

1种柑橘大实蝇寄生蜂鉴定及生物学研究

张桂健 陈振中 江楠 牛长缨

华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

摘要 介绍在我国首次发现的柑橘大实蝇寄生蜂, 对其进行形态、分子鉴定及相关生物学研究。该寄生蜂胸、腹部大部分黑色, 前翅脉 m-cu 后端开叉, 触角为 63~67 节, 整个前足橙黄色, 中足胫节和跗节橙黄色, 后足黑色, 中胸背板有明显的盾纵沟。进一步对 COI 基因和 28sRNA 基因构建 NJ 进化树分析, 发现该寄生蜂与全裂茧蜂属中的长尾潜蝇茧蜂 *Diachasmimorpha longicaudata*、*Diachasmimorpha kraussii*、*Diachasmimorpha tryoni* 三者亲缘关系最近。在自然条件下寄生蜂的羽化历期要明显长于柑橘大实蝇, 且羽化寄生蜂的雌性比例随着温度的升高而增加。结合其形态特征, 命名为柑橘大实蝇茧蜂(*Diachasmimorpha feijeni*)。

关键词 柑橘大实蝇; 寄生蜂; 柑橘大实蝇茧蜂; 形态与分子鉴定; 生物学特性

中图分类号 S 476.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)06-0098-06

生物防治是害虫综合防治的重要措施, 也是绿色防控的重要组成部分。在害虫防治中寄生性天敌应用十分广泛, 近年来利用寄生蜂防治果蔬实蝇类害虫取得了一系列成效^[1-2]。例如, 利用长尾潜蝇茧蜂 *Diachasmimorpha longicaudata*、阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus*、布氏潜蝇茧蜂 *Fopius vandenboschi* 防治橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*, 以及利用寄生蜂 *Diachasmimorpha tryoni* 防治地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 等, 均有报道^[3-6]。

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* (Enderlein) 隶属于双翅目、实蝇科、果实蝇属, 是柑橘类果树上的重要害虫^[7-10], 主要分布于尼泊尔、印度、不丹及中国的湖北、湖南、四川、重庆、贵州、陕西等地^[11-13]。近年来, 柑橘大实蝇危害发生的范围越来越广泛, 农业农村部将柑橘大实蝇从《全国农业植物检疫性有害生物名单》(中华人民共和国农业农村部公告第 1216 号文件)中剔除, 作为柑橘主要害虫来防治^[14]。目前, 柑橘大实蝇的主要防治手段包括成虫诱杀及农业防治。成虫诱杀是利用蛋白/食物诱剂、球形诱捕器等对柑橘大实蝇成虫进行诱杀防治^[15-20]; 农业防治主要是对柑橘大实蝇虫果进行密封、闷杀幼虫^[21]。然而, 柑橘大实蝇的生物防治目前未见

报道。

2014 年, 我们在湖北宜昌采集的柑橘大实蝇蛹中首次发现了一种柑橘大实蝇寄生蜂, 本文对其进行了形态特征鉴定、分子生物学鉴定及相关生物学研究, 以期开展柑橘大实蝇的生物防治提供天敌资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

自 2014—2017 年, 每年 10 月底在湖北宜昌夷陵区(30°70' N, 111°28' E)采集柑橘大实蝇老熟幼虫, 自然条件化蛹, 供试验用。

1.2 形态学特征鉴定

利用体视显微镜(JSZ5BS)和配套的显微拍照相机(Nikon DS-Fi1)对柑橘大实蝇寄生蜂进行显微拍照, 观察记录其形态特征, 测量柑橘大实蝇寄生蜂不同部位(前足、中足、后足、触角、身体、前翅、后翅以及产卵器)的长度, 每个长度包括 3 个以上生物学重复。

1.3 分子生物学鉴定

根据柑橘大实蝇寄生蜂 COI 基因序列片段进行分子鉴定。待寄生蜂羽化之后, 使用 CTAB 方法

收稿日期: 2018-11-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(31661143045, 31972270); 公益性行业(农业)科研专项(201503137); 国际原子能机构国际合作项目(18269)

