

日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧的控制作用研究*

吴晓霜^{1,2**} 牛黎明¹ 符悦冠¹ 陈俊谕¹ 韩冬银¹
李磊¹ 吴琦琦^{1,2} 张方平^{1***} 朱俊洪^{2***}

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 571101; 2. 海南大学热带农林学院, 海南 570228)

摘要 【目的】为了明确日本食蚱蜢小蜂 *Coccophagus japonicus* Compere 对橡副珠蜡蚧 *Parasaissetia nigra* Nietner 的控害潜能。【方法】在 18、21、24、27、30、33 条件下研究了日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧 3 龄若虫的寄生功能反应及 27 条件下该蜂自身的干扰效应。【结果】该蜂的寄生功能反应符合 Holling-II 和 Holling-III 模型, 但各温度间功能反应的参数存在差异, 其中以瞬时攻击率/处理时间 (a'/T_h) 为评价指标, 在 18–33 范围内, 在 24 时寄生效能最大, 为 53.86; 日本食蚱蜢小蜂个体间存在干扰效应, 随着自身密度增大, 相互干扰作用增强, 在 27 时, Hassell 模型 $E = QP^{-m}$ 能够很好的反映出不同寄生蜂密度对橡副珠蜡蚧的寄生情况。【结论】日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧 3 龄若虫有较好的控害能力。
关键词 日本食蚱蜢小蜂; 橡副珠蜡蚧; 温度; 功能反应; 干扰效应

Research on the control of *Parasaissetia nigra* Nietner by *Coccophagus japonicus* Compere

WU Xiao-Shuang^{1,2**} NIU Li-Ming¹ FU Yue-Guan¹ CHEN Jun-Yu¹ HAN Dong-Yin¹
LI Lei¹ WU Qi-Qi^{1,2} ZHANG Fang-Ping^{1***} ZHU Jun-Hong^{2***}

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China;

2. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract [Objectives] To determine the potential of the parasitoid *Coccophagus japonicus* Compere as a biological control for *Parasaissetia nigra* Nietner. [Methods] The functional responses of *C. japonicus* to the 3rd instar of *P. nigra* were studied at 18, 21, 24, 27, 30 and 33 , respectively, and the effect of intra-specific competition on the predatory efficiency of *C. japonicus* was also studied at 27 . [Results] The functional responses of *C. japonicus* to the 3rd instar of *P. nigra* conformed to the Holling II and Holling-III equations, but the parameters of the functional response varied with temperature. In the range of 18 to 33 , parasitic efficiency, which was evaluated by the ratio of instantaneous attack rate to handling time (a'/T_h), was highest (53.86) at 24 . Intra-specific competition between individuals of *C. japonicus* increased with density. Parasitism under different densities of *C. japonicus* at 27 could be modelled by the Hassell equation ($E = QP^{-m}$). [Conclusion] *C. japonicus* has the potential to be an effective biological control for the 3rd instar of *P. nigra*.

Key words *Coccophagus japonicus* Compere; *Parasaissetia nigra* Nietner; temperature; functional response; interference effect

橡副珠蜡蚧 *Parasaissetia nigra* Nietner 是橡胶树上的一种重要害虫, 自 2004 年在云南橡胶上大面积暴发后, 已对云南、海南两省橡胶造成

了严重损失 (段波等, 2005; 管志斌等, 2005; 温丽娜等, 2009)。橡副珠蜡蚧为多食性昆虫, 中国已记录的寄主植物有 36 科 160 种, 主要危

*资助项目 Supported projects: 天然橡胶产业技术体系 (CARS-33-GW-BC2); 热科院基本业务费 (1630042017002); 海南省重点研发项目 (ZDYF2017041)

**第一作者 First author, E-mail: 794712832@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: fangpingz97@163; 5477750@qq.com

