

九种寄主植物挥发物对橘小实蝇雌虫的田间引诱效果*

刘美竹^{1**} 方芳¹ 周典¹ 余代宏² 柯贤江^{1,3}
卯昇涛^{1,4} 王德海^{1,5***} 肖春^{1***}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南省元江县哈尼族彝族自治县植保植检站, 元江 653300;
3. 云南省永善县农业技术推广中心, 永善 657300; 4. 云南省昭通市昭阳区苹果产业发展中心,
昭通 657099; 5. 云南省植保植检站, 昆明 650034)

摘要 【目的】从9种寄主气味中筛选对橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 雌虫具有引诱效果的挥发性物质, 为橘小实蝇的绿色防治提供参考。【方法】将载有不同剂量(0.01、0.05和0.25 mg)的9种单一寄主植物挥发物(酯类: 丁酸乙酯、辛酸甲酯、辛酸乙酯; 萜烯类: β -石竹烯、 α -石竹烯、3-萜烯; 芳香族类: 苯乙醛、苯乙醇、苯甲酸乙酯)的棉芯分别固定在白色粘虫板上, 将粘虫板悬挂在芒果树上, 用于测试不同植物挥发物在元江县芒果园对橘小实蝇雌虫的诱集效果。在此基础上选取每种类别中引诱效果最好的物质按照正交实验 $L_9(3^3)$ 进行混配, 测定不同配比的三元混合物对雌虫的诱集效果, 并测试清除落果对三元混合物诱集雌虫效果的影响。【结果】在单一物质的诱虫效果中, 酯类物质中以丁酸乙酯[剂量 0.05 mg, 诱虫量 (6.0 ± 2.1) 头/板/d]为佳, 萜烯类物质中以3-萜烯[剂量 0.05 mg, 诱虫量 (3.5 ± 2.1) 头/板/d]为佳, 芳香族类物质中以苯甲酸乙酯[剂量 0.05 mg, 诱虫量 (4.7 ± 2.0) 头/板/d]为佳。三元混合物中以丁酸乙酯+苯甲酸乙酯+3-萜烯[剂量 0.05 mg, 5:0.2:5, V/V/V]对橘小实蝇雌虫的诱集效果 $[(5.3 \pm 1.7)$ 头/板/d]最好。清理田间落果后可显著提高该三元混合物对雌虫的诱集量[剂量 0.25 mg, 诱虫量 (31.8 ± 6.0) 头/板/d]。【结论】三元混合物丁酸乙酯+苯甲酸乙酯+3-萜烯 [5:0.2:5, V/V/V]可作为一种有效的橘小实蝇雌虫引诱剂, 用于芒果园橘小实蝇的防治。

关键词 橘小实蝇; 寄主植物挥发物; 引诱; 雌虫

Attraction of female *Bactrocera dorsalis* to nine host plant volatiles

LIU Mei-Zhu^{1**} FANG Fang¹ ZHOU Dian¹ YU Dai-Hong² KE Xian-Jiang^{1,3}
MAO Sheng-Tao^{1,4} WANG Dei-Hai^{1,5***} XIAO Chun^{1***}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Plant Protection and Inspection Station, Yuanjiang County, Yuanjiang 653300, China;

3. Agro-Tech Extension Center, Yongshan County, Yongshan 657300, China;

4. Apple Industry Development Center, Zhaoyang District, Zhaotong City, Zhaotong 657099, China

5. Plant Protection and Inspection Station, Yunnan Province, Kunming 650034, China)

Abstract [Aim] To evaluate the attraction of female *Bactrocera dorsalis* to nine host plant volatiles, and develop an environmentally sustainable control technique for *B. dorsalis*. [Methods] Volatiles comprising esters (ethyl butyrate, methyl caprylate, ethyl caprylate), aromatics (β -caryophyllen, α -caryophyllene, 3-carene), and terpenes (phenylacetaldehyde, phenethyl alcohol, ethyl benzoate) from nine host plants were applied to cotton septa at concentrations of 0.01, 0.05, and 0.25 mg, respectively. The septa were then affixed to white sticky traps and hung in a mango tree. The response of female *B. dorsalis* to

*资助项目 Supported projects: 云南省科技厅重点科技专项 (202102AE090006)

**第一作者 First author, E-mail: 1025894353@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: ynwdeh@163.com; x.chun@163.com

