



陈俊谕, 王建赞, 张方平, 李磊, 韩冬银, 章程辉, 符悦冠. 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的捕食作用 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1201–1209.

不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的捕食作用

陈俊谕^{1,2}, 王建赞¹, 张方平¹, 李磊¹, 韩冬银¹,
章程辉², 符悦冠^{1*}

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 571101; 2. 海南大学生态与环境保护学院, 海口 570228)

摘要: 为明确饥饿程度对拟小食螨瓢虫 *Stethorus (Allosstethorus) parapauperculus* 控害潜能的影响, 本研究通过比较不同饥饿程度下拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 的功能反应和自身密度干扰效应, 探讨不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的捕食作用。结果表明, 饥饿程度对拟小食螨瓢虫朱砂叶螨的捕食量有明显的影响, 瓢虫的取食量与朱砂叶螨的密度呈正相关, 表现为饥饿 48 h > 饥饿 24 h > 未饥饿; 拟小食螨瓢虫对各虫态朱砂叶螨的捕食作用均符合 Holling-II 模型。在一定空间范围内, 拟小食螨瓢虫个体间存在竞争和相互干扰, Hassell-Varley 模型能较好地反映拟小食螨瓢虫在捕食各虫态朱砂叶螨时受自身密度的干扰情况。在同样饥饿状态下, 随着瓢虫自身密度增加, 捕食效率降低, 干扰效应增大。

关键词: 拟小食螨瓢虫; 朱砂叶螨; 功能反应; 干扰效应

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 05-1201-09

Predation of *Stethorus (Allosstethorus) parapauperculus* in different extent of starvation to *Tetranychus cinnabarinus*

CHEN Jun-Yu^{1,2}, WANG Jian-Yun¹, ZHANG Fang-Ping¹, LI Lei¹, HAN Dong-Yin¹, ZHANG Cheng-Hui², FU Yue-Guan^{1*} (1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 2. College of Ecology and Environment, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: In order to clarify the effect of hunger on the control efficacy of *Stethorus (Allosstethorus) parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus*, the functional response of *S. parapauperculus* to *T. cinnabarinus* and its own density interference effect under different extent of starvation were explored in this study. The results indicated that, the control efficacy of *S. parapauperculus* on different stages of *T. cinnabarinus* belongs to the Holling-II model. With the density increase of *T. cinnabarinus*, the feeding of *S. parapauperculus* increased. Its predatory effect was also influenced by its starvation, with 48 h for starvation > 24 h for starvation > control (without hungry); however, the effects of starvation for 24 h and 48 h on their predation were generally not significant. Within a certain range of space, there were competitions and mutual interference among individuals of *S. parapauperculus*. The Hassell-Varley model can reflect the interference of self-density of *S. parapauperculus* in different starvation states as they are

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0202100); 国家天然橡胶产业体系 (CARS-33-BC2); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (1630042017009)

作者简介: 陈俊谕, 女, 硕士, 助理研究员, 从事害虫综合治理研究, E-mail: jychencn@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 符悦冠, 博士, 研究员, 主要研究方向为害虫综合治理, E-mail: fygcata@163.com

收稿日期 Received: 2020-02-26; 接受日期 Accepted: 2020-04-15

feeding on different development stages of *T. cinnabarinus*. In the same starvation condition, with the density of *S. parapauperculus* increased, the efficiency of predation decreased and the interference effect increased.

Key words: *Stethorus* (*Allosstethorus*) *parapauperculus*; *Tetranychus cinnabarinus*; functional response; interference efficiency

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) 属蛛型纲 Arachnida 真螨目 Acariformes 叶螨科 Tetranychidae, 是木薯、棉花、豆类、瓜类、果树和蔬菜等多种作物上的重要螨类 (卢永宏和杨群芳, 2010; 王少丽等, 2011; 辛天蓉等, 2019)。该螨繁殖能力强, 世代历期短, 生产上大量施用化学农药进行防治, 导致抗药性、农药残留和再猖獗等问题突出 (严柳等, 2018; 王梦瑶, 2018; 辛天蓉等, 2019)。利用天敌昆虫防治害螨具有安全、可持续、环境相容性好等优点。拟小食螨瓢虫 *Stethorus* (*Allosstethorus*) *parapauperculus* Pang 属于鞘翅目瓢虫科 Coccinellidae 小毛瓢虫亚科 Scymninae 食螨瓢虫族 Stethorini 短管食螨瓢虫亚属 *Stethorus*, 是朱砂叶螨、六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*、皮氏叶螨 *Tetranychus piercei*、柑橘全爪螨 *Paunonychus citri*、芒果小爪螨 *Oligonychus mangiferus* 等多种害螨的重要捕食性天敌 (符悦冠等, 2007; 张方平等, 2010; 耿召良等, 2016; 邢楚明等, 2018)。拟小食螨瓢虫的各个虫态均能捕食朱砂叶螨, 具有较好的应用潜能 (马华博等, 2016)。功能反应是评价天敌对害虫控制能力大小的一个重要指标之一 (吴坤君等, 2004; 范悦莉等, 2019; 冯毅, 2019; 贾静静等, 2019), 许多学者利用捕食功能反应评价了瓢虫对害虫的捕食作用。