收稿日期 Received: 2018-12-08; 接受日期 Accepted: 2019-03-30

害热带园林植物和农作物(汤祯德, 1986), 造成严重的经济损失。利用天敌昆虫进行生物防治是控制害虫的重要手段。自从橡副珠蜡蚧在橡胶树上暴发成灾以来, 云南省热带作物科学研究所及本团队开展了该虫的天敌资源调查, 发现其天敌资源十分丰富(张方平等, 2006; 吴忠华等, 2009), 优势天敌有斑翅食蚧蚜小蜂(张方平, 2007)、优雅歧脉跳小蜂(李凤菊等, 2017)、日本食蚧蚜小蜂(沈顺章等, 2017)等。其中, 日本食蚧蚜小蜂是一种可寄生于橡副珠蜡蚧 2 龄若虫、3 龄若虫、初期成虫、褐色成虫的跨期内寄生蜂, 如果加以有效利用, 可望在橡副珠蜡蚧的防控中起到重要作用。

寄生蜂的功能反应研究是衡量寄生蜂寄生能力的重要指标之一, 是评价寄生蜂对害虫的控制作用的重要依据(韦永保和赵厚印, 1991)。近年来, 国内学者进行了斑翅食蚧蚜小蜂 *Coccophagus ceroplastae* (张方平, 2007)、副珠蜡蚧阔柄跳小蜂 *Metaphycus parasaissetiae* Zhang and Huang (张方平等, 2010)、优雅歧脉跳小蜂 *Diversinervus elegans* Silvestri (李凤菊等, 2017) 等几种寄生性天敌对橡副珠蜡蚧控制作用方面的研究, 发现均对橡副珠蜡蚧具有较好的控害潜能。尽管日本食蚧蚜小蜂是橡副珠蜡蚧的重要寄生性天敌, 但目前对其控制作用方面研究较少, 该蜂的控害能力尚不清楚。为了明确该蜂对橡副珠蜡蚧的控制效能, 本文研究了不同温度下日本食蚧蚜小蜂对橡副珠蜡蚧的寄生功能反应及 27 °C 条件下的干扰效应, 以期为该蜂的进一步利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

橡副珠蜡蚧: 采于云南省热带作物研究所试验场六队橡胶树上, 在中国热带农业科学院环境与植物保护研究所内的养虫室(温度 25-27 °C、湿度 70%-90%) 里用南瓜繁殖至成虫备用。

日本食蚧蚜小蜂: 于海南省儋州市中国热带农业科学院环境与植物保护研究所的试验基地

内收集日本食蚧蚜小蜂褐蛹, 待羽化后用橡胶上的橡副珠蜡蚧繁殖, 形成数量较大的种群, 然后将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种群以供试验所需。

1.2 试验方法

1.2.1 功能反应 分别在直径为 9 cm 的培养皿中放入带有 10、15、20、25、30 头橡副珠蜡蚧 3 龄若虫的南瓜块, 然后接入羽化 24 h 且已交配的日本食蚧蚜小蜂雌蜂 1 头, 在 18、21、24、27、30 和 33 °C (光周期 12L: 12D, RH 70%-80%) 的恒温人工气候箱中接蜂, 24 h 后移除寄生蜂, 随即在体视镜下解剖供试的橡副珠蜡蚧 3 龄若虫, 观察并记录寄生情况。每处理重复 4 次。

1.2.2 干扰效应 分别将 1、2、3、4、5、6 头已交配的日本食蚧蚜小蜂雌成蜂引入含 60 头橡副珠蜡蚧 3 龄若虫的培养皿中, 在 27 °C 条件下接蜂 24 h 后移除寄生蜂, 在体视镜下解剖供试的橡副珠蜡蚧 3 龄若虫, 观察并记录寄生情况。每处理重复 4 次。

1.3 分析方法

Holling-II型功能反应模型(Holling, 1959): $N_a = aT_l N / (1 + aT_h N)$ 。其中: N_a 为被捕食的猎物数; N 为猎物密度; T_l 为试验的持续时间(本文为 1 d); T_h 为捕食 1 头猎物所花的时间(即平均处理时间); a 为瞬间攻击率或寻找效率。

Holling-III型功能反应模型: $N_a = a' e^{-b/N}$, N_a 为被寄生的寄主数; N 为寄主密度, a' 为最大寄生量, b 为最佳寻找密度。

