

利用松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵繁育玉米螟赤眼蜂

田春雨 侯洋旻 臧连生* 阮长春

(吉林农业大学生物防治研究所, 生物防治应用技术工程研究中心, 长春 130118)

摘要: 为明确玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen 与松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi* Matsumura 共寄生柞蚕 *Antheraea pernyi* (Guérin-Méneville) 卵后能否借助松毛虫赤眼蜂在柞蚕卵上的羽化孔顺利出蜂, 在不同温度(20、23、26、29、32℃)、相对湿度(50%、60%、70%、80%、90%)以及光照周期(L:D=24:0、19:5、14:10、10:14、5:19、0:24)条件下对这2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵的各项生物学参数进行了比较分析。结果表明: 利用松毛虫赤眼蜂与玉米螟赤眼蜂共寄生柞蚕卵可以提高玉米螟赤眼蜂的羽化率, 在温度为26℃时, 2种赤眼蜂对柞蚕卵的寄生率达90.0%, 羽化率达96.8%, 单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数达到最高, 为3.8头; 相对湿度为80%时, 2种赤眼蜂对柞蚕卵的寄生率达83.3%, 羽化率达92.0%, 单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数达到最高, 为6.5头; 光照条件为L 24 h:D 0 h时, 2种赤眼蜂对柞蚕卵的寄生率达93.3%, 羽化率达96.4%, 单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数达到最高, 为6.9头。表明利用松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂共寄生柞蚕卵的方法可以实现柞蚕卵正常繁育玉米螟赤眼蜂。

关键词: 赤眼蜂; 柞蚕; 环境条件; 共寄生; 大量繁育

Rearing *Trichogramma ostrinae* on the eggs of Chinese oak silkworm, *Antheraea pernyi* through multiparasitism with *Trichogramma dendrolimi*

Tian Chunyu Hou Yangyang Zang Liansheng* Ruan Changchun

(Jilin Engineering Research Center of Biological Control, Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin Province, China)

Abstract: In order to clarify whether *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen could be reared through multiparasitism with *Trichogramma dendrolimi* Matsumura on *Antheraea pernyi* (Guérin-Méneville) eggs, the possibility to enhance adult emergence of *T. ostrinae* by utilizing emergence holes made by *T. dendrolimi* during multiparasitism on host eggs under different temperatures (20, 23, 26, 29, 32℃), relative humidities (50%, 60%, 70%, 80%, 90%) and light regimes (24:0, 19:5, 14:10, 10:14, 5:19, 0:24 L:D) were evaluated. The results showed that multiparasitism in host eggs of *A. pernyi* significantly facilitated the emergence of *T. ostrinae* adults, but there was significant difference in the adult emergence under different environmental conditions. The parasitism rate and emergence rate reached 90.0% and 96.8%, respectively, during multiparasitism in *A. pernyi* eggs under 26℃, and *T. ostrinae* had the highest emergence rate at 3.8 adults per egg. The parasitism rate and emergence rate reached 83.3% and 92.0%, respectively, during multiparasitism in host eggs under the relative humidity 80%, and *T. ostrinae* had the highest emergence rate at 6.5 adults per egg. The parasitism rate and emergence rate reached 93.3% and 96.4%, respectively, during multiparasitism in host eggs at L 24 h:D 0 h, and *T. ostrinae* emerged at the highest rate of 6.9 adults per egg. The study demonstrated that *T. ostrinae* could be

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201000), 国家自然科学基金(31572058)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: ls20415@163.com

收稿日期: 2018-01-06

reared through multiparasitism with *T. dendrolimi* on *A. pernyi* eggs.

Key words: *Trichogramma*; *Antheraea pernyi*; environmental condition; multiparasitism; massive production

赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 属膜翅目小蜂总科赤眼蜂科,是现代农林害虫生物防治上应用范围最广、防治效果最好的天敌昆虫 (Smith, 1996)。有些种类在世界各地被频繁用于害虫生物防治方案中并且表现出很好的生物防治潜能 (Chailleux et al., 2012; Yuan et al., 2012; Song et al., 2015)。玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen 是寄生亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 卵的优势蜂种,是影响玉米螟种群消长的重要天敌因素 (张荆等, 1990; Wang et al., 2012)。20 世纪 50 年代,中国开始利用赤眼蜂防治亚洲玉米螟的研究工作,如王振营等 (2000) 研究表明,玉米螟赤眼蜂对亚洲玉米螟的防治效果远高于松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi* Matsumura, 每公顷释放 22.5 万~30.0 万头松毛虫赤眼蜂,防效为 60%~70%,而每公顷释放 7.5 万~12.0 万头玉米螟赤眼蜂,防效可高达 90%。

