

我国主要瓜类实蝇的生物防治研究进展*

曾宪儒 覃江梅 龙秀珍 高旭渊 刘吉敏 韦德卫 于永浩**

(广西农业科学院植物保护研究所, 广西作物病虫害生物学重点实验室, 南宁 530007)

摘 要 本文概述了国内外主要瓜类实蝇的生物防治研究进展, 概括了瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* 和南亚果实蝇 *Bactrocera tau* 的主要自然天敌类群, 论述了植物源提取物、性信息素、化学物质、诱集植物和不育技术在防治瓜类实蝇方面的应用, 并讨论了生物防治存在的问题和今后持续控制瓜类实蝇方面的发展趋势。

关键词 瓜实蝇; 南亚果实蝇; 生物防治

Advances in research on the biological control of the major gourd fly species in China

ZENG Xian-Ru QIN Jiang-Mei LONG Xiu-Zhen GAO Xu-Yuan
LIU Ji-Min WEI De-Wei YU Yong-Hao**

(Plant Protection Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Guangxi Key Laboratory for Biology of Crop Diseases and Insect Pests, Nanning 530007, China)

Abstract In this paper advances in biological control research of major gourd flies in China. The natural enemies which had the main control functions were exhibited, the use of plant extracts, sex pheromones, chemical substance, trapping plants, and infertility technology were discussed also in this paper. Finally, the problems existing in the biological control and the future development trend of the continuous control gourd vegetable flies were discussed.

Key words *Bactrocera cucurbitae*; *Bactrocera tau*; biological control

瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) 和南亚果实蝇 *Bactrocera tau* (Walker) 是我国主要的瓜类害虫(张清源等, 1991; 袁盛勇等, 2005), 它们同属双翅目(Diptera)果实蝇科(Tephritidae), 是世界性的入侵害虫, 已被日本、美国、印度尼西亚和巴基斯坦等多个国家和地区列为检疫对象(Huque, 2006; Hasyim *et al.*, 2008; Ohno *et al.*, 2008)。瓜实蝇和南亚果实蝇飞行能力强, 且繁殖速度快, 借助这些优势, 瓜实蝇和南亚果实蝇广布世界多个国家和地区, 在我国主要分布于江苏、福建、海南、广东、广西、贵州、云南、四川、湖南、台湾等地(欧剑

峰等, 2008; Singh *et al.*, 2010; 吴淇铭, 2014)。有研究表明, 瓜实蝇目前的地理分布还未达到其最大潜在地理分布范围, 我国 34.7–18.1°N, 97.5–122.6°E 范围内的 19 个省(市、自治区)是瓜实蝇的潜在地理分布区(孔令斌等, 2008)。

瓜实蝇和南亚果实蝇的寄主种类广泛, 瓜实蝇寄主多于 100 种, 南亚果实蝇寄主植物 80 余种, 主要是瓜果类, 大部分属葫芦科和茄科, 如甜瓜、南瓜、辣椒、苦瓜、西瓜、番茄等(Christenson and Foote, 1960; 张清源等, 1991)。瓜实蝇和南亚果实蝇像其他实蝇科的物种一样, 产卵于寄主果实内, 使寄主果皮下陷畸形, 不仅

*资助项目 Supported projects: 广西自治区主席科技资金专项(16449-0701); 广西科技重大专项(桂科 AA17204041); 广西农业科学院基本科研业务专项(2015YM15)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: yxp1127@163.com

收稿日期 Received: 2019-04-02; 接受日期 Accepted: 2019-04-26

影响瓜果外观及品质, 幼虫孵化后钻蛀果肉, 还会造成烂果、落果, 给瓜果产业造成了严重的损失 (Dhillon *et al.*, 2005; Hasyim *et al.*, 2008; Kitthawee and Dujardin, 2010; Sapkota *et al.*, 2010)。据估计, 仅南亚果实蝇对我国的南瓜产业造成的潜在损失就已高达 2 315 783.08 万元 (方焱等, 2015)。

因实蝇幼虫钻蛀于果实内部, 使得害虫能够随着被害的瓜果进行远距离传播, 再加上我国是进出口贸易大国, 以及我国与“一带一路”国家间的贸易不断加强, 瓜实蝇和南亚果实蝇的扩散范围及途径不断增加, 暴发成灾的风险也不断增大。2004-2010 年间, 我国各口岸从东盟进境货物中共截获南亚果实蝇 260 批次, 瓜实蝇 72 批次 (马兴莉等, 2012)。目前对瓜类实蝇的防治仍高度依赖化学防治方法, 由于幼虫潜居在果实内部, 化学药剂不仅难以将其杀灭还会使其产生抗性, 瓜果农药残留超标, 最终影响人们的身体健康。因此, 对瓜类实蝇进行可持续控制, 开发一种环境友好型且安全高效治理瓜类实蝇的方法刻不容缓。目前, 生物防治技术是一种相对安全、高效控制瓜类实蝇的防治方法, 国内已有大量研究。本文从主要瓜类实蝇的天敌利用、病原微生物、植物源物质、不育技术等方面综述瓜类实蝇生物防治的研究进展, 以期今后瓜类实蝇的综合治理提供参考。

1 天敌的种类及利用

1.1 寄生性天敌

实蝇寄生蜂已经被广泛应用于生物防治中, 目前已见报道的瓜实蝇和南亚果实蝇寄生蜂包括弗蝇潜蝇茧蜂 *Opius fletcheri* (Silvestri), 吉氏角头小蜂 *Dirhinus giffardii* Silv., 阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus*、布氏潜蝇茧蜂 *Fopius vandenboschi*、蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani、弗氏短背茧蜂 *Psytalia fletcheri* (Silvestri)、印啮小蜂 *Aceratoneuromyia indica* Silverstri、蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius* Walker、印度姬小蜂 *Aceratoneuromyia* sp., *Utetes*

bianchii、*Diachasmimorpha dacusii*、*Diachasmimorpha albopalteata*、*Psytalia makii* 等 (Chinajariyawong *et al.*, 2000; Wang and Messing, 2002; Jackson *et al.*, 2003; Bautista *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2013; 林玉英等, 2014; Muhammad *et al.*, 2014; 赵海燕等, 2016)。

