

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (Enderlein) 引诱剂研究概况*

李 可^{1**} XIA Yu-Lu² 樊永亮^{1***} 刘同先^{1***}

(1. 西北农林科技大学旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 农业部西北黄土高原作物有害生物综合治理重点实验室, 杨凌 712100;
2. North Carolina State University-Center for Integrated Pest Management, Raleigh 27695, USA)

摘 要 柑橘大实蝇 *Bactrocera (Tetradacus) minax* (Enderlein) 是重要的对外检疫性害虫, 其幼虫蛀食柑橘果实造成危害, 使我国柑橘产业遭受严重的经济损失, 但是关于柑橘大实蝇引诱剂的研究报道比较散乱。本文旨在从植物源挥发物引诱剂和性信息素引诱剂方面对柑橘大实蝇信号化合物的研究进行综述, 以期监测和防治柑橘大实蝇提供理论依据。

关键词 柑橘大实蝇; 植物挥发物; 性信息素; 植物挥发物

Recent advances in research on attractants for the Chinese citrus fly, *Bactrocera minax* (Enderlein)

LI Ke^{1**} XIA Yu-Lu² FAN Yong-Liang^{1***} LIU Tong-Xian^{1***}

(1. State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Key Laboratory of IPM of Crop Pests on the Northwest Loess Plateaus of Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. North Carolina State University-Center for Integrated Pest Management, Raleigh 27695, USA)

Abstract The Chinese citrus fly, *Bactrocera minax* (Enderlein), is an important international quarantine pest. The larvae of this fly feed on citrus fruits, cause serious economic losses to growers in China. This paper reviews recent research on attractants for *B. minax*, including plant volatiles and sex pheromones. Effective attractants are critical for monitoring and managing this important pest.

Key words *Bactrocera minax*; plant volatiles; sex pheromone; attractants

1 柑橘大实蝇简介

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (Enderlein) 俗称柑蛆, 又名桔大实蝇、黄果蝇, 幼虫名为柑蛆, 隶属于双翅目, 实蝇科、寡鬃实蝇亚科, 曾用名 *Bactrocera citri* (Chen), *Callantra minax* (Enderlein), *Dacus citri* (Chen), *Dacus minax* (Enderlein), *Mellessis citri* (Chen), *Polistomimetes minax* (Enderlein) 和 *Tetradacus citri* (Chen), 异名 *B. tsuneonis* (Miyake) (陈世骧和谢蕴贞,

1955; White and Wang, 1992), 是重要对外检疫性害虫。

1.1 生活习性

柑橘大实蝇 1 年发生 1 代, 以蛹在土中进入滞育越冬。陕西省成虫大约于 4 月下旬开始羽化出土, 5 月下旬为羽化盛期 (刘刚等, 2014)。羽化后可能飞到果园附近的杂木林, 取食蚜虫的蜜汁或植物的花蜜和花粉 (汪兴鉴和罗禄怡, 1995; 罗杰等, 2016)。6 月中旬至 7 月上旬为

*资助项目 Supported projects: USDA-APHIS (AP17PPQS&T00C130)

**第一作者 First author, E-mail: lkk1206@nwfufu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: yfan@nwsuaf.edu.cn; txliu@nwfufu.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-04-02; 接受日期 Accepted: 2019-04-28

交尾产卵盛期, 此时柑橘大实蝇再次回到橘园, 在幼果上产卵。卵孵化后, 幼虫随即在瓢内由内向外取食, 使果实内部局部或全部腐烂并成为蛆柑, 造成果实未黄先熟而脱落, 给果农造成巨大经济损失 (王小蕾和张润杰, 2009)。

1.2 地理分布

研究发现, 柑橘大实蝇在不丹和印度均有分布, 而国内主要分布于四川、重庆、贵州、云南、湖南、湖北、广西、陕西、江苏、台湾等省 (区) 市 (Dorji *et al.*, 2006; Dong *et al.*, 2013)。

2 传统防治方法

成虫诱杀技术是柑橘大实蝇防治的关键技术, 能有效降低柑橘大实蝇成虫基数和蛆果率 (兰杰等, 2009)。当前柑橘大实蝇的防治主要采取综合防治, 如断代防除或药剂诱杀 (范京安, 2002; Liu *et al.*, 2015)、处理蛆果 (陈昭明, 1957; 彭卫明, 1990)、昆虫不育技术 (王华嵩等, 1995; 赵学谦等, 1995)、诱捕器 (牛长缨等, 2011; 易继平等, 2015; 肖伏莲等, 2016)、高低温处理 (Lee, 1991; 黄聪等, 2014)。综合已有的研究报道, 针对柑橘大实蝇的防治方法可追溯到 1957 年, 并且自 2008 年“四川广元柑橘虫蛆”事件影响, 柑橘大实蝇防治技术的研究呈现明显上升趋势, 并在 2017 年达到最高 (图 1)。

