

不同生理状态的番石榴实蝇 对寄主气味的行为反应*

张小娇^{1**} 钱 诚¹ 杨六三¹ 刘洪翠² 李成云¹ 董文霞^{1***}

(1. 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201;

2. 云南省永善县农业农村局, 永善 657300)

摘 要 【目的】探究番石榴果实气味对番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* 行为的影响, 为番石榴实蝇的化学生态防治提供理论依据。【方法】利用风洞观察箱观察性未成熟、性成熟未交配和交配 3 种不同生理状态的番石榴实蝇雌、雄成虫对单个番石榴果实气味的定向反应, 对不同生理状态的雌、雄虫的飞行速度进行了分析。【结果】番石榴果实气味对不同生理状态的番石榴实蝇雌雄成虫均能产生显著的引诱效果, 交配雌虫降落到气味源的数量最多, 其次是性成熟未交配的雄虫, 性未成熟的雄虫降落数最少。不同生理状态下的番石榴实蝇雌雄成虫逆风飞行的速度均显著高于空白对照, 性成熟的番石榴实蝇雌成虫的逆风飞行速度均高于雄成虫。【结论】不同生理状态的番石榴实蝇雌雄虫对寄主番石榴气味具有不同的敏感性和选择性, 已交配雌虫反应最强, 其次是性成熟未交配的雄虫, 性未成熟的雄虫的反应最弱。

关键词 番石榴实蝇; 番石榴气味; 风洞; 生理状态; 行为反应

Behavioral responses of sexually immature, mature virgin, and mated, guava fruit flies to host plant odor

ZHANG Xiao-Jiao^{1**} QIAN Cheng¹ YANG Liu-San¹
LIU Hong-Cui² LI Cheng-Yun¹ DONG Wen-Xia^{1***}

(1. National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Agricultural and Rural Bureau of Yongshan County in Yunnan Province, Yongshan 657300, China)

Abstract [Objectives] The effect of guava fruit odor on the behavior of the guava fruit fly, *Bactrocera correcta* was measured in order to provide theoretical basis for the chemical ecological control of this species. [Methods] The behavioral responses and flight speeds of sexually immature, mature virgin, and mated, male and female fruit flies to guava fruit odor were investigated in a wind tunnel. [Results] Guava fruit odor attracted fruit flies in all three stages of reproductive development. The majority of fruit flies that landed on the odor source were mated females, followed by mature virgin males. Sexually immature males were the least attracted to the odor source. Compared to the control (no odor), fruit flies in all three stages of reproductive development increased their flight speeds when exposed to guava odor. Mature females flies flew faster than mature males. [Conclusion] The attractiveness of guava odor to *B. correcta* varies with the reproductive status of these fruit flies. Mated females are most strongly attracted by guava odor, followed by mature virgin males, whereas immature males are less attracted.

Key words *Bactrocera correcta*; guava fruit volatiles; wind tunnel; physiological states; behavioral response

*资助项目 Supported projects: “十三五”国家重点研发计划项目课题 (2017YFD0200400)

**第一作者 First author, E-mail: zhangxiaojiaoxwg@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: dongwenxia@163.com

收稿日期 Received: 2019-12-02; 接受日期 Accepted: 2019-12-26

番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* 目前主要分布于印度、巴基斯坦、尼泊尔、斯里兰卡、泰国、缅甸、越南和中国 (Drew and Raghu, 2002; Weems and Fasulo, 2002)。在中国, 番石榴实蝇主要发生在云南、台湾、四川、贵州等地 (Liu *et al.*, 2013; 王涛等, 2015)。由于其环境适应性强、传播扩散速度快、生活周期短、危害严重, 被许多国家列为检疫性害虫 (Liu *et al.*, 2013; IPPC, 2013)。目前, 番石榴实蝇危害热带和亚热带地区 30 个科的 60 多种水果和蔬菜, 如番石榴、芒果、樱桃、红枣、柑橘和辣椒等 (Allwood *et al.*, 1999)。在中国, 给番石榴的生产造成了巨大的经济损失 (Liu *et al.*, 2013)。

