

温度对蝇蛹俑小蜂寄生瓜实蝇蛹功能反应的影响

李秉然^{1,2}, 吴伟坚^{1,2*}

¹华南农业大学昆虫生态研究室; ²广东省生物农药创制与应用重点实验室, 广东 广州 510642

摘要:【目的】蝇蛹俑小蜂是很多双翅目害虫的蛹寄生蜂。了解温度对寄生蜂寄生效能的影响是利用寄生蜂控制害虫的重要前提。【方法】实验室条件下设置温度为 21、24、27、30、33 ℃, 测定温度对蝇蛹俑小蜂雌蜂寄生瓜实蝇蛹功能反应的影响。蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹的功能反应应用 Michaelis-Menten-II 型功能反应模型 $N_a = AN/(F+N)$ 进行拟合。【结果】不同温度下蝇蛹俑小蜂的寄生潜能(A)和寄主半饱和密度(F)不同。当温度在 27 ℃ 时, 其寄生潜能最大; 而寄主半饱和密度随着温度升高而降低。【结论】瓜实蝇在瓜地盛发期的栖境温度适宜蝇蛹俑小蜂的寄生。

关键词: 蝇蛹俑小蜂; 瓜实蝇; 温度; 寄生潜能

Effect of temperature on functional response of the parasitoid *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae) on the pupae of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae)

LI Yangran^{1,2}, WU Weijian^{1,2*}

¹Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University; ²Key Laboratory of Bio-Pesticide Innovation and Application of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510642, China

Abstract: 【Aim】*Spalangia endius* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae) is a pupal parasitoid of numerous dipteran pests. Understanding the effects of temperature on parasitic efficiency is critical in utilizing them in pest control. 【Method】Laboratory studies were carried out to determine the parasitization potential of female *S. endius* on the pupae of melon fly *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) under five constant temperatures (21 ℃, 24 ℃, 27 ℃, 30 ℃, 33 ℃). Attack responses of *S. endius* on melon fly were described by a Michaelis-Menten type II model $N_a = AN/(F+N)$. 【Result】Both parasite potential (A) and half saturated host density (F) were influenced by temperature. The maximum parasite potential was registered at 27 ℃, whereas half saturated host density decreased with increasing temperature. 【Conclusion】The optimal temperature was similar to temperature in the habitat in the melon field, indicating parasitoid adaptation.

Key words: *Spalangia endius*; *Bactrocera cucurbitae*; temperature; parasite potential

瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* Coquillett 是一种世界性检疫害虫, 对果蔬生产造成了巨大的损失(李志红等, 2013; Koyama *et al.*, 2004)。瓜实蝇寄主广泛, 繁殖速度快, 迁飞能力强(李亚辉和吴伟坚, 2015), 主要以幼虫在果蔬内部昼夜钻蛀为害, 化学农药基本无法触杀幼虫, 通常采取农业手段、化学和行政管理等综合性的措施进行防治(张全胜, 2009; Dhillon *et al.*, 2005)。其中, 保护和利用天敌一直是开拓安全、有效的控制方法的焦点(张

新民等, 2015)。实蝇类害虫有多种寄生性天敌, 如卵期寄生蜂——阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus* (Sonan) 和幼虫期寄生蜂——弗氏短背茧蜂 *Psytalia fletcheri* (Silvestri), 已应用于瓜实蝇的综合防治(Bautista *et al.*, 2004; Wood, 2001); 蛹期寄生蜂则有印啮小蜂 *Aceratoneuromyia indica* (Silvestri) (林玉英等, 2014) 和蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius* Walker (Petersen *et al.*, 1983) 等。蝇蛹俑小蜂又称东方实蝇蛹俑小蜂, 是一种蛹期单寄生蜂, 寄主包括双

收稿日期(Received): 2017-06-12 接受日期(Accepted): 2017-06-27

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD08B03); 公益性行业(农业)科研专项(201103026-4)

作者简介: 李秉然, 男, 硕士研究生。研究方向: 昆虫生态学。E-mail: henrylee14@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: weijwu@scau.edu.cn