张桂健, 硕士研究生, 研究方向: 昆虫生理生化与分子生物学. E-mail: zhangguijian66@163.com

通信作者: 牛长缨, 博士, 教授, 研究方向: 昆虫生理生化与分子生物学. E-mail: niuchangying88@163.com

提取寄生蜂 DNA^[22]，存于-20℃或直接使用。根据 NCBI 获取几种实蝇寄生蜂的 COI 基因以及 28sRNA 序列片段，设计简并性引物，即：(5'-3')，COI: F-TCAACAAATCATAAAGATATTGG, R-AACTTCAGGGTGACCAAAAAATC, 片段长度 705 bp, 28s RNA: F-CCGTTGAGTGTCTGGTC-TA, R-GGGAGTGCGAAGCTGTAT, 片段长度 421 bp。反应条件: 95℃ 预变性 3 min; 95℃ 变性 30 s, 55℃ 退火 30 s, 72℃ 延伸, 共 35 个循环; 最后 72℃ 延伸 10 min。PCR 产物经 1% 琼脂糖凝胶电泳检测, 切胶回收目的基因片段, 连接到载体并转化至 *Escherichia coli* DH5α 感受态细胞中, 挑取阳性克隆送至英潍捷基(上海)贸易有限公司进行测序, 得到准确的柑橘大实蝇寄生蜂 COI 和 28sRNA 基因序列。

1.4 生物学特性

1) 2014—2017 年羽化率统计。历年收集野外的柑橘大实蝇虫果置于华中农业大学昆虫生理与生物化学养虫室内, 沙土提前经过高温灭菌, 老熟幼虫自动进入沙土化蛹, 放入温度(24±1)℃、相对湿度为 75%±5% 的人工气候箱中, 直到成虫羽化, 统计寄生蜂羽化数量以及雌雄寄生蜂的数量。

2) 不同温度条件下寄生蜂的出蜂率。2017 年 3 月初从野外采集的柑橘大实蝇蛹均匀埋入提前高温灭菌过的沙中, 然后转入不同温度的人工气候箱中(光照: 黑暗=16 h: 8 h, RH=75%±5%), 温度包括 15、18、21、24 和 27℃。每个处理包括 5 个重复, 每个重复包括 30 头蛹。统计寄生蜂羽化数量以及雌雄寄生蜂的数量。

出蜂率= $\frac{\text{寄生蜂羽化数(出蜂数)}}{\text{柑橘大实蝇蛹总数}} \times 100\%$

1.5 数据统计与分析

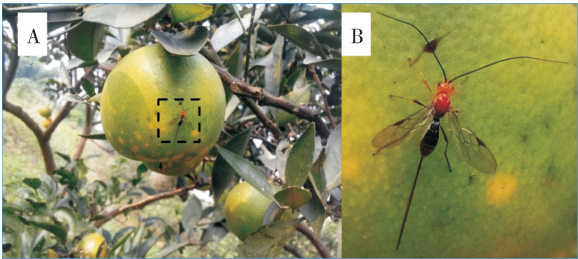
所有数据均用 Excel 进行统计, 利用 SPSS 软件进行数据分析, 2 组以上的数据利用单因素方差分析的邓肯检测方法进行差异显著性分析, 2 组数据则利用独立样本 *t* 检验进行差异显著性分析, 寄生蜂出蜂率的图由 Origin2016 软件制作, COI 基因系统发育分析图由 MEGA7.0 软件制作。

2 结果与分析

2.1 柑橘大实蝇寄生蜂形态特征

1) 寄生蜂的野外形态观察。寄生蜂所羽化的蛹壳外表呈黑色, 而柑橘大实蝇成虫羽化的蛹壳呈

黄色。于 2014 年 9 月 26 日, 在野外拍摄到寄生蜂伏在杂柑果上(图 1)。由图 1 可见, 寄生蜂胸部及以上身体部分为橙红色, 整个前足和中足跗节为橙黄色, 其余部分包括触角、复眼、产卵器及身体其他部分均为黑色, 中胸背板有盾纵沟。



