



王金彦, 张浩, 季香云. 3种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾卵的寄生功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (4): 1046–1053.

## 3种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾卵的寄生功能反应

王金彦, 张浩, 季香云\*

(上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 农业农村部东南沿海农业绿色低碳重点实验室, 上海 201403)

**摘要:** 为评估稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 和玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen 对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 卵和小菜蛾 *Plutella xylostella* Linnaeus 卵的寄生潜能, 本研究在室内条件下测试了3种赤眼蜂对不同密度甜菜夜蛾卵和小菜蛾卵的寄生率、寄生功能反应和搜寻效应。结果表明, 稻螟赤眼蜂、螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂对甜菜夜蛾卵和小菜蛾卵均有一定的寄生效应。螟黄赤眼蜂对甜菜夜蛾卵的寄生率、瞬间攻击率、寄生效能和搜寻效应均高于稻螟赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂; 3种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生率、瞬间攻击率、寄生效能和搜寻效应则表现为: 稻螟赤眼蜂 > 螟黄赤眼蜂 > 玉米螟赤眼蜂。3种赤眼蜂对两种寄主的寄生功能反应均符合 Holling II 型模型方程, 表现为寄生量均随寄主卵密度的增加而升高, 达到一定水平后趋于平稳。赤眼蜂的搜寻效应随寄主卵密度的增加而降低。综合分析可知, 螟黄赤眼蜂对于甜菜夜蛾的控害能力优于稻螟赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂, 而稻螟赤眼蜂比螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂更适合用于防控小菜蛾。

**关键词:** 稻螟赤眼蜂; 螟黄赤眼蜂; 玉米螟赤眼蜂; 寄生率; 功能反应; 搜寻效应

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 04-1046-08

### Functional response of three *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to parasitizing *Spodoptera exigua* and *Plutella xylostella* eggs

WANG Jin-Yan, ZHANG Hao, JI Xiang-Yun\* (Eco-environmental Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Key Laboratory of Low-carbon Green Agriculture in Southeastern China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Shanghai 201403, China)

**Abstract:** To evaluate the parasitism capacity of *Trichogramma japonicum* Ashmead, *Trichogramma chilonis* Ishii and *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen on eggs of *Spodoptera exigua* Hübner and *Plutella xylostella* Linnaeus. The parasitism rate, functional response and searching efficiency of three *Trichogramma* parasitizing *S. exigua* eggs were tested under five different host densities. It was found that *T. japonicum*, *T. chilonis* and *T. ostrinae* could parasitize the eggs of *S. exigua* and *P. xylostella*. The parasitism rate, attack rates, parasitism efficiency and searching efficiency of *T. chilonis* on *S. exigua* were higher than that of *T. japonicum* and *T. ostrinae*. The parasitism rate, attack rates, parasitism efficiency and searching effect of three *Trichogramma* on *P. xylostella* eggs were as follows: *T. japonicum* > *T. chilonis* > *T. ostrinae*. The type of functional response of the three *Trichogrammas* to the two hosts eggs were all type II, which showed that the number of eggs parasitized increased with the increase of host

基金项目: 上海市科技兴农推广项目 (沪农科推字 (2021) 第2-4号); 上海市农业科学院卓越团队建设项目 (农科卓 (2022) 017; 2018 [B-01])

作者简介: 王金彦, 女, 1991年生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: wangjinyan1912@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 季香云, 博士, 研究员, 主要研究方向为害虫生物防治, E-mail: hwy2002@163.com

收稿日期 Received: 2022-04-27; 接受日期 Accepted: 2022-08-02

eggs density, and tended to be stable after reaching a certain level. While, the searching efficiency decreased with the increase of host eggs density. In conclusion, the control efficacy of *T. chilonis* against *S. exigua* is better than that of *T. japonicum* and *T. ostrinia*, and *T. japonicum* is more suitable for controlling *P. xylostella*.

**Key words:** *Trichogramma japonicum*; *Trichogramma chilonis*; *Trichogramma ostrinia*; parasitism rate; functional response; searching effect

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 和小菜蛾 *Plutella xylostella* Linnaeus 均为世界性分布的害虫, 主要为害十字花科植物, 给农业生产造成了巨大的损失 (李振宇等, 2011; Jiang *et al.*, 2013; 王金彦等, 2018; Wang *et al.*, 2020, 2021a)。目前, 对于甜菜夜蛾和小菜蛾的防控, 一直以化学防治为主。但是化学农药大量不规范的使用, 严重影响了生态环境安全和农产品质量安全, 也导致这两种害虫的抗药性日趋增强。因此, 采用可持续的生物防控方法防治甜菜夜蛾和小菜蛾尤为重要。目前, 在甜菜夜蛾和小菜蛾的生物防治方面, 病原微生物、捕食性天敌和寄生性天敌 (茧蜂) 的应用已有较系统的研究 (Jiang *et al.*, 2011; 季香云等, 2013; 周今一等, 2016; 时敏等, 2020; Wang *et al.*, 2021b), 例如: 核型多角体病毒 Nucleopolyhedrovirus (蒋杰贤等, 2005; 金晶等, 2021)、益蝽 Asopinae (高卓, 2010; 唐艺婷等, 2020)、绒茧蜂 *Apanteles* (黄芳等, 2014) 等对甜菜夜蛾或小菜蛾均有一定的防控效果。但仍需要发掘更多生物防治资源用于甜菜夜蛾和小菜蛾的防治, 确保蔬菜和粮食安全生产。

