

棉铃虫卵龄和密度对松毛虫赤眼蜂寄生效能的影响

李耀发, 赵玉敬, 安静杰, 党志红, 潘文亮, 宋 健, 高占林*

(河北省农林科学院植物保护研究所/河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心/农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要: 为进一步优化赤眼蜂田间释放技术, 提高松毛虫赤眼蜂对棉铃虫的田间防治效果, 本文开展了棉铃虫卵龄和密度对松毛虫赤眼蜂寄生效能影响的研究。结果表明, 松毛虫赤眼蜂对棉铃虫 1~2 日龄卵偏好性明显高于 0~1 日龄和 2~3 日龄卵。不同“蜂-卵”比结果表明, 随着“蜂-卵”比值增加, 赤眼蜂单蜂寄生效能逐渐下降, 从 14.33 粒/蜂降至 0.73 粒/蜂, 而棉铃虫卵被寄生率逐渐上升, 从 17.92% 上升至 73.33%。综合两者的关系, 发现在“蜂-卵”比为 1:20 时, 两者出现了交汇, 此时, 赤眼蜂单蜂寄生效能约 7.50 粒/蜂, 棉铃虫卵被寄生率约为 37%。基于此, 得出松毛虫赤眼蜂对棉铃虫的田间防治应综合“蜂-卵”比、田间棉铃虫种群密度及落卵量等指标来确定田间释放赤眼蜂数量, 以达到棉铃虫田间最佳防治效果。

关 键 词: 松毛虫赤眼蜂; 棉铃虫; 寄生效能; 卵寄生蜂; 天敌昆虫

中图分类号: S476.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2021)02-0356-07

Effects of Egg Age and Density of *Helicoverpa armigera* on Parasitical Efficiency of *Trichogramma dendrolimi*

LI Yaofa, ZHAO Yujing, AN Jingjie, DANG Zhihong, PAN Wenliang, SONG Jian, GAO Zhanlin*

(Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/IPM Center of Hebei Province/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Baoding 07100, China)

Abstract: To optimize the field release technology of *Trichogramma dendrolimi* and to further improve the *Trichogramma* control of the cotton bollworm, effects of egg age and density of *Helicoverpa armigera* on parasitical efficiency of *T. dendrolimi* was evaluated in the laboratory. The results showed that *T. dendrolimi* preferred 1—2 day eggs over 0—1 day and 2—3 day eggs. With the increase of ‘wasp to egg’ ratio, the parasitic efficiency of individual female wasp declined gradually from 14.33 eggs/per wasp to 0.73 eggs/per wasp, whereas the parasitism rate of cotton bollworm eggs rose gradually from 17.92% to 73.33%. When the ‘wasp to egg’ ratio was 1:20, the parasitic efficiency of female wasp and the parasitism rate of cotton bollworm eggs converged at 7.50 eggs/per wasp and 37%, respectively. The ‘wasp to egg’ ratio can serve to improve the field control of the cotton bollworm if it is considered in determining the releasing density of *T. dendrolimi* together with the adult population density and egg density.

Key words: *Trichogramma dendrolimi*; *Helicoverpa armigera*; parasitic efficiency; egg parasitoid wasps; natural enemy

收稿日期: 2020-01-10

基金项目: 河北省农林科学院创新工程项目 (2019-1-1-3); 河北省现代农业产业技术体系 (HBCT2018040204); 国家重点研发计划 (2016YFD0300705)

作者简介: 李耀发, 博士, 研究员, E-mail: liyaofa@126.com; *通信作者, 学士, 研究员, E-mail: gaozhanlin@sina.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.03.028

赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 属膜翅目, 赤眼蜂科, 是一类重要的农林害虫卵寄生蜂^[1], 也是世界范围内商业化最早、最成功的天敌昆虫种类^[2]。赤眼蜂寄主范围广泛, 以 1200 余种昆虫的卵作为寄主, 其中多数是农林业重要的鳞翅目害虫^[3]。松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi*、螟黄赤眼蜂 *T. chilonis* 和玉米螟赤眼蜂 *T. ostrinae* 是目前我国应用最成功的赤眼蜂种类, 尤其在北方地区。根据不同种类赤眼蜂对不同寄主昆虫具有不同的寄生嗜好性, 可将松毛虫赤眼蜂用于防治粘虫 *Mythimna separata*, 螟黄赤眼蜂用于防治小菜蛾 *Plutella xylostella* 和二化螟 *Chilo suppressalis*, 玉米螟赤眼蜂用于防治玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 和小菜蛾等^[4]。