A. 在杂柑上发现的寄生蜂 The parasitoid on the citrus fruit;
B. 局部放大 Partial enlargement of the parasitoid.

图 1 柑橘大实蝇茧蜂野外观察

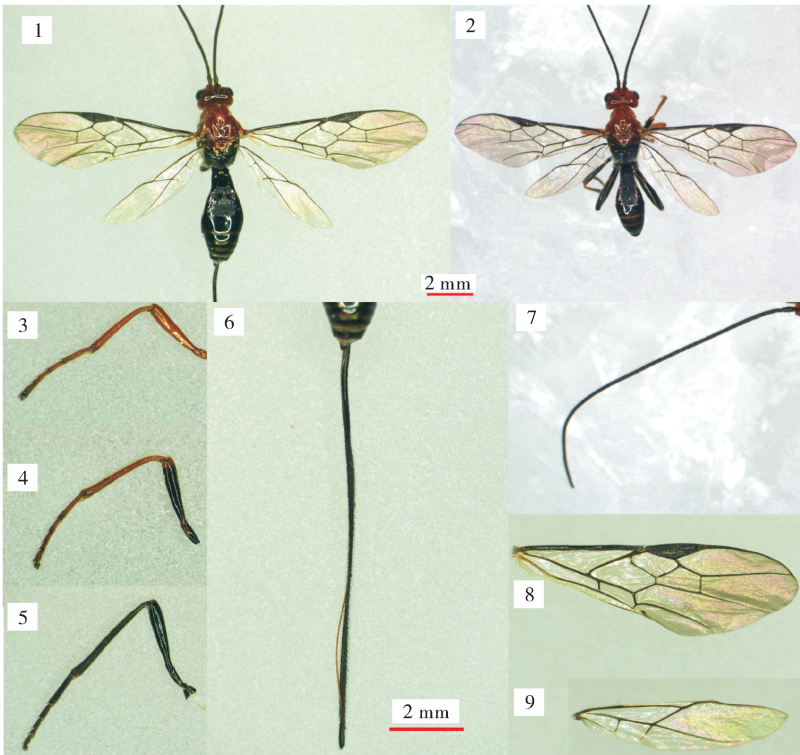
Fig.1 Observation of *Diachasmimorpha feijeni*

2) 寄生蜂显微特征观察。对该寄生蜂雌雄成虫局部特征进行显微观察(图 2), 发现其触角较长, 约为 63~67 节, 长度约为前翅的 1.5 倍, 翅基片为黑色, 前翅脉 m-cu 较长, 笔直延长并且为后开叉, 前翅第一亚前缘脉室延长且与翅前缘平行。此外, 中胸及后胸侧板平滑, 中胸背板有明显的盾纵沟, 后足胫节具有较长的灰色刚毛, 前胸橙红色, 整个前足和中足胫节、跗节为橙黄色, 其余部分, 如后胸、后足、整个腹部以及雌虫的产卵器均为黑色, 腹部有较浅的黄色条纹。

对柑橘大实蝇寄生蜂雌雄成虫不同部位长度进行测量, 结果表明, 雌成虫的前足、中足和后足的长度均略长于雄成虫, 但无显著性差异($P>0.05$), 雄虫触角长度显著长于雌虫($P<0.05$), 而身体和前翅长度则相反, 均是雌虫长度显著长于雄虫, 雌虫后翅长度同样略长于雄虫, 但无显著性差异($P>0.05$), 雌虫产卵器为黑色, 长度约为(10.12±0.22) mm, 与雌虫触角长度相当, 而长于体长(表 1)。

2.2 柑橘大实蝇寄生蜂分子鉴定

将测序得到的 COI 基因序列在 NCBI 数据库中进行 Blast 比对, 结果显示, 与长尾潜蝇茧蜂 *Diachasmimorpha longicaudata* 相似度最高, 达到 95%, 其次是 *D. kraussii* 和 *D. tryoni*, 相似度分别为 94% 和 91%。而通过对 28 sRNA 基因进行 Blast 比对, 发现该寄生蜂与 *D. mullebre* 和 *D. alloeum* 相似度最近, 分别为 92.9% 和 92.0%。



1:雌成虫 Female adult; 2:雄成虫 Male adult; 3:前足 Fore leg; 4:中足 Middle leg; 5:后足 Hind leg; 6:产卵器 Ovipositor; 7:触角 Antenna; 8:前翅 Fore wing; 9:后翅 Hind wing.

