

松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛低龄幼虫控制作用的研究

杨远亮¹, 杨忠岐^{1*}, 王小艺¹, 喻锦秀², 颜学武²

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091;
2. 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 研究测定了松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛 1~3 龄幼虫的控制作用, 采用林间和室内罩网相结合的方法研究了 2 组松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛幼虫的寄生情况。结果显示: 在室内试验条件下, 松褐天牛肿腿蜂产卵之前的刺蛰、补充营养取食能直接造成松褐天牛 1~3 龄幼虫死亡, 对 1、2 及 3 龄幼虫的平均致死率分别为 95.66%、85.91%、57.88%, 并可产卵寄生 2、3 龄幼虫; 林间释放 2 组松褐天牛肿腿蜂后, 在刺蛰和补充营养取食后能有效寄生寄主的肿腿蜂雌蜂数量比例变化较大, 有效肿腿蜂率最高为 14.9%, 最低为 2.3%。松褐天牛肿腿蜂寄生行为不受寄主聚集程度的影响, 但刚羽化出茧肿腿蜂雌蜂的寄生效率比经饲喂后的雌蜂高近 5 倍。从肿腿蜂单一个体来看, 每头雌蜂补充营养取食和产卵寄生致死的松褐天牛幼虫数为 2.1~7.7 头。松褐天牛肿腿蜂雌蜂的补充营养习性、刺蛰、取食致死寄主行为在防治中有很重要的作用, 表明该种肿腿蜂是防治松褐天牛的重要天敌, 在生物防治松褐天牛幼龄幼虫上具有良好的应用前景。

关键词: 松褐天牛肿腿蜂; 松褐天牛幼虫; 生物防治; 取食寄主; 寄生寄主

中图分类号: S763

文献标识码: A

Predation and Parasitism of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethyidae) on the Young Larvae of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)

YANG Yuan-liang¹, YANG Zhong-qi¹, WANG Xiao-yi¹, YU Jin-xiu², YAN Xue-wu²

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration of China, Beijing 100091, China; 2. Hu'nan Forestry Academy, Changsha 410004, Hu'nan, China)

Abstract: *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethyidae) is one of the few known natural enemies of pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). An experiment was carried out on controlling the larva of *M. alternatus* by using a parasitoid, *Sclerodermus* sp. The results are as follows. Laboratory experiment indicated that the parasitoid could kill 95.66% of the 1st instar larvae, 85.91% of the 2nd instar larvae, and 57.88% of the 3rd instar larva of pine sawyer by stinging and host-feeding (by predation). In addition, the bethyid could parasitize its host and complete a generation on the 2nd-3rd instar of its host larvae (by parasitism); the response of this parasitoid to its host, in field and indoor mesh, showed to be highly variable and unpredictable and between 2.3% and 14.9% of all parasitoids released and entered a target pine sawyer-infested cutlog. The parasitoid did not respond differently to aggregations of 1, 3, or 6 pine sawyer-infested cutlogs. However, the efficiency of *Sclerodermus* sp. released as carrying immature eggs of parasitized hosts was up to approximately five times higher than that when the parasitoid was released as carrying mature eggs. An individual parasitoid killed 2.1 to 7.7 pine sawyer larva by a

收稿日期: 2012-07-04

基金项目: 林业公益性行业科研专项项目(200904025); 中央财政林业科技跨区域重点推广示范项目“天敌昆虫防治松材线虫病技术推广”([2009]TK060)

作者简介: 杨远亮(1982—), 男, 四川成都人, 博士研究生。主要研究方向: 害虫生物防治。E-mail: yangyuanliang513@yahoo.cn

* 通讯作者: 教授。主要研究方向: 害虫生物防治。E-mail: yangzhqi@126.com

combination of predation and parasitism on the average. The host-feeding characteristics of *Sclerodermus* sp. offer an important impact in the biological control for the use of this parasitoid.

Key words: *Sclerodermus* sp. ; *Monochamus alternatus* larva; biological control; host-feeding; parasitism

目前,对我国马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.) 危害最严重且造成重大经济损失的是松材线虫病,病原为松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner) Nickle),而松材线虫主要是由松褐天牛(*Monochamus alternatus* Hope)传播,松褐天牛自身也是危害马尾松的主要害虫^[1-3]。松材线虫原产北美洲,但并未对本地松树造成严重危害;然而,其作为外来有害入侵物种,在亚洲的日本、韩国和中国却引起松树大量死亡^[4-5],堪称“不冒烟的森林火灾”,松材线虫已成为我国和国际上重要的检疫对象。自1982年首次在南京市中山陵发现松材线虫病以来^[6-7],目前发生面积已达30多万hm²,累计致死松树5亿多棵,给我国森林资源、自然景观和生态环境造成了巨大的危害。松褐天牛是我国的本土害虫,是我国林业上的重要害虫,在其幼虫期蛀干危害,严重影响松树生长,降低木材品质和出材率,而且常造成松树枯死。当松材线虫传入我国后,松褐天牛成为松材线虫最主要的传播媒介^[8]。

