

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2018.03.007

周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的寄生功能反应

吕宝乾¹, 苏璐², 彭正强^{1*}, 金启安¹, 温海波¹, 何杏¹, 刘衍超²
¹农业部热带作物有害生物综合治理重点实验室/中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 海口 571101; ²海南大学, 海南 海口 570228

摘要:【目的】周氏啮小蜂(海南种群)是寄生椰子织蛾蛹期的本土天敌。研究周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的功能反应, 能为该蜂室内扩繁和室外控害利用提供基础。【方法】在室内观察周氏啮小蜂(海南种群)寄生行为基础上, 研究了营养(10%蜂蜜)、寄主蛹(初、中、晚)期对周氏啮小蜂(海南种群)寄生功能反应的影响。【结果】镜下观察1头周氏啮小蜂(海南种群)可寄生多头椰子织蛾蛹, 寄生量随寄主密度的增大而增加, 但当寄主密度达到一定程度后, 其增长率随寄主密度的增大逐渐减缓, 属于Holling II功能反应。在无营养条件下, 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾初、中、晚期蛹的理论最大寄生量分别为1.5、1.4、1.2头·d⁻¹; 在10%蜂蜜饲喂条件下, 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾初、中、晚期蛹的理论最大寄生量分别为1.8、1.7、1.3头·d⁻¹。【结论】Holling II型拟合结果表明, 椰子织蛾初期蛹是周氏啮小蜂(海南种群)寄生的最佳时期, 补充营养能够提高椰子织蛾的寄生力。
关键词: 椰子织蛾; 功能反应; 周氏啮小蜂; 海南种群

Functional response of *Chouioia cunea* (Hainan population) on *Opisina arenosella*

LÜ Baoqian¹, SU Lu², PENG Zhengqiang^{1*}, JIN Qi'an¹, WEN Haibo¹, HE Xing¹, LIU Yanchao²

¹Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops/Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; ²Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

Abstract: 【Aim】*Chouioia cunea* Yang (Hainan population) is a native parasitoid that attacks pupae of *Opisina arenosella*. To assess the potential of the wasp massive rearing for biological control, we investigated *C. cunea* functional response on *O. arenosella* in laboratory conditions. 【Method】We investigated the effects of nutrition (10% honey) and host stage (early, mid and late pupa) on the functional responses based on observation of its parasitic behavior. 【Result】Endoscopic observations showed that *C. cunea* attacked more than one host. The number of hosts parasitized by *C. cunea* increased with increasing host density. However, the increase rate gradually slowed down when the host density reached a certain level and the functional response of *C. cunea* fit to Holling II. Without nutrition, the theoretical maximum number parasitized by *C. cunea* was 1.5, 1.4 and 1.2 per day when exposed to early, medium and late pupal stages, respectively. With 10% honey, these values increased to 1.8, 1.7 and 1.3 per day, respectively. 【Conclusion】The fitting results from type Holling II functional response indicated that the early pupae was the optimal stage for parasitizing. Nutritional supplements increased the capacity of parasitism.

Key words: *Opisina arenosella*; functional response; *Chouioia cunea*; Hainan population

椰子织蛾 *Opisina arenosella* Walker, 又称椰子木蛾, 是棕榈植物上的重要害虫(李后魂等, 2014; 吕宝乾等, 2013)。椰子织蛾 2013 年入侵海南, 被列为高风险性有害生物(阎伟等, 2013)。本地天敌筛选利用是控制外来入侵害虫的重要措施(Huffaker, 2012)。周氏啮小蜂(海南种群) *Chouioia cunea*

收稿日期(Received): 2018-02-01 接受日期(Accepted): 2018-04-23

基金项目: 海南省重点项目(ZDYF2017026); 中国热带农业科学院基本业务费(1630042017011、1630042018012); 国家科技支撑(2015BAD08B03); 生物专项子课题(2016YFC1201200)

作者简介: 吕宝乾, 男, 研究员。研究方向: 农林有害生物防治。E-mail: lvbaoqian@hotmail.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: 512039829@qq.com.