翅目多个科的卫生害虫和农业害虫,在美国商品化批量生产,并成功用于控制禽畜养殖场的家蝇(薛瑞德等,1989; Petersen *et al.*, 1983)。近年来,有关该蜂寄生橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 的基础研究较多(唐良德等,2015; 章玉苹等,2010, 2013; 郑苑等,2015)。笔者近 2 年饲养蝇蛹俑小蜂发现该蜂对瓜实蝇具有较强的寄生能力。研究显示,温度可影响寄生蜂对寄主的功能反应(Al-Taweel *et al.*, 2014; Zamani *et al.*, 2006)。因此,本研究拟在不同温度下测定蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹的功能反应,为在田间应用该寄生蜂防治瓜实蝇提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试瓜实蝇:本实验室内饲养的瓜实蝇种群,并经常在华南农业大学附近瓜地采集被瓜实蝇为害的苦瓜、南瓜或黄瓜落果,带回室内培养瓜实蝇成虫,以补充室内种群,从而保证瓜实蝇种群的质量和数量,防止多代饲养引起的种群退化。

供试蝇蛹俑小蜂:采集田间被橘小实蝇为害的果树下方地表层土带回实验室。用筛子筛出其中的橘小实蝇蛹,转移至用水湿润过的河沙中,约 10 d 后除去羽化的橘小实蝇成虫,余下带有蛹的湿沙置于室内继续观察(20 d 左右),收集鉴定其中羽化的寄生蜂成虫,在室内饲养建立蝇蛹俑小蜂种群。

1.2 饲养方法

瓜实蝇在 30 cm×30 cm×30 cm 养虫笼中饲养,每 3 d 更换新鲜瓜实蝇成虫人工饲料($w_{\text{酵母}} : w_{\text{蔗糖}} = 1 : 1$)和水,以新鲜南瓜切成小块接卵。幼虫在 700 mL 方形塑料盒中采用南瓜饲养,幼虫老熟时,将方盒去盖,放于加水的 2500 mL 方形塑料盒中,让老熟幼虫跳入水中,每隔 1 h 捞起,置于盛有湿润细沙的塑料杯表面,让其入沙化蛹,以同一时间化蛹的瓜实蝇蛹供试。

蝇蛹俑小蜂种群在 25 cm×25 cm×25 cm 养虫笼中饲养,密度约 100 头·笼⁻¹,每天更换新鲜的 10% 蜂蜜水和清水,白天每隔 3 h 左右用脱脂棉蘸 10% 蜂蜜水擦拭方盒四壁纱网,晚间用脱脂棉蘸清水洗净,以确保蝇蛹俑小蜂蜜源充足和养虫笼清洁。接蜂时,将 2~4 日龄瓜实蝇蛹平铺于 120 mL

塑料盒底面,按照蜂蛹数量比 1 : 30 接蜂,24 h 后移除雌蜂,大量繁殖时可将平铺蝇蛹的培养皿放入养虫笼接蜂 24 h,用诱虫灯和毛笔移走雌蜂以保证接蜂时间相同。标注日期并分装以方便确定下一代出蜂的蜂龄,将已被寄生的蝇蛹转移至备有少量湿润细沙的塑料杯中待其羽化。

1.3 温度对蝇蛹俑小蜂寄生潜能影响的测定

实验分别在 21、24、27、30 和 33 ℃, RH 70%±5% 和 L : D = 14 h : 10 h 的条件下进行,寄主密度设 10、20、30、40、50、60、70、90 头 4 日龄瓜实蝇蛹。将寄主分别裸露放于平铺等量沙的 120 mL 塑料方盒表面,再分别引入 1 头 4 日龄已交配的雌蜂,用纱布封杯口,以脱脂棉蘸 10% 蜂蜜水饲喂。寄生 24 h 后移去雌蜂,培养至 12 d 左右,解剖瓜实蝇蛹检查被寄生情况。瓜实蝇蛹内有乳白色或淡黄色葫芦形蝇蛹俑小蜂预蛹,则视为被寄生。每个处理设 20 次重复。

