

六斑月瓢虫对黄胸蓟马若虫的 室内捕食作用研究*

李善光^{1,2**} 付步礼^{1***} 邱海燕¹ 杨石有³ 马晓彤⁴
周世豪³ 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. 琼海市博鳌镇农业服务中心, 琼海 571434;
3. 海南大学热带农林学院, 海口 570228; 4. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

摘要 【目的】为明确六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* 对黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 的捕食作用及生物防治潜能。【方法】室内系统研究六斑月瓢虫不同虫态对黄胸蓟马 2 龄若虫的捕食功能反应、寻找效应、自身密度和种内干扰反应。【结果】六斑月瓢虫对黄胸蓟马的捕食功能反应符合 Holling II 型, 六斑月瓢虫 4 龄幼虫与成虫分别对黄胸蓟马 2 龄若虫的捕食能力 (a/T_h) 较强, 分别为 578.04 头和 1 852.80 头, 捕食上限 ($1/T_h$) 最大, 分别为 400.00 头/d 和 2 000.00 头/d。六斑月瓢虫对黄胸蓟马的捕食量与黄胸蓟马猎物密度呈正相关, 但寻找效应与猎物密度呈负相关, 六斑月瓢虫高龄若虫与成虫对黄胸蓟马表现出较高的寻找效应。六斑月瓢虫对黄胸蓟马的捕食作用存在种内干扰反应, 具体表现为天敌昆虫密度与其对黄胸蓟马的捕食率呈现负相关, 该干扰反应符合 Hassell 模型方程。【结论】六斑月瓢虫对黄胸蓟马若虫具有较强的生物防治潜能, 所获结果为蓟马类害虫的可持续治理提供了理论依据。

关键词 六斑月瓢虫; 黄胸蓟马; 捕食作用; 生物防治

The predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae) in the laboratory

LI Shan-Guang^{1,2**} FU Bu-Li^{1***} QIU Hai-Yan¹ YANG Shi-You³ MA Xiao-Tong⁴
ZHOU Shi-Hao³ TANG Liang-De¹ ZHANG Fang-Ping¹ LIU Kui^{1***}

(1. The ministry of Agriculture 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. Boao Agricultural Service Center, Qionghai 571434, China;
3. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China;
4. College of Plant Science and Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract [Objectives] This study aims to determine the predation of *Menochilus sexmaculata* against *Thrips hawaiiensis* and to evaluate the potential use of the ladybugs in thrips control programs. [Results] Laboratory experiments were performed to study the functional response, searching efficiency and interfere response of *M. sexmaculata* to *T. hawaiiensis*. [Results] The predation of *M. sexmaculata* showed the Holling-type II functional responses against the thrips. The 4th-instar larvae and adult of *M. sexmaculata* showed the highest predation capacity to 2nd-instar nymph of *T. hawaiiensis*, with a/T_h for 578.04 and 1 852.80 individuals, with $1/T_h$ for 400.00 and 2 000.00 individuals per day, respectively. The predation rate of *M. sexmaculata* was positively related with prey densities of *T. hawaiiensis*, while its searching efficiency was negatively

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0202100); 中国热带农业科学院“天敌昆虫创新利用团队”(1630042017010); “一带一路”热带项目课题 (BARTP-08); 中央级科研院所基本业务费项目 (1630042019007)

**第一作者 First author, E-mail: 15289821575@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: fubuli@163.com; lk0750@163.com

收稿日期 Received: 2019-06-04; 接受日期 Accepted: 2019-08-19

associated with prey densities. Furthermore, the elder larvae and adult of *M. sexmaculata* were more effective in searching for their preys than other predator ages. The predation on *T. hawaiiensis* was significantly influenced by the predator density of *M. sexmaculata*, showing that the predation rate decreased with increasing the predator density. This suggests that the interfere response exists in the predation of *M. sexmaculata* on *T. hawaiiensis*, and this could be described by Hassell-model equation.

[Conclusion] These findings represent that *M. sexmaculata* exhibit a great potential for its use in control of this special thrips pest, providing a scientific basis on biological control programs and nature enemy protection.

