

温度对松褐天牛肿腿蜂繁殖和发育的影响

陈 然¹, 唐艳龙², 唐 桦^{1*}, 王小艺¹, 杨忠岐¹

(1. 国家林业和草原局森林保护学重点实验室, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

2. 遵义师范学院生物与农业科技学院, 贵州 遵义 563000)

摘要: [目的] 为了明确温度对松褐天牛肿腿蜂繁殖和发育的影响, 进而为其人工繁育和生物防治应用提供科学依据。 [方法] 在 21, 24, 27, 30, 33℃ 的恒温条件下人工繁育松褐天牛肿腿蜂, 记录各虫态发育历期及子代数量, 并计算各虫态发育起点温度和有效积温。 [结果] 表明, 松褐天牛肿腿蜂各虫态发育历期随着温度的升高而缩短, 如 5 组温度处理下的卵期分别为 3.29 ± 0.14 , 2.89 ± 0.17 , 2.61 ± 0.14 , 2.16 ± 0.11 和 1.86 ± 0.93 d。卵、幼虫、蛹的发育起点温度分别为 6.99 ± 2.12 , 10.67 ± 3.43 和 13.5 ± 2.71 °C, 有效积温分别为 49.28 ± 5.08 , 166.67 ± 34.02 和 225 ± 43.30 日·度。温度对子代数量及雄性占比也有显著影响, 温度超过 30℃ 后, 子代数量及雄性占比显著下降。 [结论] 适度升温可有效促进肿腿蜂的繁殖和发育, 但温度超过适温则不利于母蜂寄生和子代发育, 人工繁育松褐天牛肿腿蜂的适宜温度范围是 24~30℃。

关键词: 松褐天牛肿腿蜂; 发育起点温度; 有效积温; 人工繁育; 雄性占比

中图分类号: S763.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)04-0114-06

松褐天牛肿腿蜂 (*Sclerodermus alternatusi* Yang) 于 2010 年在我国云南省首次被发现, 该蜂是一种寄生松褐天牛幼虫的体外寄生蜂^[1]。而松褐天牛 (*Monochamus alternatus* Hope) 是松材线虫 (*Bursaphelenchus xylophilus* Steriner & Buhner) 在东北亚地区重要的媒介昆虫, 每头松褐天牛可携带大量松材线虫, 进而传播松材线虫导致松材线虫病的发生^[2]。松材线虫病自 1982 年在南京中山陵发现以来, 已使我国林业遭受巨大损失^[3]。经作者观察, 松褐天牛肿腿蜂体型较大, 有翅率高且攻击性强。雌蜂不仅可以通过产卵寄生导致寄主死亡, 在补充营养阶段其攻击行为亦可引起寄主死亡。因此该蜂作为松褐天牛的重要天敌, 可经人工大量繁育, 应用于生产实践中。

寄生蜂是变温动物, 在影响其生长发育的非生物因子中, 温度是最主要的因子^[4]。温度直接影响寄生蜂的取食、繁殖和发育^[5-11]。在适宜的温度范围内, 寄生蜂发育速率快、繁殖力高、成虫寿命较长、寄生效果好。但在非适温范围内, 寄生蜂体内代谢

速度不一、死亡率高、繁殖力低下、不易寄生, 进而影响种群数量^[12]。因此, 筛选出合适的繁育温度, 对松褐天牛肿腿蜂的应用具有重要意义。

目前有关松褐天牛肿腿蜂的研究主要集中在分子生物学和应用研究上^[13-16], 尚未有关于基础生物学的研究。基于此, 本实验以松褐天牛肿腿蜂为研究对象, 研究不同温度对母蜂寄生行为及子代发育的影响, 同时测定在恒温条件下各虫态的发育起点温度和有效积温, 以便在最适温度条件下, 最快速、高效地人工繁育天敌。同时为该蜂的人工繁育、野外释放提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

寄生蜂: 供试松褐天牛肿腿蜂为野外剖木获取后经本实验室人工繁育第 35 代, 挑选已交配、活力强、无营养补充的 3 日龄母蜂作为试虫。

寄主: 供试替代寄主麻竖毛天牛幼虫 (*Thyestilla gebleri* Faldermann) 为购买所得, 用分析天平 (精确

收稿日期: 2019-01-09 修回日期: 2019-02-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(31230015)

