

日本食蚱蜢小蜂的羽化行为及繁殖力观察*

韩姗妮^{1,2**} 陈俊谕¹ 王景威³ 叶政培¹ 陈鹤升^{1,2} 朱俊洪^{2***}
符悦冠¹ 韩冬银¹ 李磊¹ 张方平^{1,3***}

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南省热带作物病虫害生物防治工程技术研究中心, 农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室, 海口 571101;
2. 海南大学植物保护学院, 海口 570228; 3. 海南大学林学院, 儋州 571737)

摘要 【目的】探明日本食蚱蜢小蜂 *Coccophagus japonicus* Compere 的羽化行为及繁殖能力。【方法】在室内观察了日本食蚱蜢小蜂的羽化行为、羽化节律及补充营养物质（海藻糖、松三糖、蔗糖、蜂蜜、果糖和葡萄糖）对小蜂寿命、生殖力等方面的影响。【结果】日本食蚱蜢小蜂的羽化分为介壳虫体内羽化及成蜂出壳两个过程，羽化高峰期为 06:00–10:00。补充蔗糖的寿命最长，为 15.58 d，其次为果糖（14.97 d）。补充蔗糖后产卵量最高，为 236.5 粒，其次为果糖（192.0 粒）及蜂蜜（191.0 粒），葡萄糖最低（156.5 粒），产卵高峰出现在羽化后第 2 天，然后随产卵雌蜂日龄的增加呈下降趋势。子代的出蜂量以雌蜂为 6 日龄的最高，然后随雌蜂日龄的增加子代出蜂量大幅下降。【结论】可选用 6 日龄内的日本食蚱蜢小蜂雌蜂进行室内扩繁和田间释放，并可补充蔗糖水溶液以提升其扩繁和防治效果。

关键词 日本食蚱蜢小蜂；羽化节律；营养物质；寿命；生殖力

The emergence and fecundity of *Coccophagus japonicus* Compere

HAN Shan-Ni^{1,2**} CHEN Jun-Yu¹ WANG Jing-Wei³ YE Zheng-Pei¹ CHEN He-Sheng^{1,2}
ZHU Jun-Hong^{2***} FU Yue-Guan¹ HAN Dong-Yin¹ LI Lei¹ ZHANG Fang-Ping^{1,3***}

(1. Institute of Environment and Plant Protection, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Hainan Engineering Research Center for Tropical Crop Pest Control, Key Laboratory of Integrated Management of Tropical Crop Pests, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Tropical Agricultural Pest Monitoring and Control in Hainan Province, Haikou 571101, China; 2. School of Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. College of Forestry, Hainan University, Danzhou 571737, China)

Abstract 【Aim】To investigate the emergence and fecundity of *Coccophagus japonicus* Compere. 【Methods】Emergence behaviors, biological rhythms of emergence, as well as the effects of supplementary nutrients (mycose, melizitose, sucrose, honey, fructose and glucose) on the longevity and fecundity of *C. japonicus* were observed in the laboratory. 【Results】The emergence of *C. japonicus* can be divided into two stages; eclosion and adult hatching. The peak period of emergence was from 06:00 to 10:00. Supplementary nutrition affected adult life-span; the longest life-spans (15.58 and 14.97 d), were observed when supplementary sucrose and fructose were provided. The most eggs (236.50) were laid when supplementary sucrose was provided, whereas the least number of eggs were laid when glucose was provided. Peak oviposition occurred on the second day after emergence, after which oviposition decreased with adult age. Six-day old females produced the most offspring, after which offspring production significantly decreased with age. 【Conclusion】Six-day old, female *C. japonicus* are most suitable for indoor propagation and field release, and providing these with supplementary sucrose can enhance their productivity and biocontrol efficiency.