预防和防治松材线虫病最有效的方法就是阻断松材线虫的传播途径,即控制松褐天牛。一方面加强检疫,依靠政府职能部门和政策法规,加强对疫木和木制品的管理,防止松材线虫远距离传播、扩散;另一方面,用科学的方法防治其传播媒介昆虫——松褐天牛,防止松材线虫在林区内传播;但松褐天牛为钻蛀性害虫,隐蔽性生活,防治十分困难,尽管一些传统的防治方法,如人工捕捉、蛀道注药、树干打孔注药等有一定的防治效果,但效率低,难以在生产上大面积应用。生物防治是控制松褐天牛的首选,这已经在国内外得到了普遍认同。生物防治主要是应用天敌肿腿蜂、花绒寄甲和捕食性叩甲等天敌控制松褐天牛^[9],其中,在利用肿腿蜂开展生物防治方面做了不少工作,如利用管氏肿腿蜂(*Sclerodermus guani* Xiao et Wu)^[10-14]和川硬皮肿腿蜂(*S. sichuanensis* Xiao)^[15-16]防治松褐天牛取得了一定的防治效果。松褐天牛肿腿蜂(*Sclerodermus* sp.)是一肿腿蜂新种,于2010年在云南省云南松上松褐天牛幼虫坑道中采到,其自然寄生于松褐天牛幼虫。该种肿腿蜂的显著特点为雌蜂个体较大,大部分雌蜂个体具翅,搜索寄主的能力强,雌雄性比高,寿命长,而且经初步观察发现,该种雌蜂除了能通过产卵寄生方

式杀死松褐天牛幼虫外,还可在雌蜂补充营养阶段,致死数头寄主幼虫,是一种优秀的可用于防治松褐天牛的寄生蜂。

肿腿蜂属于抑性寄生方式,雌蜂找到寄主后,先用产卵器刺蜇,注射毒液到寄主体内,使寄主麻痹,而后在寄主身上产卵。在产卵前,雌蜂会先取食寄主幼虫的血淋巴补充营养,完成卵巢和卵的发育。如果寄主个体较小,在补充营养过程中肿腿蜂雌蜂会杀死数头寄主小幼虫完成其补充营养^[17]。国内外关于肿腿蜂的应用研究较多^[18-21],但关于肿腿蜂在补充营养阶段致死寄主的报道不多,国内这方面的研究也鲜有报道。国外报道寄生咖啡小蠹(*Hypothenemus hampei* Ferrari)的甲虫肿腿蜂(*Cephalonomia stephanoderis* Betrem),其在进入被小蠹危害的咖啡果后进行补充营养能致死小蠹成虫和卵,而后在小蠹幼虫、预蛹和蛹上产卵寄生;在室内试验中,Koch^[22]观察到虽然有55%的雌蜂最终没有产卵寄生寄主,但其在产卵寄生寄主之前的成虫补充营养阶段能够致死大量寄主。雌蜂补充营养时在被小蠹危害的咖啡果之间活动,搜索寄主并进行补充营养,通过刺蜇麻痹寄主和吸食寄主营养从而导致咖啡小蠹的死亡。当寄主充足时,雌蜂补充营养致死的寄主个体数量要远多于其随后产卵寄生所致死的寄主个体数,且雌蜂在其整个成虫期都需不断补充营养而使多个寄主致死^[23-25]。王小艺等^[26]研究表明,白蜡吉丁肿腿蜂(*Sclerodermus pupariae* Yang et Yao)在补充营养取食寄主的过程中,对栗山天牛(*Massicus raddei* Blessig)1~2龄小幼虫的致死作用随着寄主密度的增加而显著提高,功能反应符合Holling II型方程,每头肿腿蜂雌蜂补充营养对栗山天牛幼虫平均每日最大致死量为0.53头。

利用肿腿蜂防治天牛的效果评价比较困难,如释放技术、释放后气候条件等情况的变化也影响寄生率,试验调查方法各异,往往忽略了肿腿蜂在补充营养阶段致死寄主的防治效果,使该类群天敌在这个阶段的重要控制作用没有得到体现。为了了解松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛的控制作用,评价其雌蜂在补充营养阶段和寄生阶段对松褐天牛幼虫确切的防治效果以及确定其在林间的合适释放量等,本文研究了在林间及室内2种试验条件下,松褐天牛肿

腿蜂在雌虫补充营养阶段对松褐天牛低龄幼虫的致死作用,以及产卵寄生作用对松褐天牛幼虫的控制效果,并研究了受害木段聚集程度和寄主密度对肿腿蜂搜寻、寄生效率的影响。本研究结果为利用该寄生蜂生物防治松褐天牛时确定释放量和制定防治技术规程提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 室内肿腿蜂对松褐天牛低龄幼虫致死率的测定试验

1.1.1 试验用肿腿蜂来源 试验用松褐天牛肿腿蜂是中国林科院森林生态环境与保护研究所天敌昆虫与生物防治研究室人工饲养的,为用松褐天牛人工繁育2代以上的松褐天牛肿腿蜂种群。

