

温度及光周期对日本食蚧蚜小蜂发育与繁殖的影响



李 贤^{1,2} 符悦冠¹ 陈俊谕¹ 王建赞¹ 朱俊洪^{2*} 张方平^{1*}

(1. 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. 海南大学植物保护学院, 海口 570228)

摘要: 为明确温度、光周期对日本食蚧蚜小蜂 *Coccophagus japonicus* Compere 发育与繁殖的影响, 在不同温度、光周期条件下观察日本食蚧蚜小蜂的发育历期、出蜂数、雌蜂寿命以及寄生率。结果表明: 温度和光周期显著影响日本食蚧蚜小蜂种群增长。在 18~30℃ 之间, 日本食蚧蚜小蜂的发育历期及雌蜂寿命均随温度的升高而缩短, 18℃ 时发育历期与雌蜂寿命最长, 分别为 60.9 d 和 29.9 d, 30℃ 时发育历期最短, 为 21.3 d, 33℃ 时雌蜂寿命最短, 为 8.3 d; 18~24℃ 之间, 寄生率及出蜂数随温度的升高而增加, 24℃ 时最高, 分别为 77.1% 和 38.7 头; 24~30℃ 之间, 随温度升高日本食蚧蚜小蜂的寄生率及出蜂数呈下降趋势。在光周期 L 8 h:D 16 h~L 16 h:D 8 h 范围内, 当光周期为 L 12 h:D 12 h 时, 日本食蚧蚜小蜂的发育历期最短, 为 22.1 d, 出蜂数最高, 为 39.0 头; 当光周期为 L 14 h:D 10 h 时, 雌蜂寿命最长, 为 22.6 d, 寄生率最高, 为 71.1%。表明温度 24~27℃、光周期 L 12 h:D 12 h 为日本食蚧蚜小蜂种群增长的最适温度和光周期条件。

关键词: 日本食蚧蚜小蜂; 橡副珠蜡蚧; 温度; 光周期; 发育; 繁殖

Effects of temperature and photoperiod on the development and reproduction of endoparasitoid wasp *Coccophagus japonicus* Compere

Li Xian^{1,2} Fu Yueguan¹ Chen Junyu¹ Wang Jianyun¹ Zhu Junhong^{2*} Zhang Fangping^{1*}

(1. Institute of Environmental and Plant Protection, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan Province, China; 2. College of Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, Hainan Province, China)

Abstract: In order to clarify the effects of temperature and photoperiod on the development and reproduction of endoparasitoid wasp *Coccophagus japonicus* Compere, the developmental duration, production of wasps, female lifespan and parasitism rate of *C. japonicus* were observed under different temperatures and photoperiod conditions. The results showed that temperature and photoperiod significantly affected the population growth of *C. japonicus*. In the range of 18–30℃, the developmental duration and female lifespan were shortened with increasing temperature. At 18℃, the developmental duration and female lifespan were the longest (60.9 d and 29.9 d, respectively). The developmental duration was the shortest at 30℃ (21.3 d), and the female wasps had the shortest lifespan at 33℃ (8.3 d); in the range of 18–24℃, the parasitism rate and the number of wasps increased with increasing temperature, and the highest values were recorded at 24℃, which were 77.1% and 38.7, respectively; in the range of 24–30℃, with the increase of temperature, the parasitism rate and the number of wasps showed a downward trend. In the range of L 8 h:D 16 h to L 16 h:D 8 h photoperiods, when the photoperiod was L 12 h:D 12 h, the developmental duration of wasps was the shortest (22.1 d) and the number of wasps was the highest (39.0); when the photoperiod was L 14 h:D 10 h, the female had the longest lifespan (22.6 d), and the

基金项目: 中国热带农业科学院基本业务费(1630042017002), 国家天然橡胶产业技术体系(CARS-33-GW-BC2)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: 5477750@qq.com, fangpingz97@163

收稿日期: 2020-06-10

parasitism rate was the highest (71.1%). It suggested that the optimal temperature and photoperiod conditions for the growth of *C. japonicus* populations were 24–27°C and L 12 h:D 12 h.

