

西花蓟马对双尾新小绥螨捕食土耳其斯坦叶螨能力的影响*

胡恒笑** 母凯琴 方 晨 唐思琼 苏 杰*** 张建萍***

(石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832000)

摘 要 【目的】为探究在利用双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 控害土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* (Ugarov et Nikolskii)时, 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Perganda)的存在是否会对捕食能力产生影响。【方法】以土耳其斯坦叶螨各个螨态(卵、幼螨、若螨、雌成螨)与西花蓟马 I 龄若虫分别以 20 : 1、10 : 1 以及 5 : 1 共存(以只有土耳其斯坦叶螨的处理为对照), 评估双尾新小绥螨在西花蓟马 I 龄若虫存在下对土耳其斯坦叶螨捕食能力的变化。【结果】西花蓟马的存在不会改变双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的功能反应类型, 捕食螨对各处理中目标猎物的功能反应类型仍符合功能 II 型。与对照相比, 土耳其斯坦叶螨各螨态分别与西花蓟马 5 : 1 共存时, 双尾新小绥螨对叶螨卵和幼螨的攻击系数(a)显著降低, 处理时间(T_h)显著减少、对叶螨若螨和雌成螨的处理时间(T_h)显著增加($P < 0.05$)。西花蓟马存在下, 双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的取食率受到叶螨螨态的显著影响($P < 0.05$)。取食偏好指数 D 值显示, 随着土耳其斯坦叶螨密度以及西花蓟马存在比例的增大, 双尾新小绥螨对叶螨卵的偏好增强, 对雌成螨的偏好降低。【结论】土耳其斯坦叶螨与西花蓟马 5 : 1 共存时, 西花蓟马的存在会影响双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食能力。

关键词 双尾新小绥螨; 功能反应; 非目标猎物; 生物防治

The predation capacity of *Neoseiulus bicaudus* on *Tetranychus turkestanii* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

HU Heng-Xiao** MU Kai-Qin FANG Chen TANG Si-Qiong SU Jie*** ZHANG Jian-Ping***

(Agriculture College of Shihezi University, Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, Shihezi 832000, China)

Abstract [Aim] To explore whether the presence of *Frankliniella occidentalis* (Perganda) affects the predation capacity of *Neoseiulus bicaudus* Wainstein on *Tetranychus turkestanii* (Ugarov et Nikolskii). [Methods] To determine the predation efficiency of *N. bicaudus* on *T. turkestanii* in the presence of *F. occidentalis*, different developmental stages of *T. turkestanii* (egg, larva, nymph, and adult female) were collected and placed into cages with 1st instar *F. occidentalis* at ratios of 20 : 1, 10 : 1 and 5 : 1. *T. turkestanii* alone served as the control group. *F. occidentalis* was then introduced to the treatment and control groups. [Results] The functional response of *N. bicaudus* to *T. turkestanii* remained consistent in the presence of *F. occidentalis*, continuing to exhibit a type-II response. Compared to the control group, the attack rate (a) and handling time (T_h) of *N. bicaudus* on the *T. turkestanii* eggs and larvae significantly decreased. In contrast, there was a significant increase in the handling time (T_h) of *N. bicaudus* for *T. turkestanii* nymphs and adult females in the 5 : 1 *F. occidentalis* treatment group ($P < 0.05$). The presence of *F. occidentalis* had a significant effect on the feeding rate of *N. bicaudus* on *T. turkestanii* ($P < 0.05$).

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (32060635); 国家重点研发项目 (2022YFD1400300); 自治区重大科技专项 (2022A02005-3); 棉花生物学国家重点实验室开放课题 (CB2022A18)

**第一作者 First author, E-mail: 1696528037@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: moonjacy@live.com; zhip_agr@shzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-01-12; 接受日期 Accepted: 2023-03-23

The feeding preference index D indicated that as the density of *T. turkestanii* and proportion of *F. occidentalis* increased, *N. bicaudus* showed an increased preference for *T. turkestanii* egg, but decreased preference for *T. turkestanii* female adults.

[Conclusion] *T. turkestanii* coexisting with *F. occidentalis* at a ratio of 5 : 1 affects the predation of *N. bicaudus* on *T. turkestanii*.

Key words *Neoseiulus bicaudus*; functional response; non-target prey; biological control

土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* (Ugarov et Nikolskii) 和西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Perganda) 是在世界范围内均有一定程度发生的多食性有害生物, 为农业上重要的经济害虫 (螨) (Kirk and Terry, 2003)。土耳其斯坦叶螨作为北疆地区优势害螨种群可为害棉花、玉米、蔬菜等 25 科 150 多种植物, 被害植株严重时叶片呈现紫红色斑块, 后期皱缩畸形直至干枯脱落 (王旭疆等, 1999)。西花蓟马自 2007 年传入新疆后, 便开始在全疆各地扩散, 严重为害棉花、辣椒、黄瓜等农作物 (郑长英等, 2007; 杨华等, 2010)。其寄主植物多达 60 多科 500 多种, 以锉吸式口器刺吸寄主植物的汁液, 造成叶片出现银白色斑点, 严重影响寄主的光合作用, 并在为害的同时传播多种植物病毒 (陆亮等, 2009; 徐学农等, 2011)。

双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 是一种本地捕食螨, 具有发育历期短、繁殖速度快和捕食能力强等优点 (Wang et al., 2015), 能够捕食叶螨、烟粉虱、蓟马等多种小型害虫 (螨) (董芳等, 2019; 韩国栋等, 2020; 朱安迪等, 2022)。实验室前期的研究显示, 在大田棉花和温室蔬菜上通过人工释放双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨起到了较好的控害作用 (董芳等, 2019; 符振实等, 2019)。

在大田作物和温室蔬菜中, 常存在蓟马与叶螨共同发生的情况 (徐学农等, 2011; 徐淑华等, 2021)。研究显示, 西花蓟马对二斑叶螨为害的植株具有一定的偏好作用, 且二者存在由食物源产生的直接竞争关系。此外, 两种害虫同时发生时西花蓟马的生物防治效果会受到影响 (彭孝琴等, 2023)。经实验室前期调查结果显示, 土耳其斯坦叶螨和西花蓟马在蔬菜如茄子、黄瓜、豆角以及棉花等作物上均会混合发生, 但是目前尚缺少对这两种害虫发生情况的具体研究, 施用化学药剂对二者进行防治的方法极易产生 “3R”