赤眼蜂 *Trichogramma*, 属膜翅目 Hymenoptera 赤眼蜂科 Trichogrammatidae, 作为一种卵寄生蜂, 其控害作用能力强, 寄主范围广, 是国内外害虫生物防治中应用最广的天敌昆虫之一 (向玉勇和张帆, 2011; Ko *et al.*, 2014; 李姝等, 2018; Zang *et al.*, 2021)。近年来, 赤眼蜂被广泛用于防治水稻二化螟 *Chilo suppressalis* Walker、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée、松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Wik、玉米螟 *Pyrausta nubilalis* Hübner 等农林害虫 (刘万学等, 2003; 陈洪凡等, 2010; 郭震等, 2011; 宋静等, 2015)。目前研究发现稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead, 螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 和玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinia* Pang *et al.* 均可寄生甜菜夜蛾卵和小菜蛾卵 (舒锐豪等, 2014; 许晶, 2017; 刘兴龙等, 2018; 冷春蒙等,

2020)。但 3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾的寄生功能反应尚未见报道。因此, 本研究在实验室条件下评价了稻螟赤眼蜂、螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂对不同密度甜菜夜蛾卵和小菜蛾卵的寄生效应, 明确赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾的控害潜能, 旨在为推广和高效应用赤眼蜂防控甜菜夜蛾和小菜蛾提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试赤眼蜂

稻螟赤眼蜂由浙江省农业科学院提供, 螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂来源于山东省农业科学院植物保护研究所天敌与授粉昆虫研究中心。3 种赤眼蜂均在上海市农业科学院生态保护研究所养虫室内, 用米蛾卵在室内温度  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $75\% \pm 5\%$ 、光周期 L:D = 14 h:10 h 条件下繁殖多代后用于本试验。

### 1.2 供试寄主卵

甜菜夜蛾卵块和小菜蛾卵块均采集于上海市农业科学院庄行综合试验站 ( $30^\circ 53' 25.93'' \text{N}$ ,  $111^\circ 22' 49.93'' \text{E}$ ) 甘蓝试验田。将卵块置于人工气候培养箱 ( $28^\circ\text{C}$ 、14 L:10 D、RH  $80\% \pm 5\%$ ) 中洁净的塑料盒 (直径 15 cm、高 10 cm) 内, 待卵块孵化后, 饲喂人工饲料。将羽化的甜菜夜蛾或小菜蛾雌雄成虫配对后分别置于圆柱形产卵筒 (直径 12 cm、高 23 cm) 中。甜菜夜蛾产卵筒中放置白色纸卡, 小菜蛾的产卵筒中放置透明塑料纸供其产卵, 并在筒底放置含 10% 蜂蜜水的脱脂棉球为其补充营养。收集甜菜夜蛾或小菜蛾当天产的虫卵供试验用 (Ramalho *et al.*, 2018)。

米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton 卵由浙江省农业科学院提供。在养虫室内温度  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $75\% \pm 5\%$ 、光周期 L:D = 14 h:10 h 条件下用玉米粉和麦麸混合而成的饲料饲养米蛾幼虫。成虫收集至用 40 目不锈钢网做成的养虫笼中。用毛刷收集养虫笼壁上的米蛾卵, 单层平铺在粘性纸

上制成卵卡, 于 30 W 紫外灯下杀胚 30 min 供赤眼蜂寄生。

### 1.3 赤眼蜂对不同密度寄主卵的寄生功能反应

选取合适的卵块, 连同产卵纸一同剪下, 最终形成相似大小的卵卡 (甜菜夜蛾卵卡大小约为  $1.5\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ ; 小菜蛾卵卡大小约为  $3\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ )。在平底玻璃管 (直径 2 cm、高 15 cm) 中分别接入单层附着有 10、20、40、60、80 粒的新鲜甜菜夜蛾或小菜蛾卵的卵卡, 每管引入 1 头当日羽化并已充分交配 12 h 的赤眼蜂 (稻螟赤眼蜂或螟黄赤眼蜂或玉米螟赤眼蜂) 雌蜂, 并在玻璃管壁内放置含 20% 的蜂蜜水的脱脂棉球为雌蜂提供食物, 棉塞封口。将其置于温度为  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , RH  $70\% \pm 5\%$ , 光周期 14 L:10 D 的人工气候箱中, 寄生 24 h 后引出雌蜂。甜菜夜蛾卵和小菜蛾卵在人工气箱中继续培养, 及时移除未被寄生的孵化的幼虫。待虫卵变黑且幼虫不再孵化后, 将其置于在解剖镜下解剖、观察并统计被寄生的卵量 (陈万斌等, 2020)。每个处理重复 20 次。用 Holling II 模型方程拟合寄生功能反应数据, 模型为:  $N_a = aTN / (1 + aT_h N)$  (Holling, 1959), 式中,  $N_a$  为被寄生的卵量,  $a$  为瞬间攻击率,  $T$  为寄生时间 (d),  $N$  为供寄生蜂寄生的卵粒数,  $T_h$  为赤眼蜂处理一粒卵所需的时间。