程立生等 (1989) 报道了拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的捕食效能, 其对朱砂叶螨卵、幼螨、若螨和成螨的捕食上限分别可达 146 粒、87 头、91 头和 11 头。然而, 捕食性天敌的饥饿状态是影响其捕食能力的关键因子之一 (Sabelis, 1990; van Gils *et al.*, 2003), 如饥饿后蠋蝽 *Arma chinensis* 和草间小黑蛛 *Hylyphantes graminicola* 的捕食能力发生了改变 (马敏等, 2010; 张海平等, 2017), 但也有报道龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 和七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 等天敌经过 18 ~ 48 h 不同时间饥饿处理后其捕食量差异不显著 (邹运鼎等, 1999; 巫厚长和程遐年, 2000; 巫厚长等, 2000)。研究发现, 拟小食螨瓢虫在未饥饿和饥饿 24 h 的状态

下, 其对朱砂叶螨摄食前后的搜索行为和运动格局存在明显不同 (陈俊谕等, 2016), 由此推测, 饥饿可能会对其捕食能力产生一定的影响。鉴于此, 本研究比较不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的功能反应, 以期更全面评价拟小食螨瓢虫的控害效能, 进一步探明其控害机制, 为有效利用拟小食螨瓢虫进行朱砂叶螨的生物防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

拟小食螨瓢虫和朱砂叶螨均采自海南省儋州市宝岛新村的木薯叶片。在室内以木薯叶片作为寄主饲养朱砂叶螨, 以朱砂叶螨作为拟小食螨瓢虫的食物。室内饲养温度为 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, 自然光照条件。

1.2 试验方法

1.2.1 不同饥饿程度的拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨的功能反应研究

拟小食螨瓢虫禁食处理分别设置为未饥饿、饥饿 24 h、饥饿 48 h。根据预实验, 朱砂叶螨的密度设置分别为卵 10、30、50、70、90 粒, 幼螨 20、25、30、35、40 头, 第 2 若螨 10、15、20、25、30 头, 雌成螨 8、12、16、20、24 头。用毛笔分别按以上设置的虫口密度挑取不同螨态的朱砂叶螨于健康的木薯叶片上, 将叶片置于直径为 12 cm 的培养皿内, 然后分别接入 1 头经过不同饥饿处理的瓢虫成虫, 用扎孔的保鲜膜封口, 试验在 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 70% $\pm$ 5%, L:D = 14:10 的人工气候箱内进行, 24 h 后将瓢虫移除, 检查记录培养皿内剩余的朱砂叶螨数量。期间每隔 8 h 观察并剔除成螨所产的卵。每处理重复 3 次, 每个密度设置 3 个重复。

1.2.2 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫的自身密度干扰效应

拟小食螨瓢虫禁食处理分别设置为未饥饿、饥饿 24 h、饥饿 48 h。培养皿内放置新鲜的寄主

植物叶片, 叶片上分别保留朱砂叶螨雌成螨 40 头, 第 2 若螨 50 头, 幼螨 60 头, 卵 70 粒, 然后分别接入不同饥饿处理的瓢虫成虫, 瓢虫密度分别为 1、2、3、4、5 头, 试验在 $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$, RH $70\% \pm 5\%$, L:D = 14:10 的人工气候箱内进行, 24 h 后将瓢虫移除, 检查统计培养皿内剩余螨数。期间每隔 8 h 观察并剔除成螨所产的卵, 每处理重复 3 次, 每个密度设置 3 个重复。

1.3 数据处理

数据统计采用 SPSS 20.0 完成, 图采用 Excel 2007 绘制。

功能反应用 Holling-II 型圆盘方程 $N_a = a TN / (1 + a Th N)$ 拟合 (Holling, 1959), 式中: N_a 为猎物被捕食数量, a 为瞬时攻击率, T 为试验总时间, 本试验中 T 为 1 d, N 为猎物的初始密度, Th 为处理时间。

自身密度干扰效应用 Hassell-Verley 模型 $E = QP^{-m}$ 拟合 (Hassell and Varley, 1969), 捕食作用率 $E = N_a / NP$, 式中 N_a 为被捕食猎物数量、 N 为

猎物初始数量、 P 为捕食者初始密度、 Q 为搜寻常数、 m 为干扰参数。

2 结果与分析

2.1 拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的功能反应

拟小食螨瓢虫在不同饥饿程度下对不同密度各虫态朱砂叶螨的日均捕食量均存在差异 (表 1 ~ 表 4)。在相同的猎物密度下, 饥饿状态的拟小食螨瓢虫日均捕食量总体表现为高于未饥饿状态, 但当各虫态叶螨密度达到一定程度后, 拟小食螨瓢虫的饥饿状态对其日均捕食量的影响程度逐渐减弱, 并且饥饿 48 h 处理与饥饿 24 h 处理的拟小食螨瓢虫对叶螨卵、若螨和成螨的日均捕食量没有显著差异。随着叶螨密度的增加, 拟小食螨瓢虫的日均捕食量有所增加, 但不同虫态猎物密度达到一定程度后, 虽然拟小食螨瓢虫对叶螨的日均捕食量随叶螨密度增加而增加, 但无显著差异。

