

阿里食虱跳小蜂生物学特性及其应用研究进展*

卢梓潼^{1,2**} 刘燕梅^{1,2} 曾浩源³ 桑文^{1,2,3,4} 邱宝利^{1,2,3,4***}

(1. 广东省生物农药创制与应用重点实验室, 广州 510640; 2. 广东省害虫生物防治工程技术研究中心, 广州 510640; 3. 生物防治教育部工程研究中心, 广州 510640; 4. 华南农业大学昆虫学系, 广州 510640)

摘 要 柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 是传播柑橘黄龙病菌的重要媒介昆虫, 对我国柑橘产业的健康发展造成了严重的威胁。阿里食虱跳小蜂 *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Shaffe, Alam and Agarwal) 是柑橘木虱的一种优良内寄生蜂, 在我国乃至世界多个国家均有分布, 发挥着重要的生防作用。本文综述了阿里食虱跳小蜂分类地位、形态特征、地理分布、生长发育、生殖能力、寿命、寄生行为等生物学特性, 以及人工繁育技术的研究与应用的最新研究进展, 同时分析了目前其应用方面存在的问题, 旨在为我国今后利用阿里食虱跳小蜂科学、高效和可持续防控柑橘木虱提供参考, 不断推动我国柑橘产业健康、稳定和可持续发展。

关键词 柑橘木虱; 阿里食虱跳小蜂; 黄龙病; 生物防治

Advances in research on the biological characteristics and use of *Diaphorencyrtus aligarhensis* as a biological control for *Diaphorina citri*

LU Zi-Tong^{1,2**} LIU Yan-Mei^{1,2} ZENG Hao-Yuan³ SANG Wen^{1,2,3,4} QIU Bao-Li^{1,2,3,4***}

(1. Key Laboratory of Bio-pesticide Innovation and Application, Guangdong 510640, China; 2. Engineering Technology Research Center of Pest Biocontrol, Guangdong 510640, China; 3. Engineering Research of Center of Biological Control, Ministry of Education, Guangdong 510640, China; 4. Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangdong 510640, China)

Abstract *Diaphorina citri* Kuwayama is an important insect vector of the pathogen that causes citrus greening disease or Huanglongbing (HLB), a disease that poses an extremely grave threat to the world's citrus industry, including China's. *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Shaffe, Alam and Agarwal) is an endoparasitoid of *D. citri* that is found in China and other countries, and which performs an important role in the biological control of *D. citri*. This paper reviews the latest advances in research on *D. aligarhensis*, including its taxonomic status, morphological characteristics, distribution, growth and development, reproductive capacity, longevity, parasitic behavior, rearing technology and application as a biological control agent. We also analyze current problems and trends in the application of *D. aligarhensis*. This review provides an important reference for the biological control of *D. citri*, and is expected to contribute to the healthy, stable and sustainable development of China's citrus industry.

Key words Asian citrus psyllid; *Diaphorencyrtus aligarhensis*; HLB; biological control

柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 属半翅目 (Hemiptera)、扁木虱科 (Liviidae), 是芸香

*资助项目 Supported projects: NSFC-广东联合基金项目 (U1701231); 广东省现代农业产业技术体系建设项目柑橘与芒果创新团队专项 (2020KJ108)

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

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: baileyqiu@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-11-18; 接受日期 Accepted: 2020-12-15

科植物上的重要害虫, 主要危害的植物已超过 27 种 (Hodkinson and White, 1981; Chu *et al.*, 2019)。在所有危害的寄主植物中, 对柑橘类的危害最严重, 而九里香及砂糖桔是其最适寄主 (任素丽等, 2018b)。柑橘木虱在嫩芽、新叶上吸食及产卵, 造成叶片枯萎、畸形、黄化, 而且若虫在取食过程中分泌的白色蜜露附着于植物叶片表面, 会诱发植物产生煤烟病, 影响光合作用 (谢佩华等, 1989; 李皓等, 2018)。柑橘木虱最大的危害是传播被称为柑橘“癌症”的黄龙病病菌, 可对柑橘产业造成巨大损失 (Pelz-Stelinski *et al.*, 2010; Grafton-Cardwell *et al.*, 2013; Hall *et al.*, 2013; Wang and Trivedi, 2013; 任素丽等, 2018a)。柑橘黄龙病是柑橘的毁灭性病害, 在世界多个国家均有分布 (Bove, 2006; Hall *et al.*, 2013; Mishchuk *et al.*, 2017)。植物感染黄龙病后, 会导致植株叶片变小、均匀黄化, 果实畸形、果小、着色异常, 根表皮易腐烂、易脱落, 造成大片橘树死亡 (Bove, 2006; Gottwald *et al.*, 2007)。我国南方多个柑橘种植省 (区) 已受到柑橘黄龙病的危害, 受灾面积占柑橘总栽培面积的 80% 以上, 随着全球气候变暖, 柑橘木虱的分布范围正向北蔓延 (范国成等, 2009; 汪善勤等, 2015; Chen, 2017)。因此, 做好柑橘木虱的有效防控是遏制柑橘黄龙病蔓延的重要手段 (Hoddle and Pandey, 2014)。

