

DOI:10.12403/j.1001-1498.20240124

# 松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生效果

王丽娜<sup>1</sup>, 唐艳龙<sup>1</sup>, 康奎<sup>1</sup>, 程涛<sup>1</sup>, 魏可<sup>2\*</sup>, 张庭婷<sup>3</sup>, 周先飞<sup>3</sup>

(1. 遵义师范学院生物与农业科技学院 贵州省赤水河流域动物资源保护与应用研究重点实验室, 贵州 遵义 563002; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所 国家林业和草原局森林保护学重点实验室, 北京 100091; 3. 汉滨区林业技术推广站, 陕西 安康 725000)

**摘要:** [目的] 为了明确松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生效果, 以期为利用肿腿蜂防治松褐天牛提供更充足的数据支撑。[方法] 本研究在室内条件下将不同比例的雌性松褐天牛肿腿蜂接种至松褐天牛预蛹和蛹上, 比较寄生效率、子代蜂发育情况的差异, 并同时在林间开展松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生效果评价。[结果] 室内条件下, 当蜂虫比为 4:1、6:1、8:1 时, 松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛预蛹的寄生率分别为 60.71%、85.19%、92.86%, 对蛹的寄生率分别为 96.67%、96.67% 和 100%。以预蛹为寄主时, 可育出子代蜂的寄主比例不超过 50.00%; 但寄生松褐天牛蛹时, 可育出子代蜂的寄主比例不低于 80%。松褐天牛肿腿蜂幼期发育进度并不受母蜂接种比例的影响; 但寄生松褐天牛蛹时, 子代蜂的发育历期较寄生松褐天牛预蛹时缩短近 1 d。母蜂接种比例显著影响子代蜂的数量, 当接蜂比例增加时子代蜂的数量也随之增大, 但每头寄主上育得肿腿蜂的平均数量均低于 100 头。子代蜂雄性比例受寄主虫态影响, 当寄主为松褐天牛预蛹时, 子代蜂雄性比例更大。松褐天牛肿腿蜂按蜂虫比 8:1 在林间释放后, 对松褐天牛预蛹和蛹的寄生率约为 30%。[结论] 松褐天牛肿腿蜂可成功寄生松褐天牛的预蛹和蛹, 但对松褐天牛蛹的寄生成功率更高。雌蜂高释放比无论是对于室内繁蜂效率还是林间寄生效果都具有促进作用。

**关键词:** 松褐天牛; 松褐天牛肿腿蜂; 蛹期; 生物防治

**中图分类号:** Q968

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2024)06-0128-08

以管氏肿腿蜂 (*Sclerodermus guani*) 为代表的硬皮肿腿蜂类天敌昆虫是我国在林木蛀干类天牛、吉丁虫的生物防治中应用时间最长、范围最广的一类生防资源<sup>[1]</sup>。特别是针对光肩星天牛 (*Anoplophora glabripennis*)、松褐天牛 (*Monochamus alternatus*)、栗山天牛 (*Massicus raddei*)、锈色粒肩天牛 (*Apriona swainsoni*) 等重大天牛类害虫的生物防治, 多种硬皮肿腿蜂类天敌发挥了一定的作用, 这其中包括了发现于 20 世纪末的管氏肿腿蜂和川硬皮肿腿蜂

(*S. sichuanensis*), 以及近 10 年来新发现的白蜡吉丁肿腿蜂 (*S. pupariae*) 和松褐天牛肿腿蜂 (*S. alternatus*)<sup>[2]</sup>。

松褐天牛是我国松材线虫病最主要的传播媒介, 控制媒介昆虫是我国现行的松材线虫病防治技术方案的主要手段。生物防治是绿色可持续的控制松褐天牛种群数量的方案之一。在利用肿腿蜂防治松褐天牛的研究和实践中, 张连芹等<sup>[3]</sup>较早利用了管氏肿腿蜂来防治松褐天牛, 防治效果可达 40%; 陈沐荣等<sup>[4]</sup>在深圳利用管氏肿腿蜂防治松褐

收稿日期: 2024-03-26 修回日期: 2024-04-29

基金项目: 中国林科院基本科研业务费专项资金 (CAFYBB2021ZG001); 贵州省教育厅创新群体项目 (黔教合人次 KY 字 [2020]026)

作者简介: 王丽娜, 硕士, 实验师, 研究方向为森林保护与害虫生物防治, E-mail: 15120086160@163.com

\* 通讯作者: 魏可, 博士, 副研究员, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: weike@caf.ac.cn