干扰效应: 采用 Hassell(Hassell and Varley, 1969)模型方程对干扰反应进行拟合, 其方程为: $E = QP^{-m}$ 。式中: E 为寻找效应; P 为捕食者(寄生物)的密度; Q 为搜寻常数; m 为干扰系数。

将上式模型转化为直线式: $\lg E = \lg Q - m \lg P$ 。

利用 E 、 P 的拟合计算 m 和 Q 的值, 进而得出方程式。

寻找效应与寄主的密度、寄生物的密度关系式为:

$$E = \frac{N_a}{N \times P}$$

式中 E 为寻找效应, N_a 为被攻击的猎物(或寄主)的数量, N 为猎物(或寄主)的密度, P 为捕食者(寄生物)的密度。

2 结果与分析

2.1 不同温度下日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧功能反应

在 5 种恒温条件下, 日本食蚱蜢小蜂对寄主的寄生情况如表 1 所示。从表 1 可以看出, 在同一温度不同寄主密度条件下, 随着寄主密度的增加, 被寄生的蚱虫数也随之增加。当寄主密度为

表 1 不同温度下日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧的日均寄生量

Table 1 Mean number of *Parasaissetia nigra* parasitized daily by *Coccophagus japonicus* at different temperature

温度 ($^{\circ}\text{C}$) Temperature	橡副珠蜡蚧密度 (头) <i>P. nigra</i> density (individual per petri dish)				
	10	15	20	25	30
18	6.6±1.5	7.0±1.0	10.8±1.6	11.2±0.8	13.8±0.4
21	6.6±1.3	7.2±0.8	12.2±1.9	12.4±1.1	12.8±1.1
24	7.8±0.8	9.8±1.5	13.8±1.5	16.8±1.6	20.2±0.4
27	7.6±0.5	10.0±2.3	12.6±1.5	16.4±2.1	21.0±2.3
30	6.4±0.9	12.0±1.4	12.6±1.5	14.4±1.1	15.4±1.5
33	7.0±0.7	10.8±1.5	14.0±1.6	15.4±1.1	16.8±1.3

10 头时, 日寄生量最少, 当寄主密度上升至 30 头时寄生量达到最大, 特别是 27 $^{\circ}\text{C}$ 时, 寄主密度为 30 头时的寄生量约是 10 头时的 2.8 倍。

在同一寄主密度不同温度条件下, 当寄主的密度为 10 头、25 头时, 最大的日均寄生量在 24 $^{\circ}\text{C}$, 分别为 7.8 头、16.8 头; 当寄主密度为 15 头时日均最大寄生量在 30 $^{\circ}\text{C}$ 下, 为 12.0 头; 当寄主密度为 20 头时日均最大寄生量在 33 $^{\circ}\text{C}$ 下, 为 14.0 头; 当寄主密度为 30 头时日均最大寄生量在 27 $^{\circ}\text{C}$ 下, 为 21.0 头。

拟合 Holling-II 型功能反应模型, 将 N 及 N_a 分别取倒数进行回归分析。结果表明, 参数估计的 R^2 值均大于 0.85, 经 χ^2 检验, χ^2 均小于 $\chi_{0.05}^2 = 9.488$, 表明理论值与观察值吻合, 不同温度下日本食蚱蜢小蜂寄生功能反应拟合方程与圆盘方程模型拟合良好。

寄生蜂在 24 $^{\circ}\text{C}$ 时, 瞬间攻击率最强, 为 0.834 8, 在 33 $^{\circ}\text{C}$ 时, 瞬间攻击率最弱, 为 0.709 0。瞬时攻击率 (a') 与温度 (x) 的关系呈抛物线趋势 $y = -0.001x^2 + 0.0443x + 0.338$ ($R^2 = 0.9045$)

