

东亚小花蝽对黄胸蓟马的室内捕食作用研究*

付步礼^{1**} 邱海燕¹ 李 强¹ 孙衍汤² 周世豪² 杨石有²
李善光¹ 唐良德¹ 张方平¹ 刘 奎^{1***}

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海南省热带作物病虫害生物防治工程技术研究中心, 海口 571101; 2. 海南大学热带农林学院, 海口 570228)

摘 要 【目的】为明确东亚小花蝽 *Orius sauteri* 对黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 的捕食作用及生物防治潜能。【方法】室内系统研究了东亚小花蝽不同虫态对黄胸蓟马不同虫态的捕食功能反应、寻找效应、自身密度的干扰反应与捕食选择性。【结果】东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食功能反应符合 Holling 型, 东亚小花蝽 5 龄若虫与成虫分别对黄胸蓟马 2 龄若虫和成虫的捕食能力 (a/T_h) 最强, 分别为 126.64 头和 64.30 头, 捕食上限 ($1/T_h$) 最大, 分别为 149.25 头/d 和 84.75 头/d。东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食量与黄胸蓟马猎物密度正相关, 但寻找效应与猎物密度呈负相关, 东亚小花蝽高龄若虫与成虫对黄胸蓟马表现出较高的寻找效应。东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食作用同时受自身密度的影响, 随着天敌密度的增大, 平均捕食率随之降低, 表明东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食作用存在较强的种内干扰反应, 该反应符合 Hassell 模型方程。捕食选择性试验表明, 东亚小花蝽对黄胸蓟马 2 龄若虫的捕食偏好性最强, 其次为成虫, 对伪蛹喜好性较弱。【结论】东亚小花蝽对黄胸蓟马具有较强的捕食能力, 所获研究结果为正确评价东亚小花蝽对黄胸蓟马的生防潜能提供了理论依据。

关键词 东亚小花蝽; 黄胸蓟马; 生物防治; 捕食作用

Predation of *Orius sauteri* on *Thrips hawaiiensis* in the laboratory

FU Bu-Li^{1**} QIU Hai-Yan¹ LI Qiang¹ SUN Yan-Tang² ZHOU Shi-Hao² YANG Shi-You²
LI Shan-Guang¹ TANG Liang-De¹ ZHANG Fang-Ping¹ LIU Kui^{1***}

(1. The Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Integrated Pest Management of Tropical Crops, Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Engineering Research Center of Tropical Crops Pest Biological Control, Haikou 571101, China; 2. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract [Objectives] To evaluate the potential of *Orius sauteri* as a biological control for the thrip *Thrips hawaiiensis*. [Methods] The functional response, search efficiency, interference response and prey preferences, of *O. sauteri* preying on *T. hawaiiensis* were observed under laboratory conditions. [Results] Predation of *O. sauteri* on *T. hawaiiensis* followed a Holling-type II functional response. The highest predation rates were recorded for 5th-instar nymphs and adults of *O. sauteri* preying on 2nd-instar nymphs and adults of *T. hawaiiensis*, which had a/T_h values of 126.64 and 64.30 individuals and $1/T_h$ for 149.25 and 84.75 individuals per day, respectively. Predation rate was positively correlated with prey density but there was a negative relationship between search efficiency and prey density. 5th-instar nymphs and adults of *O. sauteri* were more effective in prey searching than other developmental stages. Mean predation rate decreased with increasing predator density, which suggests that intraspecific interference adversely affects predation efficiency at high predator densities and that the relationship between predation rate and predator density approximates a Hassell-model equation. A choice-test indicated that *O. sauteri* has a strong preference for 2nd-instar nymphs of *T. hawaiiensis*, followed by adults, and a relatively low preference for

*资助项目 Supported projects: 中国热带农业科学院院级创新团队“天敌昆虫创新利用团队”(1630042017010); 国家重点研发计划项目(2017YFD020210X); 中央级科研院所基本业务费项目(2016hzs1J007)

**第一作者 First author, E-mail: fubuli@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lk0750@163.com

收稿日期 Received: 2018-07-13; 接受日期 Accepted: 2018-12-31

pupae. [Conclusion] *O. sauteri* is an effective predator of *T. hawaiiensis*. These results provide a theoretical basis for evaluating the potential of *O. sauteri* as a biological control for *T. hawaiiensis*.