收稿日期 Received: 2023-04-06; 接受日期 Accepted: 2023-05-26

each volatile was tested in the field in the mango orchards of Yuanjiang county. The volatiles with the maximum effect in each category were then combined in accordance with the orthogonal experiment $L_9(3^3)$. This was done to test the attractiveness of the tri-compound combination to the females at various ratios, and control for the influence of fallen fruits. **[Results]** Female *Bactrocera dorsalis* showed a significant attraction towards Ethyl butyrate [0.05 mg, (6.0 ± 2.1) ind./ trap/day], 3-carene [0.05 mg, (3.5 ± 2.1) ind./trap/day], and ethyl benzoate [0.05 mg, (4.7 ± 2.1) ind./trap/day]. The triple-compound mixture [ethyl butyrate + ethyl benzoate + 3-carene = 5 : 0.2 : 5 (V/V/V)] had the highest catch rate of females [0.05 mg, (5.3 ± 1.7) ind./trap/day]. Additionally, the removal of dropped fruits significantly increased the effectiveness of the mixture. **[Conclusion]** This study demonstrates the effectiveness of a triple-compound plant volatile mixture, consisting of ethyl butyrate, ethyl benzoate, and 3-carene, in attracting female *B. dorsalis*. This volatile mixture has potential to be incorporated into management strategies for the effective control of *B. dorsalis* in mango orchards.

Key words *Bactrocera dorsalis* (Hendel); host plant volatiles; lure; female

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是一种具有极大破坏性的多食性农业害虫, 可对芒果、苹果、火龙果等 450 多种水果和蔬菜造成危害 (Roh *et al.*, 2021), 其在云南、海南、广东等地区常年发生, 世代重叠。近年来橘小实蝇危害逐渐向北扩散, 在北京年发生 4 代, 在河北、山东等地也有发生 (王涤非, 2019)。对农业生产造成严重威胁, 现已成为制约我国水果种植业发展的重要害虫之一。

采用杀虫剂对橘小实蝇进行防治是目前的方法, 但随着杀虫剂的大量不合理使用, 橘小实蝇现已对多种药剂产生抗药性 (Jin *et al.*, 2011), 并可能对野生动物和人类健康产生不良影响。除此之外, 有研究采用性信息素甲基丁香酚 (Methyl eugenol, ME) 对橘小实蝇进行防治, ME 对橘小实蝇雄虫具有强烈的诱集效果, 但对雌虫没有引诱作用 (Manrakhan *et al.*, 2021), 但橘小实蝇以雌虫的产卵行为对果实进行危害, 且雄虫有多次交配的能力 (Shelly, 2000), 少量雄虫可使大量雌虫受孕, 故应用 ME 进行橘小实蝇防治具有一定的局限性。因此对雌虫进行防治在生产上意义重大, 可直接减少对果实的危害和消灭潜在的后代, 且成虫是橘小实蝇整个生活史中唯一裸露生活的虫态和种群繁衍的关键, 在此阶段进行防治比幼虫阶段更为直接。

植物合成释放的挥发性物质通过一系列复杂的酶促反应产生 (张杰等, 2023), 植物挥发物是昆虫选择寄主的重要信号, 在调节昆虫和植物之间的关系, 特别是在觅食和选择合适的交配

或产卵地点等生命活动中发挥着重要作用, 是植食性昆虫后代生存繁衍的必需条件 (Bruce *et al.*, 2005)。橘小实蝇具有广泛的多食性, 会被更广泛的寄主植物挥发物所吸引, 多种寄主植物混合的气味以特定比例混合将更有助于其进行定位 (Nigg *et al.*, 1994)。因此本研究从橘小实蝇寄主植物合成释放的挥发性物质出发, 筛选对雌虫具有诱集效果的物质并通过混配提高诱集效果, 为橘小实蝇雌虫的监测和防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间及地点

试验时间: 2021 年 7 月。

试验地点: 云南省元江县芒果园, $101^{\circ}98'E$, $23^{\circ}60'N$, 海拔 466.2 m 左右, 种植品种主要为“贵妃芒”、“台农”, 试验期间果园果树不喷洒任何农药, 果实处于成熟期, 树下存在大量落果, 树龄 10 余年, 高度 15 m 以上, 总面积约 9 hm^2 。