问题, 利用害虫天敌进行生物防治是这两种害虫综合防控的重要组成部分。然而目前捕食螨释放技术大多数以目标害虫的发生基数以及该天敌对目标害虫的控害能力, 确定大田释放量和释放时间, 然后以一定益害比和次数释放捕食螨。当西花蓟马作为双尾新小绥螨的非防治目标猎物存在时, 对于其控害目标猎物的能力存在怎样的作用? 是否会影响双尾新小绥螨的捕食能力? 如何影响? 捕食类型是否发生变化? 对于生物防治效果来说, 非目标猎物的存在可能会减少天敌对目标生物的生态影响。“替代” 猎物的存在可能会影响捕食者对目标害虫的控制效率 (Fitzgerald and Jay, 2013)。如 Desneux 和 Neil (2008) 在研究利用多食性捕食者小花螯防治靶标猎物蚜虫时发现, 小花螯对蚜虫的捕食作用会随着替代猎物大豆蓟马 *Megalurothrips sjostadti* (Trybom) 密度的增加而减弱。越来越多的研究表明, 实验室条件下单一猎物-捕食者体系下的功能反应试验所得出的结论不足以支持在田间复合种群存在时的表现 (徐学农等, 2013)。因此, 研究非目标猎物存在对双尾新小绥螨控制目标猎物的影响效应对于探讨天敌对多猎物选择性机理以及捕食模型有着重要意义, 也对于多种猎物共存时, 天敌对目标害虫控制的评价更加科学和准确。

本研究分别以土耳其斯坦叶螨各个螨态作为目标猎物, 西花蓟马 I 龄若虫作为非目标猎物, 评估了西花蓟马存在条件下对双尾新小绥螨捕食土耳其斯坦叶螨功能反应的影响, 比较了土耳其斯坦叶螨和西花蓟马以不同比例共存时, 双尾新小绥螨捕食土耳其斯坦叶螨功能反应参数的变化, 并分析了影响捕食率的因素, 以及双尾新小绥螨在不同处理的猎物系统对土耳其斯坦叶螨的取食偏好, 为后续深入研究双尾新小绥螨控害能力以及释放技术提供一定的理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试植物及螨(虫)源

供试植物:菜豆 *Phaseolus vulgaris* 种子购买自新疆天成有限公司,于实验室内使用 15 cm 营养钵种植。

土耳其斯坦叶螨:于石河子大学农学院试验站棉花上采集,在实验室内使用菜豆作为寄主植物进行饲养、扩繁多代。

西花蓟马:根据朱安迪等(2022)研究结果,双尾新小绥螨对西花蓟马 I 龄若虫捕食能力最好,基本不捕食西花蓟马 II 龄若虫和预蛹且 II 龄若虫和预蛹具备一定的防御被取食能力,因此本研究使用 I 龄若虫作为非目标猎物。成虫采集自石河子大学农学院温室蓖麻叶片上, I 龄若虫于室内采用叶碟法获得(朱安迪等, 2022):使用菜豆叶片制成叶碟,并添加一定量的玫瑰花粉作为补充营养(沈登容等, 2012),接入 20 头左右西花蓟马成虫,于光照培养箱内[A10000 型,上海泽泉科技股份有限公司,温度:(26±1)℃,湿度:70%±10%,光周期 16 L:8 D],使其产卵 24 h 后移除成虫,继续培养 2 d 后即可获得龄期一致的 I 龄若虫。

双尾新小绥螨:2013 年采集自新疆伊犁杏树芽鳞,于实验室内以土耳其斯坦叶螨进行饲养,建立试验种群。

1.2 试验方法

土耳其斯坦叶螨选取卵、幼螨、若螨以及雌成螨 4 个螨态,卵的密度设置为:20、40、80、120、160 和 180 粒/室;幼螨及若螨密度设置:20、40、60、80、100 和 120 头/室;雌成螨密度设置:10、20、30、40、50 和 60 头/室。西花蓟马 I 龄若虫分别按照土耳其斯坦叶螨各螨态 vs. 西花蓟马为 20:1、10:1、5:1 存在。根据前期研究结果,双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨雌成螨的捕食量最大为 5.6 头/d(王振辉等, 2015),因此雌成螨的密度设置相对较低,且部分密度与西花蓟马 I 龄若虫存在比例为 20:1 时,蓟马的存在数不是整数或小于 1,因此西花

蓟马 I 龄若虫仅设置 10:1 和 5:1 两个比例与土耳其斯坦叶螨共存。不添加西花蓟马 I 龄若虫的处理作为对照,共 24 个对照,72 个试验处理,每个处理 10 次重复。

将两种猎物按照不同的处理挑入小室(朱安迪等, 2022)后,再向小室内挑入 1 头饥饿 24 h 的双尾新小绥螨雌成螨,将小室置于恒温光照培养箱内[温度:(26±1)℃,湿度:70%±10%,光周期 16L:8D],待其取食 24 h 后,记录各猎物的被取食数。

1.3 数据分析

1.3.1 功能反应 通过猎物被取食量与猎物密度之间的逻辑斯蒂回归分析确定捕食功能反应类型(Juliano, 2001):

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(p_0 + p_1 N_0 + p_2 N_0^2 + p_3 N_0^3)}{1 + \exp(p_0 + p_1 N_0 + p_2 N_0^2 + p_3 N_0^3)}$$

N_0 为猎物初始密度, N_e 为猎物被取食数。 P_0 、 P_1 、 P_2 和 P_3 为常数,分别使用最大似然法估计截距系数、线性系数、二次系数和三次系数。如果 $P_1=0$,功能反应属于 I 型,捕食者的取食量随着猎物密度的增加而直线上升;如果 $P_1<0$,功能反应属于 II 型,捕食者的取食量随着猎物密度的增加而增大,并趋于稳定;若 $P_1>0$, $P_2<0$,则属于 III 型功能反应,捕食者的取食量随着猎物密度的增加呈“S”型波动。

在确定了响应曲线类型后,用非线性最小二乘回归对 Rogers 随机捕食者方程估计试验所涉及的参数(Rogers, 1972):

$$N_e = N_0[1 - \exp(a(T_h N_e - T))]$$

a 为攻击系数(Attack rate), T_h 为处理时间(Handling time), T 为捕食者在试验中所用的总时间(本文中 $T=1$ d)。

1.3.2 寻找效应 双尾新小绥螨对不同试验处理中目标猎物的寻找效应使用寻找效应模型进行评估(Holling, 1966):

$$S = \frac{a}{1 + a T_h N_0}$$

1.3.3 影响因素分析 西花蓟马存在条件下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食作用使用

广义线性模型 (GLM) 进行分析。以西花蓟马存在比例、土耳其斯坦叶螨的螨态及其交互作用为固定因子, 捕食率为自变量。试验的影响因子和交互作用使用 95% 置信区间 (CL) 的似然比 (LR) 卡方检验进行评估 (Cuthbert *et al.*, 2022)。

1.3.4 取食偏好性 通过 D 值评估捕食螨在不同试验处理条件下对目标猎物的偏好 (Benhadi *et al.*, 2019):

$$D_a = [(a_d \times e) - (a_c \times d)] / [(a_d \times e) + (a_c \times d) - 2 \times (a_d \times a_c)]$$

a_d 表示物种 a 的被取食数、 a_c 表示物种 a 的初始密度、 e 表示各物种的初始数之和, d 表示各物种的被取食数之和。 $-1 < D < 1$, 接近 -1 说明该猎物为捕食者避免取食的类型, 接近于 1 表明该猎物为捕食者所偏好取食的类型。