Key words: *Coccophagus japonicus* Compere; *Parasaissetia nigra* Nietner; temperature; photoperiod; development; reproduction

橡副珠蜡蚧 *Parasaissetia nigra* Nietner 是橡胶树的重要害虫之一。2003—2008年,该害虫在云南省植胶区大面积暴发成灾,其累计发生面积为14万hm²(段波等,2005);2008—2011年其在海南省的开割树上暴发,近年来其在橡胶苗圃中普遍发生,开割树及中、小苗也时有发生(张方平等,2015)。橡副珠蜡蚧成虫及各龄若虫均能取食为害橡胶幼嫩枝、叶,严重时整片胶林煤污病盛行,甚至植株死亡。目前,防治该虫主要依赖于化学药剂,但由于氧化乐果、杀扑磷、速扑杀等高毒农药的禁用和乐果、毒死蜱等中、低毒药剂的限用,其防控药剂的选择范围越来越小。近十年以来,国内对其生物防治研究报道较多,目前筛出了日本食蚧蚜小蜂 *Coccophagus japonicus* Compere(吴晓霜等,2018)、斑翅食蚧蚜小蜂 *Coccophagus ceroplastae* Howard、副珠蜡蚧阔柄跳小蜂 *Metaphycus parasaissetiae* Zhang et Huang(温丽娜等,2010)、优雅歧脉跳小蜂 *Diversinervus elegans* Silvestri(王进强等,2019)和蓝色长盾金小蜂 *Scutellista caerulea* Fonscolombe(李贤等,2020)等防效良好的天敌资源。

日本食蚧蚜小蜂是橡副珠蜡蚧的一种跨期寄生蜂(吴晓霜等,2018),该蜂还能寄生佛州龟蜡蚧 *Ceroplastes floridensis* Comstock、红蜡蚧 *Ceroplastes rubens* Maskeel、褐软蚧 *Coccus hesperidum* Linnaeus、日本蜡蚧 *Ceroplastes japonicas* Green、橘灰软蚧 *Coccus pseudomagnoliarum* Kuwana、橄榄黑盔蚧 *Saissetia oleae* Olivier等(吴国艳,2002)。目前,国内对日本食蚧蚜小蜂的相关报道很少,沈顺章等(2017)、李贤等(2019)和吴晓霜等(2019)研究发现该蜂是一种内寄生蜂,可寄生橡副珠蜡蚧2龄若虫至初产卵期成虫,对橡副珠蜡蚧3龄若虫至褐色期成虫具有良好的寄生控制作用;而国外仅有对其鉴定和分类的相关报道(Chen & Li, 2017)。温度、光周期是昆虫种群增长的关键因子,程予奇等(2019)和陈元生等(2020)研究发现光周期和温度在花胫蚜蝇姬蜂 *Diplazon laetatorius* (Fabricius)、桉树枝瘿姬小蜂 *Leptocybe invasa* Fisher et La Salle等寄生蜂的发育中起关键作用。目前,未见关于温度、光周期对日本食蚧蚜小蜂影响的研究报道。

为了明确温度、光周期对日本食蚧蚜小蜂发育与繁殖的影响,在室内观察日本食蚧蚜小蜂不同温度及光周期条件下的发育历期、出蜂数、寄生量、雌蜂寿命等情况,以期为其室内扩繁及田间释放防治橡副珠蜡蚧提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫:橡副珠蜡蚧采自云南省热带作物研究所试验场六队橡胶树(20°05' N, 102°72' E),于中国热带农业科学院环境与植物保护研究所养虫室内用南瓜果实繁殖至成虫备用,培养条件为温度25~27°C、湿度70%~90%,南瓜品种为蜜本,购买于海南省儋州市南瓜供应商。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试验基地(19°31' N, 109°34' E)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建群,然后转接到用南瓜果实饲养的橡副珠蜡蚧上,形成源自南瓜寄主的橡副珠蜡蚧寄生种群。

试剂及仪器:蔗糖,上海穗试化工科技有限公司。SZX16体式镜,奥林巴斯有限公司上海分公司;MGC-HP人工气候箱,上海一恒科学仪器有限公司;自制局部接蜂器,口径为7.5 cm、高为8.5 cm的透明塑料杯边沿粘一层海棉,杯底开一直径略大于1.1 cm的孔口。

1.2 方法

1.2.1 温度对日本食蚧蚜小蜂的影响

在南瓜表皮挑选橡副珠蜡蚧3龄若虫60头,用自制的局部接蜂器罩住,往局部接蜂器内引入2头已交配的日本食蚧蚜小蜂雌蜂,置于相对湿度70%±5%、光周期L 12 h:D 12 h、温度(27±1)°C的人工气候箱内,24 h后去除南瓜上的雌蜂,将带虫的南瓜分别放在18、21、24、27、30和33°C,相对湿度均为70%、光周期均为L 12 h:D 12 h的人工气候箱中进行饲养,观察不同温度下日本食蚧蚜小蜂的发育历期(从卵发育至成蜂)、寄生率(以日本食蚧蚜小蜂发育到蛹为标准)以及出蜂数,试验重复4次。寄生率=被寄生蚧虫数/处理蚧虫头数×100%。

收集初羽化的雌蜂30头,每5头装入1支指形

管内,共装6管,管口用棉花塞住。放入温度为18、21、24、27、30和33℃,相对湿度均为70%±5%,光周期均为L 12 h:D 12 h的人工气候箱内,每天用15%蔗糖溶液将小棉球浸湿后放入指形管内作为补充营养。每隔12 h观察雌蜂的存活情况,试验重复4次。

