

松毛虫赤眼蜂对柞蚕灰卵的寄生选择与适应性

马 月¹ 赵丽娜¹ 白庆荣² 王 晶¹ 阮长春^{1*} 臧连生^{1*}

(1. 吉林农业大学生物防治研究所, 吉林省资源昆虫产业化工程研究中心, 长春 130118;

2. 吉林农业大学农学院, 长春 130118)

摘要: 为明确柞蚕 *Antheraea pernyi* 灰卵(工厂化繁育赤眼蜂过程中广泛存在的一种感病寄主卵)对松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 寄生选择与适应性及其繁育子代蜂寄生能力的影响,以柞蚕灰卵作为供试寄主,健康卵作为对照,在无选择和双向选择条件下研究松毛虫赤眼蜂对其的寄生选择与适应性,并比较灰卵和健康卵繁育的子代蜂对0、1、2、3日龄米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵的寄生能力。结果表明,在无选择条件下,松毛虫赤眼蜂在灰卵上的寄生率、羽化率、单卵出蜂数和总蜂数分别为30.0%、54.1%、39.3头和48.7头,而在健康卵上分别达到96.0%、93.0%、82.5头和96.8头。在双向选择条件下,松毛虫赤眼蜂在灰卵上的寄生率、羽化率、单卵出蜂数和总蜂数分别为33.3%、27.1%、24.7头和52.2头,而在健康卵上分别为68.0%、86.3%、60.6头和74.2头。在无选择和双向选择条件下,松毛虫赤眼蜂在灰卵和健康卵上的发育历期和后代雌性比均不存在显著差异,但灰卵繁育的子代蜂对1、2日龄米蛾卵的寄生数则显著低于健康卵繁育的子代蜂,且后者对米蛾卵的寄生数随着米蛾卵日龄的增加呈逐渐下降趋势,而灰卵繁育的子代蜂对0、3日龄米蛾卵的寄生数要显著高于1、2日龄的。表明柞蚕灰卵会对松毛虫赤眼蜂的寄主选择与适应性以及子代蜂的寄生能力产生不良影响。

关键词: 柞蚕; 灰卵; 赤眼蜂; 黏质沙雷氏菌; 大量繁育; 生物防治

Parasitism and suitability of *Trichogramma dendrolimi* on the gray eggs of Chinese oak silkworm *Antheraea pernyi*

Ma Yue¹ Zhao Lina¹ Bai Qingrong² Wang Jing¹ Ruan Changchun^{1*} Zang Liansheng^{1*}

(1. Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University/Jilin Engineering Research Center of Resource Insects Industrialization, Changchun 130118, Jilin Province, China; 2. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin Province, China)

Abstract: In order to clarify the influences of the gray eggs of Chinese oak silkworm *Antheraea pernyi*, a host egg susceptible to bacteria during massive production of *Trichogramma dendrolimi*, on the parasitism and performance of *T. dendrolimi*, the parasitism capacities of *Trichogramma* offspring reared by the gray eggs and healthy eggs were compared on 0–3-day-old eggs of the rice moth *Corcyra cephalonica* under no choice or paired choice conditions. The results showed that, under no choice conditions, the parasitism rate and emergence rate of *T. dendrolimi* on gray eggs, emerged wasps and total number of offspring per egg were 30.0%, 54.1%, 39.3 and 48.7, respectively. However, the parasitism rate and emergence rate on healthy eggs, emerged wasps and total number of offspring per egg reached 96.0%, 93.0%, 82.5 and 96.8, respectively. Under paired choice conditions, the parasitism rate and emergence rate of *T. dendrolimi* on gray eggs, emerged wasps and total number of offspring per egg were 33.3%

and 27.1%, 24.7 and 52.2, respectively. However, the parasitism rate and emergence rate on healthy eggs, emerged wasps and total number of offspring per egg got to 68.0%, 86.3%, 60.6 and 74.2, respectively. There were no significant difference in developmental time and female progeny between gray eggs and healthy eggs regardless of the choice conditions. The offspring reared from healthy eggs significantly parasitized more eggs on 1- or 2-day-old eggs of *C. cephalonica* than that from gray eggs. The number of *C. cephalonica* eggs parasitized by the offspring reared from healthy eggs exhibited a decreasing tendency with increasing age of host eggs, but the offspring reared from gray eggs parasitized more 0- and 3-day eggs than 1- and 2-day eggs. The results indicated that the gray eggs of *A. pernyi* caused by bacteria could adversely affect the parasitism and performance of *T. dendrolimi*.