实蝇寄生蜂有卵期寄生蜂、幼虫寄生蜂和蛹期寄生蜂。阿里山潜蝇茧蜂是卵寄生蜂, 弗氏短背茧蜂是幼虫寄生蜂, 这两种茧蜂在夏威夷都已被应用于瓜实蝇的综合防治中 (Wood, 2001; Bautista *et al.*, 2004)。据报道弗氏短背茧蜂在寄主瓜实蝇体内总产卵量为 75.3 粒/雌, 其净生殖率中等 (Vargas *et al.*, 2002), 在 24 h 内单独让弗氏短背茧蜂单独寄生瓜实蝇幼虫的寄生率为 22% 左右, 而阿里山潜蝇茧蜂寄生瓜实蝇卵, 寄生率可高达 45%; 让阿里山潜蝇茧蜂先寄生瓜实蝇卵, 然后再让弗氏短背茧蜂寄生幼虫, 可致卵、幼虫、蛹死亡率分别为 52%、56% 和 91%; 同时让阿里山潜蝇茧蜂和弗氏短背茧蜂寄生瓜实蝇, 可对瓜实蝇的发育抑制提高 12 倍 (Bautista *et al.*, 2004)。

蝇蛹俑小蜂是蝇类害虫的蛹期单寄生蜂, 可寄生实蝇科害虫 (Marchiori and Silva, 2003)。24 h 内 1 头蝇蛹俑小蜂寄生瓜实蝇的最大寄生潜能可达到 43.68 头, 2 日龄瓜实蝇蛹龄和 4 日龄蝇蛹俑小蜂放在一起时, 蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹的寄生潜能最大 (李秉然, 2016)。蝇蛹俑小蜂不仅能寄生瓜实蝇, 也能寄生南亚果实蝇。研究发现蝇蛹俑小蜂在 3 日龄、4 日龄南亚果实蝇蛹的寄生率显著高于对其它日龄蛹的寄生率, 其寄生率分别是 54.50%、50.00%。蝇蛹俑小蜂在 3 日龄蛹上的出蜂量最高, 在 7 日龄蛹上的出蜂量、寄生率最低, 分别为 2.35 头、13.25% (刘欢等, 2016)。

2011 年林玉英等研究团队在海南采集橘小实蝇时, 发现印啮小蜂可寄生瓜实蝇。2014 年该团队经研究发现, 瓜实蝇的密度会影响印啮小蜂对瓜实蝇的寄生量, 当寄主密度为 5-20 头/管时, 随着寄主密度的增加, 印啮小蜂的寄生效能有所增强, 但当寄主密度过高时, 寄主密度的增

加会使印啮小蜂的寄生效能降低(林玉英等, 2014)。这说明印啮小蜂对瓜实蝇的寄生作用较大, 具有良好的应用前景。由此可见印啮小蜂、阿里山潜蝇茧蜂、弗氏短背茧蜂、蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇都具有比较强的控制优势, 可单种或多种寄生蜂释放来对瓜实蝇进行控制。蝇蛹俑小蜂对南亚果实蝇的控制作用优势比较明显, 在今后的持续控制中有很大的利用潜力, 可作为重点引进、扩繁和田间应用对象。

1.2 捕食性天敌

在自然界中, 捕食性天敌种类繁多, 分布广泛, 大致可归纳为螨类及蜘蛛、天敌昆虫和鸟类及两栖类动物等三大类。随着人们环保意识的增强和研究的不断深入, 捕食性天敌已广泛应用于害虫的综合治理中。瓜类实蝇的捕食天敌有蚂蚁、鸟类、捕蝇草、螻蛄、青蛙等, Lindegre (1990) 发现斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae* 墨西哥品系对瓜实蝇有较好的抑制作用。据笔者调查发现猎蝽对瓜类实蝇的捕食较为常见, 但国内关于利用捕食性天敌防治瓜实蝇和南亚果实蝇的研究还未见报道, 因此找到控害高效的捕食性天敌, 是一条极具潜力的用于控制瓜类实蝇的途径。

2 病原微生物的利用

2.1 真菌

随着对虫生真菌研究的深入, 利用虫生真菌来防治害虫越来越受到人们的重视, 许多研究结果表明病原真菌对瓜实蝇和南亚果实蝇有一定的防治效果和良好的应用前景。Sookar 等 (2008) 从土壤中分离得到的绿僵菌 *Metarrhizium anisopliae*、球孢白僵菌 *Beauveria bassiana*、拟青霉菌 *Paecilomyces* spp., 并对瓜实蝇进行了致病性实验, 实验结果发现这 3 种致病真菌均对瓜实蝇有致病性, 对瓜实蝇处理 5 d 后死亡率可达 94.0%。Amala 等 (2013) 用淡紫色拟青霉 *Paecilomyces lilacinus* 室内处理瓜实蝇, 发现成虫出现行为异常, 诸如交配竞争力和吸引异性的能力降低, 从而使得其繁殖力降低。袁盛勇等 (2015) 利用球孢白僵菌 XD0104015 菌株对南

亚果实蝇的成虫、幼虫、蛹进行了致病性测定, 结果发现球孢白僵菌对南亚果实蝇各虫态也有很强的致病力, 其中对成虫的致病力最强, 死亡率均达到 90% 以上。

杨叶等 (2016) 研究了黄曲霉 *Aspergillus flavus* 和溜曲霉 *Aspergillus tamarii* 对瓜实蝇成虫的致死力, 发现黄曲霉和溜曲霉对瓜实蝇具有很高的毒力, 接种 8 d 后成虫的平均死亡率分别为 73.5% 和 85.1%, 对卵、幼虫和蛹的毒力则较低, 死亡率均低于 50%。经室内毒力测定, 发现蜡蚧轮枝菌 MZ041024 菌株在室内对南亚果实蝇各虫态均有一定毒力, 对各虫态毒力大小表现为成虫 > 蛹 > 幼虫 (孙燕等, 2013)。立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani*、绿色木霉 *Trichoderma viridae* Pers. 和绿粘帚霉 *Glodvirens* 对瓜实蝇的产卵和发育均具有重要影响 (Sinha and Saxena, 1998)。

