

瓜实蝇 2 种蛹寄生蜂生防潜能比较

李磊, 韩冬银, 张方平, 陈俊瑜, 王建赟, 符悦冠*

中国热带农业科学院环境与植物保护研究所/农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室,
海南海口 571101

摘要:【目的】比较研究蝇蛹俑小蜂与蝇蛹金小蜂对瓜实蝇的控制潜能。【方法】采用非选择性实验测定蝇蛹俑小蜂与蝇蛹金小蜂对瓜实蝇蛹的寄生效能、繁殖能力,并研究覆土厚度对 2 种寄生蜂寄生效能的影响。【结果】2 种寄生蜂对瓜实蝇的寄生率无显著性差异,但蝇蛹金小蜂的平均单雌产后代数比蝇蛹俑小蜂的多,分别为 30 和 23 头。土壤厚度显著影响 2 种寄生蜂的寄生效能,随着土壤厚度的增加,2 种寄生蜂对瓜实蝇蛹的寄生率均显著下降,但蝇蛹金小蜂的寄生率下降更为迅速;蝇蛹俑小蜂最深可寄生 8 cm 土壤下的瓜实蝇蛹,而蝇蛹金小蜂在土壤厚度达到 3 cm 时就不能完成寄生。【结论】蝇蛹俑小蜂较蝇蛹金小蜂更适合应用于瓜实蝇蛹的生物防治。

关键词: 瓜实蝇; 蝇蛹俑小蜂; 蝇蛹金小蜂; 应用潜能



开放科学标识码
(OSID 码)

Biocontrol potential of two pupal parasitoids to *Zeugodacus cucurbitae*

LI Lei, HAN Dongyin, ZHANG Fangping, CHEN Junyu, WANG Jianyun, FU Yueguan*

Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: 【Aim】 *Spalangia endius* and *Pachycrepoideus vindemmiæ* were tested as possible parasitoids to control *Zeugodacus cucurbitae* pupae. 【Method】 Non-choice tests were used to determine the parasitic efficiency and fecundity of *S. endius* and *P. vindemmiæ*, and the effects of soil depth on the parasitic efficiency of the two parasitoids were studied. 【Results】 The parasitism rates were not significantly different between the two parasitoids. However, the average number of offspring per female of *P. vindemmiæ* was more than that of *S. endius*. The number of offspring per female of *P. vindemmiæ* and *S. endius* were 30 and 23, respectively. Soil depth significantly affected the parasitic efficiency of the two parasitoids. The parasitism rates of the two parasitoids decreased with an increasing soil depth, but the parasitism rates of *P. vindemmiæ* fell much faster. *S. endius* can parasitize the pupae covered with soil at the depth of 8 cm at most. *P. vindemmiæ* failed to parasitize the pupae when the soil was at the depth of 3 cm. 【Conclusion】 *S. endius* is more suitable parasitoid for biocontrol of *Z. cucurbitae* pupae than *P. vindemmiæ*.

Key words: *Zeugodacus cucurbitae*; *Spalangia endius*; *Pachycrepoideus vindemmiæ*; application potential

瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) 是我国果蔬的重要入侵害虫,起源于印度,目前已扩散至我国 10 余个省份和地区,且有进一步蔓延的趋势(李磊等,2016; 马镭等,2010; 欧剑峰等,2008; Dhillon *et al.*, 2005)。瓜实蝇寄主广泛,可对 120 多种蔬菜水果造成毁灭性危害;其繁殖能力强,1 只雌性瓜实蝇一生产卵多达上千粒,且一年可发生 3~9

代,给我国农业生产造成严重的经济损失(李磊等,2019; 马镭等,2010; Dhillon *et al.*, 2005)。目前,我国对瓜实蝇的防治主要依靠化学农药,但由于其成虫善飞、幼虫隐藏于果实内部取食以及蛹在土壤中化蛹等特点(Dhillon *et al.*, 2005),农药很难直接作用在虫体上,导致防治效果差,迫使种植户多次、大量用药,易存在环境安全、食品安全等隐患。

收稿日期(Received): 2020-03-13 接受日期(Accepted): 2020-05-19

基金项目: 海南省自然科学基金(319QN271); 国家科技支撑计划(2015BAD08B03); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1630042017014)

作者简介: 李磊,男,副研究员,博士。研究方向: 昆虫生态学及害虫综合治理。E-mail: lee_lay@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: fygcatas@163.com

