

松毛虫赤眼蜂孤雌产雌品系田间控害作用研究*

丛 斌** 张统书** 胡志凤 类成平 张明珠 杨 哲 张柱亭 白鸿岩
董 辉 钱海涛***

(沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866)

摘 要 【目的】为明确感染 *Wolbachia* 的松毛虫赤眼蜂孤雌产雌品系对亚洲玉米螟的防治效果。【方法】2012 和 2013 连续两年于沈阳地区玉米田间释放松毛虫赤眼蜂孤雌产雌品系和两性生殖品系。【结果】2012 年孤雌产雌品系对 1 代亚洲玉米螟卵寄生效果为 66.39%，对 2 代玉米螟卵寄生效果为 69.53%，与对照（松毛虫赤眼蜂两性品系）相比无显著差异（分别为 56%，79.73%）（ $P \geq 0.05$ ），2013 年孤雌产雌品系对 1 代亚洲玉米螟卵寄生效果为 56.20%，对 2 代玉米螟卵寄生效果为 82.10%，与对照相比无显著差异（分别为 52.24%，75.71%）（ $P \geq 0.05$ ）。收获前期剖杆结果表明，2012 年孤雌产雌品系及对照对玉米螟的防治效果分别为 22.50%、27.50%，2013 年分别为 38.28%、21.09%，连续两年的防治效果无显著差异（ $P \geq 0.05$ ）。【结论】从田间试验结果可以看出，孤雌产雌松毛虫赤眼蜂品系可取得与生产用两性松毛虫赤眼蜂品系同期的防治效果，且孤雌产雌松毛虫赤眼蜂在种群增长速率、降低规模化培养成本、低密度种群下进入新生境并建立种群等方面都要优于正常松毛虫赤眼蜂品系，因此其具有很好的生防应用效果。

关键词 *Wolbachia*，松毛虫赤眼蜂，孤雌产雌，生物防治

Biological control effect of thelytokous strain *Trichogramma dendrolimi*

CONG Bin** ZHANG Tong-Shu** HU Zhi-Feng LEI Cheng-Ping ZHANG Ming-Zhu
YANG Zhe ZHANG Zhu-Ting BAI Hong-Yan DONG Hui QIAN Hai-Tao***

(College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the effectiveness of the thelytokous *Wolbachia*-infected *Trichogramma dendrolimi* strain as a biological control for the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. 【Methods】A thelytokous *Wolbachia*-infected, and an arrhenotokous uninfected, strain of *T. dendrolimi* were released on corn fields in Shenyang, Liaoning Province in the 2012 and 2013 cropping seasons. 【Results】In 2012, there was no significant difference ($P \geq 0.05$) in the level of control of the Asian corn borer achieved by the two strains; the thelytokous strain reduced first and second generation Asian corn borer abundance by 66.3%, and 69.53%, respectively c.f. 56% and 79.73% for the arrhenotokous strain. Similarly, in 2013, the thelytokous strain reduced first and second generation Asian corn borer abundance by 56.20% and 82.10% c.f. 52.24% and 75.71% for the arrhenotokous strain. Nor was there a significant difference in the extent of crop damage between two strains ($P \geq 0.05$); in 2012 22.50% of the corn crop treated with the thelytokous strain was damaged c.f. 27.50% of the crop treated with the arrhenotokous strain, comparable values for 2013 were 38.28% and 21.09%, respectively. 【Conclusion】The similar results

* 资助项目：农业部公益性行业科研专项（201303026），“十二五”国家科技支撑计划（2012BAD19B04）

**并列第一作者，E-mail: bin1956@163.com, zhangts0923@163.com

***通讯作者，E-mail: q-h-t@163.com

收稿日期：2014-01-14，接受日期：2014-02-24

achieved by both strains can be attributed to their high population growth rates, easier establishment at low wasp population densities, and the reduced costs of a mass rearing program. The thelytokous strain may have greater potential for application.

Key words *Wolbachia*, *Trichogramma dendrolimi*, parthenogenesis, biocontrol

我国玉米螟的优势种是亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée), 它虫体小、危害潜力大、分布面积广。史振声等 (2009) 调查统计, 在辽宁地区有 81% 的调查点虫蛀株率高于 85%, 所属田块的减产程度至少在 20% 以上, 造成巨大损失。赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 是我国害虫生物防治研究最多、应用最广的一类卵寄生性天敌昆虫 (刘树生和施祖华, 1996; 王玉玲和肖子清, 1998; 詹根详和梁广文, 1999)。王连霞 (2013) 分别比较了玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* (Pang et Chen)、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* (Ishii)、松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* (Matsumura) 对亚洲玉米螟的防治效果, 综合各项指标得出最佳防治蜂种为松毛虫赤眼蜂, 并且松毛虫赤眼蜂可用柞蚕卵大量繁殖, 生产成本低, 寄生率高, 并且对玉米螟防治效果较好, 被广泛应用于东北玉米产区, 为控制玉米螟的为害起到了重要作用 (李青超等, 2013)。

寄生蜂性别决定方式为单双倍型, 一般情况下, 未受精的单倍型卵发育成雄蜂, 受精的二倍型卵发育为雌蜂, 寄生蜂中雄性占 20%~50% (章士美和杨明旭, 1986; 胡好远等, 2010), 这一部分雄性个体不具有寄生效能, 实际生产中无形增加了繁蜂成本, 因此降低雄蜂比例, 提高寄生效能, 提高赤眼蜂工厂化生产的产品质量, 在生防应用中具有重要意义。

沃尔巴克氏体 (*Wolbachia*) 是存在于节肢动物体内的一类呈母系遗传的细胞内共生细菌, 该菌通过不同机制参与调控寄主的生殖活动, 可

诱导胞质不亲和 (CI)、孤雌生殖 (PI)、雌性化、杀雄、增强雌性繁殖力等生殖现象 (Breeuwer and Werren, 1990; Juchault *et al.*, 1992; 丛斌和 Stouthamer, 1999; Dyson *et al.*, 2002)。赤眼蜂除具有孤雌产雄和两性产雌的生殖模式外, 部分蜂种或品系受 *Wolbachia* 调控营孤雌产雌生殖 (Stouthamer *et al.*, 1993; 丛斌等, 1998)。与两性生殖赤眼蜂相比, 孤雌产雌生殖赤眼蜂具有较高的种群增长率、在低密度下进入新生境易建立种群和降低生产成本等潜在优势, 所以 *Wolbachia* 诱导孤雌产雌被认为是提高赤眼蜂生防效能的有效途径 (Stouthamer *et al.*, 1993; 潘雪红等, 2007)。尽管对感染 *Wolbachia* 松毛虫赤眼蜂品系的生物学及生态学方面的研究较多, 但有关携带 *Wolbachia* 的赤眼蜂田间应用的研究还鲜见报道。