2.2 共生菌

实蝇共生菌可影响寄主实蝇的生殖、为寄主提供食物中缺少的必需氨基酸和矿物质、引诱实蝇取食、产卵、降解有毒物质及抑制有害菌的生长 (柳丽君等, 2011)。截至 2016 年研究报道, 在南亚果实蝇中发现的共生菌种类有: 恶臭假单胞菌 *Pseudomonas putida*、草生欧文氏菌 *Erwinia herbicola*、聚团肠杆菌 *Enterobacter agglomerans*、葡萄球菌属 *Staphylococcus* sp.、苍白杆菌属 *Ochrobactrum*、肠杆菌属 *Enterobacter*、克雷伯氏菌属 *Klebsiella*、泛菌属 *Pantoea*、果胶杆菌属 *Pectobacterium*、普罗威登斯菌属 *Providencia*、摩根氏菌属 *Morganella* (Sood and Nath, 2002; Prabhakar et al., 2009; 王洪秀等, 2015; 骆米娟等, 2016)。在瓜实蝇中发现的共生菌种类有: 戴氏西地西菌 *Cedecea davisae*、节杆菌 *Arthrobacter* sp.、嗜麦芽黄单胞菌 *Xanthomonas maltophilia* (Sood and Nath, 2002)。研究表明阴沟肠杆菌 (*Enterobacter cloacae* BF16)、产气肠杆菌 (*Enterobacter aerogenes* BM8) 和肠杆菌 (*Enterobacter* sp. BF32) 对 8 日龄、性成熟的南亚果实蝇均具引诱效果, 其中阴沟杆菌的引诱效果最好 (骆米娟, 2016)。

沃尔巴克氏体 *Wolbachia* 是一类广泛分布于节肢动物体内的共生细菌, 对宿主的生殖活动起着重要的调控作用, 如: 诱导胞质不亲和、杀雄、改变生殖力等 (施婉君等, 2002)。Kittayaporn 等 (2000) 发现在泰国的瓜实蝇和南亚果实蝇均被沃尔巴克氏体 *Wolbachia* 感染, 进一步研究表明瓜实蝇和南亚果实蝇体内共生菌及其具引诱活性的菌的活性成分有助于开辟控制南亚果实蝇为害新途径, 并最终实现该类害虫的综合治理。

除有益菌以外, 实蝇体内还存在许多致病菌, 如黏质沙雷菌 *Serratia marcescens*, 马晓燕等 (2015) 从自然死亡的瓜实蝇上分离得到该菌, 经室内杀虫活性测定, 瓜实蝇成虫接种该菌 7 d 后死亡率可达 81.2%, 卵孵化抑制率为 37.5%, 幼虫平均死亡率为 53.0%, 并且该菌不仅对瓜实蝇具有致死性, 对菜蚜也有较高的毒力。

3 植物源提取物及其次生物质的利用

实蝇视觉和嗅觉器官对实蝇觅食、寻找寄主及产卵场所等行为至关重要, 研究表明, 实蝇雌成虫在寻找寄主植物时通常以果实的颜色、形状、大小、硬度等物理特性作为准则来选择寄主 (任荔荔等, 2008)。但不同的寄主植物的挥发性次生物质成分和含量都不尽相同, 寄主的挥发性次生化合物对味觉和嗅觉具有一定的趋性反应。李小珍等 (2007) 在研究南亚果实蝇对黄瓜、南瓜等 6 种果实的趋性和产卵选择性时发现, 南亚果实蝇喜好在黄瓜、南瓜和丝瓜以及受害的果实上获得营养补充和产卵。王平等 (2009) 认为寄主所含的化学成分在很大程度上决定了对雌虫的诱集作用, 他们以南瓜、西葫芦、板栗瓜、姜柄瓜、黄瓜、香瓜 6 种果实引诱南亚果实蝇雌虫产卵, 结果发现南亚果实蝇在姜柄瓜上引诱产卵最多 (294 粒)、次之为板栗瓜 (37.67 粒)、西葫芦 (26.33 粒)、香瓜 (16.67 粒)、南瓜 (14.33 粒)、而在黄瓜上引诱产卵最少 (10.33 粒); 南亚果实蝇雌虫喜欢在瓜肉面产卵, 且易受果实伤口引诱, 喜欢在人为损伤的伤口上产卵。另研

究发现寄主植物南瓜、番茄汁液能够刺激瓜实蝇产卵 (Vargas and Chang, 1991)。此外, 实蝇为害诱导植物产生的挥发性次生物质对寄生蜂有招引作用 (许再福, 2000)。

目前, 一些植物的次生化合物已被研究作为检测和控制实蝇的引诱剂。Siderhurst 和 Jang (2010) 运用 GC-EAD 技术从葫芦科果实中鉴定出 31 种化合物, 且这些化合物能够吸引瓜实蝇雌成虫, 以这些化合物为诱饵诱捕到的虫量是以蛋白质为诱饵诱捕到的虫量的 2 倍; 实验还发现从新鲜黄瓜中提取出的物质对瓜实蝇雌成虫的诱集能力是水解蛋白的 2 倍, 选择性和持效性显著优于水解蛋白类, 而且还能有效减少对非靶标生物的危害。Hasyim 等 (2007) 发现香蓍毛竹 *Elsholtzia pubescens* 的提取物吸引南亚果实蝇雄虫, 该提取物的主要成分是樟脑, 其诱捕南亚果实蝇效果与标准性引诱剂引诱酮的效果相当, 大叶蝴蝶兰 *Bulbophyllum apertum* 中的覆盆子酮也能吸引南亚实蝇雄虫 (Keng-Hong and Nishida, 2005)。李磊等 (2019) 研究发现瓜实蝇最偏嗜 10% (w/V) 的榴莲香精和南瓜香精, 可用于瓜实蝇的监测和诱杀防治。

Singh 和 Singh (1998) 发现印楝提取物对瓜实蝇产卵有抑制作用。Kaur 等 (2006) 发现天南星科植物中分离得到的血凝素对瓜实蝇 2 龄幼虫的 LC_{50} 值为 16.4 $\mu\text{g/mL}$, 用添加了亚致死剂量血凝素的人工饲料来喂养幼虫, 与未添加血凝素的人工饲料喂养的幼虫相比, 其酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性显著降低, 而酯酶活性却明显增加。

4 引诱物质的利用

4.1 化学合成引诱物质

覆盆子酮乙酸酯[Raspberry ketone acetate, 4-(p-acetoxyphenyl)-2-butanone, RKA]的商品名为诱蝇酮 cue-lure (简称 CL 或 Cue), 是目前各种引诱剂中对瓜实蝇和南亚果实蝇最有效的引诱剂 (张钧, 1991; 吴华等, 2006), 大量雄性成虫被杀死, 减少了雌虫交配机率, 从而降