Key words: *Antheraea pernyi*; gray egg; *Trichogramma*; *Serratia marcescens*; mass production; biological control

柞蚕 *Antheraea pernyi* 是我国北方地区的特色优势资源,其卵个头较大且坚硬(夏邦颖和王敏慧, 1979),于20世纪60年代被用来繁育赤眼蜂并取得成功,目前是我国东北地区工厂化繁殖松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 的主要寄生卵,而在田间大量释放松毛虫赤眼蜂来防治鳞翅目害虫已取得显著成效(Liu et al., 1998; Zhang et al., 2018; 田春雨等, 2019)。近年来,在工厂化繁育赤眼蜂的过程中,不断有大量的灰卵——感病寄生卵产生,严重影响了繁蜂的产量及质量(阮长春等, 2000)。因此,明确柞蚕灰卵对赤眼蜂生物学特性的影响至关重要。

有关寄生蜂对感病寄主的寄生适应性研究已有相关报道。许多学者利用不同感病寄主、寄生蜂间的相互作用关系来探究昆虫病原菌对寄生蜂的影响,如王以一(2013)的试验结果表明,大多数情况下,昆虫病原菌会对寄生蜂产生不利的影响;Hafez et al.(1997)发现光腹悬茧蜂 *Meteorus laeviventris* 寄生被苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis* 感染的小地老虎 *Agrotis ipsilon* 后,导致其子代蜂发育历期延长,结茧率降低;李涛等(2007)利用球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* Bb0062 菌株感染桃蚜 *Myzus persicae*,再让烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 对其寄生,发现烟蚜茧蜂对健康寄主的寄生率显著高于感病寄主。另有研究表明,在感染家蚕微孢子虫 *Vairimorpha necatrix* 的小地老虎幼虫体内发育的寄生蝇 *Bonnetia compta* 的结茧历期会缩短(Cossentine & Lewis, 1986)。Beegle & Oatuman(1975)发现在感染了核型多角体病毒(Nuclear polyhedrosis virus, NPV)的粉纹夜蛾 *Trichoplusia ni* 体内发育的甜菜夜蛾镶额姬蜂 *Hyposoter exiguae* 的发育历期明显缩短。在利用柞蚕卵繁育赤眼蜂的过程中,柞蚕病害

严重影响着其生产质量,尤其是产自微粒子病和软化病发病严重地区的柞蚕茧,对卵寄生蜂的羽化率有一定影响(阮长春等, 2003)。

虽然目前国内外关于感病寄主与寄生蜂关系的研究很多,但尚未见有关柞蚕灰卵与寄生蜂间相互作用关系的研究报道。由于柞蚕灰卵是在工厂化繁育赤眼蜂过程中比较常见的感病寄主卵,对繁蜂的产量及质量造成一定影响,而在以上相关报道中可以看出感病寄主对寄生蜂也同样具有影响。因此,探究赤眼蜂对柞蚕灰卵的寄生选择与适应性,对于指导赤眼蜂高效生产具有重要意义。本试验拟比较研究松毛虫赤眼蜂对柞蚕灰卵和健康卵的寄生选择与适应性及其子代蜂的寄生能力,明确柞蚕灰卵对松毛虫赤眼蜂造成的影响,以期对柞蚕灰卵与赤眼蜂间相互作用关系的深入研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试寄生蜂:于2016年在黑龙江省牡丹江市玉米田采集被松毛虫赤眼蜂寄生的亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 卵块,待其羽化得松毛虫赤眼蜂,并利用米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵在温度 25℃、相对湿度 70% 条件下建立实验种群,在室内连续繁殖 10 代以上供试。依据寄生蜂雄性外生殖器形态学特征(林乃铨, 1994)和 rDNA-ITS2 分子生物学方法(郭震等, 2012)对蜂种进行鉴定。