* 通讯作者: 唐 桦, 博士, 副研究员。主要研究方向: 害虫生物防治。E-mail: bjtanghua@139.com

度 0.000 1 g, METTLER TOLEDO, 上海)称取质量在 0.25 ~ 0.30 g 的幼虫 220 头,洗净消毒后在 4℃ 的人工气候箱 (PRX-450L, 宁波赛福实验仪器有限公司)中放置 24 h 剔除伤残幼虫后,选取 200 头备用。

1.2 不同温度下松褐天牛肿腿蜂发育历期的测定

在 1 × 5 cm 的玻璃指形管中,每头麻竖毛天牛幼虫上接入 1 头母蜂。将玻璃管分别置于 21、24、27、30、33℃ (RH = 60%, L:D = 16:8) 的人工气候箱中,每个温度 40 头寄主。使用体视显微镜 (Stemi 2000-C, ZEISS, 德国)观察母蜂是否产卵及子代发育状态,产卵前每隔 6 h (4:00、10:00、16:00、22:00) 观察一次,产卵后每隔 12 h (8:00 和 20:00) 观察一次,记录接蜂时间、麻痹寄主时间、母蜂产卵时间、子代卵孵化时间、子代幼虫结茧时间、子代成虫羽化时间,并计算母蜂适应期、母蜂产卵前期、子代卵期、子代幼虫期及子代蛹期。其中:

麻痹寄主:用解剖针尖端多次轻刺寄主幼虫,若寄主无扭动现象,则认为寄主被麻痹;

适应期:从接蜂到寄主被麻痹所用时间;

产卵前期:从寄主被麻痹到母蜂产下第一粒卵所用时间。

1.3 各虫态的发育起点温度和有效积温的测定

在设定的 5 个温度处理下,松褐天牛肿腿蜂均可完成生长发育,取各处理下的观察值计算不同温度下各虫态的发育历期和发育速率,利用最小二乘法计算出各虫态的发育起点温度和有效积温^[17],计算公式如下:

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$T = C + KV$$

式中, K 为有效积温, C 为发育起点温度, T 为环境温度, $V = 1/N$ 为发育速率, N 为发育历期, n 为温度处理组数。

1.4 不同温度下松褐天牛肿腿蜂寄生率和寄生成功率的测定

寄主若被肿腿蜂刺蛰、麻痹而停止发育,同时肿腿蜂产卵于其体表,则视为被寄生。寄主若被肿腿蜂产卵于体表,且卵粒能最终羽化为成虫,则视为被寄生成功。在实验过程中,统计被寄生的寄主数量

和被成功寄生的寄主数量,而后计算寄生率和寄生成功率。其中:

寄生率 = 被寄生的寄主数量/寄主总量;

寄生成功率 = 被成功寄生的寄主数量/寄主总量。

1.5 不同温度下松褐天牛肿腿蜂子代数量和雄性占比的计算

子代全部化蛹后,移除母蜂;子代全部羽化后,统计子代雌、雄数量,计算子代雄性占比。其中:

雄性占比 = 雄性子代总量/子代总量。

1.6 数据统计与分析

该实验所有数据均用 Excel 和 SPSS 21 进行统计分析。对不同温度下的母蜂适应期、产卵前期及各虫态发育历期不服从正态分布,故对上述数据采用非参数检验 (Kruskal-Wallis), 对不同温度下的子代数量采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和 LSD 多重比较,对子代雄性占比采用卡方检验。