本研究是在本实验室对获得的受 *Wolbachia* 感染营孤雌产雌生殖的松毛虫赤眼蜂进行一系列的种群特性, 包括对寄主卵的选择、寄生羽化能力、嗅觉反应能力、适宜繁殖条件、温室和半自然环境条件下的寄生扩散能力以及低温贮藏、短期高温影响、生殖稳定性、寄生功能反应等研究基础上开展的 (付海滨和丛斌, 2005; 王翠敏等, 2006; 崔宝玉等, 2007; 杨克冬等, 2008; 张莹等, 2008; 张海燕等, 2009; 谢丽娜等, 2013)。由于孤雌产雌松毛虫赤眼蜂在室内和温室以及半自然条件下与正常两性品系相比没有明显的特性差异, 具有一定的生防潜力, 所以对大田防治玉米螟的验证试验很有必要进行。因此, 本文

研究了感染 *Wolbachia* 松毛虫赤眼蜂品系与未感染的普通松毛虫赤眼蜂品系在田间对玉米螟的防控作用, 评价其在防治亚洲玉米螟方面的应用潜力。

1 材料与方法

1.1 材料

蜂种 松毛虫赤眼蜂两性品系 (简写成 T.d), 感染 *Wolbachia* 的松毛虫赤眼蜂孤雌产雌品系 (简写成 T.d (W)), 均由沈阳农业大学害虫生物防治研究室提供。上述两品系材料在实验室条件经柞蚕 *Antheraea pernyi* (Guerin-Meneville) 剖腹卵保种繁殖。

寄主卵 采用新鲜柞蚕剖腹卵进行蜂种的扩繁, 柞蚕茧由沈阳市辽中生防站提供。

蜂卡 将寄生有赤眼蜂的柞蚕卵, 用乳白胶粘于 A4 纸, 做成特制蜂卡。每张纸分为 32 个卵块, 可方便撕取悬挂, 各卵块粘有 17~20 粒柞蚕卵 (每粒卵出蜂量 60~80 头), 以保证每个卵块能够出蜂 1 000 头。

1.2 试验方法

1.2.1 放蜂地点 辽宁省沈阳市沈北新区马岗乡。

1.2.2 放蜂面积 每个处理 6.67 hm², 3 次重复; 各个试验点间隔 500 m 以上, 并设无放蜂校正田。

1.2.3 放蜂适期 应准确确定放蜂时间, 以便使赤眼蜂和玉米螟卵相遇。6 月初开始进行玉米螟田间落卵量调查, 以百株卵量达 1.5~2 块时, 为第 1 次放蜂适期, 第 2 次放蜂时间是在第 1 次放蜂后的 5~7 d, 前两次放蜂主要防控 1 代亚洲玉米螟。防控 2 代玉米螟适期为 2 代玉米螟的落

卵始期, 其放蜂适期为 1 代玉米螟落卵空白期之后, 田间再次出现玉米螟卵块时, 即第 3 次放蜂。

1.2.4 放蜂数量 2012 年放蜂两次, 1、2 代玉米螟落卵始期各进行一次赤眼蜂释放, 按放蜂比例 1:1 即各次放蜂数量均为 12 万头/hm², 每个品系的松毛虫赤眼蜂共计释放约 480 万头; 2013 年放蜂 3 次, 放蜂比例 1:2:2 即 20%, 40%, 40% 比例释放, 第 1 次放蜂数量 6 万头/hm², 第 2 次放蜂数量 12 万头/hm², 第 3 次放蜂数量 12 万头/hm²。每个品系松毛虫赤眼蜂共计释放约 600 万头, 其中放蜂点 60 个/hm², 各点之间距离 20 m。

1.2.5 调查内容及方法

1.2.5.1 玉米螟田间落卵量调查 5 点取样法, 每点固定玉米 60 株, 共 300 株, 每隔 3 d 调查一次, 逐株叶(背)检查卵块, 发现卵块后做好标记。

1.2.5.2 玉米螟卵块田间采集及观察 赤眼蜂释放后 7 d, 田间采卵约 20 块带回室内记录卵粒寄生率及卵块寄生率, 并对自然赤眼蜂种群和人工释放种群进行区分。

1.2.5.3 卵寄生率调查 各次放蜂后 7 d 在放蜂区、对照区采取定点调查方法确定单位面积内或株数内的卵量基数, 并分别考查其自然寄生率。

$$\begin{aligned} \text{卵寄生率}(\%) &= \frac{\text{卵寄生数}}{\text{调查总卵数}} \times 100, \\ \text{卵粒杀伤率}(\%) &= \frac{\text{调查总卵数} - \text{寄生卵数} - \text{出虫数}}{\text{调查总卵数}} \times 100, \\ \text{校正寄生率}(\%) &= \frac{\text{防蜂区卵寄生率} - \text{校正区卵寄生率}}{1 - \text{校正区卵寄生率}} \times 100, \end{aligned}$$

寄生效果 (%) = 卵寄生率 + 卵粒杀伤率。

1.2.5.4 玉米植株被害情况调查 害虫卵寄生率只说明放蜂效果的一部分, 必须结合调查玉米植株被害情况和残留虫量的多少才能正确反映放蜂的实际效果。每个处理调查 300 株玉米。

$$\text{被害株率 (\%)} = \frac{\text{被害株数}}{\text{调查总株数}} \times 100 ,$$

$$\text{防治效果 (\%)} = \frac{\text{校正区被害率} - \text{放蜂区被害率}}{\text{校正区被害率}} \times 100 .$$

1.2.6 数据统计分析 数据统计分析采用 SPSSv17.0 数据处理软件的 Duncan's 新复极差测验法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 放蜂防治玉米螟结果 (2012 年)

结合田间玉米螟落卵量调查结果进行赤眼蜂释放日期选择, 是达到蜂卵结合目的的最好方法, 2012 年 6 月初开始调查田间玉米螟落卵情况, 每次调查 300 株玉米植株, 结果显示, 6 月 8 日开始发现有玉米螟落卵, 6 月 17 日调查时百株卵块数为 2.3 块, 于是选择 6 月 17 日放蜂防

治 1 代玉米螟; 第 2 次释放赤眼蜂是针对辽宁地区 2 代玉米螟落卵, 7 月 24 日田间落卵量为 0, 表示 1 代卵此时已经结束, 7 月 27 日田间又出现落卵, 于是选择在 7 月 30 日释放赤眼蜂防治 2 代玉米螟, 放蜂当日田间百株落卵量为 3.3 块。(表 1)。