Key words *Menochilus sexmaculata*; *Thrips hawaiiensis*; predation; biocontrol

蓟马是缨翅目 Thysanoptera 昆虫类群的统称, 该类害虫被业界公认为“小虫子, 大危害”(Mound, 2005; Morse and Hoddle, 2006)。近年, 黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis*、普通大蓟马 *Megalurothrips usitatus*、茶黄蓟马 *Scirtothrips dorsalis*、花蓟马 *Frankliniella intonsa* 与棕榈蓟马 *Thrips palmi* 在我国南方地区频繁发生, 并猖獗危害当地多种热带支撑性产业作物(付步礼等, 2017; 韩冬银等, 2017; 唐良德等, 2017a, 2017b)。其中, 黄胸蓟马是一种十分常见的栖花蓟马(Murai, 2001; Goldarazena, 2011; Wu *et al.*, 2014; 张帆等, 2014), 该虫主要以产卵和取食的方式危害香蕉、芒果、柑橘等众多重要热带经济作物(张帆等, 2014; Atakan *et al.*, 2015; 付步礼等, 2016a; Cao *et al.*, 2017; 韩冬银等, 2017), 被危害的果实表皮产生黑点(斑), 从而影响果实的外观品质(张帆等, 2014; 付步礼等, 2016a)。对于蓟马类害虫的防治目前主要依靠化学药剂(付步礼等, 2016b, 2017; Fu *et al.*, 2018, 2019), 但由于蓟马的隐匿习性导致化学防治效果不佳, 加之长期依赖化学杀虫剂容易导致“3R”问题发生(Bielza, 2008; Wan *et al.*, 2018; Fu *et al.*, 2019)。虽然, 农业与物理防治措施具有一定的防效(赵斌, 2015), 但其无法实现蓟马类害虫的高效精准防控。因此, 为实现蓟马类害虫的可持续治理与安全防护, 有必要开展其生物防治研究。

利用天敌昆虫进行生物防治是害虫综合治理中的一项重要举措, 其具有环境友好、强调自然控制与安全高效而被推崇。蓟马的天敌昆虫种类主要有: 小花蝽类、捕食螨类、草蛉和瓢虫类(Baez *et al.*, 2004; 尹健等, 2013; 张帆等, 2015;

唐良德等, 2017a; 罗春萍等, 2018)。天敌瓢虫是一类被广泛应用于防治蚜虫(段金花和张润杰, 2004)、粉虱(唐良德等, 2017b)和蓟马(程松莲, 2009)等害虫的重要天敌资源。其中, 六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* 是我国南方地区乃至东南亚等众多国家的优势种天敌瓢虫, 其对众多农作物害虫包括烟粉虱、蚜虫等表现出良好的控害潜能(段金花和张润杰, 2004; 陈文胜等, 2005; 杨鹤和郑发科, 2007; 唐良德等, 2017a, 2017b; 金海峰等, 2020)。鉴于六斑月瓢虫作为我国南方本土的优势种瓢虫, 有必要开展其对蓟马类害虫的捕食控害作用研究。

综上, 为明确六斑月瓢虫对黄胸蓟马的捕食作用, 以进一步科学利用天敌昆虫防治蓟马类害虫, 本研究选用六斑月瓢虫作为供试天敌及黄胸蓟马为供试猎物, 研究六斑月瓢虫捕食黄胸蓟马的功能反应、寻找效应和干扰反应。

1 材料与方法

1.1 供试虫源与试验条件

黄胸蓟马: 于 2017 年 5 月采自海南省临高县新盈农场蕉园。采用 Fu 等(2018)方法用香蕉花瓣进行黄胸蓟马的室内继代饲养, 选取同代繁殖一致的 2 龄若虫作为供试猎物。

六斑月瓢虫: 采自于海南省海口市周边豇豆地。参考金海峰等(2020)饲喂方法, 本研究用豇豆蚜 *Aphis craccivora* 饲养以建立种群。本文所有试验均选取同代繁殖一致的 1 龄、2 龄、3 龄和 4 龄幼虫与雌成虫作为供试天敌。