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 是一种世界范围内的重要农业害虫, 20 世纪 90 年代, 该虫曾经在我国棉花等多种作物上造成了重大经济损失^[5]。自 1997 年转 Bt 基因抗虫棉的种植以及随后大面积推广应用, 棉铃虫在我国北方农业生产中得到了有效控制^[6]。但是自 2010 年以来, 随着黄河、长江流域棉花种植面积的逐年下降, 转 Bt 基因棉花“诱杀陷阱”作用明显减弱, 使我国东部地区棉铃虫种群再一次在棉田之外多种作物上快速发展, 如花生、玉米、中药材等^[7,8]。自 20 世纪 70 年代, 我国便开展了松毛虫赤眼蜂防治棉铃虫的田间应用技术研究^[9-11], 90 年代后期, 螟黄赤眼蜂^[12-14]、甘蓝赤眼蜂 *T. brassicae*^[15]、广赤眼蜂 *T. evanescens*^[16]等也逐渐被用于防治棉铃虫。

目前, 已有研究多集中于赤眼蜂生物学特性^[16]、室内繁育技术^[9]、田间释放技术等^[10,11,13,14]。关于赤眼蜂对寄主昆虫卵的选择性研究较少, 王卫华等^[15]研究发现不同品系甘蓝夜蛾赤眼蜂对麦蛾、小菜蛾、棉铃虫等不同寄主卵具有明显的选择性差异。许晶^[4]通过对 6 种赤眼蜂寄生 5 种寄主昆虫卵后的生物学参数分析, 为玉米螟、小菜蛾、粘虫等 5 种昆虫筛选出了最佳的优势赤眼蜂种类。Huang 等^[17]发现, 与粘虫卵相比, 玉米螟赤眼蜂产卵时更偏好米蛾卵, 而松毛虫赤眼蜂和稻螟赤眼蜂则在两种昆虫卵的选择性上没有显著性差异。Pizzol 等^[18]发现赤眼蜂对寄主昆虫不同日龄卵也具有不同的寄生选择性, 如卷蛾赤眼蜂 *T. cacoeciae* 在寄生葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* 时, 对 1~2 日龄卵寄生嗜好性明显高于 3~4 日龄卵。因此, 为了进一步提高松毛虫赤眼蜂对棉铃虫的田间防治效果, 优化赤眼蜂田间释放技术, 本文开展了松毛虫赤眼蜂对棉铃虫卵的室内寄生选择性研究, 为进一步补充完善应用松毛虫赤眼蜂防治棉铃虫田间释放技术奠定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试虫

松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi* 成蜂, 北京市密云植保植检站提供。将赤眼蜂卵于室内恒温培养箱内 (25 ± 1) °C 条件下培养, 取新羽化的赤眼蜂成蜂进行棉铃虫卵的寄生选择性试验。

棉铃虫 *H. armigera* 卵, 采用河北省农林科学院植物保护研究所养虫室长期人工饲养种群, 于室内 (25 ± 1) °C, 60%~80% 相对湿度, 自然光照条件下进行室内饲养, 待其成虫产卵后, 选择适宜的棉铃虫卵进行赤眼蜂成蜂寄生选择性试验。

1.2 松毛虫赤眼蜂对不同日龄棉铃虫卵的寄生选择性

松毛虫赤眼蜂羽化后用蘸有 20% 蜂蜜水的滤纸条饲喂约 8 h, 以保证雌蜂与雄蜂充分交配。分别取产有 0~1 d、1~2 d、2~3 d 棉铃虫卵的卵布置于玻璃指形管 (直径 1.8 cm, 长 8.0 cm) 中, 每管中棉铃虫卵数为 40 粒。用细毛笔取 5 头赤眼蜂雌蜂, 置于装有棉铃虫卵布的指形管内, 并用滤纸条饲喂蜂蜜水, 以黑纱布封口。每个处理重复 10 次。将处理好的玻璃管置于 (25 ± 1) °C 恒温培养箱中, 相对湿度为 60%~80%, 光周期为 16L:8D。待赤眼蜂雌蜂死后取出, 5 d 后调查被寄生的棉铃虫卵数量。