Key words *Orius sauteri*; *Thrips hawaiiensis*; biological control; predation

蓟马是缨翅目(Thysanoptera)昆虫类群的统称,可严重危害诸多花卉、果蔬及粮食作物。蓟马类害虫体型微小,且种类繁多、隐匿性强、寄主广泛、繁殖力高和世代周期短等特点(Morse and Hoddle, 2006),常被业界公认为“小虫子,大危害”。黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* (Morgan) 是一种常见的蓟马类害虫,起源于环太平洋地区,在世界许多国家和地区均有记录(Murai, 2001; Goldarazena, 2011; Wu *et al.*, 2014)。黄胸蓟马寄主植物广泛,已对部分国家和地区的茶树、柑橘、香蕉、芒果及众多的花卉植物造成危害(Goldarazena, 2011; 张帆等, 2014; Atakan *et al.*, 2015; 付步礼等, 2016a; Cao *et al.*, 2017; 韩冬银等, 2017)。该虫一生具有隐蔽性,产卵于植物幼嫩组织内,若虫在植物花或嫩梢内取食,蛹期入土化蛹,成虫聚集于花或植物幼嫩器官内(张帆等, 2014; 付步礼等, 2016a, 2018b),所以化学防治常常难以达到理想的防治效果。而且,长期依靠化学药剂防治黄胸蓟马易形成抗药性(付步礼等, 2016b, 2017; Fu *et al.*, 2018a),同时导致农药残留、食品安全与污染环境等问题,不符合现代农业与绿色农业的发展要求,亟待寻求黄胸蓟马的绿色防治技术,因此有必要开展天敌昆虫对黄胸蓟马的生物防治技术研究。

小花蝽属(*Orius*)昆虫是一类被广泛应用于防治蓟马、蚜虫、粉虱和叶螨类等害虫的重要天敌资源(Chambers *et al.*, 1993; Van Lenteren *et al.*, 1997)。国外早已对小花蝽类天敌昆虫进行了研究与应用,欧洲、美国和日本一些国家对 *Orius laevigatus*、*O. insidiosus* 和 *O. majusculus* 等部分小花蝽类天敌进行了商品化生产和广泛用于农业生产,并已成功应用于温室蓟马的有效防控(Henaut *et al.*, 2000; Baez *et al.*, 2004; Reitz *et al.*, 2006)。东亚小花蝽 *O. sauteri* 是一种广泛分布于我国的捕食性重要天敌,被认为对蓟马类害虫极具生物防治潜能(王方海等, 1998;

张安盛等, 2007)。国内研究报道东亚小花蝽对西花蓟马与蚜虫类害虫具有良好的捕食控害作用(尹健等, 2013; 王然等, 2014; 韩岚岚等, 2015; 朱亮等, 2015),还报道了该虫的扩繁、人工饲料研制、饲养技术等(刘文静等, 2011; 杨丽文等, 2014; 吕兵等, 2018)。因此,在东亚小花蝽引进与释放应用前,有必要明确其对更多害虫种类的捕食作用与控害效果,从而对其生物防治效能做出正确评价。

为明确东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食作用,本研究选用东亚小花蝽 3 龄、5 龄若虫和成虫作为供试天敌,以黄胸蓟马 2 龄若虫、伪蛹和成虫为供试猎物,在室内系统研究了东亚小花蝽捕食黄胸蓟马的功能反应、寻找效应、干扰反应与捕食选择性。研究结果将为正确评价东亚小花蝽对黄胸蓟马的生防潜能提供理论依据,同时可为天敌昆虫的有效保护与利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

黄胸蓟马:虫源于 2017 年 5 月采自海南省临高县新盈农场香蕉园基地。将含有黄胸蓟马的香蕉花瓣带回实验室,在室内以香蕉花瓣与茶花粉进行继代饲养(付步礼等, 2016a, 2016b),并挑取同批生长状况一致的 2 龄若虫、伪蛹和雌成虫作为供试猎物虫态。

东亚小花蝽:购自于北京阔野田园生物技术有限公司。参考韩岚岚等(2015)饲喂方法建立室内种群。选取同批生长状况一致的 3 龄、5 龄若虫与成虫作为供试天敌虫态。

1.2 东亚小花蝽不同虫态对黄胸蓟马若虫与成虫的捕食功能反应

分别研究东亚小花蝽 3 龄、5 龄若虫、雌成虫对黄胸蓟马 2 龄若虫、雌成虫的捕食功能反应。将 1 头饥饿处理 12 h 不同虫态的东亚小花

蝽接入实验设计的猎物密度中, 猎物黄胸蓟马 2 龄若虫密度为 40、50、60、70 和 80 头 5 个处理, 成虫为 20、30、40、50 和 60 头 5 个处理, 随后在 24 h 后记录猎物残留虫口数。所有实验均在圆形玻璃管内 (高 80 mm, 底面直径 20 mm) 进行, 每处理重复 5 次。捕食功能反应采用 Holling (Holling, 1959) 型公式: $N_a = a' TN / 1 + a' T_h N$ 进行拟合计算 (式中 N 为猎物密度, N_a 为捕食量, T 为捕食者可利用发现猎物的时间 (本试验持续时间为 1 d, T 取值为 1), a' 为瞬时攻击率, T_h 为捕食者处理 1 头猎物所花费的时间, 最大理论捕食量 $N_{a \max} = 1/T_h$ 。瞬时攻击率 (a') 和处理时间 (T_h) 之比越大, 则表示天敌对害虫的控制能力越强)。

1.3 东亚小花蝽不同虫态捕食黄胸蓟马若虫与成虫的寻找效应

根据 1.2 节的试验结果, 东亚小花蝽捕食黄胸蓟马的寻找效应 (S) 按照公式: $S = a' / 1 + a' T_h N$ 进行计算 (式中 S 代表寻找效应, a' 、 T_h 、 N 代表意义同 1.2 节)。