在 18-27 $^{\circ}\text{C}$ 范围内, 随着温度的升高, 对寄主的处理时间逐渐缩短, 在 27-33 $^{\circ}\text{C}$ 范围内, 随着温度的升高, 对寄主的处理时间逐渐延长, 18 $^{\circ}\text{C}$ 时处理时间最长为 0.047 4 d, 处理时间 (T_h) 和温度 (x) 的关系为: $y = 0.0004x^2 - 0.0226x + 0.3246$ ($R^2 = 0.8531$)。寄生蜂在 24 $^{\circ}\text{C}$ 时寄生

表 2 日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧的 Holling-II 型功能反应参数估计

Table 2 The Holling-II functional responses parameters of *Coccophagus japonicus* to *Parasaissetia nigra* at different temperatures

温度 ($^{\circ}\text{C}$) Temperature	瞬时攻击率 a' Instantaneous attack rate	处理时间 T_h Handling time	寄生效能 a'/T_h (头·d $^{-1}$) Maximum parasitic (individual·d $^{-1}$)	寄生上限 $1/T_h$ (头·d $^{-1}$) Parasitic efficacy (individual·d $^{-1}$)	R^2	χ^2
18	0.818 0	0.047 4	17.257 4	21.097 0	0.857 2	0.264 4
21	0.802 6	0.042 4	18.929 2	23.584 9	0.854 6	0.249 1
24	0.834 8	0.015 5	53.858 1	64.516 1	0.971 6	0.143 2
27	0.813 4	0.015 5	52.477 4	64.516 1	0.975 1	0.383 0
30	0.746 6	0.017 4	42.908 0	57.471 3	0.909 2	0.253 9
33	0.709 0	0.031 1	25.369 8	32.154 3	0.983 2	0.101 9

效能最强为 $53.858\ 1\ \text{头}\cdot\text{d}^{-1}$, 是 18 的 3 倍多, 24、27 下寄生上限达到最大为 $64.516\ 1\ \text{头}\cdot\text{d}^{-1}$, 以寄生效能 a'/T_h 为判断标准, 说明日本食蚱蜢小蜂 24 时寄生能力最强, 其次为 27。

采用 Holling-III 型模型对 N 及 N_a 进行拟合, 结果表明, 参数估计的 R^2 值均大于 0.83, 经 χ^2 检验, χ^2 均小于 $\chi^2_{0.05} = 9.488$, 表明理论值与观察值吻合, 不同温度下日本食蚱蜢小蜂寄生功能反应拟合方程与 Holling-III 模型拟合良好。Holling-III 模型的寄生上限为 $29.17\ \text{头}\cdot\text{d}^{-1}$, 在 18 时寄生上限最低, 为 $17.95\ \text{头}\cdot\text{d}^{-1}$; 温度对最佳寻找密度的影响明显, 在 27 时, 其最佳寻找密度最高为 $14.31\ \text{头}\cdot\text{皿}^{-1}$, 18 时, 最佳寻找密度最低为 $10.98\ \text{头}\cdot\text{皿}^{-1}$ 。

表 3 日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧的 Holling-III 型功能反应参数估计
Table 3 The Holling-III functional responses parameters of *Coccophagus japonicus* to *Parasaissetia nigra* at different temperatures

温度 (℃) Temperature	寄生上限 $1/T_h$ (头·d ⁻¹) Parasitic efficacy (individual·d ⁻¹)	最佳寻找密度 b (头·皿 ⁻¹) Optimal search density (individual per petri dish)	R^2	χ^2
18	17.95	10.98	0.836 6	0.282 2
21	18.87	11.23	0.840 0	0.295 7
24	29.17	14.06	0.927 9	0.264 9
27	29.12	14.31	0.908 7	0.414 8
30	24.44	12.78	0.947 2	0.138 5
33	24.16	11.27	0.989 5	0.021 6

2.2 日本食蚱蜢小蜂自身密度对其寻找效应的影响

寻找效应是捕食者(或寄生物在捕食或寄生

中)对猎物(或寄主)攻击的一种行为效应, 其高低与猎物(或寄主)密度、捕食者(或寄生物)密度及气象因子等密切相关, 因此在研究寄生物-寄主系统时必须考虑寻找效应的成份。