试验条件: 试验在人工气候箱(韶关科力 PYX-400Q-A 型)内进行, 温度设置为(26±1)℃,

湿度为 $70\% \pm 5\%$, 光周期为 16 L : 8 D。

1.2 六斑月瓢虫不同虫态对黄胸蓟马若虫的捕食功能反应

分别将 1 头经 12 h 饥饿处理的六斑月瓢虫不同虫态 (1 龄、2 龄、3 龄和 4 龄幼虫和雌成虫) 接入实验设计的猎物密度中, 其中六斑月瓢虫不同虫态的猎物密度设置为 5 个处理: 1 龄幼虫 (10、20、30、40、80 头)、2 龄幼虫 (20、40、60、80、100 头)、3 龄幼虫 (120、150、180、210、240 头)、4 龄幼虫 (160、200、240、280、320 头)、雌成虫 (250、300、350、400、450 头), 于 24 h 后调查记录黄胸蓟马的残留虫口数。采用付步礼等 (2019) 和金海峰等 (2020) 的方法, 利用圆形玻璃管 (高 80 mm, 底面直径 20 mm) 开展实验, 捕食功能反应采用 Holling II 型公式进行拟合计算, 其公式为: $N_a = a'TN/1 + a'T_hN$ 。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 (T 取值为 1 d), a' 为瞬时攻击率, T_h 为捕食者处理 1 头猎物所花的时间 (Holling, 1959)。最大理论捕食量 $N_{a\max} = 1/T_h$, a'/T_h 之比越大, 则表示天敌对害虫的控制能力越强 (付步礼等, 2019; 金海峰等, 2020)。实验重复 5 次。

1.3 六斑月瓢虫不同虫态捕食黄胸蓟马若虫的寻找效应

根据 1.2 的试验方法与结果, 六斑月瓢虫捕食黄胸蓟马的寻找效应 (S) 按照公式: $S = a' / (1 + a'T_hN)$ 进行计算 (式中 S 代表寻找效应, a' 、 T_h 、 N 同 1.2)。

1.4 六斑月瓢虫自身密度对其捕食黄胸蓟马若虫的干扰反应

参考付步礼等 (2019) 的研究方法, 具体为: 六斑月瓢虫的设置密度为 1、2、3 和 4 头/管共 4 个处理, 并在上述玻璃管内饥饿 12 h。六斑月瓢虫不同虫态 (1 龄、2 龄、3 龄和 4 龄幼虫和雌成虫) 的猎物密度分别为: 30、60、180、240 和 350 头。24 h 后统计黄胸蓟马的存活虫数, 采用 Hassell 模型公式进行拟合计算以评估干扰效

应, 其公式为: $A = QP^{-m}$, 其中 A 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)。实验重复 5 次。

1.5 种内干扰对六斑月瓢虫捕食率的影响

参考付步礼等 (2019) 的研究方法, 具体为: 本六斑月瓢虫的设置密度为 1、2、3、4 和 5 头/管共 5 个处理, 并在上述玻璃管内饥饿 12 h。六斑月瓢虫不同虫态的猎物密度为: 1 龄幼虫为 10、20、30、40、50 头; 2 龄幼虫为 20、40、60、80、100 头; 3 龄幼虫为 80、160、240、320、400 头; 4 龄幼虫为 100、200、300、400、500 头; 雌成虫为 150、300、450、600、750 头。24 h 后统计黄胸蓟马的存活虫数, 采用 Hassell 的模型公式评估种内干扰系数, 其公式为: $E = qP^{-m}$ 模拟, 式中 E 为平均捕食率, P 为天敌密度, m 为种内干扰系数, q 为天敌密度 $P=1$ 头时的最大捕食率 (Hassell and Verley, 1969)。实验重复 5 次。

1.6 数据统计与分析

相关实验数据采用 SPSS 21.0 进行统计与分析。功能反应 Holling II 圆盘方程和 Hassell 干扰反应模型采用线性回归进行拟合曲线分析, 各处理间差异显著性分析采用 Duncan's 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 六斑月瓢虫不同虫态对黄胸蓟马若虫的捕食功能反应

随着六斑月瓢虫虫龄的生长其对黄胸蓟马 2 龄若虫的捕食量逐渐增长 (图 1), 且随着猎物密度的增大, 瓢虫各虫态对黄胸蓟马的捕食量逐步增加, 最终将趋于平缓稳定 (图 1)。