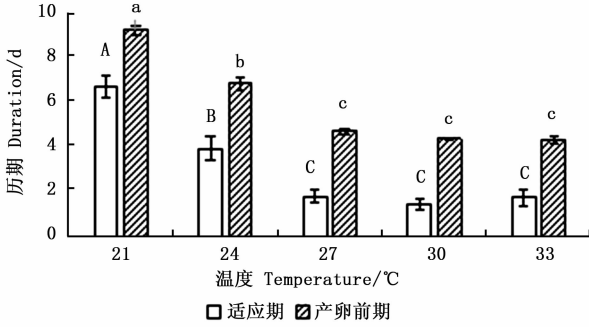
2 结果与分析

2.1 温度对肿腿蜂适应期和产卵前期的影响

在不同温度条件下,各组母蜂的适应期 ($x^2 = 61.52, df = 4, P < 0.001$) 和产卵前期 ($x^2 = 100.95, df = 4, P < 0.001$) 差异显著 (图 1)。在 21℃ 下,适应期最长,为 6.77 ± 0.49 d,之后,随着温度升高而逐渐缩短,当温度上升至 30℃,肿腿蜂的适应期最短,仅为 1.52 ± 0.25 d,当温度上升至 33℃ 时,适应期反而延长至 1.83 ± 0.37 d。同样,产卵前期时长与温度高低成负相关关系,即随着温度升高产卵前期逐渐缩短。21℃ 时,产卵前期最长,为 9.26 ± 0.19 d, 33℃ 时最短,为 4.39 ± 0.15 d。在 27℃、30℃、33℃ 的温度处理下,适应期和产卵前期均差异不显著。因此,当温度升至 27℃ 后,温度对母蜂的寄生前行为并没有明显的促进作用。

2.2 温度对各虫态发育历期的影响

在不同温度处理下,各虫态发育历期差异显著 (卵期: $x^2 = 53.14, df = 4, P < 0.001$; 幼虫期: $x^2 = 101.75, df = 4, P < 0.001$; 蛹期: $x^2 = 127.31, df = 4, P < 0.001$), 而且随着温度升高各虫态发育历期缩短 (表 1)。21℃ 时,卵期最长为 3.29 ± 0.14 d; 33℃ 时,卵期最短为 1.86 ± 0.93 d。幼虫期、蛹期均在 21℃ 下最长, 33℃ 下最短。当温度由 21℃ 上升至 27℃ 时,各发育历期均大幅度缩减,当温度升至 27℃ 后,各发育历期的缩减幅度较小,趋于平缓。



注:不同大、小写字母分别表示在不同温度下适应期、产卵前期在 0.05 水平差异显著
 Note: Different uppercase and lowercase letters indicate significant difference in adaptation period and pre-oviposition at different temperature at 0.05 level

图 1 温度对母蜂适应期和产卵前期的影响

Fig.1 Effect of different temperatures on adaptation period and pre-oviposition of *S. alternatus*

表 1 不同温度处理下松褐天牛肿腿蜂各虫态的发育历期

Table 1 Effect of different temperatures on development periods of *S. alternatus*

温度/°C Temperature	发育历期 Developmental periods/d		
	卵期 Egg period	幼虫期 Larva period	蛹期 Pupa period
21	3.29 ± 0.14a	16.33 ± 0.24a	31.79 ± 0.25a
24	2.89 ± 0.17b	12.92 ± 0.27b	21.60 ± 0.18b
27	2.61 ± 0.14b	8.93 ± 0.22c	14.47 ± 0.12c
30	2.16 ± 0.11c	8.50 ± 0.15cd	13.45 ± 0.17d
33	1.86 ± 0.09c	8.25 ± 0.21d	12.64 ± 0.35e

注:表中发育历期均为 Mean ± SE, 同列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 下同。
 Note: Date in the table are Mean ± SE, different lowercase letters in the column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 松褐天牛肿腿蜂各虫态的发育起点温度和有效积温

Table 2 Developmental threshold temperatures and effective accumulated temperatures of *S. alternatus*

虫态 Stage	发育起点温度 Developmental threshold temperature/°C	有效积温 Effective accumulated temperature/(d · °C)	回归方程 Model	R ²
卵 Egg	6.99 ± 2.12	49.28 ± 5.08	T = 6.99 + 49.28V	0.969 0
幼虫 Larva	10.67 ± 3.43	166.67 ± 34.02	T = 10.67 + 166.67V	0.889 0
蛹 Pupa	13.50 ± 2.71	225.00 ± 43.30	T = 13.5 + 225V	0.900 0

2.5 温度对寄生率和寄生成功率的影响

随着温度的升高,寄生率和寄生成功率整体呈下降趋势(表 3)。在 21°C 时,寄生率和寄生成功率均为最高,分别为 94.87% 和 92.31%。在 24°C 时,所有被母蜂寄生的寄主均有子代蜂成功羽化。在 21°C 和 33°C 的处理下,两组寄生率相差 5.13%,两组寄生成功率相差 38.46%,这说明温度对寄生成功率的影响较大。