根据公式计算出日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧的寻找效应(表 4), 从中看出, 日本食蚱蜢小蜂的寻找效应随着小蜂密度的增加而降低。

利用表 4 中的数据拟合 $\text{Lg}E=\text{lg}Q-m\text{lg}P$ 数学模型, 得到: $\log E = -0.601\ 6 - 0.334\ 4\log P$, 由此可知 $Q = 0.452\ 6$, $m = 0.601\ 6$ 。因此, 可得到日本食蚱蜢小蜂与橡副珠蜡蚧 3 龄若虫寻找效应的数学模型: $E = 0.045\ 26P^{-0.601\ 6}$, 将以上数学模型所得到的寻找效应与寄生物密度的理论值与观察值绘制成图 1。从图 1 中可看出理论值和观察值很接近, 说明模型可反应出日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧 3 龄若虫的寻找效应。日本食蚱蜢小蜂的寻找效应随自身密度的增加而降低, 说明在寄生过程中, 种群的不同个体之间存在着相互干扰现象。

3 结论与讨论

在生物防治中, 寄生功能反应主要用来描述天敌对害虫的控害潜能, 即天敌捕食害虫的数量与害虫密度的关系 (Solomon, 1949)。对于天敌的寄生功能评价通常采用 Holling-II 型和 III 型模型, 两个模型在一定程度上可以互补, 在功能反应中两个模型同时使用能更好地描述天敌对害虫的作用 (陈文胜等, 2004)。本研究中, 日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧 3 龄若虫的寄生功能反应符合 Holling-II 和 Holling-III 型模型。日本食蚱蜢小蜂对蚱虫的寄生量随蚱虫密度的增加而增加, 最后趋于稳定, 这与周氏啮小蜂 (海南

表 4 日本食蚱蜢小蜂对橡副珠蜡蚧的寻找效应
Table 4 Sarching efficiency of *Coccophagus japonicus* to *Parasaissetia nigra* at different density of parasite

小蜂密度 (P) Density of parasite	1	2	3	4	5	6
寄生数量 (N_a) Parasitic quantity	27.25	35.75	41.25	47.25	53.75	54.00
寻找效应 (E) Sarching efficiency	0.454 2	0.297 9	0.229 2	0.196 9	0.179 2	0.150 0

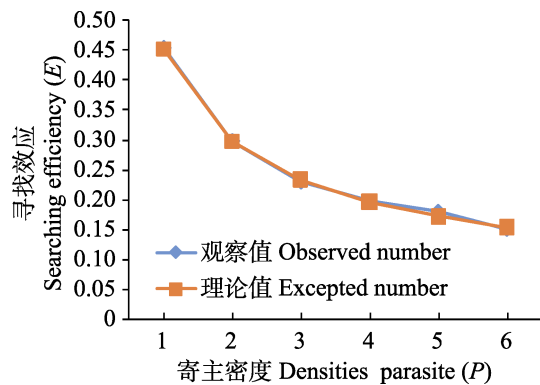


图 1 日本食蚜蚜小蜂自身密度 P 与寻找效应 E 的关系

Fig. 1 Relationship between searching efficiency of *Coccophagus japonicus* and different densities of parasite

种群)对椰子织蛾蛹的功能反应类型相同(吕宝乾等, 2018)。天敌对害虫的攻击系数与处理时间之比(a'/T_h)是衡量天敌作用的参数之一, a'/T_h 值越大, 表明对害虫的控制能力越强(牟吉元等, 1997)。本实验中, 日本食蚜蚜小蜂对橡副珠蜡蚧 3 龄若虫的寄生效能 在 24 时最大(53.86), 其次为 27 (52.48), 表明在田间防治橡副珠蜡蚧时, 可选择日均温度在 24-27 之间时进行释放, 以提高寄生率, 达到最佳防治效果。此结果与副珠蜡蚧阔柄跳小蜂在 30 时的寄生效能最大的研究结果有一定差异。本实验中 Holling-II 和 Holling-III 型模型拟合出的寄生上限值均在 24-27 范围内, 但具体数值存在较大差异, 相比较而言, III 型模型拟合出的寄生上限更加符合实际寄生情况, 用这个参数可以更为客观评价该蜂的寄生作用。