由表 1 可知, 六斑月瓢虫各虫态对黄胸蓟马若虫的捕食均符合 Holling II 型方程。相关参数比较发现, 对于六斑月瓢虫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) 大小顺序表现一致: 成虫 > 幼虫, 高龄幼虫 > 低龄幼虫; 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: 成虫 > 幼虫, 高龄幼虫 > 低龄幼虫。

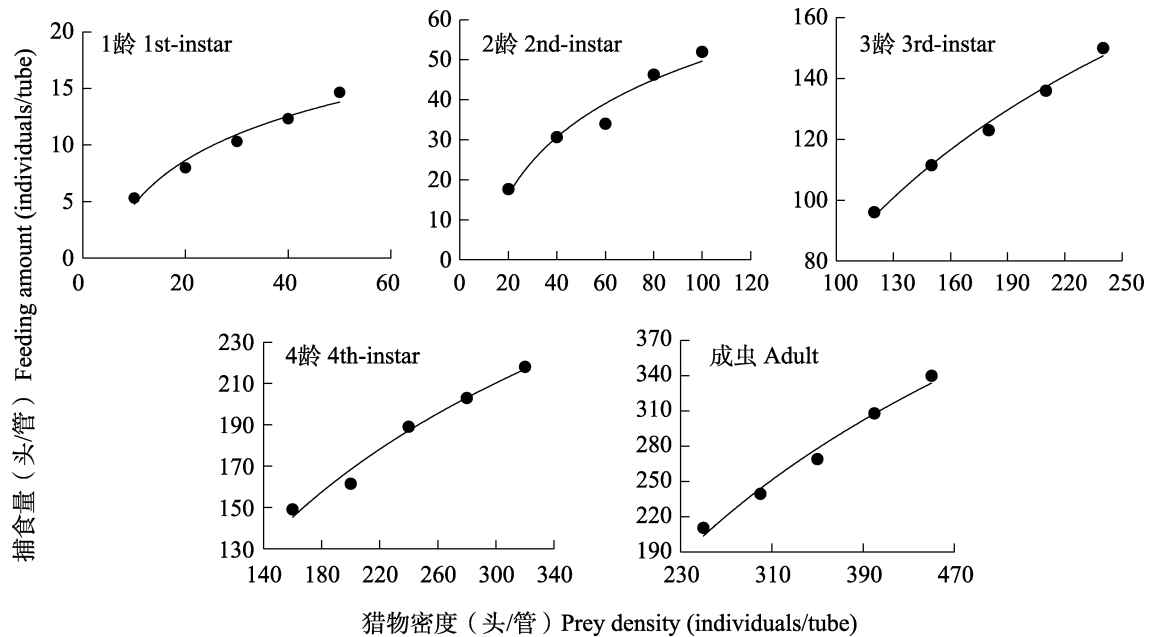


图 1 六斑月瓢虫不同虫态对黄胸蓟马 2 龄若虫的捕食功能反应拟合曲线

Fig. 1 Fitting curves of preying function of *Menochilus sexmaculata* to 2nd-instar nymph of *Thrips hawaiiensis*

表 1 六斑月瓢虫不同虫态捕食黄胸蓟马 2 龄若虫与成虫的功能反应

Table 1 Fitting curves of preying function of *Menochilus sexmaculata* to 2nd-instar nymph of *Thrips hawaiiensis*

六斑月瓢虫 <i>M.</i> <i>sexmaculata</i>	功能反应模型 Functional response equation	相关系数 r^2 Correlation efficient	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 $1/T_h$
1 龄幼虫 1st-instar larva	$N_a=0.688$ $5N/(1+0.312\ 6N)$	0.994 0	0.688 5	0.045 4	15.17	22.03
2 龄幼虫 2nd-instar larva	$N_a=1.098$ $8N/(1+0.012\ 2N)$	0.992 6	1.098 8	0.011 1	98.99	90.09
3 龄幼虫 3rd-instar larva	$N_a=1.130$ $2N/(1+0.003\ 5N)$	0.998 8	1.130 2	0.003 1	364.58	322.58
4 龄幼虫 4th-instar larva	$N_a=1.445$ $1N/(1+0.003\ 6N)$	0.984 0	1.445 1	0.002 5	578.04	400.00
雌成虫 Adult female	$N_a=0.926$ $4N/(1+0.000\ 5N)$	0.996 7	0.926 4	0.000 5	1 852.80	2 000.00