寄生蜂的高效利用是瓜实蝇生物防治的重要技术手段之一。目前报道的瓜实蝇寄生蜂有 10 余种,其中阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus* (Sonan)、弗氏短背茧蜂 *Psytalia fletcheri* (Silvestri) 是目前国际上扩繁以及应用较为成功的 2 种寄生蜂,其利用技术已被多个国家纳入瓜实蝇综合治理中(曾宪儒等, 2019; Dhillon *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2012)。有研究表明, 2 种寄生蜂联合应用后对瓜实蝇的控害效能高于任一寄生蜂单独应用的效能(Bautista *et al.*, 2004; Harris *et al.*, 2010)。阿里山潜蝇茧蜂主要寄生瓜实蝇卵,而弗氏短背茧蜂主要寄生瓜实蝇幼虫,这说明不同类型寄生蜂的组合应用可以提升瓜实蝇生物防治的效能。但室内和田间的研究结果也发现, 2 种寄生蜂联合应用也不能使防效达到 100%, 说明经历卵和幼虫寄生蜂寄生后仍有部分瓜实蝇化蛹。因此, 蛹寄生蜂的引入显得尤为必要。蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius* Walker 和蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoides vindemmiae* Rondani 是蝇类害虫蛹期的重要寄生蜂,可寄生包括瓜实蝇在内的数十种蝇类(黄文枫, 2018; 刘欢等, 2016b; Brandao *et al.*, 2011; Machtinger & Geden, 2015)。目前国内外有许多关于 2 种寄生蜂对瓜实蝇寄生效能以及适应性的研究(黄文枫等, 2018; 刘欢, 2015; 刘欢等, 2016b; 赵海燕, 2013; Li *et al.*, 2020),但鲜见 2 种寄生蜂对瓜实蝇蛹生防潜能比较的报道。基于此,本研究通过比较蝇蛹俑小蜂和蝇蛹金小蜂的生物防治潜能,筛选出适合防治瓜实蝇蛹的寄生蜂,为联合应用寄生蜂对瓜实蝇的控制提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

瓜实蝇、蝇蛹俑小蜂以及蝇蛹金小蜂的初始种群来源于海南三亚苦瓜园(18°19'N, 108°50'E),供试的瓜实蝇为室内人工饲料饲养 20 代以上的稳定种群(Li *et al.*, 2020), 2 种寄生蜂为瓜实蝇蝇蛹饲养 15 代以上的稳定种群,饲养条件:温度(26±1)℃,相对湿度(65±5)%,光周期 L:D=14:10。

1.2 2 种寄生蜂对瓜实蝇的寄生效能评价

收集新羽化蝇蛹俑小蜂与蝇蛹金小蜂若干,分别置于独立的养虫笼(20 cm×20 cm×20 cm)饲养 48 h 备用,期间提供 10% 的蜂蜜水供其取食。取 10 个圆柱形透明塑料盒(直径 7.5 cm,高 10 cm)洗

净备用,分批挑取 300 头健康完整且大小均匀的 3 日龄瓜实蝇蛹置于每一个盒中,用双面胶在盒壁上粘上一个含有 10% 蜂蜜水的棉团,然后取 10 对(雌:雄)健康活泼的寄生蜂放入盒中,蝇蛹俑小蜂和蝇蛹金小蜂各 5 组,最后用 200 目纱网封口放入人工气候箱中,设置气候箱条件与 1.1 一致。24 h 后将塑料盒中的寄生蜂和蛹同时倒入 14 目分样筛并筛除寄生蜂,保留瓜实蝇蛹培养至寄生蜂完全羽化,同时在显微镜下解剖既未出蜂又未出蝇的蛹,统计被寄生蜂寄生且能出蜂以及被寄生蜂寄生但未出蜂的蛹的数量(刘欢等, 2016a)。

1.3 2 种寄生蜂繁殖能力比较

收集新羽化的蝇蛹俑小蜂、蝇蛹金小蜂各 10 对分别置于不同的圆柱形塑料盒(直径 7.5 cm,高 10 cm)中,每个盒中事先放入 300 粒 3 日龄瓜实蝇蛹以及 10% 蜂蜜水棉球,塑料盒用 200 目纱网封口。每隔 24 h 替换一次相同数量的瓜实蝇蛹直至所有寄生蜂死亡,收集替换出的蛹置于人工气候箱中培养,待寄生蜂开始羽化,每日统计其数量,实验重复 5 次。环境条件设置与 1.2 一致。