Key words *Coccophagus japonicus*; emergence rhythm; nutrient; longevity; fecundity

*资助项目 Supported projects: 海南省重点研发项目 (ZDYF2023XDNY085); 海南省自然科学基金项目 (321RC458; 321RC623); 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-33-GW-BC2)。

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

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: junhongz@163.com; fangpingz97@163.com

收稿日期 Received: 2022-07-19; 接受日期 Accepted: 2023-10-11

日本食蚱蜢小蜂 *Coccophagus japonicus* Compere 是龟蜡蚧 *Ceroplastes floridensis* Guaind、红蜡蚧 *Ceroplastes rubens* (Maskell)、橡副珠蜡蚧 *Parasaissetia nigra* Nietner 等多种蜡蚧的重要内寄生蜂(沈顺章等, 2017)。该蜂能寄生橡副珠蜡蚧 2 龄若虫至初产卵期成虫(吴晓霜等, 2018), 在 24-27 °C 条件下, 日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧表现出良好的控制作用(吴晓霜等, 2019; 张方平等, 2020)。本团队前期有较多研究涉及该蜂的交配行为、寄生行为、发育及繁殖等生物学特性, 发现日本食蚱蜢小蜂的寄生过程包括搜寻寄主、识别寄主、产卵器刺探、产卵、产卵后处理 5 个阶段, 该蜂对橡副珠蜡蚧的寄生时间、寄生率、产卵量均随寄生次数增多而增加(李贤等, 2019), 24-27 °C、光周期为 L12:D12 是日本食蚱蜢小蜂发育与繁殖的最适温区及光周期, 在此温光条件下, 该蜂发育快、产卵量及出蜂量均处于较高水平(沈顺章等, 2017; 张方平等, 2020; 李贤等, 2021); 另外, 研究还发现该蜂是一种重寄生雄的寄生蜂, 初级寄主为橡副珠蜡蚧 3 龄若虫、间隔 8 d 二次接蜂的条件有利于其重寄生雄(吴晓霜, 2019)。尽管如此, 日本食蚱蜢小蜂羽化行为、补充营养对其繁殖能力的影响及其寄主定位机制等方面尚未开展相关研究。本文笔者在室内仅对日本食蚱蜢小蜂羽化行为及其补充不同糖源时的繁殖能力进行观察, 以期为该蜂进一步的生物学研究及扩繁、释放提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

橡副珠蜡蚧: 从云南省热带作物研究所试验场六队的开割橡胶树上采集橡副珠蜡蚧, 然后在中国热带农业科学院环境与植物保护研究所(下称环植所)儋州试验基地的养虫室内[温度(26 ± 1) °C、相对湿度 70%-80%]用老南瓜繁殖橡副珠蜡蚧数代备用。

日本食蚱蜢小蜂: 从环植所儋州试验基地大棚内的橡胶苗上收集被日本食蚱蜢小蜂寄生的橡副珠蜡蚧, 待小蜂羽化后, 继续用橡胶苗上的

橡副珠蜡蚧繁殖日本食蚱蜢小蜂, 形成数量较大的以橡胶为植物寄主的小蜂种群。然后, 将日本食蚱蜢小蜂转接在用南瓜饲养的橡副珠蜡蚧上, 形成以南瓜为植物寄主的小蜂种群以供试验所需。

1.2 试验方法

1.2.1 羽化及羽化节律

羽化行为观察: 用解剖针将日本食蚱蜢小蜂褐蛹从植物寄主南瓜的表面剥离, 然后将其放入培养皿(直径 9 cm)中, 在体视镜下观察、描述其羽化过程。

羽化节律: 采集 2-3 日龄的日本食蚱蜢小蜂褐蛹 20 头, 置于指形管(1.5 cm × 7.5 cm)内, 管口用棉花塞住。然后将上述指形管放入室内(温度 25-30 °C), 每日每 2 h 观察 1 次, 记录一天中不同时段羽化的日本食蚱蜢小蜂数量, 计算在相应时段内的出蜂率。100 头小蜂为 1 个重复, 试验重复 3 次。