1.2 供试化合物

本研究供试标准化合物见表 1。

1.3 试验方法

1.3.1 溶液配置 用微量进样器分别取待测标准化合物 5、1 和 0.2 mg (表 1), 以乙酸乙酯 ($\geq 99.5\%$, 分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司) 为溶剂定容至 10 mL, 配成 0.5、0.1 和 0.02 mg/mL 的待测溶液, 冰箱 4 $^{\circ}C$ 保存, 备用。

表 1 供试标准化合物
Table 1 Standard compounds for testing

类别 Category	化合物名称 Compounds	CAS 号 CAS name	纯度 (%) Purity (%)	生产厂家 Manufacturer
芳香族 Terpenes	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	122-78-1	> 95	源叶生物 Yuanye Bio
	苯乙醇 Phenethyl alcohol	60-12-8	> 99	J&K
	苯甲酸乙酯 Ethyl benzoate	93-89-0	> 99	TCI
萜烯类 Aromatics	β -石竹烯 β -Caryophyllene	87-44-5	> 95	TCI
	α -石竹烯 α -Caryophyllene	6753-98-6	> 93	TCI
	3-萜烯 3-Carene	13466-78-9	> 90	Acros Organics
酯类 Esters	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	105-54-4	> 99	Acros Organics
	辛酸甲酯 Methyl caprylate	111-11-5	> 99	TCI
	辛酸乙酯 Ethyl caprylate	106-32-1	> 99	Sigma-Aldrich

混合组分: 按照 $L_9(3^3)$ 正交表所设定的比例 (表 2), 用乙酸乙酯为溶液配成不同比例 (V/V/V) 的 0.1 mg/mL 的三元混合溶液 10 mL; 在测定不同剂量三元混合物时, 用乙酸乙酯为溶液配成 0.5、0.1 和 0.02 mg/mL 的三元混合溶液 10 mL, 冰箱 4 ℃ 保存, 备用。

表 2 $L_9(3^3)$ 正交试验表
Table 2 $L_9(3^3)$ orthogonal experimental table

处理 Treatment	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	苯甲酸乙酯 Ethyl benzoate	3-萜烯 3-Carene
T ₁	5	5	0.2
T ₂	0.2	1	5
T ₃	5	0.2	5
T ₄	0.2	5	1
T ₅	1	5	5
T ₆	5	1	1
T ₇	1	1	0.2
T ₈	1	0.2	1
T ₉	0.2	0.2	0.2

表中数据为各物质的体积比 (V/V/V)。图 4 同。The data in the table are the volume ratios of each substance (V/V/V). The same for Fig.4.

1.3.2 单一种类植物挥发物对橘小实蝇的诱集效果测定 上午 9:00 前, 用微量进样器分别取 500 μ L 不同种类、不同剂量的待测溶液, 将待测溶液滴在棉芯 (直径 0.95 cm, 长 4 cm) 上, 之后将滴有不同种类、不同剂量待测溶液的白色粘虫板 (由昆明猎虫农业科技有限公司提供, 产品

规格为 25 cm×20 cm, 双面涂胶) 随机悬挂在无阳光直射、周围无树叶遮挡、距地面约 1.5 m 的果树枝条上, 每个粘虫板间距大于 15 m, 以滴加等量乙酸乙酯的白色粘虫板作为对照, 9 h 后记录粘虫板上雌虫数量, 试验设置 3 次重复, 重复 2 d。

1.3.3 不同配比三元混合物对橘小实蝇雌虫的诱集效果测定 根据 1.3.2 试验结果, 参照 1.3.2 试验方法, 将每个植物挥发物类别中引诱效果最佳的化合物, 作为三个因素, 以 0.2、1 和 5 作为三个水平, 设计 $L_9(3^3)$ 正交试验 (表 2), 测定不同比例的混合物 (500 μ L) 对橘小实蝇雌虫的诱集效果, 以等量丁酸乙酯作为对照。

1.3.4 清除田间落果对三元混合物引诱橘小实蝇雌虫效果的影响 根据 1.3.3 的试验结果, 参照 1.3.2 试验方法, 选取 2 个芒果园 (均为育种基地所属芒果园, 果园间距离约 150 m, 地势平坦, 种植密度相似, 试验期间未喷洒任何农药), 其中一个芒果园清除地面上的落果, 另一个果园不做任何处理, 分别在 2 个果园测定不同剂量 (0.01、0.05 和 0.25 mg) 的三元混合物 (500 μ L) 对橘小实蝇雌虫的诱集效果。