### 1.4 赤眼蜂对不同密度寄主卵的的搜寻效应

根据 1.3 所得  $a$ 、 $T_h$  和  $N$  的值拟合 Holling (1959) 所提出的寻找效应 ( $S$ ) 与寄主密度的模型方程:  $S = a / (1 + aT_h N)$ 。

### 1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 23.0 和 Sigmaplot 14.0 软件进行分析及制图。对 3 种赤眼蜂的寄生率和寄生量进行单因素方差分析, 应用 Tukey's HSD 法检验处理间差异的显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种赤眼蜂对寄主卵的寄生率

3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾卵的寄生率的大小分别表现为: 螟黄赤眼蜂 > 稻螟赤眼蜂 > 玉米螟赤眼蜂 (图 1), 稻螟赤眼蜂 > 螟黄赤眼蜂 > 玉米螟赤眼蜂 (图 2)。对于甜菜夜蛾卵, 当寄主密度为 10 粒时, 螟黄赤眼蜂对甜菜夜蛾的寄生率显著高于玉米螟赤眼蜂 ( $F = 4.456$ ,  $df = 2, 57$ ,  $P < 0.05$ ); 当寄主密度为 20 粒时, 螟黄赤眼蜂的

寄生量显著高于稻螟赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂 ( $F = 6.553$ ,  $df = 2, 57$ ,  $P < 0.05$ ); 3 种赤眼蜂在寄主密度为 40、60 和 80 粒时的寄生率没有显著性差异。在 5 个不同寄主密度时, 稻螟赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生率均显著高于螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂 ( $P < 0.05$ ); 仅当寄主密度为 20 粒/管时, 螟黄赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生能力显著高于玉米螟赤眼蜂 ( $P < 0.05$ )。

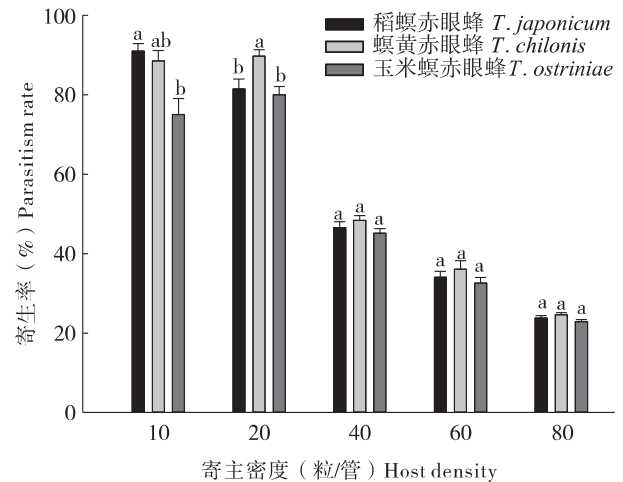


图 1 3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾卵的寄生情况

Fig. 1 Parasitism rate of three *Trichogrammas* on *Spodoptera exigua* egg

注: 图中不同小字母表示显著性差异 ( $P < 0.05$ )。Note: Different small letters in the figure indicated significant difference ( $P < 0.05$ ).

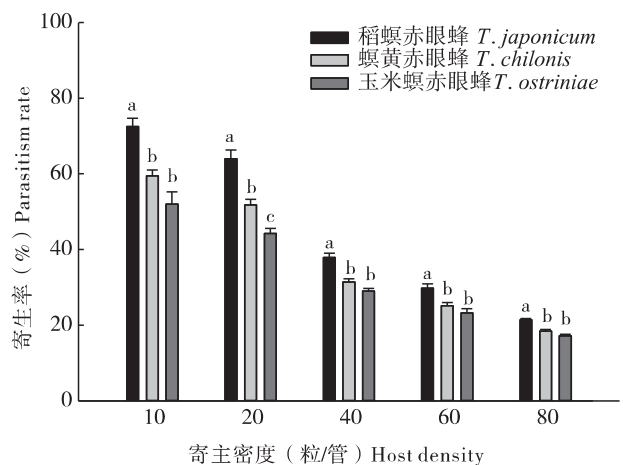


图 2 3 种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生情况

Fig. 2 Parasitism rate of three *Trichogrammas* on *Plutella xylostella* egg

注: 图中不同小字母表示显著性差异 ( $P < 0.05$ )。Note: Different small letters in the figure indicated significant difference ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 3 种赤眼蜂对两种寄主卵的寄生功能反应

在试验设定范围内, 3 种寄生蜂的寄生量随寄主密度的增加而显著升高 ( $P < 0.05$ ) (表 1、表 2)。当甜菜夜蛾卵的密度大于 20 粒时, 寄生蜂对甜菜夜蛾的寄生量趋于平稳 (图 3); 当寄主密度大于 40 时, 寄生蜂对小菜蛾的寄生量不再显著增加 (表 2、图 4)。数据采用 Holling II 圆盘方程进行拟合, 发现 3 种赤眼蜂对两种寄主卵的寄生量均符合该模型 (表 3、表 4)。判定系数  $R^2$  均高