1.4 覆土厚度对 2 种寄生蜂寄生瓜实蝇蛹效能的影响

从中国热带农业科学院环境与植物保护研究所苦瓜园中收集土壤(接近壤土)并筛出杂草,定量称取土壤置于 105℃烘箱中烘干至恒重,然后添加无菌水将土壤含水量调至采集时的含水量(约 15%~20%)。55 个 1 L 烧杯洗净备用,设置 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 cm 共 10 种深度处理,用游标卡尺从烧杯底部测量烧杯深度并用记号笔做好深度标记,每个烧杯标记一种深度。挑取完整且大小一致的 3 日龄瓜实蝇蛹 300 头分别置于每个烧杯底部,依次将土壤均匀撒在蛹上直至与每个烧杯标记好的刻度线平齐。随后引入 10 对 2 日龄寄生蜂(每个烧杯仅引入一种寄生蜂),并提供一个 10% 的蜂蜜水棉球,用 200 目纱网封口后放入人工气候箱,48 h 后移除寄生蜂,收集烧杯中的瓜实蝇蛹继续培养至寄生蜂羽化,同时在显微镜下解剖既未出蜂又未出蝇的蛹,统计被寄生的瓜实蝇蛹数量(刘欢等, 2016a)。以将 3 日龄瓜实蝇蛹置于 5 cm 厚度土壤表面不覆盖土壤作为对照(即 0 cm),对照和处理均设置 5 次重复,环境条件设置与 1.2 一致。

1.5 数据统计与分析

寄生蜂对瓜实蝇蛹的寄生率由被寄生的蛹数量占供试蛹数量的百分比获得。实验中所有数据均由 SPSS 20 进行统计分析,其中同等条件下 2 种寄生蜂对瓜实蝇的寄生效能比较采用 t 检验,2 种寄生蜂繁殖能力的比较采用双因素方差分析结合 Tukey HSD 法进行检验,当 $P < 0.05$ 时表示数据间的比较有显著性差异;采用 Origin 2019 制图。

2 结果与分析

2.1 2 种寄生蜂对瓜实蝇的寄生效能评价

由图 1 可知:在相同条件下通过非选择性寄生实验发现蝇蛹脩小蜂和蝇蛹金小蜂对瓜实蝇蛹的寄生率分别约为 58% 和 56%,但 2 种寄生蜂寄生率之间并无显著性差异。

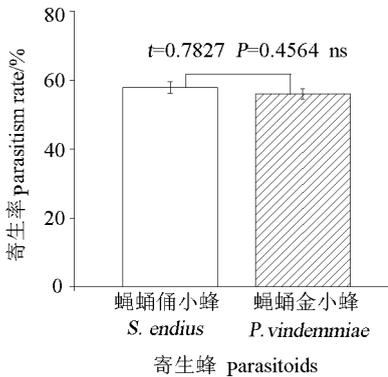


图 1 2 种寄生蜂对瓜实蝇蛹的寄生率

Fig.1 The parasitism rate of the two parasitoids to *Z. cucurbitae* pupae

寄生率数据在分析前通过公式 $\arcsin\sqrt{P}$ 代换;
“ns”表示经 t 检验在 0.05 水平上无显著差异。

The data of parasitism rate were transformed by the formula of $\arcsin\sqrt{P}$ before analyzing; the "ns" means indicates there is no significant difference according to t test ($\alpha = 0.05$).

2.2 2 种寄生蜂繁殖能力研究

由图 2 可知:蝇蛹脩小蜂平均寿命为 10.2 d,其最长可产卵至第 7 天;而蝇蛹金小蜂平均寿命为 11.4 d,其最长可产卵至第 8 天。通过对 2 种寄生蜂逐日产卵量比较发现,蝇蛹脩小蜂在 2~4 日龄时单雌产后代数相对较多,单雌一生平均累计产后代数可达 23 头;而蝇蛹金小蜂在 2~5 日龄单雌产后代数相对较多,单雌一生平均累计产后代数可达 30 头,显著高于蝇蛹脩小蜂单雌累计产后代数。

2.3 覆土厚度对 2 种寄生蜂寄生瓜实蝇蛹效能的影响

由图 3 可知:覆土的厚度显著影响 2 种寄生蜂

的寄生效能。随着土壤厚度的增加,2 种寄生蜂对瓜实蝇蛹的寄生率显著下降。研究发现,2 种寄生蜂对裸露在土壤表面的瓜实蝇蛹寄生率最高,均超过 92%;当覆盖 1 cm 厚度的土壤后,蝇蛹脩小蜂的寄生率下降至 58.84%,而蝇蛹金小蜂的寄生率下降至 20.61%。此外,研究发现蝇蛹脩小蜂最深可寄生 8 cm 土壤下的瓜实蝇蛹,而蝇蛹金小蜂在土壤厚度达到 3 cm 时就不能完成寄生(即寄生率为 0)。