低了野外虫口的密度(梁广勤等, 2003)。据报道, 瓜实蝇性信息素能够诱杀为害罗汉果的南亚果实蝇, 且诱捕效果达到 68.0%-76.4% (邓亚评, 1992)。覆盆子酮乙酸酯和与其结构相似的化合物覆盆子酮、对甲氧基苯丙酮以及几种酯类按照一定比例混配, 配方为覆盆子酮乙酸酯: 对甲氧基苯丙酮: 乙酸丁酯=3:1:1 的田间诱捕试验效果最好的(任志超等, 2013)。吴华等(2006)发现丁酸乙酯(Ethyl butyrate)对瓜实蝇也有一定的引诱作用, 当丁酸乙酯与覆盆子酮乙酸酯分别以 0.5:99.5、1:99、2:98、3:97、4:96 比例混配成引诱剂, 其对瓜实蝇的引诱效果均显著高于单剂覆盆子酮乙酸酯的引诱效果, 其中丁酸乙酯、覆盆子酮乙酸酯以 3:97 混配的引诱剂所诱集的总虫数是单剂覆盆子酮乙酸酯所诱集的 2.1 倍。杜迎刚等(2016)报道了啤酒废酵母酶解后主要挥发性物质 3-甲基-1-丁醇、苯甲醛、苯乙腈、辛酸乙酯、乙酸辛酯、乙酸苯乙酯均能引起瓜实蝇和南亚果实蝇较强的 EAG 反应, 说明这些物质对瓜实蝇和南亚果实蝇具有引诱力, 可以加以开发利用。

4.2 食物引诱物质

李国平等(2012)在研究不同食物诱剂对苦瓜园瓜实蝇的诱杀效果时发现, 蜜糖水或红糖水添加南瓜饵的诱杀效果显著高于其他诱饵, 且这种差异性在苦瓜园外更明显。在 3%-10% 范围内, 红糖水的浓度越高诱杀作用越强, 但 5%、10%、15% 红糖水添加南瓜饵后对成虫的诱杀作用无差异。由华南农业大学昆虫毒理研究室研制的营养型实蝇诱剂——实蝇克(主要成分包括阿维菌素 0.05% 及适当比例的水解蛋白、白糖等)能有效诱集瓜实蝇等常见实蝇, 在实蝇高峰期, 每隔 7 d 换药 1 次, 连续换药 3 次, 苦瓜果实带虫率可控制在 5% 以内, 保护作用可达 80% 以上(范振仪等, 2013)。生产上应用于防治瓜实蝇最为成功的食物引诱剂产品是由美国陶氏益农司与美国农业部合作开发的“猎蝇”GF-120, 目前该产品已在我国登记使用, 用于防治果蔬种植区的瓜实蝇(丘杏红等, 2008)。

5 不育技术的利用

昆虫不育技术(Sterile insect technique, SIT)目前是国际上较为先进有效的实蝇综合防控方法(Robinson *et al.*, 2002), 其主要原理是通过在危害区单独、持续、大量释放不育雄虫, 通过不育雄虫和野生雌虫交配, 使雌虫产下的卵不能孵化, 进而逐渐减少害虫种群数量, 以达到控制害虫的目的(Hendrichs *et al.*, 2002)。日本冲绳县曾采用 SIT 技术根除了当地瓜实蝇, 美国也通过释放瓜实蝇的不育雄虫最终在其国家的多个地区根除了瓜实蝇(Koyama *et al.*, 2004; Dhillon *et al.*, 2005)。目前我国瓜实蝇的遗传区性品系已建立(吴玉华, 2015), 但尚未开展应用 SIT 防控瓜实蝇的工作。

6 讨论

瓜类是人们生活中必不可少的一类重要食物, 其生产周期短, 害虫种类多, 用药水平较其它作物高, 因此需要一种安全、高效的防治技术来治理瓜类害虫。瓜实蝇和南亚果实蝇作为瓜类作物的主要害虫, 防控这类害虫比较安全有效的方法是使用防虫网和果实套袋技术, 但是成本较高且适用范围窄。由上述文中可看出, 各种生物防治方法对瓜类实蝇的种群具有一定的控制作用, 但是目前防治瓜类实蝇主要靠化学药剂, 而生物防治作为一种重要的综合防治手段之一却没有普及, 主要存在以下几方面的原因。

首先, 实蝇类害虫食性杂, 有种类繁多的寄主植物, 特别是在华南和西南地区代数多且世代重叠严重, 有多种食物来源, 为害的范围和程度日益加大。第二, 实蝇类害虫卵及幼虫均位于果实内部, 幼虫成熟后落入土中化蛹, 寄生蜂产卵管长度有限, 对于果实内部的卵和幼虫以及土中的蛹的寄生率都不是很理想, 而且理想的天敌大规模室内饲养和繁殖难度较大。第三, 昆虫病原真菌虽具有专一性强, 活性高, 对人畜和环境安全等优点, 但是病原真菌寄主单一, 稳定性差, 对环境要求苛刻, 需要适宜环境才能流行发生,

而且真菌毒杀效果较慢。第四,植物源提取物活性成分复杂,杀虫速度缓慢,具有引诱作用或驱避作用的提取物对雌成虫的效果不稳定,在瓜类作物这种短期作物上难有作为。第五,食诱剂对瓜类实蝇两性成虫均有引诱效果,但专一性不强,对天敌也具有一定的毒性,而且药效时间短、不稳定,易受雨水天气影响。最后,昆虫不育技术未成气候,辐照或化学药物处理后的雄虫存活率、竞争交配力等与野生雄虫相比,还存在争议,田间大面积释放不育雄虫进行防控还有待考究。

随着人们对环保意识的提高,以及政府重视农药减施技术的使用,目前我国应用生物防治技术来控制田间害虫已取得一定成效,2011 年利用生物防治技术进行病虫害防治的面积已占有病虫害防治面积的 10%-15%,在赤眼蜂和捕食螨的繁殖方面我国也已取得成功,并利用捕食螨来防治叶螨、蓟马等害虫(陈学新等,2013)。对于瓜类实蝇的生物防治工作,除了加强瓜类实蝇的检疫处理、发生规律和种群动态的研究外,还应深入开展以下几个方面的研究。