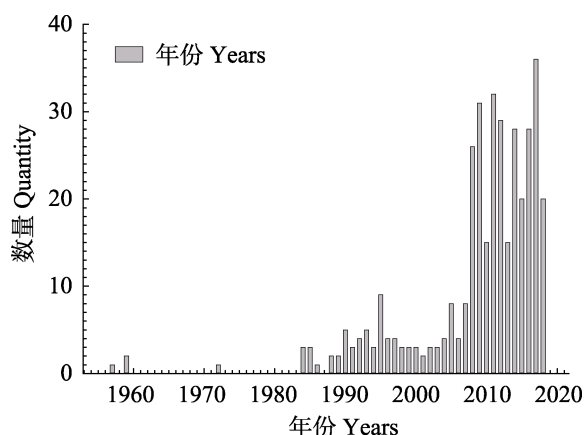


图 1 柑橘大实蝇传统防治研究历年趋势图

Fig. 1 Trends of research publications on traditional control of the Chinese citrus fly, *Bactrocera minax*

3 植物挥发物引诱剂和性引诱剂研究概况

昆虫引诱剂是指可以引起昆虫向着诱源定向移动的化学物质 (Dether *et al.*, 1960)。引诱剂可以分为食物引诱剂、产卵引诱剂和性引诱剂, 目前, 柑橘大实蝇食物引诱剂主要有糖醋酒液类、水解蛋白类和植物源类 (宫庆涛, 2012), 产卵引诱剂和性引诱剂是依靠化学物质寻找合适产卵地点和吸引异性来交配。

3.1 食物类和产卵类引诱剂

以植物挥发物为主的食物引诱剂是昆虫取食、产卵和躲避等活动的重要物质 (Berdegue *et al.*, 1998; Bruce *et al.*, 2005; Ninkovic *et al.*, 2013), 在害虫综合治理上具有协调农业、化学、物理和生物防治相关关系的优点, 而现阶段利用植物挥发物引诱和调节昆虫取食、交配和产卵等行为也受到了广泛重视。Metcalf (1987) 利用一种植物性引诱剂加上杀虫剂 (97% 甲基丁香酚 + 3% 雄性杀虫剂) 根治了 Rota 岛上的桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 的危害。Flath 等 (1994) 从当归籽油的生物活性成分中分离出 2 种倍半萜来引诱雄性地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wied)。而植物挥发物对柑橘大实蝇的研究基本处于空白, 尚未开发出切实可行的植物源挥发物引诱剂, 且仅有两篇从寄主植物挥发性物质出发对柑橘大实蝇取食和产卵角度进行的研究报道。

3.1.1 寄主植物挥发物对柑橘大实蝇取食反应

何章章等 (2018) 采用录像技术对柑橘大实蝇成虫在中国板栗雄花花序上的行为活动过程进行跟踪观察和分析。发现柑橘大实蝇成虫在中国板栗雄花花序上存在取食行为, 为柑橘大实蝇的非化学防控提供一定的理论基础。随后杜田华等 (2018) 采用顶空捕集法和气相色谱-质谱联用技术, 对中国板栗挥发物进行了初步鉴定, 并利用 Y 型嗅觉仪测定了 1 日龄和 3 日龄柑橘大实蝇雌、雄成虫对 3 种不同处理中国板栗和 7 种挥发性化合物的选择行为反应。结果表明中国板

栗对柑橘大实蝇成虫具有极显著的诱引作用。中国板栗挥发物中含有 26 种化学成分, 主要为一些芳香烃类、酸类、醛类、酮类、醇类、萜烯类、酯类和胺类化合物。柠檬烯、异丁醛、 α -蒎烯和苯乙酸甲酯对柑橘大实蝇成虫表现出显著的诱引作用, 乙偶姻和戊醛对柑橘大实蝇成虫表现出显著的驱避作用。结果表明柑橘大实蝇成虫的嗅觉行为反应与化合物的浓度和成虫的日龄及性别有关。罗杰等(2015)研究发现柑橘大实蝇在橘园出土羽化后并没有在橘园取食, 而是飞行离开羽化地点, 或寻找食物。但是由于技术手段的限制, 目前对柑橘大实蝇食物来源认识不够充分。柑橘大实蝇取食中国板栗雄花花序可能只是其中的一种行为现象, 因此研究柑橘大实蝇寄主植物及其挥发物, 将为柑橘大实蝇防治提供新的研究思路。