生产赤眼蜂需要大量的寄主卵,20 世纪 60 年代中国开始尝试用大卵蓖麻蚕 *Attacus cyathia ricini* Boisd 卵繁殖赤眼蜂来防治甘蔗螟虫 (蒲蛰龙和刘志诚, 1962)。目前使用较频繁的寄主卵是柞蚕 *Antheraea pernyi* (Guérin-Méneville) 卵。柞蚕是我国特色优势资源,具有价格低廉、繁蜂效率高、便于运输等优点,是我国赤眼蜂大规模生产中最普遍应用的繁蜂中间寄主 (Wang et al., 2014)。柞蚕卵大而且卵壳坚硬,不是所有赤眼蜂种类都能利用柞蚕卵进行繁育。目前能用柞蚕卵繁育的仅有松毛虫赤眼蜂以及少量螟黄赤眼蜂 *T. chilonis* Ishii 和卷蛾赤眼蜂 *T. cacoeciae* Marchal 品系,虽然有些种类 (或品系) 赤眼蜂如玉米螟赤眼蜂、广赤眼蜂 *T. evanesens* Westwood 和食胚赤眼蜂 *T. embryophagum* (Hartig) 等能寄生柞蚕卵,但并不能穿破卵壳完成羽化 (Hassan et al., 2004)。

关于 2 种赤眼蜂共寄生同一寄主卵的研究也有相关报道,如杜增庆和裘学军 (1988) 在浙江省马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker 常发区进行试验调查时,发现了卵期寄生蜂的共寄生现象。共寄生虽出现不同程度的相互排挤现象,产生竞争,但可以提高对卵块的寄生率,充分发挥各自的天敌作用。种间寄主资源竞争是一种非常普遍的种间相互作用,影响着昆虫群落结构的稳定性 (施祖华和刘树生, 2003)。韩诗畴等 (1993) 以柞蚕卵为寄主,观察

了荔枝卵平腹小蜂 *Anastatus japonicus* Ashmead 和松毛虫赤眼蜂的种间竞争情况,发现当 2 种寄生蜂同时寄生于同一寄主卵时,松毛虫赤眼蜂会以微弱的优势取胜,但会因为营养供给不足使成蜂个体发育不良,甚至死亡。种间竞争的深入研究对大量繁育优势蜂种具有重要的实践意义 (郭明昉, 1985)。

赤眼蜂寄生柞蚕卵后,需要适宜的环境条件才能完成发育,比如温度、湿度以及光照都会对赤眼蜂的寄生和发育产生影响。赤眼蜂属于节肢变温动物,生长阶段会受到温度的影响 (Zuim et al., 2017)。赤眼蜂在适宜的温度下发育时其生殖力、生活力也会较强,因此在赤眼蜂生产过程中,掌握好繁蜂温度对提高赤眼蜂的质量有着重要作用 (黄寿山等, 1995; Haile et al., 2002; 陈科伟等, 2006)。在适宜的湿度条件下,赤眼蜂可以正常寄生和发育,如果湿度过低,成蜂体内卵细胞的发育则会受到影响,造成产卵量下降,且成蜂死亡;此外,已被寄生的卵也会因湿度过低而干瘪,导致成蜂无法正常羽化,甚至死亡,而如果湿度过高,寄主卵会发霉,使成蜂不能羽化 (张荆等, 1984; 戴秋慧等, 2004)。本研究以玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂为供试蜂种,新鲜柞蚕卵为供试寄主,从控制温度、湿度、光照等环境条件出发,探索利用玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵的方法繁育玉米螟赤眼蜂的可行性,以期为扩大应用柞蚕卵繁育优势赤眼蜂种类以及开发“一卵多蜂”产品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试寄生蜂:松毛虫赤眼蜂于吉林省长春市水稻田采集的二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 卵块中获得,玉米螟赤眼蜂利用大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* (Matsumura) 卵块从黑龙江省黑河市大豆田中诱集得到。对蜂种的鉴定主要依据赤眼蜂雄性外生殖器的形态学特征 (Pinto, 1992) 和 rDNA-ITS2 分子生物学分析 (Stouthamer et al., 1999)。玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂的 ITS2 序列在 GenBank 中的登录号分别为 HE648326 和 FR750279。所有蜂种均利用米蛾 *Corcyra cephalonica* (Stainton) 卵扩繁 10 代以上,建立试验种群。