2.3 温度对各虫态发育速率的影响

实验结果表明,温度对松褐天牛肿腿蜂各虫态发育速率有影响,即随着温度的升高发育速率逐渐加快(图 2)。在 21 ~ 27°C 内,升温更能有效地加快幼虫期、蛹期的发育速率。在 27 ~ 33°C 内,较高的温度更能加快卵期的发育速率。

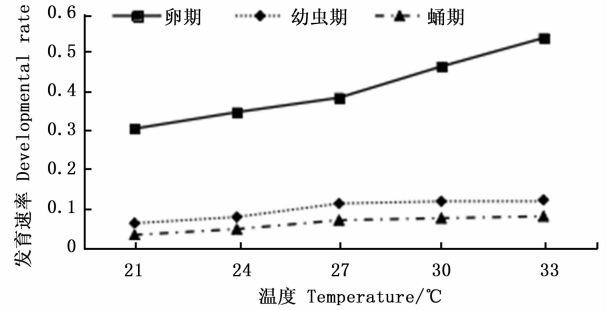


图 2 不同温度下松褐天牛肿腿蜂各虫态的发育速率
 Fig.2 Developmental rate of all developmental periods of *S. alternatus* at different temperatures

2.4 各虫态的发育起点温度和有效积温

根据参考公式求出松褐天牛肿腿蜂卵期、幼虫期和蛹期 3 种虫态的发育起点温度、有效积温及回归方程(表 2)。卵期的发育起点温度最低,为 6.99 ± 2.12°C,有效积温最低,为 49.28 ± 5.08 日·度。幼虫期次之,发育起点温度为 10.67 ± 3.43°C,有效积温 166.67 ± 34.02 日·度。蛹期的发育起点温度最高,为 13.50 ± 2.71°C,有效积温最高,为 225.00 ± 43.30 日·度。

2.6 不同温度处理对子代数量及雄性占比的影响

在不同温度处理下,各组子代数量差异显著(F = 12.97; df = 4, 151; P < 0.001),子代数量随着温度的上升先增加后减少(表 3)。在 27°C 时,子代数量最多为 46.97 ± 2.34 头;上升至 33°C 后,子代数量开始显著下降,33°C 时子代数量最少为 21.47 ± 1.74 头。但在前 4 组温度处理下,子代数量差异不显著,说明子代蜂在 21 ~ 30°C 内可正常发育。温度对子

代雄性占比有显著影响 ($x^2 = 14.47; df = 4; P = 0.006$),但在前4组处理中,雄性占比差异不显著。

在30℃时,雄性子代比例最高为8.24%;在33℃时,雄性子代比例显著下降至1.03%(表3)。

表3 不同温度下松褐天牛肿腿蜂的寄生率、寄生成功率、子代数量和雄性占比

Table 3 Parasitism rate, the rate of successful parasitism, the number and sex ratio of progenies of *S. alternatus* at difference temperatures

温度 Temperature/℃	寄生率 Parasitism rate/%	寄生成功率 Rate of parasitism/%	子代数量 Number of progenies	雄性占比 Sex ratio/%
21	94.87	92.31	42.05 ± 2.07a	5.24 ± 1.12a
24	87.18	87.18	44.62 ± 1.69a	7.25 ± 3.09a
27	92.13	87.18	46.94 ± 2.34a	6.38 ± 1.24a
30	92.13	84.62	44.47 ± 2.39a	8.24 ± 1.80a
33	89.74	53.85	21.47 ± 1.74b	1.03 ± 0.70b

3 讨论

本文以麻竖毛天牛幼虫为寄主,在21~33℃温度范围内,探究温度对松褐天牛肿腿蜂繁殖和发育的影响。结果表明:在一定温度范围内,母蜂的适应期和产卵前期均随温度升高而缩短。即温度越高,母蜂越活跃,具体表现为更加主动地攻击寄主,更快地完成产卵前的营养补充。但温度升高至27℃后,其适应期和产卵前期并无显著差异,可能由于温度过高进而抑制其活性,该现象与林玉英所报道的褐带卷蛾茧蜂(*Bracon adoxophyesi* Minamikawa)一致^[18]。在防治工作中,释放肿腿蜂的时间点可考虑选择温度在21~27℃的时间段内,该温度范围内的肿腿蜂较为活跃,可能有利于较快发现寄主,同时降低被其他昆虫捕食的可能性。