统计分析采用 R 4.2.1 中 “frair” 软件包对随机捕食者方程中的参数进行回归确定 (Pritchard *et al.*, 2017), “car” 软件包对影响捕食率的因素进行似然比 (LR) 卡方检验 (Fox and Weisberg, 2011), 利用 Duncan 氏新复极差法对处理间的数据进行多重比较, 使用 Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 西花蓟马对双尾新小绥螨捕食土耳其斯坦叶螨功能反应的影响

仅存在叶螨卵时, 双尾新小绥螨对叶螨卵的捕食量随着猎物密度的增加而显著增大 ($P < 0.05$), 到 160 粒/室后不再显著增大 ($P > 0.05$)。当西花蓟马 I 龄若虫以 3 个比例与叶螨卵共存时, 在猎物密度较低时 (40 和 80 粒/室) 以猎物比例 5:1 存在, 显著降低了双尾新小绥螨对叶螨卵的捕食量, 由 (38.3 ± 0.57) 粒降低为 (27.9 ± 1.57) 粒、 (58.8 ± 1.29) 粒降低为 (43.5 ± 4.08) 粒 ($P < 0.05$) (图 1: A); 仅存在叶螨幼螨时, 双尾新小绥螨对叶螨幼螨的捕食量随着猎物密度的增加而显著增大 ($P < 0.05$), 在幼螨密度达到 80 头/室后, 其被捕食量不再显著增大 ($P > 0.05$)。当叶螨幼螨密度为 40 头/室时, 西花蓟马 I 龄若虫以猎物比例 5:1 存在, 显著降低捕食螨对幼螨的捕食量, 由 (37.9 ± 3.11) 头

降低为 (31.2 ± 1.47) 头 ($P < 0.05$) (图 1: B)。仅存在叶螨若螨时, 双尾新小绥螨对叶螨若螨的捕食量随着若螨密度的增加而显著增大 ($P < 0.05$), 当若螨密度到 100 头/室后, 其被捕食量不再显著增加 ($P > 0.05$)。在若螨密度达到 80 头/室后, 西花蓟马 I 龄若虫以猎物比例 5:1 存在能显著降低若螨的捕食量 ($P < 0.05$) (图 1: C)。双尾新小绥螨对叶螨雌成螨的捕食量随着猎物密度的增加而增大, 当雌成螨密度达到 40 头/室后, 其被捕食量不再显著增大 ($P > 0.05$)。西花蓟马 I 龄若虫 2 个比例存在, 均未显著改变雌成螨的捕食量 ($P > 0.05$) (图 1: D)。

西花蓟马 I 龄若虫以 3 个比例分别与土耳其斯坦叶螨共存时, 双尾新小绥螨对各处理中土耳其斯坦叶螨的捕食功能反应均属于 II 型, 西花蓟马 I 龄若虫的存在, 没有改变双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的功能反应类型 (表 1)。

相同螨态下, 与对照相比, 西花蓟马 I 龄若虫以 20:1 和 10:1 与叶螨卵和幼螨共存显著降低双尾新小绥螨对叶螨卵和幼螨的攻击系数 ($P < 0.05$), 以 5:1 与叶螨卵和幼螨共存极显著降低了双尾新小绥螨对二者的攻击系数 ($P < 0.05$); 西花蓟马 I 龄若虫与叶螨若螨和雌成螨 3 个比例共存未显著影响双尾新小绥螨对叶螨若螨和雌成螨的攻击系数 ($P > 0.05$) (表 2)。

与对照相比, 西花蓟马 I 龄若虫与叶螨卵和幼螨 5:1 存在, 显著减少双尾新小绥螨对叶螨卵和幼螨的处理时间 ($P < 0.05$), 与叶螨若螨和雌成螨 10:1 存在未显著影响双尾新小绥螨对叶螨若螨和雌成螨的处理时间 ($P > 0.05$), 以 5:1 共存显著增加双尾新小绥螨对叶螨若螨和雌成螨的处理时间 ($P < 0.05$) (表 2)。

同一螨态下, 双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨卵、幼螨的捕食效能随着西花蓟马 I 龄若虫存在比例的增加而降低; 对土耳其斯坦叶螨若螨以及雌成螨的捕食效能在猎物比例为 10:1 时最小。当西花蓟马 I 龄若虫存在时, 同一螨态下, 猎物比例为 10:1 时, 双尾新小绥螨对叶螨卵和幼螨的日最大捕食量最小且低于对照, 对叶螨若螨和雌成螨的日最大捕食量在猎物比例为 5:1 时最小且低于对照 (表 2)。

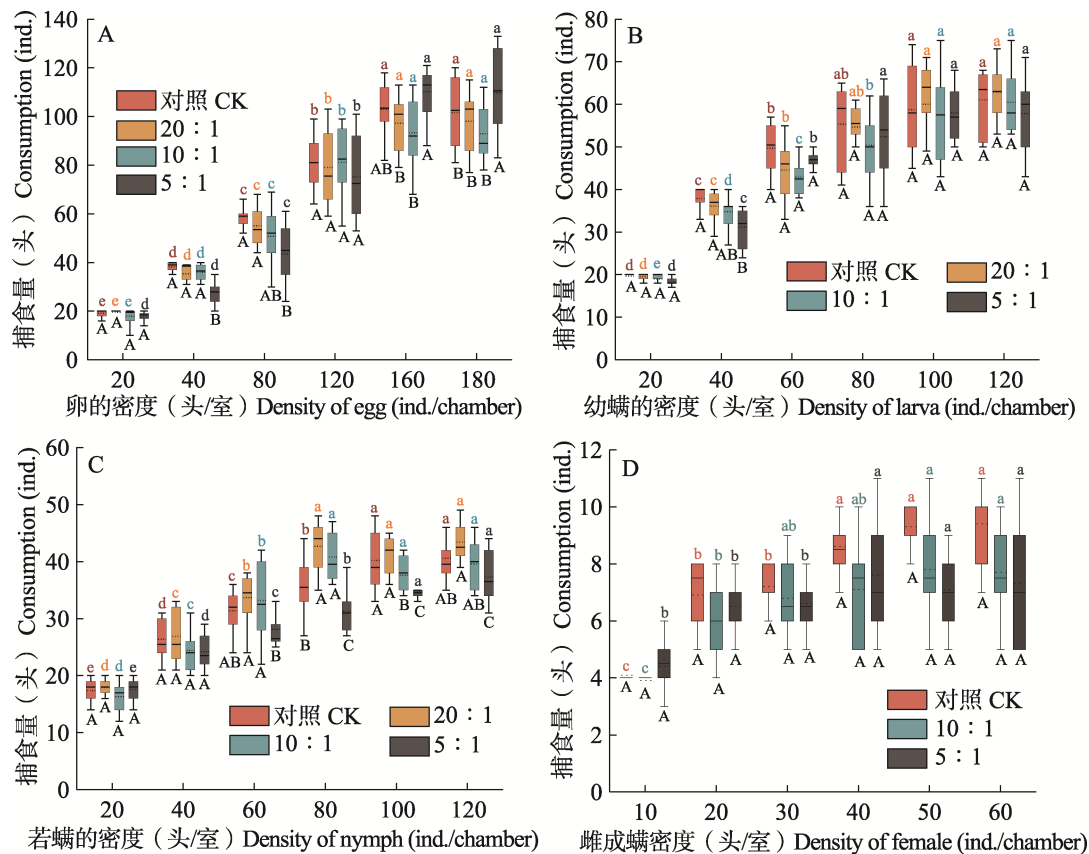


图 1 双尾新小绥螨在西花蓟马存在时对土耳其斯坦叶螨各螨态的捕食量

Fig. 1 Consumption of different stages of *Tetranychus turkestanii* consumed by *Neoseiulus bicaudus* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