3 讨论

研究发现,蝇蛹脩小蜂和蝇蛹金小蜂以家蝇蛹为寄主时平均产卵历期、平均单雌产后代数分别为 8.93 d、45 头以及 9.58 d、34 头(陈中正等,2011;詹月平等,2013),而本研究发现,蝇蛹脩小蜂和蝇蛹金小蜂以瓜实蝇蛹为寄主时至多可产卵至第 7 和第 8 天,平均单雌产后代数分别约为 23 和 30 头。从这 2 组数据来看,以家蝇蛹为寄主时蝇蛹脩小蜂的繁殖力比蝇蛹金小蜂的稍高,而以瓜实蝇蛹为寄主时蝇蛹金小蜂的繁殖力稍高,这说明寄主类型以及寄生蜂自身对寄主的适应性可能是影响 2 种寄生蜂繁殖能力的重要因素。

虽然蝇蛹金小蜂在繁殖力上占有一定的优势,但这一优势需要瓜实蝇蛹未被覆盖的前提才能体现。本研究发现,当瓜实蝇蛹被土壤覆盖后,相同厚度土壤条件下蝇蛹金小蜂的寄生率显著比蝇蛹脩小蜂的低,且前者寄生率下降的速度尤为迅速,如当土壤厚度仅为 1 cm 时,蝇蛹金小蜂的寄生率从未被土壤覆盖寄生率的 94.03% 下降至 20.61%,当土壤厚度到达 3 cm 时,其寄生率为 0。而蝇蛹脩小蜂在土壤厚度为 8 cm 时还有少数的瓜实蝇蛹被寄生,说明蝇蛹脩小蜂的钻土能力比蝇蛹金小蜂强。刘欢(2015)研究了砂土、壤土以及黏土对瓜实蝇老熟幼虫化蛹习性的影响,结果发现,98% 以上的瓜实蝇均嗜好在土壤里化蛹,极少在土壤表面化蛹;研究还发现瓜实蝇偏好在 2~3 cm 厚度壤土、3~4 cm 厚度的黏土、3~5 cm 厚度的砂土中处化蛹。这些结果也间接说明,要想通过释放蛹寄生蜂控制瓜实蝇蛹,寄生蜂至少需要能钻入 2~5 cm 的土壤中,而从本研究结果可知蝇蛹金小蜂很难满足这一要求。对比之下,蝇蛹脩小蜂更适合应用于瓜实蝇蛹的生物防治。

Bautista *et al.* (2004) 室内研究发现阿里山潜蝇茧蜂与弗氏短背茧蜂的联合应用可寄生 93.3%

的瓜实蝇,而本研究发现蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹的寄生率达 58%,由于 3 种寄生蜂寄生的虫态不同,理论上来说,蝇蛹俑小蜂的介入更会提高其联合控