(1) 天敌昆虫的选育、大规模繁殖和控制害虫的分子、生理与行为生态机制研究。对天敌昆虫进行改造,筛选出类似抗有机磷农药益螨 *Metaseiulus occidentalis* 的具抗性基因的天敌,提高天敌的田间竞争力;通过改变栖息环境,如间种或邻种诱集植物、蜜源植物引诱天敌控制害虫(Landis *et al.*, 2000; Shelton and Badenes-Perez, 2006);研究寄生性天敌进入害虫体内后躲避或抑制寄主的免疫反应、调控寄主的发育和营养等重要生理过程,从分子水平上阐明寄生性天敌调控寄主的机制,发掘一批具有生物防治潜能的寄生蜂控害的关键基因或关键活性物质。

(2) 寄主植物抗虫品种的选育。如广西的一种野生苦瓜抗瓜实蝇取食,其果实果皮较硬影响食用,可通过遗传育种方法进行改良(刘政国等,2012)。目前针对实蝇类害虫还有抗桔小实蝇番石榴品种(Vijayabhaskar *et al.*, 2007)。

(3) 寄主植物与瓜类实蝇的互作关系及两者互作过程中分子、生理及形态的变化,挖掘具有应用价值的活性物质。研究发现,虫害植物可产

生警告和求救信号物质,能使邻近的植物产生防御反应,并能引诱天敌昆虫(Vet and Dicke, 1992; Uma and Weiss, 2010)。植食性昆虫也能应对植物产生的对虫体有害的次生物质,比如十字花科植物昆虫能够把的有毒的葡糖黑芥子苷盐(Glucosinates)解毒,并且把它作为取食的线索(王琛柱和钦俊德,2007)。

(4) 昆虫病原真菌资源的开发和遗传改造,真菌代谢产物中杀虫毒素物质的研究。

(5) 新型昆虫信息素的分离、鉴定及人工合成。

(6) 基于 RNAi 分子技术的成虫不育技术的研究及大规模应用。

参考文献 (References)

- Amala U, Jiji T, Naseema A, 2013. Laboratory evaluation of local isolate of entomopathogenic fungus, *paecilomyces lilacinus* Thom Samson (ITCC 6064) against adults of melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae* Coquillett (Diptera: Tephritidae). *Journal of Tropical Agriculture*, 51(2): 132–134.
- Bautista RC, Harris EJ, Vargas RI, Jang EB, 2004. Parasitization of melon fly (Diptera: Tephritidae) by *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) and the effect of fruit substrates on host preference by parasitoids. *Biological Control*, 30(2): 156–164.
- Chen XX, Ren SX, Zhang F, Cai WZ, Zeng FR, Zhang WQ, 2013. Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 9–18. [陈学新, 任顺祥, 张帆, 彩万志, 曾凡荣, 张文庆, 2013. 天敌昆虫控害机制与可持续利用. 应用昆虫学报, 50(1): 9–18.]
- Chinajariyawong A, Clarke AR, Jirasurat M, Kritsaneepiboon S, Lahey HA, Vijayasegaran S, Walter GH, 2000. Survey of opiine parasitoids of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Thailand and Malaysia. *National University of Singapore*, 48(1): 71–101.
- Christenson LD, Foote RH, 1960. Biology of fruit flies. *Annual Review of Entomology*, 5: 171–192.
- Deng YP, 1992. Biological characteristics and control of *Bactrocera tau* (Walker) in orchard of *Siraitia groseovorii*. *Plant Protection*, 18 (2): 24–25. [邓亚评, 1992. 罗汉果园南瓜实蝇生物学特性及防治. 植物保护, 18(2): 24–25.]
- Dhillon MK, Singh R, Naresh JS, Sharma HC, 2005. The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: A review of its biology and