箱线图显示数据的范围（上四分位数至下四分位数）、中位数（直线）和平均数（虚线）；不同小写字母表示同比例不同密度间差异显著（ $P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法检验），不同大写字母表示同密度不同比例之间差异显著（ $P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法检验）。

Box plots show the range of data (lower and upper quartiles), median (line) and mean (dotted line); Lowercase letters indicate significant difference between different densities at the same proportion ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test), and uppercase letters indicate significant difference between different proportions at the same density ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test).

2.2 西花蓟马存在下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的寻找效应

双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的寻找效应如图 2 所示，其对土耳其斯坦叶螨的卵（图 2：A）、幼螨（图 2：B）、若螨（图 2：C）和雌成螨（图 2：D）的寻找效应随着猎物密度的增大而降低。双尾新小绥螨对叶螨卵的寻找效应在同一密度下随着西花蓟马存在比例的增大而逐渐降低，对叶螨幼螨的寻找效应同一密度下不同处理之间差异不大，对叶螨若螨的寻找效应在密度达到 60 头/室后，5：1 处理低于对照和其它两个处理、对叶螨雌成螨的寻找效应在猎物密度达到

20 头/室后，随着密度的增加 10：1 和 5：1 两个处理均低于对照。

2.3 西花蓟马存在条件下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨取食率的影响

双尾新小绥螨在西花蓟马 I 龄若虫存在时对土耳其斯坦叶螨各螨态的取食率如图 3 所示，对各处理中叶螨卵、幼螨、若螨和雌成螨的捕食率均随着猎物密度的增加而降低。经 GLM 分析，西花蓟马 I 龄若虫存在下，双尾新小绥螨对土耳其斯坦的取食率受叶螨螨态的影响显著（ $P < 0.05$ ），西花蓟马的存在比例以及交互作用影响不显著（ $P > 0.05$ ）（表 3）。

表 1 西花蓟马存在下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨捕食功能逻辑斯蒂回归分析
Table 1 Logistic analysis of the functional response of *Neoseiulus bicaudus* to different stages of *Tetranychus turkestanii* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

土耳其斯坦叶螨 : 西花蓟马 <i>T. turkestanii</i> : <i>F. occidentalis</i>	处理 Treatment	参数 Coefficient	估值 Estimate	标准误 SE	Z 值 Z-value	与 z 值关联 的 P 值 $Pr(> z)$	显著性 Significance
卵 : I 龄若虫 Egg : 1st instar	对照 CK	P_1	- 0.011 47	0.000 68	- 16.813	$<2 \times 10^{-16}$	***
	20 : 1		- 0.010 09	0.000 64	- 15.687	$<2 \times 10^{-16}$	***
	10 : 1		- 0.009 78	0.000 63	- 15.592	$<2 \times 10^{-16}$	***
	5 : 1		- 0.001 21	0.000 57	- 2.1214	3.39×10^{-2}	*
幼螨 : I 龄若虫 Larva : 1st instar	对照 CK	P_1	- 0.028 89	0.001 42	- 20.397	$<2 \times 10^{-16}$	***
	20 : 1		- 0.022 49	0.001 30	- 17.340	$<2 \times 10^{-16}$	***
	10 : 1		- 0.020 33	0.001 23	- 16.506	$<2 \times 10^{-16}$	***
	5 : 1		- 0.001 21	0.000 57	- 2.1214	$<2 \times 10^{-16}$	*
若螨 : I 龄若虫 Nymph : 1st instar	对照 CK	P_1	- 0.017 68	0.001 11	- 15.967	$<2 \times 10^{-16}$	***
	20 : 1		- 0.018 35	0.001 12	- 16.380	$<2 \times 10^{-16}$	***
	10 : 1		- 0.017 50	0.001 11	- 15.823	$<2 \times 10^{-16}$	***
	5 : 1		- 0.017 62	0.001 11	- 15.933	$<2 \times 10^{-16}$	***
雌成螨 : I 龄若虫 Female : 1st instar	对照 CK	P_1	- 0.024 84	0.003 48	- 7.139	9.43×10^{-13}	***
	10 : 1		- 0.027 55	0.003 66	- 7.528	5.15×10^{-14}	***
	5 : 1		- 0.032 64	0.003 68	- 8.877	$<2 \times 10^{-16}$	***

* 表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著, ***表示在 $P < 0.001$ 水平差异极显著 (Z 检验)。

* indicates significant difference at $P < 0.05$ level, *** indicates extremely significant difference at $P < 0.001$ level (Z-test).

表 2 西花蓟马存在下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨各螨态的捕食功能参数
Table 2 Estimates of functional response parameter of *Neoseiulus bicaudus* to different stages of *Tetranychus turkestanii* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