供试寄主及仪器:取初羽化且完全展翅的柞蚕

雌蛾,剖腹取卵,用清水反复清洗漂除杂质和未成熟卵,置于室温下晾干,待卵粒晾干后,挑选外形饱满的进行试验。SANYO MLR-351H 恒温培养箱,日本 Sanyo Electric 有限公司。

1.2 方法

1.2.1 温度对2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵影响的测定

试验共设置5个温度梯度:20、23、26、29、32℃。取羽化8 h内的松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂雌蜂各1头接入备有1粒柞蚕卵的试管中,分别于以上5个温度条件下接蜂,24 h后去除雌蜂,并将柞蚕卵移入温度 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70\pm 5)\%$ 、光照周期L 14 h:D 10 h的培养箱中继续培养,8 d后每日观察赤眼蜂寄生和羽化情况,待有成蜂羽化后逐日调查每种赤眼蜂的羽化蜂数,直至连续3 d无蜂羽化后,终止调查。每个处理重复30次。最终解剖寄生卵粒,记录遗留蜂数,统计各处理的寄生卵粒数、总卵粒数、羽化出蜂卵粒数、寄生总卵粒数,并计算寄生率、羽化率、单卵总蜂数、单卵出蜂数、单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数和出蜂数。寄生率=寄生卵粒数/总卵粒数 $\times 100\%$;羽化率=羽化出蜂卵粒数/寄生总卵粒数 $\times 100\%$;单卵总蜂数指平均1粒寄生柞蚕卵含有的所有羽化出蜂数与残留蜂数的总和;单卵出蜂数指平均1粒寄生柞蚕卵的总羽化出蜂数;单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数指平均1粒寄生柞蚕卵含有的玉米螟赤眼蜂出蜂数与残留蜂数的总和;单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数指平均1粒寄生柞蚕卵含有的玉米螟赤眼蜂羽化出蜂数。

1.2.2 湿度对2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵影响的测定

根据温度试验的结果,在适宜温度 26°C 条件下进行湿度试验。在赤眼蜂的适宜湿度范围50%~90%区间内设5个相对湿度梯度:50%、60%、70%、80%、90%。取羽化8 h内的松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂雌蜂各1头,接入备有1粒柞蚕卵的试管中,分别于以上5个相对湿度条件下进行接蜂,24 h后去除雌蜂,并将寄生卵移入温度 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70\pm 5)\%$ 、光照周期L 14 h:D 10 h的培养箱中继续培养。每个处理重复30次。调查方法同1.2.1。

1.2.3 光照对2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵影响的测定

根据温、湿度试验的结果,在温度 26°C 、相对湿度80%条件下进行光照试验。在24 h内设置6个光照处理,光照时间与黑暗时间的比值(L:D)分别为24:0、19:5、14:10、10:14、5:19、0:24。取羽化8 h内的松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂雌蜂各1头,接入备有1粒柞蚕卵的试管中,分别于以上6个光照处理

条件下接蜂,24 h后去除雌蜂,并将柞蚕卵移入温度 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70\pm 5)\%$ 、光照周期L 14 h:D 10 h的培养箱中继续培养。每个处理重复30次。调查方法同1.2.1。

1.3 数据分析

试验数据采用DPS 13.5软件进行分析,在对不同温度、湿度和光照条件下各生物学参数的平均数进行比较时,应用单因素完全随机方差分析,以Tukey's HSD法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度对2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵的影响

松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂共寄生柞蚕卵时,寄生率随着温度的升高呈先上升后下降的趋势。最适温度范围为23~ 26°C ,共寄生的寄生率可达90.2%。 26°C 时,2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵的羽化率最高,达96.8%,但与其它温度条件差别不大(表1)。20~ 26°C 下,单个柞蚕卵含有2种赤眼蜂的总蜂数显著高于 29°C 和 32°C ($F_{4,111}=16.83, P<0.0001$); 26°C 时的单卵总出蜂数最高,其次是 20°C 和 23°C 时,而 29°C 和 32°C 时最低($F_{4,111}=5.18, P=0.0007$);不同温度条件下,单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数无显著差异($F_{4,111}=1.81, P=0.1318$),但当接蜂温度为 26°C 时,单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数达到最高,为3.8头,仅显著高于 23°C 时的出蜂数($F_{4,111}=3.18, P=0.0163$)。