天牛幼虫,平均寄生率为35.2%。一系列类似的利用管氏肿腿蜂防治松褐天牛的试验,还在江苏<sup>[5]</sup>、湖北<sup>[6]</sup>、贵州<sup>[7]</sup>、福建<sup>[8]</sup>和江西<sup>[9]</sup>等多地均有应用。松褐天牛肿腿蜂因其最初被发现时的自然寄主即为松褐天牛,近些年在松褐天牛生物防治中应用较多<sup>[2, 10-13]</sup>。在以上这些利用肿腿蜂防治松褐天牛的研究中,均是以松褐天牛幼虫,特别是低龄幼虫为防治对象。因为松褐天牛中老年幼虫具有坚硬的上颚,其在防御肿腿蜂寄生时往往会直接将成蜂咬死。同时,3龄以上的松褐天牛幼虫已经潜入木质部为害,虫道被蛀屑堵塞,肿腿蜂不容易穿过虫道完成寄生。因此,在利用肿腿蜂防治松褐天牛时,靶向的防治时期均为1~3龄的低龄幼虫期。本课题组在调查白蜡吉丁肿腿蜂对光肩星天牛的寄生情况时,发现部分处于蛹室内的光肩星天牛预蛹和蛹也能被寄生<sup>[14]</sup>,即表明少量的肿腿蜂可以穿过被蛀屑堵塞的虫道,对天牛预蛹和蛹这些物理防御能力不足的个体完成寄生。基于此,本研究评价了松褐天牛肿腿蜂在室内条件下对松褐天牛预蛹和蛹的寄生效率,并记录了其寄生天牛预蛹和蛹时子代蜂的发育情况。同时,本研究还评估了在林间释放松褐天牛肿腿蜂对处于预蛹和蛹期的松褐天牛的寄生作用。通过这些研究内容,以期利用肿腿蜂防治松褐天牛提供更充足的数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫与实验条件

松褐天牛肿腿蜂由国家林草局森林保护学重点实验室提供,供试蜂为在室内用替代寄主麻竖毛天牛(*Thyestilla gebleri*)连续繁育40代的种群中随机挑选的雌性个体。松褐天牛的预蛹和蛹采集自遵义市播州区金鼓村(27.582 4° N, 106.771 6° E)受松褐天牛危害的马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)林间,其中松褐天牛蛹为体色还未褐变和骨化的低龄蛹。利用人工气候箱设置温度 $27 \pm 0.5$  °C,湿度50%~70%,光周期L:D=8:16,光照强度3 000 LX为繁蜂条件。

### 1.2 室内条件下肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生能力

将新采集的松褐天牛预蛹和蛹各90头,单头装入玻璃指形管内(直径2.0 cm,高8.0 cm)。

随后将置有松褐天牛预蛹和蛹的指形管分别分为3组,即每组包括30头寄主。选择已交配的3日龄松褐天牛肿腿蜂雌蜂用于接种,设置接蜂比例(蜂虫比)为4:1、6:1、8:1。依据接蜂比例将相应数量的肿腿蜂接入指形管内,随后用脱脂棉塞紧管口,并置于上述人工气候箱内。肿腿蜂成功寄生后,会将卵产于寄主体表,且能直接观察,记录被寄生的寄主数量。记录肿腿蜂的产卵前期,即从接蜂至观察到寄主体表出现肿腿蜂卵的间隔期。记录卵期、幼虫期和蛹期;其中卵期为产卵开始至发现有初孵幼虫的间隔期、幼虫期为发现初孵幼虫至出现茧的间隔期、蛹期为发现茧至有成蜂羽化的间隔期。待子代蜂羽化结束后,分别记录子代雌性和雄蜂的数量,计雄蜂数占子代总数的百分比为雄性比。

### 1.3 林间条件下肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生能力

2022年4月下旬在遵义市播州区金鼓村(27.582 4° N, 106.771 6° E)选择18株受松褐天牛危害的马尾松伐倒并置于林内,此时松褐天牛发育至预蛹和蛹期。将每6株马尾松分为1组,剥除各自树皮后对每株上的松褐天牛侵入孔进行计数,并按照松褐天牛肿腿蜂:侵入孔为4:1、6:1和8:1的比例,将3日龄的肿腿蜂雌蜂均匀释放在树干上。肿腿蜂释放1个月后,对上述马尾松逐一解剖,统计肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生率。

### 1.4 统计与分析

室内实验中,不同接蜂比例下松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生率,以及可繁育出子代蜂的寄主比例用Fisher's精确检验分析其差异。不同接蜂比例下肿腿蜂寄生松褐天牛预蛹或蛹后,母蜂产卵前期、子代幼期发育历期、子代数量、子代雄性比例采用双因素方差分析检验其差异,并考虑交互作用。林间不同释放比例条件下松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生率用单因素方差分析检验其差异。不同处理间的多重比较采取Tukey HSD法。在方差分析中,百分比数据经反正弦转换后满足正态分布,随后再用于差异性检验;其余数据直接用于差异性检验。数据统计用SPSS 20完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 松褐天牛肿腿蜂寄生松褐天牛预蛹和蛹的寄生率和子代羽化率