土耳其斯坦叶螨 : 西花蓟马 <i>T. turkestanii</i> : <i>F. occidentalis</i>	处理 Treatment	攻击系数 (a) Attack rate	处理时间 (T_h) (d) Handling time (d)	日最大捕食 捕食效能 (a/T_h) ($1/T_h$) 量 (头) Maximum consumption (ind.)		功能反应方程 Functional response equation
				捕食效能 (a/T_h) Predation efficacy	量 (头) ($1/T_h$) Maximum consumption (ind.)	
卵 : I 龄若虫 Egg : 1st-instar	对照 CK	3.04±0.18 a	0.007 18±0.000 28 a	423.40	139.28	$N_e = N_0[1 - \exp(0.021N_e - 3.04)]$
	20 : 1	2.56±0.15 b	0.007 13±0.000 31 a	359.05	140.25	$N_e = N_0[1 - \exp(0.018N_e - 2.56)]$
	10 : 1	2.34±0.13 b	0.007 19±0.000 32 a	325.45	139.08	$N_e = N_0[1 - \exp(0.016N_e - 2.34)]$
	5 : 1	1.14±0.06 c	0.001 18±0.000 51 b	966.10	847.46	$N_e = N_0[1 - \exp(0.001N_e - 1.14)]$
幼螨 : I 龄若虫 Larva : 1st-instar	对照 CK	6.38±0.55 a	0.014 62±0.000 40 a	436.39	68.40	$N_e = N_0[1 - \exp(0.096N_e - 6.38)]$
	20 : 1	4.26±0.34 b	0.013 45±0.000 48 ab	316.73	74.35	$N_e = N_0[1 - \exp(0.055N_e - 4.26)]$
	10 : 1	3.67±0.30 bc	0.013 85±0.000 54 ab	264.98	72.20	$N_e = N_0[1 - \exp(0.051N_e - 3.67)]$
	5 : 1	3.01±0.21 c	0.012 69±0.000 54 b	237.19	78.80	$N_e = N_0[1 - \exp(0.036N_e - 3.01)]$
若螨 : I 龄若虫 Nymph : 1st-instar	对照 CK	2.81±0.30 a	0.021 68±0.000 93 b	129.61	46.13	$N_e = N_0[1 - \exp(0.062N_e - 2.81)]$
	20 : 1	2.80±0.27 a	0.019 18±0.000 83 c	145.99	52.14	$N_e = N_0[1 - \exp(0.053N_e - 2.80)]$
	10 : 1	2.27±0.22 a	0.019 89±0.000 93 bc	114.13	50.28	$N_e = N_0[1 - \exp(0.045N_e - 2.27)]$
	5 : 1	3.18±0.41 a	0.026 06±0.001 08 a	122.03	38.37	$N_e = N_0[1 - \exp(0.083N_e - 3.18)]$
雌成螨 : I 龄若虫 Female : 1st-instar	对照 CK	0.85±0.19 a	0.083 93±0.009 77 b	10.13	11.91	$N_e = N_0[1 - \exp(0.071N_e - 0.85)]$
	10 : 1	0.90±0.24 a	0.106 87±0.011 86 ab	8.42	9.36	$N_e = N_0[1 - \exp(0.096N_e - 0.90)]$
	5 : 1	1.34±0.43 a	0.119 32±0.011 01a	11.23	8.38	$N_e = N_0[1 - \exp(0.159N_e - 1.34)]$

表中数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示相同螨态下不同处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法检验)。

Data in the table are mean ± SE, and followed by different lowercase letters indicate significant difference among different treatments under the same mite state ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test).

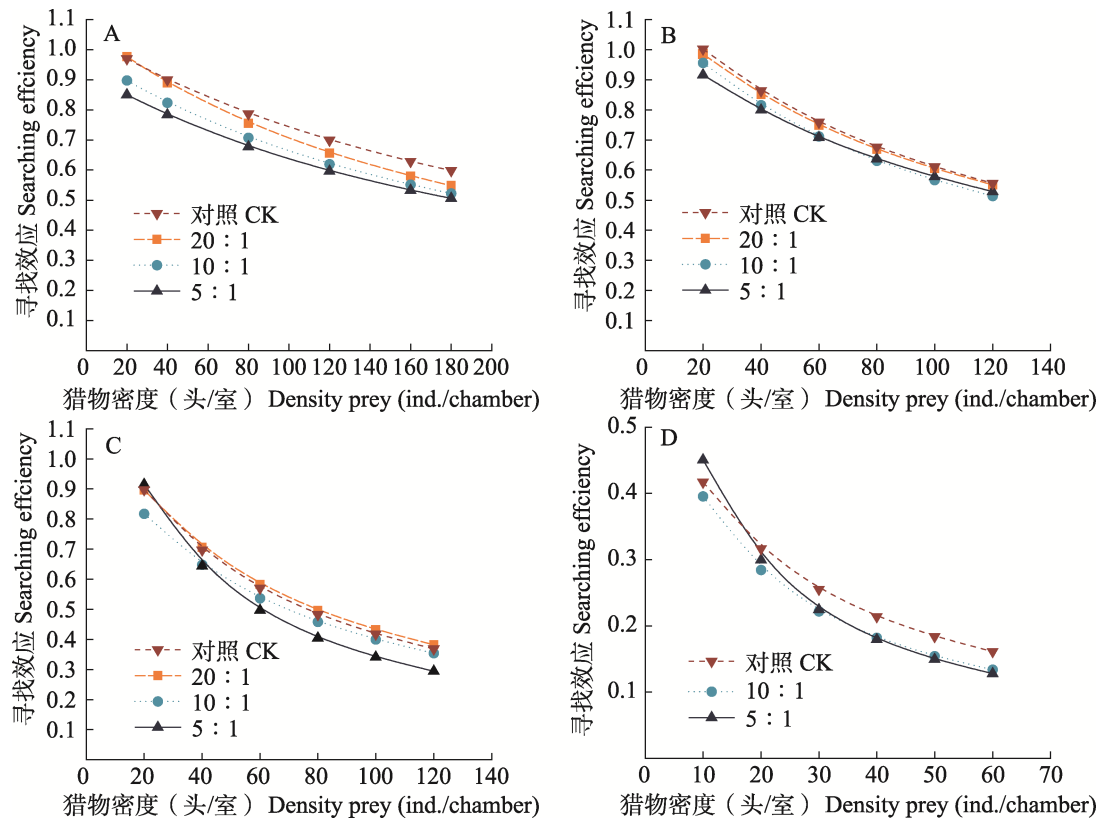


图 2 西花蓟马存在下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的寻找效应

Fig. 2 The searching efficacy of *Neoseiulus bicaudus* to different stages of *Tetranychus turkestanii* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

A. 土耳其斯坦叶螨卵; B. 土耳其斯坦叶螨幼螨; C. 土耳其斯坦叶螨若螨; D. 土耳其斯坦叶螨雌成螨。
A. Egg of *T. turkestanii*; B. Larva of *T. turkestanii*; C. Nymph of *T. turkestanii*; D. Adult female of *T. turkestanii*.

2.4 双尾新小绥螨对西花蓟马和土耳其斯坦叶螨的取食偏好

双尾新小绥螨对各处理中猎物的取食偏好, 用选择指数 D 值进行评估, D 值的取值范围为 -1 到 1 , D 值大小接近 -1 说明该猎物为捕食螨回避取食的类型, 接近于 1 表明该猎物为捕食螨偏好取食的类型。西花蓟马 I 龄若虫以猎物比例 $20:1$ 以及 $5:1$ 与土耳其斯坦叶螨卵共存时, 当猎物密度较低时, 双尾新小绥螨偏好取食西花蓟马 I 龄若虫, 随着猎物密度增大, 双尾新小绥螨转为偏好取食土耳其斯坦叶螨卵 (图 4: A)。西花蓟马 I 龄若虫分别与土耳其斯坦叶螨幼螨、若螨共存时, 各处理中 D 值始终大于 0 , 西花蓟马的存在未改变双尾新小绥的取食偏好, 双尾新小绥螨始终偏好取食土耳其斯坦叶螨的幼螨和若螨 (图 4: B, C)。西花蓟马 I 龄若虫以猎物

比例 $10:1$ 和 $5:1$ 与土耳其斯坦叶螨雌成螨共存, 当猎物密度增加到 40 头/室后, 双尾新小绥螨由偏好取食土耳其斯坦叶螨雌成螨转为偏好取食西花蓟马 I 龄若虫 ($D < 0$) (图 4: D)。

