的挥发物,在开发为橘小实蝇产卵驱避剂的时候,如何减缓其挥发速率同样是一个重要的研究方向。

## 参 考 文 献 (References)

- Aketarawong N, Guglielmino CR, Karam N, Falchetto M, Manni M, Scolari F, Gomulski LM, Gasperi G, Malacrida AR. 2014. The oriental fruitfly *Bactrocera dorsalis* s. s. in East Asia: disentangling the different forces promoting the invasion and shaping the genetic make-up of populations. *Genetica*, 142(3): 201–213
- Benelli G, Canale A. 2013. Do tephritid-induced fruit volatiles attract males of the fruit flies parasitoid *Psytalia concolor* (Szépligeti) (Hymenoptera: Braconidae)? *Chemoeology*, 23(3): 191–199
- Cai PM, Song YZ, Huo D, Lin J, Zhang HM, Zhang ZH, Huang FM, Xiao CM, Ji QE. 2020. Chemical cues mediating behavioral and electrophysiological responses of *Fopius arisanus* (Hymenoptera: Braconidae): the role of herbivore-induced plant volatiles. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(4): 5475–5489
- Cheng DF, Guo ZJ, Riegler M, Xi ZY, Liang GW, Xu YJ. 2017. Gut symbiont enhances insecticide resistance in a significant pest, the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Microbiome*, 5(1): 13
- Cheseto X, Kachigamba DL, Ekesi S, Ndung'u M, Teal PEA, Beck JJ, Torto B. 2017. Identification of the ubiquitous antioxidant tripeptide glutathione as a fruit fly semiochemical. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(39): 8560–8568
- Cossé AA, Todd JL, Millar JG, Martínez LA, Baker TC. 1995. Electroantennographic and coupled gas chromatographic-electroantennographic responses of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, to male-produced volatiles and mango odor. *Journal of Chemical Ecology*, 21(11): 1823–1836
- Cruz-López L, Malo EA, Rojas JC. 2015. Sex pheromone of *Anastrepha striata*. *Journal of Chemical Ecology*, 41(5): 458–464
- Díaz-Santiz E, Rojas JC, Cruz-López L, Hernández E, Malo EA. 2016. Olfactory response of *Anastrepha striata* (Diptera: Tephritidae) to guava and sweet orange volatiles. *Insect Science*, 23(5): 720–727
- Fang XJ, Yan ZH, Zhang JL, Zhu WL, Zhang WH, Yue R, Jiang XL, Wu H, Chen GH, Tao M. 2017. The characteristics of oviposition and population dynamics of *Bactrocera dorsalis* in different fruit orchards in Mengzi. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 32(2): 212–217 (in Chinese) [方薛交, 闫振华, 张金龙, 朱文禄, 张文华, 岳蕊, 蒋小龙, 吴浩, 陈国华, 陶玫. 2017. 桔小实蝇成虫对不同水果的产卵为害特点及种群动态. 云南农业大学学报(自然科学), 32(2): 212–217]
- Feng Y, Bruton R, Park A, Zhang AJ. 2018. Identification of attractive blend for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*, from apple juice. *Journal of Pest Science*, 91(4): 1251–1267
- Gong TR. 2012. Host selection of *Carposina niponensis* Wals. Master thesis. Yangling: Northwest A&F University (in Chinese) [宫田睿. 2012. 桃小食心虫寄主选择性研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学]
- Gripenberg S, Mayhew PJ, Parnell M, Roslin T. 2010. A meta-analysis of preference-performance relationships in phytophagous insects. *Ecology Letters*, 13(3): 383–393