2012 年放蜂对 1 代玉米螟防治效果表明, 孤雌产雌品系与对照的卵块寄生率 (分别为 55.23% , 50.79%), 卵粒寄生率 (分别为 55.10% , 45.49%), 卵粒杀伤率 (分别为 11.30% , 10.51%), 寄生效果 (分别为 66.39% , 56.00%), 单粒亚洲玉米螟卵孵化出的赤眼蜂头数 (分别为 0.76 头 , 0.82 头), 均无显著差异; 校正寄生率 (分别为 40.70% , 28.01%), 差异显著 (图 1)。

表 1 沈北玉米螟田间落卵量 (2012 年)

Table 1 The number of corn borer field egg in district Shenbei (2012)

调查日期 (月-日) Survey date (month-day)	调查株数 The number of plants	卵块数 The number of egg	百株卵块数 The egg masses number of 100 plants	备注 Remark
6-8	300	3	1.0	
6-11	300	5	1.7	
6-14	300	2	0.7	
6-17	300	7	2.3	放蜂
7-24	300	0	0	
7-27	300	5	1.7	
7-30	300	10	3.3	放蜂
8-2	300	12	4.0	

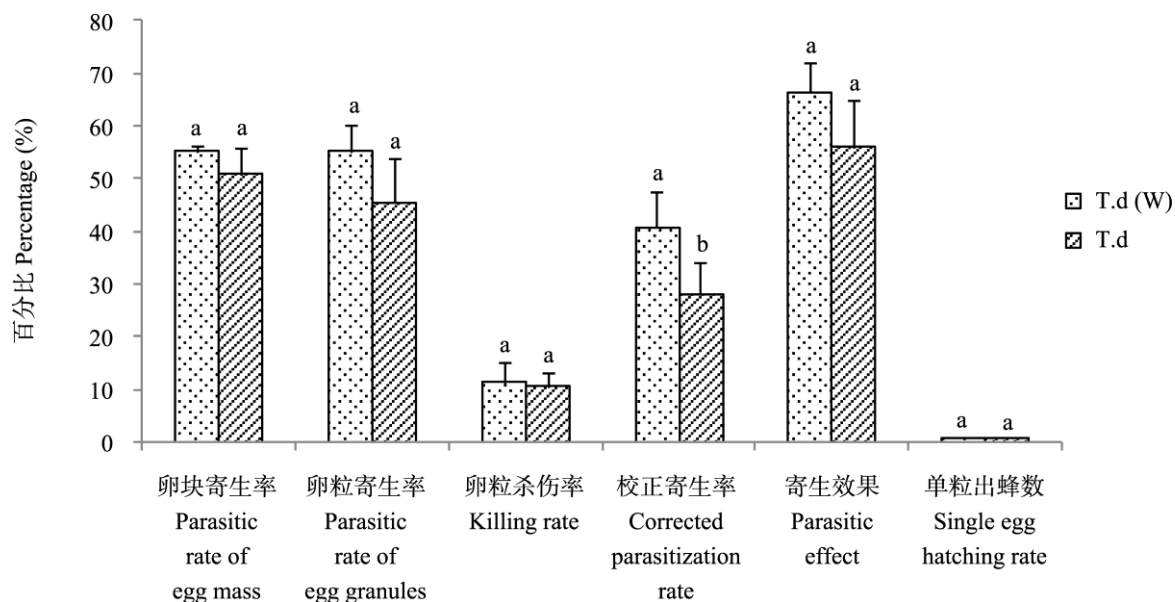


图 1 赤眼蜂对 1 代玉米螟卵寄生情况 (2012)

Fig. 1 The parasitic situation of *Trichogramma dendrolimi* to the first generation of corn borer egg (2012)

柱上标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著, 下图同。

Histograms with different letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2012 年放蜂对 2 代玉米螟防治效果表明, 孤雌产雌品系与对照的卵块寄生率 (分别为 57.22%, 81.05%), 卵粒寄生率 (分别为 43.93%, 71.71%), 卵粒杀伤率 (分别为 25.60%, 8.02%), 均差异显著; 校正寄生率 (分别为 23.86%, 25.49%), 寄生效果 (分别为 69.53%, 79.73%), 单粒亚洲玉米螟卵孵化出的赤眼蜂头数 (分别为 1.81 头, 1.63 头), 无显著差异 (图 2)。

玉米收获前进行玉米被害情况剖杆调查, 结果表明: 孤雌产雌品系与对照的折茎率 (分别为 1.33%, 4.33%), 折茎率 (分别为 14.00%, 10.00%), 雌穗被害率 (分别为 21.67%, 26.67%), 百株被害率 (分别为 62.00%, 58.00%), 百株虫孔量 (分

别为 72.00 个, 69.00 个), 百株残虫量 (分别为 54.67 头, 39.33 头), 防治效果 (分别为 22.5%, 27.5%), 均无显著差异 (图 3)。

2.2 2013 年沈阳市沈北放蜂防治玉米螟结果

为达到更好的观察和防治效果, 2013 年采用了连续两次放蜂防治 1 代玉米螟与 1 次放蜂防治 2 代玉米螟的方法。结合玉米螟越冬代羽化情况 (表 2), 6 月 10 日发现田间有玉米螟产卵, 到 6 月 19 日, 百株卵块达到 2.7 块, 6 月 19 日开始放蜂防治 1 代玉米螟。6 月 26 日开始第 2 次放蜂, 调查百株卵块为 6.7 块。至 7 月 24 日