1.3 不同“蜂-卵”比对松毛虫赤眼蜂寄生选择性的影响

取松毛虫赤眼蜂羽化 24 h 内已交配的雌蜂, 分别按 1、2、5 和 10 头/管的接蜂密度, 接入干净的玻璃指形管 (直径 1.8 cm, 长 8.0 cm) 中, 指形管中提前按 10、20、40 和 80 粒/管的密度放入棉铃虫卵布, 并饲喂 20% 蜂蜜水, 用黑布封口。试验共计 16 个处理, 每个处理重复 3 次。将处理好的玻璃指形管置于 (25 ± 1) °C 恒温培养箱中, 湿度为 60%~80%, 光周期为 16L:8D。待赤眼蜂雌蜂死后取出, 并于 5 d 后记录各处理被寄生的棉铃虫卵数量。

1.4 数据统计与方法

统计各处理中棉铃虫卵被寄生数，计算棉铃虫卵被寄生率、赤眼蜂单头雌蜂寄生效能，试验结果采用 DPSv 6.55 软件进行 Duncan’s 多重比较。棉铃虫卵被寄生率(%) = 棉铃虫被寄生卵粒数/供试棉铃虫卵粒数×100；赤眼蜂寄生效能 = 棉铃虫被寄生卵粒数/供试赤眼蜂雌蜂数。

2 结果与分析

2.1 松毛虫赤眼蜂对不同日龄棉铃虫卵的寄生选择性

松毛虫赤眼蜂对棉铃虫不同日龄卵的寄生嗜好性存在较大差异，更偏好寄生 1~2 日龄的棉铃虫卵，寄生率高达 69.44%，明显高于其他日龄卵，其次为 2~3 日龄卵，寄生率为 54.72%，对新产的 0~1 日龄卵偏好性最差，寄生率仅为 37.43%（表 1）。

表 1 松毛虫赤眼蜂对不同日龄棉铃虫卵的寄生选择性
Table 1 Parasitic selectivity of *T. dendrolimi* to different age of cotton bollworm eggs

棉铃虫卵日龄 Age of cotton bollworm eggs (d)	棉铃虫卵量 (粒) Cotton bollworm eggs (eggs)	赤眼蜂雌蜂数 (头) Female adults of <i>T. dendrolimi</i> (wasps)	棉铃虫卵被寄生量 (粒) Parasitized amount of cotton bollworm eggs (eggs)	棉铃虫卵被寄生率 Parasitized rates of cotton bollworm eggs (%)
0~1	40	5	14.97±3.26 c	37.43±8.16 c
1~2	40	5	27.78±2.84 a	69.44±7.10 a
2~3	40	5	21.89±3.98 b	54.72±9.94 b

注：同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at the level of 0.05 in the same column.

2.2 不同“蜂-卵”比对松毛虫赤眼蜂寄生效能的影响

2.2.1 不同“蜂-卵”比下松毛虫赤眼蜂对棉铃虫卵总寄生量的变化 相同棉铃虫卵密度下，随着赤眼蜂雌蜂密度的增加，其对棉铃虫卵的寄生量也明显增加；相同赤眼蜂雌蜂密度下，随着棉铃虫卵量的逐步增加，棉铃虫被寄生卵量也显著增加。棉铃虫被寄生卵量最少的为 1 头赤眼蜂雌蜂和 10 粒棉铃虫卵的组合（4.00 粒），而最多的为 10 头赤眼蜂雌蜂和 80 粒棉铃虫卵的组合（26.33 粒）（表 2）。