1.2.2 有效积温及发育起点温度统计

根据1.2.1得到的日本食蚜小蜂的平均发育历期 $\bar{D}$,计算相应的发育速率 v , $v=1/\bar{D}$ 。采用直线回归法和直接最优法计算日本食蚜小蜂的发育起点温度及有效积温(丁岩钦等,1980;李典谟和王莽莽,1986)。

直线回归法:发育起点温度 $C=(\sum v^2 \sum T - \sum v \sum vT)/(\sum v^2 - (\sum v)^2)$, n 为温度处理个数, T 为试验所设温度;有效积温 $K=(n \sum vT - \sum v \sum T)/(\sum v^2 - (\sum v)^2)$ 。

直接最优法:发育起点温度 $C=(\sum_{i=1}^n D_i^2 T - \bar{D} \sum_{i=1}^n D_i T)/(\sum_{i=1}^n D_i^2 - n\bar{D}^2)$,其中 D_i 为在此温度下的发育历期;有效积温 $K=\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i (T_i - C)$,其中 K 为在假设发育起点温度 C 时的有效积温。

根据杨志华等(1990)方法计算日本食蚜小蜂在海南省海口市及云南省西双版纳傣族自治州(简称西双版纳)1年的发育代数,计算公式= $\sum (T_s - C)/K$,其中 T_s 为某地区的全年平均温度,根据天气网(<https://lish.tianqi.com>)查询2018年和2019年海南省海口市和云南省西双版纳的月平均高温和月平均低温,计算出这2个地区2018—2020年的全年平均温度分别为24.9℃和23.5℃。

1.2.3 光周期对日本食蚜小蜂的影响

在南瓜表皮挑选橡副珠蜡蚧3龄若虫60头,用自制的局部接蜂器罩住,往局部接蜂器内引入2头已交配的日本食蚜小蜂雌蜂,置于相对湿度70%±5%、光周期L 12 h:D 12 h、温度(27±1)℃的人工气候箱内,24 h后去除南瓜上的雌蜂,将带虫的南瓜放在光周期分别为L 16 h:D 8 h、L 14 h:D 10 h、L 12 h:D 12 h、L 10 h:D 14 h、L 8 h:D 16 h,温度均为(27±1)℃、相对湿度70%±5%的人工气候箱中进行饲养,观察不同光周期下日本食蚜小蜂的发育历期(从卵发育至成蜂)、寄生率(以日本食蚜小蜂发育到蛹为标准)以及出蜂数,试验重复4次。寄生率=被寄生蚧虫数/处理蚧虫头数×100%。

收集初羽化的雌蜂30头,每5头装于1支指形

管内,管口用棉花塞住,然后放入光周期分别为L 16 h:D 8 h、L 14 h:D 10 h、L 12 h:D 12 h、L 10 h:D 14 h、L 8 h:D 16 h,温度均为(27±1)℃、相对湿度均为70%±5%的人工气候箱,每天用15%蔗糖溶液将小棉球浸湿后放入指形管内作为补充营养,每隔12 h观察雌蜂的存活情况,试验重复4次。

1.3 数据分析

试验数据均采用SAS 9.4统计软件进行分析。日本食蚜小蜂对橡副珠蜡蚧的寄生率进行反正弦平方根转换后采用单因素方差分析(ANOVA),用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度对日本食蚜小蜂发育及繁殖的影响

日本食蚜小蜂在18~30℃条件下能完成世代发育,33℃时,虽可以产卵,但子代不能完成世代发育,因此,本研究中除雌蜂寿命外,发育历期、寄生率、出蜂数等数据仅针对18~30℃范围进行统计(图1)。

日本食蚜小蜂发育历期在18~27℃范围内随温度升高而缩短,18℃发育历期最长,为60.9 d,30℃时最短,为21.3 d。发育历期除27℃和30℃外,其他温度处理间差异显著(图1-A)。

温度显著影响日本食蚜小蜂对橡副珠蜡蚧的寄生率,在24℃时日本食蚜小蜂的寄生率最高,为71.1%,18℃时寄生率最低,为42.2%;21、24、27及30℃温度处理间的寄生率差异不显著,但均显著高于18℃(图1-B)。

温度对日本食蚜小蜂出蜂数的影响明显。日本食蚜小蜂在24℃下出蜂数最高,为38.7头,其次为27℃,为32.7头,18℃时出蜂数最低,为19.0头,显著低于其他温度处理(图1-C)。