1.2.2 补充营养对雌成蜂寿命及产卵的影响

成蜂寿命: 将初羽化的雌蜂 5 头 1 组装于 1.2.1 规格的指形管内, 然后用棉花塞住管口。选择蜂蜜、葡萄糖、果糖、蔗糖、海藻糖和松三糖为糖源, 配制成 20% 的水溶液, 将小棉球在糖液中浸湿后放入上述装有小蜂的指形管中进行营养补充, 对照为清水和空白 2 种。然后将上述小蜂放入温度(27 ± 1) °C, 相对湿度为 70% ± 10%, 光周期 12 L:12 D 的人工气候箱(型号: MGC-350HP-2, 上海一恒科学仪器有限公司), 分别于每天 8:00 及 20:00 观察 1 次雌成蜂的存活情况, 同时更换新的糖源。试验设 30 头雌蜂为 1 个重复, 重复 3 次。

产卵量和产卵动态: 在南瓜表面的局部区集中挑选 30 头橡副珠蜡蚧 3 龄若虫, 并用自制的局部接蜂器(杯口直径为 7.5 cm, 高为 8.5 cm 的透明塑料杯, 其杯口边沿粘有一层海绵, 杯底开一直径约为 1.1 cm 的孔)罩住, 按雌蜂:蚱蜢=1:30 的比例引入 1 头已交配的日本食蚱蜢雌蜂, 并在接蜂器内分别放入用 20% 的蜂蜜、葡萄糖、果糖、蔗糖浸湿的小棉球, 对照为清水处理。接蜂在上述成虫寿命观察试验的人工气候箱内

进行。每天更换进新的蚱虫,并解剖刚换出的已接蜂蚱虫,计数产卵量和产卵动态,试验重复3次。

1.2.3 日本食蚱蜢小蜂子代出蜂量观察 在南瓜表面局部区域集中挑选120头椽副珠蜡蚱3龄若虫,用1.2.2中的自制局部接蜂器罩住,按雌蜂:蚱=1:60的比例引入2头已交配雌蜂接蜂2 d,然后更换新的蚱虫用以接蜂,直至雌蜂死亡为止。将带有已接蜂蚱虫的南瓜放入温度25-27℃、湿度65%-85%的养虫室内培育到出蜂,观察其出蜂情况,记录不同成蜂日龄(每2 d为1记录单元)接蜂后的子代出蜂量,实验重复4次。

1.3 数据分析

成蜂寿命、出蜂量、产卵量及寄生率等的比较采用SAS统计软件进行方差分析,平均数间的比较采用Duncan's新复极差法。

2 结果与分析

2.1 羽化及羽化节律

2.1.1 羽化行为 日本食蚱蜢小蜂的羽化过程分为小蜂蛹在介壳虫的壳体内羽化为成蜂及成蜂出壳两个过程。鉴于小蜂蛹羽化为成蜂的过程在壳内完成,不便观察其具体行为,本文仅对成蜂出壳的行为进行描述。经观察,日本食蚱蜢小蜂羽化为成蜂后在介壳虫壳内静止一段时间,然后,其成蜂用上颚在寄主肛门靠前的位置将寄主蜡壳的里层咬薄,再用上颚把蜡壳外层咬出一个孔,转动头部对小孔进行反复修理,并把所咬下的废弃物从小孔排出。在该过程中,小蜂不断用头部去试探孔径大小的适合度,当孔径大小达小蜂出壳要求时,小蜂头部率先探出介壳,并弹出触角,随后小蜂整体完成出壳过程。小蜂羽化完成后,会在该介壳虫附近用前足清理触角和头部,用中足和后足相互搓洗,并用后足对翅进行整理,时间约为30 s-1 min,稍后便爬行、跳跃,远离其原有寄主。