- Gu XH, Cai PM, Yang QY, Ji QG, Chen JH. 2017. Behavioral responses of *Fopius arisanus* (Sonan) (Hymenoptera: Braconidae) to volatiles from fruits infested by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) and analysis of volatile components. *Journal of Environmental Entomology*, 39(4): 820–829 (in Chinese) [谷小红, 蔡普默, 杨晴阳, 季清娥, 陈家骅. 2017. 阿里山潜蝇茧蜂对橘小实蝇危害诱导水果挥发物的行为反应及主要成分分析. 环境昆虫学报, 39(4): 820–829]
- Jin MJ, Fan YJ, Teng ZW, Tan XM, Zhu YF, Guo Y, Jin J, Wan FH, Zhou HX. 2021. Chemical control measures and drug resistance management of *Bactrocera dorsalis*. *Agrochemicals*, 60(1): 1–5, 13 (in Chinese) [金梦娇, 范银君, 滕子文, 谭秀梅, 朱雁飞, 郭怡, 金静, 万方浩, 周洪旭. 2021. 桔小实蝇的化学防治措施及抗药性治理. 农药, 60(1): 1–5, 13]
- Jin T, Zeng L, Lin YY, Lu YY, Liang GW. 2011. Insecticide resistance of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in mainland China. *Pest Management Science*, 67(3): 370–376
- Larson NR, Strickland J, Shields VDC, Zhang AJ. 2020. Controlled-release dispenser and dry trap developments for *Drosophila suzukii* detection. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8: 45
- Li DY. 2014. Effects of volatiles from peach and plum on host location

- of the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (Guenée). Master thesis. Beijing: Beijing University of Agriculture (in Chinese) [李得宇. 2014. 桃和李子挥发物对桃蛀螟的引诱作用. 硕士学位论文. 北京: 北京农学院]
- Li HJ, Ren L, Xie MX, Gao Y, He MY, Hassan B, Lu YY, Cheng DF. 2020. Egg-surface bacteria are indirectly associated with oviposition aversion in *Bactrocera dorsalis*. *Current Biology*, 30(22): 4432–4440
- Li S, Zhao J, Zhang XM, Wang WJ, Luo C, Wang S. 2016. Behavioral responses of *Bemisia tabaci* MED to 13 plant volatiles. *Journal of Plant Protection*, 43(1): 105–110 (in Chinese) [李姝, 赵静, 张晓曼, 王文君, 罗晨, 王甦. 2016. 烟粉虱 MED 隐种对 13 种植物挥发性物质的行为反应. 植物保护学报, 43(1): 105–110]
- Li ZW, Liu JL, Xiong T, Zeng XN. 2017. *Aloe vera* L. extracts repel oviposition by the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 468–474 (in Chinese) [李智伟, 刘家莉, 熊婷, 曾鑫年. 2017. 芦荟提取物对桔小实蝇产卵驱避活性研究. 应用昆虫学报, 54(3): 468–474]
- Liu H, Hou BH, Zhang C, He RR, Liang F, Guo MF, Wu MT, Zhao JP, Ma J. 2014. Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits. *Acta Ecologica Sinica*, 34(9): 2274–2281 (in Chinese) [刘慧, 侯柏华, 张灿, 何日荣, 梁帆, 郭明昉, 武目涛, 赵菊鹏, 马骏. 2014. 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性. 生态学报, 34(9): 2274–2281]
- Ma K, Zhang RP, Gu C, Yin JL, Hu RQ, Li JG, Luo S. 2015. Comparative analysis of volatile component of langon fruit. *Journal of Environmental Entomology*, 37(1): 199–205, 162 (in Chinese) [马锶, 张瑞萍, 谷超, 尹君乐, 胡锐清, 李建国, 罗诗. 2015. 龙眼果实挥发性成分比较分析. 环境昆虫学报, 37(1): 199–205, 162]
- Mo RJ, Ouyang Q, Zhong BE, Wu WJ. 2014. Attractiveness of durian fruit volatiles to *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1336–1342 (in Chinese) [莫如江, 欧阳倩, 钟宝儿, 吴伟坚. 2014. 榴莲果肉挥发物对橘小实蝇雄虫的引诱作用. 应用昆虫学报, 51(5): 1336–1342]
- Ou JF, Huang H, Xu JL, Han SC, Wu H. 2005. Repellency of *Mikania micrantha* against *Bactrocera dorsalis*. *Natural Enemies of Insects*, 27(4): 183–187 (in Chinese) [欧剑峰, 黄鸿, 徐洁莲, 韩诗畴, 吴华. 2005. 薇甘菊对桔小实蝇的驱避试验初报. 昆虫天敌, 27(4): 183–187]