于 0.8, 说明 Holling II 模型能很好地反应 3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾卵的寄生作用。3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾卵的瞬间攻击率和寄生效能由高到低依次为: 螟黄赤眼蜂 > 稻螟赤眼蜂 > 玉米螟赤眼蜂; 处理时间与之相反, 表现为: 玉米螟赤眼蜂 > 稻螟赤眼蜂 > 螟黄赤眼蜂 (表 3)。稻螟赤眼蜂对小菜蛾的瞬间攻击率和寄生效能最高, 处理时间最短, 螟黄赤眼蜂次之, 玉米螟赤眼蜂最低 (表 4)。

表 1 3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾卵的寄生量

Table 1 Mean number of *Spodoptera exigua* eggs parasitized by the three *Trichogrammas*

蜂种 Species	寄主密度 (粒/管) Host density									
	10		20		40		60		80	
	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values
稻螟赤眼蜂 <i>T. japonicum</i>	9.10 ± 0.19 c	10.73	16.30 ± 0.50 b	14.57	18.60 ± 0.61 a	17.76	19.05 ± 0.51 a	19.15	19.05 ± 0.49 a	19.94
螟黄赤眼蜂 <i>T. chilonis</i>	8.85 ± 0.26 c	11.25	17.95 ± 0.32 b	15.28	19.35 ± 0.49 ab	18.62	19.90 ± 0.46 a	20.08	19.65 ± 0.45 a	20.90
玉米螟赤眼蜂 <i>T. ostriniae</i>	7.50 ± 0.41 c	9.78	16.00 ± 0.42 b	13.59	18.05 ± 0.47 a	16.86	18.20 ± 0.43 a	18.34	18.25 ± 0.44 a	19.18

注: 表中不同小字母表示显著性差异 ( $P < 0.05$ )。表 2 同。Note: Different small letters in the table indicated significant difference ( $P < 0.05$ ). Same to Table 2.

表 2 3 种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生量

Table 2 Mean number of *Plutella xylostella* eggs parasitized by the three *Trichogrammas*

蜂种 Species	寄主密度 (粒/管) Host density									
	10		20		40		60		80	
	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values	实际寄生 量 (粒) The actually value of eggs parasitized	理论寄生 量 (粒) The calculated theoretical values
稻螟赤眼蜂 <i>T. japonicum</i>	7.25 ± 0.22 d	8.22	12.80 ± 0.46 c	11.79	15.15 ± 0.45 b	15.06	16.65 ± 0.21 a	16.59	17.10 ± 0.29 a	17.48
螟黄赤眼蜂 <i>T. chilonis</i>	5.95 ± 0.15 d	6.62	10.35 ± 0.31 c	9.80	12.55 ± 0.33 b	12.90	14.15 ± 0.33 a	14.42	14.75 ± 0.32 a	15.32
玉米螟赤眼蜂 <i>T. ostriniae</i>	5.50 ± 0.17 d	5.67	8.60 ± 0.21 c	8.53	11.50 ± 0.27 b	11.42	12.70 ± 0.31 a	12.87	13.70 ± 0.39 a	13.74

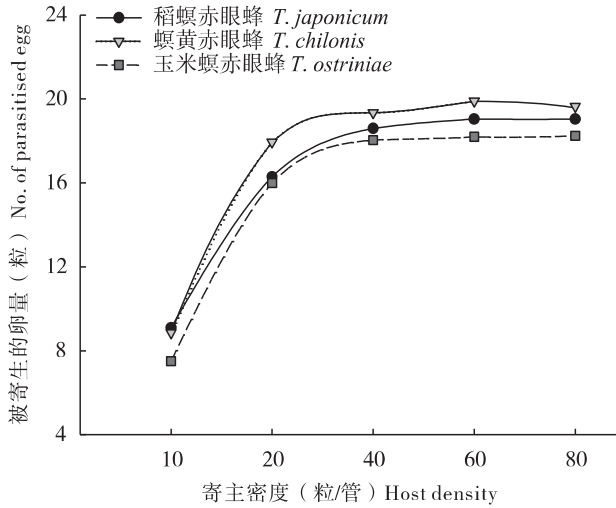


图3 3种赤眼蜂对甜菜夜蛾卵的寄生功能反应曲线  
Fig. 3 Functional responses curves of three *Trichogramma* on *Spodoptera exigua* egg

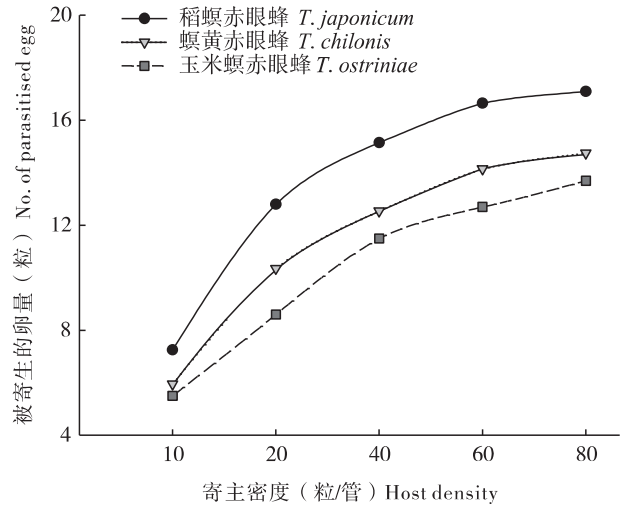


图4 3种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生功能反应曲线  
Fig. 4 Functional responses curves of three *Trichogramma* on *Plutella xylostella* egg