寻找效应是天敌在捕食或寄生过程中对害虫的一种行为效应。研究结果表明, 日本食蚜蚜小蜂的自身密度对其寄生能力也有一定影响, 随蚜小蜂自身密度的增加, 对橡副珠蜡蚧的寻找效应逐渐降低, 说明日本食蚜蚜小蜂个体之间存在着相互竞争和干扰现象。此结果与班氏跳小蜂对扶桑粉蚧(黄俊等, 2012)以及茶足柄瘤蚜茧蜂对苜蓿蚜(刘爱萍等, 2012)的研究结果一致。因此, 在室内扩繁和大田释放日本食蚜蚜小蜂时, 我们应该合理控制雌蜂和蚜虫的比例, 在避免造成资源浪费的同时, 可保证小蜂的寄生率,

达到较好的扩繁效果及田间防效。

本试验是在室内条件下进行的, 室内恒温恒湿条件与外界自然条件存在一定差异, 且室内环境相对单一, 结果不能完全反应出日本食蚜蚜小蜂在田间对害虫的实际控制能力。因此, 尚需以本实验研究结果为基础, 进一步开展该蜂在田间对橡副珠蜡蚧的控害效能研究工作。

参考文献 (References)

- Chen WS, Cui ZX, Ren JJ, Wang WB, 2004. Functional responses of *Menochilus sexmaculatus* to peach aphid under different temperature. *Systems Sciences and Comprehensive Studies in Agricultural*, 20(1): 69-70. [陈文胜, 崔志新, 任吉君, 王蕴波. 2004. 不同温度下六斑月瓢虫对桃蚜功能反应的研究. *农业系统科学与综合研究*, 20(1): 69-70.]
- Duan B, Zhou M, Li JZ, Li GH, 2005. Identification and control of a scale insect in Xishuangbanna rubber plantation of Yunnan Province. *Tropical Agricultural Science & Technology*, 25(2): 1-3. [段波, 周明, 李加智, 李国华, 2005. 西双版纳橡胶介壳虫种类鉴定及其防治. *热带农业科技*, 25(2): 1-3.]
- Guan ZB, Chen Y, Lei JL, Pan YW, 2005. Break out of scale insect in Xishuangbanna rubber plantation of Yunnan Province. *Plant Protection*, 31(1): 92-93. [管志斌, 陈勇, 雷建林, 潘育文, 2005. 西双版纳州橡胶蚧壳虫大面积暴发. *植物保护*, 31(1): 92-93.]
- Hassell MP, Varley GC, 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223(5211): 1133-1137.
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385-398.
- Huang J, Lv YB, Zhang J, Huang F, Bei YW, 2012. Parasitic functional response of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) to *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(12): 1418-1423. [黄俊, 吕要斌, 张娟, 黄芳, 贝亚维, 2012. 班氏跳小蜂对扶桑绵粉蚧的寄生功能反应. *昆虫学报*, 55(12): 1418-1423.]
- Liu AP, H HG, Xu LB, Gao SJ, Zhang YH, Kang AG, 2012. Parasitic functional response of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) to *Aphis craccivora* (Koch). *Journal of Environmental Entomology*, 34(1): 69-74. [刘爱萍, 黄海广, 徐林波, 高书晶, 张玉慧, 康爱国, 2012. 茶足柄瘤蚜茧蜂对苜蓿蚜的寄生功能反应. *环境昆虫学报*, 34(1): 69-74.]