目前, 世界各国主要依靠化学药剂, 如噻虫嗪、阿维菌素、吡虫啉、亚胺硫磷、乐果、甲氰菊酯等防治柑橘木虱 (Chen *et al.*, 2017; Della Vechia *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2019; Vanaclocha *et al.*, 2019)。长期、大量使用化学农药会致使柑橘木虱产生不同程度的抗药性、天敌昆虫大量死亡、果园内的生物多样性减少、生态环境受到破坏或污染、果实农药残留超标等一系列问题 (陈贵峰和邱柱石, 2005; 门友均, 2005; Qureshi and Stansly, 2007; Kanga *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2018; Tofangsazi *et al.*, 2018)。面对这样的被动局面, 研究与应用非化学手段防控柑橘木虱已是柑橘产业面临的急迫问题, 生物

防治作为化学防治的辅助及替代手段, 具有高效、绿色、环保、便捷等优点, 已逐渐成为防控柑橘木虱的重要手段。

阿里食虱跳小蜂 *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Shaffe, Alam and Agarwal) 是一种柑橘木虱优良内寄生蜂, 在全球多个国家和地区均有分布 (Tang, 1990)。近年来, 世界各地对寄生蜂的生物学特性、人工繁育和施放技术进行了较充分的研究。在此, 笔者对国内外有关阿里食虱跳小蜂的研究进行综述, 以期今后更好地利用阿里食虱跳小蜂防控柑橘木虱提供理论依据。

1 阿里食虱跳小蜂的形态特征及分布

1.1 分类地位

阿里食虱跳小蜂 *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Shaffe Alam and Agarwal), 隶属膜翅目 (Hymenoptera)、跳小蜂科 (Encyrtidae)。最早由 Shaffe 等 (1975) 进行描述和定名。该虫先后在不同地区出现过较多的同物异名现象, 如在留尼汪、越南和中国台湾曾分别被称为 *Psyllaephagus harrisoni* (Lin and Chia, 1972)、*Psyllaephagus diaphorinae* (Myartzeva and Trjapitzin, 1978) 和 *Aphydencyrtus diaphorinae* (Etienne and Aubert, 1980)。因此, 在实际工作中, 应注意选择使用正确的学名。

1.2 形态特征

阿里食虱跳小蜂是完全变态昆虫, 其发育历期包括卵、幼虫、蛹和成虫四个时期。卵为椭圆形、米白色、透明状。幼虫可以根据体型大小差异细分成 4 个龄期, 1 龄幼虫体长约为 0.41 mm, 宽约为 0.1 mm; 2 龄幼虫体长约为 0.62 mm, 宽约为 0.18 mm; 3 龄幼虫体长约为 0.86 mm, 宽约为 0.2 mm; 4 龄幼虫体长约为 1.19 mm, 宽约为 0.4 mm。1 龄幼虫分布在柑橘木虱若虫的头部、胸部或腹部前端。2 龄幼虫主要分布在柑橘木虱若虫的胸部和腹部, 该龄期幼虫的头部主要朝向寄主昆虫的腹部。当阿里食虱跳小蜂幼虫发

育至 3 龄或 4 龄幼虫时, 幼虫的分布区域和头部朝向均与 2 龄幼虫一致, 但幼虫的端部开始逐渐变圆且口器朝向寄主的腹面, 肛门分泌物开始黏附在寄主组织上。4 龄幼虫贯穿在寄主的头、胸、腹 3 个体段中。4 龄末期, 寄主柑橘木虱若虫体内的全部液体和组织均被取食耗尽, 柑橘木虱若虫的体表变黑、变硬, 呈木乃伊状固定在植物上, 幼虫进入预蛹状态。初羽化的寄生蜂咬破柑橘木虱若虫腹部的表皮羽化而出, 留下一个羽化孔

(Rohrig *et al.*, 2011)。

阿里食虱跳小蜂雌、雄成虫身体结构和体色存在差异(图 1)(王竹红等, 2019)。雌成虫腹部体积较大, 颜色呈浅黄色; 而雄成虫的腹部体积较小, 浅黄色的区域明显少于雌虫。雌雄成虫触角亦存在着差异:(1)雌成虫触角有 5 个索节, 而雄成虫只有 4 个;(2)雄成虫触角的单个索节长度较雌性的长;(3)雌成虫触角棒节的最大宽度较雄性的宽(Meyer and Hoy, 2007)。