当寄主为松褐天牛预蛹时, 不同接蜂比例下松褐天牛肿腿蜂的寄生率差异显著 ( $\chi^2=6.864$ ,  $df=2$ ,  $P=0.042$ )。蜂虫比为 4:1 时, 寄生率为 60.71%; 6:1 时, 寄生率为 85.19%; 8:1 时寄生率最高, 为 92.86% (表 1)。虽然不同接蜂比例下被成功寄生的松褐天牛预蛹数差异显著, 但最终可成功繁殖出子代蜂的寄主数量并无显著差异

表 1 室内条件下松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生效果

Table 1 Parasitism efficiency of *Sclerodermus alternatus* to *Monochamus alternatus* pre-pupa or pupa under laboratory conditions

寄主虫态 Host stage	蜂虫比 Parasitoid-host ratio	供试寄主数/头 Number of host	被寄生寄主数/头 Parasitized host	寄生率/% Parasitism rate	可育出子代蜂的寄主数/头 Number of host produced wasp offspring	可育出子代蜂的寄主比例/% Proportion of host produced wasp offspring
预蛹 Pre-pupa	4:1	30	17	60.71 b	12	40.00 b
	6:1	30	23	85.19 a	13	43.33 b
	8:1	30	26	92.86 a	15	50.00 b
蛹 Pupa	4:1	30	29	96.67 a	26	86.67 a
	6:1	30	29	96.67 a	24	80.00 a
	8:1	30	30	100.00 a	28	93.33 a

注: 不同的小写字母表示在5%水平上存显著差异。下同

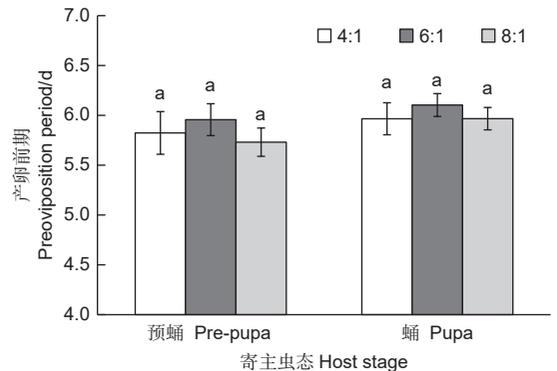
Notes: Different letters in the columns indicate significant difference at  $\alpha=0.05$ . The same below

### 2.2 松褐天牛肿腿蜂寄生松褐天牛预蛹和蛹时的产卵前期和子代发育历期

结果表明, 寄主虫态和接蜂比例对松褐天牛肿腿蜂的产卵前期均无显著影响 (寄主虫态:  $F=2.066$ ,  $df=1$ , 153,  $P=0.153$ ; 接蜂比例:  $F=0.847$ ,  $df=2$ , 153,  $P=0.431$ ), 两者的交互作用对雌蜂产卵前期亦无显著影响 ( $F=0.067$ ,  $df=2$ , 153,  $P=0.431$ )。任一接蜂比例下, 松褐天牛肿腿蜂寄生松褐天牛预蛹或蛹后的产卵前期均约为 6 d, 各处理间无显著差异 ( $F=0.797$ ,  $df=5$ , 153,  $P=0.553$ ) (图 1)。由表 2 可知, 母蜂成功寄生生产卵后, 子代卵期不受寄主虫态和母蜂接种比例的影响 (寄主虫态:  $F=1.059$ ,  $df=1$ , 153,  $P=0.305$ ; 接蜂比例:  $F=1.641$ ,  $df=2$ , 153,  $P=0.197$ )。各处理的卵期均约为 4 d, 组间无显著差异 ( $F=1.047$ ,  $df=5$ , 153,  $P=0.392$ )。不同的寄主虫态和接蜂密度同样不影响子代的幼虫期 (寄主虫态:  $F=0.002$ ,  $df=1$ , 119,  $P=0.305$ ; 接蜂比

( $\chi^2=0.654$ ,  $df=2$ ,  $P=0.804$ ); 任何接蜂比例下可繁殖出子代蜂的松褐天牛预蛹的比例均不超过 50% (表 1)。当寄主为松褐天牛蛹时, 不同接蜂比例下的寄生率和可育出子代蜂的寄主比例均无显著差异 (寄生率:  $\chi^2=1.265$ ,  $df=2$ ,  $P=1$ ; 可育子代蜂寄主比例:  $\chi^2=2.248$ ,  $df=2$ ,  $P=0.374$ ) (表 1); 不同接蜂比例下的寄生率均在 96% 以上, 且可成功繁殖出子代蜂的寄主比例亦不低于 80%。总体上, 松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛蛹的寄生效率高于预蛹。