大量研究表明, 番石榴果实气味对多种实蝇具有引诱作用。早在 1995 年, Jang 就观察到, 地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 雌虫会被成熟番石榴的气味强烈吸引。番石榴果实气味对昆士兰实蝇 *Bactrocera tryoni*、橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*、番石榴实蝇 *B. correcta* 都具有引诱效果 (刘桂清等, 2010; 王泽槐等, 2010; 马镛等, 2011; Lloyd *et al.*, 2013; Cunningham *et al.*, 2016; Jaleel *et al.*, 2019)。

已有研究表明, 植物挥发物对实蝇的引诱效果会因其性别和生理状态 (性未成熟、性成熟未交配、已交配) 的不同而不同。黄瓜挥发物对瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* 雌虫的引诱效果更好 (Siderhurst *et al.*, 2010; Jang *et al.*, 2017)。番茄实蝇 *Neoceratitis cyanescens* 的交配雌虫对寄主植物叶片挥发物的趋性比性未成熟和性成熟未交配的雌虫更强 (Brévault and Quilici, 2007)。橘小实蝇性成熟的成虫对高浓度番石榴挥发性化合物反应强, 性未成熟成虫对低浓度的挥发性化合物反应强 (马镛等, 2011)。成熟的番石榴果实挥发物吸引了更多的昆士兰实蝇交配雌虫 (Cunningham *et al.*, 2016)。

寄主植物挥发物对番石榴实蝇的影响, 目前只对交配雌虫做了研究, 并没有涉及不同生理状态的成虫。已有的报道是通过 Y 型嗅觉仪测试番石榴实蝇交配雌虫对番石榴果实挥发物的反应 (Jaleel *et al.*, 2019)。Y 型嗅觉仪空间狭小,

对于飞行能力强的昆虫活动范围受限, 因此不适合实蝇的行为测定, 利用风洞测试更为合理 (Epsky *et al.*, 2014)。

不同生理状态的实蝇成虫对来自寄主的气味具有不同的敏感性和选择性。根据这一特点, 可以通过明确不同生理状态的成虫对寄主的不同选择性, 对其开发和应用不同的诱剂, 使诱剂的准确性更高。本文旨在利用风洞技术, 在室内测试不同生理状态的番石榴实蝇对番石榴果实气味的行为反应, 以及分析番石榴实蝇在定向行为反应中的飞行速度, 以期明确番石榴果实气味在不同生理状态的番石榴实蝇寄主定向过程中的作用, 为番石榴实蝇的化学生态防治提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试寄主

白心番石榴, 品种为“珍珠”, 购买自广西省玉林县。选取大小一致的成熟果, 清水冲洗, 并用滤纸擦拭表面水分后待用。

1.2 供试昆虫

番石榴实蝇幼虫于 2017 年 5 月采自云南省元江县芒果园。并于 2018 年 6 月进行种群复壮。番石榴实蝇的饲养采用人工饲料与寄主水果结合的方法, 羽化的成虫置于有机玻璃箱 (38 cm × 38 cm × 38 cm) 中, 用酵母和葡萄糖 (比例 1 : 5 w/w) 的混合物作为人工饲料饲养, 同时在玻璃烧杯中装入水以提供水源, 并在玻璃烧杯上覆盖塑料泡沫和纱布, 以避免成虫落入水中被淹死; 芒果则用于雌虫产卵和幼虫生长发育。室内饲养条件: 温度为 (29±1) °C, RH = 30%-50%, L : D = 14 : 10 (光期: 8:00-22:00, 暗期: 22:00-次日 8:00)。实验时, 为获得未交配的雌、雄虫, 将 24 h 内羽化的雌、雄虫分别放入尼龙纱笼 (15 cm × 15 cm × 15 cm) 中, 并分别提供人工饲料和水, 直至达到实验所需的日龄。将性成熟的雌、雄虫放入同一个尼龙纱笼 (15 cm × 15 cm × 15 cm) 中, 并提供人工饲料和水, 以获得交配的雌、雄虫。实验选取性未成熟雌、雄虫, 性成

熟未交配雌、雄虫和交配雌、雄虫。

1.3 风洞测试

风洞采用的是 Noldus 公司的风洞观察箱，构造如图 1 所示。风洞参数：风洞系统由鼓风机装置、整流装置、气味释放仓、飞行运动观察仓等组成；鼓风机装置有调速功能和数字显示系统；飞行运动观察仓外观尺寸为 150 cm×60 cm×60 cm；风洞顶端为透明材质；风洞两侧壁及底部面板选用红外光吸收材质；风洞底端具有方便释放昆虫的端口；红外光源可提供风洞内部照明；配有红外线模拟信号摄像头，具备同步锁功能，视频输出信号为 PAL 制式黑白图像，分辨率不低于 704 P×576 P。