温度不仅影响母蜂的寄生行为,同时还影响子代蜂发育。本实验结果表明:松褐天牛肿腿蜂各虫态的发育历期均随着温度的升高而逐渐缩短,樟叶蜂(*Mesoneura rufonota* Rohwer)^[19]、烟蚜茧蜂(*Aphidius gifuensis* Ashmead)^[20]、蚜虫宽缘金小蜂(*Pachyneuron aphidis* Bouche)^[21]、白蛾黑基啮小蜂(*Tetrastichus nigricoxae* Yang)^[22]等也存在该现象。随着温度逐渐上升,各发育历期的缩减幅度也逐渐变小。以蛹期为例,其5组温度处理下的缩减梯度分别为10.19 d,7.13 d,1.02 d,0.79 d。但当温度超过适温后,对子代生长发育的促进作用逐渐减弱,若继续升温,会对子代生长发育产生抑制作用,进而减缓发育进程,导致寄生蜂在发育过程中死亡。值得注意的是,温度为33℃时,子代发育速率虽然最快,但其寄生成功率和子代数量均为最低。故在人工繁育时,该温度不适宜作为繁育温度。在本实验中,松褐天牛肿腿蜂的寄生率和寄生成功率均随着温度升高而

下降。但寄生成功率的下降幅度较大,最大值和最小值相差38.46%,寄生率的差值仅为5.13%。该结果表明温度对松褐天牛肿腿蜂的成蜂和幼蜂影响不一,即幼蜂对高温的耐受性低于成蜂。

松褐天牛肿腿蜂与肿腿蜂科其他种相比,相同虫态下需要的发育积温更多。以蛹期为例,管氏肿腿蜂(*S. guani* Xiao et Wu)(K:186.58日·度)^[5],川硬皮肿腿蜂(*S. sichuanensis* Xiao)(K:161.89日·度)^[23],松褐天牛肿腿蜂225日·度。该现象可能因为松褐天牛肿腿蜂的体型较大,同样温度条件下,完成发育所需积温更多^[24-25]。据报道,雌性管氏肿腿蜂体长4.50 mm^[26],雌性川硬皮肿腿蜂4.10 mm^[27],而雌性松褐天牛肿腿蜂体长4.69 mm。此外发育起点温度和有效积温的得到,可以指导肿腿蜂的人工繁育及释放工作。

温度对子代数量有显著影响:当温度在21~27℃内,子代数量随温度的升高而增加;当温度上升至27℃后,子代数量开始减少。可能因为昆虫需要分配更多能量去适应高温,而用于生殖的能量则有所减少^[28-29]。同时较高的温度可能会抑制昆虫生殖所需激素的分泌,如抑制卵黄磷蛋白的合成,从而导致生殖能力下降^[30]。此外,幼蜂对高温的耐受性相对较弱,在发育过程中高温可能会增加幼蜂死亡率。因此当温度超过适温后,温度越高,最终羽化的子代蜂数量越少。在本实验中,温度对松褐天牛肿腿蜂的子代雄性占比也有显著影响,子代雄性占比的差异主要体现在30℃之前后。30℃之前各组雄性占比均在5%以上,33℃时下降为1.03%,这说明温度升高至33℃后,子代中雄蜂数量显著减少。雌、雄蜂的体型差异可能与此有关,雌性个体的体型明显大于雄蜂个体,雌性个体体内可能会储存更多能量。在高温环境下,幼蜂体能的能量不仅用于自

身发育,可能还分配部分用于适应高温,因此在高温下,雄性后代的存活率低于雌性后代。

昆虫生活在自然环境中,环境温度随着时间而变化,加之昆虫栖境小气候并非稳定不变,因此在恒温条件下得到的结果,在实际情况可能存在偏差,在生产中还须结合具体情况加以应用。本实验只研究了温度因子对松褐天牛肿腿蜂的寄生和繁殖的影响,然而在自然条件下,该肿腿蜂还受湿度、光周期等非生物因子,以及食物、天敌等生物因子的影响。因此未来还需针对环境因子对松褐天牛肿腿蜂的影响作系统研究,以期为后续的肿腿蜂释放工作提供理论指导。