例:  $F=1.641$ ,  $df=2$ , 153,  $P=0.197$ )。寄主虫态会显著影响松褐天牛肿腿蜂子代蛹期和总幼期历期



注: 柱形图数据为均值  $\pm$  标准误, 相同小写字母表示在 5% 水平差异不显著

Note: Data are mean  $\pm$  SE; the same letters on the bars indicate no significant difference at  $\alpha=0.05$

图 1 松褐天牛肿腿蜂寄生不同虫态松褐天牛时的产卵前期  
Fig. 1 The pre-oviposition period of *Sclerodermus alternatus* parasitized on different stage of *Monochamus alternatus*

(蛹期:  $F=12.178$ ,  $df=1$ ,  $117$ ,  $P=0.001$ ; 幼期历期:  $F=8.643$ ,  $df=1$ ,  $117$ ,  $P=0.004$ ); 总体上肿腿蜂以松褐天牛预蛹为寄主时, 子代蜂蛹期和幼期历期较以松褐天牛蛹为寄主时略长。然而, 接蜂比例对肿腿蜂子代的蛹期和幼期力期并无显著影响

(蛹期:  $F=0.570$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.567$ ; 幼期历期:  $F=0.242$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.785$ ); 寄主虫态和接蜂比例的交互作用亦不影响肿腿蜂子代蛹期和幼期历期(蛹期:  $F=0.272$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.762$ ; 幼期历期:  $F=0.944$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.392$ )。

表 2 松褐天牛肿腿蜂寄生不同虫态松褐天牛时子代的发育历期

Table 2 Developmental duration of *Sclerodermus alternatus* progeny on different stage of *Monochamus alternatus*

寄主虫态 Host stage	蜂虫比 Parasitoid-host ratio	卵期 Duration of egg stage/d	幼虫期 Duration of larval stage/d	蛹期 Duration of pupal stage/d	幼期历期 Duration of immature stage/d
预蛹 Pre-pupa	4 : 1	3.59 ± 0.17 a	8.58 ± 0.26 a	16.08 ± 0.34 a	27.92 ± 0.29 a
	6 : 1	3.35 ± 0.14 a	8.38 ± 0.37 a	15.85 ± 0.30 ab	27.31 ± 0.38 a
	8 : 1	3.58 ± 0.11 a	8.19 ± 0.26 a	15.87 ± 0.22 ab	27.33 ± 0.37 a
蛹 Pupa	4 : 1	3.52 ± 0.09 a	8.26 ± 0.24 a	15.35 ± 0.17 ab	26.54 ± 0.29 a
	6 : 1	3.34 ± 0.09 a	8.33 ± 0.22 a	15.38 ± 0.22 ab	26.88 ± 0.35 a
	8 : 1	3.37 ± 0.09 a	8.54 ± 0.25 a	15.07 ± 0.18 b	26.64 ± 0.26 a

### 2.3 松褐天牛肿腿蜂寄生松褐天牛预蛹和蛹时的子代数量

结果表明, 接蜂比例对松褐天牛子代雄性数量、雌性数量和总数有显著影响(子代雄蜂数:  $F=4.171$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.018$ ; 子代雌蜂数:  $F=4.017$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.021$ ; 子代总数  $F=4.212$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.017$ ), 具体表现为当每头寄主上接种的母蜂为 6 头及以上时, 会显著提升子代产出数。寄主松褐天牛的虫态对育出子代蜂数无显著影响(子代雄蜂数:  $F=2.565$ ,  $df=1$ ,  $117$ ,

$P=0.112$ ; 子代雌蜂数:  $F=1.093$ ,  $df=1$ ,  $117$ ,  $P=0.298$ ; 子代总数:  $F=0.586$ ,  $df=1$ ,  $117$ ,  $P=0.446$ )。寄主虫态和接蜂比例之间的交互作用亦对子代蜂育出数无影响(子代雄蜂数:  $F=0.360$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.699$ ; 子代雌蜂数:  $F=0.180$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.836$ ; 子代总数:  $F=0.187$ ,  $df=2$ ,  $117$ ,  $P=0.830$ )。子代雄性比例受寄主虫态影响( $F=6.567$ ,  $df=1$ ,  $117$ ,  $P=0.012$ ), 当寄主为松褐天牛预蛹时, 育出松褐天牛肿腿蜂雄性比例更大(表 3)。

表 3 不同蜂虫比下松褐天牛肿腿蜂寄生松褐天牛预蛹和蛹的子代数及雄性比

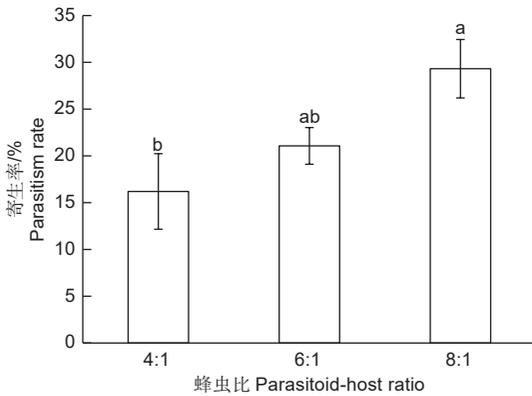
Table 3 Progeny number and male rate of *Sclerodermus alternatus* on different stage of *Monochamus alternatus*