1.4 东亚小花蝽自身密度对其捕食黄胸蓟马的干扰反应

分别研究东亚小花蝽 3 龄、5 龄若虫、雌成虫对黄胸蓟马 2 龄若虫、雌成虫的干扰反应。东亚小花蝽的自身密度为 1、3、5 和 7 头/管 4 个处理, 并在上述玻璃管内饥饿处理 24 h, 随后每管分别转入黄胸蓟马 2 龄若虫 120 头和成虫 100 头。24 h 后记录黄胸蓟马的残留虫口数, 每处理重复 5 次。采用 Hassell 模型公式 $E = QP^{-m}$ 进行拟合计算 (式中 E 为平均捕食率, Q 为搜索常数, P 为捕食者密度, m 为干扰系数) (Hassell and Verley, 1969)。

1.5 东亚小花蝽对黄胸蓟马不同虫态的捕食选择性

采用选择性试验测定东亚小花蝽 5 龄若虫与雌成虫分别对黄胸蓟马 2 龄幼虫、伪蛹和雌成虫的捕食选择性。先将 1 头供试东亚小花蝽置于上述玻璃管内进行饥饿处理 24 h, 然后用自制吸

虫器移取黄胸蓟马 2 龄若虫、伪蛹和雌成虫各 50 头转入管内, 24 h 后记录各虫态的残留数量, 每处理重复 5 次。采用周集中和陈常铭 (1987) 的方法评价捕食者对猎物的喜好性, 其公式为: $C_i = Q_i - F_i / Q_i + F_i$ (式中 C_i 为喜好性指数, Q_i 为捕食者对第 i 种猎物的捕食比例, F_i 为第 i 种猎物的比例。当 $C_i = 0$ 时, 捕食捕食者对第 i 种猎物无喜好性; 当 $0 < C_i < 1$ 时, 表示捕食者对第 i 种猎物具有正喜好性; 当 $-1 < C_i < 0$ 时, 表示捕食者对第 i 种猎物具有负喜好性)。

1.6 试验条件

所有试验均在人工气候箱 (韶关科力 PYX-400Q-A 型) 内进行, 条件设置温度为 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$, 湿度为 $70\% \pm 5\%$, 光周期为 16L:8D。

1.7 数据统计与分析

实验数据均采用 Microsoft Excel 2010 以及 SPSS 21.0 进行统计与分析, 计算平均值和标准误 (SE), 用线性回归分析对功能反应 Holling 圆盘方程和 Hassell 干扰反应模型方程进行拟合。并利用 Duncan's 新复极差法比较差异显著性。

2 结果分析

2.1 东亚小花蝽不同虫态对黄胸蓟马若虫与成虫的捕食功能反应

随着供试猎物密度的增大, 东亚小花蝽不同虫态对黄胸蓟马若虫和成虫的捕食量逐步增加, 并最终趋于平缓 (图 1)。在供试猎物密度范围内, 东亚小花蝽 5 龄若虫与成虫对黄胸蓟马的捕食量和捕食量增长速率均高于 3 龄若虫 (图 1)。

根据 Holling 圆盘方程对捕食功能进行拟合, 表明东亚小花蝽各虫态对黄胸蓟马若虫与成虫的捕食均符合 Holling 型方程 (表 1)。由表 1 可知, 东亚小花蝽不同虫态捕食黄胸蓟马若虫时, 瞬时攻击率 (a') 与处理单头猎物所用时间 (T_h) 表现一致: 成虫 > 3 龄若虫 > 5 龄若虫; 而捕食控制力 (a'/T_h) 与捕食上限 ($1/T_h$) 大小顺序表现一致: 5 龄若虫 > 成虫 > 3 龄若虫。东亚小花蝽不同虫态捕食黄胸蓟马成虫时, a' 的大小

顺序为: 3 龄若虫>5 龄若虫>成虫, a'/T_h 与 $1/T_h$ 的大小顺序为: 成虫>5 龄若虫>3 龄若虫(表 1)。

2.2 东亚小花蝽不同虫态捕食黄胸蓟马若虫与成虫的寻找效应

根据表 1 中的相关参数值,可计算出东亚小花蝽不同虫态捕食黄胸蓟马若虫与成虫的寻找效应(图 2)。东亚小花蝽各虫态对黄胸蓟马若虫与成虫的寻找效应均随着猎物密度的增大而降低,整体而言东亚小花蝽成虫与 5 龄若虫对黄胸蓟马的寻找效应较高,而东亚小花蝽 3 龄若虫

的寻找效应较低(图 2)。

2.3 东亚小花蝽自身密度对其捕食黄胸蓟马的干扰反应

随着东亚小花蝽自身密度的增大,其对黄胸蓟马的捕食量也随之增大,但捕食率逐步下降,将天敌密度与相对应捕食率用 Hassell 模型公式 $E = QP^{-m}$ 进行拟合,得到东亚小花蝽自身密度对其捕食黄胸蓟马若虫与成虫的干扰反应方程及相关参数(表 2)。由表 2 可知,东亚小花蝽 3 龄、5 龄若虫和成虫的自身密度对其捕食黄胸蓟