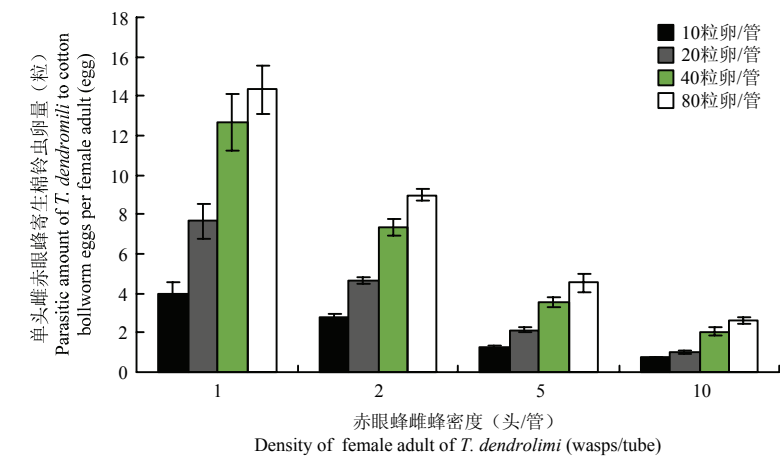
在相同或相近“蜂-卵”密度时，棉铃虫被寄生卵量随着棉铃虫供试卵量的增加而增大。如在松毛虫赤眼蜂:棉铃虫卵为 1:10（4.00 粒）、2:20（9.33 粒）、5:40（17.67 粒）、10:80（26.33 粒）时，此时松毛虫赤眼蜂和棉铃虫卵比约为 1:10~1:8，棉铃虫被寄生卵量随着棉铃虫卵量的增加而明显增加；当松毛虫赤眼蜂:棉铃虫卵为 2:10（5.67 粒）、5:20（10.67 粒）、10:40（20.67 粒）时，也得出了相同的结论。同时也可以看出，随着棉铃虫供试卵量的增加，赤眼蜂单蜂寄生效能却出现了一定程度的下降。

表 2 不同“蜂-卵”比下松毛虫赤眼蜂对棉铃虫卵总寄生量的变化
Table 2 Parasitized egg amount of cotton bollworm by *T. dendrolimi* with different ‘wasp-egg’ ratios

松毛虫赤眼蜂雌蜂密度 (头/管) Density of <i>T. dendrolimi</i> female adult (No./tube)	不同棉铃虫卵密度下被寄生卵量 (粒/管) Parasitized egg amount of cotton bollworm with different density of cotton bollworm eggs (eggs/tube)			
	10	20	40	80
1	4.00±0.58 Cc	7.67±0.88 Bc	12.67±1.45 Ac	14.33±1.20 Ac
2	5.67±0.33 Db	9.33±0.33 Cbc	14.67±0.88 Bbc	18.00±0.58 Abc
5	6.33±0.33 Dab	10.67±0.67 Cab	17.67±1.20 Bab	22.67±2.19 Aab
10	7.33±0.33 Da	13.00±0.58 Ca	20.67±1.76 Ba	26.33±1.45 Aa

注：表中同行数据后不同大写字母表示同一赤眼蜂雌蜂密度下，棉铃虫卵的被寄生量差异显著（ $P<0.05$ ）；同列数据后不同小写字母表示同一棉铃虫卵密度下，棉铃虫卵的被寄生量差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different capital letters after the data of the same row indicate that under the same female density of *T. dendrolimi*, the parasitized cotton bollworm eggs is significantly different ($P<0.05$). Different lowercase letters after the same column of data indicate that under the same bollworm egg density, the parasitized amount of bollworm eggs is significantly different ($P<0.05$).

2.2.2 不同“蜂-卵”比下松毛虫赤眼蜂单头雌蜂的寄生效能 从赤眼蜂单头雌蜂的寄生效能（图 1）来看，相同赤眼蜂雌蜂密度下，随着棉铃虫卵量的增加，其单头雌蜂寄生效能逐步上升，其中赤眼蜂雌蜂虫量和棉铃虫卵量比值为 1：80，赤眼蜂的寄生效能最高，单头雌蜂可寄生 14.33 粒棉铃虫卵。但是相同棉铃虫卵量时，随着赤眼蜂雌蜂密度的增加，其寄生效能逐步降低，其中，棉铃虫卵量和赤眼蜂雌蜂虫量比值为 10：10 时，赤眼蜂的寄生效能最低，单头雌蜂仅可寄生 0.73 粒棉铃虫卵。



注：图例表示不同棉铃虫卵密度，分别为 10 粒/管、20 粒/管、40 粒/管和 80 粒/管。
Note: Legends show different density of cotton bollworm eggs with 10 eggs/tube, 20 eggs/tube, 40 eggs/tube, 80 eggs/tube.