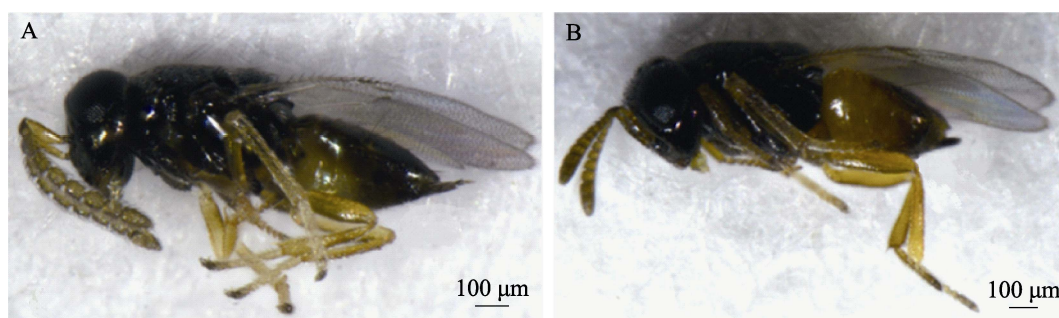


图 1 阿里食虱跳小蜂形态图(引自王竹红等, 2019)

Fig. 1 Morphological illustrations of *Diaphorencyrtus. Aligarhensis* (Drawn after Wang *et al.*, 2019)

A. 雄成虫; B. 雌成虫。A. Male adult; B. Female adult.

1.3 地理分布

阿里食虱跳小蜂分布较广, 最早记录出现在印度(Waterston, 1922; Shaffe *et al.*, 1975), 随后在菲律宾(Catling, 1968)、中国(Lin and Chia, 1972)、越南(Myartzeva and Trjapitzin, 1978)、留尼汪(Etienne and Aubert, 1980; Aubert and Quilici, 1984)、南非(Prinsloo, 1985)等地也有报道。自 1999 年以后, 阿里食虱跳小蜂又在美国(Hoy *et al.*, 1999; Skelley and Hoy, 2014)、毛里求斯(Hall, 2008)及巴基斯坦(Milosavljevic *et al.*, 2017)等地被发现。

2 生物学特性

2.1 生长发育

温度是影响阿里食虱跳小蜂生长发育的重要因子(Milosavljević *et al.*, 2019)。阿里食虱跳小蜂可以在 15-35 °C 完成整个生活史, 在不同温度条件下, 其平均发育历期间存在显著差异。

在波动温度条件下, 阿里食虱跳小蜂的整体发育历期在 15 °C (最低温 9 °C, 最高温 21 °C) 时最长, 为 65 d; 在 30 °C (最低温 19 °C, 最高温 40 °C) 时发育历期最短, 为 13 d。在恒温条件下, 阿里食虱跳小蜂在 32 °C 时整体发育历期最短, 为 15 d; 在 15 °C 时发育历期最长, 为 56 d (Milosavljević *et al.*, 2019)。

阿里食虱跳小蜂的发育历期与寄主龄期密切相关(Rohrig *et al.*, 2011)。Rohrig 等(2011)的研究发现, 在实验室温度为 (26±1) °C, 相对湿度为 80%±10%, 光周期为 14 L : 10 D) 的条件下, 当阿里食虱跳小蜂产卵在 2 龄或 3 龄柑橘木虱若虫上时, 其从卵发育到成虫需 16 d, 其中卵、1 龄、2 龄历期分别为 2 d, 3 龄、4 龄和预蛹历期分别为 1 d, 蛹期历期 7 d。而其雌成虫产卵在 4 龄柑橘木虱若虫上时, 发育历期明显缩短。例如, 卵产在 5.5 d 日龄的 4 龄柑橘木虱若虫上时, 其从卵发育到成虫约为 15 d; 当卵产在 6.5 d 日龄的 4 龄柑橘木虱若虫上时, 其从卵发育