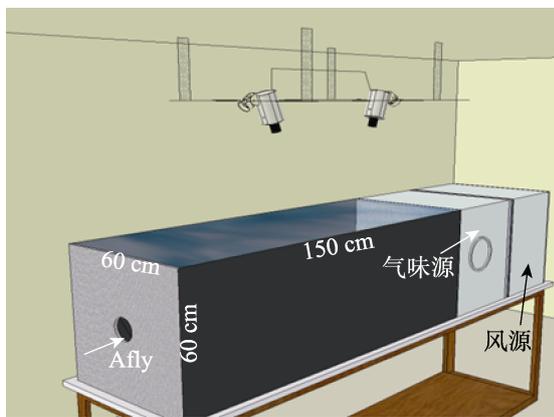


图 1 风洞构造

Fig. 1 Diagram of wind tunnel

测试前，室内通气 30 min，风洞内通气 30 min。风洞测定的风速为 19 cm/s。番石榴成熟果实为气味源，以干净的玻璃容器为底座，将装有番石榴的培养皿置于气味仓中有孔铁窗的中间位置。测试时，在距离气味源 150 cm 的下风口释放番石榴实蝇，单头引入，释放的同时开始录制视频。在 5 min 内观察番石榴实蝇的选择反应，若 5 min 内实蝇逆风上行 60 cm 以上，则记为对该气味源有选择反应；若 5 min 内实蝇逆风上行至离气味源 20 cm 以内，则记为降落到气味源；若 5 min 内实蝇未逆风上行 60 cm 以上，则记为无选择反应。一个番石榴为一组，每组至少测试 15 头成虫，每个虫态的成虫分别测试 4 组，实验设置空白对照。测定时间为 15:00-18:00。

测试时，以 30 W 的日光灯照明。整个实验过程中保持室温 (27 ± 2) °C，相对湿度 $40\% \pm 10\%$ 。

1.4 行为分析

通过观察和记录视频中番石榴实蝇飞向气味源的轨迹、用时和飞行距离，来计算其逆风飞行的速度。以番石榴实蝇在风洞中起飞到降落之间的用时为飞行时间 (t)，以番石榴实蝇在风洞中的起飞位置与降落位置之间的直线距离为飞行距离 (s)，速度 $v = s/t$ 。

1.5 数据分析处理

实验数据利用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 统计分析软件进行处理和分析，利用 Origin 2017 绘图软件绘图。数据用“平均值 ± 标准误差”表示，利用 t -检验方法检验处理与对照间的差异，用 Duncan's 检验 ($P < 0.05$) 分析不同生理状态雌雄虫降落反应率之间的差异显著性，以及不同生理状态雌雄虫逆风飞行的速度之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 番石榴实蝇的风洞测定结果

风洞行为测试结果表明，番石榴果实挥发物对不同生理状态下的番石榴实蝇雌雄成虫均能产生显著的引诱效果，其引诱率均极显著高于空白对照 ($P < 0.01$) (表 1)。

风洞行为的逆风飞行测试结果表明，番石榴果实挥发物对番石榴实蝇的性未成熟雌、雄成虫、性成熟未交配雌、雄成虫以及交配的雌、雄成虫均能产生显著的引诱效果，引诱率分别为 57.78%、53.33%、63.33%、58.15%、60.00% 和 56.67%，但不同生理状态的成虫之间引诱率无显著差异 ($P > 0.05$) (图 2)。

风洞行为的降落反应测试结果表明，不同生理状态的番石榴实蝇雌雄成虫对番石榴果实挥发物有不同的降落反应率 (图 3)。其中，交配雌虫的降落反应率最高，为 38.33%；其次是性成熟未交配雌虫，为 25%；性未成熟的雄虫降落反应率最低，为 11.67%，三者之间差异显著 ($P <$

表 1 番石榴实蝇在风洞中对番石榴果实的选择反应率
Table 1 The responses percentage of guava fruit fly to the guava odor in a wind tunnel