表3 3种赤眼蜂对甜菜夜蛾卵的寄生功能反应参数

Table 3 Parameters of the functional responses of three *Trichogramma* to *Spodoptera exigua* egg

赤眼蜂种类 <i>Trichogramma</i> species	功能反应圆盘方程 Disc equation of functional response	瞬间攻击 率 ( $a$ ) Attack rate	处理时间 ( $T_h$ ) Handling time	寄生效能 ( $a/T_h$ ) Parasitic efficiency	判定系数 ( $R^2$ ) Coefficient of determination	寄生上限 ( $N_a \max$ ) Maximum parasitized hosts
稻螟赤眼蜂 <i>T. japonicum</i>	$N_a = 2.031N / (1 + 0.089N)$	2.031	0.044	46.159	0.901	22.727
螟黄赤眼蜂 <i>T. chilonis</i>	$N_a = 2.134N / (1 + 0.070N)$	2.134	0.042	50.810	0.830	23.810
玉米螟赤眼蜂 <i>T. ostriniae</i>	$N_a = 1.748N / (1 + 0.079N)$	1.748	0.045	38.844	0.845	22.220

表4 3种赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生功能反应参数

Table 4 Parameters of the functional responses of three *Trichogramma* to *Plutella xylostella* egg

赤眼蜂种类 <i>Trichogramma</i> species	功能反应圆盘方程 Disc equation of functional response	瞬间攻击 率 ( $a$ ) Attack rate	处理时间 ( $T_h$ ) Handling time	寄生效能 ( $a/T_h$ ) Parasitic efficiency	判定系数 ( $R^2$ ) Coefficient of determination	寄生上限 ( $N_a \max$ ) Maximum parasitized hosts
稻螟赤眼蜂 <i>T. japonicum</i>	$N_a = 1.358N / (1 + 0.065N)$	1.358	0.048	28.291	0.821	20.83
螟黄赤眼蜂 <i>T. chilonis</i>	$N_a = 1.019N / (1 + 0.055N)$	1.019	0.054	18.870	0.849	18.519
玉米螟赤眼蜂 <i>T. ostriniae</i>	$N_a = 0.845N / (1 + 0.049N)$	0.845	0.058	14.569	0.851	17.241

### 2.3 3 种赤眼蜂对两种寄主卵的搜寻效应

相同条件下, 螟黄赤眼蜂、稻螟赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂对甜菜夜蛾卵和小菜蛾卵的搜寻效应均随寄主密度的增加而降低, 其中螟黄赤眼蜂对甜菜夜蛾的搜寻效应最高, 稻螟赤眼蜂对小菜蛾的搜寻效应最高, 玉米螟赤眼蜂对 2 种寄主的搜寻效应均最低 (图 5)。

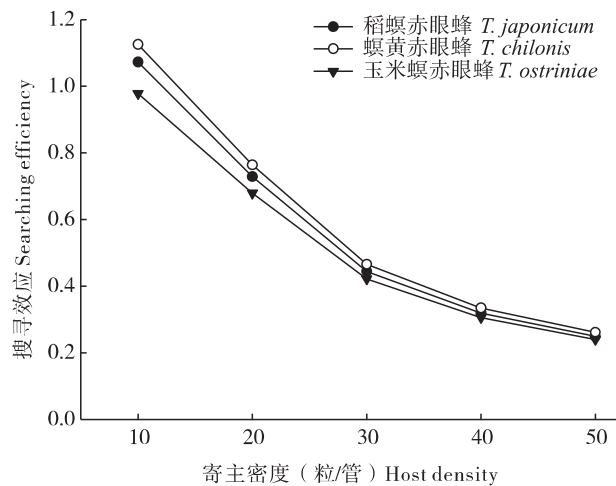


图 5 3 种赤眼蜂的搜寻效应与甜菜夜蛾卵密度的关系

Fig. 5 Relationship between the searching efficiency of the three *Trichogramma* and *Spodoptera exigua* egg

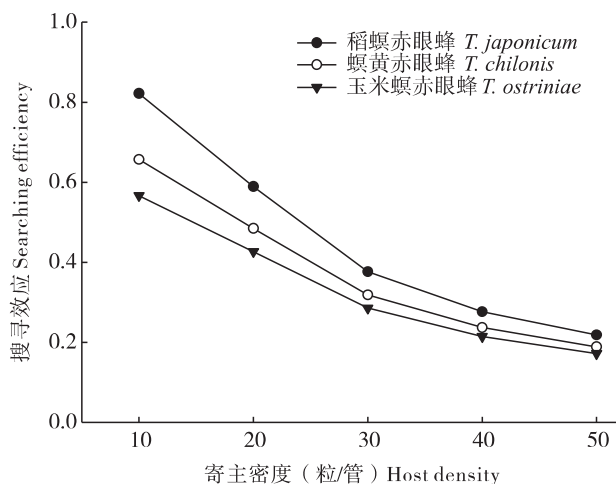


图 6 3 种赤眼蜂的搜寻效应与小菜蛾卵密度的关系

Fig. 6 Relationship between the searching efficiency of the three *Trichogramma* and *Plutella xylostella* egg