到成虫仅为 12 d; 但当卵产在 7.5 d 日龄的 4 龄柑橘木虱若虫时, 卵不能正常完成发育, 存活期最长为 6 d, 此时卵的颜色为黑色。

2.2 生殖能力

阿里食虱跳小蜂为营孤雌生殖或两性生殖方式 (Meyer and Hoy, 2007; 李翌菡等, 2017)。交配过程中雄蜂首先面朝雌蜂, 紧接着雄蜂爬到雌蜂的后面并爬上雌蜂的身上, 最后雄蜂试图通过弯曲调整其腹部来和雌蜂完成交配, 雄蜂还会试图和多头雌蜂进行交配 (Meyer and Hoy, 2007)。交配结束后, 雌蜂会选择在 2-4 龄柑橘木虱若虫上寄生产卵, 在 2 龄、3 龄、4 龄柑橘木虱若虫上单雌日平均产卵量分别为 1.8、3.0 和 2.7 粒, 累计产卵量分别为 175、175 和 185 粒 (Skelley and Hoy, 2004; Rohrig *et al.*, 2011)。阿里食虱跳小蜂的单雌平均产卵量不受自身日龄或寄主龄期的影响。例如, 在无选择条件下, Skelley 和 Hoy (2014) 研究发现, 阿里食虱跳小蜂在羽化后的第 1-2 周、第 3-4 周和第 5-6 周这 3 个不同日龄里的单雌平均产卵量间无显著差异。类似地, 在无选择条件下, 单头寄生蜂在不同龄期柑橘木虱若虫上的累计平均产卵量也无显著差异。

阿里食虱跳小蜂在柑橘木虱若虫上寄生产卵时存在过寄生现象, 但概率较低。每头柑橘木虱若虫最多同时存在 2 头阿里食虱跳小蜂幼虫, 其中 1 头阿里食虱跳小蜂幼虫发育正常, 但另 1 头幼虫只能发育到 1 龄幼虫 (Rohrig *et al.*, 2011)。

2.3 寿命

阿里食虱跳小蜂成虫以柑橘木虱若虫为食, 但寿命受取食对象的影响较小, 以不同虫龄柑橘木虱若虫饲喂阿里食虱跳小蜂, 其平均寿命均为 26 d (Rohrig *et al.*, 2011)。该寄生蜂成虫的寿命受温度的影响较为显著, 其寿命会随着温度的升高而缩短, 在 15 °C 恒温温度下, 寄生蜂的寿命最长, 约为 65 d; 而在 35 °C 恒温条件下, 寄生蜂的寿命最短, 约为 2 d。类似地, 在波动温度条件下, 寄生蜂在 20 °C 时寿命最长, 约为 44 d;

在 35 °C 时寿命最短, 约为 1 d (Milosavljević *et al.*, 2019)。

2.4 寄生行为

Hayat (1979)、Prinsloo (1985) 及 Bistline-East 等 (2015) 研究了阿里食虱跳小蜂对 9 种不同木虱 *Heteropsylla* sp., *Arytainilla spartiophylla* (Forester), *Euphyllura olivina* (Costa), *Heteropsylla texana* Crawford, *Diclidophebia fremontiae* (Klyver), *Boreioglycaspis melaleucae* Moore, *Bactericera cockerelli* (Sulc), *Diaphorina citri* Kuwayama, *Diaphorina cardiae* Crawford 的寄生行为, 结果表明阿里食虱跳小蜂可以寄生 *D. cardiae*, *D. citri* 和 *B. cockerelli*, 但不能寄生其它 6 种木虱, 且该蜂对 *D. citri* 的寄生率显著高于对 *B. cockerelli* 的寄生率。

寄生蜂雌蜂对寄主幼虫不同发育阶段、个体大小的选择偏好性是提高自身后代适合度的进化策略 (Jaenike, 1978; Thompson, 1988)。阿里食虱跳小蜂对柑橘木虱若虫的寄生具有龄期偏好性 (Vankosky and Hoddle, 2019)。Vankosky 和 Hoddle (2019) 研究发现, 阿里食虱跳小蜂偏好寄生 3 龄或 4 龄柑橘木虱若虫。将阿里食虱跳小蜂放在含有不同龄期的柑橘木虱若虫环境中, 相比较于 2 龄和 5 龄柑橘木虱若虫, 雌蜂偏好在 3 龄和 4 龄柑橘木虱上产卵寄生, 在 3 龄或 4 龄柑橘木虱若虫上的产卵数量显著多于在 2 龄或 5 龄柑橘木虱若虫上的产卵数。此外, 阿里食虱跳小蜂在 4 龄柑橘木虱若虫上的 F_1 代羽化率显著高于在其他龄期的柑橘木虱若虫上的羽化率。

重寄生现象是昆虫的一种高度进化行为, 是一种寄生昆虫又被另一寄生昆虫寄生的现象 (柴正群等, 2008)。阿里食虱跳小蜂可以被 *Chartocerus* sp., *Pachyneuron crassiculme*, *Marietta leopardine*, *Aprostocetus* sp., *Psyllaphycus diaphorinae* 和 *Aphidencyrus cassatus* Annecks 重寄生 (Catling, 1969; Hoddle *et al.*, 2013; Bistline-East and Hoddle, 2014, 2016)。例如, 在无选择试验中, *Chartocerus* sp. 和 *P. crassiculme* 能够在阿里食虱跳小蜂的蛹中进行重寄生, 寄生率分别为 47% 和 28%。此外,