2.1.2 羽化节律 日本食蚱蜢小蜂全天均可羽化,但多数集中在4:00-16:00,此时段羽化的小蜂数占总数的93.42%;羽化高峰时间为

06:00-10:00,此时段羽化的小蜂数占总数54.28%(图1)。

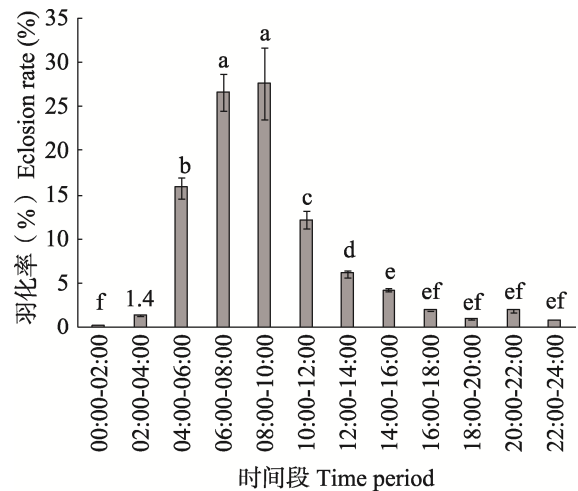


图1 日本食蚱蜢小蜂的羽化节律

Fig. 1 Eclosion rhythm of *Coccophagus japonicus*

柱上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$, Duncan's 新复极差法检验)。下图同。

Different lowercase letters above bars indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

2.2 补充营养对雌成蜂寿命及生殖的影响

2.2.1 补充营养对雌成蜂寿命的影响 补充不同营养物质后日本食蚱蜢小蜂的雌成蜂寿命见图2。由图2可知,补充营养对日本食蚱蜢小蜂的雌蜂寿命影响明显($P<0.05$)。其中补充蔗糖

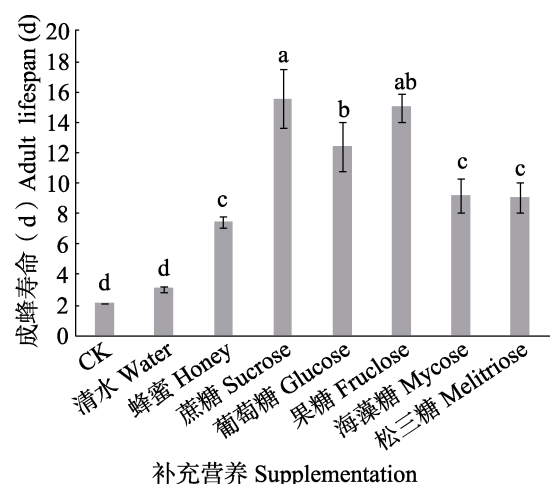


图2 补充营养对日本食蚱蜢小蜂雌成蜂寿命的影响
Fig. 2 Effects of nutrients on the longevity of female adult of *Coccophagus japonicus*

的寿命最长, 为 15.6 d, 其次为果糖, 为 15.0 d, 两者之间差异不明显($P>0.05$), 但均显著长于补充葡萄糖 (12.4 d)、海藻糖 (9.2 d)、松三糖 (9.1 d)、蜂蜜 (7.4 d) 等 ($P<0.05$); 而空白对照的雌蜂寿命最短为 2.1 d, 与清水对照相比差异不显著($P>0.05$)。

2.2.2 补充营养对日本食蚜蝇小蜂产卵的影响

2.2.2.1 产卵量 补充不同糖源后日本食蚜蝇小蜂的产卵量见图 3。由图 3 可知, 补充蔗糖后产卵量最高, 为 236.5 粒, 显著高于其他处理 ($P<0.05$)。蜂蜜处理与果糖处理的产卵量分别为 191.0 和 192.0 粒, 两处理间无明显差异 ($P>0.05$), 但均显著高于对照 ($P<0.05$)。而补充葡萄糖处理的产卵量最低, 仅为 140.5 粒, 与对照间无明显差异 ($P>0.05$)。

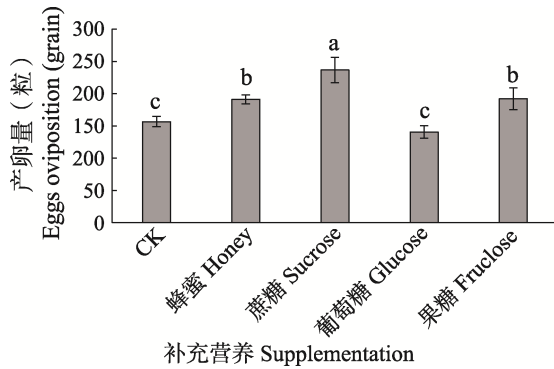


图 3 补充营养对日本食蚜蝇小蜂产卵量的影响
Fig. 3 Effects of nutrients on the oviposition of *Coccophagus japonicus*