3 讨论

功能反应是量化天敌-猎物之间相互作用强度的经典方法, 作为衡量食料的利用和密度之间关系的一种手段, 功能反应能够在广泛的生物和非生物环境下阐明密度依赖性。反之, 通过分析功能反应的形式和类型能够推断出食饵系统稳定性的含义 (Dick *et al.*, 2014; Hassell, 2020)。双尾新小绥螨对不同猎物系统中目标猎物的功能反应均符合 II 型, 西花蓟马 I 龄若虫的存在并不会改变双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的功能反应类型, 这与 Phongsakorn (2019) 的研究

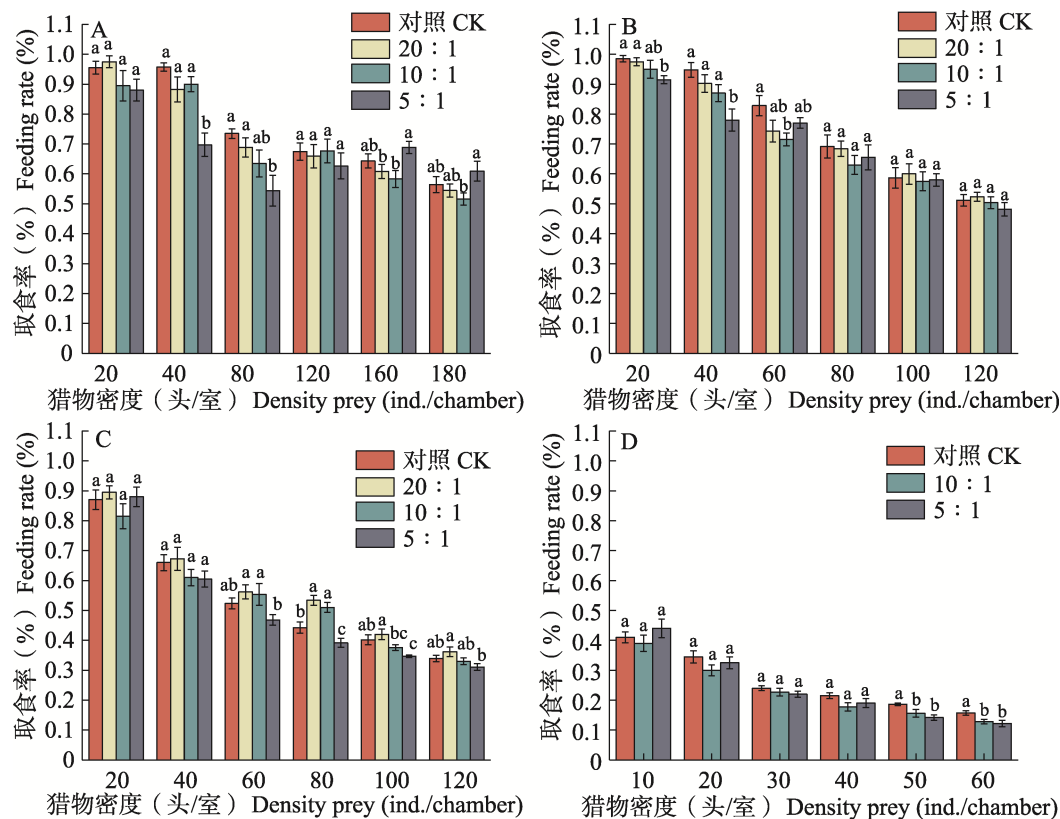


图3 西花蓟马存在下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的取食率
Fig. 3 The feeding rate of *Neoseiulus bicaudus* to different stages of *Tetranychus turkestanii* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

A. 土耳其斯坦叶螨卵; B. 土耳其斯坦叶螨幼螨; C. 土耳其斯坦叶螨若螨; D. 土耳其斯坦叶螨雌成螨。
柱上标有不同小写字母表示同一密度不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法检验)。
A. Egg of *T. turkestanii*; B. Larva of *T. turkestanii*; C. Nymph of *T. turkestanii*; D. Adult female of *T. turkestanii*.
Lowercase letters above bars indicate significant difference among different treatments under the same density ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test).

表3 西花蓟马存在下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨捕食率的方差分析结果
Table 3 Summary of ANOVA result of *Tetranychus turkestanii* consumed by *Neoseiulus bicaudus* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

来源 Sources	因素 Factor	似然比 LR χ^2	df	P
蓟马存在比例 (P) Proportion of thrips (P)	所有螨态 All stage of mites	4.629	3	0.201
	叶螨卵 Egg	0.300 34	3	0.960
	叶螨幼螨 Larva	0.194 84	3	0.978
	叶螨若螨 Nymph	0.306 43	3	0.959
	叶螨成螨 Female	0.106 87	2	0.948
叶螨螨态 (S) Stages of mites (S)	所有比例 All proportion of thrips	57.152	3	<0.001
	对照 CK	41.912	3	<0.001
	20 : 1	55.717	3	<0.001
	10 : 1	41.417	3	<0.001
	5 : 1	43.069	3	<0.001
P×S	-	0.179	8	0.835

LR: Likelihood ratio.

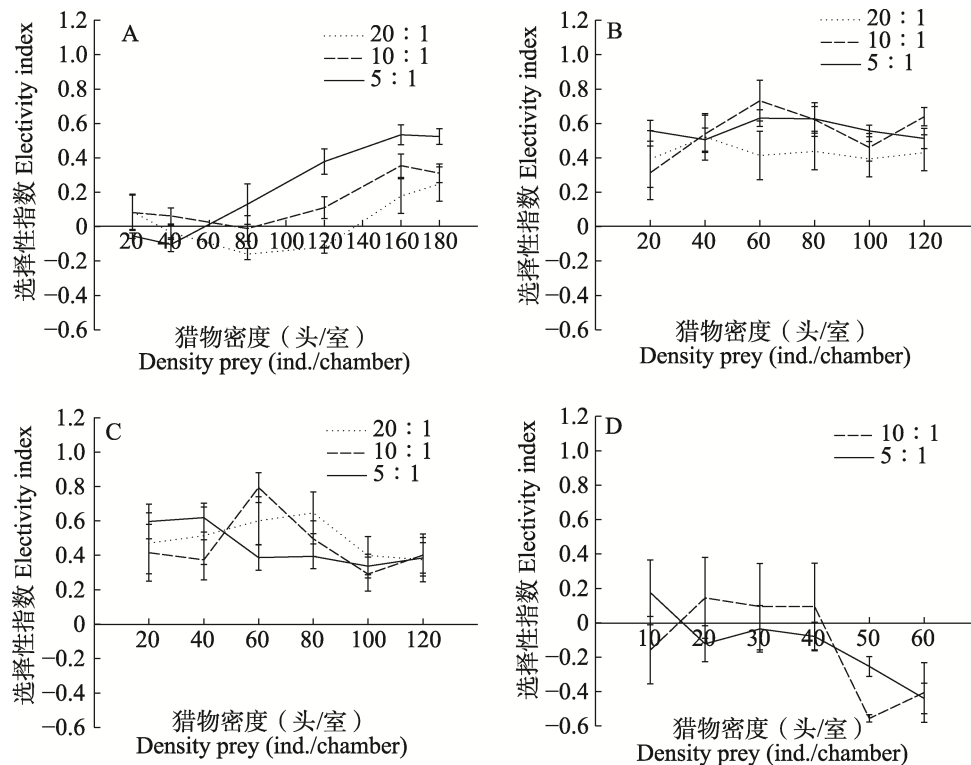


图 4 西花蓟马存在下双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的偏好性

Fig. 4 The electivity of *Neoseiulus bicaudus* to different stages of *Tetranychus turkestanii* in the presence of *Frankliniella occidentalis*