3.1.2 寄主植物挥发物对柑橘大实蝇产卵反应

柑橘大实蝇产卵偏好性寄主范围窄, 仅危害芸香科柑橘属(李宗锴, 2013)。张小亚等(2007)通过对不同寄主植物大实蝇为害率的调查与分析表明, 在不同品种的临近橘园区, 桔大实蝇对脐橙的危害最大, 达到 78.5%, 杂柑次之, 蜜柑危害最小, 达 45.8%。柑橘大实蝇对不同寄主植物的产卵选择性喜好程度为脐橙 > 杂柑 > 蜜橘。林文力等(2011)采用定点观察和普查的方式对湖南省的柑橘大实蝇的危害特点进行了研究, 发现脐橙受柑橘大实蝇危害最严重, 虫果率达 63%; 其次是早熟温州蜜柑和冰糖橙, 达 22%, 再次是椪柑, 达 6%。龚碧涯等(2014)在麻阳县的混栽橘园调查了不同柑橘品种的柑橘大实蝇危害情况, 结果表明柑橘大实蝇对不同柑橘品种的产卵喜好程度为脐橙 > 温州蜜柑 > 冰糖橙 > 椪柑。张康等(2015)发现柑橘大实蝇对不同种类柑橘嗜食程度有明显差异, 为害程度主要为温州蜜柑 > 城固冰糖桔 > 城固少核朱红桔。其中温州蜜柑类为害最为严重, 虫果率达到 12%, 而后三类的为害程度差异不明显。刘路等(2014)采用五点取样法分别调查了自然条件下不同品种柑橘果园的虫果率、产卵痕量和卵量, 发现同一片受害柑橘园内, 不同柑橘品种的虫果率为脐

橙、酸橙 > 冰糖橙、天草、蜜橘 > 沙田柚 > 椪柑; 柑橘大实蝇产卵痕数和卵量均为橙类 > 橘类(天草、蜜橘和椪柑)和沙田柚; 且幼虫对不同柑橘品种取食偏好性依次为: 脐橙、酸橙 > 冰糖橙 > 天草、南橘 > 蜜橘 > 椪柑 > 沙田柚。实验结果表明, 柑橘大实蝇相较于橘类和沙田柚, 其对橙类更具有偏好性。综上, 大部分研究结果表明相较于其他品种柑橘, 柑橘大实蝇更偏好危害脐橙, 此结论在 Xia 等(2018)对柑橘大实蝇研究综述中同样得到验证。不同柑橘品种除物理结构和外观的差异, 挥发物物质及其含量也存在不同, 柑橘大实蝇表现出的产卵偏好性是否与植物挥发物有关, 还有待进一步研究。

基于上述研究结果, Liu 和 Zhou(2016)通过 Y 型嗅觉仪结合 GC-MS 技术对柑橘大实蝇雌虫对 3 种偏好型寄主植物(冰糖桔、无核小蜜橘和酸橙)挥发物进行了探究和分析, 发现寄主植物挥发物中的 4 种物质(包括壬醛、柠檬醛、柠檬油精和芳樟醇)具有显著的吸引作用, 相反, 糠醇和愈创木酚显著驱避雌性。不同柑橘果实部位产生的不同百分含量的壬醛、柠檬醛、柠檬烯、芳樟醇与雌虫产卵数呈正相关, 而糠醇和愈创木酚呈负相关。以上研究结果初步表明, 柑橘大实蝇雌虫的产卵偏好与柑橘中释放出的化学物质密切相关, 或者取决于柑橘中释放出的化学物质。其中, 柠檬烯、异丁醛、 α -蒎烯、苯乙酸甲酯、壬醛、芳樟醇和柠檬醛对柑橘大实蝇具有吸引作用, 而乙偶姻、戊醛、糠醇和愈创木酚趋避柑橘大实蝇。由于缺乏田间实验验证, 尚不明确单个物质引诱力是否高于混合物引诱力, 且各种物质的配比和比例也值得深入挖掘, 以期得到切实可行的植物源类引诱剂。

3.2 性信息素类引诱剂

昆虫性信息素是一类在同种雌雄昆虫之间传递信息的化学物质, 它在害虫预测和防治上面具有用量少、选择性好、活性高和不污染环境等优点(李咏玲等, 2010)。性信息素已经在 43 种双翅目昆虫中得到证实, 包括雄性和雌性, 并且已经在 17 个种中得到化学鉴定。在长角亚目中,

瘿蚊科主要为短链烷烃与乙酰氧基化合物;毛蠓科主要为萜类物质;在环裂亚目中,实蝇科为烷烃化合物;潜蝇科为萜类物质(Wicker-Thomas, 2007)。如实蝇科果实蝇属的雄性信息素前体甲基丁香酚是一种高效的引诱剂,在太平洋地区特别是夏威夷和加利福尼亚地区,被广泛应用于果实蝇属的生物防治(Hee and Tan, 2004; El-Sayed *et al.*, 2009)。已鉴定出一种雌虫产生的性信息素混合物,包括 1, 7-二旋氧杂[5.5]十一烷, α -蒎烯, *n*-壬醛和十二烷酸乙酯,被用于橄榄实蝇 *Bactrocera oleae* 的诱杀(Broumas *et al.*, 2002; Mazomenos and Haniotakis, 1985)。