供试寄主:柞蚕茧于2017年12月购自吉林省蚕业科学研究院,翌年4月经暖茧发蛾后,将初羽化的柞蚕雌蛾剖腹取卵,用清水漂出杂质和不成熟卵,晾干后作为健康卵备用。在利用柞蚕卵工厂化大量繁殖赤眼蜂过程中,柞蚕暖茧发蛾剖腹洗卵过程中,会有一定数量灰卵产生,灰卵的特征一般表现为:颜色

为灰色,与被寄生蜂寄生后的柞蚕卵颜色相似,剖开后卵液为黄褐色或黑色,有臭味。通过对收集的柞蚕灰卵进行分离纯化,再进行致病性测定,确定柞蚕灰卵致病菌为黏质沙雷氏菌 *Serratia marcescens* (另文发表),在 GenBank 中的登录号为 MH251251。将分离到的黏质沙雷氏菌培养制成 10^8 CFU/mL (南楠, 2014) 的细菌悬浮液,浸泡健康柞蚕卵 5 h 后晾干, 24 h 后即可得到灰卵,用于生测试验。

供试卵卡及仪器:米蛾卵卡的规格为 $0.5\text{ cm} \times 1.0\text{ cm}$,每张卡上约有 200 粒,吉林农业大学生物防治研究所自制;MLR-351H 恒温培养箱,日本三洋电气有限公司。

1.2 方法

1.2.1 松毛虫赤眼蜂对灰卵的寄生选择与适应性

无选择试验:向 $2\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的试管中放入 5 粒柞蚕灰卵,并引入 10 头初羽化 6 h 并充分交配的松毛虫赤眼蜂雌蜂,以相同条件下单试管中放入 5 粒健康卵作为对照,置于温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70 \pm 5)\%$ 、光周期 14 L:10 D 的恒温培养箱中,24 h 后去除雌蜂,并将每粒柞蚕灰卵单管分装,记录其发育历期,即从寄生到羽化出蜂的时间。待松毛虫赤眼蜂子代蜂羽化出蜂后,调查其寄生率、羽化率、单卵出蜂数、后代雌性比及遗留蜂数,并计算单卵总蜂数,每个处理重复 10 次。

双向选择试验:向 $2\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的试管中同时放入 5 粒灰卵和 5 粒健康卵,并引入 20 头初羽化 6 h 并充分交配的松毛虫赤眼蜂雌蜂,需与无选择试验保持相同的蜂卵比,置于与上述培养条件相同的恒温培养箱中,24 h 后去除雌蜂,并将每粒柞蚕卵单管分装,记录其发育历期。待松毛虫赤眼蜂子代蜂羽化出蜂后,分别调查松毛虫赤眼蜂在灰卵和健康卵的寄生率、羽化率、单卵出蜂数、后代雌性比及遗留蜂数,并计算单卵总蜂数,每个处理重复 10 次。

1.2.2 子代蜂对米蛾卵的寄生能力比较

取柞蚕灰卵繁育的羽化 6 h 内的松毛虫赤眼蜂,将其单头雌蜂引入分别备有 200 粒 0、1、2、3 日龄米蛾卵卡的 $2\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 试管中,置于温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70 \pm 5)\%$ 、光周期 14 L:10 D 的恒温培养箱中,每 24 h 更换各日龄新鲜卵卡,直至雌蜂死亡,以健康柞蚕卵繁育且羽化 6 h 的松毛虫赤眼蜂作为对照,最终统计各日龄米蛾卵的寄生总量,每个处理 10 次重复。