Chartocerus sp. 还可以在阿里食虱跳小蜂的蛹中进行过寄生;调查发现,在 9 头阿里食虱跳小蜂的蛹中可以羽化出 11 头 *Chartocerus* sp. (Bistline-East and Hoddle, 2014)。中国台湾亦曾报道阿里食虱跳小蜂蛹被 *M. leopardine*、*Aprostocetus* sp. 重寄生 (Chien *et al.*, 1989)。重寄生可能会对利用寄生蜂进行生物防治造成潜在的影响。例如, Schooler 等 (2011) 发现在温室饲养的环境下,蚜虫的寄生蜂会出现被重寄生的现象,导致蚜虫的寄生蜂灭绝。但阿里食虱跳小蜂的重寄生是否会对阿里食虱跳小蜂造成严重不良的田间生物防治后果,还需要进一步的试验来验证。

3 阿里食虱跳小蜂的繁育与应用

掌握天敌昆虫繁殖技术是天敌昆虫商品化的前提,大规模繁殖阿里食虱跳小蜂的关键在于设置适宜的繁育条件、选择适合木虱的寄主植物、中间寄主(木虱)和正确的繁育繁殖方法 (Skelley and Hoy, 2004)。在大规模繁殖寄生蜂的过程中,不仅要考虑不同寄主植物对柑橘木虱及阿里食虱跳小蜂繁育效率的影响,还要考虑经济成本、操作简便程度、温室空间利用等因素。九里香种植简单,管理方便,抽梢快,承载柑橘木虱量大,有利于大量繁殖和收集阿里食虱跳小蜂。目前,在温度 (25 ± 2) °C、相对湿度 50%-70%、L:D=14:10 的环境条件下,一般选用高度长至 30 cm 以上的九里香作为柑橘木虱寄主植物,2-4 龄柑橘木虱若虫作为寄生蜂的中间寄主来繁殖寄生蜂 (Skelley and Hoy, 2004)。

阿里食虱跳小蜂的成虫可以取食 1-4 龄柑橘木虱若虫,其卵和幼虫可以自由在柑橘木虱若虫的血腔中游动取食和寄生;1 头阿里食虱跳小蜂可以通过取食和寄生的方式杀死约 280 头柑橘木虱 (Chien, 1995; Rohrig *et al.*, 2011, 2012)。

近年来,一些国家开始在果园人工释放阿里食虱跳小蜂防治柑橘木虱。例如:美国加利福尼亚州于 2014 年和 2017 年先后两次释放阿里食虱跳小蜂,调查结果是该蜂已经在 85% 的释放点处被发现,表明该蜂可以在加利福尼亚州寻找发现

合适的柑橘木虱寄主并进行产卵繁殖 (Milosavljević *et al.*, 2017)。此外,阿里食虱跳小蜂曾在 2011-2013 年被释放于巴基斯坦的甜橙果园和金诺橘果园用以防治柑橘木虱,该蜂对果园柑橘木虱若虫的平均寄生率为 17% (Khan *et al.*, 2014)。

4 问题与展望

阿里食虱跳小蜂的繁殖技术基本成熟,但是在我国的推广应用方面相对较少,这可能与以下几个方面有关:第一,主要依靠科研单位,缺少生产企业的加入,缺少成果转化平台;第二,阿里食虱跳小蜂在应用过程中容易受到外界环境条件的影响,有可能造成防治效果不稳定;第三,农民习惯使用见效快的化学农药防治各种病虫害,不愿接受见效较慢的生物防治方法;第四,目前阿里食虱跳小蜂的贮存方法和时限还没有报道,也缺乏实际应用的相关知识,很大程度影响着阿里食虱跳小蜂的大面积推广应用。

鉴于柑橘木虱在我国的广泛分布和危害,合理利用阿里食虱跳小蜂开展柑橘木虱的生物防治,非常符合柑橘产业健康绿色发展的趋势。因此建议:(1)加大对阿里食虱跳小蜂生物学特性的研究投入;(2)生防产品的价格及品质在生物防治过程中起着至关重要的作用,这也需要更多的科研投入,加快成果转化,尽快生产出更多、更便宜、质量更好的寄生蜂生防产品;(3)加强阿里食虱跳小蜂与其它生防产品(天敌昆虫、微生物杀虫剂、植物源杀虫剂)的联合控害研究;(4)加大宣传与推广,不断利用生物防治技术为核心的绿色防控技术替代传统、单一的化学药剂防治,从而不断推进我国柑橘产业的健康绿色发展。