温度对日本食蚜小蜂雌蜂寿命有影响。日本食蚜小蜂雌蜂寿命随着温度升高而缩短,18℃时雌蜂寿命最长,为29.9 d,显著长于其他温度处理;在21、24和27℃条件下雌蜂寿命依次为17.6、16.0和15.6 d,三者间差异不显著,但均显著长于30℃(9.6 d)和33℃(8.3 d)(图1-D)。

2.2 日本食蚜小蜂的发育起点温度及有效积温

用直线回归法计算,日本食蚜小蜂发育起点温度12.94℃,世代有效积温314.85日·度。根据世代有效积温及查阅气象资料计算出在海南省海口市1年发生13~14代,在云南省西双版纳1年可发生12~13代(表1)。用最优化法计算,日本食蚜小蜂的发育

起点温度为 12.02℃,世代有效积温 355.86 日·度,计算在海南省海口市 1 年发生 13~14 代,在云南省西双版纳 1 年可发生 11~12 代。

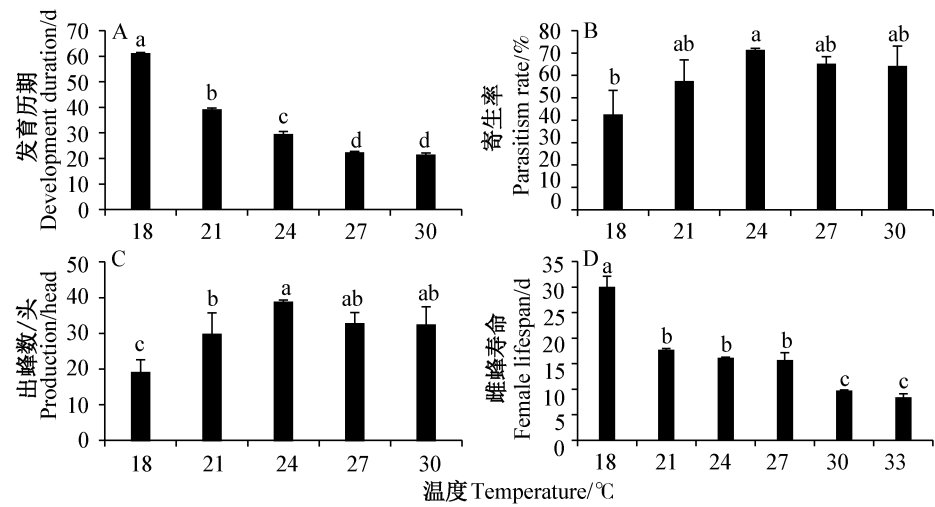


图 1 不同温度下日本食蚱蜢小蜂发育及繁殖情况

Fig. 1 The development and reproduction of *Coccophagus japonicus* Compere at different temperatures
图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ by using Duncan's new multiple range test.

表 1 日本食蚱蜢小蜂的发育起点温度及有效积温		
Table 1 The temperature threshold and effective accumulative temperature of <i>Coccophagus japonicus</i> Compere		
方法 Method	发育起点 温度 Temperature threshold/℃	有效积温/(日·度) Effective accumula- tive temperature/ (day·degree)
回归法 Linear regression method	12.94	314.85
最优法 Optimum seeking method	12.02	355.86

2.3 光周期对日本食蚱蜢小蜂发育及繁殖的影响
在光周期 L 16 h:D 8 h~L 8 h:D 16 h 范围内,光周期为 L 12 h:D 12 h 时该蜂的发育最快,发育历期为 22.1 d,显著短于其他处理;随着光照时间的增长或缩短其发育历期均有所延长,但 L 16 h:D 8 h、L 14 h:D 10 h、L 10 h:D 14 h 和 L 8 h:D 16 h 处理间差异不显著(图 2-A)。
光周期能明显影响日本食蚱蜢小蜂的寄生率。光周期为 L 14 h:D 10 h 时寄生率最高,为 71.1%,与 L 16 h:D 8 h(67.2%)、L 12 h:D 12 h(65.0%)、L 10 h:D 14 h(59.4%) 处理间差异不显著;光周期为 L 8 h:D 16 h 时寄生率最低,为 51.7%,显著低于其他温度处理(图 2-B)。
光周期对日本食蚱蜢小蜂出蜂数的影响明显。

在供试光周期范围内,L 12 h:D 12 h 条件下出蜂数最高,为 39.0 头,与 L 8 h:D 16 h 差异显著,但与 L 16 h:D 8 h、L 14 h:D 10 h、L 10 h:D 14 h 处理间均无显著差异(图 2-C)。
光周期对日本食蚱蜢小蜂雌蜂寿命有影响。光周期为 L 14 h:D 10 h 时,雌蜂寿命最长,为 22.6 d,其次为 L 12 h:D 12 h(20.6 d)、L 8 h:D 6 h(19.6 d),三者间差异不显著;光周期为 L 16 h:D 8 h 时,雌蜂寿命最短,为 15.0 d,显著短于其他处理(图 2-D)。