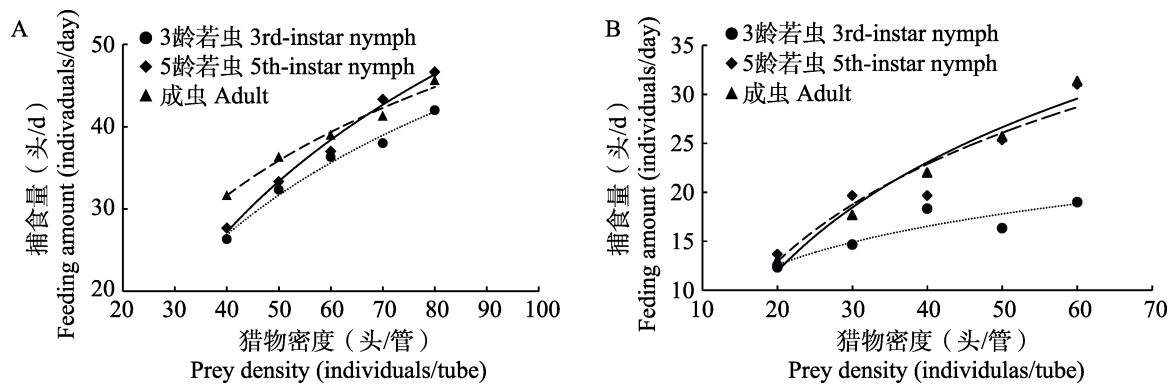


图 1 东亚小花蝽不同虫态(3 龄、5 龄若虫与成虫)对黄胸蓟马 2 龄若虫(A)与成虫(B)的捕食功能反应拟合曲线

Fig. 1 Fitting curves of preying function of *Orius sauteri* (3rd-nymph, 5th-nymph and adult) to 2nd-instar nymph (A) and adult (B) of *Thrips hawaiiensis*

表 1 东亚小花蝽不同虫态捕食黄胸蓟马 2 龄若虫与成虫的功能反应

Table 1 Functional response of different ages of *Orius sauteri* to 2nd-instar nymph and adult of *Thrips hawaiiensis*

天敌虫态 Predator ages	猎物虫态 Prey ages	功能反应方程 Functional response equation	相关 系数 r	瞬时 攻击率 a'	处理单头 猎物时间 T_h	捕食能力 a'/T_h	捕食上限 $1/T_h$	卡方值 χ^2
3 龄若虫 3rd-instar nymph	2 龄若虫 2nd-instar nymph	$N_a=0.910\ 8N/(1+0.009\ 0N_0)$	0.990\ 0	0.910\ 8	0.009\ 9	92.00	101.01	0.998\ 5
5 龄若虫 5th-instar nymph		$N_a=0.848\ 5N/(1+0.005\ 7N_0)$	0.997\ 6	0.848\ 5	0.006\ 7	126.64	149.25	0.967\ 4
成虫 Adult		$N_a=1.360\ 4N/(1+0.017\ 8N_0)$	0.994\ 0	1.360\ 4	0.013\ 1	103.85	76.34	0.988\ 5
3 龄若虫 3rd-instar nymph	成虫 Adult	$N_a=1.220\ 0N/(1+0.048\ 6N_0)$	0.942\ 7	1.220\ 0	0.039\ 8	30.65	25.13	0.996\ 4
5 龄若虫 5th-instar nymph		$N_a=0.882\ 4N/(1+0.014\ 5N_0)$	0.969\ 3	0.882\ 4	0.016\ 4	53.80	60.96	0.965\ 0
成虫 Adult		$N_a=0.758\ 7N/(1+0.009\ 0N_0)$	0.997\ 4	0.758\ 7	0.011\ 8	64.30	84.75	0.977\ 8

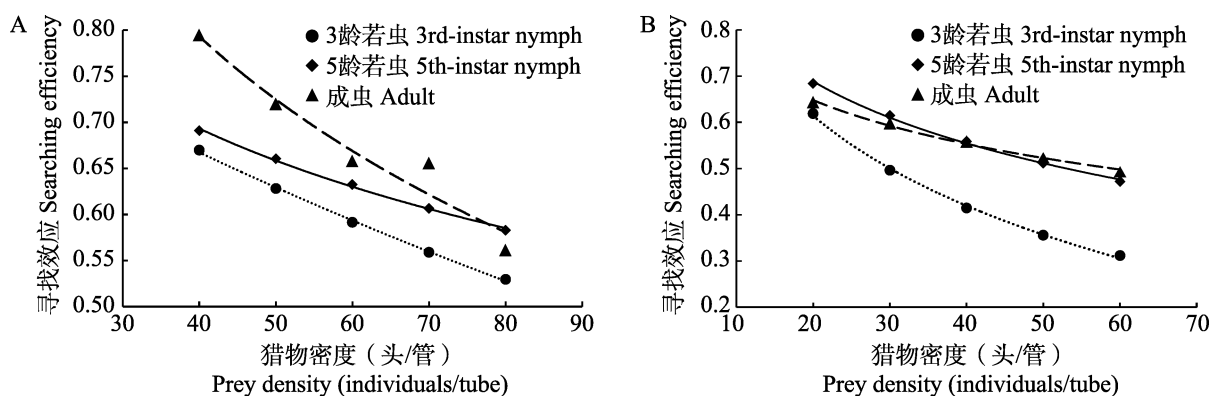


图 2 东亚小花蝽不同虫态 (3 龄、5 龄若虫与成虫) 对黄胸蓟马 2 龄若虫 (A) 与成虫 (B) 的寻找效应

Fig. 2 The searching efficiency of *Orius sauteri* ages (3rd-nymph, 5th-nymph and adult) to 2nd-instar nymph (A) and adult (B) of *Thrips hawaiiensis*