参考文献 (References)

- Aubert B, Quilici S, 1984. Biological control of psyllid vectors of greening disease in reunion island. International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings. New Delhi. 118-123.
- Bistline-East A, Hoddle MS, 2014. *Chartocerus* sp. (Hymenoptera: Signiphoridae) and *Pachyneuron crassiculme* (Hymenoptera:

- Pteromalidae) are obligate hyperparasitoids of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae) and possibly *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Florida Entomologist*, 97(2): 562–566.
- Bistline-East A, Hoddle MS, 2016. Biology of *Psyllaphycus diaphorinae* (Hymenoptera: Encyrtidae), a hyperparasitoid of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae) and *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 109(1): 22–28.
- Bistline-East A, Pandey R, Keceli M, Hoddle MS, 2015. Host range testing of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae) for use in classical biological control of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in California. *Journal of Economic Entomology*, 108(3): 940–950.
- Bove JM, 2006. Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88(1): 7–37.
- Catling HD, 1968. Distribution and biology of *Diaphorina citri*, the insect vector of leaf mottling (greening) disease of citrus. *FAO Plant Protection Bulletin*, 6(2): 187–192.
- Catling HD, 1969. The influence of parasites and notes on the main species involved. *African Entomology*, 32(1): 209–223.
- Chai ZQ, Liao QP, Zhu JQ, Wu W, 2008. Review of aphid hyperparasitoids. *Tropical Agricultural Technology*, 31(3): 47–52. [柴正群, 廖启平, 朱建青, 吴伟, 2008. 蚜虫重寄生蜂研究概况. 热带农业科技, 31(3): 47–52.]
- Chen GF, Qiu SZ, 2005. Huanglongbing occurrence and management. *Guangxi Horticulture*, 16(1): 43. [陈贵峰, 邱柱石, 2005. 柑橘黄龙病的发生与防治. 广西园艺, 16(1): 43.]
- Chen J, 2017. HLB in Guangdong, China. *Citrograph*, 8(1): 34–38.
- Chen XD, Gill TA, Ashfaq M, Pelz-Stelinski KS, Stelinski LL, 2018. Resistance to commonly used insecticides in Asian citrus psyllid: Stability and relationship to gene expression. *Journal of Applied Entomology*, 142(10): 967–977.
- Chen XD, Gill TA, Pelz-Stelinski KS, Stelinski LL, 2017. Risk assessment of various insecticides used for management of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* in Florida citrus, against honey bee, *Apis mellifera*. *Ecotoxicology*, 26(3): 351–359.
- Chien CC, 1995. The role of parasitoids in the pest management of citrus psyllid. Research and Development of Citrus in Taiwan. Taiwan. 245–261.
- Chien CC, Chiu SC, Ku SC, 1989. Biological control of *Diaphorina citri* in Taiwan. *Fruits*, 44 (7/8): 401–407.
- Chu CC, Hoffmann M, Braswell WE, Pelz-Stelinski KS, 2019. Genetic variation and potential coinfection of *Wolbachia* among widespread Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama) populations. *Insect Science*, 26(4): 671–682.
- Della Vechia JF, de Andrade D, de Azevedo RG, da Costa FM, 2019. Effects of insecticide and acaricide mixtures on *Diaphorina citri* control. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(1): 1–7.
- Etienne J, Aubert B, 1980. Biological control of psyllid vectors of greening disease in reunion island. International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings. Brazil. 118–121.
- Fan GC, Liu B, Wu RJ, Li T, Cai ZJ, Ke C, 2009. Thirty years of research on citrus Huanglongbing in China. *Journal of Fujian Agriculture*, 24(2): 183–190. [范国成, 刘波, 吴如健, 李韬, 蔡子坚, 柯冲, 2009. 中国柑橘黄龙病研究 30 年. 福建农业学报, 24(2): 183–190.]
- Gottwald TR, Graca JV, Bassanezi RB, 2007. Citrus huanglongbing: The pathogen and its impact. *Plant Health Progress*, 1(1): 1–36.
- Grafton-Cardwell EE, Stelinski LL, Stansly PA, 2013. Biology and management of Asian citrus psyllid, vector of the huanglongbing pathogens. *Annual Review of Entomology*, 58: 413–432.
- Hall DG, 2008. Biological control of *Diaphorina citri*. *Sonora Maxico*, 1(1): 1–7.
- Hall DG, Richardson ML, Ammar ED, Halbert SE, 2013. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus huanglongbing disease. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 146(2): 207–223.
- Hayat M, 1979. Taxonomic notes on Indian Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea). *Journal of Natural History*, 13(3): 315–326.
- Hoddle CD, Hoddle MS, Triapitsyn SV, 2013. *Marietta leopardina* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Aprostocetus* (*Aprostocetus*) sp. (Hymenoptera: Eulophidae) are obligate hyperparasitoids of *Tamarixia radiata* (Eulophidae) and *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Florida Entomologist*, 96(2): 643–646.
- Hoddle MS, Pandey R, 2014. Host range testing of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) sourced from the Punjab of Pakistan for classical biological control of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae: Euphyllurinae: Diaphorinini) in California. *Journal of Economic Entomology*, 107(1): 125–136.
- Hodkinson ID, White IM, 1981. The neotropical Psylloidea (Homoptera: Insecta): An annotated check list. *Journal of Natural History*, 15(3): 491–523.
- Hoy MA, Nguyen R, Jeyaprakash A, 1999. Classical biological control of Asian citrus psyllid. *Citrus Industry*, 80 (9): 20–22.
- Hu W, Kuang F, Chun J, Lu ZJ, Li XT, Zhao QY, Zhong BL, Su HN, Zhang ZX, Zhang N, 2019. Uptake of soil-applied thiamethoxam in orange and its effect against Asian citrus psyllid in different seasons. *Pest Management Science*, 75(5): 1339–1345.