生理状态 Physiological state	处理 (%) Treatment (%)	对照 (%) Control (%)	P 值 P value	差异显著性 Significance of difference
性未成熟雌 Immature females	57.78 ± 4.19	16.67 ± 3.85	0.001	**
性未成熟雄 Immature males	53.33 ± 7.20	13.70 ± 3.85	0.008	**
性成熟未交配雌 Mature virgin females	63.33 ± 8.39	11.67 ± 3.33	0.005	**
性成熟未交配雄 Mature virgin males	58.15 ± 8.17	10.00 ± 3.85	0.008	**
交配雌 Mated females	60.00 ± 0.00	18.33 ± 3.34	0.000	**
交配雄 Mated males	56.67 ± 4.30	5.00 ± 3.34	0.003	**

表中数据为平均值 ± 标准误, **表示为差异极显著 ($P < 0.01$, t -test)。

Data are mean ± SE. ** indicates extremely significantly difference at 0.01 level (t -test).

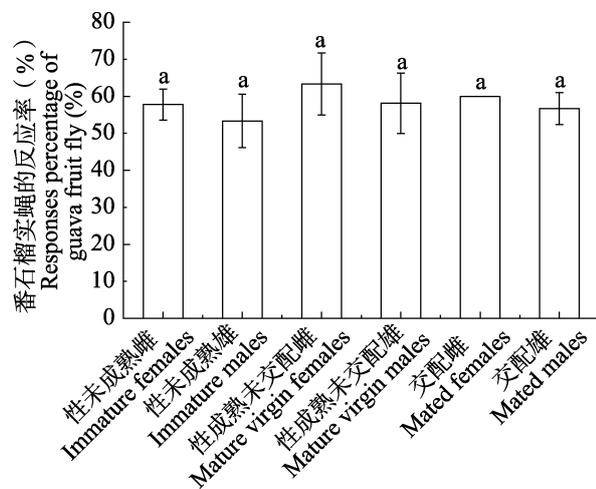


图 2 不同生理状态的番石榴实蝇反应率的比较
Fig. 2 The comparison of responses percentage of guava fruit fly at different states

柱上标有相同字母表示数据间差异未达到显著水平 ($P > 0.05$, Duncan's 检验)。

Histograms with the same letters indicate no significant difference at 0.05 level by Duncan's test.

0.05) (图 3)。

不同生理状态下, 交配雌虫、性成熟未交配雌虫、性未成熟雌虫对番石榴果实挥发物的降落反应率分别为 38.33%、18.33%和 18.75%, 交配雌虫的降落反应率显著高于性成熟未交配雌虫和性未成熟雌虫的降落反应率 ($P < 0.05$), 后两者之间无显著差异 ($P > 0.05$); 交配雄虫、性成熟未交配雄虫、性未成熟雄虫对番石榴果实挥发物的降落反应率分别为 14.17%、25.00%和 11.67%, 性成熟未交配雄虫的降落反应率显著高于交配雄虫和性未成熟雌虫的降落反应率 ($P <$

0.05), 后两者之间无显著差异 ($P > 0.05$) (图 3)。

同一生理状态下的成虫对番石榴果实挥发物的降落反应率, 仅在交配雌虫与交配雄虫之间存在差异 ($P < 0.05$) (图 3)。

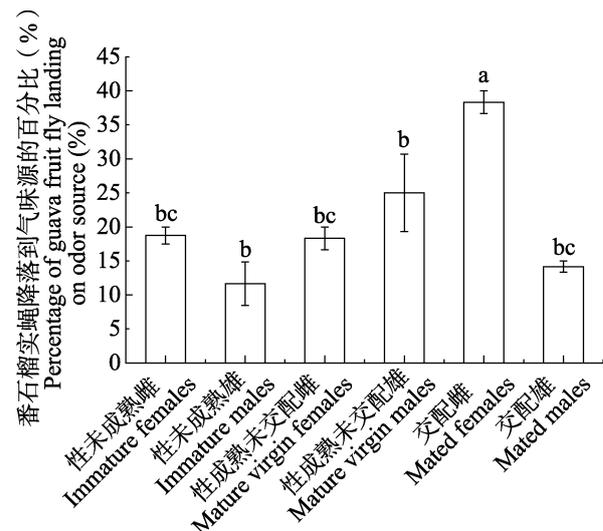


图 3 番石榴实蝇在风洞中降落到气味源百分比
Fig. 3 The percentage of guava fruit fly landing on odor source in a wind tunnel

柱上标有不同小写字母表示数据间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 检验)。下图同。

Histograms with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$, Duncan's test). The same below.