1.3 数据分析

利用 DPS 14.1 软件对试验数据进行统计分析。

比较松毛虫赤眼蜂在 2 种寄主卵上的寄生率、羽化率、发育历期、后代雌性比、单卵出蜂数、单卵总蜂数及不同寄主卵繁育的松毛虫赤眼蜂对相同日龄米蛾卵的寄生卵粒数时均采用 Student's *t* 测验法进行差异显著性检验,为了稳定误差,分析前先对百分率数据进行反正弦平方根转换;灰卵或健康卵繁育的松毛虫赤眼蜂对不同日龄米蛾卵寄生卵粒数的比较采用单因素完全随机方差分析,应用 Tukey's HSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 松毛虫赤眼蜂对柞蚕灰卵的寄生选择与适应性

在无选择情况下,松毛虫赤眼蜂对灰卵的寄生率为 30.0%,显著低于对健康卵的寄生率 96.0% ($t=9.8509$, $df=18$, $P<0.0001$);在灰卵上的羽化率为 54.1%,显著低于在健康卵上的羽化率 93.0% ($t=3.2680$, $df=16$, $P=0.0048$);在灰卵上的单卵出蜂数和总蜂数分别为 39.3 头和 48.7 头,显著低于在健康卵上的 82.5 头 ($t=5.1920$, $df=16$, $P=0.0001$) 和 96.8 头 ($t=7.7408$, $df=16$, $P<0.0001$);但松毛虫赤眼蜂在灰卵和健康卵上的发育历期 ($t=0.9101$, $df=15$, $P=0.3772$) 和后代雌性比 ($t=0.2406$, $df=16$, $P=0.8129$) 均无显著差异(表 1)。

当同时提供 2 种寄主卵时,即在双向选择条件下,松毛虫赤眼蜂对灰卵的寄生率为 33.3%,显著低于对健康卵的寄生率 68.0% ($t=4.0989$, $df=17$, $P=0.0007$);在灰卵上的羽化率为 27.1%,显著低于在健康卵上的羽化率 86.3% ($t=4.9014$, $df=16$, $P=0.0002$);在灰卵上的单卵出蜂数和总蜂数分别为 24.7 头和 52.2 头,显著低于在健康卵上的 60.6 头 ($t=3.7161$, $df=16$, $P=0.0019$) 和 74.2 头 ($t=3.8624$, $df=16$, $P=0.0014$);同样,松毛虫赤眼蜂在灰卵和健康卵上的发育历期 ($t=1.7705$, $df=12$, $P=0.1020$) 和后代雌性比 ($t=1.8779$, $df=16$, $P=0.0787$) 均无显著差异(表 1)。

2.2 灰卵和健康卵繁育子代蜂对米蛾卵的寄生能力

柞蚕灰卵和健康卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂对 0、1、2、3 日龄卵的寄生能力测定结果显示,当提供 0、3 日龄卵米蛾卵时,虽然健康卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂对米蛾卵的寄生数量多于灰卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂,但二者间无显著差异。当提供 1 日或 2 日龄米蛾卵时,健康卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂的寄生数量均显著高于灰卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂(1 日龄卵: $t=6.9853$, $df=15$, $P<0.0001$; 2 日龄卵: $t=4.9378$, $df=15$, $P=0.0002$)。当提供 0、1、2、3 日龄米

蛾卵时,健康卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂表现出寄生卵粒数随着卵龄的增加而逐渐下降的趋势($F_{3,36}=3.84, P=0.0175$);而灰卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂对0、3日龄米蛾卵的寄生卵粒数要显著高于对1、2日龄米蛾卵的寄生卵粒数($F_{3,24}=3.913, P=0.0209$) (图1)。

表1 松毛虫赤眼蜂在无选择条件和双向选择条件下对柞蚕健康卵和灰卵的寄生选择与适应性
Table 1 The parasitism and suitability of *Trichogramma dendrolimi* on healthy eggs and gray eggs of *Antheraea pernyi* under no choice and paired choice conditions