- management. *Journal of Insect Science*, 5(1): 40.
- Du YG, Lai ZX, Ji QE, Chen JH, 2016. Electroantennographic responses of *Dactrocera tau* (Walker) and *Bactrocera cucurbitae*, to volatile enzymatic hydrolysate from spent brewer's yeast. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 44(7): 187–188, 195. [杜迎刚, 赖钟雄, 季清娥, 陈家骅, 2016. 南亚果实蝇和瓜实蝇对啤酒废酵母酶解液主要挥发性成分的触角电位反应. 江苏农业科学, 44(7): 187–188, 195.]
- Fang Y, Li ZH, Qin M, Wu ZG, Zhao SQ, Wu LF, Zhao ZH, Chen K, Qin YJ, Wang C, Zhao T, 2015. The potential economic impact of the pumpkin industry caused by *Bactrocera tau* (Walker). *Plant Quarantine*, 29(3): 28–33. [方焱, 李志红, 秦萌, 吴志刚, 赵守歧, 吴立峰, 赵中华, 陈克, 秦誉嘉, 王聪, 2015. 南亚果实蝇对我国南瓜产业的潜在经济损失评估. 植物检疫, 29(3): 28–33.]
- Fan ZY, Cai J, Yang HX, Dong XL, 2013. Effect of a novel nutrition attractant on fruit flies infected balsam pear under the field condition. *Guangdong Agricultural Sciences*, 40(12): 93–95. [范振仪, 蔡俊, 杨红霞, 董小林, 2013. 实蝇营养诱剂对苦瓜实蝇类害虫的诱杀效果. 广东农业科学, 40(12): 93–95.]
- Hasyim A, Muryati M, Istianto M, Kogel WJD, 2007. Male fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae) attractants from *Elsholtzia pubescens* Bth. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(1): 181–183.
- Hasyim A, Muryati M, Kogel WJD, 2008. Population fluctuation of adult males of the fruit fly, *Bactrocera tau* Walker (Diptera: Tephritidae) in passion fruit orchards in relation to abiotic factors and sanitation. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 9(1): 29–33.
- Hendrichs J, Robinson AS, Cayol JP, Enkerlin W, 2002. Medfly areawide sterile insect technique programmes for prevention, suppression or eradication: The importance of mating behavior studies. *Florida Entomologist*, 85(1): 1–13.
- Huque R, 2006. Comparative studies on the susceptibility of various vegetables to *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(1): 93–95.
- Jackson CG, Vargas RI, Suda DY, 2003. Populations of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) and its parasitoid, *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae), in *Coccinia grandis* (cucurbitaceae), or ivy gourd, on the island of Hawaii. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 36: 39–46.
- Kaur M, Singh K, Rup PJ, Saxena AK, Khan RH, Ashraf MT, Kamboj SS, Singh J, 2006. A tuber lectin from *arisaema helleborifolium* schott with anti-insect activity against melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae* (coquillett) and anti-cancer effect on human cancer cell lines. *Archives of Biochemistry & Biophysics*, 445(1): 156–165.
- Keng-Hong T, Nishida R, 2005. Synomone or kairomone? --bulbophyllum apertum flower releases raspberry ketone to attract *Bactrocera* fruit flies. *Journal of Chemical Ecology*, 31(3): 497–507.
- Kitthawee S, Dujardin JP, 2010. The geometric approach to explore the *Bactrocera tau* complex (Diptera: Tephritidae) in thailand. *Zoology*, 113(4): 243–249.
- Kittayapong P, Milne JR, Tigvattananont S, Baimai V, 2000. Distribution of the reproduction-modifying bacteria, *Wolbachia*, in natural populations of tephritid fruit flies in Thailand. *Science Asia*, 26(2): 93–103.
- Kong LB, Lin W, Li ZH, Wan FH, Wang ZL, Huang GS, 2008. Predication of potential geographic distribution of melon fruit flybased on CLIMEX and DIVA-GIS. *Acta Phytophylacica Sinica*, 35(2): 149–154. [孔令斌, 林伟, 李志红, 万方浩, 王之岭, 黄冠胜, 2008. 基于 CLIMEX 和 DIVA-GIS 的瓜实蝇潜在地理分布预测. 植物保护学报, 35(2): 149–154.]
- Koyama J, Kakinohana H, Miyatake T, 2004. Eradication of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, in Japan: importance of behavior, ecology, genetics, and evolution. *Annual Review of Entomology*, 49(1): 331–349.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45(1): 175–201.
- Liang GQ, Liang F, Wu JJ, Shao QH, Wu SH, Chen QS, 2003. The principle of fruit flies control and control methods. *Guangdong Agricultural Sciences*, (1): 36–38. [梁广勤, 梁帆, 吴佳教, 邵庆华, 吴士豪, 陈其生, 2003. 实蝇的防治原理及防治措施. 广东农业科学, (1): 36–38.]
- Li AR, 2016. Evaluation of *Spalangia endius* (Walker) for control of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett). Master dissertation. Guangzhou: South China Agriculture University. [李秉然, 2016. 蝇蛹桶小蜂对瓜实蝇控制作用评价. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学.]
- Li GP, Liu F, Chang JM, Zhao YL, He YB, Zhan RL, 2012. Trapping effect of different food baits attractant on *Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett) in bitter melon park. *China Vegetables*, (2): 79–82. [李国平, 柳凤, 常金梅, 赵艳龙, 何衍彪, 詹儒林. 不同食物诱剂对苦瓜园瓜实蝇的诱杀效果. 中国蔬菜, (2): 79–82.]
- Li L, Niu LM, Han DY, Chen JY, Zhang FP, Fu YG, 2019. Taxis responses of *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) to different fruit flavors. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 40(2): 328–333. [李磊, 牛黎明, 韩冬银, 陈俊谕, 张方平, 符悦冠, 2019. 瓜实蝇对不同果香香精的趋向行为研究. 热带作物学报, 40(2): 328–333.]