1.4 数据分析

采用 SPSS 25.0 软件处理数据, 采用方差分析 (Duncan's 新复极差法) 比较单一种类寄主植物挥发物、不同配比混合物差异的显著性, 用独立样本 t 检验 (Independent sample t -test) 比较清除田间落果和未清除田间落果之间差异的显

著性。

2 结果与分析

2.1 单一种类寄主植物挥发物对橘小实蝇雌虫的田间引诱效果

在所测的 3 种不同种类的酯类物质中, 以 0.05 mg 的丁酸乙酯对橘小实蝇雌虫的诱集效果最好, 诱虫量为 (6.0 ± 2.1) 头/板/d, 与空白对照之间存在显著性差异 ($F = 1.415$, $df = 9, 50$, $P < 0.05$), 其次是 0.05 mg 的丁酸甲酯, 诱虫数量为 (4.2 ± 1.9) 头/板/d, 但与空白对照之间无显著性差异 ($P > 0.05$) (图 1)。

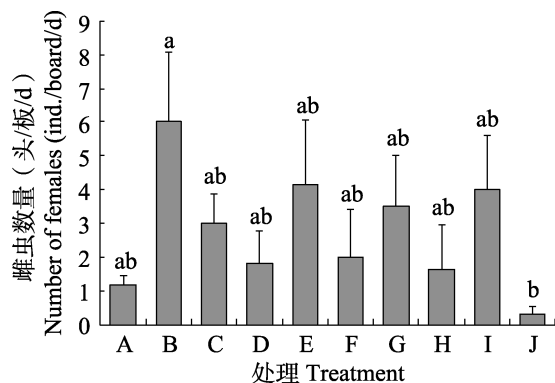


图 1 酯类化合物对橘小实蝇雌虫的田间引诱效果
Fig. 1 Attraction of ester compounds for female *Bactrocera dorsalis* in the fields

A: 0.01 mg 丁酸乙酯; B: 0.05 mg 丁酸乙酯; C: 0.25 mg 丁酸乙酯; D: 0.01 mg 辛酸甲酯; E: 0.05 mg 辛酸甲酯; F: 0.25 mg 辛酸甲酯; G: 0.01 mg 辛酸乙酯; H: 0.05 mg 辛酸乙酯; I: 0.25 mg 辛酸乙酯; J: 空白对照。

A: 0.01 mg ethyl butyrate; B: 0.05 mg ethyl butyrate; C: 0.25 mg ethyl butyrate; D: 0.01 mg methyl caprylate; E: 0.05 mg methyl caprylate; F: 0.25 mg methyl caprylate; G: 0.01 mg ethyl caprylate; H: 0.05 mg ethyl caprylate; I: 0.25 mg ethyl caprylate; J: Control.

数据为平均值 $\pm$ 标准误, 柱上不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平下, 各处理间存在显著性差异 (Duncan's 新复极差法)。图 2-图 4 同。

Data are mean $\pm$ SE, different lowercase letters above bars indicate significant difference between treatments at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

The same for Table 2-Table 4.

在所测的 3 种不同种类的萜烯类物质中, 以 0.05 mg 的 3-萜烯对橘小实蝇雌虫的诱集效果最好, 诱虫量为 (3.5 ± 2.1) 头/板/d, 与 0.25 mg

的 α -石竹烯对橘小实蝇雌虫的诱集效果之间存在显著性差异 ($F = 1.166$, $df = 9, 50$, $P < 0.05$), 但与空白对照之间无显著性差异 ($P > 0.05$); α -石竹烯随着剂量增大, 对橘小实蝇雌虫的诱集效果降低, 3 种剂量的 β -石竹烯对橘小实蝇雌虫的诱集效果相当 (图 2)。