1.1.2 木段设置 从松褐天牛产卵期开始,在林间调查天牛幼虫的发育进度,在幼虫发育到1~3龄时,根据天牛幼虫头壳宽度、体长等数值判断幼虫龄期,采集1~3龄天牛幼虫带回室内。将直径为5~8 cm的马尾松木段锯成30~40 cm小段,木段两端用Parafilm膜缠紧,以防止木段失水。在准备接入天牛幼虫处,用刀具将木段上的树皮先切出1个舌状切口,至木质部,然后揭起切开的树皮,在其下的木质部挖1个比天牛幼虫稍大的凹槽,将松褐天牛幼虫接入该凹槽中,最后盖上该树皮,最后用Parafilm膜缠紧切口,使天牛幼虫在木段内活动取食。在木段上接入天牛幼虫(1、2、3龄),同一木段上只接入相同龄期的天牛幼虫(20~30头/木段),从而得到1、2、3龄松褐天牛幼虫木段(每一龄期的天牛幼虫木段各为7个,共设置了21个试验木段)。

1.1.3 接蜂 将木段放入直径15 cm、高50 cm的玻璃罐中,接入交配过的肿腿蜂雌蜂。接蜂数量分别按天牛幼虫数:雌蜂数=2:1、1:1、1:2、1:4的虫蜂比接入,玻璃罐口用细纱网扎紧,防止肿腿蜂逃逸。每一龄期的天牛幼虫木段组各有3种接蜂处理(表1),并各设1个对照(不接入肿腿蜂)。

1.1.4 数据统计与处理 将接上肿腿蜂的马尾松木段在室温23~25℃条件下饲养,30 d后剖开检查肿腿蜂的寄生情况,统计各处理组和对照组中天牛幼虫的死亡数,了解并统计死亡原因。本试验中,各对照组的自然死亡率为0%~15.4%(小于20%),按照下列公式计算处理组的校正死亡率:

校正死亡率=(处理死亡率-对照死亡率)/(1-对照死亡率)×100%。

1.2 木段覆网放蜂后对松褐天牛低龄幼虫的控制试验

以林间和室内放蜂后木段上覆网以防止肿腿蜂逃逸的方式,观察2种发育状态的松褐天牛肿腿蜂雌蜂的寄生效果,即刚羽化出茧怀未成熟卵雌蜂,以及羽化出茧后经饲喂寄主血淋巴后怀成熟卵雌蜂的防治效果。试验在2011年5—8月,此时是松褐天牛幼虫1~3龄期。试验地点为湖南省慈利县零溪镇马尾松林地(29.36°N,111.17°E,海拔120 m)和江垭林场马尾松林地(29.31°N,111.46°E,海拔310 m)。

1.2.1 供试肿腿蜂 怀未成熟卵雌蜂指在室内用松褐天牛幼虫为寄主繁育的刚羽化未补充营养所怀卵未成熟的雌蜂。怀成熟卵雌蜂指同批羽化出茧后经饲喂怀卵成熟的雌蜂,即将同批羽化出茧的雌蜂以3~5头分别装入一个指形管,并在指形管内投喂松褐天牛1、2龄幼虫供其取食,饲喂2~3 d^[27]。雌蜂取食补充营养后卵巢及卵开始发育,腹部明显膨大,以此作为补充营养完成与否的判断标准;同时,注意观察指形管内天牛幼虫体躯上是否有蜂卵及肿腿蜂幼虫,选取管内腹部已经膨大且未产卵的雌蜂作为试验用蜂。饲喂后的雌蜂以每管20~30头保存。

1.2.2 供试木段及木段组合处理 在松褐天牛产卵期的马尾松林地,选取胸径约5~8 cm的马尾松作为产卵诱木。经剖开松褐天牛产卵刻槽检查,当诱木中松褐天牛幼虫发育到1~3龄时,伐倒诱木,选取天牛幼虫坑道较密集区段,将其锯成30 cm长的木段;再将3或6个木段用细铁丝捆扎在一起使其成为1个木段组合,设置1节木段、3节木段组合和6节木段组合3种处理。

1.2.3 木段覆网放蜂试验设计 林间网罩:在试验林地选取1株健康(无刻槽、幼虫坑道)马尾松,在树干高度2.5 m处自上而下用细铁丝绑挂3种木段组合,顺序随机,各木段组合间距30 cm。绑挂木段区域用细目尼龙纱网罩严,纱网接头处用鱼线锁边,纱网与树干上下端连接处环树干刨光树皮垫上一层脱脂棉,接入肿腿蜂后用细铁丝将尼龙纱网隔脱脂棉层与树干绑扎紧。每一绑挂木段的马尾松树相距10~15 m,马尾松树及木段组合标记编号。室内网袋:选取长1.5 m,直径约5 cm马尾松树干(其上无刻槽、幼虫坑道),其上绑缚木段组合,绑缚方法同上。将整个绑缚木段树干装入细目尼龙网(2.0 m×

0.5 m),在网袋内放入雌蜂后,用鱼线将尼龙纱网锁边扎紧防止肿腿蜂逃逸,标记编号网袋及木段组合,再将网袋放在室内。室内温度控制在25℃,相对湿度75%左右。

试验1:在林间网罩内释放怀未成熟卵雌蜂,共设置8棵网罩马尾松;试验2:在林间网罩内释放怀成熟卵雌蜂,共设置8棵网罩马尾松;试验3:在林间网罩(4棵)和室内网袋(4个)内释放怀未成熟卵雌蜂;同时,在另外的4个林间网罩和4个室内网袋内释放怀成熟卵雌蜂;试验4:在试验3开始后第15天进行,方法同试验3。试验1、2在零溪镇马尾松林地内进行,试验3、4在江垭林场马尾松林地内及室内进行。每一试验持续1个月,和肿腿蜂在自然环境下发生1代的时间基本吻合。