4 结论

本实验结果表明,温度对松褐天牛肿腿蜂的寄生、子代发育历期、子代数量及子代雄性占比均有显著影响。松褐天牛肿腿蜂各虫态发育历期与温度呈负相关,即随着温度升高各发育历期逐渐缩短。在24~30℃范围内,松褐天牛肿腿蜂较为活跃,寄生率和寄生成功率较高,子代数量较多,该温度范围是人工繁育松褐天牛肿腿蜂的适宜范围。

参考文献:

- [1] Yang Z Q. A new species of *Sclerodermus* (Hymenoptera: Bethyliidae) parasitizing larva of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) from China[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2019. (Accepted)
- [2] 徐福元, 杨宝君, 葛明宏. 松材线虫病媒介昆虫的调查[J]. 中国森林病虫, 1993(2):20-21.
- [3] 杨宝君, 潘宏阳, 汤坚, 等. 松材线虫病[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003:6-9.
- [4] Hagstrum D W, Milliken G A. Quantitative analysis of temperature, moisture, and diet factors affecting insect development[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1988, 81(4):539-546.
- [5] 田慎鹏, 徐志强. 不同温度条件对利用黄粉甲繁育管氏肿腿蜂的影响[J]. 应用昆虫学报, 2003, 40(4):356-359.
- [6] 田军, 王小艺, 杨忠岐, 等. 温度对白蜡吉丁柄腹茧蜂发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2009, 52(11):1223-1228.
- [7] 刘鹏程, 魏建荣, 王建军, 等. 舞毒蛾卵平腹小蜂发育与温度的关系及子代性比控制[J]. 中国森林病虫, 2015, 34(2):9-14.
- [8] 杨忠岐. 白蛾周氏啮小蜂的有效积温及发育起点温度研究[J]. 林业科学, 2000, 36(6):119-122.
- [9] Campbell A, Frazer B D, Gilbert N, et al. Temperature Requirements of Some Aphids and Their Parasites[J]. The Journal of Applied Ecology, 1974, 11(2):431-438.
- [10] Campbell A, Mackauer M. Reproduction and Population Growth of the Pea Aphid (Homoptera: Aphididae) under Laboratory and

- Field Conditions[J]. The Canadian Entomologist, 1977, 109(2):277-284.
- [11] Hayakawa D L, Grafius E, Stehr F W. Effects of Temperature on Longevity, Reproduction, and Development of the *Asparagus Aphid* (Homoptera: Aphididae) and the Parasitoid, *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Environmental Entomology, 1990, 19(4):890-897.
- [12] Nouhuys S V, Lei N G. Parasitoid-Host Metapopulation Dynamics: The Causes and Consequences of Phenological Asynchrony [J]. Journal of Animal Ecology, 2004, 73(3):526-535.
- [13] 杨远亮, 杨忠岐, 王小艺, 等. 松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛低龄幼虫控制作用的研究[J]. 林业科学研究, 2013, 26(3):312-319.
- [14] 张彦龙, 杨忠岐, 王小艺, 等. 松褐天牛肿腿蜂对寄主松褐天牛三龄幼虫的功能反应[J]. 昆虫学报, 2012, 55(4):426-434.
- [15] Zhou C X, Min S F, Tang Y L, et al. Analysis of antennal transcriptome and odorant binding protein expression profiles of the recently identified parasitoid wasp, *Sclerodermus* sp[J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part D Genomics & Proteomics, 2015, 16:10-19.
- [16] Jiang Y, Yang Z Q, Wang X Y, et al. Molecular identification of sibling species of *Sclerodermus* (Hymenoptera: Bethyliade) that parasitize buprestid and cerambycid beetles by using partial sequences of mitochondrial DNA cytochrome oxidase subunit I and 28S ribosomal gene[J]. PLoS ONE, 2015, 10(3):1-15.
- [17] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994:318-329.
- [18] 林玉英, 金涛, 金启安, 等. 不同温度下褐带卷蛾茧蜂实验种群生命表[J]. 植物保护, 2018, 44(1):105-109.
- [19] 徐川峰, 骆丹, 殷立新, 等. 温度对樟叶蜂生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60(10):1216-1225.
- [20] 吴兴富, 李天飞, 魏佳宁, 等. 温度对烟蚜茧蜂发育、生殖的影响[J]. 动物学研究, 2000, 21(3):192-198.
- [21] 柴正群, 朱建青, 夏体渊, 等. 温度对蚜虫宽缘金小蜂发育和繁殖的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5):1133-1136.
- [22] 杜伟, 郭同斌, 颜学武, 等. 白蛾黑基啮小蜂的发育起点温度和有效积温[J]. 中国生物防治学报, 2009, 25(4):368-369.
- [23] 杨华. 川硬皮肿腿蜂实验种群生命表及成虫贮藏条件的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008.
- [24] Atkinson D. Temperature and organism size—a biological law for ectotherms [J]. Advances in Ecological Research, 1994, 5(6):1-58.
- [25] Davidowitz G, Nijhout H F. The Physiological Basis of Reaction Norms: The Interaction Among Growth Rate, the Duration of Growth and Body Size [J]. Integrative & Comparative Biology, 2004, 44(6):443-449.
- [26] 萧刚柔, 吴坚. 防治天牛的有效天敌—管氏肿腿蜂[J]. 林业科学, 1983, 19:81-84.
- [27] 萧刚柔. 天牛的两新寄生天敌[A]. 全国生物防治学术讨论会, 北京, 1995.