目前国内对柑橘大实蝇性信息素的研究知之甚少,并且更多的是采用溶剂洗脱的方法对柑橘大实蝇性信息素进行收集,随即进行生物学测定。夏忠英和洪志山(1997)通过改良的王良臣-Yamamoto 法进行柑橘大实蝇性信息素的收集,并初步确定其为 2, 6-二叔丁基对苯醌和 2, 6-二叔基对苯甲酚。但在田间对 2, 6-二叔基对苯甲酚测定时发现,有柑橘大实蝇在装有该成分的诱捕器周围活动,但未进入诱捕器内,实际田间效果较差。鲁红学等(1998)利用真空抽气压缩装置获得柑橘大实蝇雌成虫释放的信息物质,经过二氯乙烷溶剂洗脱得到性信息素提取液。室内生物测定结果表明:该提取液对大实蝇雄成虫具有明显的性兴奋刺激反应,如摆动触角、频频振翅、腹部翘起、伸出抱握器等。该结果为进一步探明柑橘大实蝇性信息素成分、结构及人工合成性诱剂提供了依据,但其并未真正获得性信息素化学成分。肖伟等(2013)用正己烷对 5、10 和 15 日龄的柑橘大实蝇雌、雄成虫直肠(含直肠腺)和躯体(除去直肠)进行提取,利用触角电位技术和田间诱集试验对粗提物的信息素活性进行测定,进一步发现柑橘大实蝇雌性直肠粗提物中含有能够吸引雌性和雄性个体的信息素活性物质,但其并未确定雌性直肠粗提物的具体成分。张宏宇(2015)注册了一种柑橘大实蝇性信息素的专利,引诱剂活性成分是(R)-(+)-柠檬烯。在田间释放 R-(+)-柠檬烯时对柑橘大实蝇雄虫具有专一引诱特性,且引诱效果显著。

目前尚无柑橘大实蝇可以合成柠檬烯的文献,且柑橘果实挥发物中存在含量较高的柠檬烯,我们推测柠檬烯可能不是由柑橘大实蝇产生,柠檬烯可能来源于柑橘植物。如果此推测属实,那么柠檬烯就不能被归属到柑橘大实蝇的性信息素的范畴。此外,周琼等(2014)发明了一种柑橘大实蝇性信息素及其提取方法,将处于交配期的柑橘大实蝇囊状腺体浸泡于乙醚中 20-300 s,并通过气相色谱-质谱联用仪分析得到提取液化学成分,再通过 Y 型嗅觉仪测定其活性。发现柑橘大实蝇性信息素的主要活性成分为十一醇。然而,截止目前,尚未见到有关田间试验报道十一醇对柑橘大实蝇的引诱效果。

4 讨论与展望

4.1 植物挥发物防治柑橘大实蝇前景广阔

虽然传统防治手段如清理落果和撒毒土在一定程度上可以抑制局部区域的虫源,但是由于柑橘大实蝇的广泛分布性,某些区域仍然得不到有效的防治和预测。此外杀虫剂的长期使用和残留,将会对环境造成相应的污染,使柑橘大实蝇产生抗药性,柑橘质量得不到应有的保证,人们的身体健康受到相应威胁,而通过物理和农业的防治手段,又势必将大大提高人力和物力,浪费生产资源。为了有效地填补这一检疫物种的防治缺陷,必须寻找和开发更有效的引诱剂。植物挥发物在昆虫防治中具有高效环保的特点,对植物挥发物的研究不仅可以为害虫治理提供理论依据,也能为开发对环境友好的引诱剂提供思路,而有关植物挥发物对柑橘大实蝇引诱的研究甚少。因此开发和利用植物挥发物防治柑橘大实蝇非常有价值。

受柑橘大实蝇产卵偏好性的影响,不同柑橘品种被危害率存在差异。现阶段,仅局限于柑橘大实蝇嗜食品种挥发物的研究,相反,厌食品种是否存在趋避性挥发物对柑橘大实蝇起到排斥作用,尚无定论。此外柑橘植物的花、叶等其他部位也可能存在一些挥发物物质对柑橘大实蝇起到一定作用。有效的完善和利用植物挥发物,