1.2.4 木段收集与解剖 每一试验结束后,收集试验用所有木段,分别单独装入无毒塑料封口袋并编号。将收集的木段带回室内仔细解剖,观测木段内松褐天牛各龄期幼虫的死亡情况及肿腿蜂各寄生阶段的情况。

1.2.5 数据统计与处理 各试验结果从以下几项参数加以分析:(1)资源利用:将松褐天牛幼虫危害的木段看作肿腿蜂雌蜂可利用的资源。在释放雌蜂后,天牛侵染木段被1头或多头雌蜂搜寻并占据即为资源利用。资源利用数据是雌蜂占据的木段数占试验设置中木段总数比例的反正弦转换值。(2)有效肿腿蜂率:指释放肿腿蜂后在木段上天牛幼虫坑道内回收到的肿腿蜂数占总放蜂数量的百分比(%)。(3)天牛幼虫死亡数:松褐天牛肿腿蜂致死的天牛幼虫数,包括补充营养取食致死的和寄生致

死的数量。

试验1、2中所得数据用单因素方差分析比较;试验3、4中,2组(卵成熟前后)肿腿蜂及不同寄主资源聚集程度(1、3、6木段组合)作为2个因素考虑,试验数据采用二因素方差分析比较。由于在试验3、4中产卵寄生致死数出现大量的0值数据,因此,分别将林间及室内所得数据采用非参数秩和检验加以统计分析。因上述原因,不同寄主资源聚集程度下的产卵寄生效果无法比较,用合并后的数据分析2组肿腿蜂的产卵寄生效果。

2 结果与分析

2.1 室内肿腿蜂对天牛幼虫的致死率

观察发现:松褐天牛肿腿蜂雌蜂能寻找到寄主,准确地定位天牛幼虫,通过在树皮上(包括缠绕其上的Parafilm膜)咬1蛀孔进入天牛幼虫坑道,趴在幼虫体上。表1表明:1、2、3龄天牛幼虫的平均校正死亡率分别为95.66%、85.91%、57.88%。解剖木段发现:1龄天牛幼虫均是被刺蛰麻痹死亡,未见其上有肿腿蜂卵或幼虫。这是肿腿蜂雌蜂在产卵寄生天牛幼虫之前,进行补充营养时通过刺蛰、取食行为而致死天牛幼虫;2龄天牛幼虫也基本是被雌蜂刺蛰麻痹、取食致死,仅有2头2龄天牛幼虫被产卵寄生;而3龄天牛幼虫体型较大,1头雌蜂单独刺蛰很难将其麻醉致死,需多头雌蜂反复刺蛰才使其麻痹,因此,针对3龄天牛幼虫,加大放蜂量,使3龄天牛幼虫受到雌蜂反复或集体刺蛰攻击及产卵寄生而死,共有19头幼虫死亡,其中,有11头被产卵寄生。

表1 室内松褐天牛肿腿蜂对1~3龄松褐天牛幼虫的致死情况

天牛幼虫龄期	木段编号	寄主与雌蜂比例	天牛幼虫死亡率/%	校正死亡率/%	平均校正死亡率/%
1	1	2:1	93.75	92.61	95.66
	2	1:1	95.24	94.37	
	3	1:2	100.00	100.00	
	对照	-	15.38	-	-
2	4	2:1	88.24	87.06	85.91
	5	1:1	83.33	81.67	
	6	1:2	90.00	89.00	
	对照	-	9.09	-	-
3	7	1:1	60.00	60.00	57.88
	8	1:2	50.00	50.00	
	9	1:4	63.64	63.64	
	对照	-	0.00	-	-

2.2 覆网放蜂对天牛幼虫的控制作用

2.2.1 资源利用 表2表明:释放怀未成熟卵雌蜂和怀成熟卵雌蜂后,2组雌蜂的资源利用情况差异很大,其对天牛幼虫木段的资源利用率分别为49.9%~83.7%和17.6%~33.2%。比较显示:在试验3a、3b)及试验4b中,释放怀未成熟卵雌蜂后的资源利用率均显著高于释放怀成熟卵雌蜂的资源利用率(试验3a($df=1,18;F=5.575;P=0.03$)、3b($df=1,18;F=8.873;P=0.008$);试验4b($df=1,18;F=6.536;P=0.02$);试验4a中,怀未成熟卵雌蜂的资源利用率较大,但与怀成熟卵雌蜂的资源利用率差异不显著($df=1,18;F=3.358;P=0.08$)。

在林间或室内2种条件下,寄主资源聚集程度对2组肿腿蜂的资源利用率没有显著影响(试验1, $df=2,21,F=0.828,P=0.45$;试验3a: $df=2,18,F=0.234,P=0.79$;试验4a: $df=2,18,F=0.219,P=0.81$;试验3b: $df=2,18,F=0.231,P=0.80$;试验4b: $df=2,18,F=0.017,P=0.98$),显示肿腿蜂的扩散分布和对天牛幼虫坑道的搜索