Yang 是海南本地收集到的控制椰子织蛾的蛹寄生蜂(李紫成等,2017; 吕宝乾等,2018)。周氏啮小蜂从美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury 蛹上采集,在美国白蛾上寄生率高,在我国北方已广泛应用(杨忠岐,1989)。海南发现的椰子织蛾周氏啮小蜂形态上不同于报道的周氏啮小蜂,生物学上也存在差异,总体上海南种群周氏啮小蜂较北京种群周氏啮小蜂个体小,出蜂量多,成蜂寿命短(李紫成等,2017; 吕宝乾等,2018)。功能反应是衡量天敌对害虫捕食或寄生能力的重要指标之一(丁岩钦,1994)。为了评价周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的控害潜能,本文研究了周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的寄生功能反应,通过开展周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾功能反应的研究,获得周氏啮小蜂(海南种群)的寄生潜能,为评价周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的控制作用提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

椰子织蛾采自中国热带农业科学院儋州院区(北纬 N 19° 30' 29", 东经 E 109° 29' 21")。实验条件为温度 (23±2) °C、相对湿度 RH = 75%±10%。椰子织蛾幼虫饲养于 20 cm×30 cm×8 cm 的养虫盒中,饲养方法见吕宝乾等(2015)。实验所用寄生蜂来自中国热带农业科学院环境与植物保护研究所同批次培养的周氏啮小蜂(海南种群)。

1.2 实验方法

1.2.1 寄生行为观察 在装有椰子织蛾初期蛹的玻璃指形管 (50 mL) 内引入一对刚羽化的周氏啮小蜂(海南种群),在体视显微镜下观察并描述周氏啮小蜂(海南种群)的寄生产卵过程。另设 1 头蜂对多头寄主情形观察寄生蜂产卵行为。

1.2.2 功能反应 根据前期研究,椰子织蛾蛹在此条件下蛹的发育历期为 10 d (Lu et al., 2016)。实验一在不补充营养条件下进行。分别取椰子织蛾初期蛹 (2 d)、中期蛹 (5 d)、晚期蛹 (8 d),每个蛹期分别设置 1、2、3、4、5 头寄主密度梯度,分别置于 50 mL 指形管中,每个指形管再引入 1 对新羽化的周氏啮小蜂(海南种群),24 h 后移去寄生蜂。解剖观察寄生情况并记录每个密度条件下实际被寄生的椰子织蛾蛹数量。实验重复 5 次。实验二在补充营养的条件下进行,指形管中加入蘸有 10% 蜂蜜水的棉棒,其他过程同实验一。

1.3 数据处理

用 Excel 绘出各组椰子织蛾被周氏啮小蜂(海南种群)寄生数量的曲线图,判断在本实验情况下的功能反应模型,再用 Holling 型圆盘方程(吴坤君等,2004) $N_a = \alpha' TN / (1 + \alpha' T_h N)$ 拟合计算出寄生蜂的理论寄生数量和相关参数。式中: α' 为周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的瞬时攻击率, T_h 为周氏啮小蜂(海南种群)寄生 1 头椰子织蛾所需要的时间, N 为椰子织蛾初始密度, N_a 为被寄生的椰子织蛾的数量, T 为周氏啮小蜂(海南种群)用于搜索椰子织蛾需要的总时间。用线性最小二乘法计算相关参数,使用 SPSS 24.0 软件统计分析。

2 结果与分析

2.1 周氏啮小蜂(海南种群)寄生椰子织蛾行为

周氏啮小蜂(海南种群)羽化后即可寄生。在指形管中,绝大多数周氏啮小蜂(海南种群)雌蜂在 (10.2±3.4) min (n=30) 内便可找到寄主。产卵时,雌蜂会用触角触碰检查寄主状况,然后将产卵器插入寄主蛹体内,寄主受到刺激身体会扭动翻转,少部分 (10.5%) 寄生蜂会脱落,需再次进行产卵行为。产卵部位不固定,整个产卵过程持续 (1.3±0.8) min (n=30, 图 1)。寄生蜂休息 (20.6±15.8) min (n=30) 后可再次产卵。



图 1 周氏啮小蜂(海南种群)寄生椰子织蛾蛹
Fig.1 *O. arenosella* pupae being parasitized by *C. cunea*

2.2 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的寄生功能反应(无营养补充)

周氏啮小蜂(海南种群)寄生量随寄主密度的升高而增加,当增加到一定程度时 (4~5 头),寄生量不会随着寄主密度增加,符合 Holling II 型圆盘方程(相关系数皆在 0.8 以上)(图 2)。根据表 1,用 Holling II 模型的功能反应公式计算出不同蛹期下的寄生功能反应方程及相关参数(表 2),结果表明:参数估计的相关系数 r 达显著水平 ($P<0.05$);