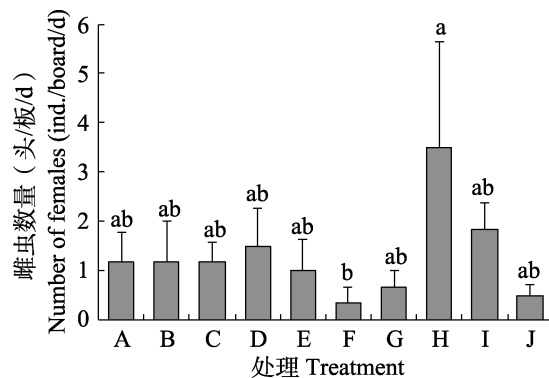


图 2 萜烯类化合物对橘小实蝇雌虫的田间引诱效果
Fig. 2 The attraction of terpene compounds for female *Bactrocera dorsalis* in the fields

A: 0.01 mg β -石竹烯; B: 0.05 mg β -石竹烯; C: 0.25 mg β -石竹烯; D: 0.01 mg α -石竹烯; E: 0.05 mg α -石竹烯; F: 0.25 mg α -石竹烯; G: 0.01 mg 3-萜烯; H: 0.05 mg 3-萜烯; I: 0.25 mg 3-萜烯; J: 空白对照。
A: 0.01 mg β -caryophyllene; B: 0.05 mg β -caryophyllene; C: 0.25 mg β -caryophyllene; D: 0.01 mg α -caryophyllene; E: 0.05 mg α -caryophyllene; F: 0.25 mg α -caryophyllene; G: 0.01 mg 3-carene; H: 0.05 mg 3-carene; I: 0.25 mg 3-carene; J: Control.

在所选择的 3 种芳香族类物质中 (图 3), 苯甲酸乙酯对橘小实蝇雌虫的诱集效果最好, 其中, 以 0.05 mg 的苯甲酸乙酯对橘小实蝇雌虫的诱集效果最好, 诱虫量为 (4.8 ± 2.0) 头/板/d, 其次为 0.25 mg 的苯甲酸乙酯, 诱虫量为 (4.7 ± 1.4) 头/板/d, 再次为 0.01 mg 的苯甲酸乙酯, 诱虫量为 (4.5 ± 1.3) 头/板/d, 三者之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。不同剂量的苯甲酸乙酯与 0.01 mg 苯乙醛、不同剂量的苯乙醇以及空白对照之间存在显著性差异 ($F = 3.386$, $df = 9, 50$, $P < 0.05$)。

2.2 不同种类寄主植物挥发物混配对橘小实蝇雌虫的田间引诱效果

不同配比的混合物中以处理 3 对橘小实蝇雌虫的诱集效果最好, 诱虫量为 (5.3 ± 1.7) 头/

板/d, 与处理 4 和处理 6 之间存在显著性差异 ($F=1.015$, $df=9,50$, $P<0.05$), 其次为处理 1, 诱虫量为 (3.2 ± 1.7) 头/板/d (图 4)。

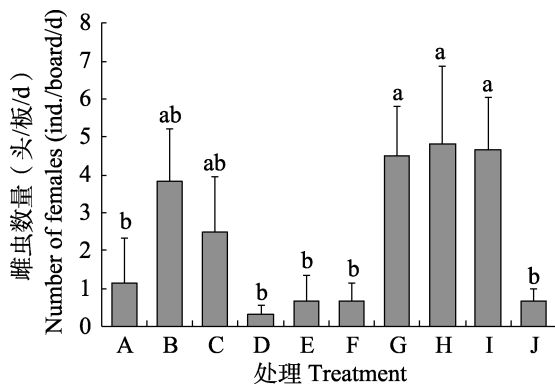


图 3 芳香族类化合物对橘小实蝇雌虫的田间引诱效果
Fig. 3 The attraction of aromatic compounds for female *Bactrocera dorsalis* in the fields

A: 0.01 mg 苯乙醛; B: 0.05 mg 苯乙醛; C: 0.25 mg 苯乙醛; D: 0.01 mg 苯乙醇; E: 0.05 mg 苯乙醇; F: 0.25 mg 苯乙醇; G: 0.01 mg 苯甲酸乙酯; H: 0.05 mg 苯甲酸乙酯; I: 0.25 mg 苯甲酸乙酯; J: 空白对照。

A: 0.01 mg phenylacetaldehyde; B: 0.05 mg phenylacetaldehyde; C: 0.25 mg phenylacetaldehyde; D: 0.01 mg phenethyl alcohol; E: 0.05 mg phenethyl alcohol; F: 0.25 mg phenethyl alcohol; G: 0.01 mg ethyl benzoate; H: 0.05 mg ethyl benzoate; I: 0.25 mg ethyl benzoate; J: Control.