图 1 不同“蜂-卵”比下赤眼蜂单头雌蜂的寄生效能

Fig. 1 Parasitic efficiency of *T. dendrolimi* per female adult with different ‘wasp-egg’ ratios

2.3 利用松毛虫赤眼蜂和棉铃虫卵的寄生选择关系确定最佳“蜂-卵”配比

随着赤眼蜂雌蜂和棉铃虫卵的‘蜂-卵’比值的逐渐增加，赤眼蜂雌蜂的单蜂寄生效能逐渐下降，从 14.33 粒/蜂降至 0.73 粒/蜂，而棉铃虫卵的被寄生率则逐渐上升，从 17.92% 上升至 73.33%。两条曲线在‘蜂-卵’比值为 1：20 左右时，出现了交汇，在交汇点附近，赤眼蜂雌蜂的单蜂寄生效能约为 7.50 粒/蜂，即 1 头雌蜂可寄生 7.5 粒棉铃虫卵，而棉铃虫卵的被寄生率约 37%。此点为较佳的田间赤眼蜂参考释放点，即赤眼蜂雌蜂量和棉铃虫卵量为 1：20 时，能够保障赤眼蜂雌蜂的寄生效果，同时也可以保障棉铃虫卵的被寄生率，为最佳“蜂-卵”比的比值（图 2）。

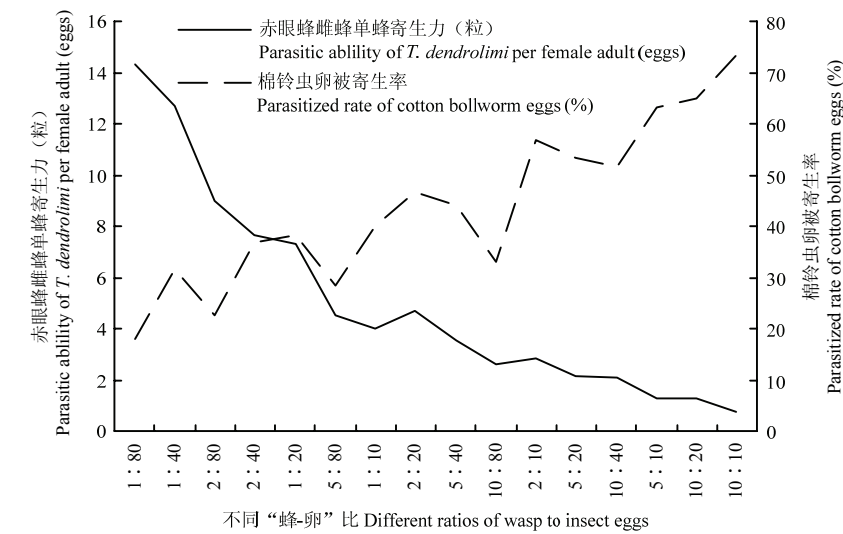


图 2 不同“蜂-卵”比时松毛虫赤眼蜂单蜂寄生效能和棉铃虫卵被寄生率的关系

Fig. 2 Relationships of parasitic efficiency of *T. dendrolimi* and parasitized rate of cotton bollworm eggs with different ‘wasp-egg’ ratios

3 讨论

利用卵寄生蜂防治钻蛀性鳞翅目害虫,可在鳞翅目害虫幼虫钻蛀前进行防治,进而提高防效^[17]。不同种类赤眼蜂对不同寄主害虫卵的寄生选择性存在差异。如松毛虫赤眼蜂对玉米螟等 5 种不同害虫具有明显的选择偏好性,对害虫不同日龄卵的寄生性方面也表现出了显著差异。多数赤眼蜂对大部分害虫较低日龄的卵表现出了较高的偏好性^[4]。例如,松毛虫赤眼蜂对玉米螟^[19]和烟青虫的卵^[20],卷蛾赤眼蜂对葡萄花翅小卷蛾的卵^[18],螟黄赤眼蜂对烟青虫的卵^[20],以及 5 种赤眼蜂对粘虫的卵^[21]均表现出了同样的偏好性。但是本研究发现,松毛虫赤眼蜂对棉铃虫 1~2 日龄卵的偏好性明显高于 0~1 日龄和 2~3 日龄的卵。本研究结果与 Olson^[22]关于欧洲玉米螟赤眼蜂对欧洲玉米螟卵的寄生选择性研究结果一致。已有研究表明赤眼蜂对不同颜色表现出不同的趋性。螟黄赤眼蜂对不同颜色瓜叶菊花的选择上,更趋向于亮度高(白色和粉红色)的颜色^[23]。玉米螟赤眼蜂雌雄个体均偏好黄色,而且颜色的亮度和色调均可在不同程度上影响其偏好性^[24]。为了初步探究松毛虫赤眼蜂对不同日龄棉铃虫卵寄生选择性产生差异的原因,采用三维数字显微系统(VHX-1000,日本基因公司)对不同日龄棉铃虫卵进行了观察。棉铃虫初产卵为浅绿色(0~1 日龄),逐渐变为浅黄色(1~2 日龄),后出现深黄色斑块(2~3 日龄),近孵化时变为紫褐色。而棉铃虫卵的颜色变化是否影响松毛虫赤眼蜂成蜂的选择性,还需做进一步研究。