2.2 六斑月瓢虫不同虫态捕食黄胸蓟马若虫的寻找效应

六斑月瓢虫各虫态对黄胸蓟马若虫的寻找效应均随着猎物密度的增大而降低。同时发现,六斑月瓢虫成虫对黄胸蓟马的寻找效应高于幼虫,幼虫龄期越高寻找效应越高(图 2)。

2.3 六斑月瓢虫自身密度对其捕食黄胸蓟马的干扰反应

六斑月瓢虫自身密度对其捕食黄胸蓟马 2 龄若虫的干扰反应方程及相关参数见表 2。六斑月瓢虫 1 龄、2 龄、3 龄、4 龄幼虫与雌成虫的自身密度捕食黄胸蓟马 2 龄若虫的干扰系数分

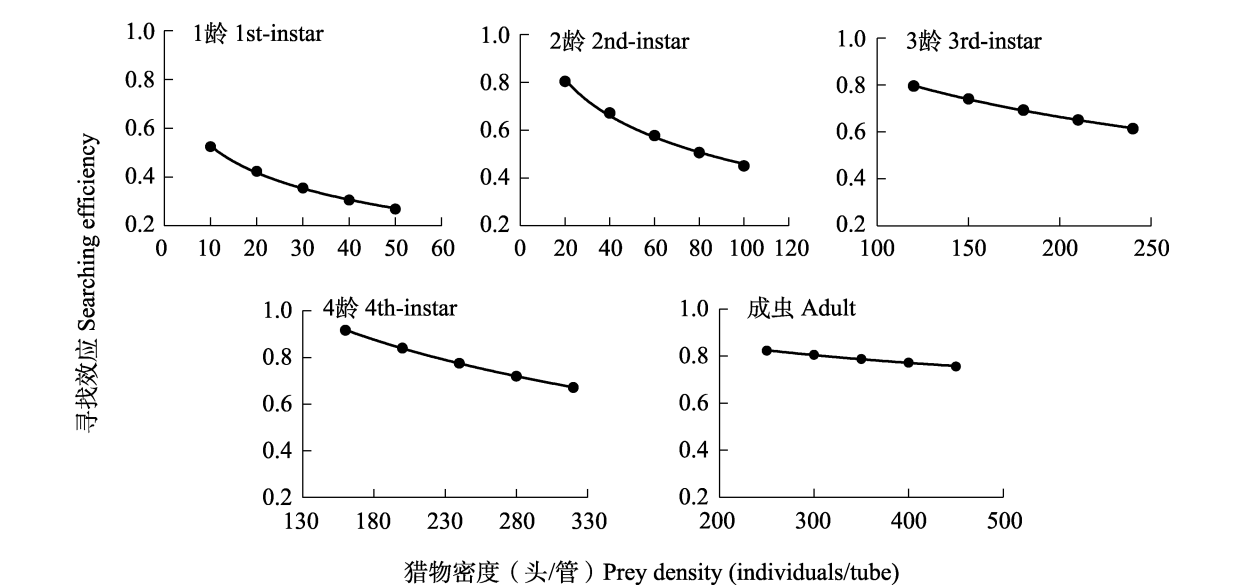


图 2 六斑月瓢虫不同虫态对黄胸蓟马 2 龄若虫的寻找效应
Fig. 2 The searching efficiency of *Menochilus sexmaculata* ages to 2nd-instar nymph of *Thrips hawaiiensis*