- Jaenike J, 1978. On optimal oviposition behavior in phytophagous insects. *Theoretical Population Biology*, 14(3): 350–356.
- Kanga LHB, Eason J, Haseeb M, Qureshi J, Stansly P, 2016. Monitoring for insecticide resistance in Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae) populations in Florida. *Journal of Economic Entomology*, 109(2): 832–836.
- Khan SZ, Arif MJ, Hoddle CD, Hoddle MS, 2014. Phenology of Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae) and associated parasitoids on two species of citrus, kinnow mandarin and sweet orange, in Punjab Pakistan. *Environmental Entomology*, 43(5): 1145–1156.
- Li H, Xie P, Liang GS, Han QX, 2018. Preferred oviposition sites of the female of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) on *Citrus reticulata* cv. Shatangju. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(4): 608–614. [李皓, 谢鹏, 梁关生, 韩群鑫, 2018. 亚洲柑橘木虱雌成虫对砂糖橘幼嫩部位的产卵选择性研究. 应用昆虫学报, 55(4): 608–614.]
- Li YH, Zhou YT, Shen ZL, Qiu BL, 2017. Morphology and parasitic behavior of *Tamarixia radiata* at different development stages. *Journal of South China Agricultural University*, 38(6): 84–88. [李翌菡, 周雅婷, 沈祖乐, 邱宝利, 2017. 亮腹釉小蜂不同发育阶段的形态及寄生行为. 华南农业大学学报, 38(6): 84–88.]
- Lin SJ, Chia CT, 1972. A new *Psyllaephagus* Ashmead parasitizing *Diaphorina citri* Kuwayama in Taiwan China. *Quarterly Journal of the Taiwan Museum*, 32(1/2): 117–121.
- Men YJ, 2005. Problems and countermeasures in citrus pest control. *Guangxi Horticulture*, 16(6): 26–27. [门友均, 2005. 柑橘病虫害防治中存在的问题及对策. 广西园艺, 16(6): 26–27.]
- Meyer JM, Hoy MA, 2007. *Wolbachia*-associated thelytoky in *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the Asian citrus psyllid. *Florida Entomologist*, 90(4): 776–779.
- Milosavljević I, McCalla KA, Ratkowsky DA, Hoddle MS, 2019. Effects of constant and fluctuating temperatures on development rates and longevity of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal of Economic Entomology*, 81(5): 1383–1389.
- Milosavljević I, Schal K, Hoddle C, Morgan D, Hoddle M, 2017. Biocontrol program targets Asian citrus psyllid in California's urban areas. *California Agriculture*, 71(3): 169–177.
- Mishchuk D, He X, Slupsky C, 2017. Detection of '*Candidatus Liberibacter*' infection in California citrus. *Citrograph*, 8(1): 52–55.
- Myartzeva SN, Trjapitzin A, 1978. *Aphidencyrtus diaphorinae* (Hymenoptera Encyrtidae) a parasite reared from *Diaphorina citri* in Viet Nam. *Bulletin de Zoologie Moscou*, 8(1): 131–395.
- Pelz-Stelinski KS, Bransky RH, Ebert TA, Rogers ME, 2010. Transmission parameters for *Candidatus Liberibacter asiaticus* by Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(5): 1531–1541.
- Prinsloo GL, 1985. Afrotropical Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea): New records and notes. *Journal of Natural History*, 19(2): 227–284.
- Qureshi JA, Stansly PA, 2007. Integrated approaches for managing the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Florida. *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 120(1): 110–115.
- Ren SL, Guo CF, Ou D, Sang W, Ji QH, Qiu BL, 2018a. Localization and infection dynamics of HLB bacteria in the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(4): 595–601. [任素丽, 郭长飞, 欧达, 桑文, 吉前华, 邱宝利, 2018a. 黄龙病病菌在柑橘木虱体内的分布及感染动态. 应用昆虫学报, 55(4): 595–601.]
- Ren SL, Ou D, Zhang LH, Sang W, Ji QH, Qiu BL, 2018b. Effects of different host plants on the development and reproduction of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(4): 602–607. [任素丽, 欧达, 张利荷, 桑文, 吉前华, 邱宝利, 2018b. 不同寄主植物对柑橘木虱发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 55(4): 602–607.]
- Rohrig E, Shirk PD, Hall DG, Stansly PA, 2011. Larval development of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae), an endoparasitoid of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Arthropod Biology*, 104(1): 50–58.
- Rohrig EA, Hall DG, Qureshi JA, Stansly PA, 2012. Field release in Florida of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae), an endoparasitoid of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae), from mainland China. *Florida Entomologist*, 95(2): 479–481.
- Schooler SS, Barro PD, Ives AR, 2011. The potential for hyperparasitism to compromise biological control: Why don't hyperparasitoids drive their primary parasitoid hosts extinct? *Biological Control*, 58(3): 167–173.
- Shaffe SA, Alam SM, Agarwal MM, 1975. Taxonomic Survey of Encyrtid Parasites (Hymenoptera Encyrtidae) in India. Indian: Aligarh Muslim University Publication, (Zoological Series). 77–96.
- Skelley LH, Hoy MA, 2004. A synchronous rearing method for the Asian citrus psyllid and its parasitoids in quarantine. *Biological Control*, 29(1): 14–23.
- Tang YQ, 1990. On the parasite complex of *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in Asian Pacific and other areas. Proc. 4th International Asia Pacific Conf. on Citrus Rehabilitation. Thailand. 240–245.