表 2 东亚小花蝽自身密度对其捕食黄胸蓟马的干扰反应系数

Table 2 Interfere response of *Orius sauteri* ages (3rd- nymph, 5th-nymph and adult) to 2nd-instar nymph and adult of *Thrips hawaiiensis*

天敌虫态 Predator ages	猎物虫态 Prey ages	Hassell-模型方程 Hassell-equation	相关系数 r	天敌密度 P	搜索常数 Q	干扰系数 m
3 龄若虫 3rd-instar nymph		$E=0.337\ 4P^{-0.586\ 5}$	0.982 6	1, 3, 5, 7	0.337 4	0.586 5
5 龄若虫 5th-instar nymph	2 龄若虫 2nd-instar nymph	$E=0.342\ 5P^{-0.548\ 9}$	0.990 6	1, 3, 5, 7	0.342 5	0.548 9
成虫 Adult		$E=0.362\ 1P^{-0.599\ 8}$	0.998 2	1, 3, 5, 7	0.362 1	0.599 8
3 龄若虫 3rd-instar nymph		$E=0.184\ 1P^{-0.563\ 3}$	0.928 4	1, 3, 5, 7	0.184 1	0.563 3
5 龄若虫 5th-instar nymph	成虫 Adult	$E=0.470\ 3P^{-0.671\ 3}$	0.996 3	1, 3, 5, 7	0.470 3	0.671 3
成虫 Adult		$E=0.443\ 6P^{-0.618\ 7}$	0.997 2	1, 3, 5, 7	0.443 6	0.618 7

马 2 龄若虫的干扰系数分别为 0.586 5、0.548 9、0.599 8, 捕食成虫的干扰系数分别为 0.563 3、0.671 3、0.616 7。结果表明东亚小花蝽自身密度对其捕食黄胸蓟马存在干扰反应, 天敌密度的增加导致天敌个体间干扰作用增强, 从而导致捕食率下降。

2.4 东亚小花蝽对黄胸蓟马不同虫态的捕食选择性

由表 3 可知, 东亚小花蝽 5 龄若虫和成虫对黄胸蓟马 2 龄若虫的平均捕食量与捕食选择率最大, 其次为黄胸蓟马成虫, 对黄胸蓟马伪蛹的平均捕食量与捕食选择率最小, 表明东亚小花蝽

趋向捕食黄胸蓟马 2 龄若虫。

根据喜好性指数 (C_i), 表明东亚小花蝽 5 龄若虫对黄胸蓟马 2 龄若虫表现出正喜好性 ($0 < C_i < 1$), 对伪蛹和成虫表现出负喜好性 ($-1 < C_i < 0$); 东亚小花蝽成虫对黄胸蓟马 2 龄若虫和成虫表现出正喜好性, 但对 2 龄若虫的喜好性显著高于成虫, 对伪蛹表现出负喜好性 (表 3)。

3 结论与讨论

研究天敌昆虫的室内捕食作用可准确评估天敌昆虫的生物防治潜能。有研究表明小花蝽类天敌如: *O. laevigatus*、*O. insidiosus*、*O.*

表 3 东亚小花蝽 5 龄若虫与成虫对黄胸蓟马不同虫态组合的选择性

Table 3 Selection coefficient of 5th-instar nymph and adult of *Orius sauteri* to different combination of *Thrips hawaiiensis*

天敌虫态 Predator age	5 龄若虫 5th-nymph			成虫 Adult		
猎物虫态 Prey age	2 龄若虫 2nd-instar nymph	伪蛹 Pupae	成虫 Adult	若虫 2nd-instar nymph	伪蛹 Pupae	成虫 Adult
平均捕食量 Feeding amount	34.20±2.42a	5.00±0.50 c	14.00±1.65b	32.60±2.84 a	4.20±0.45 c	21.20±1.72 b
捕食选择率 (%) Selection rate (%)	64.29±4.25a	9.40±1.04 c	26.31±1.71b	56.21±3.86a	7.24±0.22 c	36.55±2.80 b
喜好性指数 C_i Preference coefficient	0.3171± 0.075 6 a	- 0.560 0± 0.092 4 b	- 0.117 7± 0.053 0 b	0.255 5± 0.040 9 a	- 0.643 1± 0.074 0 c	0.0461± 0.020 1 b

同一行数字后标有不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平具有显著性差异 (采用 Duncan's 新复极差法)。