处理 Treatment		寄生率 Parasitism (%)	羽化率 Emergence (%)	发育历期 Developmental time (d)	雌性比 Female progeny (%)	单卵出蜂数 No. of emerged wasps/egg	单卵总蜂数 Total no. of offspring/egg
无选择条件 No choice	健康卵 Healthy egg	96.0±0.0 a	93.0±0.1 a	12.1±0.1 a	90.6±0.0 a	82.5±3.5 a	96.8±4.5 a
	灰卵 Gray egg	30.0±0.1 b	54.1±0.1 b	11.9±0.3 a	91.0±0.0 a	39.3±8.3 b	48.7±4.1 b
双向选择条件 Paired choice	健康卵 Healthy egg	68.0±0.1 a	86.3±0.1 a	12.5±0.2 a	92.8±0.0 a	60.6±2.8 a	74.2±2.4 a
	灰卵 Gray egg	33.3±0.1 b	27.1±0.1 b	11.8±0.5 a	89.9±0.0 a	24.7±9.8 b	52.2±3.7 b

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 Student's *t* 测验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Student's *t* test.

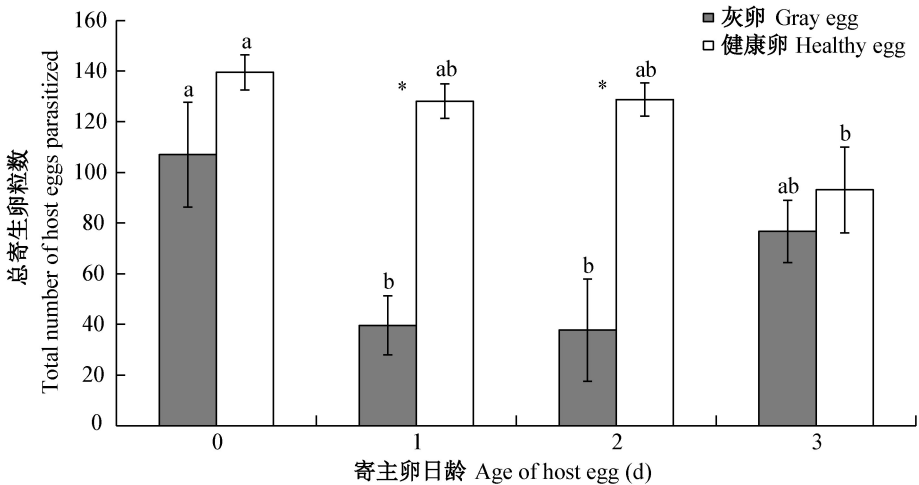


图1 柞蚕灰卵和健康卵繁育的子代松毛虫赤眼蜂对不同日龄米蛾卵的寄生总量

Fig. 1 Comparison of total numbers of *Corcyra cephalonica* eggs with different ages parasitized by *Trichogramma dendrolimi* reared on gray eggs and healthy eggs of *Antheraea pernyi*

图中数据为平均数±标准误。同色柱上不同字母表示不同日龄寄主卵被寄生数量经 Tukey's HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著;成对柱形图上*表示相同日龄寄主卵不同处理间经 Student's *t* 测验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters on the same color bars indicate significant difference among host eggs of different ages parasitized at $P<0.05$ level by Tukey's HSD test. The paired bars with * indicate significant difference in the number of host eggs parasitized between both treatments at $P<0.05$ level by Student's *t* test.