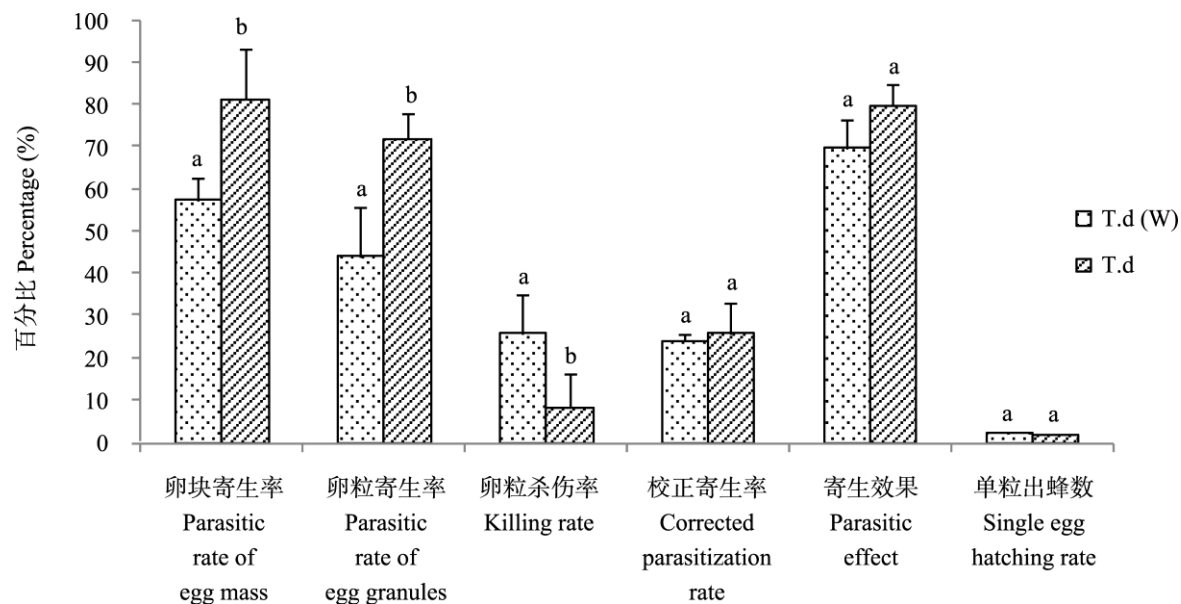


图 2 赤眼蜂对 2 代玉米螟卵寄生情况 (2012)
Fig. 2 The parasitic situation of *Trichogramma dendrolimi* to the second generation of corn borer egg (2012)

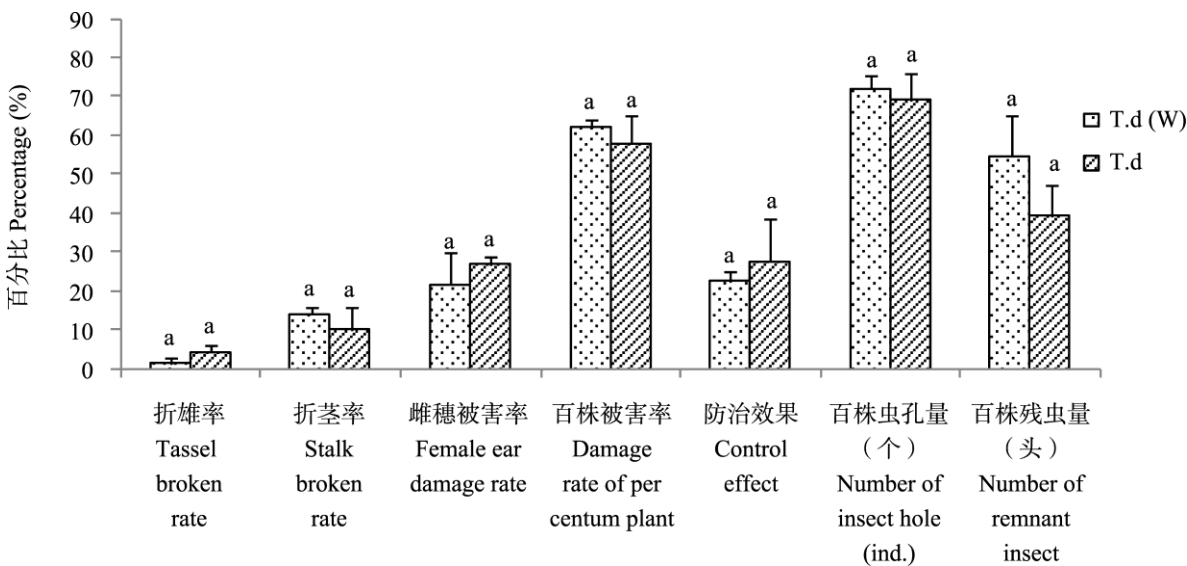


图 3 放蜂后玉米被害情况统计 (2012)
Fig. 3 The damage situation of crows after releasing (2012)
表 2 沈北玉米螟田间落卵量 (2013)
Table 2 The number of corn borer field egg in district Shenbei (2013)

* 资助项目：农业部公益性行业科研专项 (201303026) ; “十二五”国家科技支撑计划 (2012BAD19B04)
**并列第一作者, E-mail: bin1956@163.com , zhangts0923@163.com
***通讯作者, E-mail: q-h-t@163.com
收稿日期：2014-01-14 , 接受日期：2014-02-24

调查日期 (月-日) Survey date (month-day)	调查株数 The number of plants	卵块数 The number of egg	百株卵块数 The egg masses number of 100 plants	备注 Remark
6-10	300	1	0.3	
6-13	300	4	1.3	
6-16	300	4	1.3	
6-19	300	8	2.7	放蜂
6-22	300	10	3.3	
6-26	300	20	6.7	放蜂
7-24	300	0	0	
7-27	300	3	1.0	
7-30	300	2	0.7	
8-2	300	7	2.3	放蜂

田间落卵量为 0，此时 1 代玉米螟落卵结束，7 月 27 日再次出现卵块，8 月 2 日田间百株落卵量为 2.3 块，进行第 3 次释放赤眼蜂。

2013 年第 1 次放蜂对 1 代玉米螟防治效果表明，孤雌产雌品系与对照的卵块寄生率(分别为 46.92%和 44.98%)，对玉米螟卵粒杀伤率(分别为 19.62%和 20.66%)，寄生效果(分别为 47.17%，53.26%)，单粒亚洲玉米螟卵孵化出的赤眼蜂头数(分别为 1.27 头和 1.20 头)，均无显著差异；卵粒寄生率(分别为 33.64%和 26.50%)和校正寄生率(分别为 29.01%和 21.38%) 差异显著(图 4)。

2013 年第 2 次放蜂对 1 代玉米螟防治效果表明，孤雌产雌品系与对照的卵块寄生率(分别为 61.67%，54.21%)，卵粒寄生率(分别为 38.52%，43.37%)，对玉米螟卵粒杀伤率(分别为 20.62%，13.93%)，校正寄生率(分别为 30.51%，36.00%)，寄生效果(分别为 59.14%，57.31%)，单粒亚洲玉米螟卵孵化出的赤眼蜂头数(分别为 0.76 头，

0.82 头)，均无显著差异(图 5)。

2013 年放蜂对 2 代玉米螟防治效果表明，孤雌产雌品系与对照的卵块寄生率(分别为 79.65%，77.42%)，对玉米螟卵粒杀伤率(分别为 7.66%，11.40%)，寄生效果(分别为 82.1%，75.71%)，单粒亚洲玉米螟卵孵化出的赤眼蜂头数(分别为 1.52 头，1.59 头)，均无显著差异。卵粒寄生率(分别为 74.44%，64.32%)及校正寄生率(分别为 54.80%，36.90%) 差异显著(图 6)。