图 2 柑橘大实蝇茧蜂雌雄成虫形态特征

Fig.2 Morphological characteristics of *Diachasmimorpha feijeni*

表 1 柑橘大实蝇茧蜂雌雄成虫不同部位的长度

Table 1 Length of different part of female and male adults of *Diachasmimorpha feijeni* mm

性别 Sex	前足 Fore leg	中足 Middle leg	后足 Hind leg	触角 Antenna	身体 Body	前翅 Fore wing	后翅 Hind wing	产卵器 Ovipositor
雌 Female	5.84±0.14a	6.33±0.05a	8.42±0.08a	10.06±0.09b	7.54±0.10a	7.72±0.11a	5.05±0.18a	10.12±0.22
雄 Male	5.67±0.03a	6.20±0.13a	8.28±0.04a	11.57±0.16a	6.55±0.08b	7.19±0.11b	4.89±0.11a	—

结合测序所得的基因序列,通过 MEGA7.0 构建了 NJ 进化树,2 种基因的进化树都表明该寄生蜂与 *D. longicaudata* 亲缘关系最近,其次分别与 *D. kraussii* 和 *D. tryoni* 亲缘关系较近,而 *Fopius* 属和 *Psytalia* 属作为外群与该寄生蜂的亲缘关系较远(图 3)。

2.3 柑橘大实蝇寄生蜂生物学特性

湖北宜昌历年来寄生蜂的出蜂率见表 2。在湖

北宜昌采集的柑橘大实蝇蛹中,寄生蜂出蜂率逐年上升。2014 年第 1 头寄生蜂羽化,出蜂率低于 0.05%,2015 年在 2 546 头柑橘大实蝇蛹中羽化寄生蜂 24 头,雌雄分别为 14 头和 10 头,出蜂率为 0.94%,2016 年 4 572 头蛹中一共羽化寄生蜂 22 头,其中雌虫 21 头,雄虫仅 1 头,出蜂率为 0.48%,2017 年的 600 头柑橘大实蝇蛹中羽化了 9 头寄生蜂,且均为雌虫,出蜂率为 1.5%(表 2)。

表 2 2014—2017 年野外采集柑橘大实蝇蛹中寄生蜂的出蜂率

Table 2 Eclosion rate of *Diachasmimorpha feijeni* from 2014 to 2017

年份 Year	蛹总数 Total	出蜂数 Number of emergence			出蜂率/% Eclosion rate		
		雌 Female	雄 Male	总 Total	雌 Female	雄 Male	总 Total
2014	>2 000	1	0	1	<0.05	0	<0.05
2015	2 546	14	10	24	0.63	0.31	0.94
2016	4 572	21	1	22	0.46	0.02	0.48
2017	600	9	0	9	1.50	0	1.50