将为柑橘大实蝇的防治开辟一条新途径。

4.2 性信息素的研究有待拓展

柑橘大实蝇雌雄两性间是否利用性信息素目前尚无确凿证据。常用性信息素提取方法主要包括冷凝法、溶剂浸提法、吸附法和固相微萃取 (Hummel and Miller, 1984)。目前, 柑橘大实蝇性信息素的研究主要采用溶剂洗脱法, 很少见使用固相微萃取方法提取。固相微萃取无需有机溶剂即可提取, 有很多不同极性的纤维萃取头可以挑选, 而且成本相对低廉 (李红军等, 2008)。对柑橘大实蝇成虫是否释放性信息素可以采用在成虫性成熟后用固相微萃取方法收集空气提取物或用纤维头直接接触成虫表皮提取接触性信息素来进行, 以比较不同时期、不同行为反应和不同性别的柑橘大实蝇释放物质的差异。

目前关于柑橘大实蝇性信息素的合成部位还未确定, 有可能是在直肠 (肖伟等, 2013)、囊状腺体 (周琼等, 2014) 或其它部位。有些双翅目蝇类中鉴定出的一些碳氢化合物是昆虫性信息素成分之一, 如雌性黑腹果蝇释放的 7, 11-二十七碳二烯以及 7, 11-二十碳二烯对雄虫具有显著引诱效果 (Antony *et al.*, 1985); 从雌性阔叶甲虫分离得到的物质 (Z)-7-二十一碳烯和 (Z)-7-二十三碳烯可作为性信息素成分之一 (Geiselhardt *et al.*, 2009); 亚洲长角甲虫雌虫特有的 5 种碳氢化合物 (Zhang *et al.*, 2003)。柑橘大实蝇表皮碳氢化合物是否存在性信息素成分后续还需探索。

参考文献 (References)

- Antony C, Davis TL, Carlson DA, Pechine JM, Jallon JM, 1985. Compared behavioral responses of male *Drosophila melanogaster* (Canton-S) to natural and synthetic aphrodisiacs. *Journal of Chemical Ecology*, 11(12): 1617–1629.
- Berdegue M, Reitz SR, Trumble JT, 1998. Host plant selection and development in *Spodoptera exigua*: Do mother and offspring know best. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 89(1): 57–64.
- Broumas T, Haniotakis G, Liaropoulos C, Tomazou T, Ragoussis N, 2002. The efficacy of an improved form of the mass-trapping method, for the control of the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Dipt., Tephritidae): Pilot-scale feasibility studies. *Journal Applied. Entomology.*, 126(5): 217–223.
- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2005. Insect host location: A volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10(6): 269–274.
- Chen SX, Xie YZ, 1955. Taxonomic notes on the chinese citrus fly *Tetracus citri* Chen. *Acta Entomologica Sinica*, 5(1): 123–126. [陈世骧, 谢蕴贞, 1955. 关于桔大实蝇的学名及种征. 昆虫学报, 5(1): 123–126.]
- Chen ZM, 1957. Preliminary report of observation on the living habits and control experiments of *Tetracus citri* Chenin Yichang, Hubei Province. *Huazhong Agricultural Science*, (4): 280–282, 257. [陈昭明, 1957. 湖北省宜昌大实蝇生活习性观察及防治试验初报. 华中农业科学, (4): 280–282, 257.]
- Dether VG, Barton BL, Smith CN, 1960. The designation of chemicals in terms of the responses they elicit from insects. *Journal of Economic Entomology*, 53(1): 134–136.
- Dong YC, Wang ZJ, Clarke AR, Pereira R, Desneux N, Niu CY, 2013. Pupa diapause development and termination is driven by low temperature chilling in *Bactrocera minax*. *Journal Pest Science*, 86(3): 429–436.
- Dorji C, Clarke AR, Drew RAI, Fletcher BS, Loday P, Mahat K, Raghu S, Romig MC, 2006. Seasonal phenology of *Bactrocera minax* (Dipter : Tephritidae) in western Bhutan. *Bulletin of Entomological Research*, 96(5): 531–538.
- Du TH, Hua DK, He ZZ, Wang FL, Gui LY, 2018. Behavioral responses of adults *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) to volatile organic components from *Castanea* (Fagales: Fagaceae). *Journal of Environmental Entomology*, 40(2): 474–484. [杜田华, 华登科, 何章章, 王福莲, 桂连友, 2018. 柑橘大实蝇成虫对板栗挥发物的行为反应. 环境昆虫学报, 40(2): 474–484.]
- El-Sayed AM, Suckling DM, Byers JA, Jang EB, Wearing CH, 2009. Potential of “lure and kill” in long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of Economic Entomology*, 102(3): 815–835.
- Fan JA, 2002. Occurrence and control of the Chinese citrus fly in Sichuan province. *Plant Quarantine*, 6(3): 150–152. [范京安, 2002. 四川柑桔大实蝇发生与防治. 植物检疫, 6(3): 150–152.]
- Flath RA, Cunningham RT, Mon TR, John JO, 1994. Additional male mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* wied.) attractants from angelica seed oil (*Angelica archangelica* L.). *Journnal of Chemical Ecology*, 20(8): 1969–1984.
- Geiselhardt S, Otte T, Hilker M, 2009. The role of cuticular hydrocarbons in male mating behavior of the mustard leaf beetle, *Phaedon cochleariae* (F.). *Journal of Chemical Ecology*, 35:

- 1162–1171.
- Gong BY, Li JQ, Duan KP, Xiao FL, Lin WL, Li XX, Zhou CF, 2014. Selection of citrus varieties and response of complex environment with *Tetracus citri* Chen. *Hunan Agricultural Sciences*, (18): 36–38. [龚碧涯, 李建权, 段科平, 肖伏莲, 林文力, 李先信, 周长富, 2014. 柑橘大实蝇对柑橘品种的选择及复杂环境的响应. 湖南农业科学, (18): 36–38.]
- Gong QT, 2012. Studies on the screening of the Chinese citrus fly food attractants and fungicides. Master Dissertation. Chongqing: Southwest University. [宫庆涛, 2012. 柑橘大实蝇食物引诱剂与防治药剂筛选研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- He ZZ, Hua DK, Du TH, Wang FL, Gui LY, 2018. Feeding behaviour of *Bactrocera minax* (Diptera: Trypetidae) on male inflorescence of *Castanea mollissima* (Fagales: Fagaceae). *Acta Entomologica Sinica*, 61(4): 458–467. [何章章, 华登科, 杜田华, 王福莲, 桂连友, 2018. 柑橘大实蝇成虫在中国板栗雄花序上的取食行为. 昆虫学报, 61(4): 458–467.]
- Hee AKW, Tan KH, 2004. Male sex pheromonal components derived from methyl eugenol in the hemolymph of the fruit fly *Bactrocera papayae*. *Journal of Chemical Ecology*, 30(11): 2127–2138.
- Huang C, Li ZY, Wang FL, Zhang GF, Li CR, LI YJ, 2014. The supercooling point and freezing point of mature larva and pupa of *Bactrocera minax* (Enderlein). *Journal of Environmental Entomology*, 36(1): 17–21. [黄聪, 李再园, 王福莲, 张桂芬, 李传仁, 李咏军, 2014. 柑桔大实蝇老熟幼虫和蛹过冷却点和结冰点的测定. 环境昆虫学, 36(1): 17–21.]
- Hummel HE, Miller TA, 1984. Techniques in Pheromone Research. New York: Springer-Verlag New York Inc. 464.
- Lan J, Li CR, Wan BR, Xie HR, Jiang SC, Yin ZP, 2009. Test on the trapping ability of the food attractants to the Chinese citrus fly. *South China Fruits*, 38(3): 51. [兰杰, 李传仁, 万宝荣, 谢辉荣, 江书春, 尹正平, 2009. 大实蝇食物引诱剂对柑桔大实蝇的诱杀能力测试. 中国南方果树, 38(3): 51.]
- Lee RE, 1991. Principles of insect low temperature tolerance//Lee RE, Denlinger DL(eds.). *Insects at Low Temperature*. Boston MA: Springer: 17–46.
- Li HJ, He XK, Zeng AJ, Jiang SR, Cao S, 2008. Research advance on sex pheromone of Gall Midge (Diptera: Cecidomyiidae). *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, (S1): 278–281. [李红军, 何雄奎, 曾爱军, 江树人, 曹姍, 2008. 瘿蚊性信息素的研究进展. 华北农学报, (S1): 278–281.]
- Li YL, Han FS, Zhang JT, 2010. A review of insect sex pheromone research. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 38(6): 51–54. [李咏玲, 韩福生, 张金桐, 2010. 昆虫性信息素研究综述. 山西农业科学, 38(6): 51–54.]