玉米收获前进行玉米被害情况进行剖杆调查，结果表明：孤雌产雌品系与对照的折雄率(分别为 5.33%，9.00%)，折茎率(分别为 17.00%，21.00%)，百株被害率(分别为 52.67%，67.33%)，百株虫孔量(分别为 79.00 个，90.33 个)，百株残虫量(分别为 28.33 头，48.33 头)，防治效果(分别为 38.28%，21.09%)，均无显著差异。雌穗被害率(分别为 14.67%，28.33%)，差异显著(图 7)。

3 结论与讨论

Wolbachia 侵染不仅会对赤眼蜂性别产生调控,对其他生物学、生态学特性也存在影响。Hoogenboom 等 (1998) 研究表明 *Wolbachia* 共生的赤眼蜂品系在生殖力和寄生能力上均较非共生品系显著降低。而 Silva 等 (2000) 比较了实验室条件下 *T. cordubensis* 和 *T. deion* 的 *Wolbachia* 共生品系和正常品系的生殖能力、扩散能力和寄生能力,结果表明,尽管 *Wolbachia*

共生导致生殖力降低,但由于扩散能力和实际寄生能力的提高,反而使其生物防治能力增加。本

试验研究发现,孤雌产雌生殖品系的单粒亚洲玉米螟卵单粒出蜂头数与对照相比无显著差异,单粒平均出蜂数高于对照,结合这两个品系赤眼蜂对玉米螟卵的寄生效果来看,*Wolbachia* 感染对松毛虫赤眼蜂的生殖力没有造成影响,为进一步进行生产防治试验奠定了基础。

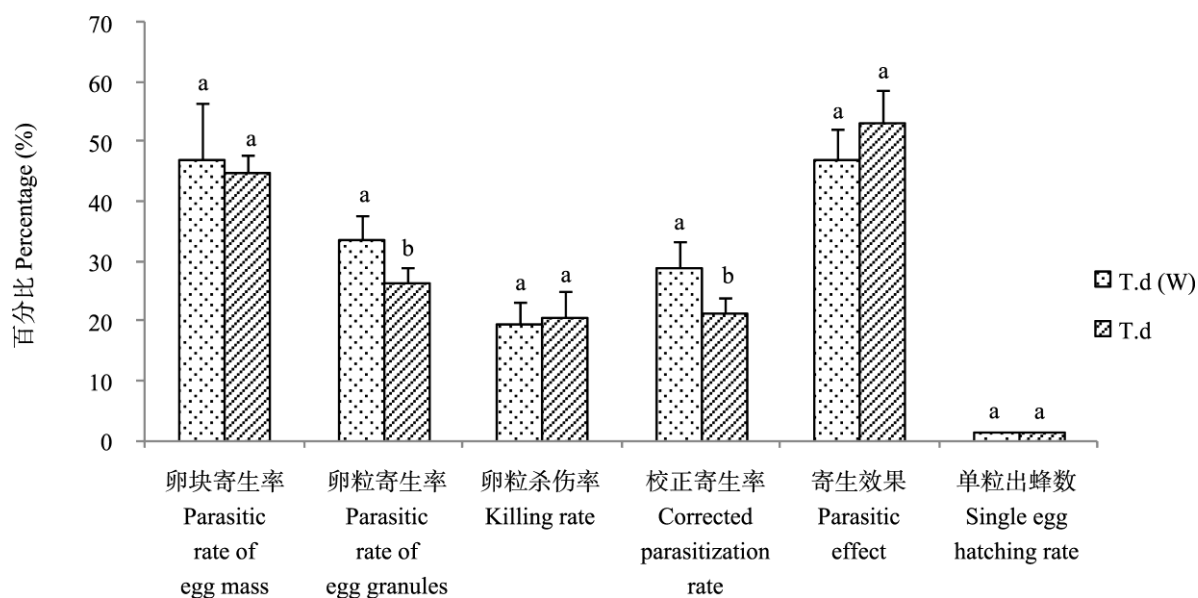


图4 第1次放蜂对1代玉米螟卵寄生情况(2013)

Fig. 4 The parasitic situation of first releasing to the first generation of corn borer egg (2013)

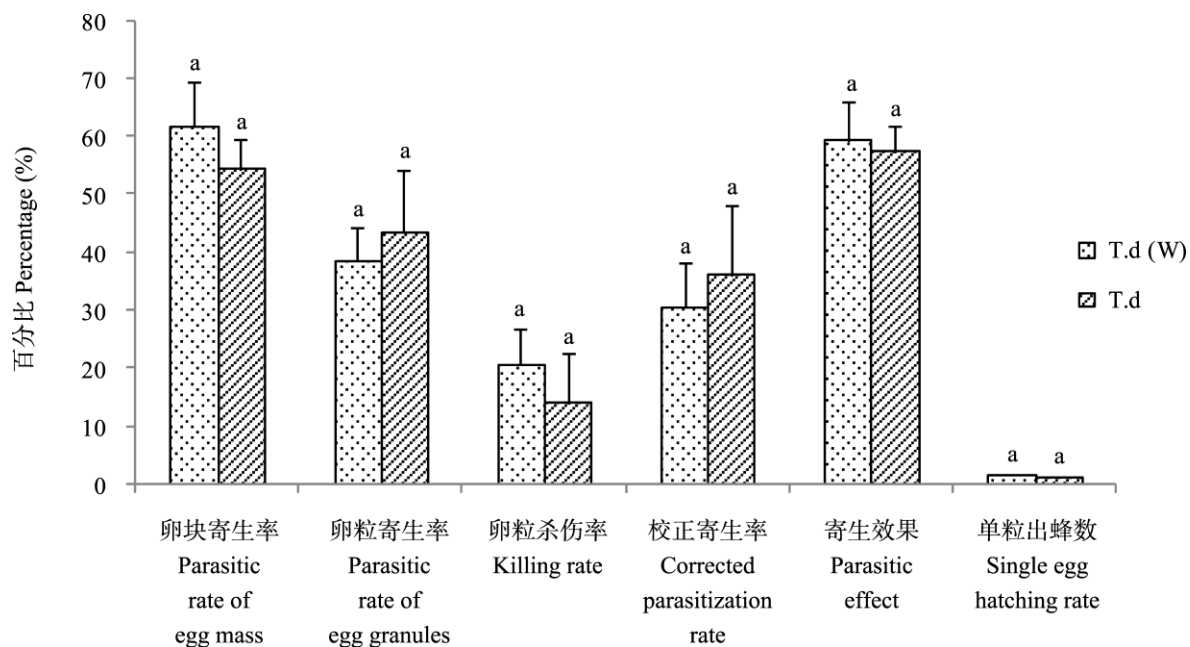


图 5 第 2 次放蜂对 1 代玉米螟卵寄生情况 (2013)