Data followed by different small letters in the same line are significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

majusculus、*O. sauteri* 和 *O. albidipennis* 等对西花蓟马 *F. occidentalis*、棕榈蓟马 *T. palmi*、烟蓟马 *T. tabaci*、美洲刺蓟马 *Echinothrips americanus*、非洲豆蓟马 *Megalurothrips sjostedti* 等蓟马类害虫具有较强的捕食力 (Henaut *et al.*, 2000; Baez *et al.*, 2004; Reitz *et al.*, 2006; 鄧军锐等, 2011; 尹健等, 2013; 张昌容等, 2013; 王然等, 2014; 韩岚岚等, 2015; 朱亮等, 2015)。在本研究中, 东亚小花蝽不同虫态对黄胸蓟马的捕食功能反应均符合 Holling 反应模型, 同时东亚小花蝽 5 龄若虫和成虫分别对黄胸蓟马 2 龄若虫的捕食能力 (a'/T_h) 最强。有研究发现东亚小花蝽虫龄越高, 其对西花蓟马的控制能力越强, 尤其对西花蓟马的低龄若虫 (鄧军锐等, 2011)。本研究也表明, 东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食量随着其虫龄的增长而增加。另外, 东亚小花蝽对黄胸蓟马若虫的捕食力强于其对成虫的捕食力, 可能是由于小花蝽需更多的时间寻找和捕食蓟马成虫。研究东亚小花蝽不同虫态对黄胸蓟马的捕食功能反应, 将有利于今后科学制定田间的生物防治技术策略。

寻找效应是捕食者在捕食过程中对寄主攻击的一种行为效应 (丁岩钦, 1980)。本研究表明东亚小花蝽的捕食量随着黄胸蓟马密度的增加而增加, 而寻找效应逐步下降。先前研究也发现, 猎物密度与小花蝽类天敌的寻找效应呈负相

关 (张安盛等, 2007; 武予清等, 2010; 鄧军锐等, 2011)。在本研究中, 东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食作用同时也受其自身密度的影响, 随着天敌自身密度的增大, 平均捕食量和捕食率也随之降低。这是由于天敌昆虫密度的增加导致个体间互相干扰与分摊竞争作用增强, 种内干扰效应随之增强 (张安盛等, 2007; 鄧军锐等, 2011)。由此可见, 东亚小花蝽对黄胸蓟马的捕食作用同时受自身密度与猎物密度的双重影响。因此田间开展生物防治时, 需结合黄胸蓟马种群动态, 并充分考虑东亚小花蝽的释放密度, 才能实现害虫的有效控制。

捕食选择性试验表明: 东亚小花蝽捕食黄胸蓟马各虫态具有明显的选择性, 对 2 龄若虫的喜好性最强, 对伪蛹不具喜好性。有研究也表明, 东亚小花蝽与南方小花蝽均偏好捕食西花蓟马若虫, 其次为成虫, 而对伪蛹的捕食量较低 (刘丽辉, 2006; 鄧军锐等, 2011; 张昌容等, 2013)。小花蝽对猎物害虫具有捕食选择性, 这与猎物的形态、状态、行为与营养成分等因子显著相关 (张昌容等, 2013)。因此田间利用东亚小花蝽类天敌防治蓟马时, 建议在蓟马低龄若虫期进行释放, 以达到较好的防控效果。

本研究初步明确了东亚小花蝽捕食黄胸蓟马的功能反应、寻找效应、干扰反应与捕食选择性, 表明东亚小花蝽对黄胸蓟马具有较好的生防

潜能。未来研究仍需进一步评估东亚小花蝽在田间对蓟马类害虫的控害效果。

参考文献 (References)