表 1 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨卵的日均捕食量 (头)

Table 1 Daily predation number of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* egg at different extent of starvation

瓢虫状态 Hungry degree of <i>S. parapauperculus</i>	叶螨卵密度 (头/皿) Density of <i>T. cinnabarinus</i> egg				
	10	30	50	70	90
未饥饿 No hungry	6.67 ± 0.67 Aa	14.33 ± 0.67 Ba	27.67 ± 1.45 Ca	48.67 ± 1.86 Da	50.00 ± 1.00 Da
饥饿 24 h Starved for 24 h	9.00 ± 0.58 Ab	20.00 ± 1.15 Bb	36.33 ± 2.96 Cb	51.67 ± 4.26 Da	57.00 ± 3.06 Da
饥饿 48 h Starved for 48 h	9.00 ± 0.01 Ab	24.00 ± 2.52 Bb	40.67 ± 1.76 Cb	52.67 ± 2.40 Da	61.33 ± 5.24 Da

注: 表中数据为平均值 ± 标准差; 同行数据后的不同大写字母或同列后的不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Means ± SD. Different capital letters in same row and different lowercase letters in same column indicate significant at $P < 0.05$. The same below.

表 2 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨幼螨的日均捕食量 (头)

Table 2 Daily predation number of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* larva at different extent of starvation

瓢虫状态 Hungry degree of <i>S. parapauperculus</i>	叶螨幼螨密度 (头/皿) Density of <i>T. cinnabarinus</i> larva				
	20	25	30	35	40
未饥饿 No hungry	8.33 ± 0.33 Aa	13.67 ± 0.88 Ba	19.67 ± 2.52 Ca	22.67 ± 2.08 Ca	27.00 ± 1.73 Da
饥饿 24 h Starved for 24 h	12.67 ± 0.88 Ab	17.33 ± 2.40 ABa	21.33 ± 2.03 BCab	26.67 ± 1.20 CDb	31.33 ± 2.19 Da
饥饿 48 h Starved for 48 h	14.67 ± 0.88 Ab	21.00 ± 3.46 Ba	26.33 ± 1.45 Bb	36.33 ± 0.33 Cc	41.33 ± 2.03 Cb

表 3 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨若螨的日均捕食量 (头)

Table 3 Daily predation number of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* nymph at different extent of starvation

瓢虫状态 Hungry degree of <i>S. parapauperculus</i>	叶螨若螨密度 (头/皿) Density of <i>T. cinnabarinus</i> nymph				
	15	20	25	30	35
未饥饿 No hungry	5.33 ± 0.33 Aa	9.67 ± 0.33 Ba	12.00 ± 0.58 Ca	16.00 ± 0.58 Da	18.33 ± 0.88 Ea
饥饿 24 h Starved for 24 h	7.33 ± 0.88 Aab	11.00 ± 0.58 ABab	14.67 ± 0.33 Bb	19.00 ± 2.52 Ca	22.00 ± 1.54 Cab
饥饿 48 h Starved for 48 h	8.00 ± 0.57 Ab	13.67 ± 0.33 Bb	16.33 ± 0.88 Bb	21.00 ± 1.15 Ca	24.67 ± 1.33 Db

表 4 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨雌成螨的日均捕食量 (头)

Table 4 Daily predation number of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* female adult at different extent of starvation

瓢虫状态 Hungry degree of <i>S. parapauperculus</i>	叶螨雌成螨密度 (头/皿) Density of <i>T. cinnabarinus</i> female adult				
	8	12	16	20	24
未饥饿 No hungry	3.00 ± 0.58 Aa	5.00 ± 0.58 Aa	8.00 ± 1.15 Ba	13.67 ± 0.88 Ca	15.33 ± 0.33 Ca
饥饿 24 h Starved for 24 h	4.33 ± 0.33 Aab	7.00 ± 1.00 Ba	10.00 ± 0.58 Cab	15.67 ± 0.67 Dab	16.67 ± 0.88 Da
饥饿 48 h Starved for 48 h	5.33 ± 0.67 Ab	7.67 ± 0.88 Aa	11.67 ± 0.33 Bb	16.33 ± 0.33 Cb	18.00 ± 1.15 Ca

将圆盘方程 Holling-Ⅱ 模型转化为一元线性方程, 对 N 及 N_a 分别取倒数进行回归分析, 结果如表 5 所示, 模型方程中参数估计的 R^2 值均大于 0.86, 说明 Holling-Ⅱ 型圆盘方程能较好地拟合不同饥饿程度条件下拟小食螨瓢虫对各虫态朱砂叶螨的捕食作用。

在不同饥饿状态下, 拟小食螨瓢虫对不同虫态的朱砂叶螨捕食的瞬时攻击率和处理时间存在差异。瓢虫饥饿 24 h 对卵的瞬时攻击率最大, 为 0.951, 瓢虫对叶螨其他虫态的瞬时攻击率均表现为未饥饿 < 饥饿 24 h < 饥饿 48 h。从处置时间上来看, 未饥饿处理的瓢虫对各虫态叶螨的处置时间均为最长, 饥饿 24 h 处理的瓢虫对叶螨幼螨和若螨处置时间最短, 而对叶螨卵和雌成螨则表现为饥饿 48 h 处理的瓢虫处置时间最短。不同饥饿处理的瓢虫对叶螨卵、幼螨和雌成螨的捕食上限和捕食效能均表现为未饥饿 < 饥饿 24 h < 饥饿 48 h, 而对若螨则表现为未饥饿 < 饥饿 48 h < 饥饿 24 h。饥饿处理能在一定程度上提高拟小食螨瓢虫对猎物的捕食效能; 在同一饥饿状态下, 对不同虫态朱砂叶螨的捕食效能从高到低总体表现为: 卵 > 幼螨 > 若螨 > 成螨。