- Refsnider JM, Janzen FJ. 2010. Putting eggs in one basket: ecological and evolutionary hypotheses for variation in oviposition-site choice. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41: 39–57
- Shi QX, Luo QH, Zhao L, Zhou ZX, He GQ, Wei W. 2015. Extraction and identification of maize volatiles and cuticular volatiles of larval *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) related to host habitat location and host location of parasitic wasp *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae). *Acta Entomologica Sinica*, 58(3): 244–255 (in Chinese) [石庆型, 罗庆怀, 赵龙, 周正湘, 何广全, 韦卫. 2015. 与中红侧沟茧蜂生境与寄主定位相关的玉米及棉铃虫幼虫体表挥发性成分的提取与鉴定. 昆虫学报, 58(3): 244–255]
- Shi W, Liu H, Ye H. 2010. Behavioral response of *Bactrocera dorsalis* to five kinds of odor volatile of mango. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(2): 318–321 (in Chinese) [施伟, 刘辉, 叶辉. 2010. 桔小实蝇对五种芒果气味挥发性物质的行为反应. 昆虫知识, 47(2): 318–321]
- Sun XX, Zhang XG, Li X, Dou YC, Dong WX. 2018. Effects of leaf volatiles from blue gum *Eucalyptus globulus* on oviposition choices of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*. *Journal of Plant Protection*, 45(3): 576–584 (in Chinese) [孙小旭, 张秀歌, 李祥, 窦元春, 董文霞. 2018. 蓝桉叶片挥发物对棉铃虫产卵选择行为的影响. 植物保护学报, 45(3): 576–584]
- Toledo J, Malo EA, Cruz-López L, Rojas JC. 2009. Field evaluation of potential fruit-derived lures for *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 102(6): 2072–2077
- Vaničková L, do Nascimento RR, Hoskovec M, Ježková Z, Břizová R, Tomčala A, Kalinová B. 2012. Are the wild and laboratory insect populations different in semiochemical emission? The case of the medfly sex pheromone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(29): 7168–7176
- Wang YZ, Ling B, Lu YY, Zeng L, Xu YJ. 2010. Oviposition deterrent effects of several plant essential oils on *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Journal of South China Agricultural University*, 31(2): 22–27 (in Chinese) [王玉赞, 凌冰, 陆永跃, 曾玲, 许益鏊. 2010. 几种植物精油对桔小实蝇的产卵忌避作用. 华南农业大学学报, 31(2): 22–27]
- Xu YJ, Zeng L, Lu YY, Lin JT. 2005. Ovipositional selection of the *Bactrocera dorsalis* (Hendel) to the different fruits. *Journal of Huazhong Agricultural*, 24(1): 25–26 (in Chinese) [许益鏊, 曾玲, 陆永跃, 林进添. 2005. 桔小实蝇对不同水果产卵的选择性. 华中农业大学学报, 24(1): 25–26]
- Yuan SY, Xiao C, Kong Q, Chen B, Li ZY, Gao YH. 2005. Oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* Hendel. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 27(1): 81–84 (in Chinese) [袁盛勇, 肖春, 孔琼, 陈斌, 李正跃, 高永红. 2005. 桔小实蝇的产卵选择性. 江西农业大学学报, 27(1): 81–84]
- Zhou SY, Liu ZL, Long X, Tang WZ, Fang R, Deng B, An ZY, Yao JY. 2020. Study on occurrence regularity and oviposition selectivity of *Bactrocera dorsalis* on wax apple. *South China Fruits*, 49(1): 65–69 (in Chinese) [周双云, 刘增亮, 龙兴, 唐文忠, 方仁, 邓彪, 安振宇, 尧金燕. 2020. 桔小实蝇在莲雾上的发生规律及产卵选择性研究. 中国南方果树, 49(1): 65–69]

(责任编辑:张俊芳)