2.2 番石榴实蝇逆风飞行的速度

番石榴实蝇在向番石榴果实挥发物定向的过程中, 不同生理状态的雌雄成虫逆风飞行的速度不同, 且速度均显著高于空白对照 ($P < 0.05$) (表 2)。

表 2 番石榴实蝇逆风飞行的速度
Table 2 The upwind-directed flight speed of guava fruit fly

生理状态 Physiological state	处理 (cm/s) Treatment (cm/s)	对照 (cm/s) Control (cm/s)	P 值 P value	差异显著性 Significance of difference
性未成熟雌 Immature females	43.67 ± 4.02	19.49 ± 0.56	0.016	*
性未成熟雄 Immature males	35.47 ± 2.35	21.85 ± 2.56	0.034	*
性成熟未交配雌 Mature virgin females	49.53 ± 6.49	11.28 ± 1.12	0.008	**
性成熟未交配雄 Mature virgin males	36.69 ± 1.99	20.86 ± 3.16	0.045	*
交配雌 Mated females	49.04 ± 2.73	22.89 ± 0.96	0.037	*
交配雄 Mated males	33.52 ± 3.47	21.48 ± 1.14	0.019	*

表中数据为平均值 ± 标准误, *表示为差异显著 ($P < 0.05$, t -test), **表示为差异极显著 ($P < 0.01$, t -test)。

Data are mean ± SE. * indicates significantly different ($P < 0.05$, t -test), ** indicates extremely significantly different ($P < 0.01$, t -test).

通过对比不同生理状态番石榴实蝇成虫逆风飞行速度可知, 交配雌虫、性成熟未交配雌虫和性未成熟雌虫逆风飞行速度分别为 49.04、49.53 和 43.67 cm/s, 且三者之间无显著差异 ($P > 0.05$); 交配雄虫、性成熟未交配雄虫和性未成熟雄虫逆风飞行速度分别为 33.52、36.69 和 35.47 cm/s, 三者之间无显著差异 ($P > 0.05$) (图 4)。

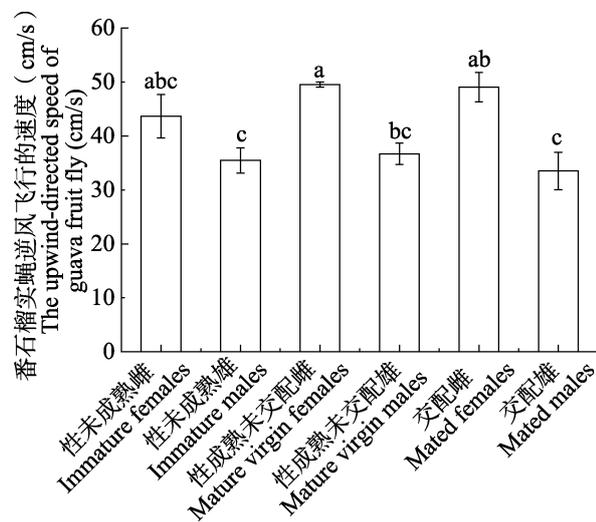


图 4 不同生理状态的番石榴实蝇逆风飞行速度的比较
Fig. 4 The comparison of upwind-directed flight speed of guava fruit fly at different physiological states

交配雌虫的逆风飞行速度显著高于交配雄虫 ($P < 0.05$), 性成熟未交配雌虫的逆风飞行速

度显著高于性成熟未交配雄虫 ($P < 0.05$), 性未成熟雌虫与性未成熟雄虫之间无显著差异 ($P > 0.05$) (图 4)。总体来说, 性成熟雌虫的逆风飞行速度显著高于雄虫 (图 4)。

3 讨论

本研究结果表明番石榴的气味引诱到的已交配雌虫的数量最多, 其次是性成熟未交配的雄虫, 性未成熟的雄虫数量最少。这些结果证明, 番石榴实蝇的生理状态直接影响其对寄主植物气味的定向反应。交配后的番石榴实蝇雌虫, 通过寄主果实气味选择适宜的产卵场所, 因而对番石榴气味反应最强。性成熟未交配的雄虫为了吸引雌虫, 必须先占据适宜雌虫产卵的果实, 形成自己的领地, 才有可能通过求偶炫耀行为, 吸引雌虫前来交配。在此过程中, 性成熟未交配雄虫通过感受番石榴气味向番石榴定位, 因而对气味反应也较强。性未成熟的雄虫还没有求偶交配的需求, 这个时期的番石榴实蝇主要是通过气味蛋白来寻找食物, 对食物气味会更敏感, 因而对寄主果实的气味反应不强。