2.2 相对湿度对2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵的影响

当松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂共寄生柞蚕卵时,在相对湿度为50%时的寄生率最高,为93.3%,其次是相对湿度80%条件下,寄生率为83.3%,不同相对湿度条件下,赤眼蜂羽化率变化不大,在相对湿度80%条件下羽化率达到92.0%。相对湿度为50%时,羽化率达100.0%,且单卵总蜂数($F_{4,103}=5.78, P=0.0003$)和单卵出蜂数($F_{4,103}=4.54; P=0.0020$)均为最高,但同其它相对湿度相比,此相对湿度下的单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数($F_{4,103}=3.89, P=0.0055$)和出蜂数($F_{4,92}=8.29, P<0.0001$)均最低,分别为2.6头和1.0头。在相对湿度80%条件下,单卵玉米螟赤眼蜂的总蜂数和出蜂数均最高,分别为9.6头和6.5头,显著高于相对湿度为50%和60%的处理(表2)。

2.3 光照对2种赤眼蜂共寄生柞蚕卵的影响

当玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵时,寄生率呈现出随着光照时间的缩短而下降的趋势,在L 24 h:D 0 h和L 19 h:D 5 h光照条件下,寄生率最高,为93.3%。不同光照条件下,羽化率相差

不大,但在 24 h 全光照条件下,羽化率最高,可达 96.4%。单卵总蜂数($F_{5,144}=7.15, P<0.0001$)和单卵出蜂数($F_{5,144}=4.84, P=0.0004$)也呈现出随着光照时间缩短而下降的趋势,24 h 全光照时的单卵总蜂数和出蜂数分别为 103.0 头和 95.1 头,而无光照时的单卵总蜂数和出蜂数分别为 62.7 头和 54.7 头。L 10 h:D 14 h 条件下的单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数最多($F_{5,144}=6.06, P<0.0001$),为 11.6 头,与 24 h 全光照无显著差异,但显著高于 L 5 h:D 19 h 和无光照处理;24 h 全光照的单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数最高($F_{5,144}=3.63, P=0.0040$),为 6.9 头,与 L 10 h:D 14 h 处理无显著差异,但显著高于无光照处理(表 3)。

表 1 在不同温度条件下玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵的生物学参数

Table 1 The biological parameters of *Trichogramma dendrolimi* and *Trichogramma ostrinae* co-parasitizing *Antheraea pernyi* eggs under different temperatures

温度 Temperature (℃)	寄生率 Parasitism rate (%)	羽化率 Emergence rate (%)	单卵总蜂数 Total no. of adults per egg	单卵出蜂数 No. of emerged adults per egg	单卵 TO 总蜂数 Total no. of TO per egg	单卵 TO 出蜂数 No. of emerged TO per egg
20	86.4	84.2	86.8±5.6 a	64.7±6.6 ab	6.1±0.3 a	1.6±0.6 ab
23	90.2	77.8	102.3±5.0 a	64.6±7.6 ab	2.7±0.3 a	0.4±0.2 b
26	90.0	96.8	103.4±4.5 a	86.6±5.3 a	7.5±0.3 a	3.8±0.8 a
29	63.4	84.2	55.3±6.3 b	47.9±7.1 b	4.5±0.4 a	2.1±0.9 ab
32	56.9	94.2	59.5±5.3 b	49.6±6.9 b	5.1±0.4 a	2.3±0.8 ab

TO: 玉米螟赤眼蜂。表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 Tukey’s HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。TO: *Trichogramma ostrinae*. Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ by Tukey’s HSD test.

表 2 在不同相对湿度条件下玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵的生物学参数

Table 2 The biological parameters of *Trichogramma dendrolimi* and *Trichogramma ostrinae* co-parasitizing *Antheraea pernyi* eggs under different relative humidities

相对湿度 Relative humidity (%)	寄生率 Parasitism rate (%)	羽化率 Emergence rate (%)	单卵总蜂数 Total no. of adults per egg	单卵出蜂数 No. of emerged adults per egg	单卵 TO 总蜂数 Total no. of TO per egg	单卵 TO 出蜂数 No. of emerged TO per egg
50	93.3	100.0	101.9±4.5 a	86.1±4.4 a	2.6±0.9 b	1.0±0.4 c
60	60.0	88.9	67.8±5.9 b	53.3±7.0 b	2.9±1.5 b	1.4±0.8 bc
70	46.7	92.9	73.6±8.1 b	65.5±8.1 ab	5.7±1.8 ab	2.8±0.9 abc
80	83.3	92.0	81.0±4.7 ab	68.5±5.4 ab	9.6±1.7 a	6.5±1.3 a
90	76.7	73.9	70.7±7.9 b	56.6±8.0 b	6.5±1.8 ab	5.3±1.5 ab

TO: 玉米螟赤眼蜂。表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 Tukey’s HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。TO: *Trichogramma ostrinae*. Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ by Tukey’s HSD test.