- Li ZK, Zhou XW, Yang FL, Niu CY, 2013. The mouthparts of *Bactrocera minax* by scanning electron microscope. *Plant Quarantine*, 27(2): 57–59. [李宗锴, 周晓渭, 杨凤连, 牛长缨, 2013. 柑橘大实蝇成虫口器扫描电镜观察. 植物检疫, 27(2): 57–59.]
- Lin WL, Yang SZ, Pan MS, Chen HL, Huang ZP, Long JG, Xiao FL, 2011. The damage characteristics of *Tetracus citri* Chen on different citrus varieties in Hunan province. *Hunan Agricultural Sciences*, (23): 95–97. [林文力, 杨水芝, 潘美山, 陈海玲, 黄泽培, 龙建国, 肖伏莲, 2011. 湖南柑橘大实蝇对不同柑橘品种的危害特点研究初报. 湖南农业科学, (23): 95–97.]
- Liu G, Gao X, Zhang Y, Wang QW, Zhang JC, Zhang K, Li L, Huang BQ, 2014. Occurrence and control of *Bactrocera minax* in Hanzhong. *Journal of Shaanxi Agricultural Sciences*. 60(6): 112–113. [刘刚, 高霞, 张勇, 王清文, 张吉昌, 张康, 李乐, 黄保全, 2014. 柑桔大实蝇在汉中的发生规律与综合防控技术. 陕西农业科学, 60(6): 112–113.]
- Liu HQ, Jiang GF, Zhang YF, Chen F, Li XJ, Yue JS, Ran C, Zhao ZM, 2015. Effect of six insecticides on three populations of *Bactrocera (Tetracus) minax* (Diptera: Tephritidae). *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 16(1): 77–83.
- Liu L, Zhou Q, Song AQ, You KX, 2014. Adult oviposition and larval feeding preference for different citrus varieties in *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(9): 1037–1044. [刘路, 周琼, 宋傲群, 尤克西, 2014. 柑橘大实蝇对不同柑橘品种的产卵偏好和幼虫取食选择. 昆虫学报, 57(9): 1037–1044.]
- Liu L, Zhou Q, 2016. Olfactory response of female *Bactrocera minax* to chemical components of the preference host citrus volatile oils. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19(3): 637–642.
- Lu HX, Zhang FY, Mu BZ, 1998. Preliminary study on extraction of sex pheromone of Chinese citrus fly *Dacus citri* (chen). *Journal of Hubei Agricultural College*, 18(1): 33–35. [鲁红学, 张方钰, 牟本忠, 1998. 柑桔大实蝇性信息素的提取及测试. 湖北农学院学报, 18(1): 33–35.]
- Luo J, Gui LY Wang FL, 2015. Daily rhythm of flight take off by early emerged adult Chinese citrus fly and their landing locations. *Journal of Environmental Entomology*, 37(1): 36–43. [罗杰, 桂连友, 王福莲, 2015. 初羽化的柑橘大实蝇成虫起飞日节律和降落位置. 环境昆虫学报, 37(1): 36–43.]
- Luo J, Gui LY, Gilles B, Hua DK, 2016. Study on the application of insect harmonic radar in the behavior of Chinese citrus fly. *Journal of Environmental Entomology*, 38(3): 514–521. [罗杰, 桂连友, Gilles B, 华登科, 2016. 昆虫谐波雷达在柑橘大实蝇行为学上的应用研究. 环境昆虫学报, 38(3): 514–521.]
- Mazomenos BE, Haniotakis GE, 1985. Male olive fruit fly attraction