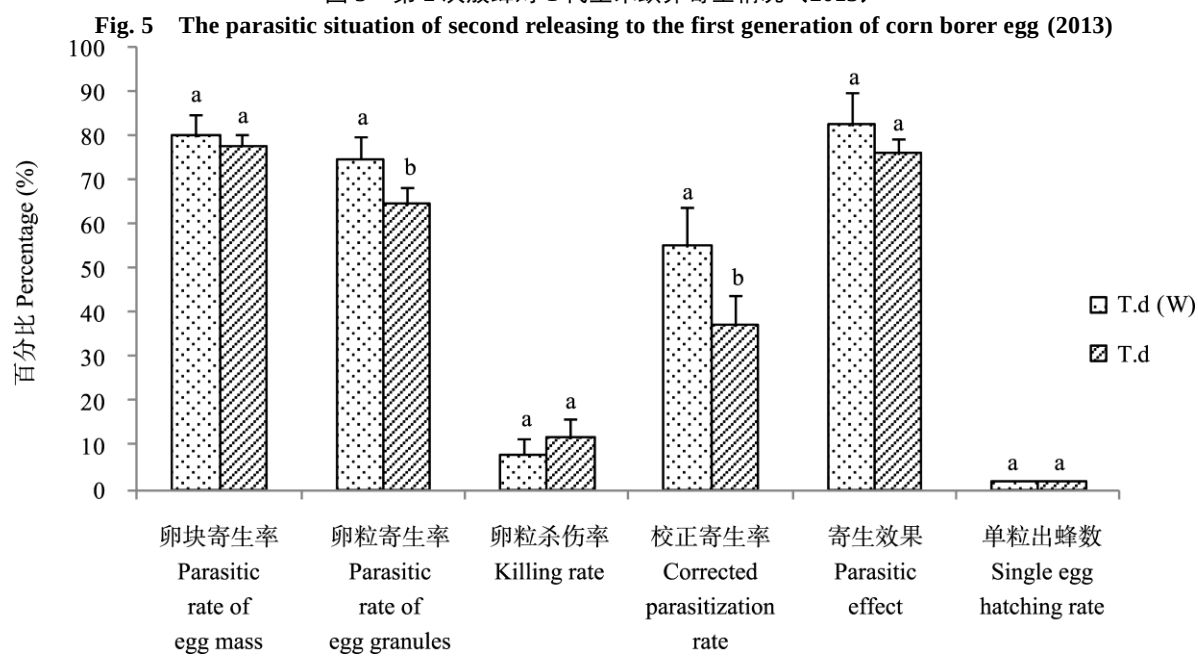


图 6 赤眼蜂对 2 代玉米螟卵寄生情况 (2013)

Fig. 6 The parasitic situation of *Trichogramma dendrolimi* to the second generation of corn borer egg (2013)

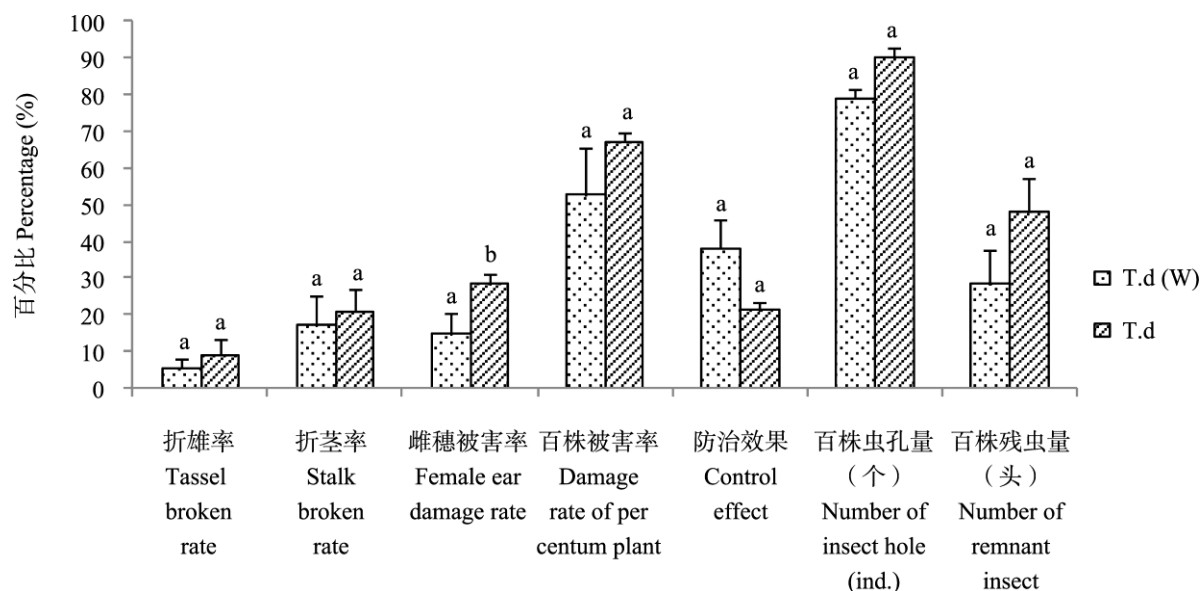


图7 放蜂后玉米被害情况统计 (2013)

Fig. 7 The damage situation of crows after releasing (2013)

van Hezewijk 等 (2000) 报道 *T. minutum* 孤雌产雌品系的爬行和搜寻速度显著高于其孤雌产雄品系。Hohmann 等 (2001) 通过比较感染 *Wolbachia* 品系和未感染品系对 *T. kaykai* 存活率和繁殖的影响, 表明未感染品系的繁殖率高于感染品系, 卵的发育速率更快, 但寿命明显短于感染 *Wolbachia* 的品系。de Almeida (2004) 从赤眼蜂的行走速度、产卵器对寄主卵的探刺以及产卵行为等方面研究了 *Wolbachia* 感染对 *T. atovovirilia* 寄主搜索行为的影响, 结果表明当 *Wolbachia* 在同一宿主体内经过长期的适应固定下来后, *Wolbachia* 对宿主的行为几乎不会造成任何影响。付海滨等 (2005) 研究表明, 感染 *Wolbachia* 和没有感染 *Wolbachia* 的松毛虫赤眼蜂品系对同种寄主卵的选择性没有差异。藩雪红等 (2007) 通过研究 *Wolbachia* 感染对 *T. confusum* 寿命、生殖力和嗅觉反应的影响, 表明 *Wolbachia* 侵染可诱导 *T. confusum* 行不完全孤雌产雌生殖。谢丽娜等 (2013) 研究表明, 感染