同样的情况在其它实蝇中也有报道。在风洞实验中, 地中海实蝇的雌虫被成熟番石榴的气味强烈吸引 (Jang, 1995), 番茄实蝇对毛茄果实气味逆风飞行的比例为性成熟的雌虫 > 性成熟雄虫 > 性未成熟雌虫 (Brévault and Quilici,

2010)。在田间笼罩实验中, 番茄实蝇的交配雌虫对寄主植物(番茄和毛茄)叶片挥发物的趋性比性未成熟和性成熟未交配的雌虫更强(Brévauld and Quilici, 2007), 成熟的番石榴果实挥发物对昆士兰实蝇交配雌虫的吸引力更强(Cunningham *et al.*, 2016)。在室内 Y 型嗅觉仪实验中, 番石榴挥发性化合物, 高浓度对橘小实蝇性成熟的雌、雄成虫的引诱力强, 而低浓度对则性未成熟的雌、雄成虫的引诱力强, β -石竹烯仅对橘小实蝇性未成熟的雌虫产生了显著的引诱效果(刘桂清等, 2010; 马镛等, 2011)。

传统的风洞实验一般以起飞、降落味源作为反应依据, 很少涉及到昆虫的飞行速度。我们利用 Noldus 公司生产的新型风洞, 通过红外摄像系统记录了番石榴实蝇的飞行距离和时间, 计算了其飞行速度。性成熟的番石榴实蝇雌成虫的逆风飞行速度均高于雄成虫, 再次验证了雌性成虫对寄主植物的挥发物更敏感。番石榴果实气味显著提高了番石榴实蝇降落到气味源的速度, 这与 Brévauld 和 Quilici (2010) 的番茄实蝇的风洞结果相同。这可能是由于寄主植物是植食性昆虫后代生存的必需条件, 雌性成虫往往对寄主植物的信息有高度的识别能力与敏感性(Aluja and Prokopy, 1992)。这些结果表明对于番石榴实蝇的风洞实验结果, 仍旧应该以在气味源的降落率为主要参数。这与 Spitzen 等(2013)对利用 Nodlus 风洞进行的实验结果不同, 他们发现冈比亚按蚊 *Anopheles gambiae* 对气味源(脚臭味 Foot odors)降落率与空白对照(无气味)相同, 只是飞行速度更快。

番石榴果实气味对性未成熟、性成熟未交配和交配的雌雄虫的引诱效果存在差异, 这种差异是由番石榴果实挥发物的哪几种成分导致的? 还需要对番石榴果实挥发物的成分进行鉴定, 测定单组分和不同比例的混合组分的风洞行为, 并通过田间实验进一步验证, 才能真正阐明番石榴水果挥发物对番石榴实蝇雌雄虫和不同生理状态的作用机理, 为研制高效的成虫引诱剂提供依据。因此, 有待于进一步的工作验证。

参考文献 (References)