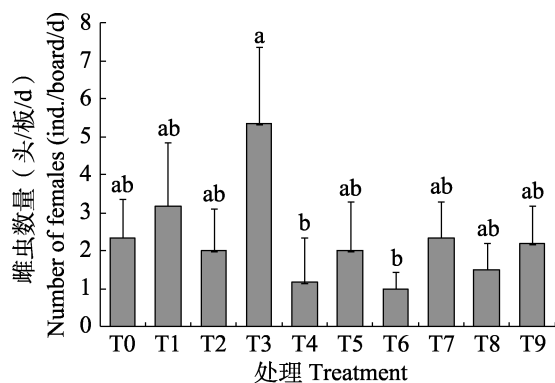


图 4 不同配比的混合物对橘小实蝇雌虫的田间引诱效果

Fig. 4 The attraction of mixtures with different ratios for female *Bactrocera dorsalis* in the field

T0 为丁酸乙酯。T0 is the ethyl butyrate.

2.3 清除田间落果对三元混合物引诱橘小实蝇雌虫效果的影响

通过比较清除田间落果和未清除田间落果

的果园中三元混合物对橘小实蝇雌虫的诱集效果发现, 清除田间落果后的果园中三元混合物的诱集效果显著提高, 3 种不同剂量三元混合物 (0.01、0.05 和 0.25 mg) 在清理落果的果园中橘小实蝇雌虫诱虫量分别为 (30.5 ± 3.3)、(25.8 ± 4.3) 和 (31.8 ± 6.0) 头/板/d, 极显著高于未清除田间落果果园中所诱集的橘小实蝇雌虫数量 (0.01 mg: $t=4.549$, $df=6$, $P<0.01$; 0.05 mg: $t=3.656$, $df=6$, $P<0.01$; 0.25 mg: $t=4.246$, $df=6$, $P<0.01$) (图 5)。

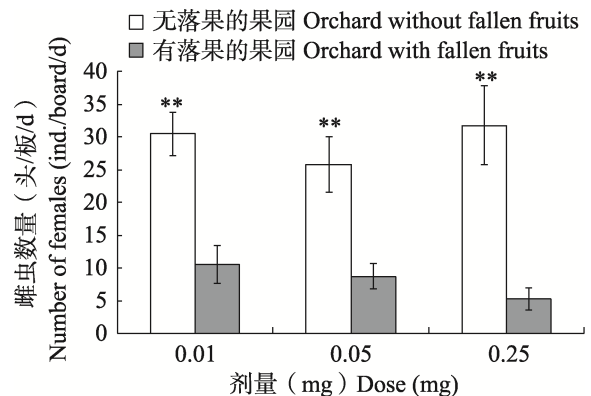


图 5 清理落果对三元混合物诱雌效果的影响
Fig. 5 The effect of clearing fallen fruits on the female attraction of triple-compound mixtures

**表示清除落果与未清除落果之间存在极显著性差异 ($P<0.01$, t 检验)。

** indicate extremely significant difference between orchard with fallen fruits and orchard without fallen fruits ($P<0.01$, t -test).

3 讨论

作为一种绿色、安全的对害虫进行防治的方法, 基于寄主植物挥发物的害虫引诱技术是目前研究的热点, 寄主植物挥发物的种类、含量、相对比例、浓度变化和释放量等均会影响对目标害虫的诱集效果。本研究在田间测定不同剂量的 9 种寄主植物挥发物对橘小实蝇雌虫的诱集效果。结果显示, 不同种类的单一组分寄主植物挥发物引诱作用存在差异, 在所选的酯类、萜烯类、芳香族类物质中分别以丁酸乙酯、3-萜烯、苯甲酸乙酯对橘小实蝇的雌虫引诱效果较好, 3 种不同类别物质中以酯类的诱集效果最好。