2.2.2.2 产卵动态 补充不同营养后日本食蚜蝇小蜂的产卵动态见图 4。由图 4 可知, 除补充葡萄糖处理的产卵高峰出现在 1 日龄, 其余处理均出现在 2 日龄, 蔗糖处理的产卵高峰值最大, 单雌产卵量为 32.50 粒, 然后随雌蜂日龄的增加总体呈下降趋势; 蔗糖的产卵期结束最晚, 空白对照的产卵期结束最早。

2.3 日本食蚜蝇小蜂的子代出蜂量

不同日龄的日本食蚜蝇小蜂子代出蜂量见图 5。由图 5 可知, 雌蜂年龄在 0-6 日龄范围内, 日本食蚜蝇小蜂的子代出蜂量随雌蜂日龄的增加而上升, 6 日龄时达到最高, 为 75.5 头, 显著高于除 4 日龄外的其他日龄; 而后随雌蜂日龄的增加后代出蜂量大幅下降, 10 日龄后, 子代小蜂出蜂量均小于 10 头, 除 12 日龄与 14 日龄、14 日龄与 16 日龄差异不显著外 ($P>0.05$), 其余处理间均有显著差异 ($P<0.05$)。

3 结论与讨论

寄生蜂是一类羽化昼夜节律性明显的昆虫, 多位学者研究发现蜡螟绒茧蜂 *Apanteles galleriae* Wilkinson (何建云等, 2006)、黄腹潜蝇茧蜂 *Opius caricivora* Fischer (尹承山等, 2003) 等的羽化主要集中在白天。本研究中, 日本食蚜蝇小蜂羽化全天均有, 但主要集中在 4: 00-

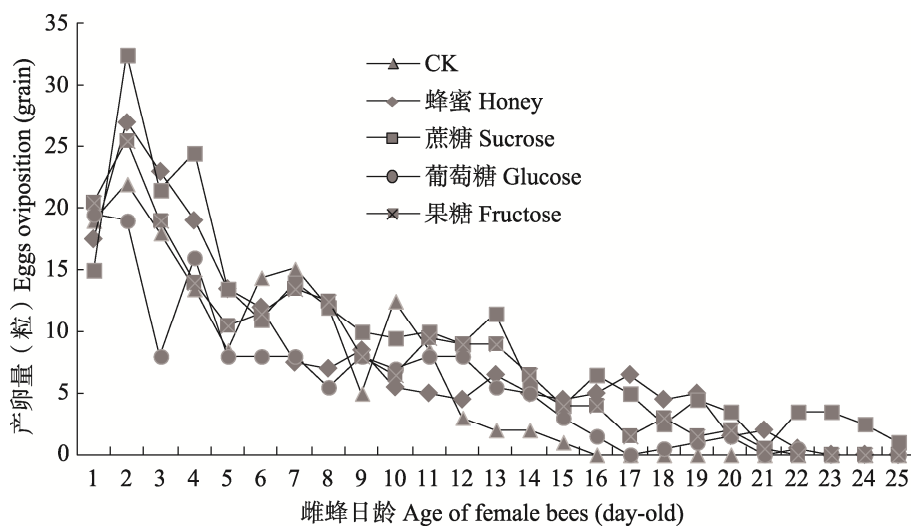


图 4 补充不同营养后日本食蚜蝇小蜂的产卵动态
Fig. 4 Oviposition dynamics of *Coccophagus japonicus* after different nutrition supplements

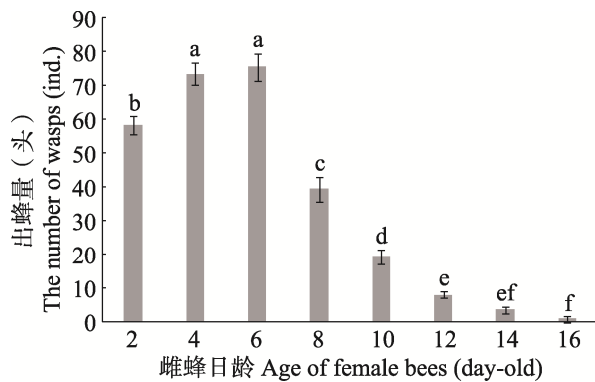


图5 不同日龄日本食蚱蜢小蜂子代出蜂量

Fig. 5 The amount of wasps produced by the offspring of *Coccophagus japonicus* at different ages