3 讨论

昆虫是变温动物,外界环境温度对其种群活动及分布影响明显,是其种群发育、存活、繁殖及季节种群动态的重要因子之一(Logan et al., 1976; Zamani et al., 2007; 郭军等, 2019)。昆虫种群只有在适温区内才能维持正常的发育与繁殖(Harrison et al., 2012),在适温区内,随着温度升高昆虫的发育速率加快,发育历期缩短(罗智心等, 2009),而在适温区外,昆虫出现发育延缓,甚至完全不能发育,产卵量及存活率显著下降(Potter et al., 2011; 张方平等, 2015; 刘奎等, 2016)。对于寄生蜂来说,温度还是决定寄生蜂的生物防治效果最重要的因素之一(van Lenteren, 1986; Mahdian et al., 2006; Niedermayer et al., 2013)。本研究表明,在 18℃ 和 21℃ 时,日本食

蚱蜢小蜂发育历期为27℃时的2.76倍和1.76倍,出蜂数仅有最高值24℃时的76.74%和49.10%,说明21℃以下日本食蚱蜢小蜂的发育与繁殖受抑制明显,难以快速建立种群;在24~27℃时,日本食蚱蜢小蜂的发育较快,出蜂数较高,说明该温度范围有利于其种群增长;在27~30℃范围内,随温度升高其发育历期缩短,寄生率及出蜂数均呈下降趋势,而在33℃时雌蜂虽然有较高的产卵量,但不能完成世代发育,说明高温明显影响该蜂的存活。本研究结果显示,雌蜂寿命随温度的上升总体呈下降趋势,与黄腹潜蝇茧蜂 *Opius caricivora* Fischer、云南派姬小蜂 *Pediobius yunnanensis* Liao 等寄生蜂类似(尹承

山等,2003;马梦然等,2019),这可能是高温情况下该蜂较为活跃及体内新陈代谢加快所致。本研究同时采用了直线回归法和最优法计算日本食蚱蜢小蜂的发育起点温度和有效积温,发现2种方法结果差异均不大,2种方法推算在海南省海口市1年均发生13~14代,在云南省西双版纳的发生代数略有差异,直线回归法推算为1年12~13代,最优法推算为1年11~12代,总体看来这2种方法都适合于日本食蚱蜢小蜂的发育起点温度和有效积温数据分析。结合发育历期、寄生率、出蜂数等参数,温度为24~27℃时有利于日本食蚱蜢小蜂的种群增长。

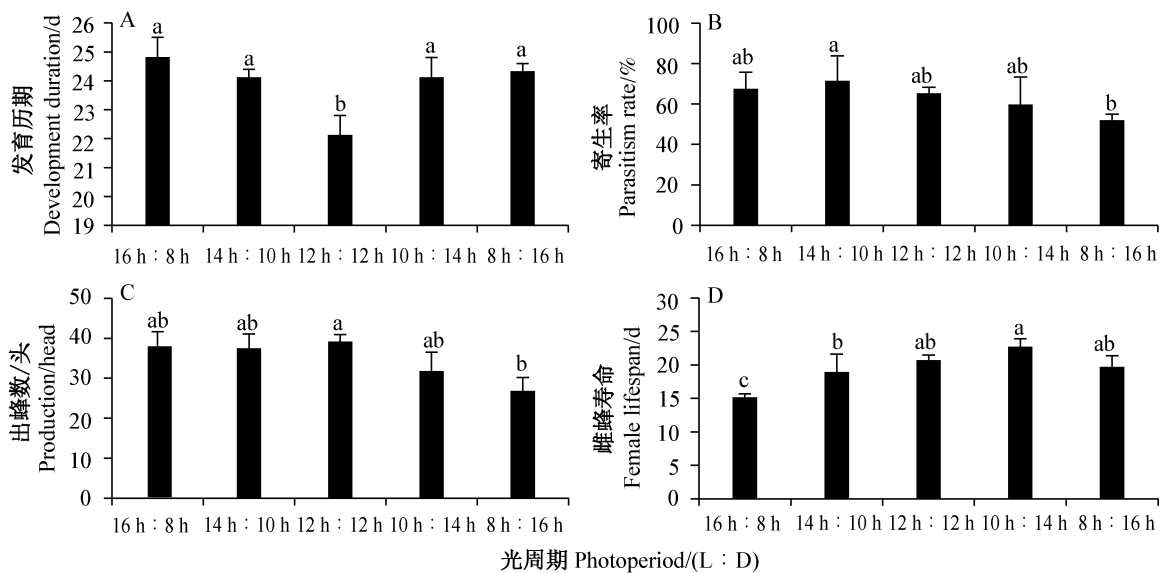


图2 不同光周期下日本食蚱蜢小蜂发育及繁殖情况

Fig. 2 The development and reproduction of *Coccophagus japonicus* Compere under different photoperiods

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ by using Duncan's new multiple range test.