拟合优度检验 χ^2 值均小于 $\chi^2_{0.05}$,说明圆盘方程能较好地描述周氏啮小蜂(海南种群)在各寄主蛹期下对椰子织蛾的寄生作用。由表 2 圆盘方程可模拟出周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾最大寄生量顺序为初期蛹($1.5 \text{ 头} \cdot \text{d}^{-1}$)>中期蛹($1.4 \text{ 头} \cdot \text{d}^{-1}$)>晚期蛹($1.2 \text{ 头} \cdot \text{d}^{-1}$)。周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾平均瞬时攻击率为 1.2437,其中对 3 种蛹期的椰子织蛾瞬间攻击率 α' 顺序为中期蛹>晚期蛹>初期蛹,分别为 1.7248、1.0838、0.9225。周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾平均处理时间为 0.7299,对 3 种蛹期的椰子织蛾处理时间 T_h 顺序为晚期蛹>中期蛹>初期蛹,分别为 0.8133、0.7192、0.6573 d。

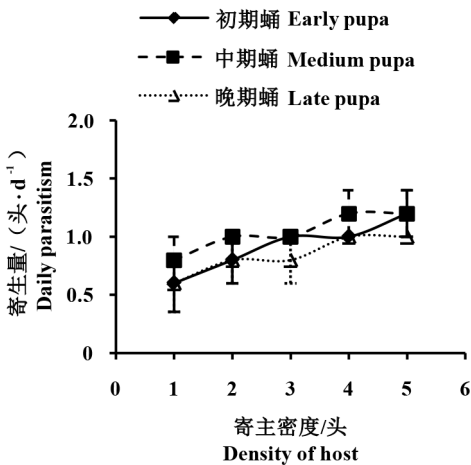


图 2 周氏啮小蜂(海南种群)寄生不同蛹期椰子织蛾的 Holling II 模型(无营养补充)
Fig.2 Holling II model for different stages of *O. arenosella* parasitized by *C. cunea* (no nutrition)

表 1 周氏啮小蜂(海南种群)对不同密度椰子织蛾蛹的寄生情况(无营养补充)
Table 1 *C. cunea* response to parasites of different densities of *O. arenosella* (no nutrition)

寄主密度/头 Density of host	初期蛹 Early pupa		中期蛹 Midium pupa		晚期蛹 Late pupa	
	实测平均寄生量/头 Average of actual number parasitized	理论寄生量/头 Average of theoretical number parasitized	实测平均寄生量/头 Average of actual number parasitized	理论寄生量/头 Average of theoretical number parasitized	实测平均寄生量/头 Average of actual number parasitized	理论寄生量/头 Average of theoretical number parasitized
1	0.6	0.3846	0.8	0.7526	0.6	0.5938
2	0.8	0.6345	1.0	1.0416	0.8	0.8169
3	1.0	0.8098	1.0	1.1946	0.8	0.9338
4	1.0	0.9396	1.2	1.2892	1.0	1.0057
5	1.2	1.0396	1.2	1.3535	1.0	1.0545

表 2 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的功能反应(无营养补充)
Table 2 Parasitism functional response of *C. cunea* on *O. arenosella* (no nutrition)

寄主蛹期 Host pupal stage	圆盘方程 Disc equation	相关系数 (<i>r</i>) Correlation coefficient	瞬间攻击率 (α') Instant attack rate	处理时间/d (T_h) Handling time	寄生上限/头 (N_α) Parasitic ceiling	卡方检验 (χ^2) Chi-squared value
初期蛹 Early pupa	$N_\alpha = 0.9225N / (1 + 0.6064N)$	0.9423	0.9225	0.6573	1.5	0.925
中期蛹 Midium pupa	$N_\alpha = 1.7248N / (1 + 1.2405N)$	0.8929	1.7248	0.7192	1.4	1
晚期蛹 Late pupa	$N_\alpha = 1.0838N / (1 + 0.8815N)$	0.8929	1.0838	0.8133	1.2	1

2.3 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的寄生功能反应(补充营养)

在补充营养条件下,周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾蛹的寄生量有所提高,功能反应模型也符合 Holling II 型圆盘方程(图 3)。将各密度下的实测值代入拟合的功能反应方程求(估计)出理论值(表 3),经 χ^2 检验, χ^2 均小于 $\chi^2_{0.05}$,理论值与实测值无显著差异,表明理论值与实测值很接近,模型稳定。通过拟合的方程可以得出周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾初期、中期、晚期蛹的理论最大寄生量分别为 1.8、1.7、1.3 头 $\cdot \text{d}^{-1}$ 。周氏啮小蜂(海南