表现出随机性,雌蜂以单一天牛幼虫坑道作为搜索目标,而不是以天牛幼虫坑道的密集程度作为搜索判断标准。

2.2.2 有效肿腿蜂率 试验中,释放肿腿蜂后在目标木段中重新发现的雌蜂只占放蜂总数的2.3%~14.9%(表2)。表2还表明:室内网袋的有效肿腿蜂率比林间网罩中的高,这可能是由于试验中释放的肿腿蜂均为在室内人工繁育的子代蜂,因此,试验用蜂较适应室内稳定的温湿度等条件而表现出较高的活性。

怀未成熟卵雌蜂释放时,为了模拟自然条件,尽量减少人为干扰,而直接将繁蜂指形管放入网罩(袋)中,待其羽化破茧后自行爬出。由于每一繁蜂指形管出蜂量不一,因此,怀未成熟卵雌蜂的释放数量无法精确控制。这使得各试验中释放的怀未成熟卵雌蜂数量比怀成熟卵雌蜂略少(表2),这对试验结果可能有一定影响。如果2组肿腿蜂的释放数量相等,各试验中怀未成熟卵雌蜂较优的寄生行为表现可能会更明显。

表2 不同发育状态松褐天牛肿腿蜂雌蜂的寄生效率和资源利用率

试验编号	场地	怀未成熟卵雌蜂			怀成熟卵雌蜂		
		有效雌蜂率/%	资源利用率/%	肿腿蜂释放数/头	有效雌蜂率/%	资源利用率/%	肿腿蜂释放数/头
1	林间网罩	14.9±2.5	49.9±12.5	674	-	-	-
2	林间网罩	-	-	-	2.3±1.0	17.6±7.2	763
3a	林间网罩	10.9±1.8	75.0±16.7	267	2.8±0.6	25.3±6.0	360
3b	室内网袋	12.1±2.5	83.7±25.2	250	3.4±0.6	33.2±10.0	320
4a	林间网罩	8.7±2.7	61.4±6.0	279	3.1±1.0	25.3±6.0	360
4b	室内网袋	10.4±2.6	83.7±25.2	277	4.1±0.6	22.8±9.8	320
平均数或总数		11.3±2.4	69.4±13.8	1747	3.1±0.7	24.8±5.6	2123

注:表中数据为每一林间网罩或室内网袋试验所得数值的平均值±标准误。每一林间网罩或室内网袋内木段总数均设置为10段(1、3、6木段组合各一)。

2.2.3 补充营养致死作用 试验1统计数据表明:6木段组合中天牛幼虫的死亡数明显比1木段组合和3木段组合的高($df=2,17;F=13.601;P=0.0003$)(表3),但1、3、6木段组合中每一雌蜂致天牛幼虫死亡平均数分别为0.38、0.28、0.26头,其中,6木段组合致死数最低,且1、3、6木段组合中每

一木段中天牛幼虫死亡平均数分别为3.0、2.46、2.85头,1木段组合致死数最高。这是因为在6木段组合中出现较多的雌蜂反而使每一木段中天牛幼虫死亡平均数降低。这样看来,雌蜂补充营养取食行为和之前提到的资源利用情况一样,补充营养取食行为也不受1、3、6木段组合(寄主密度)的影响。

表3 不同木段组合中松褐天牛1、2龄幼虫(补充营养取食致死)和3龄幼虫(产卵寄生致死)平均死亡数

项目	木段组合		
	1	3	6
1、2龄幼虫死亡数/头	3.0±0.8b(1.7±0.2)	7.4±3.2b(2.7±0.6)	17.1±6.8a(4.1±0.8)
3龄幼虫死亡数/头	1.3±0.5b(1.1±0.2)	3.8±1.3b(1.9±0.3)	11.4±4.7a(3.3±0.6)
肿腿蜂数量/头	8	26	66

注:表中同行数据后不同字母表示经Tukey检验,在 $P<0.05$ 水平上差异显著。肿腿蜂数量指出现在每一木段组合中的肿腿蜂总数。括号中数字为转换后的平均数。

试验3、4中,每一木段中天牛幼虫的死亡数变化很大(0.0~3.7头),而且与聚集程度不相关。因此,表3中天牛幼虫死亡数是将每一林间网罩或室内网袋中的所有木段(1、3、6木段组合,共10段)合并考虑而非按木段组合加以区分。

各试验中,无论在林间(试验3a: $df = 1, 39, F = 14.985, P = 0.0004$; 试验4a: $df = 1, 33, F = 9.431, P = 0.004$)还是室内(试验3b: $df = 1, 35, F = 16.296,$

$P = 0.0003$; 试验4b: $df = 1, 38, F = 11.725, P = 0.002$)怀未成熟卵雌蜂补充营养取食致死天牛幼虫的数量均比怀成熟卵雌蜂捕食致死天牛幼虫的数量高(表4)。这可能是因为在试验中怀未成熟卵雌蜂在木段中搜寻寄生行为更为积极(有效雌蜂率更高),同时也可能表明,经历饲喂过程后,怀成熟卵雌蜂表现出更强的逃逸行为,而搜索寄主的行为倾向降低。