光周期作为一种影响昆虫生活节律的信息,对昆虫滞育的发生与解除有重要影响,也影响着昆虫的发育及繁殖(Saunders, 1981; 朱楠等, 2007)。在特定的光周期下,昆虫发育、交配、产卵、取食活动等以及内在的生理代谢、种群季节性变动规律等都表现出严格的时间节律性。光周期对寄生蜂的生长发育有明显的调控作用(陈夜江等, 2003; 朱道弘等, 2006)。本研究在供试光周期条件下,日本食蚱蜢小蜂的发育历期、寄生率、出蜂数及雌蜂寿命虽有差别,但其正常生命活动未受到影响,也未出现滞育或休眠的情况。张俊杰等(2019)报道松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura 在 L 15 h:D 9 h 时发育最快;张方平等(2010)对斑翅食蚱蜢小蜂研

究发现,该蜂在长光照条件下发育较快,本研究中日食蚱蜢小蜂在日光照时长为12 h时发育最快,与上述2种寄生蜂对光照的敏感程度存在差异。本研究中日食蚱蜢小蜂寄生率在L 14 h:D 10 h寄生率最高,但是出蜂数以L 12 h:D 12 h最多,说明在此光周期条件下,日本食蚱蜢小蜂的世代存活率高。郭于蒙等(2018)研究发现在日光照时长为8~10 h时,随光照时间的延长,雌蜂寿命延长,但日光照时常在10~16 h范围内,随着光照时间增加雌蜂寿命缩短,这可能是由于产卵、运动等活动加强导致雌蜂能量消耗过快,进而雌蜂寿命缩短。本研究结合发育历期、寄生率、出蜂数等参数,结果显示光周期为L 12 h:D 12 h是日本食蚱蜢小蜂种群增长的最适光

周期参数。

综上所述,本研究通过以发育历期、寄生率、出蜂数、雌蜂寿命等作为评价指标明确了温度和光周期在日本食蚱蜢小蜂种群繁育过程中的作用,确定了温度为24~27℃,光周期为L 12 h:D 12 h时有利于该蜂的种群建立,为该蜂的规模扩繁提供了必要的理论依据。但其他环境如植物寄主、湿度等对昆虫的发育及繁殖也存在不同程度的影响(Qiu & Ren, 2005),寄生蜂的大量繁殖还应充分考虑其他因素的影响。

参 考 文 献 (References)