16:00, 同样具有明显的昼夜节律性, 其羽化高峰为 6:00-10:00, 该时段羽化的日本食蚱蜢小蜂占羽化总数的 54% 以上, 与褐带卷蛾茧 *Bracon adoxophyesi* Minamikawa (罗旭初等, 2017)、浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* Girault and Dodd (穆常青等, 2014) 等寄生蜂相似, 但与花角蚜小蜂 *Coccobius azumai* Tachikawa 的羽化主要集中在 11:00-15:00 时段略有差异 (陈顺立等, 2011), 说明寄生蜂的羽化高峰期因寄生蜂种类不同而存在差异。据报道, 寄生蜂的雄蜂常早于雌蜂羽化 (曾爱平等, 2005), 本研究中的日本食蚱蜢小蜂是一种重寄生雄的寄生蜂, 而本试验中用于做羽化节律试验的日本食蚱蜢小蜂未有重寄生, 均为雌蜂, 因此, 雄蜂羽化节律与雌蜂是否存在差异有待进一步研究。

昆虫的繁殖能力以产卵量及子代出蜂量等多个指标进行评价, 其繁殖能力通常受成虫日龄、成虫期的补充营养、温度、光周期、寄主等多种因素影响 (张李香, 2006; 曹玲, 2007; Lu, 2014; 王超等, 2014)。本研究采用了产卵量及子代出蜂量两个指标评价成虫期补充营养及雌蜂日龄对日本食蚱蜢小蜂繁殖能力影响。众多研究表明寄生蜂的寄生率会随着雌蜂日龄的增加而降低 (苑士涛等, 2004; Amalin *et al.*, 2005; 李建成等, 2005), 本研究中日本食蚱蜢小蜂在羽化 1-2 日龄时达到产卵高峰, 在 4 日龄与 6 日龄之间产卵量出现明显下降, 说明室内扩繁用蜂或田间释放选用羽化 6 日龄内日本食蚱蜢小蜂

效果较好。另外, 寄生蜂成虫阶段补充营养对其卵巢发育、成虫寿命及产卵量起着至关重要的影响 (Schmale *et al.*, 2001; 林长春等, 2003; 李会等, 2012), 本研究发现补充糖类营养后日本食蚱蜢小蜂的寿命均较对照出现明显提升, 除葡萄糖处理与对照无明显差异外, 其他处理的产卵量均显著高于对照, 这说明补充适当的糖类物质能延长日本食蚱蜢小蜂的寿命, 且能在一定程度上提升该蜂的产卵量。文中空白对照的成蜂寿命仅 2.1 d, 可见日本食蚱蜢小蜂在羽化前累积的能量十分有限, 若在羽化后未及时得到营养补充, 该蜂将在短时间内快速死亡。因此, 在田间运用日本食蚱蜢小蜂的生防实践中, 可在释放点附近适当设置一些补充营养装置或种植适量蜜源植物, 以提升其防治效果。

参考文献 (References)