害效能,但具体 3 种寄生蜂联合应用的寄生效能还需进一步评估。

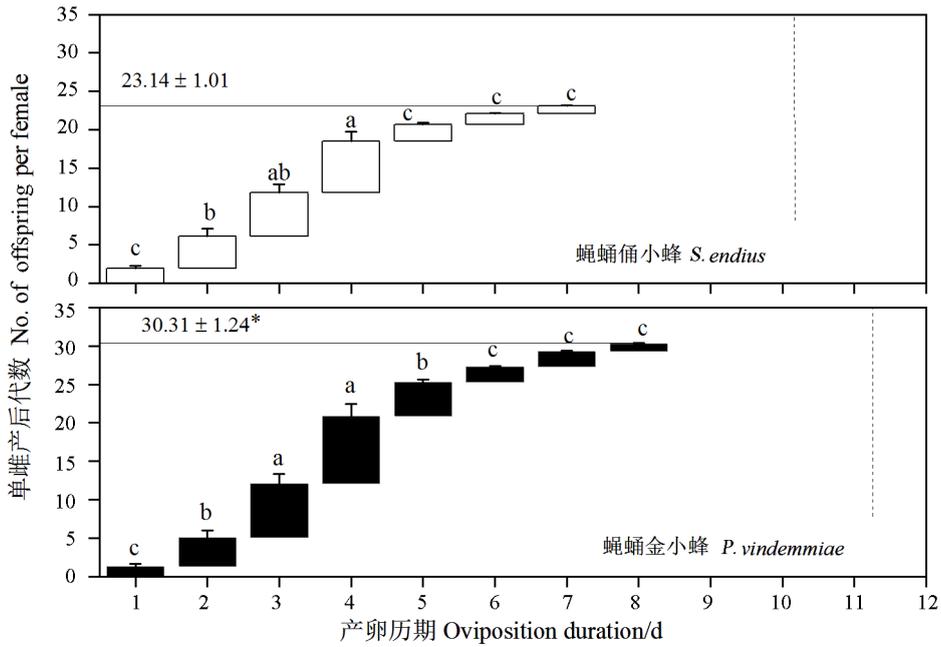


图 2 不同产卵历期时 2 种寄生蜂单雌产后代数

Fig.2 Number of offspring per female for the two parasitoids at different oviposition durations

实线和虚线分别代表累计产后代数和寄生蜂寿命终止线;矩形的大小代表单雌产后代数量;相同小写字母表示经 Tukey HSD 法在 0.05 水平上无显著差异;“*”表示 2 种寄生蜂累计产后代数经 t 检验在 0.05 水平上有显著性差异。

The solid line and dotted line represent the cumulative total quantity of offspring and end-of-life line, respectively; the area of rectangle indicates the number of offspring per female parasitoid; means within the same lowercase letter are not significant different (Tukey's HSD test, $\alpha=0.05$); "*" shows there is no significant difference between the cumulative total quantity of offspring of the two parasitoids according to t test ($\alpha=0.05$).

参考文献

陈中正, 刘继兵, 贺张, 段毕升, 胡好远, 2011. 蝇蛹金小蜂对家蝇蛹的寄生策略. 应用昆虫学报, 48(6): 1765-1769.

黄文枫, 唐良德, 赵海燕, 2018. 瓜实蝇龄期和密度对蝇蛹金小蜂寄生能力的影响. 热带作物学报, 39(9): 1807-1812.

李磊, 韩冬银, 牛黎明, 张方平, 陈俊谕, 符悦冠, 2019. 瓜实蝇对 39 种寄主适应度的评估. 环境昆虫学报, 41(5): 1057-1064.

李磊, 马华博, 牛黎明, 张方平, 韩冬银, 陈俊谕, 符悦冠, 2016. 生境及气象因子对瓜实蝇雄成虫数量动态的影响. 环境昆虫学报, 38(4): 766-770.

马镭, 张瑞萍, 陈耀华, 罗诗, 曾鑫年, 2010. 瓜实蝇的生物学特性及综合防治研究概况. 广东农业科学, 37(8): 131-135.

刘欢, 2015. 温度、土壤及寄主因子对蝇蛹俑小蜂发育和寄生能力的影响. 硕士学位论文. 海口: 海南大学.

刘欢, 李磊, 牛黎明, 张方平, 韩冬银, 符悦冠, 2016a. 寄主对蝇蛹俑小蜂发育及寄生效能的影响. 生物安全学报, 25(3): 194-198.

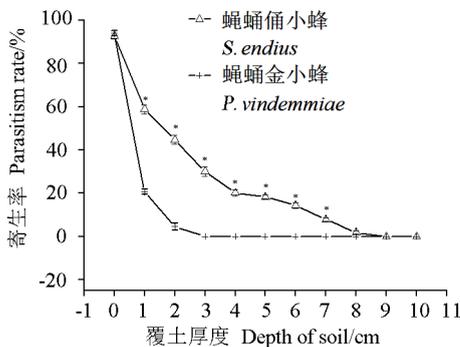


图 3 不同土壤厚度下 2 种寄生蜂对瓜实蝇蛹的寄生率

Fig.3 The parasitism rate of the two parasitoids to *Z. cucurbitae* pupae at different soil depth

寄生率数据在分析前通过公式 $\arcsin\sqrt{P}$ 代换; “*”表示 2 种寄生蜂在相同覆土厚度下的寄生率经 t 检验在 0.05 水平上有显著性差异。

The data of parasitism rate were transformed by the formula of $\arcsin\sqrt{P}$ before analyzing;

“*” represent the two parasitoids have significant different parasitism rate at the same soil depth (t test, $P=0.05$).