## 3 结论与讨论

功能反应不仅描述了害虫天敌与害虫种群数量动态关系, 也是评价天敌对害虫寄生或捕食效

率的重要指标 (Solomon, 1949; Jones *et al.*, 2003; Farrokhi *et al.*, 2010)。在功能反应的相关研究中, Holling 提出的圆盘方程是最早被广泛用于评估天敌对其猎物对象作用大小的模型之一, 其中 Holling II 模型方程已被证实是适用于寄生蜂功能反应研究的主要模型 (黄寿山, 等 1993; 王甦, 2014; 王金彦等, 2020)。本研究也发现 3 种赤眼蜂 (稻螟赤眼蜂、螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂) 对甜菜夜蛾和小菜蛾卵的寄生量均符合 Holling II 模型。3 种赤眼蜂的寄生量随寄主密度的增加而增加, 当上升到一定程度后, 寄生量增幅减缓并趋于平稳, 这可能与寄生蜂体内有限的成熟卵量有关。在功能反应方程中, 寄生效能是反映寄生蜂对寄主控制效果的重要参数 (陈俊谕等, 2013),  $a/T_h$  值越大, 说明控制效果越好。总体而言, 由于物种之间生理特性、行为因素等差异, 不同种赤眼蜂对寄主的寄生效能存在差异。何余容等 (2002) 的研究结果表明拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggiani 对小菜蛾卵的  $a/T_h$  值为 0.0169, 大于短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* Riley 对小菜蛾卵的  $a/T_h$  值 0.0106。这与本研究发现的螟黄赤眼蜂对甜菜夜蛾的寄生效能最高, 稻螟赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生效能高于螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂研究结果相符合。

搜寻效应反映寄生蜂寻找猎物的能力。本研究发现, 螟黄赤眼蜂对甜菜夜蛾的搜寻能力最强, 稻螟赤眼蜂对小菜蛾有较高的寻找效应, 说明赤眼蜂对不同猎物的搜捕能力有一定差异。并且, 3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾或小菜蛾的搜寻效应均随寄主密度的增加而降低, 说明寄主密度对赤眼蜂搜寻有干扰作用。这与陈俊谕等 (2013) 以及陈万斌等 (2020) 报道的随寄主密度的增加, 寄生蜂搜寻时间减少和搜寻效应下降的结果一致。因此在田间应用赤眼蜂防控甜菜夜蛾时, 应当根据赤眼蜂种类和寄主密度合理释放赤眼蜂, 在节约成本的同时达到最好的防控效果。

赤眼蜂在害虫生物防治的应用中, 引种和释放前的科学评价不仅能够避免盲目引种导致资源浪费和防治的失败, 并且引用优势蜂种还可以达到更好的控害效果。综合本研究结果, 3 种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾均有一定的防控作用。相对稻螟赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂, 螟黄赤眼蜂更适用于甜菜夜蛾的防治, 而稻螟赤眼蜂对于小菜蛾的防控能力优于螟黄赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂, 可作

为小菜蛾防治的优势赤眼蜂种进行进一步研究。这与舒锐豪等 (2014) 报道的稻螟赤眼蜂以小菜蛾卵作为中间寄主的适合度高于螟黄赤眼蜂类似。而谌江华等 (2016) 的研究发现螟黄赤眼蜂对小菜蛾卵的寄生率要高于稻螟赤眼蜂, 这可能与赤眼蜂地理隔离、试验环境差异等因素有关。由于野外环境中其他竞争者、捕食者、温度、湿度、降水等不可控因素较多, 对赤眼蜂的寄生效应有不同程度的影响, 因此, 在应用赤眼蜂防控甜菜夜蛾和小菜蛾时, 还需要结合实际的田间环境进一步探索和完善应用方案。