表 3 在不同光照条件下玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵的生物学参数

Table 3 The biological parameters of *Trichogramma dendrolimi* and *Trichogramma ostrinae* co-parasitizing *Antheraea pernyi* eggs under different light regimes

光照条件 Light regime (L:D)	寄生率 Parasitism rate (%)	羽化率 Emergence rate (%)	单卵总蜂数 Total no. of adults per egg	单卵出蜂数 No. of emerged adults per egg	单卵 TO 总蜂数 Total no. of TO per egg	单卵 TO 出蜂数 No. of emerged TO per egg
24:0	93.3	96.4	103.0±5.2 a	95.1±5.1 a	9.2±1.4 a	6.9±1.1 a
19:5	93.3	82.1	95.0±6.6 a	75.3±8.0 ab	6.6±1.3 ab	3.0±0.9 ab
14:10	83.3	96.0	96.1±7.7 a	84.1±7.7 ab	7.6±1.3 ab	3.5±0.8 ab
10:14	90.0	88.9	93.3±6.8 a	76.3±7.2 ab	11.6±1.4 a	5.9±1.1 a
5:19	63.3	78.9	59.7±8.3 b	53.1±8.8 b	2.9±1.2 b	2.5±1.0 ab
0:24	76.7	82.6	62.7±5.6 b	54.7±6.8 b	3.2±1.1 b	1.8±0.8 b

TO: 玉米螟赤眼蜂。表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 Tukey’s HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。TO: *Trichogramma ostrinae*. Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ by Tukey’s HSD test.

3 讨论

本研究发现玉米螟赤眼蜂可以通过与松毛虫赤眼蜂共寄生柞蚕卵的方式来繁育,证实了“一卵多蜂”的可行性。杜增庆和裘学军(1988)在浙江省马尾松毛虫常发区进行试验调查时,也发现了卵期寄生蜂的共寄生现象;倪乐湘等(1994)研究发现松毛虫赤眼蜂和平腹小蜂 *Pseudanastatus albitarsis* Ashmead 均可以寄生已被对方寄生过的卵,但羽化率较低;而松毛虫宽缘金小蜂 *Pachyneuron solitarium* (Hartig) 偏好寄生被其它赤眼蜂寄生后已发育 3~5 d 的卵,且能顺利完成羽化。共寄生虽出现了不同程度的相互排挤现象,但可以提高对卵块的寄生率,充分发挥各自的天敌作用。如郭明昉(1985)曾就松毛虫赤眼蜂、稻螟赤眼蜂 *T. japonicum* Ashmead 和拟澳洲赤眼蜂 *T. confusum* Viggiani 对寄主的种间竞争进行过研究,发现稻螟赤眼蜂可以寄生被其它 2 种赤眼蜂寄生过的寄主卵,具有强大的种间竞争能力;韩诗畴等(1993)以柞蚕卵为寄主,观察荔枝卵平腹小蜂和松毛虫赤眼蜂的种间竞争情况,发现当 2 种寄生蜂同时寄生于同一寄主卵时,松毛虫赤眼蜂会以微弱的优势取胜,但会因为营养供给不足使成蜂个体发育不良,甚至死亡。本研究观察发现松毛虫赤眼蜂表现出较强的竞争优势,行为活跃,优先找到寄主卵寄生,同时也会首先完成羽化,但不会影响玉米螟赤眼蜂的寄生,反而留下的羽化孔可使玉米螟赤眼蜂顺利完成羽化。

综合已有的研究结果可知,赤眼蜂的发育温度为 12~34℃,在 10℃ 以下和 35℃ 以上则不能羽化,繁育的适宜温度在 20~30℃ 之间(张荆等, 1984; Foerster & Foerster, 2009; Bari et al., 2015)。黄寿山等(1995)研究发现,30℃ 为玉米螟赤眼蜂寄生米蛾卵的最适宜温度;王亚洲(1995)和 Yuan et al. (2012)测试了不同温度对松毛虫赤眼蜂产卵量的影响,结果显示其适宜产卵温度范围在 22~27℃ 之间,最适产卵温度为 26~27℃,在 20℃ 以下、30℃ 以上松毛虫赤眼蜂的产卵量明显下降。本研究发现,在 20~32℃ 条件下,松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂共寄生柞蚕卵时的单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数为 2.7~6.1 头,各温度处理间无显著差异,但 20~26℃ 条件下的单卵总蜂数显著高于 29~32℃ 处理,表明松毛虫赤眼蜂在相对较低的温度下表现出较强的寄生能力,这与王亚洲(1995)和 Yuan et al. (2012)报道的结果基本一致。26℃ 条件下 2 种赤眼蜂共寄生柞蚕卵时的单卵