寄主虫态 Host stage	蜂虫比 Parasitoid-host ratio	子代雄蜂数/头 Numbers of male offspring	子代雌蜂数/头 Numbers of female offspring	子代总数/头 Progeny number	雄性比/% Proportion of male offspring
预蛹 Pre-pupa	4 : 1	7.50 ± 2.35 ab	42.92 ± 13.89 b	50.42 ± 15.96 b	21.97 ± 4.70 a
	6 : 1	8.31 ± 1.87 ab	72.62 ± 18.01 a	80.92 ± 19.66 a	13.14 ± 2.28 ab
	8 : 1	10.73 ± 2.80 a	70.53 ± 14.84 a	81.27 ± 17.33 a	14.33 ± 2.02 ab
蛹 Pupa	4 : 1	3.85 ± 0.46 b	51.19 ± 7.22 b	55.04 ± 7.53 b	10.54 ± 1.63 b
	6 : 1	6.58 ± 1.05 ab	77.38 ± 10.71 a	83.96 ± 11.43 a	10.10 ± 1.47 b
	8 : 1	9.75 ± 1.40 ab	89.21 ± 10.36 a	98.96 ± 11.06 a	13.66 ± 2.27 ab

### 2.4 林间条件下松褐天牛肿腿蜂的寄生作用

林间试验结果表明, 松褐天牛肿腿蜂可以寄生马尾松内的松褐天牛预蛹和蛹, 不同释放比例下的寄生率存在显著差异( $F=4.411$ ,  $df=2$ ,  $17$ ,  $P=0.031$ )。

当松褐天牛肿腿蜂以蜂虫比 4 : 1、6 : 1 和 8 : 1 时, 其平均寄生率分别为 16.20%、21.07% 和 29.32% (图 2)。



注：柱形图数据为均值 ± 标准误。不同小写字母表示在 5% 水平差异显著

Notes: Data are mean ± SE. The different letters on the bars indicate significant difference at  $\alpha=0.05$

图 2 松褐天牛肿腿蜂田间寄生松褐天牛蛹的效果  
Fig. 2 The field parasitism rate of *Sclerodermus alternatus* on pre-pupa and pupa of *Monochamus alternatus*

### 3 讨论

媒介天牛防治是我国松材线虫病综合防治的重要方向。当前，国家林草局发布的以除治疫木为基础的松材线虫病防治技术方案，其核心也是通过除治疫木阻止媒介天牛羽化，进而达到控制疫情传播的目的。生物防治作为媒介天牛综合防治中重要的技术环节，在诸如水源地、保护地等重点生态区，有其独特的适用场景。我国在松褐天牛生物防治上一直利用肿腿蜂来防治其低龄幼虫，用花绒寄甲来防治其蛹<sup>[15]</sup>，近期开发的一种专性寄生松褐天牛 3~4 龄幼虫的松褐天牛中脊茧蜂 (*Cyanopterus ninghais*) 也有望被投入应用<sup>[16-18]</sup>。在过往应用肿腿蜂防治松褐天牛的实践中，防治靶标一直是松褐天牛的 1~3 龄幼虫。本研究结果表明，松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛的预蛹和蛹也具备寄生能力，无论是在实验室条件下还是在林内，均有一部分肿腿蜂可成功完成对松褐天牛预蛹和蛹的寄生。室内裸露寄生条件下，除按 4:1 为蜂虫比将母蜂接种至松褐天牛预蛹时寄生率较低外，其余接种比例下肿腿蜂对松褐天牛预蛹和蛹的寄生率均可达到 85% 以上。本研究中，松褐天牛预蛹作寄主时，以 4:1 蜂虫比接蜂普遍出现母蜂不能成功麻痹制服寄主的情况，造成寄生率最低。其他处理中也有少数寄主未能被成功寄生的情况，这部分寄主虽已经完全被麻痹且不再活动，但母蜂可能是消耗过多