### 参考文献 (References)

- Chen HF, Huang SS, Zhang YZ. Control efficacy of *Trichogramma japonicum* against *Chilo suppressalis* and *Chilareae auricilia* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 (3): 743–748. [陈洪凡, 黄寿山, 张玉焯. 稻螟赤眼蜂对二化螟和台湾稻螟的控制潜能评价 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (3): 743–748]
- Chen JH, Chai WG, Sun MM, et al. Parasitizing ability assessment of two local *Trichogramma* species on *Plutella xylostella* [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2016, 57 (3): 379–381. [谌江华, 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]
- Chen JY, Chen TY, Fu YG, et al. Functional response of *Encarsia guadeloupae* Viggiani on *Aleurodicus dispersus* Russell [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2013, 29 (2): 175–180. [陈俊谕, 陈泰运, 符悦冠, 等. 哥德恩蚜小蜂对螺旋粉虱的功能反应研究 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29 (2): 175–180]
- Chen WB, Wang QY, He KL, et al. Functional responses of different *Trichogramma* strains to *Conogethes punctiferalis* (Guenée) eggs and their intraspecific interference [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (3): 319–326. [陈万斌, 王勤英, 何康来, 等. 不同赤眼蜂品系对桃蛀螟卵的寄生功能反应和干扰效应 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (3): 319–326]
- Farrokhi S, Ashouri A, Shirazi J, et al. A comparative study on the functional response of *wolbachia* - infected and uninfected forms of the parasitoid wasp *Trichogramma brassicae* [J]. *Journal of Insect Science*, 2010, 10 (167): 1–11.
- Gao Z. Biological Characteristics and Releasing Techniques of *Arma chinensis* [M]. Harbin: Heilongjiang University Press, 2010: 1–37. [高卓. 蠨蛸 (*Arma chinensis* Fallou) 生物学特性及其控制技术 [M]. 哈尔滨: 黑龙江大学出版社, 2010: 1–37]
- Guo Z, Ruan CC, Zang IS, et al. The new record of *Trichogramma japonicum* Ashmead, an egg parasitoid of *Chilo suppressalis* (Walker) in Jilin, China [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2011, 27 (2): 276–279. [郭震, 阮长春, 臧连生, 等. 吉林省稻螟赤眼蜂的发现和鉴定 [J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (2): 276–279]
- He YR, Lv LH, Pang XF. Selection of effective species of *Trichogramma* egg parasitoids of diamondback moth: III. parasitizing ability assessment of three *Trichogramma* species on nontarget Lepidoptera in crucifer [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2002, 1: 6–9. [何余容, 吕利华, 庞雄飞. 寄生小菜蛾的赤眼蜂蜂种选择 III. 3 种赤眼蜂对十字花科蔬菜非目标害虫的寄生能力 [J]. 中国生物防治, 2002, 1: 6–9.]
- Huang F, Li WD, Shi M, et al. Effects of parasitism by *Cotesia vestalis* on the silk gland of diamondback moth, *Plutella xylostella* larvae [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (6): 928–932. [黄芳, 郦卫弟, 时敏, 等. 菜蛾盘绒茧蜂寄生对寄主小菜蛾幼虫丝腺的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 928–932]
- Huang SS, Dai ZY, Wu DZ, et al. Effect of temperature on the functional of *Trichogramma ostrinae* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 1995, 16 (3): 30–33. [黄寿山, 戴志一, 吴达璋, 等. 温度对玉米螟赤眼蜂寄生功能反应的影响 [J]. 华南农业大学学报, 1995, 16 (3): 30–33]
- Ji XY, Yin YY, Wan NF, et al. The effect of parasitization by *Microplitis pallidipes* Szepliget (Hymenoptera: Braconidae) on the total protein and sugar and lipid content of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (6): 1637–1642. [季香云, 印杨毅, 万年峰, 等. 淡足侧沟茧蜂寄生对甜菜夜蛾幼虫血淋巴总糖、蛋白质及虫体脂质含量的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (6): 1637–1642]
- Jiang JX, Ji XY, Yin YY, et al. The effect of nucleopolyhedrovirus infection and/or parasitism by *Microplitis pallidipes*, on hemolymph proteins, sugars, and lipids in *Spodoptera exigua* larvae [J]. *BioControl*, 2013, 58: 777–788.
- Jiang JX, Zeng AP, Ji XY, et al. Vertical transmission of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus in the beet armyworm, *Spodoptera exigua* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48 (6): 922–927. [蒋杰贤, 曾爱平, 季香云, 等. 甜菜夜蛾核型多角体病毒在宿主种群中的垂直传播研究 [J]. 昆虫学报, 2005, 48 (6): 922–927]
- Jiang JX, Zeng AP, Ji XY, et al. Combined effect of nucleopolyhedrovirus and *Microplitis pallidipes* for the control of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* [J]. *Pest Management Science*, 2011, 67 (6): 705–713.
- Jin J, Luo N, Li JH, et al. Virulence and field control efficacy of 13 pesticides against *Plutella xylostella* in Dingxi and Wuwei of Gansu [J]. *Acta Agriculturae Borealioccidentalis Sinica*, 2021, 30 (10): 1573–1580. [金晶, 罗宁, 李金鸿, 等. 13 种农药对甘肃定西和武威地区小菜蛾的毒力及药效 [J]. 西北农业学报, 2021, 30 (10): 1573–1580]
- Jones DB, Giles KL, Berberet RC, et al. Functional responses of an introduced parasitoid and an indigenous parasitoid on greenbug at four temperatures [J]. *Environmental Entomology*, 2003, 32 (3): 425–432.
- Ko K, Liu Y, Hou M, et al. *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) strains for control of the striped stem borer (Lepidoptera: Crambidae) in the Greater Mekong Subregion [J].