- Chen Y, Li CD. 2017. Three new species of *Coccophagus* (Hymenoptera: Aphelinidae) from China, with new distributional data for three additional species. *Zootaxa*, 4294(2): 256–270
- Chen YJ, Luo HW, Huang J, Hong QZ, Xie YD. 2003. Effect of photoperiod on the experimental population of sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Entomological Journal of East China*, 12(1): 38–41 (in Chinese) [陈夜江, 罗宏伟, 黄建, 洪清竹, 谢依弟. 2003. 光周期对烟粉虱实验种群的影响. *华东昆虫学报*, 12(1): 38–41]
- Chen YS, Li X, Deng BP. 2020. Growth and development of *Leptocybe invasa* as affected by environmental temperature. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 35(5): 545–551 (in Chinese) [陈元生, 李欣, 邓必平. 2020. 温度对桉树枝瘿姬小蜂生长发育的影响. *福建农业学报*, 35(5): 545–551]
- Cheng YQ, Tan L, Wu SL, Zhu SR, Li JY, Fan JJ, Hu QL. 2019. Influence of temperature and photoperiod on pupae developmental durations of *Episyrphus balteatus* and eclosion rate of *Diplazon latetatorius*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 47(4): 56–59, 173 (in Chinese) [程予奇, 谭琳, 伍绍龙, 朱三荣, 李佳颖, 樊吉君, 胡秋龙. 2019. 温度和光周期对黑带食蚜蝇蛹及食蚜蝇姬蜂羽化的影响. *贵州农业科学*, 47(4): 56–59, 173]
- Ding YQ, Li DM, Chen YP. 1980. Studies on sampling method of nymphal stage of the oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis*). *Journal of Plant Protection*, 7(2): 101–112 (in Chinese) [丁岩钦, 李典谟, 陈玉平. 1980. 东亚飞蝗蝗蝻抽样的研究. *植物保护学报*, 7(2): 101–112]
- 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*, 28(2): 1–3 (in Chinese) [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*, 28(2): 1–3]
- Guo J, Dai RH, Yang H, Yang MF, Hu DM, Zhang XM, Wang Y. 2019. Influence of temperature on the development and reproduction of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(2): 227–233 (in Chinese) [郭军, 戴仁怀, 杨洪, 杨茂发, 胡大鸣, 张晓敏, 王燕. 2019. 温度对象虫金小蜂发育和繁殖的影响. *应用昆虫学报*, 56(2): 227–233]
- Guo YM, Cao ML, Bai XC, Liu TH, Ren Q, He YZ. 2018. Effects of photoperiod on development and reproduction of Lepidopteran pest *Athetis lepigone* (Möschler). *Journal of Plant Protection*, 45(4): 731–738 (in Chinese) [郭于蒙, 曹美琳, 白雪纯, 刘廷辉, 任倩, 何运转. 2018. 光周期对二点委夜蛾生长发育的影响. *植物保护学报*, 45(4): 731–738]
- Harrison JF, Woods HA, Roberts SP. 2012. *Ecological and environmental physiology of insects*. London: Oxford University Press, pp. 64–101
- Li DM, Wang MM. 1986. Study on reckon fleetly method of threshold temperature for development and effective cumulative temperature. *Entomological Knowledge*, 23(4): 184–187 (in Chinese) [李典谟, 王莽莽. 1986. 快速估计发育起点温度及有效积温法的研究. *昆虫知识*, 23(4): 184–187]
- Li X, Fu YG, Zhu JH, Wu XX, 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 (in Chinese) [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. 日本食蚱蜢小蜂的寄生行为观察. *热带作物学报*, 40(3): 535–540]
- Li X, Niu LM, Fu YG, Chen JY, Li L, Han DY, Zhang FP, Zhu JH. 2020. Observations on biological characteristics of *Scutellista caerulea* Fonscolombe. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(3): 327–334 (in Chinese) [李贤, 牛黎明, 符悦冠, 陈俊谕, 李磊, 韩冬银, 张方平, 朱俊洪. 2020. 蓝色长盾金小蜂生物学特性观察. *中国生物防治学报*, 36(3): 327–334]
- Liu K, Tang LD, Qiu HY, Fu BL. 2016. The effect of low temperatures on eclosion rates in the fruit fly *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Biosafety*, 25(1): 27–30 (in Chinese) [刘奎, 唐良德, 邱海燕, 付步礼. 2016. 低温对橘小实蝇羽化的影响. *生物安全学报*, 25(1): 27–30]
- Logan JA, Wollkind DJ, Hoyt SC, Tanigoshi LK. 1976. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environmental Entomology*, 5(6): 1133–1140
- Luo ZX, Ren LL, Qi LY, Zhou SD, Dai HG. 2009. Effects of temperature on the development of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Chinese Journal of Ecology*, 28(5): 921–924 (in Chinese) [罗智心, 任荔荔, 祁力言, 周曙东, 戴华国. 2009. 温度对桔小实蝇种群发育的影响. *生态学杂志*, 28(5): 921–924]
- Ma MR, Jin X, Cui JZ, Xing ZL, Li JQ, Li HP. 2019. Biological characteristics of *Pediobius yunnanensis* Liao (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eulophidae), a parasitoid of *Dioryctria rubella* Hampson. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(6): 829–834 (in Chinese) [马梦然, 靳轩, 崔建州, 邢子龙, 李继泉, 李会平. 2019. 云南派姬小蜂的生物学特性. *中国生物防治学报*, 35(6): 829–834]
- Mahdian K, Vantornhout I, Tirry L, de Clercq P. 2006. Effects of temperature on predation by the stinkbugs *Picromerus bidens* and *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) on noctuid caterpillars. *Bulletin of Entomological Research*, 96(5): 489–496
- Niedermayer S, Obermaier E, Steidle JLM. 2013. Some like it hot, some not: influence of extreme temperatures on *Lariophagus distinguendus* and *Anisopteromalus calandrae*. *Journal of Applied*