A. 土耳其斯坦叶螨卵; B. 土耳其斯坦叶螨幼螨; C. 土耳其斯坦叶螨若螨; D. 土耳其斯坦叶螨雌成螨。
A. Egg of *T. turkestanii*; B. Larva of *T. turkestanii*; C. Nymph of *T. turkestanii*; D. Adult female of *T. turkestanii*.

结果一致。但也有研究显示,当环境中存在替代猎物时,天敌对于目标猎物的功能反应类型会发生转变,由功能Ⅱ型变为功能Ⅰ型或由功能Ⅰ型变为功能Ⅱ型(Steele, 1972; Murdoch and Oten, 1975)。Benhadi 等(2019)在研究3种不同类型的捕食性蜘蛛对于地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 的捕食作用时发现,替代猎物会使其中的两类蜘蛛改变其原有的功能反应类型。

在单捕食者-多猎物系统中,捕食者防治一种靶标有害生物时依赖于周围的环境,包括但不限于可供选择的猎物,且第二种、可供选择猎物的存在能够影响捕食者的控害能力(王成斌, 2018)。在本研究中,西花蓟马Ⅰ龄若虫以5:1存在能显著降低双尾新小绥螨对猎物密度为40头(粒)/室时叶螨卵和幼螨取食量($P<0.05$),显著降低猎物密度大于60头/室时对叶螨若螨的取食量($P<0.05$),对双尾新小绥螨捕食叶螨雌成螨的取食量未产生显著影响($P>0.05$)。这可

能是因为西花蓟马Ⅰ龄若虫以较高的比例存在时,一方面其作为双尾新小绥螨食物来源,为其提供了额外的能量,增大了捕食螨对土耳其斯坦叶螨的捕食;另一方面由于本研究试验时间为24 h,而西花蓟马的Ⅰ龄若虫最快12 h内就会发育成Ⅱ龄若虫,其具有较强的防御能力,双尾新小绥螨在对其捕食失败后,加大了对环境中土耳其斯坦叶螨的捕食。

天敌的捕食能力同样受到猎物的龄期、密度、替代猎物以及环境因素的影响。西花蓟马Ⅰ龄若虫的存在,会显著影响双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食能力,具体表现为同一螨态下与对照相比,猎物比例为20:1和10:1时,双尾新小绥螨对叶螨卵、幼螨的攻击系数(a)显著降低。猎物比例增大到5:1时双尾新小绥螨对叶螨卵和幼螨的攻击系数显著降低、处理时间(T_h)显著减少,对叶螨若螨和雌成螨的处理时间显著增加。由于西花蓟马Ⅰ龄若虫的密度同样

随着叶螨密度的增加而成比例的增加,因此可以用捕食者-猎物相遇率来解释单猎物和混合猎物系统之间捕食行为参数的变化 (Scharf *et al.*, 2008; Smout *et al.*, 2010)。

猎物的大小会显著影响捕食者的捕食偏好 (Samaneh *et al.*, 2016), 同时也应当考虑猎物的气味、体积和生物量等因素 (Peckarsky, 1980)。在本研究中西花蓟马的存在改变了双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨卵和雌成螨的取食偏好性。双尾新小绥螨对叶螨卵的偏好随着卵密度的增加以及西花蓟马存在比例的增大而减弱。这可能因为环境中低密度的叶螨卵并不能满足双尾新小绥螨的取食需求, 而西花蓟马 I 龄若虫其生物量明显大于叶螨的卵, 且 I 龄若虫的活动能力低, 防御能力差。西花蓟马以 10:1 和 5:1 两个比例存在下, 双尾新小绥螨的取食偏好均随着叶螨雌成螨密度的增大而偏好取食西花蓟马的 I 龄若虫。原因可能有两点, 一是叶螨雌成螨的体积比西花蓟马 I 龄大, 活动能力和防御能力都比较强, 不易被捕食; 二是高密度的土耳其斯坦叶螨更容易聚集, 并且产生一定量的丝网。McMurtry 和 Croft (1997) 研究表示, 大多数种类的植绥螨都会受到叶螨丝网密度的负面影响, 这也可部分解释为什么雌成螨的密度增大, 而双尾新小绥螨却更加偏好取食西花蓟马。双尾新小绥螨在西花蓟马 3 个比例的存在条件下, 始终偏好取食叶螨的幼螨和若螨, 而实验室前期的研究也表明双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的幼螨和若螨具有较高的取食选择性 (董芳等, 2019)。

因此, 在应用双尾新小绥螨防治土耳其斯坦叶螨时, 需在释放捕食螨前考虑到环境中叶螨螨态以及蓟马存在的比例情况, 选择在叶螨种群低龄期以及蓟马发生程度轻时, 释放捕食螨进行控害的效果最佳。当环境中土耳其斯坦叶螨与西花蓟马的存在比例超过 5:1 时, 应该适当增大双尾新小绥螨的释放量, 从而达到控害目的。

目前对于捕食者-猎物系统的功能反应研究主要集中于实验室条件下单一捕食者和单一猎物系统, 虽然对这些系统的简单研究有助于揭示种间基本的相互作用, 但在自然条件下的捕食者

-猎物之间的相互关系是非常复杂的, 尤其是涉及到系统中含有食性复杂的生物个体。在本研究中, 西花蓟马 I 龄若虫与土耳其斯坦叶螨卵 5:1 共存, 在叶螨卵的密度较高时, 其被消耗量甚至高于对照, 有研究发现蓟马在资源匮乏时存在取食叶螨的卵的现象 (岳臻等, 2013), 这种情况是否存在于本试验所研究的捕食者-猎物系统中还有待进一步的探究。其次本研究中未涉及到捕食者之间的相互作用, 传统的功能反应模型假设捕食者的捕食完全依赖于猎物的密度, 但是近年来, 越来越多的研究显示, 同种捕食者可以通过竞争等过程影响捕食过程 (Arditi and Ginzburg, 2012), 同时捕食功能反应只能测定捕食者在短时间内、单个个体之间的参数, 要想将研究结果应用于生产实践过程中, 还需要涉及田间种群动态的调查研究。因此, 相要彻底弄清土耳其斯坦叶螨、西花蓟马与其共有天敌-双尾新小绥螨之间的关系还有待更深入的研究。