表4 释放2组肿腿蜂后每一木段中松褐天牛幼虫被取食和寄生致死的死亡数

试验	生理状态	每一木段被取食天牛	每一木段被寄生天牛	肿腿蜂数量	被取食天牛幼虫	被寄生天牛幼虫
		幼虫平均数/头	幼虫平均数/头		总数/头	总数/头
3a	怀未成熟卵	3.4 ± 0.8	1.3 ± 0.7	29	71/262	28/112
	怀成熟卵	2.3 ± 1.0	0.5 ± 0.5	10	30/254	5/86
4a	怀未成熟卵	3.2 ± 0.7	1.2 ± 0.7	23	73/226	21/105
	怀成熟卵	2.3 ± 1.0	0.7 ± 0.5	10	28/267	8/138
3b	怀未成熟卵	3.1 ± 0.8	1.6 ± 1.0	30	89/222	41/119
	怀成熟卵	2.0 ± 0.8	0.5 ± 0.5	11	22/269	7/63
4b	怀未成熟卵	2.8 ± 0.7	1.3 ± 0.6	29	89/311	25/82
	怀成熟卵	1.8 ± 1.1	0.7 ± 0.5	9	15/217	4/98

注:被取食和被寄生天牛幼虫总数中,前一数值为被肿腿蜂致死的天牛幼虫数目,后一数值为试验中可被肿腿蜂取食、寄生的天牛幼虫总数。

松褐天牛肿腿蜂在产卵寄生前会先确认寄主是否达到寄生条件(适宜蜂卵及幼虫的发育),如果搜索到未达产卵寄生条件的寄主一般会蜇刺、麻痹寄主后取食其组织液以补充营养,被取食寄主随即死亡。因此,推断在试验中雌蜂能在1、3、6木段组合的所有木段上任意巡游搜索寄主。这说明在试验中,木段的聚集程度并未影响雌蜂补充营养取食致死木段内天牛幼虫的作用,寄主密度差异与雌蜂的捕食作用没有显著的相关性(图1、2)。

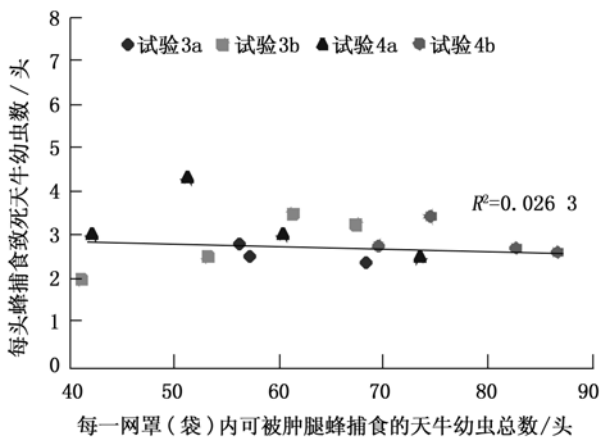


图1 不同寄主密度下每头怀未成熟卵雌蜂致死天牛幼虫数

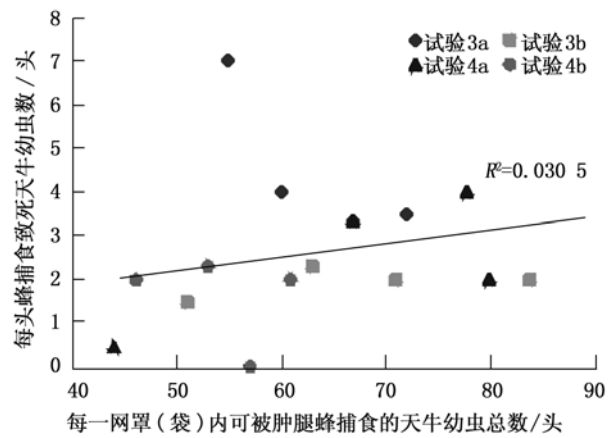


图2 不同寄主密度下每头怀成熟卵雌蜂致死天牛幼虫数

组肿腿蜂在不同试验中的捕食效率都有较大的变化,且2组肿腿蜂间的捕食效率差异显著。

怀成熟卵雌蜂在释放前经过装管后饲喂,释放时雌蜂能即刻出管分散离去;而怀未成熟卵雌蜂刚羽化出茧,在释放后有一段适应期,之后才从繁蜂指形管内分散离去。因而,怀成熟卵雌蜂的活动(搜索)时间比怀未成熟卵雌蜂的长。本试验历期只有1个月,这对怀未成熟卵雌蜂的寄生行为有一定的影响;如果长期比较,怀未成熟卵雌蜂的优势应更明显。

总体看,同一试验的各网罩(袋)之间,或是同

2.2.4 产卵寄生作用 试验1中,6木段组合中被寄生的天牛幼虫数比1木段或3木段组合中的多,差异显著($df = 2.17; F = 17.991; P = 0.0001$) (表3)。这和肿腿蜂对1、3、6木段组合(不同寄主密度)的资源利用率和捕食效率无差异的结果相悖。这一结果显示雌蜂进驻寄主较多(寄主密度大)的木段组合(6木段组合)后,产卵寄生的比率会较高。这可能是因为雌蜂能感知在随后阶段更多的可利用资源(寄主)对其后代的发育繁殖更有利。