的能量用于制服寄主，而造成其未能产卵。肿腿蜂寄生不同虫态的松褐天牛时，能够成功繁育出子代成蜂的寄主比例存在很大的差异。当寄主为松褐天牛预蛹时，任何接蜂比例下可繁殖出子代蜂的寄主比例均不超过 50%；而以松褐天牛蛹为寄主时，这一数值均不低于 80%。在试验中发现，母蜂寄生松褐天牛预蛹后，在子代蜂的低龄幼虫期会有近 40% 的寄主出现变黑和腐烂，进而导致了肿腿蜂子代死亡。推测，造成这一结果的原因可能跟预蛹在即将变态发育至蛹时，其体内呈液态的组织过多，肿腿蜂母蜂在寄生时注射到寄主体内的毒液不足以维持其保鲜作用，进而引起的寄主组织腐烂。此外，当母蜂产卵量少但寄主个体较大时，会造成幼蜂不能完全利用寄主组织，这同样也会引起寄主腐败。当然，本试验中肿腿蜂成功寄生松褐天牛蛹且产卵后，也有约 11% 的寄主最终未能繁殖出子代成蜂，造成这一结果的原因亦是由于寄主组织提前腐败，只是其比例较预蛹更低。

松褐天牛肿腿蜂为卵育型寄生蜂，即雌蜂需要先补充营养后卵才能发育成熟。当将肿腿蜂接种至寄主后，雌蜂先用蜂毒将寄主麻痹，然后再吸食寄主血淋巴补充营养促进卵成熟，最后再将卵产于寄主体表。因此，产卵前期的长短反映了雌蜂在制服和麻痹寄主过程中的效率。本研究中，任何接种比例下雌蜂寄生松褐天牛预蛹和蛹的产卵前期均约为 6 d，表明雌蜂在制服这 2 种虫态的松褐天牛的能力上并无差异。同时，即便是将接蜂比例提升一倍后 (8:1 v.s. 4:1)，产卵前期也并未显著缩短，这与将麻天牛幼虫作为松褐天牛肿腿蜂寄主时的结果一致<sup>[19]</sup>。通常，寄生蜂子代幼期的发育速率最主要会受到发育环境温度的影响，大致表现为随温度升高发育速率更快<sup>[13, 18, 20]</sup>。另一方面，寄生蜂人工繁殖时的接蜂数量也在一定程度上影响其完成一个世代所需的时长。当松褐天牛肿腿蜂和白蜡吉丁肿腿蜂以麻竖毛天牛为寄主时，高接蜂比下 (大于 4:1) 的子代蜂幼期历期较低接蜂比时缩短 1~2 d<sup>[19, 21]</sup>。母蜂数量对子代发育速率的影响一般来说是间接效应，即母蜂数量提高实际上是增加了在单头寄主上发育的子代蜂的密度，而在限定寄主上高密度的幼蜂因为个体间对寄主资源的竞争更强，往往会较低密度时发育速率加快<sup>[22]</sup>。然而，本研究中母蜂接种比例提高时，未发现子代发育速度有明显的提升。推测，因供试寄主松褐天牛预蛹和

蛹的质量足够大,能为不同母蜂比例下的子代幼蜂提供充足的营养,幼蜂个体间未形成寄主资源竞争,故不同处理下幼蜂的发育历期未表现出明显差异。

本研究以松褐天牛预蛹或蛹为寄主时,一头寄主上平均可育出的松褐天牛肿腿蜂数量为50~98头,其中雌蜂数量为42~89头。前期研究发现,当寄主为麻竖毛天牛幼虫,松褐天牛肿腿蜂接种量为1~6头时,每头寄主上可育出的子代蜂数为54~98头<sup>[19]</sup>。同样,当白蜡吉丁肿腿蜂接种量为1~8头,寄主为麻竖毛天牛幼虫时,可育出的子代蜂数为95~180头<sup>[23]</sup>。用于本研究的松褐天牛预蛹和蛹的个体重量( $\approx 0.6$  g)要远大于麻竖毛天牛幼虫( $\approx 0.25$  g),但前者并没有繁育出更多的子代蜂。这一结果表明,松褐天牛预蛹和蛹虽然可以作为松褐天牛肿腿蜂的繁蜂寄主,但其繁蜂效率并未因其体重更大而提高。同时,松褐天牛肿腿蜂寄生松褐天牛预蛹或蛹时,其平均子代雄性比例也都超过10%,甚至可达到20%。这一结果远大于多种肿腿蜂在人工繁蜂时的雄性比例<sup>[24]</sup>,也说明了松褐天牛预蛹和蛹虽可用于繁蜂,但能提供的寄主适合度更低。