种群)寄生 1 头椰子织蛾的时间以初期蛹时最短,晚期蛹时最长。瞬间攻击率 α' 则以中期蛹时最大,初期蛹最小(表 4)。

3 讨论

周氏啮小蜂(海南种群)每头寄主可出蜂 80 多头,且偏雌性,雌蜂比率约 90%,是海南本地优势寄生蜂(吕宝乾等,2018)。研究表明,周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾蛹的功能反应类型与大多数寄生蜂的功能反应类型相同,为 Holling II (李倩等,2017; 吕宝乾等,2006; 尚禹,2014),即寄生量随寄主密度的增大而增大,之后寄生量维持在某一阈值

范围。本研究中周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾晚期蛹的寄生量与初期蛹、中期蛹有差异,表明寄主快羽化的晚期蛹不利于寄生蜂寄生发育,这在螟蛉埃姬蜂 *Itoplectis naranyae* (Ashmead)上有相似表现(Ueno,1997),所以,椰子织蛾初蛹期和中蛹期可作为繁蜂的首选阶段。

研究表明,天敌昆虫取食蜜粉源植物的花粉或花蜜等补充营养后,寿命和寄主搜寻能力多会显著延长(Araj *et al.*, 2011; Balzan & Wäckers, 2013; Wong & Frank, 2013)。在野外,寄生蜂通常会取食蜜粉源植物补充营养,可不同程度地促进天敌昆虫性成熟、延长寿命、提高生殖力或寄生率以及搜寻寄主效率和子代雌性比率,从而显著提高天敌昆虫在生物防治中的控害能力和效果(王伟等, 2012; 魏可等, 2016; Thompson, 1999)。

表3 周氏啮小蜂(海南种群)对不同密度椰子织蛾蛹的寄生情况(营养补充)

Table 3 *C. cunea* response to parasites of different densities of *O. arenosella* (10% honey nutrition)

寄主密度/头 Density of host	初期蛹 Early pupa		中期蛹 Midium pupa		晚期蛹 Late pupa	
	实测平均寄生量/头	理论寄生量/头	实测平均寄生量/头	理论寄生量/头	实测平均寄生量/头	理论寄生量/头
	Average of actual number parasitized	Average of theoretical number parasitized	Average of actual number parasitized	Average of theoretical number parasitized	Average of actual number parasitized	Average of theoretical number parasitized
1	0.4	0.5743	0.8	0.7698	0.6	0.5760
2	0.6	0.8338	1.0	0.9910	0.8	0.7845
3	0.8	0.9817	1.2	1.0959	1.0	0.8921
4	1.0	1.0772	1.4	1.1572	1.0	0.9578
5	1.0	1.1440	1.2	1.1974	1.0	1.0021

表4 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的功能反应(营养补充)

Table 4 Parasitism functional response of *C. cunea* on *O. arenosella* (10% honey nutrition)

寄主蛹期 Host pupalstage	圆盘方程 Disc equation	相关系数 (<i>r</i>) Correlation coefficient	瞬间攻击率 (α') Instant attack rate	处理时间/d (T_h) Handling time	寄生上限/头 (N_α) Parasitic ceiling	卡方检验 (χ^2) Chi-squared test
初期蛹 Early pupa	$N_\alpha = 0.4884N / (1 + 0.2698N)$	0.9412	0.4884	0.5524	1.8	0.925
中期蛹 Midium pupa	$N_\alpha = 1.3561N / (1 + 0.8019N)$	0.6923	1.3561	0.5913	1.7	1
晚期蛹 Late pupa	$N_\alpha = 1.0875N / (1 + 0.8313N)$	0.7813	1.0875	0.7644	1.3	1

在利用周氏啮小蜂(海南种群)防治椰子织蛾时,保护目标害虫植物周围的蜜源植物不受化学农药污染或人为破坏有重要意义。本研究是在室内进行的,结果存在一定的局限性,不能准确地反映周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的实际控制能力,需进一步研究其在自然条件下的控害能力。

参考文献

丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社.
李后魂, 尹艾芸, 蔡波, 李伟东, 卢兆山, 2014. 重要入侵

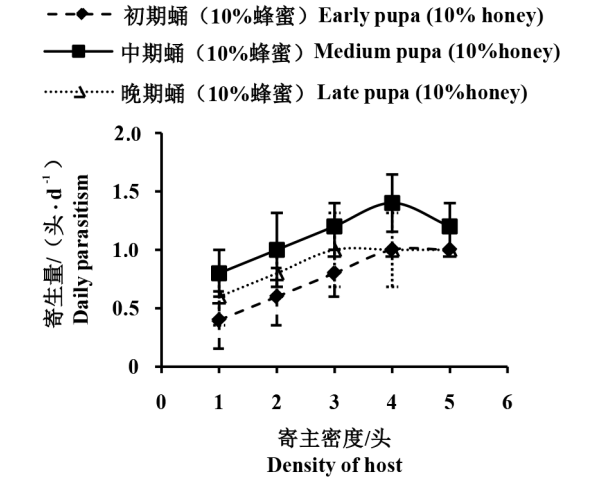


图3 周氏啮小蜂(海南种群)寄生不同蛹期椰子织蛾的Holling II模型(营养补充)