表 2 六斑月瓢虫自身密度对其捕食黄胸蓟马的干扰反应系数					
Table 2 Interfere response of <i>Menochilus sexmaculata</i> ages to 2nd instar nymph of <i>Thrips hawaiiensis</i>					
六斑月瓢虫 <i>M. sexmaculata</i>	Hassell-模型方程 Hassell-equation	相关系数 r^2 Correlation efficient	天敌密度 P	搜索常数 Q	干扰系数 m
1 龄幼虫 1st-instar larva	$A=0.340\ 9P-0.374\ 9$	0.992\ 4	1, 2, 3, 4	0.340\ 9	0.374\ 9
2 龄幼虫 2nd- instar larva	$A=0.568\ 7P-0.647\ 0$	0.999\ 7	1, 2, 3, 4	0.568\ 7	0.647\ 0
3 龄幼虫 3rd-instar larva	$A=0.689\ 3P-0.766\ 1$	0.998\ 8	1, 2, 3, 4	0.689\ 3	0.766\ 1
4 龄幼虫 4th-instar larva	$A=0.792\ 5P-0.857\ 5$	0.999\ 4	1, 2, 3, 4	0.792\ 5	0.857\ 5
雌成虫 Adult female	$A=0.775\ 5P-0.808\ 9$	0.998\ 4	1, 2, 3, 4	0.775\ 5	0.808\ 9

别为：0.374 9、0.647 0、0.766 1、0.857 5 和 0.809 0，说明六斑月瓢虫自身密度的增加导致其个体间干扰作用增强，从而导致其对黄胸蓟马的捕食率下降。

2.4 种内干扰对六斑月瓢虫捕食黄胸蓟马的影响

在六斑月瓢虫密度和黄胸蓟马密度均同时等比增大的条件下，采用 Hassell 模型公式 $E=qP^{-m}$ 进行拟合得到干扰反应方程及相关参数（表 3）。由表 3 可知，六斑月瓢虫 1 龄、2 龄、3 龄、4 龄幼虫与雌成虫的种内干扰系数分别为：1.192 1、1.059 1、1.048 7、1.026 6 和 1.013 1，说明随着天敌瓢虫密度与蓟马密度等比增大，导致干扰作用增强，从而导致捕食率下降。

3 结论与讨论

捕食者对猎物的捕食作用强弱决定着生物防治的成败。因此，室内开展六斑月瓢虫对害虫的捕食作用的研究，为评价天敌昆虫在田间的生物防治潜能。本研究发现，六斑月瓢虫 4 龄幼虫与雌成虫分别对黄胸蓟马 2 龄若虫的捕食力（ a'/T_h ）分别为 578.04 头和 1 852.80 头，捕食上限（ $1/T_h$ ）最大，分别为 400.00 头/d 和 2 000.00 头/d，说明六斑月瓢虫对黄胸蓟马均具备较强的捕食作用。另外，通过了解六斑月瓢虫不同虫态对黄胸蓟马的室内捕食功能反应，可为科学制定六斑月瓢虫的田间释放防控技术提供指导依据。本研究虽明确六斑月瓢虫对黄胸蓟马若虫具有

表 3 六斑月瓢虫捕食黄胸蓟马受到的种内干扰系数

Table 3 The coefficient of mutual interference impacting the predation of *Menochilus sexmaculata* ages on *Thrips hawaiiensis*

六斑月瓢虫 <i>M. sexmaculata</i>	Hassell 模型方程 Hassell model equation	相关系数 r^2 Correlation efficient	天敌密度 P	$P=1$ 的最大捕食率 q	干扰系数 m
1 龄幼虫 1st-instar larva	$E=0.534\ 1P-1.192\ 1$	0.998 7	1, 2, 3, 4	0.534 1	1.192 1
2 龄幼虫 2nd-instar larva	$E=0.889\ 6P-1.059\ 1$	0.999 8	1, 2, 3, 4	0.889 6	1.059 1
3 龄幼虫 3rd-instar larva	$E=0.859\ 4P-1.048\ 7$	0.999 9	1, 2, 3, 4	0.859 4	1.048 7
4 龄幼虫 4th-instar larva	$E=0.969\ 6P-1.026\ 6$	0.999 9	1, 2, 3, 4	0.969 6	1.026 6
雌成虫 Adult female	$E=0.937\ 1P-1.013\ 1$	0.999 9	1, 2, 3, 4	0.937 1	1.013 1