Wolbachia 松毛虫赤眼蜂在一定的温度下 (30°C), 寄生量要显著高于普通松毛虫赤眼蜂品系。这些研究内容都为感染 *Wolbachia* 松毛虫赤眼蜂品系在田间的应用提供了理论支持。

有关携带 *Wolbachia* 的赤眼蜂田间应用研究还鲜见报道, 由于 *Wolbachia* 对节肢动物生殖表型的特殊影响, 使其在生物防治方面的应用价值越来越多地引起人们的重视。赤眼蜂是全世界害虫生物防治中研究最多、应用最广的一类卵寄生性天敌。本研究经 2012 和 2013 两年的田间试验, 发现校正田也有不同程度的赤眼蜂寄生, 自然赤眼蜂种群对试验造成了干扰, 但经过寄生率的校正表明, 释放的孤雌产雌品系 (感染 *Wolbachia*) 和对照 (无感染 *Wolbachia* 的两性品系), 对亚洲玉米螟的防治取得了很好的效果。2012 年孤雌产雌品系对亚洲玉米螟的防治效果虽然低于对照, 但差异不显著。2013 年两个品系的松毛虫赤眼蜂对亚洲玉米螟卵的寄生效果和防治效果虽然无显著差异, 但孤雌产雌品系松毛虫赤眼蜂防治效果优于对照, 防治 1 代玉米螟第 1 次放

蜂和防治 2 代玉米螟的卵粒寄生率显著高于对照, 雌穗被害率显著低于对照, 这些优势可以极大降低玉米被取食量, 间接起到了保产增产的作用。连续 2 年剖杆结果显示, 虽然孤雌产雌品系百株残虫量与对照无显著差异, 但孤雌产雌品系残虫量平均值低于对照, 减少了越冬虫口数量, 可使翌年 1 代亚洲玉米螟发生量得到有效控制, 在生产中具有重要意义。Wolbachia 诱导的赤眼蜂孤雌产雌生殖在生物防治方面具有潜在优势 (Stouthamer *et al.*, 1993; 丛斌等, 2008): 由于孤雌产雌生殖的赤眼蜂全由雌蜂组成, 因此具有更高的种群增殖率和更高的产卵寄生能力, 同时可以减少赤眼蜂淹没释放时的放蜂数量, 降低农业投入成本; 由于不需要与雄性个体交配就能产生雌性后代, 因此赤眼蜂更容易在低密度下进入新生境并建立种群, 这对赤眼蜂在田间种群的建立和扩散具有重要的生态学意义; 由于不再需要饲养无寄生效能的雄性个体, 孤雌产雌生殖方式能降低赤眼蜂生产的成本, 提高赤眼蜂工厂化生产的蜂种产品质量; 另外, 两性生殖的赤眼蜂可以通过与携带有 Wolbachia 赤眼蜂接触而成为孤雌产雌生殖的赤眼蜂, 使其在生物防治中具有更大的生防潜能。

结合我们的研究结果可以看出, 孤雌产雌品系松毛虫赤眼蜂具有优异的实用价值, 在生防中的应用潜力优于两性品系松毛虫赤眼蜂, 可作为工厂化生产商业用蜂广泛应用。

参考文献 (References)

- Breeuwer JAJ, Werren JH, 1990. Microorganisms associated with chromosome destruction and reproductive isolation between two insect species. *Nature*, 346(6284): 558–560.
- de Almeida RP, 2004. Trichogramma and its relationship with Wolbachia: identification of Trichogramma species, phylogeny, transfer and costs of Wolbachia Symbionts. PhD Dissertation,

Wageningen University, Netherlands.

- Dyson EA, Kamath MK, Hurst GDD, 2002. Wolbachia infection associated with all-female in *Hypolimnys bolina* (Lepidoptera: Nymphalidae): evidence for horizontal transmission of a butterfly male killer. *Heredity*, 88(3): 166–171.
- Hoffmann CL, Luck RF, Stouthamer R, 2001. Effect of Wolbachia on survival and reproduction of *Trichogramma kaykai* Pinto and Stouthamer (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Neotrop. Entomol.*, 30(4): 607–612.
- Hoogenboom A, Silva IMMS, van Meer MMM, Roskam MM, Stouthamer R, 1998. Quality assessments of Wolbachia infected versus non infected lines of *Trichogramma deion*. *Proc. Exper. Appl. Entomol.*, 9: 99–104.
- Juchault P, Rigaud T, Mocquard JP, 1992. Evolution of sex-determining mechanisms in a wild population of *Armadillidium vulgare* Latr. (Crustacea, Isopoda): competition between two feminizing parasitic sex factors. *Heredity*, 69(4): 382–390.
- Silva IMMS, van Meer MMM, Roskam MM, Hoogenboom A, Gort G, Stouthamer R, 2000. Biological control potential of Wolbachia-infected versus uninfected wasps: laboratory and greenhouse evaluation of *Trichogramma cordubensis* and *T. deion* strains. *Biocontrol Sci. Technol.*, 10(3): 223–228.
- Stouthamer R, Breruer JAJ, Luck RF, Werren JH, 1993. Molecular identification of microorganisms associated with parthenogenesis. *Nature*, 361(6407): 66–68.
- van Hezewijk BH, Bouchier RS, Smith SM, 2000. Searching speed of *Trichogramma minutum* and its potential as a measure of parasitoid quality. *Biol. Control*, 17(2): 139–146.
- 丛斌, Stouthamer R, Schilthuisen R, 1998. Wolbachia 与寄生蜂的孤雌生殖 // 程登发主编. 植物保护 21 世纪展望. 北京: 中国科学技术出版社. 665–669. [CONG B, Stouthamer R, Schilthuisen R, 1998. Wolbachia and parthenogenesis of parasitoid wasps. Beijing: China Science and Technology Press, 665–669.]
- 丛斌, Stouthamer R, 1999. 赤眼蜂孤雌产雌生殖机理与昆虫共生菌 Wolbachia 的作用 // 全国赤眼蜂学术讨论会论文摘要集. 长春: 中国昆虫学会. 382–390. [CONG B, Stouthamer R, 1999. Parthenogenetic female reproductive mechanism of Trichogramma and the role of Wolbachia: endosymbionts in insect host. Changchun: The Entomological Society of China, 382–390.]
- 丛斌, 张海燕, 张莹, 王倩, 2008. Wolbachia 与害虫生物防治. 中国微生物学会《第二届全国农业微生物研究及产业化研讨会》和《第十一届全国杀虫微生物学术研讨会》暨《湖北省暨武