2.2 拟小食螨瓢虫的自身密度干扰效应

在相同密度条件下, 饥饿处理的拟小食螨瓢

虫捕食量会有所增加, 表现为: 饥饿 48 h > 饥饿 24 h > 未饥饿; 同一饥饿状态下, 随着瓢虫密度的增加, 被取食叶螨数也随之增加 (表 6)。同一饥饿状态下, 不同瓢虫密度处理间的对叶螨卵、幼螨、若螨和成螨的捕食数量均存在显著差异。相同密度条件下的不同饥饿处理间的瓢虫对叶螨卵捕食量差异不显著而对幼螨的取食量之间均存在显著差异; 对于若螨, 仅瓢虫密度为 2 头和 5 头时, 不同饥饿状态的瓢虫捕食量存在显著差异; 对于成螨, 除了瓢虫密度为 2 头时, 不同饥饿状态的瓢虫间捕食量差异不显著之外, 其余密度条件下, 不同饥饿状态间的瓢虫对成螨的捕食量均存在显著差异。

拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨各虫态的捕食作用率见图 1 ~ 图 4。结果表明, 在相同密度下的瓢虫对各虫态叶螨的捕食作用率均随着饥饿程度的增加而有所增加, 即饥饿 48 h 的瓢虫捕食作用率最高, 未饥饿的瓢虫捕食作用率最低。在相同饥饿状态下, 随着瓢虫密度的增加, 捕食作用率表现为逐渐降低的趋势, 说明在一定空间范围内, 瓢虫个体间存在竞争和相互干扰, 且自身密度越大, 捕食效率越低, 干扰效应越大。

表 5 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的 Holling-II 型功能反应参数估计

Table 5 The Holling-II functional response parameters of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* at different extent of starvation

虫态 Stage	饥饿状态 Hungry degree	瞬时攻击率 (a') Instantaneous attack rate	处置时间 (Th) Handling time	捕食上限 ($1/Th$) Daily maximum predation number	捕食效能 (a'/Th) Predation capacity	功能反应方程 Functional response equation	R^2
卵 Egg	未饥饿 No hungry	0.684	0.007	142.86	97.78	$Na = 0.6845 N / (1 + 0.0048 N)$	0.972
	饥饿 24 h Starved for 24 h	0.951	0.007	142.86	135.80	$Na = 0.9506 N / (1 + 0.0067 N)$	0.986
	饥饿 48 h Starved for 48 h	0.933	0.004	250.00	233.21	$Na = 0.9328 N / (1 + 0.0037 N)$	0.973
幼螨 Larva	未饥饿 No hungry	0.302	0.052	19.23	5.81	$Na = 0.3018 N / (1 + 0.0157 N)$	0.963
	饥饿 24 h Starved for 24 h	0.533	0.015	66.67	35.54	$Na = 0.5330 N / (1 + 0.0080 N)$	0.865
	饥饿 48 h Starved for 48 h	0.562	0.021	47.62	26.75	$Na = 0.5618 N / (1 + 0.0118 N)$	0.865
若螨 Nymph	未饥饿 No hungry	0.289	0.052	19.23	5.57	$Na = 0.2894 N / (1 + 0.0151 N)$	0.966
	饥饿 24 h Starved for 24 h	0.414	0.026	38.46	15.94	$Na = 0.4144 N / (1 + 0.0108 N)$	0.996
	饥饿 48 h Starved for 48 h	0.460	0.025	40.00	18.41	$Na = 0.4602 N / (1 + 0.0115 N)$	0.973
雌成螨 Adult female	未饥饿 No hungry	0.300	0.082	12.20	3.66	$Na = 0.3002 N / (1 + 0.0246 N)$	0.981
	饥饿 24 h Starved for 24 h	0.473	0.033	30.30	14.32	$Na = 0.4726 N / (1 + 0.0156 N)$	0.984
	饥饿 48 h Starved for 48 h	0.606	0.015	66.67	40.43	$Na = 0.6064 N / (1 + 0.0091 N)$	0.973

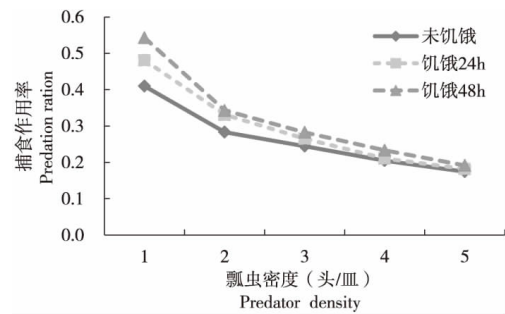


图 1 不同密度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨卵的捕食作用率

Fig. 1 Predation ration of *Stethorus parapauperculus* prey on *Tetranychus cinnabarinus* egg at different predator density