1.4 数据分析

瓜实蝇蛹的密度对蝇蛹俑小蜂寄生影响的 Michaelis-Menten 功能反应 II 型模型(Real, 1977): $N_a = AN/(F+N)$, A 为寄生者的寄生潜能(parasite potential), F 可定义为寄生者寄生数量达到寄生潜能一半时的寄主密度,即寄主半饱和密度(half saturated host density)。参数 A 和 F 线性化后以最小二乘法估计初始值,然后采用序列二次规划法即 SQP(sequential quadratic programming)作进一步迭代拟合。参数 A 和 F 以 Bootstrap 法产生 $n = 30$ 的虚拟样本,估计其标准误。散点图显示寄生潜能与温度(t)呈抛物线关系 $A = a + bt + ct^2$,故拟以 $[-b/(2c), (4ac - b^2)/(4c)]$ 计算顶点坐标。全部统计分析在 SPSS 12.0 软件中进行。

2 结果与分析

在相同温度条件下,蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹的寄生量随寄主密度的增大而增多,但当寄主数量达到一定程度时寄生量增幅减小,呈负加速曲线型变化(表 1)。不同温度下蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹的功能反应均可拟合 Michaelis-Menten 的功能反应 II 型模型: $N_a = AN/(F+N)$ (图 1)。蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹有良好的寄生效能,寄生潜在 27 ℃ 达到 43.681 头。蝇蛹俑小蜂对瓜实蝇蛹的寄生潜能(A)与温度(t)的关系呈开口向下的抛物线: $A =$

$-233.00+20.5773t-0.3868t^2$ ($R^2=0.9021$, $P<0.05$) (图 1A), 其顶点坐标为(26.5994, 40.7774), 即在温度 $t\approx 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 寄生潜能达最大值; 寄主半饱和密度 (F) 与温度 (t) 的关系为: $F=119.8501-2.7176t$ ($R^2=0.7719$, $P<0.05$) (图 1B), 表明寄主半饱和密度随着温度升高而降低。

表 1 不同温度和寄主密度下蝇蛹小蜂寄生瓜实蝇蛹的数量
Table 1 Parasitization activity of *S. endius* on pupae of its host, *B. cucurbitae* at different temperatures and different host densities

温度 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	不同寄主密度下的寄生蝇数/头 Number of parasitized pupae at host density of							
	10	20	30	40	50	60	70	90
21	3.2 $\pm$ 0.83	8.6 $\pm$ 2.61	13.2 $\pm$ 2.05	14.8 $\pm$ 1.92	19.8 $\pm$ 2.59	18.4 $\pm$ 3.21	18.0 $\pm$ 4.69	18.6 $\pm$ 4.16
24	3.4 $\pm$ 1.14	10.8 $\pm$ 3.11	13.4 $\pm$ 5.55	16.0 $\pm$ 2.74	19.6 $\pm$ 4.04	19.8 $\pm$ 3.42	21.6 $\pm$ 4.39	20.8 $\pm$ 3.70
27	4.8 $\pm$ 1.30	11.0 $\pm$ 3.67	13.6 $\pm$ 5.90	16.8 $\pm$ 5.45	21.6 $\pm$ 9.86	26.2 $\pm$ 5.40	23.6 $\pm$ 5.08	23.8 $\pm$ 5.63
30	4.0 $\pm$ 1.58	11.6 $\pm$ 2.70	16.8 $\pm$ 3.11	18.2 $\pm$ 5.76	22.2 $\pm$ 5.31	22.6 $\pm$ 2.70	22.2 $\pm$ 2.28	24.6 $\pm$ 4.83
33	4.6 $\pm$ 1.14	11.8 $\pm$ 1.92	17.4 $\pm$ 3.51	19.8 $\pm$ 4.08	24.0 $\pm$ 4.00	25.8 $\pm$ 5.02	23.2 $\pm$ 4.92	26.4 $\pm$ 3.78