3 讨论

已有研究表明,感病寄主在一定程度上会影响寄生蜂的寄生选择和子代质量。广赤眼蜂 *Trichogramma evanescens* 寄生感染玉米螟微孢子虫 *Nosema furnacalis* 的欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 卵后,其子代被微孢子虫感染,导致子代蜂寄生能力下降 (Alois, 1984);赤眼蜂 *Trichogramma nubilale* 寄生感染玉米螟微孢子虫的欧洲玉米螟卵后,其子代蜂羽

化率降低,且雌蜂繁殖力也降低 (Sajap & Lewis, 1988);本研究中,无论在选择条件下还是双向选择条件下,松毛虫赤眼蜂在感染细菌致病灰卵上的寄生率、羽化率均低于在健康卵上的,且子代蜂的寄生能力也有所降低。为 *Trichogramma nubilale* 提供健康和感染玉米螟微孢子虫的欧洲玉米螟卵供其寄生,发现病菌对子代蜂性比无影响,但在被感染的卵中羽化的成蜂数量明显少于未被感染的卵 (Saleh et al., 1995),本研究结果同样未发现柞蚕灰卵对子代

蜂性比有影响,但松毛虫赤眼蜂寄生后在灰卵上的单卵总蜂数和羽化出蜂数同样均显著低于在健康卵上的单卵总蜂数和羽化出蜂数。王桂清和王洪魁(1999)研究柞蚕蛹品质对白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* 人工繁殖的影响时发现,柞蚕蛹期病害的出现会使小蜂不能正常发育,大多在幼虫阶段死亡,而且羽化成蜂体表面无光泽,不活跃,飞翔能力差,且寿命短。本研究也发现柞蚕灰卵繁育的松毛虫赤眼蜂较健康卵繁育的松毛虫赤眼蜂对米蛾卵寄生能力明显下降。总的来看,松毛虫赤眼蜂在细菌感染致病柞蚕灰卵上的寄生率、羽化率、单卵出蜂数、单卵总蜂数均低于在柞蚕健康卵上的相应指标,且柞蚕灰卵繁育的子代蜂的寄生能力也显著低于健康卵繁育的松毛虫赤眼蜂,与 Alois (1984) 和 Sajap & Lewis (1988) 报道的不同致病细菌感染寄主导致的结果基本一致。因此,在工厂化生产赤眼蜂的过程中,柞蚕灰卵对赤眼蜂的寄生选择与适应性及其子代蜂的寄生能力存在一定程度的不良影响。

昆虫病原菌对寄生蜂种群影响的研究主要包括对寄生蜂生长发育及寄生蜂在感病寄主体内存活情况2方面的影响(Kaya & Tanada 1973; 刘君, 2013)。斑痣悬茧蜂 *Meterous pulchricornis* 和绒茧蜂 *Cotesia kazak* 寄生被苏云金芽胞杆菌感染的寄主斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 后,2种寄生蜂的发育历期均显著延长,原因可能是感病寄主体内营养物质被改变,从而减缓了寄生蜂的生长发育,因此寄生蜂需要更长的时间来完成发育(Walker et al., 2007)。Salama & Zaki (1983) 发现海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* 被苏云金芽胞杆菌感染后,体内会产生生物化学和组织学上的变化,进而影响子代蜂的生长发育,这可能是寄生蜂发育历期延长的原因。Brooks (1993) 的研究结果同样表明感病寄主的营养条件和生理状态发生变化是造成寄生蜂发育状态改变的原因之一。本研究中,松毛虫赤眼蜂在柞蚕灰卵和健康卵上的发育历期无显著差异,与 Salama & Zaki (1983) 和 Walker et al. (2007) 报道的感病寄主影响寄生蜂发育历期的研究结果不一致,但在灰卵和健康卵上的寄生率、羽化率、单卵出蜂数、单卵总蜂数都存在显著差异,可能与灰卵中的营养物质和生理发生某种变化有关,进而影响松毛虫赤眼蜂对柞蚕灰卵的寄生及在其中的发育与存活。本研究结果将为进一步开展柞蚕灰卵对松毛虫赤眼蜂的影响机制研究提供基础。