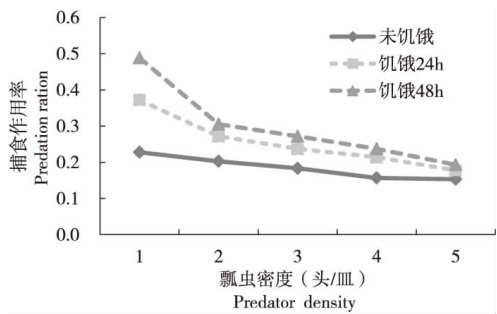


图 2 不同密度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨幼螨的捕食作用率

Fig. 2 Predation ration of *Stethorus parapauperculus* prey on *Tetranychus cinnabarinus* larva at different predator density

表 6 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫取食朱砂叶螨的自身密度干扰效应

Table 6 Intraspecific interference by different densities of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* at different extent of starvation

叶螨虫态 Stage of <i>T. cinnabarinus</i>	瓢虫状态 Hungry degree of <i>S. parapauperculus</i>	瓢虫密度 (头/皿) Density of <i>Stethorus parapauperculus</i>				
		1	2	3	4	5
卵 Egg	未饥饿 No hungry	28.67 ± 2.60 Aa	39.67 ± 2.90 ABa	51.33 ± 3.76 BCa	57.33 ± 6.69 Ca	61.00 ± 3.61 Ca
	饥饿 24 h Starved for 24 h	33.67 ± 2.84 Aab	46.33 ± 5.36 Ba	55.67 ± 4.70 BCa	59.00 ± 1.53 Ca	63.67 ± 2.33 Ca
	饥饿 48 h Starved for 48 h	38.00 ± 1.53 Ab	48.00 ± 3.51 Ba	59.33 ± 4.98 Ca	65.33 ± 1.76 Ca	67.00 ± 0.58 Ca
幼螨 Larva	未饥饿 No hungry	13.67 ± 0.88 Aa	24.33 ± 1.20 Ba	33.00 ± 4.04 Ca	37.67 ± 1.76 Ca	46.00 ± 1.15 Da
	饥饿 24 h Starved for 24 h	22.33 ± 1.45 Ab	32.67 ± 0.88 Bb	42.67 ± 1.20 Cab	51.33 ± 1.86 Db	53.33 ± 0.88 Db
	饥饿 48 h Starved for 48 h	29.33 ± 2.60 Ac	36.67 ± 1.20 Bc	49.00 ± 3.79 Cb	57.00 ± 1.53 Db	58.00 ± 0.58 Dc
若螨 Nymph	未饥饿 No hungry	14.67 ± 0.88 Aa	20.00 ± 1.53 Aa	27.33 ± 3.93 Ba	32.67 ± 1.45 BCa	37.67 ± 0.88 Ca
	饥饿 24 h Starved for 24 h	17.33 ± 1.76 Aa	23.33 ± 1.20 Aa	33.67 ± 2.96 Ba	37.00 ± 2.65 Ba	45.33 ± 4.62 Cb
	饥饿 48 h Starved for 48 h	21.00 ± 3.21 Aa	30.33 ± 1.33 Bb	35.33 ± 0.88 BCa	41.33 ± 2.91 CDa	47.67 ± 0.33 Db
雌成螨 Adult female	未饥饿 No hungry	7.67 ± 0.88 Aa	13.67 ± 0.67 Ba	16.00 ± 1.15 Ba	19.33 ± 0.88 Ca	21.33 ± 1.20 Ca
	饥饿 24 h Starved for 24 h	8.67 ± 0.88 Aa	16.67 ± 1.45 Ba	22.00 ± 1.15 Cb	25.67 ± 0.67 CDb	29.67 ± 1.86 Db
	饥饿 48 h Starved for 48 h	12.33 ± 0.88 Ab	18.33 ± 1.33 Ba	24.00 ± 2.52 Cb	29.00 ± 1.53 CDb	31.33 ± 1.76 Db

注: 表中数据为被取食的叶螨数量平均值 ± 标准差。Note: Data in the table for the means ± SD of *Tetranychus cinnabarinus* were feeding.

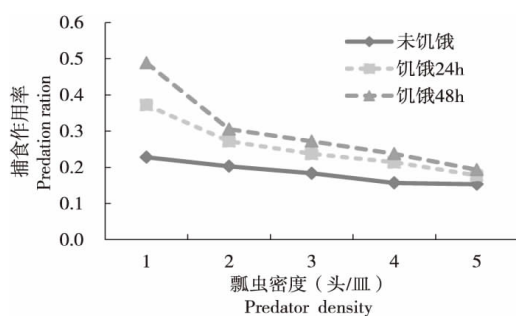


图 3 不同密度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨若螨的捕食作用率
Fig. 3 Predation ration of *Stethorus parapauperculus* prey on *Tetranychus cinnabarinus* nymph at different predator density