昆虫对每种挥发物的反应有不同的反应阈值, 只有挥发物达到特定浓度才能起到作用, 昆虫的嗅觉行为反应会因物质的浓度或剂量的变化而改变, 通过田间试验所测的 9 种植物挥发物中丁酸乙酯、辛酸甲酯、3-萜烯和苯乙醛、苯甲酸乙酯 5 种物质均在 0.05 mg 时对橘小实蝇雌虫的诱集效果最好, 而 0.25 mg 的 α -石竹烯和 0.01、0.05 和 0.25 mg 的苯乙醇与空白对照相比对橘小实蝇雌虫诱集效果下降。有研究表明, 果实中较低浓度的 β -石竹烯 (150.8-172.1 $\mu\text{g/g}$) 可以吸引橘小实蝇前来产卵, 相较之下, 较高浓度的 β -石竹烯会使雌虫产卵量显著降低, 产生“厌恶性”产卵行为 (Li *et al.*, 2020); 寄主植物挥发物在低剂量对斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* 具有诱集效果, 高剂量则表现为驱避效果 (Liu *et al.*, 2021)。

寄主植物挥发物种类多样且组成成分复杂, 而昆虫的定位需要多个活性成分按照特定比例组成的混合物 (Nojima *et al.*, 2003; Bruce *et al.*, 2005; Tasin *et al.*, 2007), 宋晓兵等 (2019) 发现九里香挥发物 β -石竹烯 : D-柠檬烯 : 芳樟醇 (3 : 3 : 1) 混合时对柑橘木虱的引诱率显著优于其他混剂, 本研究通过正交实验设计将 3 种物质按照不同比例进行混配, 发现三元混合物丁酸乙酯 + 苯甲酸乙酯 + 3-萜烯在 5 : 5 : 0.2 和 5 : 0.2 : 5 (V/V/V) 时, 相比较单一一种物质 (丁酸乙酯) 对橘小实蝇雌虫的引诱效果起到增效作用, 而以其他比例混合时对雌虫的引诱效果下降。

田间背景气味通过干扰昆虫对寄主植物挥发物的嗅觉定向而影响昆虫对寄主植物的选择, 往往会出现室内研究结果和田间研究结果相矛盾的问题, 使田间的引诱效果不够理想。将 2 种对茶小绿叶蝉 *Empoasca onukii* 在室内引诱效果强于茶树挥发物的植物源性引诱剂用于田间测定, 其中一种混合物的主要成分与茶园背景气味重叠, 在田间茶小绿叶蝉没有引诱效果 (Cai *et al.*, 2017); 在使用酒、醋混合液防治斑翅果蝇时, 在酒、醋混合液添加甲硫醇、乳酸乙酯和乙酸-2-甲基丁酯时出现室内结果不一致的问题 (Cha *et al.*, 2012); 在使用二元和七元 2 种引

诱剂测定对苹果果蛾 *Argyresthia conjugella* 的诱集效果时发现, 在室内 2 种引诱剂诱集效果相当, 但在田间试验时二元引诱剂引诱效果减弱, 七元混合物仍然具有较好的引诱效果 (Knudsen *et al.*, 2015)。本研究比较了清除落果和未清理落果果园中三元混合物的诱集效果, 发现清理落果后的果园中三元混合物对诱雌效果提高约 3 倍, 清理落果既能有效减少子代数量从而控制田间实蝇种群数量 (叶文丰等, 2013), 还能减少背景气味对植物源性引诱剂诱雌效果的影响, 使引诱剂更进一步发挥作用。因此, 清理落果是高效防治橘小实蝇的重要前提。

综上, 三元混合物丁酸乙酯 + 苯甲酸乙酯 + 3-萜烯 (5 : 0.2 : 5, V/V/V) 对橘小实蝇雌虫有较好的诱集效果。后续研究: 混合物在其他背景条件下可能会有不同的诱集效果, 还需进一步在不同果园测定该三元混合物对橘小实蝇雌虫的诱集效果, 以更好地用于橘小实蝇雌虫的监测和防治; Teixeira 等 (2009) 发现, 樱桃园中樱桃实蝇 *Rhagoletis cingulata* 性成熟期通常和果实成熟期保持同步, 如何在果实成熟前对性未成熟或待交配雌虫进行诱杀防治, 这对橘小实蝇 IPM 的意义重大。

参考文献 (References)

- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2005. Insect host location: A volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10(6): 269–274.
- Cai XM, Bian L, Xu XX, Luo ZX, Li ZQ, Chen ZM, 2017. Field background odour should be taken into account when formulating a pest attractant based on plant volatiles. *Scientific Reports*, 7: 41818.
- Cha DH, Adams T, Rogg H, Landolt PJ, 2012. Identification and field evaluation of fermentation volatiles from wine and vinegar that mediate attraction of spotted wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*. *Journal of Chemical Ecology*, 38(11): 1419–1431.
- Jin T, Zeng L, Lin YY, Lu YY, Liang GW, 2010. Insecticide resistance of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in mainland China. *Pest Management Science*, 67(3): 370–376.
- Knudsen GK, Tasin M, 2015. Spotting the invaders: A monitoring system based on plant volatiles to forecast apple fruit moth attacks in apple orchards. *Basic and Applied Ecology*, 16(4):

- 354–364.
- 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.
- Liu Y, Cui ZH, Shi M, Kenis M, Dong WX, Zhang F, Zhang JP, Xiao C, Chen L, 2021. Antennal and behavioral responses of *Drosophila suzukii* to volatiles from a non-crop host, *Osyris wightiana*. *Insects*, 12(2): 166.
- Manrakhan A, Daneel JH, Beck R, Love CN, Gilbert MJ, Virgilio M, De Meyer M, 2021. Effects of male lure dispensers and trap types for monitoring of ceratitis capitata and *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Pest Management Science*, 77(5): 2219–2230.
- Nigg HN, Mallory LL, Simpson SE, Callahan SB, Toth JP, Fraser S, Klim M, Nagy S, Nation JL, Attaway JA, 1994. Caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa* (Loew), attraction to host fruit and host kairomones. *Journal of Chemical Ecology*, 20(3): 727–743.
- Nojima S, Linn C Jr, Morris B, Zhang AJ, Roelofs W, 2003. Identification of host fruit volatiles from hawthorn (*Crataegus* spp.) attractive to hawthorn-origin *Rhagoletis pomonella* flies. *Journal of Chemical Ecology*, 29(2): 321–336.
- Roh GH, Kendra PE, Cha DH, 2021. Preferential attraction of oviposition ready oriental fruit flies to host fruit odor over protein food odor. *Insects*, 12(10): 909.
- Shelly TE, 2000. Flower-feeding affects mating performance in male oriental fruit flies *Bactrocera dorsalis*. *Ecological Entomology*, 25(1): 109–114.
- Song XB, Peng AT, Cui YP, Ling JF, Cheng BP, Chen X, 2019. Trapping effects of *Murraya exotica* volatiles on Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* and mixed screening test. *Journal of Plant Protection*, 46(3): 589–594. [宋晓兵, 彭埃天, 崔一平, 凌金锋, 程保平, 陈霞, 2019. 九里香挥发物对柑橘木虱的引诱效果及混配筛选试验. 植物保护学报, 46(3): 589–594.]
- Tasin M, Bäckman AC, Coracini M, Casado D, Ioriatti C, Witzgall P, 2007. Synergism and redundancy in a plant volatile blend attracting grapevine moth females. *Phytochemistry*, 68(2): 203–209.
- Teixeira LAF, Gut LJ, Isaacs R, Alston DG, 2009. Reproductive maturity of cherry fruit fly (Diptera: Tephritidae) in managed and natural habitats. *Environmental Entomology*, 38(4): 955–961.
- Wang DF, 2019. Causes of damage area northward migration of *Bactrocera dorsalis* and its prevention and control measures. *China Fruits*, 2019(3): 102–104. [王涤非, 2019. 橘小实蝇危害区域北移的原因及防控对策. 中国果树, 2019(3): 102–104.]
- Ye WF, Li L, Xie CW, Dong WX, Xiao C, 2013. The effectiveness of removing fallen fruit on control of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and evaluation of the infestation rate of this pest in five mango varieties. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 1126–1132. [叶文丰, 李林, 谢长伟, 董文霞, 肖春, 2013. 橘小实蝇对五个芒果品种的产卵偏好及清理落果防治效果研究. 应用昆虫学报, 50(4): 1126–1132.]
- Zhang J, Zhang Y, Liu W, Yan SC, Wang GR, 2023. Chemical communication mechanism and strategy for attractant development in *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Acta Entomologica Sinica*, 66(1): 108–120. [张杰, 张艳, 刘伟, 严善春, 王桂荣, 2023. 橘小实蝇化学通讯机制与引诱剂开发策略. 昆虫学报, 66(1): 108–120.]