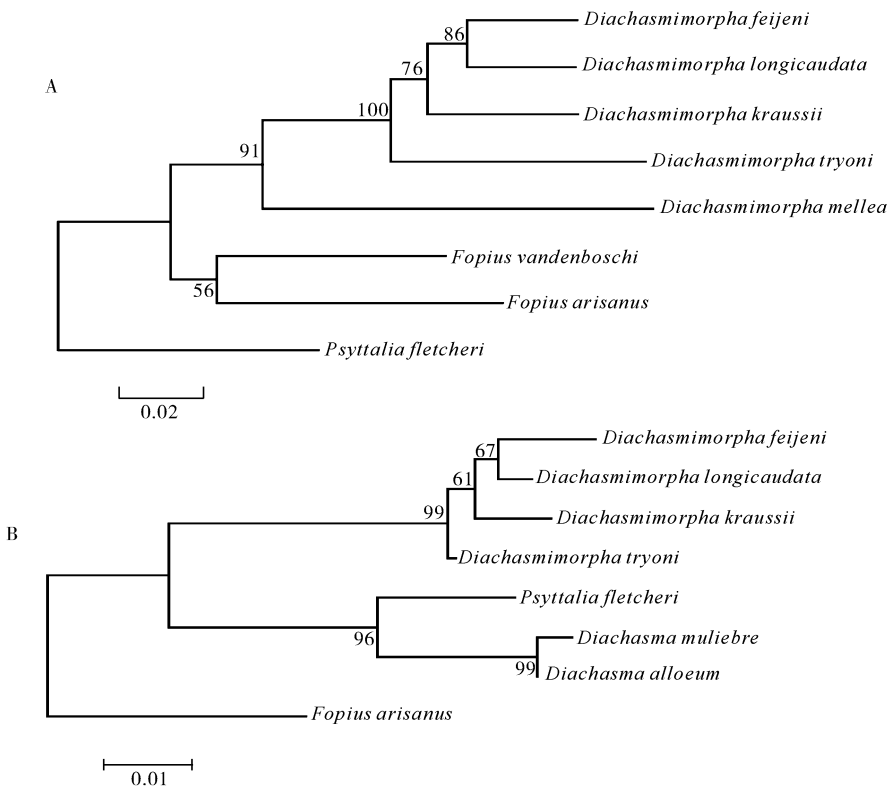


图 3 柑橘大实蝇茧蜂 COI(A) 与 28s RNA(B) 基因系统发育关系图

Fig.3 Phylogenetic tree of COI (A) and 28s RNA (B) gene for *Diachasmimorpha feijeni*

不同温度条件寄生蜂的羽化历期及雌雄比例见表 3。结果显示,27℃条件下,寄生蜂的羽化时间较柑橘大实蝇早 3 d,但仅羽化 1 头,而其他各温度条件下,寄生蜂的羽化历期均明显长于柑橘大实蝇,均在 120 d 以上(表 3)。随温度的降低,羽化寄生蜂的雌虫比例随之降低,其中 18℃条件下雌雄比接近 1:1(表 3)。

表 3 不同温度条件下柑橘大实蝇茧蜂羽化历期及雌雄比

Table 3 Eclosion period and sex ratio of *Diachasmimorpha feijeni* in the different temperatures

温度/℃ Temperature	羽化历期/d Eclosion period		羽化数 Number of emergence			雌雄比 Ratio of female to male
	柑橘大实蝇 <i>B. minax</i>	寄生蜂 Parasitoid	雌 Female	雄 Male	总 Total	
27	27	24	1	0	1	1:0
24	32~34	138~214	5	1	6	5:1
21	40~52	122~214	8	5	13	8:5
18	55~87	130~156	7	6	13	7:6
15	94~98	143~165	0	2	2	0:2

3 讨 论

通过对该寄生蜂进行分子生物学鉴定,发现该寄生蜂与全裂茧蜂属 *Diachasmimorpha* 中的 3 种寄生蜂的亲缘关系最接近,均达到 90% 以上。进一步对该寄生蜂进行观察,并与亲缘关系相近的寄生蜂进行比对,发现触角长度有较大差异,柑橘大实蝇寄生蜂触角约为 63~67 节,而另外 3 种寄生蜂触角仅有 41~53 节;身体颜色也存在较为明显的区别,柑橘大实蝇寄生蜂除前胸背板橙红色外,身体其他