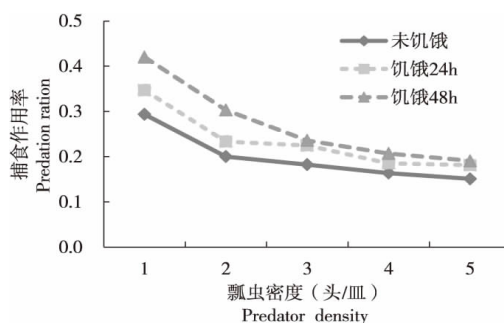


图 4 不同密度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨成螨的捕食作用率
Fig. 4 Predation ration of *Stethorus parapauperculus* prey on *Tetranychus cinnabarinus* female adult at different predator density

表 7 拟小食螨瓢虫自身密度对朱砂叶螨的干扰效应方程及参数估计

Table 7 Equations and estimated parameters of interferential effect *Stethorus parapauperculus* density to *Tetranychus cinnabarinus*

饥饿状态 Hungry degree	卵 Egg		幼螨 Nymph		若螨 Larva		雌成螨 Female adult	
	Q	m	Q	m	Q	m	Q	m
未饥饿 No hungry	0.4110	0.5100	0.2340	0.2500	0.2820	0.4000	0.2010	0.3700
饥饿 24 h Starved for 24 h	0.4920	0.6000	0.3730	0.4300	0.3340	0.4000	0.2280	0.2400
饥饿 48 h Starved for 48 h	0.5420	0.6200	0.4770	0.5400	0.4200	0.5000	0.3080	0.4000

注: Q 为搜寻常数; m 为相互干扰系数。Note: Q means searching coefficient; m means disturbance coefficient.

采用 Hassell-Varley 干扰模型对不同饥饿处理下拟小食螨瓢虫受自身密度干扰的捕食效应进行拟合, 结果表明, 拟小食螨瓢虫捕食的探索常数和相互干扰系数与自身饥饿状态和取食的叶螨虫态有关 (表 7)。在相同的饥饿状态下, 瓢虫对叶螨卵的探索常数最高, 对成螨的搜寻常数最低; 不同的饥饿状态下, 瓢虫取食叶螨卵、幼螨、若螨和成螨均表现为饥饿 48 h 的瓢虫探索常数最高, 说明在同一定的瓢虫密度条件下, 一定程度的饥饿处理能提高瓢虫对叶螨的探索能力。在相同的

瓢虫密度下, 不同饥饿状态的瓢虫捕食叶螨卵的相互干扰系数均最大, 捕食雌成螨的相互干扰作用最小; 以同一虫态的叶螨为猎物时, 随着饥饿程度增加, 其相互干扰效应逐渐增强。

不同饥饿程度拟小食螨瓢虫取食各虫态朱砂叶螨的自身密度干扰理论效应模型方程结果如表 8 所示, 捕食作用率和瓢虫密度之间的决定系数 $R^2 > 0.88$, 说明 Hassell-Varley 干扰模型能较好地反应不同饥饿状态的拟小食螨瓢虫在捕食猎物时受自身密度的干扰情况。

表 8 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫取食朱砂叶螨的自身密度干扰理论效应模型
Table 8 The interference effect theory model of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* at different extent of starvation

饥饿状态 Hungry degree	卵 Egg		幼螨 Nymph		若螨 Larva		成螨 Female adult	
	E	R ²	E	R ²	E	R ²	E	R ²
未饥饿 No hungry	0.4110 P ^{-0.5100}	0.992	0.2340 P ^{-0.2500}	0.952	0.2820 P ^{-0.4000}	0.976	0.2010 P ^{-0.3700}	0.946
饥饿 24 h Starved for 24 h	0.4920 P ^{-0.6000}	0.993	0.3730 P ^{-0.4300}	0.985	0.3340 P ^{-0.4000}	0.955	0.2280 P ^{-0.2400}	0.880
饥饿 48 h Starved for 48 h	0.5420 P ^{-0.6200}	0.994	0.4770 P ^{-0.5400}	0.978	0.4200 P ^{-0.5000}	0.995	0.3080 P ^{-0.4000}	0.992

注: E 为干扰理论效应模型 Note: E means the interference effect theory model.

3 结论与讨论

任何生物在自然环境中都有可能面临饥饿胁迫。捕食性天敌昆虫在生物防治应用中通常建议在害虫发生初期进行释放, 此时田间害虫虫口密度低, 天敌昆虫通常会面临着食物短缺的情况。此外, 天敌产品包装后在运输的过程中, 也同样可能会遭遇短时间的饥饿胁迫。对于大部分昆虫和天敌而言, 饥饿除了会影响其生长发育、繁殖能力之外, 还可能对其捕食能力产生影响, 甚至导致其功能反应的类型发生改变 (马敏等, 2010; 李阳等, 2016; 张海平等, 2017)。本研究中, 拟小食螨瓢虫在未饥饿、饥饿 24 h 和 48 h 状态下, 其对朱砂叶螨各虫态的功能反应均属于 Holling-II 模型, 这与程立生等研究的在饥饿 24 h 条件下其对朱砂叶螨的功能反应类型一致 (程立生等, 1989), 且拟小食螨瓢虫对皮氏叶螨、六点始叶螨、柑橘全爪螨、芒果小爪螨的功能反应类型均属于 Holling-II 模型 (程立生等, 1990; 耿召良, 2004; 张方平等, 2010; 邢楚明等, 2018), 这与本研究中拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的功能反应类型相一致, 同时也说明了饥饿处理并不能改