- Allwood AJ, Chinajariyawong A, Kritsaneepeaboon S, Drew RAI, Hamacek EL, Hancock DL, Leong CTS, 1999. Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Southeast Asia. *Raffles Bulletin of Zoology*, 47(7): 1–92.
- Aluja M, Prokopy RJ, 1992. Host search behaviour by *Rhagoletis pomonella* flies: Inter-tree movement patterns in response to wind-borne fruit volatiles under field conditions. *Physiological Entomology*, 17(1): 1–8.
- Brévauld T, Quilici S, 2007. Influence of habitat pattern on orientation during host fruit location in the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Bulletin of Entomological Research*, 97(6): 637–642.
- Brévauld T, Quilici S, 2010. Interaction between visual and olfactory cues during host finding in the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Journal of Chemical Ecology*, 36(3): 249–259.
- Cunningham JP, Carlsson MA, Villa TF, Dekker T, Clarke AR, 2016. Do fruit ripening volatiles enable resource specialism in polyphagous fruit flies? *Journal of Chemical Ecology*, 42(9): 931–940.
- Drew RAI, Raghu S, 2002. The fruit fly fauna (Diptera: Tephritidae: Dacinae) of the rainforest habitat of the Western Ghats, India. *The Raffles Bulletin Zoology*, 50(2): 327–352.
- Epsky ND, Kendra PE, Schnell EQ, 2014. History and development of food-based attractants//Shelly TE, Epsky N, Jang EB, Reyes-Flores J, Vargas RI (eds.). *Trapping and the Detection, Control, and Regulation of Tephritid Fruit Flies*. Dordrecht: Springer. 75–118.
- IPPC, 2013. Quarantine pest list. https://www.ippc.int/static/media/files/publications/en/2013/04/23/1309849796_qp_list.pdf. Accessed 27 Feb 2017.
- Jaleel W, He Y, Lü L, 2019. The response of two *Bactrocera* species (Diptera: Tephritidae) to fruit volatiles. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(3): 758–765.
- Jang EB, 1995. Effects of mating and accessory gland injections on olfactory-mediated behavior in the female Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Journal of Insect Physiology*, 41(8): 705–710.
- Jang EB, Carvalho LA, Chen CC, Siderhurst MS, 2017. Cucumber lure trapping of *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in Hawaii and Taiwan: Longevity and nontargets captures. *Journal of Economic Entomology*, 110(1): 201–207.
- Liu GQ, Huang H, Liu JY, Ou JF, Wu H, Zeng JH, Zhou ZY, Jian JL, Chen YH, 2010. Attraction of volatiles from guava for

- Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Journal of Environmental Entomology*, 32(2): 291–294. [刘桂清, 黄鸿, 刘景业, 欧剑峰, 吴华, 郑基焕, 周卓颖, 简嘉亮, 陈勇辉, 2010. 番石榴挥发物对桔小实蝇成虫的引诱作用. *环境昆虫学报*, 32(2): 291–294.]
- Liu XF, Jin Y, Ye H, 2013. Recent spread and climate ecological niche of the invasive guava fruit fly, *Bactrocera correcta*, in mainland China. *Journal of Pest Science*, 86 (3): 449–458.
- Lloyd AC, Hamacek EL, Smith D, Kopittke RA, Gu H, 2013. Host susceptibility of citrus cultivars to queensland fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 106(2): 883–890.
- Ma K, Zhang RP, Luo S, Wang HZ, Li JG, 2011. Attraction of the ten kinds of synthetic guava volatile compounds to adults of *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Fruit Science*, 28(2): 273–277. [马骝, 张瑞萍, 罗诗, 尹金华, 王泽槐, 李建国, 2011. 10 种合成番石榴挥发物对橘小实蝇的引诱作用. *果树学报*, 28(2): 273–277.]
- Siderhurst MS, Jang EB, 2010. Cucumber volatile blend attractive to female melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett). *Journal of Chemical Ecology*, 36(7): 699–708.
- Spitzen J, Spoor CW, Grieco F, Braak C, Beeuwkes J, Brugge SP, Takken W, 2013. A 3D analysis of flight behavior of *Anopheles gambiae* sensu stricto malaria mosquitoes in response to human odor and heat. *PLoS ONE*, 8(5): e62995.
- Wang T, Ren YL, Yang MF, Zhang RZ, 2015. Diversity characteristics of fruit flies in Xingyi, Guizhou southwestern China. *Acta Entomologica Sinica*, 58(5): 569–578. [王涛, 任艳玲, 杨茂发, 张润志, 2015. 贵州兴义实蝇类昆虫多样性特征. *昆虫学报*, 58(5): 569–578.]
- Wang ZH, Ma K, Zhang RP, Luo S, Yin JH, 2011. Attraction of decayed guava fruits to the oriental fruit fly and chemical compounds of the volatiles from the fruit. *Journal of South China Agricultural University*, 31(4): 32–35. [王泽槐, 马骝, 张瑞萍, 罗诗, 李建国, 尹金华, 2011. 番石榴腐烂果对桔小实蝇的引诱作用及挥发物化学成分分析. *华南农业大学学报*, 31(4): 32–35.]
- Weems HV, Fasulo TR, 2002. Guava fruit fly, *Bactrocera correcta* (Bezzi) (Insecta: Diptera: Tephritidae). EENY-200. 1–4. <http://edis.ifas.ufl.edu/in357>.