Fig.3 Holling II model for different stages of *O. arenosella* parasitized by *C. cunea* (10% honey nutrition)

害虫——椰子木蛾的分类地位和形态特征研究(鳞翅目, 木蛾科). 应用昆虫学报, 51(1): 283-291.
李紫成, 吕宝乾, 周世豪, 彭正强, 王树昌, 金启安, 温海波, 2017. 温度对不同地理种群周氏啮小蜂寄生椰子织蛾的影响. 江苏农业科学, 45(14): 92-94.
李倩, 程云霞, 罗礼智, 杜芹, 江幸福, 张蕾, 2017. 绿眼赛茧蜂生物学特性及其对草地螟的控害作用. 中国生物防治学报, 33(6): 803-810.
吕宝乾, 陈俊吕, 彭正强, 金启安, 温海波, 蔡波, 阎伟, 何杏, 2018. 新入侵害虫椰子织蛾的3种本地寄生蜂. 生物安全学报, 27(1): 35-40.

- 吕宝乾, 彭正强, 刘向蕊, 金启安, 温海波, 2015. 椰子织蛾的防治药剂及其使用方法: CN104396971A. 2015-03-11.
- 吕宝乾, 彭正强, 许春霭, 唐超, 符悦冠, 杜予州, 万方浩, 2006. 椰心叶甲蛹寄生蜂——椰心叶甲啮小蜂的生物学特性. *昆虫学报*, 49(4): 643–649.
- 吕宝乾, 严珍, 金启安, 温海波, 符悦冠, 李伟东, 彭正强, 2013. 警惕椰子织蛾 *Opisina arenosella* Walker (鳞翅目: 织蛾科) 传入中国. *生物安全学报*, 22(1): 17–22.
- 尚禹, 2014. 寄生蜂功能反应研究进展. *江苏农业科学*, 42(5): 130–132.
- 吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜, 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. *昆虫知识*, 41(3): 267–269.
- 魏可, 王小艺, 杨忠岐, 2016. 补充营养对白蜡吉丁肿腿蜂寄生效率和发育进程的影响. *林业科学研究*, 29(3): 369–376.
- 王伟, 刘万学, 程立生, 万方浩, 2012. 取食不同糖分对卵育型寄生蜂潜蝇姬小蜂雌蜂寿命和卵子发生的影响. *昆虫学报*, 55(8): 964–970.
- 杨忠岐, 1989. 中国寄生于美国白蛾的啮小蜂一新属一新种. *昆虫分类学报*, 11(1/2): 117–130.
- 阎伟, 吕宝乾, 李洪, 李朝绪, 刘丽, 覃伟权, 彭正强, 骆有庆, 2013. 椰子织蛾传入中国及其海南省的风险性分析. *生物安全学报*, 22(3): 163–168.
- ARAJ S E, WRATTEN S, LISTER A, BUCKLEY H, GHA-BEISH I, 2011. Searching behavior of an aphid parasitoid and its hyperparasitoid with and without floral nectar. *Biological Control*, 57(2): 79–84.
- BALZAN M V, WÄCKERS F L, 2013. Flowers to selectively enhance the fitness of a host-feeding parasitoid: adult feeding by *Tuta absoluta* and its parasitoid *Necremnus artynes*. *Biological Control*, 67(1): 21–31.
- HUFFAKER C B, 2012. *Theory and practice of biological control*. Holand; Elsevier.
- LU B, TANG Z H, BELLI G, LI Y, PENG Z H, JIN Q, WEN H, 2016. Life table analysis under constant temperature for *Opisina arenosella* (Lepidoptera: Xyloryctidae), an invasive moth of palm plants. *Austral Entomology*, 55: 334–339.
- THOMPSON S N, 1999. Nutrition and culture of entomophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 44(1): 561–592.
- UENO T, 1997. Host age preference and sex allocation in the pupal parasitoid *Itopectis naranyae* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Annals of The Entomological Society of America*, 90(5): 640–645.
- WONG S K, FRANK S D, 2013. Pollen increases fitness and abundance of *Orius insidiosus* Say (Heteroptera: Anthocoridae) on banker plants. *Biological Control*, 64(1): 45–50.

(责任编辑:郭莹)