试验3、4中,由于出现大量的未寄生情况(寄生数为0),因此,将1、3、6木段组合的数据合并处理。总体看,数据分析显示:寄生作用趋势和捕食作用的情况很相似(表4)。所有试验中,除试验4a外,怀未成熟卵雌蜂寄生天牛幼虫的数量均显著高于怀成熟卵雌蜂(试验3a: $U = 23, P = 0.014$; 试验3b: $U = 20, P = 0.006$; 试验4b: $U = 27, P = 0.034$)。试验4a中,怀未成熟卵雌蜂寄生天牛幼虫数比怀成熟卵雌蜂的高(平均值:怀未成熟卵雌蜂1.2头,怀成熟卵雌蜂0.7头),但统计差异不显著($U = 33, P = 0.163$)。试验1中,6木段组合中被寄生的天牛幼虫数更多,肿腿蜂会选择寄主密度较大的环境产卵寄生;但由于在试验3、4中肿腿蜂的产卵寄生率普遍较低(零寄生数很多),因此,上述结论未能在试验3、4中得到确认。

3 结论与讨论

肿腿蜂科大部分种类的雌蜂取食它们在寄主体上用产卵器刺戳的伤口处溢出的血淋巴,以供它们卵的发育及延长自身寿命。在取食前,它们先刺螫,使寄主麻痹不动,然后开始取食。肿腿蜂取食寄主表现出2种情况:趋合取食,即雌性在同一寄主个体上即取食又产卵;非趋合取食,即它们取食的寄主不是随后要产卵寄生的寄主,该寄主可能是不太理想的种类,或者是不太理想的发育阶段的寄主,它们不在其上产卵^[28]。实际情况中,大部分为非趋合取食。对于寄主种群而言,肿腿蜂取食寄主可能是寄主的另外一个重要致死因子。已观察到有不少肿腿蜂种类通过取食寄主造成寄主的死亡率大于寄生所造成的死亡率。

采用资源利用率、有效雌蜂率等参数评估2组松褐天牛肿腿蜂在林间和室内寄生行为的表现。在林间和室内试验中,绝大多数(85.1%~97.7%)肿腿蜂没有搜索占据天牛幼虫坑道,看似对害虫的产

卵寄生作用没有贡献,但实际情况可能是在试验期结束后的调查解剖过程中一些肿腿蜂没有被发现回收,而其在试验初期对天牛幼虫的取食致死作用是有很大贡献的。

释放松褐天牛肿腿蜂后,由于怀未成熟卵雌蜂进入和占据天牛幼虫木段的比例高于怀成熟卵雌蜂,因此前者的寄生效率是后者的近5倍。怀未成熟卵雌蜂释放后对寄主栖息场所及寄主的搜索占据能力很强,对松褐天牛危害木段的平均占据率为69.4%,最高达83.7%,而对天牛幼虫坑道的占据率最高达43.8%。此外,怀未成熟卵雌蜂补充营养取食致死及寄生致死松褐天牛幼虫的能力也更强。比较试验中松褐天牛幼虫被取食或寄生致死的死亡数,无论是每一木段被致死天牛幼虫平均数还是总数,怀未成熟卵雌蜂均远高于怀成熟卵雌蜂(表4)。怀成熟卵雌蜂经人工饲喂后完成了补充营养的过程,其卵巢及卵发育完成,对取食寄主补充营养的需求减弱,这使其在释放后补充营养取食松褐天牛幼虫的能力降低,表现为对松褐天牛危害木段和天牛幼虫坑道的搜索占据率低(17.6%~33.2%),取食和寄生的寄主数量较低。

单一雌蜂补充营养取食致死天牛平均数2.7头,最高达7头,2组肿腿蜂补充营养取食致死天牛幼虫数很相近(图1、2)。这是因为在统计时怀未成熟卵雌蜂取食致死的寄主总数虽比怀成熟卵雌蜂高很多,但雌蜂的数量也比后者多,降低了单一雌蜂取食致死天牛的平均数。

总体看,在不同试验中,2组肿腿蜂补充营养取食效率都有较大的变化,但2组肿腿蜂间补充营养取食效率差异显著,怀未成熟卵雌蜂对松褐天牛的防控作用明显比怀成熟卵雌蜂强。这说明松褐天牛肿腿蜂补充营养的习性在防治松褐天牛中的重要作用,如果单从致死寄主数量上比较,松褐天牛肿腿蜂补充营养取食致死寄主的能力甚至超过了其产卵寄生的能力。因此,在利用松褐天牛肿腿蜂生物防治松褐天牛的方法上,除采取传统的接种式释放法,经济长效地防控松褐天牛使其种群数量维持在低水平外,在松褐天牛种群基数较大时,也可利用松褐天牛肿腿蜂补充营养取食致死寄主的能力,采用淹没释放法,短小时内迅速压低害虫虫口密度。

由于本研究的时间所限,调查的时间较短,对于松褐天牛肿腿蜂释放后的定殖和进一步扩大其种群数量的情况以及可持续控制效果的情况,还需进行

长期的跟踪调查。

参考文献:

- [1] 徐汝梅, 叶万辉. 生物入侵——理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 159-185
- [2] 杨宝君, 汪来发, 赵文霞, 等. 松材线虫病的潜伏感染及松墨天牛传播新途径[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 251-255
- [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
- [4] Kamata N. Development of a barrier zone to stop the invasion of pine wilt disease in Japan[C]. Intern Symp on Pine wilt Dis Caused by PWN, Beijing, 1995: 81-90
- [5] 杨宝君, 贺长洋, 王成法. 国外松材线虫病的发生概况[J]. 森林病虫通讯, 1999, 18(5): 40-42
- [6] 孙永春. 南京中山陵发现松材线虫[J]. 江苏林业科技, 1982(4): 47, 27
- [7] 程瑚瑞, 林茂松, 黎伟强. 南京黑松上发现萎蔫线虫病[J]. 森林病虫通讯, 1983(4): 1-5
- [8] 徐福元, 杨宝君, 葛明宏. 松材线虫病媒介昆虫的调查[J]. 森林病虫通讯, 1993(2): 20-21
- [9] 杨忠岐. 利用天敌昆虫控制我国重大林木害虫研究进展[J]. 中国生物防治, 2004, 20(4): 221-227
- [10] 宋世涵, 张连芹, 黄焕华, 等. 松褐天牛生物学的初步研究[J]. 林业科技通讯, 1991(12): 9-13
- [11] 张连芹, 宋世涵, 张镔, 等. 深圳地区松墨天牛综合防治的研究[J]. 昆虫天敌, 1995, 17(1): 21-26
- [12] 王功桂, 周灵会, 王长旭, 等. 管氏肿腿蜂防治松褐天牛技术[J]. 中国森林病虫, 2004, 23(3): 32-34
- [13] 杨希, 黄金水, 何学友, 等. 管氏肿腿蜂及其带菌室内防治松墨天牛幼虫试验[J]. 福建林业科技, 2005, 32(3): 94-99
- [14] 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褐天牛入木幼虫的寄生[J]. 中国森林病虫, 2007, 26(6): 9-12
- [15] 张犀, 周祖基. 驯化川硬皮肿腿蜂生物防治松褐天牛[J]. 四川林业科技, 2007, 28(4): 16-20
- [16] 张犀, 周祖基, 杨春平, 等. 用松褐天牛幼虫培育的川硬皮肿腿蜂种群寄主选择性变化[J]. 林业科学研究, 2010, 23(5): 756-761
- [17] 姚万军, 杨忠岐. 利用管氏肿腿蜂防治光肩星天牛技术研究[J]. 环境昆虫学报, 2008, 30(2): 127-134
- [18] 杨伟, 谢正华, 周祖基, 等. 用替代寄主繁殖的川硬皮肿腿蜂的学习行为[J]. 昆虫学报, 2005, 48(5): 731-735
- [19] Abbas M S T, Shidi R H, Jumah S, et al. Utilization of *Goniozus* sp. (Hym.: Bethyridae) as a bio-control agent against the lesser date moth, *Batrachedra amydaraula* (Meyrick) (Lep.: Batrachedridae) in date palm orchards in Sultanate of Oman[J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2008, 18(1): 47-50
- [20] Hong J I, Koh S H, Chung Y J, et al. Biological characteristics of *Sclerodermus harmandi* (Hymenoptera: Bethyridae) parasitized on cerambycid[J]. Korean Journal of Applied Entomology, 2008, 47(2): 133-139
- [21] Jaramillo J, Vega F E. *Aphanogmus* sp. (Hymenoptera: Ceraphronidae): a hyperparasitoid of the coffee berry borer parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae) in Kenya[J]. Biocontrol Science and Technology, 2009, 19(1): 113-116
- [22] Koch V J M. Abundance of *Hypothenemus hampei* Ferrari, the coffee berry borer, in relation to its food plant and its parasite *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, in the Ivory Coast[J]. Med Landbou Wageningen, 1973, 16: 84
- [23] Lauzière I, Pérez-Lachaud G, Brodeur J. Effect of body size and adult feeding on the fecundity and longevity of the parasitoid *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae) [J]. Ann Entomol Soc Am, 2000, 93: 103-109
- [24] Lauzière I, Pérez-Lachaud G, Brodeur J. Influence of host density on the reproductive strategy of *Cephalonomia stephanoderis*, a parasitoid of the coffee berry borer[J]. Entomol Exp Appl, 1999, 92: 21-28
- [25] Damon A. A review of the biology and control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) [J]. Bull Entomol Res, 2000, 90: 453-465
- [26] 王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 等. 白蜡吉丁肿腿蜂对栗山天牛低龄幼虫的寄生作用[J]. 昆虫学报, 2010, 53(6): 675-682
- [27] 蒋学建, 周祖基. 取食对川硬皮肿腿蜂卵巢发育的影响[J]. 中国生物防治, 2007, 23(1): 101-102
- [28] Ian G, Barry B. 膜翅目[M]. 杨忠岐译. 香港: 香港天泽出版社, 1992: 13-16, 20-27, 236-238