- Atakan E, Olculu M, Pehlivan S, Satar S, 2015. A new thrips species recorded in Turkey: *Thrips hawaiiensis* (Morgan, 1913) (Thysanoptera: Thripidae). *Turkey Entomology Bulletin*, 2: 77–84.
- Baez I, Reitz SE, Funderburk JE, 2004. Predation by *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae) on life stages and species of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in pepper flowers. *Environmental Entomology*, 33(3): 662–670.
- Cao Y, Zhi JR, Zhang RZ, Li C, Liu Y, Lv ZY, Gao YL, 2017. Different population performance of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips hawaiiensis* on flowers of two horticultural plants. *Journal of Pest Science*. Doi: 10.1007/s10340-017-0887-3.
- Chambers RJ, Long S, Helyer BL, 1993. Effectiveness of *Orius laevigatus* (Hem: Anthocoridae) for the control of *Frankliniella occidentalis* on cucumber and pepper in the United Kingdom. *Biocontrol Science and Technology*, 3(3): 295–307.
- Ding YQ, 1980. Mathematical models of the interaction between natural enemies and its prey//Ding YQ (ed.). *The Theory and Application of Insect Population Mathematics Ecology*. Beijing: Science Press. 195–211. [丁岩钦, 1980. 天敌与寄主作用关系的数学模式//丁岩钦主编. 昆虫种群数学生态学原理及应用. 北京: 科学出版社. 195–211.]
- Fu BL, Tang LD, Qiu HY, Liu JF, Zhang RM, Zeng DQ, Xie YX, Liu K, 2016a. Screening of high effect and low toxicity insecticides for controlling *Thrips hawaiiensis* Morgan. *Journal of Fruit Science*, 33(4): 257–267. [付步礼, 唐良德, 邱海燕, 刘俊峰, 张瑞敏, 曾东强, 谢艺贤, 刘奎, 2016a. 黄胸蓟马高效低毒防治新型药剂的筛选研究. 果树学报, 33(4): 257–267.]
- Fu BL, Liu JF, Qiu HY, Tang LD, Lin J, Zeng DQ, Xie YX, Liu K, 2016b. Monitoring insecticide resistance in field populations of *Thrips hawaiiensis* (Morgan) in Hainan. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 403–410. [付步礼, 刘俊峰, 邱海燕, 唐良德, 林军, 曾东强, 谢艺贤, 刘奎, 2016b. 海南省香蕉黄胸蓟马田间种群的抗药性监测. 应用昆虫学报, 53(2): 403–410.]
- Fu BL, Li Q, Xia XY, Tang LD, Qiu HY, Xie YX, Zeng DQ, Liu K, 2017. Moderate resistance to spinetoram reduces the fitness of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(2): 180–188. [付步礼, 李强, 夏西亚, 唐良德, 邱海燕, 谢艺贤, 曾东强, 刘奎, 2017. 对乙基多杀菌素中度抗性降低黄胸蓟马的适合度. 昆虫学报, 60(2): 180–188.]
- Fu BL, Li Q, Qiu HY, Tang LD, Zeng DQ, Liu K, Gao YL, 2018a. Resistance development, stability, cross-resistance potential, biological fitness and biochemical mechanisms of spinetoram resistance in the *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Pest Management Science*, 74: 1564–1574. Doi: 10.1002/ps.4887.
- Fu BL, Li Q, Qiu HY, Tang LD, Zeng DQ, Liu K, Gao YL, 2018b. Oviposition, feeding preference and biological performance of *Thrips hawaiiensis* on four host plants with and without supplemental foods. *Arthropod-Plant Interactions*. 1–12. <http://doi.10.1007/s11829-018-9647-4>.
- Goldarazena A, 2011. First record of *Thrips hawaiiensis* (Morgan, 1913) (Thysanoptera: Thripidae) an Asian pest thrips in Spain. *Journal Compilation a 2011 OEPP/EPPO*, 41(2): 170–173.
- Hassell MP, Verley GC, 1969. New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1113–1117.
- Han DY, Xing CM, Li L, Niu LM, Chen JY, Zhang FP, Fu YG, 2017. Effects of thrips migration between hosts on their population growth in the flowering and fruiting stages of mango. *Acta Entomologica Sinica*, 60(6): 723–730. [韩冬银, 邢楚明, 李磊, 牛黎明, 陈俊谕, 张方平, 符悦冠, 2017. 芒果花果期蓟马寄主植物间迁移对其种群数量增长的影响. 昆虫学报, 60(6): 723–730.]
- Han LL, Dong TY, Zhao KJ, Zhu MH, Sun WP, Xu ZX, Shi L, 2015. Predation of *Aphis glycines* by *Orius sauteri* nymphs. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(3): 322–326. [韩岚岚, 董天宇, 赵奎军, 朱明贺, 孙文鹏, 徐忠新, 石磊, 2015. 东亚小花蝽若虫对大豆蚜捕食功能的研究. 中国生物防治学报, 31(3): 322–326.]
- Henaut Y, Alauzet C, Ferran A, Williams T, 2000. Effect of nymphal diet on adult predation behavior in *Orius majusculus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Journal of Economic Entomology*, 93(2): 252–255.
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91: 385–398.
- Liu LW, 2006. The effect of Temperature and soil on development of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and the predation of *Orius sauteri* (Poppius). Master thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forest University. [刘丽辉, 2006. 温度、土壤对西花蓟马生长发育的影响及东亚小花蝽的捕食作用. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Liu WJ, Zhang AS, Li LL, Men XY, Zhang SC, Zhou XH, Yu Y, Xu HF, 2011. Effects of two live diets on the development and reproduction of *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae).