- [28] Ma C S, Hau B, Poehling H M. Effects of pattern and timing of high temperature exposure on reproduction of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum* [J]. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 2010, 110(1):65–71.
- [29] 段 敏, 杨念婉, 万方浩. 发育高温对烟粉虱寄生蜂雌蜂个体大小及抱卵量的影响[J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(1):13–18.
- [30] Neven L G. Physiological responses of insects to heat[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2000, 21(1):103–111.

Effect of Temperature on Development and Reproduction of *Sclerodermus alternatusi*

CHEN Ran¹, TANG Yan-long², TANG Hua¹, WANG Xiao-yi¹, YANG Zhong-qi¹

(1. Key Laboratory of Forest Protection, National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. School of Life Science and Agrotechnological Academy, Zunyi Normal College, Zunyi 563000, Gui zhou, China)

Abstract: [Objective] To clarify the effect of temperature on the reproduction and development of *Sclerodermus alternatusi*, the ectoparasitoid of *Monochamus alternatus*, and provide scientific supports for artificial rearing of parasitoid and biological control utilization in practice. [Method] The parasitoids were reared artificially at different constant temperatures (21, 24, 27, 30, and 33°C) under laboratory conditions. The development duration of each stage and the progeny number were recorded. The development threshold temperature and effective accumulated temperature were also calculated by using the least squares method. [Result] It showed that the development durations of *S. alternatusi* declined with the increase of temperature. For example, the durations of egg stage at the different temperature were 3.29 ± 0.14 , 2.89 ± 0.17 , 2.61 ± 0.14 , 2.16 ± 0.11 and 1.86 ± 0.93 days, respectively. The development threshold temperatures for egg, larva, pupa were 6.99 ± 2.12 , 10.67 ± 3.43 and 13.5 ± 2.71 °C, while the effective accumulated temperatures were 49.28 ± 5.08 , 166.67 ± 34.02 and 225 ± 43.30 degree-day respectively. The temperature also showed significant effects on the amount and sex ratio of the progenies. As the rearing temperature exceeded 30°C, the amount and male proportion of the progenies decreased significantly. [Conclusion] These findings reveal that the proper rearing temperature can improve the reproduction and development of *S. alternatusi*. However, once the temperature is over the optimum threshold, the parasitism of maternal parasitoids and development of progenies will be adversely affected. The optimum temperature range for artificial mass rearing is 24 ~ 30°C.

Keywords: *Sclerodermus alternatusi*; development threshold temperature; effective accumulated temperature; artificial rearing; male proportion

(责任编辑:崔贝)