- Entomology, 137(1/2): 146–152
- Potter KA, Davidowitz G, Woods HA. 2011. Cross-stage consequences of egg temperature in the insect *Manduca sexta*. *Functional Ecology*, 25(3): 548–556
- Qiu BL, Ren SX. 2005. Effect of host plants on the development, survivorship and reproduction of *Encarsia bimaculata* (Hymenoptera: Aphelinidae), a parasitoid of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(3): 365–369
- Saunders DS. 1981. Insect photoperiodism—the clock and the counter: a review. *Physiological Entomology*, 6(1): 99–116
- 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 (in Chinese) [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子研究. *环境昆虫学报*, 39(5): 1135–1141]
- van Lenteren JC. 1986. Evaluation, mass production, quality control and release of entomophagous insects. *Fortschritte der Zoologie*, 32: 31–56
- Wang JQ, Xu LY, Li FC, Zheng YP, Deng YX, Zhang YK, Zhu GY, Li GH. 2019. Effect of temperature on emergence rate and sex ratio of *Diversinervus elegans* Silvestri. *Journal of Environmental Entomology*, 41(1): 161–166 (in Chinese) [王进强, 许丽月, 李发昌, 郑燕萍, 邓云湘, 张永科, 朱国渊, 李国华. 2019. 温度对优雅歧脉跳小蜂出蜂率及性比的影响. *环境昆虫学报*, 41(1): 161–166]
- Wen LN, Fu YG, Zhang FP, Jin QA, Zhang JB. 2010. Influence of temperature on the development and reproduction of *Metaphycus parasaissetia*, an adult parasitoid of *Parasaissetia nigra*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(1): 151–155 (in Chinese) [温丽娜, 符悦冠, 张方平, 金启安, 张敬宝. 2010. 温度对副珠蜡蚜阔柄跳小蜂发育和繁殖的影响. *昆虫知识*, 47(1): 151–155]
- Wu GY. 2002. Systematic and faunistic study on the parasitic wasps of scale insect in North China. Master thesis. Hangzhou: Zhejiang University (in Chinese) [吴国艳. 2002. 中国北方介壳虫寄生蜂分类区系研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学]
- Wu XS, Niu LM, Fu YG, Chen JY, Han DY, Li L, Wu QQ, Zhang FP, Zhu JH. 2019. Research on the control of *Parasaissetia nigra* Nietner by *Coccophagus japonicus* Compere. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(2): 208–213 (in Chinese) [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蚜的控制作用研究. *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 (in Chinese) [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]
- Yang ZH, Lü XL, Qiu GF. 1990. Applying the effective accumulated temperature to predict the generation of the main pests in agriculture and forestry in Jiangxi. *Jiangxi Plant Protection*, (3): 15–18 (in Chinese) [杨志华, 吕锡麟, 邱观福. 1990. 应用有效积温法则预测江西农林主要害虫的发生世代. *江西植保*, (3): 15–18]
- Yin 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 (in Chinese) [尹承山, 陈学新, 朗法勇, 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]
- Zamani AA, Talebi A, Fathipour Y, Baniaméri V. 2007. Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 36(2): 263–271
- Zhang FP, Fu YG, Peng ZQ, Wang B, Zhang JB, Jin QA. 2010. Effects of temperature and photoperiod on the development and reproduction of *Coccophagus ceroplastae*. *Acta Ecologica Sinica*, 30(5): 1280–1286 (in Chinese) [张方平, 符悦冠, 彭正强, 王帮, 张敬宝, 金启安. 2010. 温度和光周期对斑翅食蚜蚜小蜂发育与繁殖的影响. *生态学报*, 30(5): 1280–1286]
- Zhang FP, Zhu JH, Han DY, Li L, Niu LM, Fu YG. 2015. Factors influencing the parasitism of *Metaphycus parasaissetiae* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Acta Ecologica Sinica*, 35(21): 7255–7262 (in Chinese) [张方平, 朱俊洪, 韩冬银, 李磊, 牛黎明, 符悦冠. 2015. 副珠蜡蚜阔柄跳小蜂的寄生影响因子. *生态学报*, 35(21): 7255–7262]
- Zhang JJ, Zhang X, Du WM, Wang XM, Ruan CC. 2019. Effects of photoperiods on development and reproduction of *Trichogramma dendrolimi*. *Journal of Jilin Agricultural University*, 41(1): 17–22 (in Chinese) [张俊杰, 张雪, 杜文梅, 王秀梅, 阮长春. 2019. 光周期对松毛虫赤眼蜂生长发育及繁殖的影响. *吉林农业大学学报*, 41(1): 17–22]
- Zhu DH, Liu SD, Zhao LQ. 2006. Effects of photoperiod and temperature on nymphal development and adult reproduction in the forest-dwelling cockroach, *Blattella germanica*. *Acta Ecologica Sinica*, 26(7): 2125–2132 (in Chinese) [朱道弘, 刘世大, 赵吕权. 2006. 光周期与温度对林地德国小蠊生长发育与繁殖的影响. *生态学报*, 26(7): 2125–2132]
- Zhu N, Zheng L, Liu S, Zhang HQ, Wei GS. 2007. Effect of photoperiod and adult supplementary nutrition on development of *Encarsia formosa* Gahan. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(3): 290–291 (in Chinese) [朱楠, 郑礼, 刘顺, 张海强, 魏国树. 2007. 光周期及成虫期补充营养对丽蚜小蜂生长发育的影响. *中国生物防治*, 23(3): 290–291]

(责任编辑:王璇)