- Thompson JN, 1988. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 47(1): 3–14.
- Tian FJ, Mo XF, Rizvi SAH, Li CF, Zeng XN, 2018. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in field populations of Asian citrus psyllid in Guangdong of China. *Scientific Reports*, 8(1): 1–11.
- Tofangsazi N, Morales-Rodriguez A, Daugherty MP, Simmon GS, Grafton-Cardwell EE, 2018. Residual toxicity of selected organic insecticides to *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) and non-target effects on *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in California. *Crop Protection*, 108: 62–70.
- Vanaclocha P, Jones MM, Tansey JA, Monzó C, Chen XL, Stansly PA, 2019. Residual toxicity of insecticides used against the Asian citrus psyllid and resistance management strategies with thiamethoxam and abamectin. *Journal of Pest Science*, 92(2): 871–883.
- Vankosky MA, Hoddle MS, 2019. Two parasitoids of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) have shared, sage-specific preference for host nymphs that does not impact pest mortality rates. *Florida Entomologist*, 102(1): 49–58.
- Wang N, Trivedi P, 2013. Citrus huanglongbing: A newly relevant disease presents unprecedented challenges. *Phytopathology*, 103(7): 652–663.
- Wang SQ, Xiao YL, Zhang HY, 2015. Studies of the past, current and future potential distributions of *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1140–1148. [汪善勤, 肖云丽, 张宏宇, 2015. 我国柑橘木虱潜在适生区分布及趋势分析. 应用昆虫学报, 52(5): 1140–1148.]
- Wang ZH, Li PL, Ge JQ, Zhang HN, Zhou JH, Huang J, 2019. Surveying for parasitoid wasps of *Diaphorina citri* Kuwayama and description of a new wasp specie. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(4): 504–516. [王竹红, 李鹏雷, 葛均青, 郑卉娜, 周军辉, 黄建, 2019. 柑橘木虱寄生性天敌调查及一新种记述. 中国生物防治学报, 35(4): 504–516.]
- Waterston J, 1922. On the chalcidoid parasites of psyllids (Hemiptera, Homoptera). *Bulletin of Entomological Research*, 13(1): 41–58.
- Xie PH, Su CA, Lin ZG, 1989. Biological characteristics of Asian citrus psyllid. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, (2): 33–34. [谢佩华, 苏朝安, 林自国, 1989. 柑桔木虱生物学研究. 浙江农业大学学报, 15(2): 198–202.]