通过探究柞蚕灰卵对松毛虫赤眼蜂寄生选择与适应性及其子代蜂寄生能力的影响,发现松毛虫赤眼蜂在灰卵上的寄生率、羽化率以及单卵出蜂数和总蜂数会显著降低,并且灰卵繁育的子代蜂的寄生能力也明显低于健康卵繁育的子代蜂。研究结果证实柞蚕灰卵会明显降低赤眼蜂的生产效率和繁蜂质量,今后有必要对柞蚕灰卵与寄生蜂的相互作用关系以及柞蚕灰卵的防治开展深入研究。

参 考 文 献 (References)

- Alois MH. 1984. Susceptibility of the egg parasitoid *Trichogramma evanescens* to the microsporidium *Nosema pyrausta* and its impact on fecundity. *Journal of Invertebrate Pathology*, 44(2): 228–229
- Beegle CC, Oatuman ER. 1975. Effect of a nuclear polyhedrosis virus on the relationship between *Trichoplusia ni* and the parasite, *Hyposoter exiguae* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Invertebrate Pathology*, 25(1): 59–71
- Brooks WM. 1993. Host-parasitoid-pathogen interactions./Beckage NE, Thompson SN, Federici BA. Parasites and pathogens of insects, vol. 2: pathogens. New York: Academic Press, pp. 231–272
- Cossentine JE, Lewis LG. 1986. Impact of *Vairimorpha necatrix* and *Vairimorpha* sp. (Microspora: Microsporida) on *Bonnetia compta* (Diptera: Tachinidae) within *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) host. *Journal of Invertebrate Pathology*, 47(3): 303–309
- Guo Z, Ruan CC, Zang LS, Zhang F, Jin FY. 2012. Design of specific primer for *Trichogramma japonicum* based on rDNA-ITS2 and application of diagnostic primers in identification of four *Trichogramma* species. *Chinese Journal of Rice Science*, 26(1): 123–126 (in Chinese) [郭震, 阮长春, 臧连生, 张帆, 靳锋云. 2012. 稻螟赤眼蜂rDNA特异引物设计及诊断引物在赤眼蜂分子鉴定中的应用. *中国水稻科学*, 26(1): 123–126]
- Hafez M, Salama HS, Aboul-Ela R, Zaki FN, Ragaei M. 1997. *Bacillus thuringiensis* affecting the larval parasite *Meteorus laeviventris* Wesm. (Hym., Braconidae) associated with *Agrotis ypsilon* (Rott.) (Lep., Noctuidae) larvae. *Journal of Applied Entomology*, 121: 535–538
- Kaya HK, Tanada Y. 1973. Hemolymph factor in armyworm larvae infected with a nuclear-polyhedrosis virus toxic to *Apanteles militaris*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 21(3): 211–214
- Li T, Liu YH, Zhang YJ. 2007. Impacts of *Beauveria bassiana* (Moniliales: Moniliaceae) on parasitic behavior of *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Aphidiidae). *Journal of Plant Protection*, 34(4): 401–404 (in Chinese) [李涛, 刘映红, 张永军. 2007. 球孢白僵菌对烟蚜茧蜂寄生行为的影响. *植物保护学报*, 34(4): 401–404]
- Lin NQ. 1994. Systematic studies of Chinese Trichogrammatidae (Hymenoptera: Chalcidoidea). Fuzhou: Fujian Science and Technology Publishing House, pp. 42–63 (in Chinese) [林乃铨. 1994. 中国赤眼蜂分类(膜翅目: 小蜂总科). 福州: 福建科学技术出版