松褐天牛3龄以上的幼虫上颚发达、活跃度高,释放的肿腿蜂即便是在林间成功搜索到这些龄期的松褐天牛幼虫后,也多数会被天牛幼虫咬死。松褐天牛预蛹和蛹的活跃度降低,抵御肿腿蜂寄生的能力减弱,这为林间释放肿腿蜂防治该时期的松褐天牛提供了可能。当然,虽然理论上肿腿蜂可能更容易制服预蛹和蛹期的松褐天牛,但它们能搜索到寄主才是寄生成功的关键。当松褐天牛处于预蛹或蛹期时,其虫道一般在侵入孔处会有一小段被蛀屑堵塞,而其后的部分畅通,在蛹室口处又被蛀屑堵塞<sup>[25]</sup>。因此,即便是以8:1的高释放比例放蜂后,松褐天牛肿腿蜂对处于预蛹和蛹的松褐天牛的寄生率最高也仅约30%。另外,还需意识到上述结果是基于将松褐天牛肿腿蜂释放在伐倒且剥除树皮后的马尾松上获得的,这可能会引起寄生率被人为提高,因为被释放的肿腿蜂可以直接面对松褐天牛的侵入孔,而省去了在实际应用中其需要从树皮外搜寻和进入到侵入孔的过程。当然,将释放肿腿蜂作为蛹期松褐天牛综合防治时的一个可选方案,或者作为一种辅助措施,特别是在水源地、自然保

护地等场景下,仍然是值得被采纳的技术。

## 4 结论

(1) 在室内接种和野外自然状态下,松褐天牛肿腿蜂均可成功寄生松褐天牛的预蛹和蛹。

(2) 在实验室条件下,松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛蛹的寄生成功率高于预蛹。以松褐天牛蛹为寄主时,能够成功繁育出肿腿蜂子代成蜂的寄主比例较以松褐天牛预蛹为寄主时更高。不同接蜂比例下,无论寄主是松褐天牛预蛹或蛹,母蜂产卵前期均约为6 d。当肿腿蜂以松褐天牛预蛹为寄主时,其子代的蛹期和幼期发育历期较以松褐天牛蛹为寄主时略长1 d;接蜂比例对子代蜂的发育进度并无显著影响。无论寄主是松褐天牛预蛹或蛹,更高的接蜂比例可以繁殖得到数量更多的子代蜂。

(3) 林间环境内,在松褐天牛蛹期释放松褐天牛肿腿蜂后,最高的寄生率约30%。但考虑该结果是基于松树伐倒并剥除树皮后再定点释放肿腿蜂,故在立木上的实际寄生作用应较这一结果更低。

## 参考文献:

- [1] 杨忠岐,王小艺,曹亮明,等. 管氏肿腿蜂的再描述及中国硬皮肿腿蜂属 *Sclerodermus* (Hymenoptera: Bethyilidae) 的种类 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(1): 1-12.
- [2] 杨忠岐,王小艺,张煜楠,等. 以生物防治为主的综合控制我国重大林木病虫害研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(2): 163-183.
- [3] 张连芹,宋世涵,黄焕华,等. 利用引诱剂和肿腿蜂防治松墨天牛的研究 [J]. 林业科学研究, 1991, 4(3): 285-290.
- [4] 陈沐荣,宋世涵,张连芹,等. 释放管氏肿腿蜂防治松材线虫病的研究 [J]. 中国生物防治, 1996, 12(2): 52-54.
- [5] 徐克勤,徐福元,王敏敏,等. 应用管氏肿腿蜂防治松褐天牛 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(3): 48-52.
- [6] 王功桂,周灵会,王长旭,等. 管氏肿腿蜂防治松墨天牛技术 [J]. 中国森林病虫, 2004, 23(3): 32-34.
- [7] 程绍传,余金勇,朱秀娥,等. 管氏肿腿蜂在两种试验条件下对松墨天牛入木幼虫的寄生 [J]. 中国森林病虫, 2007, 26(6): 9-11.
- [8] 康文通,汤陈生,梁农,等. 应用管氏肿腿蜂林间防治松墨天牛 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(6): 575-579.
- [9] 温小遂,李金,廖三腊,等. 释放管氏肿腿蜂防治松墨天牛试验 [J]. 生物灾害科学, 2015, 38(4): 298-301.
- [10] JIANG Y, YANG Z Q, WANG X Y, et al. Molecular identification of sibling species of *Sclerodermus* (Hymenoptera: Bethyilidae) that parasitize buprestid and cerambycid beetles by using