- Lindegren JE, 1990. Field suppression of three fruit fly species (Diptera: Tephritidae) with *Steinernema carpocapsae*// Proceeding of the Vth International Colloquium on Invertebrate Pathology and Microbial Control. Adelaide, Australia. 20–24 August. 223.
- Lin YY, Jin T, Jin QA, Wen HB, Peng ZQ, 2014. Effects of *Bactrocera cucurbitae* and parasite density on the parasitism efficiency of *Aceratoneuromyia indica*. *Plant Protection*, 40(4): 89–91. [林玉英, 金涛, 金启安, 温海波, 彭正强, 2014. 瓜实蝇密度和蜂密度对印啮小蜂寄生效能的影响. *植物保护*, 40(4): 89–91.]
- Liu H, Li L, Zhang FP, Han DY, Gong Z, Niu LM, Fu YG, 2016. Selection, development and longevity of *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae) in pupae of different ages of *Bactrocera tau* (Walker) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(2): 431–436. [刘欢, 李磊, 张方平, 韩冬银, 龚治, 牛黎明, 符悦冠, 2016. 不同日龄南瓜实蝇蛹对蝇蛹俑小蜂寄生选择、发育及寿命的影响. *环境昆虫学报*, 38(2): 431–436.]
- Liu LJ, Li ZH, Dai Y, 2011. Research progress on the bacterial and fungal symbionts in fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Journal of Biosafety*, 20(2): 91–99. [柳丽君, 李志红, 戴阳, 2011. 实蝇共生菌研究进展. *生物安全学报*, 20(2): 91–99.]
- Liu ZG, Chen Y, Wang XY, 2012. Gene effect of resistance to fruit flies (*Bactrocera cucurbitae*) in bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Journal of Guangxi Agriculture*, 27(1): 20–21. [刘政国, 陈勇, 王先裕, 2012. 苦瓜抗瓜实蝇的遗传效应分析. *广西农学报*, 27(1): 20–21.]
- Li XZ, Liu YH, He ZY, 2007. Taxis response and selective propensity of *Bactrocera tau* to six host fruits. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 44(1): 82–85. [李小珍, 刘映红, 贺智勇, 2007. 南亚实蝇对六种果实的趋性和产卵选择性. *应用昆虫学报*, 44(1): 82–85.]
- Luo MJ, 2016. Molecular diversity analysis of the intestinal bacterial communities from adult *Bactrocera tau* (Walker) and their trapping effect. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [骆米娟, 2016. 南亚实蝇成虫肠道微生物分子多样性分析及引诱效果. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Luo MJ, Zhang HH, Chen JH, Du YG, He LY, Ji QE, 2016. Isolation and identification of bacteria in the intestinal tract of adult *Bactrocera tau* (Walker) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 45(1): 8–13. [骆米娟, 张贺贺, 陈家骅, 杜迎刚, 何龙艳, 季清娥, 2016. 南亚实蝇成虫肠道细菌的分离与鉴定. *福建农林大学学报(自然版)*, 45(1): 8–13.]
- Marchiori CH, Silva CG, 2003. First occurrence of parasitoid *Spalangia endius* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) in pupae of *Zaprionus indianus* Gupta (Diptera: Drosophilidae) in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 63(2): 361–362.
- Ma XL, Liu HJ, Li ZH, Hu XN, Chen K, 2012. The analysis of information on fruit flies from ASEAN intercepted at Chinese ports. *Plant Quarantine*, 26(5): 82–87. [马兴莉, 刘海军, 李志红, 胡学难, 陈克, 2012. 我国口岸截获东盟实蝇疫情分析. *植物检疫*, 26(5): 82–87.]
- Ma XY, Lu BB, Wang M, Yang Y, 2015. Identification of bacteria from *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) in Hainan and determination of its insecticidal bioactivity. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(3): 428–432. [马晓燕, 路斌冰, 王萌, 杨叶, 2015. 海南瓜实蝇致病细菌的分离鉴定及杀虫活性测定. *中国生物防治学报*, 31(3): 428–432.]
- Muhammad N, Anjum S, Nazir A, Imran R, Waseem A, 2014. Role of *Dirhinus giffardii* silv. age on the parasitism preference to different days old pupae of *Bactrocera zonata* and *Bactrocera cucurbitae*. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 6(1): 1–5.
- Ohno S, Tamura Y, Haraguchi D, Kohama T, 2008. First detection of the pest fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae), in the field in Japan: Evidence of multiple invasions of Ishigaki Island and failure of colonization. *Applied Entomology & Zoology*, 43(4): 541–546.
- Ou JF, Huang H, Wu H, Liu GQ, Zheng JH, Han SC, Mo WD, 2008. Progress of *Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett) in China. *Journal of Changjiang Vegetables*, 13(1): 33–37. [欧剑峰, 黄鸿, 吴华, 刘桂清, 郑基焕, 韩诗畴, 莫伟冬, 2008. 瓜实蝇国内研究概况. *长江蔬菜*, 13(1): 33–37.]
- Prabhakar C, Sood P, Kapoor V, Kanwar S, Mehta P, Sharma P, 2009. Molecular and biochemical characterization of three bacterial symbionts of fruit fly, *Bactrocera tau* (Tephritidae: Diptera). *Journal of General & Applied Microbiology*, 55(6): 479–487.
- Qiu XH, Han KF, Cai JH, Huang GZ, Peng XZ, 2008. Occurrence and control of *Bactrocera cucurbitae* of balsam pear. *Guangdong Agricultural Sciences*, 8(1): 93, 104. [丘杏红, 韩科峰, 蔡建华, 黄贵中, 彭细珍, 2008. 苦瓜果实蝇的发生与防治. *广东农业科学*, 8(1): 93, 104.]
- Ren LL, Qi LY, Jiang QG, Zhou SD, Dai HG, 2008. Oviposition preference of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 45(4): 593–597. [任荔荔, 祁力言, 蒋巧根, 周曙东, 戴华国, 2008. 植物果实、颜色和形状对橘小实蝇产卵选择的影响. *应用昆虫学报*, 45(4): 593–597.]
- Ren ZC, Wu WJ, Li MH, Fu YG, 2013. Screening of attraction formula for male *Bactrocera cucurbitae* in laboratory and field. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 34(4): 743–746. [任志超, 吴