良好的捕食能力,但利用该虫进行蓟马类害虫的生物防治仍需进一步考虑环境因子,以及综合考虑蓟马的田间发生规律,这有待进一步探索研究。

捕食者在捕食过程中搜寻猎物的一种行为效应称之为寻找效应(丁岩钦,1980)。有研究发现,天敌昆虫的寻找效应与害虫猎物密度呈现负相关(程松莲,2009;巫鹏翔等,2016;付步礼等,2019)。本研究也发现六斑月瓢虫对黄胸蓟马的寻找效应随着蓟马密度的增加而下降。天敌昆虫的捕食作用不仅受猎物密度的影响,同时受天敌自身密度的影响。一般而言,天敌昆虫密度的增加将产生种内干扰效应,即随着天敌自身密度的增大,平均捕食量和捕食率会随之降低(巫鹏翔等,2016;付步礼等,2019)。本研究结果也表明,六斑月瓢虫对黄胸蓟马的捕食作用随着瓢虫密度或(和)蓟马密度的增加而降低。因此,利用天敌瓢虫防治蓟马时,应充分结合田间蓟马种群发生动态,慎重考虑瓢虫的释放密度、释放虫态与释放时间,方能实现蓟马的高效与可持续性控制。

本研究初步明确了六斑月瓢虫捕食黄胸蓟马若虫的功能反应、寻找效应与干扰反应,说明六斑月瓢虫对蓟马类害虫具有较强的生防潜能,但仍需加强天敌瓢虫的繁育、储运与释放技术研发,并在田间系统评估六斑月瓢虫对蓟马的捕食行为和控害效果,最终形成一套针对蓟马类害虫的绿色综合防控技术体系,进而促进田间化学农药减施。

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: Anthracoridae) on life stages and species of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in pepper flowers. *Environmental Entomology*, 33(3): 662–670.

Bielza P, 2008. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Pest Manag. Sci.*, 64(11): 1131–1138.

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.

Chen WS, Cui ZX, Yang CJ, 2005. Study on the functional responses of *Menochilus sexmaculatus* fab. to *Lipaphis erysimi*. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 24(4): 348–350.

[陈文胜, 崔志新, 杨长举, 2005. 六斑月瓢虫捕食萝卜蚜的功能反应. 华中农业大学学报, 24(4): 348–350.]

Cheng SL, 2009. Predatory functional response and catching effect of *Propylea japonica* to *Anaphothrips obscurus* adults. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 37(22): 10557–10598. [程松莲, 2009. 龟纹瓢虫对玉米黄蓟马成虫的捕食功能反应与搜寻效应. 安徽农业科学, 37(22): 10557–10598.]

Duan JH, Zhang RJ, 2004. Predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) on *Macrosiphoniella sanborni* (Homoptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(2): 213–218. [段金花, 张润杰, 2004. 六斑月瓢虫对菊小长管蚜