玉米螟赤眼蜂出蜂数最多(3.8 头),表明该温度是利用柞蚕卵繁育玉米螟赤眼蜂的适宜温度。

在诸多影响赤眼蜂寄生和发育的因素中,相对湿度至关重要。张荆等(1984)研究发现,玉米螟赤眼蜂在相对湿度为 55%~75% 时,羽化率最高;在相对湿度为 84% 时,各虫态的年龄结构最为合理;戴秋慧等(2004)通过不同温、湿度组合对 3 种赤眼蜂的产卵量、羽化和寿命的影响试验发现,玉米螟赤眼蜂、食胚赤眼蜂、卷蛾赤眼蜂的生长发育最适宜条件是相对湿度 78%、温度 25℃,高温条件下相对湿度过低或过高均会不同程度地影响 3 种赤眼蜂的寄生、羽化和寿命。本研究发现,在相对湿度为 50% 时,松毛虫赤眼蜂和玉米螟共寄生柞蚕卵时的单卵总蜂数和出蜂数明显高于其它湿度处理,但单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数和出蜂数仅为 2.6 头和 1.0 头,表明松毛虫赤眼蜂在相对湿度较低时表现出较好的寄生能力;虽然相对湿度为 80%~90% 时单卵总蜂数和出蜂数少,但单卵玉米螟赤眼蜂总蜂数为 6.5~9.6 头,单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数为 5.3~6.5 头,表明玉米螟赤眼蜂在高湿环境下的寄生能力较强,这与 Yuan et al. (2012)报道结果基本一致。综合来看,相对湿度为 80% 时 2 种赤眼蜂共寄生柞蚕卵时的单卵玉米螟赤眼蜂出蜂数最多(6.5 头),表明该湿度条件适宜利用柞蚕卵来繁育玉米螟赤眼蜂。

对于光照与赤眼蜂发育的关系,张俊杰等(2015)研究发现在松毛虫赤眼蜂寄生柞蚕卵过程中,在光周期为 L 8 h:D 16 h 的环境中接蜂、自然光周期条件下发育可使寄生率提高 2.25%~11.25%,羽化率提高 2.99%~11.04%,原料损失率降低 2.25%~11.25%,很大程度上节约了生产成本;季香云等(2011)在光周期对淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes* Szepliget 成蜂寿命的影响试验中发现,随着光周期延长成蜂寿命有延长的趋势,最佳繁育光周期为 L 12 h:D 12 h。在本研究中发现,不同光照条件对赤眼蜂寄生柞蚕卵有不同程度的影响:当 2 种赤眼蜂共寄生柞蚕卵时,光照时间为 19~24 h 时,寄生率高达 90% 以上;特别是在全光照条件下,松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂共寄生柞蚕卵时的单卵总蜂数、出蜂数、玉米螟赤眼蜂总蜂数及其出蜂数普遍高于其它光照处理。这与赤眼蜂单独存在时的情况似乎不一样,广赤眼蜂在持续黑暗 24 h 条件下可寄生麦蛾 *Sitotroga cerealella* (Olivier) 卵 88.5 粒,比 L 14 h:D 10 h 光照条件下寄生数量多 15.3% (Tshernyshev et al., 2016)。这些研究结果表明光照是影响赤眼蜂

种间竞争的一个主要环境因素。

Hassan et al.(2004)研究结果表明,柞蚕卵仅能正常繁育松毛虫赤眼蜂以及少量螟黄赤眼蜂和卷蛾赤眼蜂品系。本试验结果表明,柞蚕卵还可以正常繁育诸如玉米螟赤眼蜂等类似的赤眼蜂。在适宜的环境条件下,通过松毛虫赤眼蜂与玉米螟赤眼蜂共寄生柞蚕卵的方式可以繁育玉米螟赤眼蜂。这在利用柞蚕大卵繁蜂方面是一项突破,同时确定了应用柞蚕卵开发“一卵多蜂”产品的可行性。“一卵多蜂”产品的开发为今后利用柞蚕卵繁育优势蜂种提供了新方法,同时明确协同繁育2种赤眼蜂的最佳环境条件是工厂化繁育赤眼蜂的必要条件,此研究结果将为扩大应用柞蚕卵繁育赤眼蜂种类及其推广应用提供理论依据。

参 考 文 献 (References)