- 社, pp. 42–63]
- Liu J. 2013. The effect of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus (SeNPV) on the growth and development of *Microplitis pallidipes* Szepilgeti and on the endocrine activity of host larvae. Master Thesis. Shanghai: Shanghai Ocean University (in Chinese) [刘君. 2013. 甜菜夜蛾核型多角体病毒对淡足侧沟茧蜂生长发育及寄主内分泌活动的影响. 硕士学位论文. 上海: 上海海洋大学]
- Liu SS, Zhang GM, Zhang F. 1998. Factors influencing parasitism of *Trichogramma dendrolimi* on eggs of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. *BioControl*, 43(3): 273–287
- Nan N. 2014. Pathogen identification and their sensitivity to bactericides for bacterial diseases on five medicinal plants in Jilin Province. Master Thesis. Changchun: Jilin Agricultural University (in Chinese) [南楠. 2014. 吉林省5种药用植物细菌病害的病原鉴定及对药剂的敏感性研究. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学]
- Ruan CC, Zhu XY, Meng ZJ, Su RJ. 2000. Influence of *Antheraea pernyi* diseases on egg-host of *Trichogramma*. *Journal of Jilin Agricultural University*, 22(3): 22–26 (in Chinese) [阮长春, 朱兴友, 孟昭军, 苏仁君. 2000. 柞蚕蛾病害与赤眼蜂柞蚕寄主卵的关系. 吉林农业大学学报, 22(3): 22–26]
- Ruan CC, Zhu XY, Li HW, Hu YH. 2003. Study on quality of *Antheraea* cocoon and hatching rates of egg-host *Trichogramma*. *Journal of Jilin Agricultural University*, 25(2): 148–149, 153 (in Chinese) [阮长春, 朱兴友, 李洪文, 胡耀辉. 2003. 柞蚕茧质与卵寄生赤眼蜂羽化率的研究. 吉林农业大学学报, 25(2): 148–149, 153]
- Sajap AS, Lewis LC. 1988. Effects of the microsporidium *Nosema pyrausta* (Microsporidia: Nosematidae) on the egg parasitoid, *Trichogramma nubilale* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Invertebrate Pathology*, 52(2): 294–300
- Salama HS, Zaki FN. 1983. Histopathological effects of *Bacillus thuringiensis* on the larvae of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Annals of Agricultural Science*, 28(1): 301–318
- Saleh MME, Leslie CL, John JO. 1995. Selection of *Nosema pyrausta* (Microsporidia: Nosematidae)-infected *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) eggs for parasitization by *Trichogramma nubilale* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Crop Protection*, 14(4): 327–330
- Tian CY, Hou YY, Zang LS, Ruan CC. 2019. Rearing *Trichogramma ostrinae* on the eggs of Chinese oak silkworm, *Antheraea pernyi* through multiparasitism with *Trichogramma dendrolimi*. *Journal of Plant Protection*, 46(2): 451–457 (in Chinese) [田春雨, 侯洋洋, 臧连生, 阮长春. 2019. 利用松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵繁育玉米螟赤眼蜂研究. 植物保护学报, 46(2): 451–457]
- Walker GP, Cameron PJ, Macdonald FM, Madhusudhan VV, Wallace AR. 2007. Impacts of *Bacillus thuringiensis* toxins on parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) of *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Control*, 40(1): 142–151
- Wang GQ, Wang HK. 1999. Mass rearing technique of using *Antheraea pernyi* pupa to propagate *Chouioia cunea*. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 30(3): 317–319 (in Chinese) [王桂清, 王洪魁. 1999. 利用柞蚕蛹繁殖白蛾周氏啮小蜂技术. 沈阳农业大学学报, 30(3): 317–319]
- Wang YY. 2013. Influence of *Empedobacter brevis* (GXW15-4) on biology of *Meterous pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae). Master Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [王以一. 2013. 短稳杆菌对斑痣悬茧蜂生物学特性的影响. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- Xia BY, Wang MH. 1979. The structure of oak silkworm egg shell and its relation to trichogrammatid parasitism. *Acta Entomologica Sinica*, 22(1): 30–33 (in Chinese) [夏邦颖, 王敏慧. 1979. 柞蚕卵壳的结构及其与赤眼蜂寄生的关系. 昆虫学报, 22(1): 30–33]
- Zhang JJ, Zhang X, Zang LS, Du WM, Hou YY, Ruan CC, Desneux N. 2018. Advantages of diapause in *Trichogramma dendrolimi* mass production on eggs of the Chinese silkworm, *Antheraea pernyi*. *Pest Management Science*, 74(4): 959–965

(责任编辑: 李美娟)