- partial sequences of Mitochondrial DNA Cytochrome Oxidase Subunit 1 and 28s Ribosomal RNA gene[J]. PLOS ONE, 2015, 10(3): e0119573.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 陈 然, 唐艳龙, 唐 桦, 等. 温度对松褐天牛肿腿蜂繁殖和发育的影响[J]. 林业科学研究, 2019, 32(4): 114-119.
- [14] 魏可. 多寄主型寄生蜂白蜡吉丁肿腿蜂应对环境变化的行为和发育策略研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016.
- [15] 张彦龙, 王小艺, 杨忠岐, 等. 松材线虫病媒介昆虫的天敌及其应用研究进展[J]. 中国森林病虫, 2022, 41(3): 21-29.
- [16] 王少博, 韩孟娇, 魏 可, 等. 松褐天牛中脊茧蜂生物学特性研究[J]. 昆虫学报, 2024, 67(1): 68-77.
- [17] WANG S B, HAN M J, WEI K, *et al.* The temperature-dependent functional response and mutual interference of *Cyanopterus ninghais* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)[J]. Forests, 2023, 14: 2024.
- [18] WANG S B, HAN M J, WEI K, *et al.* Effects of temperature on reproduction and development of *Cyanopterus ninghais* (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)[J]. Journal of Applied Entomology, 2024, 148(4): 415-423.
- [19] 唐艳龙, 王丽娜, 张彦龙, 等. 不同建群蜂数对松褐天牛肿腿蜂繁育效果的影响[J]. 林业科学, 2020, 56(9): 97-103.
- [20] DUAN J J, SCHMUDE J M, WANG X Y, *et al.* Host utilization, reproductive biology, and development of the larval parasitoid *Tetrastichus planipennis* as influenced by temperature: Implications for biological control of the emerald ash borer in North America[J]. Biological Control, 2018, 125: 50-56.
- [21] GAO S K, WEI K, TANG Y L, *et al.* Effect of parasitoid density on the timing of parasitism and development duration of progeny in *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethyilidae)[J]. Biological Control, 2016, 97: 57-62.
- [22] JERVIS M A, ELLERS J, HARVEY J A. Resource acquisition, allocation, and utilization in parasitoid reproductive strategies[J]. Annual Review of Entomology, 2008, 53: 361-385.
- [23] WEI K, GAO S K, TANG Y L, *et al.* Determination of the optimal parasitoid-to-host ratio for efficient mass-rearing of the parasitoid, *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethyilidae)[J]. Journal of Applied Entomology, 2017, 141(3): 181-188.
- [24] 唐艳龙, 王丽娜, 王艳芹, 等. 不同建群蜂数对肿腿蜂子代性比的影响[J]. 林业科学, 2022, 58(6): 161-168.
- [25] 高尚坤, 马深成, 杨化伟, 等. 松褐天牛的蛀道结构系统研究[J]. 林业科学研究, 2022, 35(2): 148-153.

# Parasitism Effects of *Sclerodermus alternatusi* (Hymenoptera: Bethyilidae) on Pre-pupa and Pupa of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)

WANG Li-na<sup>1</sup>, TANG Yan-long<sup>1</sup>, KANG Kui<sup>1</sup>, CHENG Tao<sup>1</sup>, WEI Ke<sup>2</sup>,  
ZHANG Ting-ting<sup>3</sup>, ZHOU Xian-fe<sup>3</sup>

(1. Laboratory of Regional Characteristic for Conservation and Utilization of Animal Resource in Chishui River Basin, College of Biology and Agriculture, Zunyi Normal University, Zunyi 563002, Guizhou, China; 2. Key Laboratory of Forest Protection of National Forestry and Grassland Administration, Ecology and Nature Conservation Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Hanbin Forestry Technology Extension Station, Ankang 725000, Shaanxi, China)

**Abstract:** [Objective] *Sclerodermus alternatusi* is an important biocontrol agent of *Monochamus alternatus*. To understand the parasitism effects of *S. alternatusi* on pre-pupa and pupa of *M. alternatus* and provide more sufficient data in supporting the biocontrol of this beetle. [Method] The parasitism efficiency and offspring development were investigated when different numbers of foundresses inoculated on the pre-pupa and pupa of *M. alternatus* under laboratory conditions. Meanwhile, the parasitism rate of the wasp to *M. alternatus* pre-pupa and pupa was also evaluated in the field. [Result] The results showed that both the pre-pupa and pupa of *M. alternatus* could be parasitized by the bethyilid. The parasitism rates to the pre-pupa were 60.71%, 85.19%, 92.86%, and the parasitism rates to the pupa were 96.67%, 96.67%, 100%, respectively when *Sclerodermus alternatusi* - *Monochamus alternatus* ratio was 4 : 1, 6 : 1, and 8 : 1. The proportions of pre-pupa host could produce wasp offspring were less than 50%; while more than 80% pupa host would produce wasp offspring. The developmental progress of the immature stage were not impacted by the foundress densities, but it was shorted nearly one day when the parasitoid used the pupa as host compared to the pre-pupa as host. The numbers of offspring increased with the increasing foundress densities, but the average number of offspring produced from each host was less than 100. In addition, higher proportions of male were produced when the maternal wasp parasitizing *M. alternatus* pre-pupa. The parasitism rate to the *M. alternatus* pre-pupa and pupa was about 30% when the parasitoid adults were released with a parasitoid-host ratio of 8 : 1 in the field. [Conclusion] *S. alternatusi* can successfully parasitize the pre-pupae and pupae of *M. alternatus* but achieve higher fitness in parasitizing the pupae host. High release ratio of female wasp has a promoting effect on both artificial rearing and field parasitism.

**Keywords:** *Monochamus alternatus*; *Sclerodermus alternatusi*; pupal stage; biological control

(责任编辑: 崔 贝)