- Li FJ, Zheng HT, Li LY, Xu LY, Wang JQ, Zhang YK, Zhu GY, Cai ZY, 2017. Field experiment on the control of *Parasaissetia nigra* by *Diversinervus elegans* Silvestri. *Tropical Agricultural Science and Technology*, 40(2): 1–3. [李凤菊, 郑海涛, 黎来云, 许丽月, 王进强, 张永科, 朱国渊, 蔡志英, 2017. 优雅歧脉跳小蜂田间防治橡胶盔蚧试验. *热带农业科技*, 40(2): 1–3.]
- Lv BQ, Su L, Peng ZQ, Jin QA, Wen HB, He X, Liu YC, 2018. Functional response of *Chouioia cunea* (Hainan population) on *Opisina arenosella*. *Journal of Biosafety*, 27(3): 200–204. [吕宝乾, 苏璐, 彭正强, 金启安, 温海波, 何杏, 刘衍超, 2018. 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的寄生功能反应. *生物安全学报*, 27(3): 200–204.]
- Mou JY, Xu HF, Li HG, 1997. *Insect Ecology and Prediction of Agricultural Pests*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 56–57. [牟吉元, 徐洪富, 李火苟, 1997. 昆虫生态与农业害虫预测预报. 北京: 中国农业科技出版社. 56–57.]
- 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. 日本食蚧蚜小蜂的交配影响因素研究. *环境昆虫学报*, 39(5): 1135–1141.]
- Solomon ME, 1949. The natural control of animal populations. *Journal of Animal Ecology*, 18(1): 1–35.
- Tang FD, 1986. *Major Scale Insects in Chinese gardens*. Taiyaun: Shanxi Agricultural University Press. 28–74. [汤祚德, 1986. 中国园林主要蚧虫. 太原: 山西农业大学出版社. 28–74.]
- Wen LN, Fu YG, Zhang FP, Jin QA, Zhang JB, 2009. Bionomics of *Metaphycus parasaissetiae* Zhang and Huang (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of *Parasaissetia nigra* (Nietner) (Hemiptera: Coccoidea) adults. *Chinese Journal of Biological Control*, 25(2): 112–119. [温丽娜, 符悦冠, 张方平, 金启安, 张敬宝, 2009. 副珠蜡蚧阔柄跳小蜂 *Metaphycus parasaissetiae* Zhang and Huang 生物学特性的研究. *中国生物防治*, 25(2): 112–119.]
- Wei YB, Zhao HY, 1991. Researches on the functional responses of *Cnaphalocrocis medinalis* on *Apanteles cypris*. *Plant Protection*, 17(1): 14–15. [韦永保, 赵厚印, 1991. 稻纵卷叶螟绒茧蜂对稻纵卷叶螟密度功能反应的研究. *植物保护*, 17(1): 14–15.]
- Wu ZH, Li GH, Hou JY, Wang JQ, Zhang ZB, Yang YL, 2008. Bionomics of *Parasaissetia nigra* Nietner of rubber. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 23(5): 701–704. [吴忠华, 李国华, 侯建勇, 王进强, 张祖兵, 杨友兰, 2008. 橡胶盔蚧生物学特性研究. *云南农业大学学报*, 23(5): 701–704.]
- Zhang FP, 2007. A study on the biology and its control function of *Aneristus cceroplastae*. Master thesis. Danzhou: South China University of Tropical Agriculture. [张方平, 2007. 斑翅食蚧蚜小蜂生物学及作用效能研究. 硕士学位论文. 儋州: 华南热带农业大学.]
- Zhang FP, Fu YG, Peng ZQ, Han DY, 2006. Advance on biology of *Parasaissetia nigra* Nietner and its control. *Chinese Journal of Tropical Agricultural*, 26(1): 38–41. [张方平, 符悦冠, 彭正强, 韩冬银, 2006. 橡副珠蜡蚧生物学特性及防治概述. *热带农业科学*, 26(1): 38–41.]
- Zhang FP, Niu LM, Xu YC, Han DY, Zhang JB, Fu YG, 2010. Control effect of parasitic *Metaphycus parasaissetiae* on host *Parasaissetia nigra*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21(8): 2166–2170. [张方平, 牛黎明, 许永池, 韩冬银, 张敬宝, 符悦冠, 2010. 副珠蜡蚧阔柄跳小蜂对橡副珠蜡蚧的控制作用. *应用生态学报*, 21(8): 2166–2170.]