- to synthetic sex pheromone components in laboratory and field tests. *Journal of Chemical Ecology*, 11(3): 397–405.
- Metcalf RL, 1987. Plant volatiles as insect attractants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 5(3): 251–301.
- Ninkovic V, Dahlin I, Vucetic A, Petrovic-Obradovic O, Glinwood R, Webster B, 2013. Volatile exchange between undamaged plants - A new mechanism affecting insect orientation in intercropping. *PLoS ONE*, 8(7): e69431.
- Niu CY, Zhou XW, Han P, Dong YC, Ye ZP, 2011. A new type of trap for the Chinese citrus fly, *Bactrocera minax*. China, Patent. 201854616. 2011-06-08. [牛长缨, 周晓渭, 韩鹏, 董永成, 叶政培, 2011. 一种柑橘大实蝇诱捕器. 中国, 发明专利. 201854616. 2011-06-08.]
- Peng WM, 1990. A brief history of the occurrence and control of *Bactrocera minax* in Jiangjin county. *China Citrus*, 19(1): 31–36. [彭卫明, 1990. 江津县柑桔大实蝇发生及防治史略. 中国柑桔, 19(1): 31–36.]
- Wang HS, Hu JG, Lu DG, Kang W, Zhang HQ, 1995. Control of Chinese citrus fly in large area by releasing irradiated sterile flies. *Chinese Journal of Biological Control*, 11(4): 156–159. [王华嵩, 胡建国, 路大光, 康文, 张和琴, 1995. 利用辐射不育技术防治柑桔大实蝇的示范试验. 中国生物防治, 11(4): 156–159.]
- Wang XJ, Luo LY, 1995. Advanced study on *Bactrocera minax*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 32(5): 310–315. [汪兴鉴, 罗禄怡, 1995. 桔大实蝇的研究进展. 昆虫知识, 32(5): 310–315.]
- Wang XL, Zhang RJ, 2009. Review on biology, ecology and control of *Bactrocera (Tetradacus) minax* Enderlein. *Journal of Environmental Entomology*, 31(1): 73–79. [王小蕾, 张润杰, 2009. 桔大实蝇生物学、生态学及其防治研究概述. 环境昆虫学报, 31(1): 73–79.]
- White IM, Wang XJ, 1992. Taxonomic notes on some dacine (Diptera: Tephritidae) fruit flies associated with citrus, olives and cucurbits. *Bulletin of Entomological Research*, 82(2): 275–279.
- Wicker-Thomas C, 2007. Pheromonal communication involved in courtship behavior in Diptera. *Journal of Insect Physiology*, 53(11): 1089–1100.
- Xia YL, Ma XL, Hou BH, Ouyang GC, 2018. A review of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in China for the purpose of safeguarding. *Advances in Entomology*, 6: 35–61.
- Xia ZY, Hong ZS, 1997. A preliminary study on sex pheromone of *Bactrocera minax*. *Journal of Chinese Medical Materials*, 20(10): 492–493. [夏忠英, 洪志山, 1997. 柑桔大实蝇性信息素研究初报. 中药材, 20(10): 492–493.]
- Xiao FL, Yang SZ, Gong BY, Li XX, Lin WL, Zhou CF, Liao W, 2016. A new trap for *Bactrocera minax* adults. China, Patent, 205455518. 2016–08–17. [肖伏莲, 杨水芝, 龚碧涯, 李先信, 林文力, 周长富, 廖伟, 2016. 一种柑橘大实蝇成虫诱杀器. 中国, 发明专利, 205455518. 2016–08–17.]
- Xiao W, Wu KM, Gong QT, Zhao ZM, He L, 2013. Pheromonal activity of rectum extracts from Chinese citrus fly (*Bactrocera minax*). *Scientia Agricultura Sinica*, 46(7): 1501–1508. [肖伟, 武可明, 宫庆涛, 赵志模, 何林, 2013. 柑橘大实蝇直肠粗提物的信息素功能. 中国农业科学, 46(7): 1501–1508.]
- Yi JP, Li SH, Zhang GG, Xiang F, Zhou GZ, Luo HG, 2015. Application of green-yellow sphere trap to trapping *Bactrocera minax*. *China Plant Protection*, 35(8): 34–37. [易继平, 李双华, 张光国, 向锋, 周国珍, 罗汉钢, 2015. 黄绿色球形诱捕器诱杀柑橘大实蝇技术应用效果. 中国植保导刊, 35(8): 34–37.]
- Zhang A, Oliver JE, Chauhan K, Zhao B, Xia LQ, Xu ZC, 2003. Evidence for contact sex recognition pheromone of the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Naturwissenschaften*, 90(9): 410–413.
- Zhang HY, 2015. *Bactrocera minax* sex pheromone. China, Patent, 105145557. 2015-12-16. [张宏宇, 2015. 一种柑桔大实蝇性信息素. 中国, 发明专利, 105145557. 2015-12-16.]
- Zhang K, Gao X, Zhang Y, Wang QW, Liu G, Huang BQ, Pu GT, 2015. Investigation on the preferable host of *Bactrocera minax* in Hanzhong. *Journal of Shaanxi Agricultural Sciences*, 61(7): 49–88. [张康, 高霞, 张勇, 王清文, 刘刚, 黄保全, 蒲国涛, 2015. 柑桔大实蝇在汉中的嗜食寄主调查. 陕西农业科学, 61(7): 49–88.]
- Zhang XY, Yu FJ, Han QH, Zhou XM, Lei CL, 2007. Preference and performance of *Bactrocera (Tetradacus) minax* on three host plants. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(3): 364–366. [张小亚, 喻法金, 韩庆海, 周兴苗, 雷朝亮, 2007. 橘大实蝇对三种寄主植物的偏好比较. 昆虫知识, 44(3): 364–366.]
- Zhao XQ, Fan JA, Xie CL, Qin Z, Li G, Zhu J, Zeng DB, Kong FC, 1995. Gamma irradiation as a quarantine treatment against *Tetradacus citri* in pomelo and orange fruits. *Journal of Southwest Agricultural University*, 17(2): 126–129. [赵学谦, 范京安, 谢成伦, 秦蓁, 李刚, 朱军, 曾大兵, 孔繁春, 1995. ⁶⁰Co- γ 射线对柑桔大实蝇幼虫的影响研究. 西南农业大学学报, 17(2): 126–129.]
- Zhou Q, Liu L, You KX, Jing Q, 2014. The extracting method and application of a sex pheromone of *Bactrocera minax*. China, Patent, 103766336. 2014-05-07. [周琼, 刘路, 尤克西, 荆奇, 2014. 一种柑橘大实蝇性信息素及其提取方法与应用. 中国, 发明专利. 103766336. 2014-05-07.]