- Amalin DM, Peña JE, Duncan RE, 2005. Effects of host age, female parasitoid age, and host plant on parasitism of *Ceratogramma etiennei* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Florida Entomologist*, 88(1): 77-82.
- Cao L, 2007. Studies on influence of foods on development, reproduction and energy substances of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [曹玲, 2007. 不同食料对甜菜夜蛾发育繁殖和能源物质的影响研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Chen SL, Zhang FP, Hong BH, 2011. Longevity and emergence rhythm of adult parasitoids of *Coccobius azumai* Tachikawa (Hymenoptera: Aphelinidae) introduced from Japan. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(1): 221-228. [陈顺立, 张飞萍, 洪炳煌, 2011. 引进花角蚜小蜂成虫的寿命和羽化节律. 应用生态学报, 22(1): 221-228.]
- He JY, Xiao TG, Wang WY, Xiao F, 2006. Biological characteristics of *Apanteles galleriae* Wilkinson. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 32(5): 517-520. [何建云, 肖铁光, 王文艺, 肖芬, 2006. 蜡螟绒茧蜂的生物学特性. 湖南农业大学学报(自然科学版), 32(5): 517-520.]
- Li H, Li Y, Yin SY, Sun XG, 2012. Effect of different nutrition on the main biological characteristics of *Chouioia cunea*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 976-979. [李会, 李杨, 尹淑艳, 孙绪良, 2012. 不同营养源对白蛾周氏啉小蜂主要生物学特性的影响. 应用昆虫学报, 49(4): 976-979.]
- Li JC, Zhang QW, Liu XX, Pan WL, 2005. Effects of parasitoid age