变其对朱砂叶螨的功能反应类型。

饥饿处理后拟小食螨瓢虫的捕食量均在一定程度上有所增加, 且饥饿状态的捕食量均显著高于未饥饿状态的, 饥饿处理 24 h 和 48 h 小时的拟小食螨瓢虫对叶螨卵、若螨和成螨的捕食量差异不显著, 该结果与其他瓢虫的研究相类似, 如七星瓢虫禁食 18 h、24 h 和 48 h 后, 其对麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* 捕食量和捕食速度差异不显著 (邹运鼎等, 1999), 异色瓢虫和龟纹瓢虫在各种饥饿条件下 24 h 内对烟蚜 *Myzus persicae* 的捕食量和捕食速度差异不显著 (巫厚长等, 2000; 巫厚长和程遐年, 2000), 不同天数饥饿处理对蠹蛾成虫取食量无显著影响等 (张海平等, 2017)。采用瞬时攻击率 (a') 与处理时间 (Th) 的比值作为评价指标, 饥饿 48 h 的拟小食螨瓢虫成虫对各虫态朱砂叶螨捕食效能 (a'/Th) 最高, 其次是饥饿 24 h, 未饥饿的瓢虫捕食效能最低。因此, 适当的饥饿有利于提高拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的捕食能力。这可能是由于饥饿处理后天敌本身具有较多的能量需求, 因此捕食能力在一定程度上有所提高, 但是短期的饥饿并未对其生理代谢水平产生本质上的影响 (张海平等, 2017), 因此饥饿程度对其捕食能力影响不大。

与拟小食螨瓢虫捕食柑桔全爪螨和皮氏叶螨类似,其捕食各虫态朱砂叶螨的自身密度干扰效应符合 Hassell-Varley 模型 (程立生等, 1990; 耿召良, 2014), 但是饥饿程度对其自身密度干扰作用影响明显, 本研究中饥饿 48 h 的拟小食螨瓢虫对猎物的探索常数最高, 说明一定程度的饥饿处理能提高该瓢虫对朱砂叶螨的搜索能力, 与此同时, 其相互干扰作用也最明显。因此, 虽然拟小食螨瓢虫在一定的密度条件下, 适当饥饿处理可以提高其捕食效能, 但是瓢虫之间的自身干扰作用也会逐渐加强。综合考虑, 建议在田间释放前对拟小食螨瓢虫进行饥饿处理 24 h, 以获得在一定程度上提高其控害效果, 但是饥饿处理是否会对瓢虫自身的存活、繁殖力甚至定殖能力造成影响还有待进一步研究和评价。

参考文献 (References)

- Cheng LS, Han YG, Lie JL. Studies on predation of *Stethorus parapauperculus* to *Panonychus citri* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1990, 11 (2): 113–118. [程立生, 韩玉贵, 雷建林. 拟小食螨瓢虫成虫对柑桔全爪螨的捕食作用 [J]. 热带作物学报, 1990, 11 (2): 113–118]
- Cheng LS, Liu JC, Song GM. Studies on predation of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1989, 10 (2): 99–105. [程立生, 刘君成, 宋国敏. 拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨捕食作用的研究 [J]. 热带作物学报, 1989, 10 (2): 99–105]
- Fan YL, Gu XH, Xian JD, et al. Funcional response of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) to *Spodoptera frugiperda* (Lepodoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (6): 1175–1180. [范悦莉, 谷星慧, 洗继东, 等. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (6): 1175–1180]
- Fu YG, Geng ZL, Zhang FP, et al. Effects of temperature on predatory functional responses of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus piercei* adults [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26 (9): 1397–1401. [符悦冠, 耿召良, 张方平, 等. 温度对拟小食螨瓢虫捕食皮氏叶螨成螨功能反应的影响 [J]. 生态学杂志, 2007, 26 (9): 1397–1401]
- Geng ZL. Biological and Ecological Characteristics of *Stethorus (Allosethorus) parapauperculus* and Its Predation Efficiency on *Tetranychus piercei* [D]. Danzhou: South China University of Tropical Agriculture, 2004. [耿召良. 拟小食螨瓢虫生物学及对皮氏叶螨的捕食效能研究 [D]. 儋州: 华南热带农业大学硕士论文, 2004]
- Geng ZL, Wu WJ, Ma HB, et al. Effects of temperature on the development and fecundity of *Stethorus (Allosethorus) parapauperculus* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (2): 280–285. [耿召良, 吴伟坚, 马华博, 等. 温度对拟小食螨瓢虫发育和繁殖的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (2): 280–285]
- Hassell MP, Varley GC. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control [J]. *Nature*, 1969, 223 (5211): 1133–1137.
- Holling CS. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. *Canadian Entomologist*, 1959, 91 (7): 385–398.
- Jia JJ, Chen JY, Zhang FP, et al. Function response of *Neoseiulus californicus* feeding on *Eotetranychus sexmaculatus* at different temperatures [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 857–865. [贾静静, 陈俊谕, 张方平, 等. 加州新小绥螨在不同温度下对六点始叶螨的捕食效能 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 857–865]
- Li Y, Meng L, Li BP. Effects of starvation stress on larval developmental performances of *Harmonia axyridis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32 (2): 149–154. [李阳, 孟玲, 李保平. 饥饿胁迫对异色瓢虫幼虫发育的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32 (2): 149–154]
- Lu YH, Yang QF. Evaluation of dominant natural enemies preying on *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32 (4): 556–560. [卢永宏, 杨群芳. 朱砂叶螨优势种天敌昆虫的评价 [J]. 环境昆虫学报, 2010, 32 (4): 556–560]
- Ma HB, Chen JY, Hu ZH, et al. Predatory behavior of *Stethorus parapauperculus* adult on *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (2): 293–298. [马华博, 陈俊谕, 胡志慧, 等. 拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨的觅食行为 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (2): 293–298]
- Ma M, Zhang B, Li SC. Control efficiency of *Hylyphantes graminicola* in different extent of starvation to *Lipaphis erysimi* [J]. *Jinlin Agricultural*, 2010, 11: 59–61. [马敏, 张宾, 李生才. 不同饥饿程度的草间小黑蛛的成蛛对甘蓝蚜的捕食作用 [J]. 吉林农业, 2010, 11: 59–61]
- Phongsakorn Chana. Functional Response of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) Preying on Mixed Prey [D]. Shaanxi: Northwest Agriculture and Forestry University, 2019. [Phongsakorn Chana. 异色瓢虫捕食混合猎物的功能反应 [D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2019]
- Sabelis W. How to analyse prey preference when prey density varies? A new method to discriminate between effects of gut fullness and prey type composition [J]. *Oecologia*, 1990, 82 (3): 289–298.
- van Gils JA, Schenk IW, Boso, et al. Incompletely informed shorebirds that face a digestive constraint maximize net energy gain when exploiting patches [J]. *American Naturalist*, 2003, 161 (5): 777–793.
- Wang MY. Mechanism Analysis of UGT201D3 Associated with Abamectin Resistance in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [D]. Chongqing: Southwest University, 2018. [王梦瑶. 朱砂叶螨 UGT201D3 基因参与阿维菌素抗药性的机制研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2018]
- Wang SL, Zhang YJ, Xu BY, et al. Feeding preferences of carmine

- spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*, on different host plants [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (3): 315 – 320. [王少丽, 张友军, 徐宝云, 等. 朱砂叶螨对不同蔬菜寄主的取食选择性 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (3): 315 – 320]
- Wu HC, Cheng XN, Zou YD. Predation on *Myzus persicae* by *Propylaea japonica* adults with different extents of starvations [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 (5): 749 – 752. [巫厚长, 程遐年, 邹运鼎. 不同饥饿程度的龟纹瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (5): 749 – 752]
- Wu HC, Cheng XN, Zou YD, et al. Predation of *Harmonia axyridis* adults on different ranges of starvation to *Myzus persicae* [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2000, 27 (4): 348 – 351. [巫厚长, 程遐年, 邹运鼎, 等. 不同饥饿程度的异色瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用 [J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27 (4): 348 – 351]
- Wu KJ, Sheng CF, Gong PY. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it [J]. *Entomological Knowledge*, 2004, 41 (3): 267 – 269. [吴坤君, 盛乘发, 龚佩瑜. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算 [J]. 昆虫知识, 2004, 41 (3): 267 – 269]
- Xin TR, Lian T, Li XE, et al. Sublethal effects of diflubenzuron on the growth and reproduction of an experimental population of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 736 – 743. [辛天蓉, 练涛, 李雪儿, 等. 亚致死浓度除虫脲对朱砂叶螨生长和繁殖的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 736 – 743]
- Xing CM, Han DY, Li L, et al. Effects of functional response of *Stethorus parapauperculus* to *Oligonychus mangiferus* at different temperature [J]. *Fruit Tree of Southern China*, 2018, 47 (3): 77 – 79. [邢楚明, 韩东银, 李磊, 等. 温度对拟小食螨瓢虫捕食芒果小爪螨功能反应的影响 [J]. 中国南方果树, 2018, 47 (3): 77 – 79]
- Yan L, Wang Q, Xu QN. The joint toxicity effect of bifenazate and bifenthrin against *Teranychus cinnabarinus* [J]. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 2018, 24 (6): 530 – 533. [严柳, 王琴, 许巧楠. 联苯腈酯与联苯菊酯混配对朱砂叶螨的联合毒力作用 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2018, 24 (6): 530 – 533]
- Zhang FP, Han DY, Zhang JB, et al. Predation of *Stethorus parapauperculus* on *Eotetranychus sexmaculatus* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (6): 1236 – 1239. [张方平, 韩冬银, 张敬宝, 等. 拟小食螨瓢虫捕食六点始叶螨的初步观察 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (6): 1236 – 1239]
- Zhang HP, Pan MZ, Yi ZJ, et al. Effects of short term starvation on longevity, fecundity and predation of *Arma chinensis* (Hemiptera: Pentatomidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (2): 159 – 164. [张海平, 潘明真, 易忠经, 等. 短期饥饿处理对蝽蟊寿命、繁殖力及捕食量的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (2): 159 – 164]