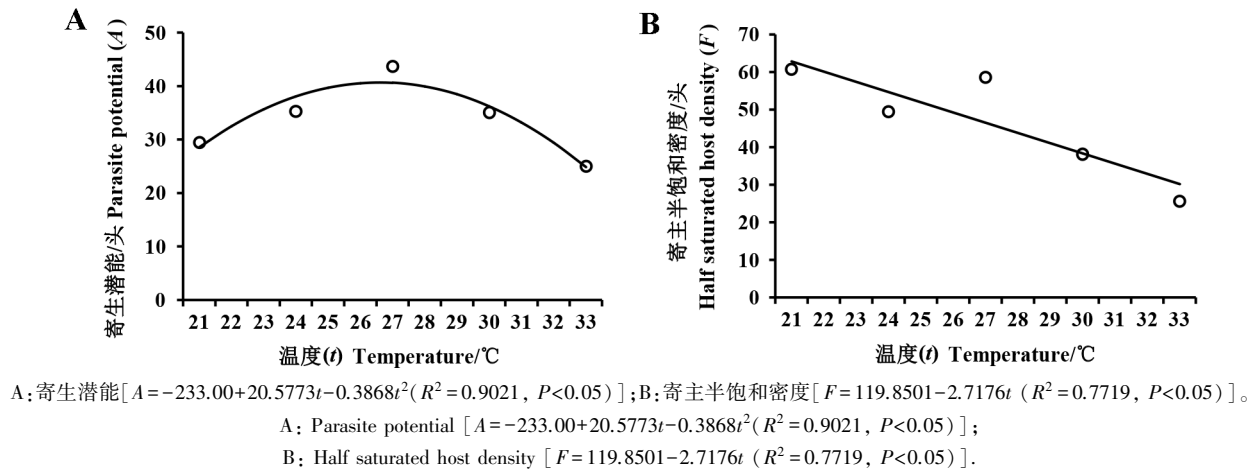


图 1 蝇蛹小蜂对瓜实蝇蛹 Michaelis-Menten 功能反应模型中的参数与温度的关系
Fig.1 The relationship of parameters in Michaelis-Menten functional response model of *S. endius* to *B. cucurbitae* pupae and temperature

3 讨论

功能反应是评估天敌对害虫作用的重要方法之一,生物防治学家通常设计这类实验来验证天敌对寄主(猎物)的寄生(捕食)潜能(尚禹,2014; Rafvanden & Sabelis,1999)。但 Holling II 型功能反应模型 $N_a=aN/(1+abN)$ 中的瞬时发现率(a)和捕食处理时间(b)不可以直观、准确地反映寄生性天敌的寄生能力(施祖华和刘树生,1999; 周慧等,2011)。因此,本文应用寄生潜能(A)、寄主半饱和密度(F)取代瞬时发现率和捕食处理时间,能更准确、直观地探讨蝇蛹小蜂对瓜实蝇蛹的功能反应。本研究表明,一定温度范围内,1 头蝇蛹小蜂在 24 h 内的寄生潜能为 25.0125~43.6818 头,寄生潜能随温度升高而增大,但高于 27 $^{\circ}\text{C}$ 后,寄生潜能降低,即寄生效能一定的温度下达到最大值,这与采用传统的 Holling II 型模型研究得到的结论(Al-Taweel

et al.,2014)一致。而不同温度下寄主半饱和密度为 25.5941~60.6816 头,其随温度升高而降低。温度不但影响昆虫的生长发育和繁殖,而且影响昆虫的行为。昆虫具有温度感受器以探测环境热能变化,这些感受器与它们捕食、繁殖及生存密切相关(时磊,2006)。瓜实蝇生长发育的最适温度在 26~28 $^{\circ}\text{C}$ (肖枢等,2001; 袁盛勇等,2005),蝇蛹小蜂生长发育的最适温度为 26 $^{\circ}\text{C}$ (袁盛勇等,2005; 章玉苹等,2010)。蝇蛹小蜂对瓜实蝇寄生的最适温度与瓜实蝇和蝇蛹小蜂发育的最适温度相一致,因此,利用蝇蛹小蜂控制瓜实蝇具有巨大潜力。本实验是在室内人工气候箱的恒温条件下进行,并未考虑自然条件下影响蝇蛹小蜂寄生效能的其他因素,如空间异质性、寄生蜂的蜂龄、寄主日龄和湿度等,对此有待进一步研究。