- 的捕食作用. 昆虫学报, 47(2): 213–218.]
- 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, Qiu HY, Li Q, Sun YT, Zhou SH, Yang SY, Li SG, Tang LD, Zhang FP, Liu K, 2019. Predation of *Orius sauteri* on *Thrips hawaiiensis* in the laboratory. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(1): 91–98. [付步礼, 邱海燕, 李强, 孙衍汤, 周世豪, 杨石有, 李善光, 唐良德, 张方平, 刘奎, 2019. 东亚小花蝽对黄胸蓟马的室内捕食作用研究. 应用昆虫学报, 56(1): 91–98.]
- Fu BL, Li Q, Qiu HY, Tang LD, Zeng DQ, Liu K, Gao YL, 2018. Resistance development, stability, cross-resistance potential, biological fitness and biochemical mechanisms of spinetoram resistance in the *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Pest Management Science*, 74(7): 1564–1574.
- Fu BL, Li Q, Qiu HY, Tang LD, Zeng DQ, Liu K, Gao YL, 2019. Analysis of seasonal and annual field-evolved insecticide resistance in populations of *Thrips hawaiiensis* in banana orchards. *Journal of Pest Science*, 92: 1293–1307.
- Goldarazena A, 2011. First record of *Thrips hawaiiensis* (Morgan, 1913) (Thysanoptera: Thripidae), an Asian pest thrips in Spain. *OEPP/EPPO Bulletin*, 41(2): 170–173.
- Jin HF, Fu BL, Qiu HY, Yang SY, Zhou SH, Ma XT, Li SG, Zhang FP, Tang LD, Liu K, 2020. Effects of high temperature stress on the biology and predatory behavior of *Menochilus sexmaculatus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 700–707. [金海峰, 付步礼, 邱海燕, 杨石有, 周世豪, 马晓彤, 李善光, 张方平, 唐良德, 刘奎, 2020. 高温胁迫六斑月瓢虫对其生物学特性及其捕食作用的影响. 应用昆虫学报, 57(3): 700–707.]
- Hassell MP, Verley GC, 1969. New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control. *Nature*, 223(1): 1113–1117.
- Han DY, Xing CM, Li Lei, 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.]
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91: 385–398.
- Luo CP, Hu YX, Sun JW, Fan QY, Zhao YX, Zhang LY, Du GG, Chen B, 2018. Study on the functional response of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* as prey. *Journal of Biosafety*, 27(4): 274–278, 316. [罗春萍, 户艳霞, 孙军伟, 樊清艳, 赵永鑫, 张凌英, 杜广祖, 陈斌, 2018. 斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食功能反应. 生物安全学报, 27(4): 274–278, 316.]
- Mound LA, 2005. Thysanoptera: diversity and interaction. *Annual Review Entomology*, 50: 247–269
- 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.
- Tang LD, Wang XS, Zhao HY, Fu BL, Qiu HY, Liu K, 2017a. The Predation functionresponse and development of *Chrysopa pallens* larva on *Megalurothrips usitatus* and *Aphis craccivora*. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(1): 49–55. [唐良德, 王晓双, 赵海燕, 付步礼, 邱海燕, 刘奎, 2017a. 大草蛉幼虫捕食豆大蓟马和豆蚜的功能反应及生长发育. 中国生物防治学报, 33(1): 49–55.]
- Tang LD, Li F, Zhao HY, Wu JH, Ren SX, 2017b. Influence of three

- prey species on the development and fecundity of *Menochilus sexmaculata* Fabricius. *Acta Ecologica Sinica*, 37(17): 5765–5770. [唐良德, 李飞, 赵海燕, 吴建辉, 任顺祥, 2017b. 六斑月瓢虫取食不同猎物的生长发育及繁殖特性. 生态学报, 37(17): 5765–5770.]
- Wu PX, Ouyang HY, Xu J, Zhang R, He J, Zhang RZ, 2016, Predation of *Paratrioza sinica* Yang & Li by adult *Hippodamia variegata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(6): 1353–1360. [巫鹏翔, 欧阳浩永, 徐婧, 张蓉, 何嘉, 张润志, 2016. 多异瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用. 应用昆虫学报, 53(6): 1353–1360.]
- Wu Y, Liu K, Qiu HY, Li FJ, Cao Y, 2014. Polymorphic microsatellite markers in *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Applied Entomology and Zoology*, 49: 619–622.
- Wan Y, Yuan G, He B, Xu B, Xie W, Wang S, Zhang Y, Wu Q, Zhou X, 2018. Focα6, a truncated nAChR subunit, positively correlates with spinosad resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 99: 1–10.
- Yang H, Zheng FK, 2007. Study on functional response of *Menochilus sexmaculata* Fab. adults to *Aphis robiniae* Macchiati. *Sichuan Journal of Zoology*, 26(4): 907–909. [杨鹤, 郑发科, 2007. 六斑月瓢虫成虫捕食洋槐蚜的功能反应研究. 四川动物, 26(4): 907–909.]
- Yin J, Gao XG, Wu QJ, 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.]
- Zhao B, 2015. Investigation of *Thrips* species and the studies on *Thrips palmi* karny development and its control techniques for melons in Nanning. Master dissertation: Guangxi University. [赵斌, 2015. 南宁市蓟马种类调查及栋蓟马发生与防治研究. 硕士学位论文: 广西大学.]
- 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.]
- Zhang F, LI S, Xiao D, Zhao J, Wang R, Guo Xiao J, Wang S, 2015. Progress in pest management by natural enemies in greenhouse vegetables in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(17): 3463–3476. [张帆, 李姝, 肖达, 赵静, 王然, 郭晓军, 王甦, 2015. 中国设施蔬菜害虫天敌昆虫应用研究进展. 中国农业科学, 48(17): 3463–3476.]