- Bari MN, Jahan M, Islam KS. 2015. Effects of temperature on the life table parameters of *Trichogramma zehiri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), an egg parasitoid of *Dicladispa armigera* (Chrysomelidae: Coleoptera). *Environmental Entomology*, 44(2): 368–378
- Chailleux A, Desneux N, Seguret J, Maignet P, do Thi Khanh H, Maingnet P, Tabone E. 2012. Assessing European egg parasitoids as a mean of controlling the invasive South American tomato pinworm *Tuta absoluta*. *PLoS ONE*, 7(10): e48068
- Chen KW, Zhou J, Gong J, He YR, Huang SS. 2006. Effect of high temperature on laboratory *Trichogramma ostriniae* population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(7): 1250–1253 (in Chinese) [陈科伟, 周靖, 龚静, 何余容, 黄寿山. 2006. 高温对玉米螟赤眼蜂实验种群的影响. *应用生态学报*, 17(7): 1250–1253]
- Dai QH, Cong B, Xia YW. 2004. The effect of temperature and humidity on the three *Trichogramma*. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(S): 84–89 (in Chinese) [戴秋慧, 丛斌, 夏颖伟. 2004. 温湿度因素对两种引进赤眼蜂与当地优势种玉米螟赤眼蜂的影响. *中国生物防治*, 20(S): 84–89]
- Du ZQ, Qiu XJ. 1988. Discovery of associated parasitism of egg parasite in *Dendrolimus punctatus* Walker. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 8(3): 27–31 (in Chinese) [杜增庆, 裘学军. 1988. 马尾松毛虫卵期寄生蜂的共寄生新发现. *浙江林业科技*, 8(3): 27–31]
- Foerster MR, Foerster LA. 2009. Effects of temperature on the immature development and emergence of five species of *Trichogramma*. *BioControl*, 54(3): 445–450
- Guo MF. 1985. Discrimination of *Trichogramma japonicum* and other species of *Trichogramma* for hosts and competition among them. *Natural Enemies of Insect*, 7(4): 192–200 (in Chinese) [郭明昉. 1985. 稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead 与其他赤眼蜂种类对寄主的识别及种间竞争关系研究. *昆虫天敌*, 7(4): 192–200]
- Haile AT, Hassan SA, Ogol CKPO, Baumgartner J, Sithanatham S, Monje JC, Zebitz CPW. 2002. Temperature-dependent development of four egg parasitoid *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Biocontrol Science and Technology*, 12(5): 555–567
- Han SC, Chen QX, Liu WH, Zhang ML. 1993. Studies on interspecific competition between *Anastatus japonicus* and *Trichogramma dendrolimi* on host eggs. *Natural Enemies of Insect*, 15(1): 10–13 (in Chinese) [韩诗畴, 陈巧贤, 刘文惠, 张敏玲. 1993. 荔枝卵平腹小蜂和松毛虫赤眼蜂种间对寄主竞争的研究. *昆虫天敌*, 15(1): 10–13]
- Hassan SA, Lisicsinszky H, Zhang GR. 2004. The oak-silkworm egg *Antheraea pernyi* (Lepidoptera: Anthelidae) as a mass rearing host for parasitoids of the genus *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Biocontrol Science and Technology*, 14(3): 269–279
- Huang SS, Dai ZY, Wu DZ, Wang CA. 1995. Effect of temperature on the functional responses of *Trichogramma ostriniae*. *Journal of South China Agricultural University*, 16(3): 30–33 (in Chinese) [黄寿山, 戴志一, 吴达璋, 王春安. 1995. 温度对玉米螟赤眼蜂寄生功能反应的影响. *华南农业大学学报*, 16(3): 30–33]
- Ji XY, Xu JT, Gao H, Jiang JX, Wan NF, Yang JJ. 2011. The influences of temperature, photoperiod and supplemental nutrition on the adult longevity of *Microplitis pallidipes*. *Acta Agriculturae Shanghai*, 27(2): 67–70 (in Chinese) [季香云, 徐建陶, 高慧, 蒋杰贤, 万年峰, 杨建军. 2011. 温度、光周期和补充营养对淡足侧沟茧蜂成虫寿命的影响. *上海农业学报*, 27(2): 67–70]
- Ni LX, Tong XW, Lao XM. 1994. Influence of multiparasitism of egg parasitoids of pine lasiocampids on efficacy of biological control. *Acta Entomologica Sinica*, 37(2): 145–152 (in Chinese) [倪乐湘, 童新旺, 劳先闵. 1994. 松毛虫卵期几种寄生蜂的共寄生现象及其对寄生率的影响. *昆虫学报*, 37(2): 145–152]
- Pinto JD. 1992. Novel taxa of *Trichogramma* from the New World tropics and Australia (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of the New York Entomological Society*, 100(4): 621–633
- Pu ZL, Liu ZC. 1962. Sugarcane borer control by *Trichogramma evanescens* Westw. *Acta Entomologica Sinica*, 11(4): 409–414 (in Chinese) [蒲蛰龙, 刘志诚. 1962. 赤眼蜂大量繁殖及其对于甘蔗螟虫的大田防治效果. *昆虫学报*, 11(4): 409–414]
- Shi ZH, Liu SS. 2003. Interspecific interactions between *Cotesia plutellae* and *Oomyzus sokolowskii*, two major parasitoids of diamond-back moth, *Plutella xylostella*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(6): 949–954 (in Chinese) [施祖华, 刘树生. 2003. 小菜蛾主要寄生性天敌——菜蛾绒茧蜂与菜蛾啮小蜂间的相互作用. *应用生态学报*, 14(6): 949–954]
- Smith SM. 1996. Biological control with *Trichogramma*: advances, success, and potential of their use. *Annual Review of Entomology*, 41: 375–406
- Song LW, Wen XY, Zang LS, Ruan CC, Shi SS, Shao XW, Zhang F. 2015. Parasitism and suitability of different egg ages of the *Legu-*