- Journal of Economic Entomology*, 2014, 107 (3): 955–963.
- Leng CM, Yuan XQ, Zhou JH, et al. Effects of three green prevention and control technologies on *Plutella xylostella* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2020, 29 (8): 1278–1284. [冷春蒙, 袁向群, 周靖华, 等. 3 种绿色防控技术对小菜蛾的防治效果 [J]. 西北农业学报, 2020, 29 (8): 1278–1284]
- Li S, Zheng HB, Chen LL, et al. Comparisons of three *Trichogramma* species for controlling *Chilo suppressalis* in paddy field [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (3): 336–341. [李姝, 郑和斌, 陈立玲, 等. 3 种赤眼蜂对水稻二化螟田间控害效果比较 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34 (3): 336–341]
- Liu WX, Wan FH, Guo JY, et al. Control of *Helicoverpa armigera* and related ecological effects following mass-release of *Trichogramma chilonis* in transgenic Bt and routine cotton fields [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46 (3): 311–317. [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]
- Liu XL, Shao TY, Wang KQ. *Trichogramma japonicum* based on 2 kinds of intermediate hosts: Life table producing and analysis [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34 (13): 150–154. [刘兴龙, 邵天玉, 王克勤. 基于 2 种中间寄主的稻螟赤眼蜂生命表编制与分析 [J]. 中国农学通报, 2018, 34 (13): 150–154]
- Shi M, Tang P, Wang ZZ, et al. Review of research on parasitoids and their use in biological control in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (3): 491–548. [时敏, 唐璞, 王知知, 等. 中国寄生蜂研究及其在害虫生物防治中的应用 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (3): 491–548]
- Shu RH, Kong HQ, Zhang WD, et al. Fitness of two *Trichogramma* species and one Trichogrammatodea reared on the eggs of the diamondback moth *Plutella xylostella* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (3): 787–794. [舒锐豪, 孔庆华, 张伟东, 等. 小菜蛾卵作为赤眼蜂中间寄主的寄生适合度分析 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (3): 787–794]
- Solomon ME. The natural control of animal populations [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1949, 18 (1): 1–35.
- Song J, Huang J, Wang LY, et al. Effects of rearing host on parasitization behavior and capacity of *Trichogramma japonicum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (7): 783–790. [宋静, 黄静, 王雷英, 等. 繁育寄主对稻螟赤眼蜂寄生行为及寄生能力的影响 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (7): 783–790]
- Tang YT, Guo Y, Pan MZ, et al. Predation of *Plutella xylostella* larva by *Arma chinensis* [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (4): 155–160. [唐艺婷, 郭义, 潘明真, 等. 螞蟓对小菜蛾幼虫的捕食作用 [J]. 植物保护, 2020, 46 (4): 155–160]
- Wang JY, Fan NN, Siemann E, et al. Plant-mediated effects on life history traits of entomovirus infected caterpillars of *Spodoptera exigua* [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2021a, 145 (6): 567–574.
- Wang JY, Wan NF, Fan NN, et al. Functional response of *Microplitis pallidipes* parasitizing *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (6): 1319–1325. [王金彦, 万年峰, 范能能, 等. 淡足侧沟茧蜂对草地贪夜蛾的寄生功能反应 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (6): 1319–1325]
- Wang JY, Zhang H, Guo L, et al. The effects of host plants on the activities of the key enzymes involved in melanization in nucleopolyhedrovirus-infected beet armyworm larvae [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (5): 882–888. [王金彦, 张浩, 郭玲, 等. 寄主植物对甜菜夜蛾感染核型多角体病毒后黑化反应关键酶活性的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (5): 882–888]
- Wang JY, Zhang H, Siemann E, et al. Immunity of an insect herbivore to an entomovirus is affected by different host plants [J]. *Pest Management Science*, 2020, 76 (3): 1004–1010.
- Wang JY, Zhang H, Siemann E, et al. Plants impact cellular immunity of caterpillars to an entomovirus [J]. *Pest Management Science*, 2021b, 77 (5): 2415–2424.
- Wang S, Zhao J, Zhan F, et al. Evaluation of potential management of *Bemisia tabaci* by two parasitoids mixed population via functional response model [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (2): 188–193. [王甦, 赵静, 张帆, 等. 利用功能反应模型评价两种寄生蜂混合释放对烟粉虱的防控潜能 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (2): 188–193]
- Xiang YY, Zhang F. Review of application research on *Trichogramma westwood* in biological control in China [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2011, 40 (12): 20–24. [向玉勇, 张帆. 赤眼蜂在我国生物防治中的应用研究进展 [J]. 河南农业科学, 2011, 40 (12): 20–24]
- Xing K, Zhao F, Peng Y, et al. Typical migration pathways analysis of the diamondback moth *Plutella xylostella* in China in 2009 [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (5): 896–902. [邢鲲, 赵飞, 彭宇, 等. 2009 年我国小菜蛾迁飞路径典型案例分析 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (5): 896–902]
- Zang LS, Wang S, Zhang F, et al. Biological control with *Trichogramma* in China: History, present status, and perspectives [J]. *Annual Review of Entomology*, 2021, 66 (1): 463–484.
- Zhou JY, Yang JH, Jiang JX. The lethal effect of *Beauveria bassiana* from different geological locations on the larvae of beet armyworm [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2016, 32 (2): 39–42. [周今一, 杨俊华, 蒋杰贤. 不同地理来源的球孢白僵菌对甜菜夜蛾幼虫的致死效应 [J]. 上海农业学报, 2016, 32 (2): 39–42]