部分均为黑色,而 *Diachasmimorpha tryoni* 整个胸部为橙黄色,腹部黑色,*Diachasmimorpha longicauda* 为橙黄色,*Diachasmimorpha kraussi* 通体橙黄色;此外,足也有差别,柑橘大实蝇寄生蜂前足以及中足胫节和跗节为橙黄色,后足黑色,而 *Diachasmimorpha tryoni* 和 *Diachasmimorpha longicauda* 后足腿节黑色,其他足为橙黄色,*Diachasmimorpha kraussi* 足全为橙黄色^[23-24]。另外,该寄生蜂与 *Diachasmimorpha* 属中其他寄生蜂的外部形态存在更为明显的差别,如 *Diachasmimorpha*

mexicana 除前胸背板外其他部分均为橙红色,并且寄生蜂 *Diachasmimorpha mexicana* 和 *Diachasmimorpha hildagensis* 足全为黑色^[25]。柑橘大实蝇寄生蜂最终标本由浙江大学陈学新教授及 Kees van Achterberg 鉴定,确定该寄生蜂与不丹发现的柑橘大实蝇寄生蜂为同一物种(*Diachasmimorpha feijeni*)^[26],而上述论文仅简单描述了其鉴定特征。该寄生蜂是在我国首次发现并记录,并定名为柑橘大实蝇茧蜂。

生物学研究表明,柑橘大实蝇茧蜂性比受到温度的影响,温度越高,雌性比例越高。前人研究也有类似报道,例如,随着温度的升高,拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggiani 雌性寄生蜂所占比例逐步升高^[27]。柑橘大实蝇茧蜂羽化历期受温度影响较小,但在 27℃ 条件下,寄生蜂的羽化历期急剧缩短为 24 d,短于柑橘大实蝇羽化历期,仅羽化 1 头雌性寄生蜂。据报道,柑橘大实蝇蛹中存在极少部分非滞育蛹,在高温(25℃)条件下可直接发育并羽化,比例为 3%~5%^[8],由此推测,作为柑橘大实蝇寄生蜂,柑橘大实蝇茧蜂中可能同样寄生极少部分非滞育蛹,在 27℃ 条件下迅速发育并羽化,其具体原因有待进一步研究。

结合 2014—2017 年的野外调查及室内寄生蜂羽化情况,推测柑橘大实蝇茧蜂野外羽化时间可能在 7 月份以后。有研究表明,寄生蜂 *Diachasmimorpha longicaudata* 和 *Diachasmimorpha kraussii* 寄生橄榄实蝇后,在不同温度下羽化时间均晚于橄榄实蝇^[28]。室内观察发现,寄生蜂高龄幼虫大量取食柑橘大实蝇蛹内部组织,造成蛹壳呈黑色。我们推测寄生蜂以卵或低龄幼虫形态与寄主柑橘大实蝇蛹同步进入滞育,具体羽化时间以及寄生蜂越冬情况需进一步调查。

柑橘大实蝇茧蜂是柑橘大实蝇的幼虫—蛹期的跨期内寄生蜂,即寄生蜂将卵产于柑橘大实蝇幼虫体内,卵、幼虫、蛹均在柑橘大实蝇体内完成发育,翌年从柑橘大实蝇蛹中羽化,继续寻找寄主,因此,该寄生蜂可作为柑橘大实蝇的潜在生物防治因子。但是,由于野外寄生率会受到多种因素的影响,要利用寄生蜂进行柑橘大实蝇的生物防治,许多问题亟待解决。例如,判断柑橘大实蝇蛹是否被寄生,寄生蜂的人工大量饲养,以及寄生蜂在柑橘大实蝇蛹体内的同步滞育等均有待进一步探究。早期研究表明,被寄生的实蝇在化蛹第 9 天时可以通过蛹壳观察到寄生蜂成虫个体,也有研究证实,阿里山潜蝇茧蜂

Fopius arisanus 寄生的橘小实蝇蛹明显小于正常的蛹^[29-30],因此,可通过化蛹后观察及蛹体质量、大小考虑柑橘大实蝇是否被寄生。寄生蜂生存的基本要素是由寄主提供,然而柑橘大实蝇人工饲养技术尚不成熟,下一步可通过调整试验条件或尝试替代寄主来促进寄生蜂的室内饲养,最终达到生物防治的目的。