- 伟坚, 李梅辉, 符悦冠, 2013. 瓜实蝇雄虫引诱剂配方的筛选. 热带作物学报, 34(4): 743–746.]
- Robinson AS, Cayol JP, Hendrichs J, 2002. Recent findings on medfly sexual behavior: Implications for SIT. *Florida Entomologist*, 85(1): 171–181.
- Sapkota R, Dahal KC, Thapa RB, 2010. Damage assessment and management of cucurbit fruit flies in spring-summer squash. *Journal of Entomology & Nematology*, 2(1): 7–12.
- Shelton AM, Badenes-Perez FR, 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 51(1): 285–308.
- Shi WJ, Cheng JA, Zhu ZR, Jiang MX, Lou YG, 2002. Progress in the studies of insect symbiont *Wolbachia*. *Acta Ecologica Sinica*, 22 (3): 409–419. [施婉君, 程家安, 祝增荣, 蒋明星, 娄永根, 2002. 昆虫共生细菌 *Wolbachia* 的研究进展. 生态学报, 22(3): 409–419.]
- Siderhurst MS, Jang EB, 2010. Cucumber volatile blend attractive to female melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (coquillett). *Journal of Chemical Ecology*, 36(7): 699–708.
- Singh SK, Kumar D, Ramamurthy VV, 2010. Biology of *Bactrocera* (*Zeugodacus*) *tau* (Walker) (Diptera: Tephritidae). *Entomological Research*, 40(5): 259–263.
- Singh S, Singh RP, 1998. Neem (*Azadirachta indica*) seed kernel extracts and azadirachtin as oviposition deterrents against the melon fly (*Bactrocera cucurbitae*) and the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*). *Phytoparasitica*, 26(3): 191–197.
- Sinha P, Saxena SK, 1998. Effect of culture filtrate of three fungi in different combinations on the development of *Dacus cucurbitae* in vitro. *Indian Phytopathology*, 51(4): 361–362.
- Sood P, Nath A, 2002. Bacteria associated with *Bactrocera* sp. (Diptera: Tephritidae) - isolation and identification. *Pest Management & Economic Zoology*, 10: 1–9.
- Sookar P, Bhagwant S, Ouna EA, 2008. Isolation of entomopathogenic fungi from the soil and their pathogenicity to two fruit fly species (Diptera: Tephritidae). *Journal of Applied Entomology*, 132(9/10): 778–788.
- Sun Y, Yuan SY, Li LH, Deng X, Yang JP, Xiao DJ, 2013. Determination of virulence of *Verticillium lecanii* against *Bactrocera tau*. *Journal of Southern Agriculture*, 44(10): 1662–1666. [孙燕, 袁盛勇, 李红丽, 邓茜, 杨继萍, 肖达见, 2013. 蜡蚧轮枝菌对南瓜实蝇室内毒力测定. 南方农业学报, 44(10): 1662–1666.]
- Uma DB, Weiss MR, 2010. Chemical mediation of prey recognition by spider-hunting wasps. *Ethology*, 116(1): 85–95.
- Vargas RI, Chang HB, 1991. Evaluation of oviposition stimulants for mass production of melon fly, oriental fruit fly, and mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 84(6): 1695–1698.
- Vargas RI, Ramadan M, Hussain T, Mochizuki N, Bautista RC, Stark JD, 2002. Comparative demography of six fruit fly (Diptera: Tephritidae) parasitoids (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control*, 25(1): 30–40.
- Vet LEM, Dicke M, 1992. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. *Annual Review of Entomology*, 37(1): 141–172.
- Vijayabhaskar V, Manjunath J, Baribabu K, 2007. Screening of guava varieties against fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Insect Environment*, 13(2): 60–61.
- Wang CZ, Qin JD, 2007. Insect-plant co-evolution: multitrophic interactions concerning *Helicoverpa* species. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 44(3): 311–319. [王琛柱, 钦俊德, 2007. 昆虫与植物的协同进化: 寄主植物-铃夜蛾-寄生蜂相互作用. 应用昆虫学报, 44(3): 311–319.]
- Wang HX, Jin L, Chen QL, Wei YH, Ma JP, Yao J, Chen LM, Zhong GX, 2015. The community structure of the intestine cultivable bacteria of *Bactrocera dorsalis* adults. *Microbiology China*, 42(12): 2351–2365. [王洪秀, 靳亮, 陈庆隆, 魏云辉, 马吉平, 姚健, 陈柳萌, 钟国祥, 2015. 橘小实蝇成虫肠道可培养细菌群落结构分析. 微生物学通报, 42(12): 2351–2365.]
- Wang P, Yuan SY, Li JP, Li WW, Pu JX, Luo DQ, 2009. Study on oviposition preference of *Dactrocera tau* (Walker). *Journal of Honghe University*, 7(2): 37–39. [王平, 袁盛勇, 李建鹏, 李文伟, 普金霞, 骆弟乾, 2009. 南瓜实蝇的产卵选择性研究. 红河学院学报, 7(2): 37–39.]
- Wang XG, Messing RH, 2002. Newly imported larval parasitoids pose minimal competitive risk to extant egg-larval parasitoid of tephritid fruit flies in Hawaii. *Bulletin of Entomological Research*, 92(5): 423.
- Wood M, 2001. Forcing exotic, invasive insects into retreat: New IPM program targets Hawaii's fruit flies. *Agricultural Research*, 49(11): 11–13.
- Wu H, Huang H, Ou JF, Han SC, Xu JL, 2006. Preliminary study of attraction effect of cue lure imp rover on *Bactrocera cucurbitae* Co-quillet. *Guangdong Agricultural Sciences*, (12): 56–57. [吴华, 黄鸿, 欧剑峰, 韩诗畴, 徐洁莲, 2006. 诱蝇酮改良剂对瓜实蝇的诱集效果试验初报. 广东农业科学, (12): 56–57]
- Wu QM, 2014. Prediction of suitable distribution area and risk analysis of six important fruit flies. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [吴淇铭, 2014. 6种重要果实蝇的适生区预测和风险分析. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Wu YH, 2015. The basic study of genetic sexing strain of melon fly

- Bactrocera cucurbitae* (Coquillett). Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [吴玉华, 2015. 瓜实蝇遗传区性品系的基础研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Xu ZF, 2000. Herbivore-induced plant volatiles secondary metabolites and its attracts to parasitoid. *Journal of Environmental Entomology*, 22(3): 128–134. [许再福, 2000. 虫害诱导的植物挥发性次生物质及其对寄生蜂的招引作用. 环境昆虫学报, 22(3): 128–134.]
- Yang Y, Wang M, Ma XY, Lu BB, Xu ZH, 2016. *Aspergillus* spp. isolated from *Bactrocera cucurbitae* in Hainan and their biological characteristics. *Mycosystema January*, 35(1): 20–28. [杨叶, 王萌, 马晓燕, 路斌冰, 许展华, 2016. 感染瓜实蝇的曲霉菌及其生物学特性. 菌物学报, 35(1): 20–28.]
- Yuan SY, Kong Q, Li ZY, Xiao C, Chen B, Zhang DG, 2005. Study on Biology of *Bactrocera* (*Zeugodacus*) *Cucurbitae*. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 14(3): 38–40. [袁盛勇, 孔琼, 李正跃, 肖春, 陈斌, 张德刚, 2005. 瓜实蝇生物学特性研究. 西北农业学报, 14(3): 38–40.]
- Yuan SY, Kong Q, Sun Y, Xue CL, Shen DR, Chen B, He C, 2015. Susceptibility of *Bactrocera tau* (Walker) to the hyphomycete fungus *Beauveria bassiana* Vuillemin. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(9): 158–160. [袁盛勇, 孔琼, 孙燕, 薛春丽, 沈登荣, 陈斌, 何超, 2015. 球孢白僵菌对南瓜实蝇致病力的测定. 江苏农业科学, 43(9): 158–160.]
- Zhang J, 1991. Lure trapping for fruit fly pest. *Plant Quarantine*, 5(6): 401–404. [张钧, 1991. 引诱剂对实蝇类害虫的诱捕效果. 植物检疫, 5(6): 401–404.]
- Zhang QY, Lin ZJ, Liu JY, Lin XY, 1991. Biological characteristics of *Bactrocera tau* (Walker). *Plant Quarantine*, 5(3): 164–167. [张清源, 林振基, 刘金耀, 林向阳, 1991. 南亚寡鬃实蝇生物学特性. 植物检疫, 5(3): 164–167.]
- Zhao HY, Lu YY, Liang GW, 2016. Preference of the parasitoid *Spalangia endius* Walker to its hosts, *Bactrocera dorsalis* and *B. cucurbitae*. *Journal of Biosafety*, 25(1): 35–38. [赵海燕, 陆永跃, 梁广文, 2016. 蝇蛹俑小蜂对橘小实蝇和瓜实蝇的偏好性. 生物安全学报, 25(1): 35–38.]
- Zhao HY, Zeng L, Xu YJ, Lu YY, Liang GW, 2013. Effects of host age on the parasitism of *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae), an ectoparasitic pupal parasitoid of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 96(2): 451–457.