- 汉市微生物学会和内蒙古微生物学会 2008 年会》论文摘要. 36–38. [CONG B, ZHANG HY, ZHANG Y, WANG Q, 2008. Wolbachia and biological control. *Chinese Society for Microbiology*, 36–38.]
- 崔宝玉, 钱海涛, 董辉, 丛斌, 李旭辉, 2007. 短期高温对感染 Wolbachia 的松毛虫赤眼蜂发育和繁殖的影响. 昆虫知识, 44(5): 694–697. [CUI BY, QIAN HT, DONG H, CONG B, LI XH, 2007. Effect of high temperature shock on *Trichogramma dendrolimi* infected by *Wolbachia*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(5): 694–697.]
- 付海滨, 丛斌, 2005. 感染有沃尔巴克氏体的赤眼蜂对寄主卵的选择性. 中国生物防治, 21(增刊): 83–85. [FU HB, CONG B, 2005. The selectivity of infected *Trichogramma* by *Wolbachia* about hosts eggs. *Chinese Journal of Biological Control*, 21(s): 83–85.]
- 胡好远, 朱小力, 陈中正, 牛黎明, 符悦冠, 2010. 寄生蜂性别分配行为. 昆虫知识, 47(6): 1081–1088. [HU HY, ZHU XL, CHEN ZZ, NIU LM, FU YG, 2010. Sex allocation of parasitoid wasps. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1081–1088.]
- 李青超, 赵秀梅, 王立达, 武琳琳, 2013. 松毛虫赤眼蜂工厂化生产关键技术. 黑龙江农业科学, (6): 164–165. [LI QC, ZHAO XM, WANG LD, WU LL, 2013. The key technology of *Trichogramma dendrolimi*, factory production. *Heilongjiang Agricultural Science*, (6): 164–165.]
- 刘树生, 施祖华, 1996. 赤眼蜂的研究和应用进展. 中国生物防治, 12 (2): 78–84. [LIU SS, SHI ZH, 1996. Recent developments in research and utilization of *Trichogramma* SPP. *Chinese Journal of Biological Control*, 12 (2): 78–84.]
- 潘雪红, 何余容, 陈科伟, 潘飞, 盘梅, 2007. Wolbachia 感染对拟澳洲赤眼蜂寿命、生殖力和嗅觉反应的影响. 昆虫学报, 50(3) : 207–214. [PAN XH, HE YR, CHEN KW, PAN F, PAN M, 2007. Effect of *Wolbachia* infection on longevity, fecundity and olfactory response of *Trichogramma confusum* (Hymenoptera:Trichogrammatidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(3) : 207–214.]
- 史振声, 李凤海, 王志斌, 朱敏, 2009. 辽宁省玉米螟虫发生状况与对策. 辽宁农业科学, (3): 1–4. [SHI ZS, LI FH, WANG ZB, ZHU M, 2009. Occurrence status Liaoning province corn borer and prevention. *Liaoning Agricultural Science*, (3): 1–4.]
- 王翠敏, 丛斌, 崔宝玉, 戴秋慧, 张昭琳, 2006. 松毛虫赤眼蜂两性生殖品系与孤雌产雌品系生物学特性的比较. 中国生物防治, 22(2): 96–100. [WANG CM, CONG B, CUI BY, DAI QH, ZHANG ZL, 2006. A Comparative Study on the Bionomics of Gamogenesis and Thelytoky Lines of *Trichogramma dendrolimi*. *Chinese Journal of Biological Control*, 22(2): 96–100.]
- 王连霞, 2013. 不同种类赤眼蜂防治玉米螟效果比较. 黑龙江农业科学, (2): 54–56. [WANG LX, 2013. Effect comparison controlling maize borer of different species of *Trichogramma*. *Heilongjiang Agricultural Science*, (2): 54–56.]
- 王玉玲, 肖子清, 1998. 中国赤眼蜂研究与应用进展. 中国农学通报, 1(14): 43–44. [WANG YL, XIAO ZQ, 1998. Recent developments in research and utilization of *Trichogramma* in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 1(14): 43–44.]
- 谢丽娜, 董辉, 钱海涛, 闫京京, 丛斌, 2013. 不同温度下松毛虫赤眼蜂孤雌产雌品系和两性生殖品系对米蛾卵的寄生功能反应. 昆虫学报, 56(3): 263–269. [XIE LN, DONG H, QIAO HT, YAN JJ, CONG B, 2013. Functional response of thelytokous and arrhenotokous strains of *Trichogramma dendrolimi*(Hymenoptera: Trichogrammatidae) to eggs of *Corcyra cephalonica*(Lepidoptera: Pyralidae) at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 56(3): 263–269.]
- 杨克冬, 张海燕, 钱海涛, 董辉, 张莹, 丛斌, 2008. 沃尔巴克氏体感染对松毛虫赤眼蜂生殖力、发育历期和存活的影响. 中国生物防治, 24(3): 210–214. [YANG KD, ZHANG HY, QIAO HT, DONG H, ZHNG Y, CONG B, 2008. Effect of *Wolbachia* infection on fecundity, developmental duration and survival of *Trichogramma dendrolimi*. *Chinese Journal of Biological Control*, 24(3): 210–214.]
- 詹根祥, 梁广文, 1999. 中国赤眼蜂研究和应用的历史现状. 江西农业学报, 11(2): 39–46. [ZHAN GX, LIANG GW, 1999. Research and application of *Trichogramma* in China. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 11(2): 39–46.]
- 张海燕, 张莹, 丛斌, 钱海涛, 董辉, 付海滨, 2009. 外界生态因子对感染 Wolbachia 的松毛虫赤眼蜂生殖稳定性影响. 中国农业科学, 42(7): 2366–2372. [ZHANG HY, ZHANG Y, CONG B, QIAN HT, DONG H, FU HB, 2009. Effects of environmental factors on stability of Thelytoky of *Trichogramma dendrolimi* infected with *Wolbachia*. *Scientia Agricultura Sinica*, 42(7): 2366–2372.]
- 张莹, 钱海涛, 张海燕, 董辉, 丛斌, 杨克冬, 2008. 产雌孤雌生殖品系松毛虫赤眼蜂的遗传稳定性. 中国生物防治, 24(2): 103–107. [ZHANG Y, QIAN HT, ZHANG HY, DONG H, CONG B, YANG KD, 2008. Genetic Stability of Thelytoky Line of *Trichogramma dendrolimi*, *Chinese Journal of Biological Control*, 24(2): 103–107.]
- 章士美, 杨明旭, 1986. 昆虫性比的初步研究. 江西农业大学学报, (3): 8–13. [ZHANG SM, YANG MX, 1986. A preliminary study on sex ratios of insects. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, (3): 8–13.]