- and host age on the parasitism of *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae), an endoparasitoid of *Leucania separata*. *Chinese Journal of Biological Control*, 21(1): 14–17. [李建成, 张青文, 刘小侠, 潘文亮, 2005. 中红侧沟茧蜂成虫日龄及粘虫幼虫龄期对寄生效果的影响. 中国生物防治, 21(1): 14–17.]
- Li X, Fu YG, Chen JY, WJY, Zhu JH, Zhang FP, 2021. Effects of temperature and photoperiod on the development and reproduction of endoparasitoid wasp *Coccophagus japonicus* Compere. *Journal of Plant Protection*, 48(4): 848–854. [李贤, 符悦冠, 陈俊谕, 王建赟, 朱俊洪, 张方平, 2021. 温度及光周期对日本食蚜蚜小蜂发育与繁殖的影响. 植物保护学报 48(4): 848–854.]
- Li X, Fu YG, Zhu JH, Wu XS, Chen JY, Li L, Han DY, Niu LM, Zhang FP, 2019. Parasitic behavior of *Coccophagus japonicus* compere. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 40(3): 535–540. [李贤, 符悦冠, 朱俊洪, 吴晓霜, 陈俊谕, 李磊, 韩冬银, 牛黎明, 张方平, 2019. 日本食蚜蚜小蜂的寄生行为观察. 热带作物学报, 40(3): 535–540.]
- Lin CC, Lu G, Zhou CM, Zhao JN, 2003. Impacts of adult feeding materials on the life span of *Monochamus alternates*. *Forest Research*, 16(1): 69–74. [林长春, 陆高, 周成枚, 赵锦年, 2003. 补充营养材料对松褐天牛成虫存活期的影响. 林业科学研究, 16(1): 69–74.]
- Luo XC, Liu L, Huang SC, Yan W, Ma ZL, 2017. Observation on eclosion, mating and oviposition behaviors of *Bracon adoxophyesi*. *Journal of Environmental Entomology*, 39(2): 382–389. [罗旭初, 刘丽, 黄山春, 阎伟, 马子龙, 2017. 褐带卷蛾茧蜂羽化、交配及产卵行为观察. 环境昆虫学报, 39(2): 382–389.]
- Mu CQ, Zhou CQ, Zhang XM, Luo C, 2014. Reproduction behavior of *Encarsia sophia* on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(3): 300–305. [穆常青, 周长青, 张晓曼, 罗晨, 2014. 浅黄恩蚜小蜂生殖方式和行为学研究. 中国生物防治学报, 30(3): 300–305.]
- Schmale I, Wäckers FL, Cardona C, Cesar C, Slivia D, 2001. Control potential of three hymenopteran parasitoid species against the bean weevil in stored beans: The effect of adult parasitoid nutrition on longevity and progeny production. *Biological Control*, 21:134–139.
- Shen SZ, Zhang FP, Fu YG, Li L, Zhu JH, 2017. Factors affecting mating in *Coccophagus japonicus* Compere. *Journal of Environmental Entomology*, 39(5): 1135–1141. [沈顺章, 张方平, 符悦冠, 李磊, 朱俊洪, 2017. 日本食蚜蚜小蜂的交配影响因素研究. 环境昆虫学报, 39(5): 1135–1141.]
- Wang C, Chen F, Lu YY, 2014. Development and population growth of the cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae), under different photoperiods. *Acta Entomologica Sinica*, 57(4): 428–435. [王超 陈芳, 陆永跃, 2014. 不同光周期条件下棉花粉蚜的生长发育和种群增长能力. 昆虫学报, 57(4): 428–435.]
- Wu XS, 2019. Hyperparasitism behavior and its effect on the offspring development of *Coccophagus japonicus* Compere. Master dissertation. Hainan: Hainan University. [吴晓霜, 2019. 日本食蚜蚜小蜂重寄生行为及其对后代发育的影响研究. 硕士学位论文. 海南: 海南大学.]
- Wu XS, Niu LM, Fu YGuan, Chen JY, Han DY, Li L, Wu QQ, Zhang FP, Zhu JH. 2019. Researches on the control abilities of *Coccophagus japonicus* Compere on *Parasaissetia nigra* Nietner. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(2): 208–213. [吴晓霜, 牛黎明, 符悦冠, 陈俊谕, 韩冬银, 李磊, 吴琦琦, 张方平, 朱俊洪, 2019. 日本食蚜蚜小蜂对橡副珠蜡蚧的控制作用研究. 应用昆虫学报, 56(2): 208–213.]
- Wu XS, Zhang FP, Fu YG, Niu LM, Chen JY, Wu QQ, Zhu JH, 2018. Host instar preference of *Coccophagus japonicus* Compere. *Journal of Environmental Entomology*, 40(6): 1375–1379. [吴晓霜, 张方平, 符悦冠, 牛黎明, 陈俊谕, 吴琦琦, 朱俊洪, 2018. 日本食蚜蚜小蜂对寄主的龄期选择性. 环境昆虫学报, 40(6): 1375–1379.]
- Yi CS, Chen XX, Lang FY, He JH, 2003. Biological characteristics of adult *Opius caricivora* Fischer, a parasitoid of *Liriomyza sativae* Blandchard. *Acta Entomologica Sinica*, 46(4): 505–511. [尹承山, 陈学新, 郎法勇, 何俊华, 2003. 美洲斑潜蝇寄生蜂——黄腹潜蝇茧蜂成虫的生物学特性. 昆虫学报, 46(4): 505–511.]
- Yuan ST, Wan FH, Liu WX, Wei GS, 2004. Effects of continuous rearing, female adult age and mode of mating on sex ratio of *Campoletis chloridae* in the laboratory. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(1): 27–30. [苑士涛, 万方浩, 刘万学, 魏国树, 2004. 连代饲养、雌蜂日龄和交配方式对棉铃虫齿唇姬蜂后代性比的影响. 中国生物防治, 20(1): 27–30.]
- Zeng AP, Wang KW, Jiang JX, Ji XY, You LS, 2005. On the bionomics of *Microplitis pallidipes*. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 31(5): 502–505. [曾爱平, 王奎武, 蒋杰贤, 季香云, 游兰韶, 2005. 淡足侧沟茧蜂生物学特性研究. 湖南农业大学学报(自然科学版), 31(5): 502–505.]
- Zhang FP, Niu LM, Chen JY, Zhu JH, Li L, Han DY, Fu YG, 2020. Lethal effects of *Coccophagus japonicus* compere on *Parasaissetia nigra* Nietner. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 41(3): 544–548. [张方平, 牛黎明, 陈俊谕, 朱俊洪, 李磊, 韩冬银, 符悦冠, 2020. 日本食蚜蚜小蜂对橡副珠蜡蚧的致死作用. 热带作物学报, 41(3): 544–548.]
- Zhang LX, 2006. Studies ou the reproductive biology of *Tetrastichus hagenowii* (Ratzeburg). Doctor dissertation. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University. [张李香, 2006. 啊氏啮小蜂 *Tetrastichu shagenowii* (Ratzeburg) (膜翅目: 姬小蜂科) 繁殖生物学研究. 博士学位论文. 福建: 福建农林大学.]