参 考 文 献

- [1] 张新民,何衍彪,詹儒林,等.我国实蝇寄生蜂种类及其在生物防治中的应用研究进展[J].中国植保导刊,2015(35):17-20.
- [2] EKESI S, MEYER M D, MOHAMED S A, et al. Taxonomy, ecology, and management of native and exotic fruit fly species in Africa [J]. Annu Rev Entomol, 2016, 61: 219-238.
- [3] VARGAS R I, LEBLANC L, PUTOA R, et al. Population dynamics of three *Bactrocera* spp. fruit flies (Diptera: Tephritidae) and two introduced natural enemies, *Fopius arisanus* (Sonan) and *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae), after an invasion by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Tahiti [J]. Biol Control, 2012, 60(2): 199-206.
- [4] APPIAH E F, EKESI S, AFREH-NUAMAH K, et al. African weaver ant-produced semiochemicals impact on foraging behavior and parasitism by the Opiine parasitoid, *Fopius arisanus* on *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) [J/OL]. Biol Control, 2014, 79: 49-57 [2018-11-24]. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.08.004>.
- [5] OVRUSKI S M, COLIN C, SORIA A, et al. Introduction and laboratory production of *Diachasmimorpha tryoni* and *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) for the biological control of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Argentina [J]. Revista De La Sociedad Entomológica Argentina, 2003, 62(3): 49-59.
- [6] DAANE K M, WANG X G, NIETO J N, et al. Classic biological control of olive fruit fly in California, USA: release and recovery of introduced parasitoids [J]. BioControl, 2015, 60(3): 317-330.
- [7] CHEN Z Z, DONG Y C, WANG Y H, et al. Pupal diapause termination in *Bactrocera minax*: an insight on 20-hydroxyecdysone induced phenotypic and genotypic expressions [J/OL]. Sci Rep, 2016, 6: 27440 [2019-09-01]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222193>.
- [8] DONG Y C, WANG Z J, ANTHONY R C et al. Pupal diapause development and termination is driven by low temperature chilling in *Bactrocera minax* [J]. J Pest Sci, 2013, 86: 429-436.
- [9] DONG Y C, NICOLAS D, LEI C L, et al. Transcriptome characterization analysis of *Bactrocera minax* and new insights into its pupal diapause development with gene expression analysis [J]. Int J Bio Sci, 2014, 10: 1051-1063.
- [10] 李宗锴,周晓渭,牛长缨,等.柑橘大实蝇成虫口器扫描电镜观察[J].植物检疫,2013,27(2):57-59.