- minivora glycinivorella* (Lepidoptera: Tortricidae) for three indigenous *Trichogramma* species. *Journal of Economic Entomology*, 108(3): 933–939
- Stouthamer R, Hu JG, van Kan Frenk JPM, Platner GR, Pinto JD. 1999. The utility of internally transcribed spacer 2 DNA sequences of the nuclear ribosomal gene for distinguishing sibling species of *Trichogramma*. *BioControl*, 43(4): 421–440
- Tshernyshev WB, Greenberg SM, Afonina VM, Zotov VA, Lebedev MI, Gavrilitsa LF. 2016. Influence of light and temperature on rearing and reproductive potential.//Vinson SB, Greenberg SM, Liu TX, Rao A, Voloskiuk LF. *Biological control of pests using Trichogramma: current status and perspectives*. Yangling: North-west A&F University Press, pp. 391–393
- Wang YH, Chen LP, Yu RX, Zhao XP, Wu CX, Cang T, Wang Q. 2012. Insecticide toxic effects on *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 68(12): 1564–1571
- Wang YZ. 1995. Study on the factors affecting oviposition of *Trichogramma dendrolimi*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 11(3): 9–11 (in Chinese) [王亚洲. 1995. 影响松毛虫赤眼蜂产卵因素的研究. *中国农学通报*, 11(3): 9–11]
- Wang ZY, He KL, Zhang F, Lu X, Babendreier D. 2014. Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China. *Biological Control*, 68: 136–144
- Wang ZY, Lu X, He KL, Zhou DR. 2000. Review of history, present situation and prospect of the Asian maize borer research in China. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 31(5): 402–412 (in Chinese) [王振营, 鲁新, 何康来, 周大荣. 2000. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望. *沈阳农业大学学报*, 31(5): 402–412]
- Yuan XH, Song LW, Zhang JJ, Zang LS, Zhu L, Ruan CC, Sun GZ. 2012. Performance of four Chinese *Trichogramma* species as biocontrol agents of the rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*, under various temperature and humidity regimes. *Journal of Pest Science*, 85(4): 497–504
- Zhang J, Wang JL, Cong B, Yang CC. 1990. A faunal study of *Trichogramma* (Hym.: Trichogrammatidae) species on *Ostrinia furnacalis* (Lep.: Pyralidae) in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 6(2): 49–53 (in Chinese) [张荆, 王金玲, 丛斌, 杨长成. 1990. 我国亚洲玉米螟赤眼蜂种类及优势种的调查研究. *生物防治通报*, 6(2): 49–53]
- Zhang J, Wang JL, Yan Y. 1984. Temperature requirements of *Trichogramma ostrinae*. *Journal of Plant Protection*, 11(3): 155–160 (in Chinese) [张荆, 王金玲, 阎颖. 1984. 温度因素对玉米螟赤眼蜂影响作用的研究. *植物保护学报*, 11(3): 155–160]
- Zhang JJ, Ruan CC, Zang LS, Shao XW, Shi SS. 2015. Technological improvements for mass production of *Trichogramma* and current status of their applications for biological control on agricultural pests in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(5): 638–646 (in Chinese) [张俊杰, 阮长春, 臧连生, 邵玺文, 史树森. 2015. 我国赤眼蜂工厂化繁育技术改进及防治农业害虫应用现状. *中国生物防治学报*, 31(5): 638–646]
- Zuim V, Rodrigues HS, Pratisoli D, Torres JB. 2017. Thermal requirements and performance of the parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs under variable temperatures. *Environmental Entomology*, 46(5): 1156–1164

(责任编辑:李美娟)