- Chinese Journal of Applied Entomology, 48(3): 566–568. [刘文静, 张安盛, 李丽莉, 门兴元, 张思聪, 周仙红, 于毅, 徐洪富, 2011. 二种活体饲料对东亚小花蝽生长发育和生殖的影响. 应用昆虫学报, 48(3): 566–568.]
- Lv B, Sun M, Zhai YF, Chen H, Yu Y, Zheng L, 2018. Effect of short adaptive pre-feeding on the predatory functional response to *Orius sauteri* reared on *Sitotroga cerealella* eggs. *Chinese Journal of Environmental Entomology*, 40(1): 64–69. [吕兵, 孙猛, 翟一凡, 陈浩, 于毅, 郑礼, 2018. 短期食物驯化对麦蛾卵饲养的东亚小花蝽的捕食功能反应影响. 环境昆虫学报, 40(1): 64–69.]
- Morse JG, Hoddle MS, 2006. Invasion of biology of thrips. *Annual Review of Entomology*, 51: 67–89.
- Murai T, 2001. Development and reproductive capacity of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae) and its potential as a major pest. *Bulletin of Entomology Research*, 91(3): 193–198.
- Reitz SR, Funderburk JE, Waring SM, 2006. Differential predation by the generalist predator *Orius insidiosus* on congeneric species of thrips that vary in size and behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 119(3): 179–188.
- Van Lenteren JC, Roskam MM, Timmer R, 1997. Commercial mass production and pricing of organisms for biological control of pests in Europe. *Biological control*, 10(2): 143–149.
- Wang FH, Zhou WR, Wang R, 1998. The biological observation and rearing method of *Orius sauteri* (Hemiptera anthocoridae). *Natural Enemies of Insect*, 20(1): 42–44. [王方海, 周伟儒, 王韧, 1998. 东亚小花蝽的生物学及其人工繁殖. 昆虫天敌, 20(1): 42–44.]
- Wang R, Wang XL, Wang S, Zhang F, 2014. Evaluation of the potential biocontrol capacity of *Orius sauteri* (Hemiptera, Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera, Thripidae). *Chinese Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 983–989. [王然, 王晓灵, 王甦, 张帆, 2014. 东亚小花蝽对西花蓟马的控害能力评价. 环境昆虫学报, 36(6): 983–989.]
- Wu Y, Liu K, Qiu HY, Li FJ, Cao Y, 2014. Polymorphic microsatellite markers in *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Applied Entomology and Zoology*, 49(4): 619–622.
- Wu YQ, Zhao MX, Yang SP, Duan Y, Jiang YL, 2010. Predations of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) on four insect pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 26(1): 13–17. [武予清, 赵明茜, 杨淑斐, 段云, 蒋月丽, 2010. 东亚小花蝽对四种害虫的捕食作用. 中国生物防治, 26(1): 13–17.]
- Yang LW, Zhang F, Zhao J, Li S, Wang S, 2014. The effects of short-time food acclimation on the functional response of *Orius sauteri* reared to *Corcyra cephalonica* eggs. *Acta Phytophylacica Sinica*, 41(6): 705–710. [杨丽文, 张帆, 赵静, 李姝, 王甦, 2014. 短期驯化对米蛾卵饲养的东亚小花蝽捕食瓜蚜功能反应的影响. 植物保护学报, 41(6): 705–710.]
- Yin J, Gao XG, Wu YQ, Jiang YL, Liu ST, Duan AJ, Zhang ZQ, Liu CY, 2013. Thrips control on the greenhouse eggplant by releasing *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae). *Chinese Journal of Biological Control*, 29(3): 459–462. [尹健, 高新国, 武予清, 蒋月丽, 刘顺通, 段爱菊, 张自启, 刘长营, 2013. 释放东亚小花蝽对茄子上蓟马的控制效果. 中国生物防治学报, 29(3): 459–462.]
- Zhang AS, Yu Y, Li LL, Zhang SC, 2007. Predation of *Orius sauteri* adult on adults of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), an invasive insect pest. *Acta Ecologica Sinica*, 27(5): 1903–1909. [张安盛, 于毅, 李丽莉, 张思聪, 2007. 东亚小花蝽 (*Orius sauteri*) 成虫对入侵害虫西花蓟马 (*Frankliniella occidentalis*) 成虫的捕食作用. 生态学报, 27(5): 1903–1909.]
- Zhang CR, Zhi JR, Mo LF, 2013. Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis*. *Acta Ecologica Sinica*, 33(9): 2728–2733. [张昌容, 鄧军锐, 莫利锋, 2013. 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响. 生态学报, 33(9): 2728–2733.]
- Zhang F, Fu BL, Liu K, Qiu HY, Wu Y, 2014. The effect of temperature on the development and survival of *Thrips hamaiensis* (Morgan). *Acta Ecologica Sinica*, 34(14): 3895–3899. [张帆, 付步礼, 刘奎, 邱海燕, 伍祎, 2014. 温度对香蕉花蓟马发育和存活的影响. 生态学报, 34(14): 3895–3899.]
- Zhi JR, Zheng SS, Zhang CR, Liu FJ, 2011. The predation of *Orius similis* to *Frankliniella occidentalis* and *Aphis craccivora*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 573–578. [鄧军锐, 郑珊珊, 张昌容, 刘丰姣, 2011. 南方小花蝽对西花蓟马和蚕豆蚜的捕食作用. 应用昆虫学报, 48(3): 573–578.]
- Zhou JZ, Chen CM, 1987. Quantitative measurement of selectivity of predator for prey. *Acta Ecologica Sinica*, 7(1): 50–56. [周集中, 陈常铭, 1987. 捕食者对猎物选择性的数量测定方法. 生态学报, 7(1): 50–56.]
- Zhu L, Ge ZT, Gong YJ, Shi BC, Wang S, Wei SJ, 2015. Effects of temperature on predation of the thrips *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae) by the predatory bug *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae). *Chinese Journal of Plant Protection*, 42(2): 229–236. [朱亮, 葛振泰, 宫亚军, 石宝才, 王甦, 魏书军, 2015. 温度对东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马的影响. 植物保护学报, 42(2): 229–236.]