- [11] 汪兴鉴, 罗禄裕. 桔大实蝇的研究进展[J]. 昆虫知识, 1995, 32(5): 310-315.
- [12] 王金涛, 董永成, 李宗锴, 等. 昆虫不育技术防治柑橘大实蝇研究概况[J]. 应用昆虫学报, 2013, 5(3): 848-852.
- [13] 鲁红学, 何开平, 阮华芳, 等. 柑桔大实蝇生物学特性的研究[J]. 湖北农学院学报, 1997, 17(3): 169-173.
- [14] 刘刚. 新的《全国农业植物检疫性有害生物名单》和《应施检疫的植物及植物产品名单》发布施行[J]. 农药市场信息, 2009(14): 43.
- [15] 周晓渭. 柑橘大实蝇诱杀技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [16] 李萍, 牛长缨, 贺倩, 等. 柑橘大实蝇绿色防控技术挂图[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [17] ZHOU X W, NIU C Y, HAN P, et al. Field evaluation of attractive lures for the fruit fly *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) and their potential use in spot sprays in Hubei province (China) [J]. J Econ Entomol, 2012, 105(4): 1277-1284.
- [18] 易继平, 李双华, 张光国, 等. 黄绿色球形诱捕器诱杀柑橘大实蝇技术应用效果[J]. 中国植保导刊, 2015(3): 34-37.
- [19] 牛长缨, 周晓渭, 韩鹏, 等. 一种柑橘大实蝇诱捕器: 中国, 201020502060.0[P]. 2010-08-20.
- [20] 陈振中, 邓安石, 朱群, 等. 球形诱捕器对柑橘大实蝇的诱杀效果[J]. 华中农业大学学报, 2017, 36(2): 33-37.
- [21] 全国农技推广服务中心. 2018年柑橘大实蝇防控技术方案[N]. 农资导报, 2018-04-13(005).
- [22] 王倩, 包伟方, 吴月坤, 等. 绿盲蝽体内寄主植物DNA提取方法的优化[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(4): 683-689.
- [23] CARMICHAEL A E, WHARTON R A. *Opiine parasitoids* (Hymenoptera: Braconidae) of tropical fruit flies (Diptera: Tephritidae) of the Australian and South Pacific region [J]. Bul Entomol Res, 2005, 95(6): 545-569.
- [24] WHARTON R A, GILSTRAP F E. Key to and status of *Opiine Braconid* (Hymenoptera) parasitoids used in biological control of *Ceratitidis* and *Dacus s. l.* (Diptera: Tephritidae) [J]. Ann Entomol Soc Am, 1983, 76(4): 721-742.
- [25] WHARTON R, WARD L, MIKO I. New neotropical species of Opiinae (Hymenoptera, Braconidae) reared from fruit-infesting and leaf-mining Tephritidae (Diptera) with comments on the *Diachasmimorpha mexicana* species group and the genera *Lorenzopius* and *Tubiformopius* [J]. Zookeys, 2012, 243: 27-82.
- [26] ACHTERBERG VAN C. The Palaearctic species of the genus *Diachasmimorpha* Viereck (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) [J]. Zoologische mededelingen, 1999, 73(1): 10-11.
- [27] 张英健. 温度对赤眼蜂的发育和羽化的影响[J]. 昆虫学报, 1984(1): 28-38.
- [28] SIME K R, DAANE K M, NADEL H, et al. *Diachasmimorpha longicaudata* and *D. kraussii* (Hymenoptera: Braconidae), potential parasitoids of the olive fruit fly [J/OL]. Biocontrol Sci Technol, 2006, 16(2): 11[2018-11-24]. <http://www2.hawaii.edu/~messing/Publications/Diachasmimorpha%20parasitoids.pdf>. DOI: 10.1080/09583150500188445.
- [29] NAKAGAWA S, 张希玲. 怎样识别被寄生的实蝇蛹和正常的实蝇蛹[J]. 植物检疫, 1982(6): 24.
- [30] 耿军灵. 阿里山潜蝇茧蜂大量饲养及对橘小实蝇的控制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.

Morphological and molecular identification and biological characterization of parasitoid of *Bactrocera minax*

ZHANG Guijian CHEN Zhenzhong JIANG Nan NIU Changying

College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In this paper, the parasitoid of *Bactrocera minax* was first recorded in China. Morphological and molecular identification and biological characterization were carried out. The results showed that the chest and the abdomen of the parasitoid of *Bactrocera minax* were mostly black. Vein m-cu of fore wing juse postfurcal, and the antennae were 63-67 knots. The the middle tibia and tarsus were orange-yellow, the hind leg was black, and the mesothorax had obvious “V” pattern. Results of further analyzing the NJ phylogenetic tree of COI gene and 28sRNA gene revealed that the parasitic wasp was closely related to *Diachasmimorpha longicaudata*, *Diachasmimorpha kraussii*, *Diachasmimorpha tryoni*. Under natural conditions, the emergence period of parasitoid was significantly longer than that of *B. minax*. The proportion of emerged females increased with the rise of temperatures. Combined with its morphological characteristics, it was named as Chinese citrus fly cocoon wasp (*Diachasmimorpha feijeni*).

Keywords *Bactrocera minax*; parasitoid; *Diachasmimorpha feijeni*; morphological and molecular identification; biological characteristics

(责任编辑: 边书京)