- ling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Insect Physiology*, 44(1): 49–58.
- FAUCHEUX M J, 1992. Structure sensorielles et glandulaires particulieres de l'antenne de *Micropterix calthella* L. (Lepidoptera: Micropterigidae). *Bulletin de la Societe des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, 14: 114–118.
- FAUCHEUX M J, KRISTENSEN N P, YEN S H, 2006. The antennae of neopseustid moths: morphology and phylogenetic implications, with special reference to the sensilla (Insecta, Lepidoptera, Neopseustidae). *Zoologischer Anzeiger*, 245: 131–142.
- FRANK D L, KSKEY, T C, BERGH J C, 2010. Morphological characterization of antennal sensilla of the dogwood borer (Lepidoptera: Sesiidae). *Entomological Society of America*, 103(6): 993–1002.
- MAIDA R, MAMELI M, MULLER B, KRIEGER J, STEIN-
BRECHT R A, 2005. The expression pattern of four odorants binding proteins in male and female silk moths, *Bombyx mori*. *Journal of Neurocytology*, 34: 149–163.
- POPHOF B, 1997. Olfactory responses recorded from sensilla coeloconica of the silkmoth *Bombyx mori*. *Physiological Entomology*, 22(3): 239–248.
- SCHNEIDER D, 1964. Insect antennae. *Annual Review of Entomology*, 9: 103–122.
- SKIRI H T, STRANDEN M, SAUDOZ J C, MENZEL R, MUSTAPARTA H, 2005. Associative learning of plant odorants activating the same or different receptor neurons in the moth of *Heliothis virescens*. *The Journal of Experimental Biology*, 208: 787–796.
- (责任编辑:郭莹)
-
- (上接第 194 页)
- 刘欢, 李磊, 张方平, 韩冬银, 龚治, 牛黎明, 符悦冠, 2016b. 不同日龄南瓜实蝇蛹对蝇蛹佣小蜂寄生选择、发育及寿命的影响. *环境昆虫学报*, 38(2): 431–436.
- 欧剑峰, 黄鸿, 吴华, 刘桂清, 郑基焕, 韩诗畴, 莫伟冬, 2008. 瓜实蝇国内研究概况. *长江蔬菜* (13): 33–37.
- 曾宪儒, 覃江梅, 龙秀珍, 高旭渊, 刘吉敏, 韦德卫, 于永浩, 2019. 我国主要瓜类实蝇的生物防治研究进展. *应用昆虫学报*, 56(3): 416–425.
- 詹月平, 周敏, 贺张, 陈中正, 段毕升, 胡好远, 肖晖, 2013. 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹佣小蜂寄生策略的影响. *生态学报*, 33(11): 3318–3323.
- 赵海燕, 2013. 两种蛹寄生蜂对寄主的适应及搜索行为机制研究. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学.
- BAUTISTA R C, HARRIS E J, VARGAS R I, JANG E B, 2004. Parasitization of melon fly (Diptera: Tephritidae) by *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) and the effect of fruit substrates on host preference by parasitoids. *Biological Control*, 30(2): 156–164.
- BRANDAO R K, CARCAMO M C, COSTA V A, RIBEIRO P B, 2011. Occurrence of *Spalangia endius* Walker, 1839 (Hymenoptera, Pteromalidae) in pupae of *Musca domestica* L. and *Stomoxys calcitrans* L. in Southern Rio Grande do Sul, Brazil. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia*, 63(1): 270–272.
- DHILLON M K, SINGH R, NARESH J S, SHARMA H C, 2005. The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: a review of its biology and management. *Journal of Insect Science*, 5: 40.
- HARRIS E J, BAUTISTA R C, VARGAS R I, JANG E B, EITAM A, LEBLANC L, 2010. Suppression of melon fly (Diptera: Tephritidae) populations with releases of *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) in North Shore Oahu, HI, USA. *Biocontrol*, 55(5): 593–599.
- MACHTINGER E T, GEDEN C J, 2015. Comparison of the olfactory preferences of four of filth fly pupal parasitoid species (Hymenoptera: Pteromalidae) for hosts in equine and bovine manure. *Environmental Entomology*, 44(5): 1417–1424.
- LI L, CHEN J Y, NIU L M, HAN D Y, ZHANG F P, FU Y G, 2020. Field evaluation of *Spalangia endius* Walker in controlling *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett). *International Journal of Pest Management*. (2020-02-13) [2020-03-13]. <https://doi.org/10.1080/09670874.2020.1725178>.
- VARGAS R I, LEBLANC L, HARRIS E J, MANOUKIS N C, 2012. Regional suppression of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the Pacific through biological control and prospects for future introductions into other areas of the world. *Insects*, 3(3): 727–742.
- (责任编辑:郑姗姗)