多年来,科研人员一直致力于赤眼蜂防治棉铃虫最佳释放技术的研究,包括田间释放蜂量、释放时间和次数等。从 20 世纪 70 年代针对普通棉田棉铃虫进行 5~6 次释放,总释放量为 7.5~10 万头^[9],到 2000 年以后针对转基因棉田棉铃虫进行 3 次释放,总释放量为 3.6~4.2 万头^[13,14]。这些关于赤眼蜂田间释放的作物背景产生了重要变化,转基因棉花替代了普通棉花,而棉铃虫种群数量也发生了巨大变化^[6]。随着对赤眼蜂寄生特点的研究,科研人员发现“蜂-卵”比影响着赤眼蜂对寄主昆虫卵的寄生效能。Saljoqi 等^[25]研究发现,室内饲养玉米螟赤眼蜂时,蜂密度和寄主卵密度可明显影响玉米螟赤眼蜂对米蛾卵的寄生效能,寄主卵密度的增加可明显增加玉米螟赤眼蜂的寄生效能,而蜂密度的增加却明显降低了玉米螟赤眼蜂的寄生效能。湛江华等^[26]研究表明,螟黄赤眼蜂“蜂-卵”比从 2:1 到 1:5 时寄生率相对稳定,“蜂-卵”比小于 1:5 寄生率急剧下降。这些研究与本文研究结果,均可证明赤眼蜂种群密度和寄主昆虫卵数量之间存在一个较佳的“蜂-卵”比值,在此比值附近既可达到最佳的赤眼蜂寄生效能,又可较大限度获得对害虫卵的寄生效果。本研究还发现,即使在相近或相同的“蜂-卵”比值时,赤眼蜂的寄生效能也会发生一定范围内的波动,这可能是由于赤眼蜂种群间存在一定的竞争寄生现象。因此,田间释放赤眼蜂时,应该考虑田间棉铃虫种群密度及落卵量等指标,以在保障赤眼蜂雌蜂寄生效果的同时,也可以保障棉铃虫卵的被寄生率,从而达到田间最佳的赤眼蜂释放效果。

此外,赤眼蜂对棉铃虫的田间控制效果受多种因素的影响,常无法达到完全控制害虫卵的目的,因此就需要补充使用中红侧沟茧蜂等棉铃虫幼虫寄生蜂^[27],或使用对天敌昆虫安全性较高的高效化学杀虫剂扫除残虫^[28,29]。

参 考 文 献

- [1] Wang Z Y, He K L, Zhang F, *et al.* Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China[J]. *Biological Control*, 2014, 68(1): 136-144.
- [2] van Lenteren J C. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake[J]. *Biocontrol*, 2012, 57(1): 1-20.
- [3] 林乃铨. 中国赤眼蜂分类(膜翅目小蜂总科)[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1994.
- [4] 许晶. 六种赤眼蜂对主要农业害虫的寄生选择及适应性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [5] 郭予元. 棉铃虫的研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [6] Wu K M, Lu Y H, Feng H Q, *et al.* Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton[J]. *Science*, 2008, 321(5896): 1676-1678.
- [7] 陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 等. 种植业结构调整增加棉铃虫的灾变风险[J]. *应用昆虫学报*, 2018, 55(1): 19-24.