参考文献

- 李亚辉, 吴伟坚, 2015. 瓜实蝇成虫在苦瓜田间的时空动态. 生物安全学报, 24(1): 20-25.
- 李志红, 姜帆, 马兴莉, 方炎, 孙志壮, 2013. 实蝇科害虫入侵防控技术研究进展. 植物检疫, 27(2): 1-10.
- 林玉英, 金涛, 金启安, 温海波, 彭正强, 2014. 瓜实蝇密度和蜂密度对印啮小蜂寄生效能的影响. 植物保护, 40(4): 89-91.
- 尚禹, 2014. 寄生蜂功能反应研究进展. 江苏农业科学, 42(5): 130-132.
- 时磊, 2006. 昆虫温度感受器的结构和功能. 生物学通报, 41(12): 16-17.
- 施祖华, 刘树生, 1999. 温度对菜蛾绒茧蜂功能反应的影响. 应用生态学报, 10(3): 332-334.
- 唐良德, 赵海燕, 秦双, 韩云, 吉训聪, 2015. 蝇蛹俑小蜂生物学特性及土壤因子对其寄生的影响. 中国生物防治学报, 31(4): 467-472.
- 肖枢, 蒋小龙, 张朝良, 应雪松, 杨雁雄, 2001. 瑞丽桔小实蝇、瓜实蝇生物学特性的观察. 植物检疫, 15(6): 332-336.
- 薛瑞德, 张文忠, 肖蔼祥, 1989. 东方实蝇蛹俑小蜂的生物学特性及防治蝇蛹的初步研究. 生物防治通报, 5(2): 52-55.
- 袁盛勇, 孔琼, 李正跃, 肖春, 陈斌, 2005. 瓜实蝇生物学特性研究. 西北农业学报, 3(3): 43-45.
- 张全胜, 2009. 瓜实蝇的发生为害习性观察及其防治实践. 中国植保导刊, 29(1): 24-25.
- 张新民, 何衍彪, 詹儒林, 赵艳龙, 2015. 我国实蝇寄生蜂种类及其在生物防治中的应用研究进展. 中国植保导刊, 35(8): 18-20.
- 章玉苹, 李敦松, 张宝鑫, 陈明洋, 钟娟, 2010. 蝇蛹俑小蜂对桔小实蝇蛹的功能反应及温湿度对蜂成虫寿命的影响. 中国生物防治, 26(4): 385-390.
- 章玉苹, 范一霖, 曾玲, 钟娟, 李敦松, 2013. 蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius* Walker 性比、寿命及冷藏对其羽化影响研究. 中国生物防治学报, 29(2): 181-186.
- 郑苑, 章玉苹, 吴可量, 李敦松, 2015. 蝇蛹俑小蜂对两种不同寄主的选择性研究. 中国生物防治学报, 31(4): 460-466.
- 周慧, 张扬, 吴伟坚, 陶方玲, 2011. 纵卷叶螟绒茧蜂对稻纵卷叶螟幼虫的功能反应. 环境昆虫学报, 33(1): 86-89.
- AL-TAWEEL A A, MOHSWN A A, HAMAD B S, MAHMOOD E A, 2014. Effect of temperature on the functional response of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) to various densities of the host, *Ephestia cautella* (Walker) larvae. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 8(3): 71-75.
- 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.
- 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(1): 40.
- KOYAMA J, KAKINOHANA H, MIYATAKE T, 2004. Eradication of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* in Japan, importance of behavior ecology, genetics and evolution. *Annual Review of Entomology*, 49: 311-349.
- RAFVANDEN M, SABELIS M W, 1999. Do functional responses of predatory arthropods reach a plateau? A case study of *Orius insidiosus* with western flower thrips as prey. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 90(3): 323-329.
- REAL L, 1977. The kinetics of functional response. *American Naturalist*, 111: 289-300.
- PETERSEN J J, MEYER J A, STAGE D A, Morgan P B, 1983. Evaluation of sequential releases of *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae) for control of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) associated with confined livestock in eastern Nebraska. *Journal of Economic Entomology*, 76(2): 283-286.
- WOOD M, 2001. Forcing exotic, invasive insects into retreat: new IPM program targets Hawaii's fruit flies. *Agricultural Research*, 49: 11-13.
- ZAMANI A A, TALEBI A A, FATHIPOUR Y, BANIAMERI V, 2006. Temperature-dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae), on the cotton aphid. *Journal of Pest Science*, 79(4): 183-188.

(责任编辑:杨郁霞)