- [8] 何运转, 谢晓亮, 刘延辉, 等. 35 种中草药主要病虫害原色图谱[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2019.
- [9] 山西夏县生物防治指挥部, 山西运城地区农业科学研究所. 利用赤眼蜂防治棉铃虫[J]. 昆虫学报, 1975, 18(4): 411-417.
- [10] 陕西省棉花研究所, 陕西省宝鸡市农业科学研究所. 赤眼蜂防治棉铃虫田间放蜂技术[J]. 中国棉花, 1976, 3: 30-34.
- [11] 赵士文, 于志浩, 蒋世雄, 等. 松毛虫赤眼蜂对玉米后期钻蛀性害虫的田间防治效果及其原因分析[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(3): 29-32.
- [12] 张青文, 王立和, 杨淑霞, 等. 螟黄赤眼蜂在棉田的有效扩散距离及其影响因素的研究[J]. 昆虫学报, 1998, 41(S): 68-75.
- [13] 刘万学, 万方浩, 郭建英, 等. 人工释放赤眼蜂对棉铃虫的防治作用及相关生态效应[J]. 昆虫学报, 2003, 46(3): 311-317.
- [14] 郭建英, 万方浩, 任承才, 等. 转基因抗虫棉田释放赤眼蜂增强生物控害功能的研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(4): 197-202.
- [15] 王卫华, 沈佐锐, 郑礼, 项宇. 甘蓝夜蛾赤眼蜂对几种重要农业害虫寄主卵的选择性[J]. 中国生物防治, 2004, 20(1): 12-16.
- [16] 李保平, 刘小宁. 新疆棉铃虫赤眼蜂种系筛选-对温湿度的反应[J]. 昆虫天敌, 2002, 24(2): 64-68.
- [17] Huang J, Hua H Q, Zhang F, *et al.* Suitability assessment of three *Trichogramma* species in the control of *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2017, 142(1-2): 131-140.
- [18] Pizzol J, Desneux N, Wajnberg E, *et al.* Parasitoid and host egg ages have independent impact on various biological traits in a *Trichogramma* species[J]. *Journal of Pest Science*, 2012, 85(4): 489-496.
- [19] 张光美, 刘树生, 杨坚伟, 等. 影响松毛虫赤眼蜂寄生亚洲玉米螟的因子观察[J]. 植物保护学报, 1995, 22(3): 205-210.
- [20] 王福莲, 侯茂林, 万方浩, 等. 不同品系赤眼蜂对烟青虫卵的寄生选择性[J]. 中国生物防治, 2005, 21(3): 136-141.
- [21] Hou Y Y, Yang X B, Zang L S, *et al.* Effect of oriental armyworm *Mythimna separata* egg age on the parasitism and host suitability for five *Trichogramma* specie[J]. *Journal of Pest Science*, 2018, 91(4): 1181-1189.
- [22] Olson D M. Oviposition and offspring survival within eggs of European corn borer: discrimination of the host embryo by female *Trichogramma nubilale*[J]. *Entomologia Experimentalis Applicata*, 1998, 87(1): 79-84.
- [23] 汪庚伟, 田俊策, 朱平阳, 等. 螟黄赤眼蜂雌成虫对不同颜色瓜叶菊花的选择性[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(4): 473-480.
- [24] 张焯, 朱文雅, 李唐, 等. 玉米螟赤眼蜂对不同颜色的偏好性研究[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(4): 931-937.
- [25] Saljoqi A U R, He Y R. Effect of host and parasite density on *Trichogramma ostrinae*[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2004, 25(3): 120-122.
- [26] 湛江华, 柴伟纲, 孙梅梅, 等. 2 种本土优势赤眼蜂对小菜蛾卵寄生效果的初步研究[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(3): 379-381.
- [27] 张璟, 刘小侠, 路子云, 等. 中红侧沟茧蜂寄生对棉铃虫幼虫行为的影响[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(1): 32-38.
- [28] 袁伟宁, 魏玉红, 牛丽敏. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对 3 种鳞翅目害虫与赤眼蜂的毒力[J]. 中国农学通报, 2019, 35(26): 148-152.
- [29] 张俊杰, 杜文梅, 金雪菲, 等. 松毛虫赤眼蜂对三种农田常用杀虫剂的敏感性[J]. 植物保护学报, 2014, 41(5): 555-561.

(责任编辑: 张莹)