参考文献 (References)

- Arditi R, Ginzburg LR, 2012. How Species Interact: Altering the Standard View on Trophic Ecology. Oxford: Oxford University Press. 192–193.
- Benhadi-Marín J, Pereira JA, Sousa JP, Santos SAP, 2019. Functional responses of three guilds of spiders: Comparing single and multiprey approaches. *Annals of Applied Biology*, 175(2): 202–214.
- Cuthbert RN, Kotronaki SG, Hütt JC, Renk E, Warlo N, Briski E, 2022. Do alternative resources dampen functional responses of native but not alien gammarids? *Ecology and Evolution*, 12(9): 262–269.
- Desneux N, Neil RJ, 2008. Potential of an alternative prey to disrupt predation of the generalist predator, *Orius insidiosus* on the pest aphid, *Aphis glycines*, via short-term indirect interactions. *Bulletin of Entomological Research*, 98 (6): 631–639.
- Dick JTA, Alexander ME, Jeschke JM, Ricciardi A, MacIsaac HJ, Robinson TB, Kumschick S, Weyl OLF, Dunn AM, Hatcher MJ, Paterson RA, Farnsworth KD, Richardson DM, 2014. Advancing impact prediction and hypothesis testing in invasion ecology using a comparative functional response approach. *Biological Invasions*, 16(4): 735–753.
- Dong F, Fu ZS, Wang JY, Su J, Chen J, Lu YH, Zhang JP, 2019. Evaluation of control effect of releasing *Neoseiulus bicaudus*

- Wainstein on the *Tetranychus turkestanii* (Ugarov et Nikolskii). *Xinjiang Agricultural Sciences*, 56(1): 1–12. [董芳, 符振实, 王嘉阳, 苏杰, 陈静, 陆宴辉, 张建萍, 2019. 双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨控制效果评价. *新疆农业科学*, 56(1): 1–12.]
- Fitzgerald J, Jay C, 2013. Implications of alternative prey on biocontrol of pests by arthropod predators in strawberry. *Biocontrol Science and Technology*, 23(4): 448–464.
- Fox J, Weisberg S, 2011. *An R Companion to Applied Regression*. Thousand Oaks: Sage publications. 418–419.
- Fu ZS, Su J, Dong F, Han GD, Zhang JP, 2019. Optimizing the release of *Neoseiulus bicaudus* to control *Tetranychus turkestanii* on string beans. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 750–759. [符振实, 苏杰, 董芳, 韩国栋, 张建萍, 2019. 双尾新小绥螨防治菜豆土耳其斯坦叶螨的释放技术研究. *应用昆虫学报*, 56(4): 750–759.]
- Han GD, Tang SQ, Su J, Chen J, Zhang JP, 2020. Prey preference of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* Wainstein (Phytoseiidae) on *Bemisia tabaci* and *Tetranychus turkestanii*. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(3): 347–352. [韩国栋, 唐思琼, 苏杰, 陈静, 张建萍, 2020. 双尾新小绥螨对烟粉虱和土耳其斯坦叶螨的捕食选择性. *中国生物防治学报*, 36(3): 347–352.]
- Hassell MP, 2020. *The Dynamics of Arthropod Predator-prey Systems*. New Jersey: Princeton University Press. 111.
- Holling CS, 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 98(48): 5–86.
- Juliano SA, 2001. Nonlinear curve fitting: Predation and functional response curves//Scheiner SM, Gurevitch J(eds.). *Design and Analysis of Ecological Experiments*. New York: Oxford University Press. 178–216.
- Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural and Forest Entomology*, 5(4): 301–310.
- Lu L, Du YZ, Li HB, Wang JJ, 2009. Advances in the virus disease transmitted by the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Plant Protection*, 35(2): 7–11. [陆亮, 杜予州, 李鸿波, 王建军, 2009. 西花蓟马传播病毒病的研究进展. *植物保护*, 35(2): 7–11.]
- McMurtry JA, Croft BA, 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology*, 42: 291–321.
- Murdoch WW, Oaten A, 1975. Predation and population stability. *Advances in Ecological Research*, 9: 1–131.
- Peckarsky BL, 1980. Predator-prey interactions between stoneflies and mayflies: Behavioral observations. *Ecology*, 61(4): 932–943.
- Peng XQ, Tu YF, Wang Y, Li YR, Cheng ZX, Cheng GH, Zhang XM, 2023. Seasonal dynamics and spatiotemporal niche of *Frankliniella occidentalis* and *Tetranychus urticae* on greenhouse chrysanthemum seedlings. *Chinese Journal of Ecology*, 43(4): 1–10. [彭孝琴, 涂艳芳, 王悦, 李宜儒, 陈志星, 陈国华, 张晓明, 2023. 温室菊苗上西花蓟马和二斑叶螨的季节动态及时空生态位. *生态学杂志*, 43(4): 1–10.]
- Phongsakorn C, 2019. Functional response of (*Harmonia axyridis*) (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) to mixed prey. Master dissertation. Yangling: Northwest A&F University. [Phongsakorn Chana, 2019. 异色瓢虫 (*Harmonia axyridis*) (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) 捕食混合猎物的功能反应. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Pritchard DW, Paterson RA, Bovy HC, Barrios OND, 2017. Friar: An R package for fitting and comparing consumer functional responses. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(11): 1528–1534.
- Rogers D, 1972. Random search and insect population models. *The Journal of Animal Ecology*, 41(2): 369.
- Samaneh S, Hakimitabar M, Seiedy M, 2016. Prey preference of predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Biocontrol Science & Technology*, 26(4): 562–569.
- Scharf I, Ovadia O, Bouskila A, 2008. Prey encounter rate by predators: Discussing the realism of grid-based models and how to model the predator's foraging mode: A reply to Avgar *et al.*. *The American Naturalist*, 172(4): 596–598.
- Shen DR, Zhang HR, Li ZY, He SY, 2012. Effects of foods on the growth and development of *Frankliniella occidentalis*. *Plant Protection*, 38(1): 55–59. [沈登荣, 张宏瑞, 李正跃, 和绍禹, 2012. 不同食物对西花蓟马生长发育的影响. *植物保护*, 38(1): 55–59.]
- Smout S, Asseburg C, Matthiopoulos J, Fernández C, Redpath S, Thirgood S, Harwood J, 2010. The functional response of a generalist predator. *PLoS ONE*, 5(5): e10761.
- Soleymani S, Hakimitabar M, Seiedy M, 2016. Prey preference of predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Biocontrol Science & Technology*, 26(4): 562–569.
- Steele JH, 1972. Factors controlling marine ecosystems//Dryssen D, Jagner D (eds.). *The Changing Chemistry of the Oceans* Wiley Interscience. New York: Academic Press. 209–221.
- Wang BM, Wang ZH, Jiang XH, Zhang JP, Xu XN, 2015. Re-description of *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae)

- newly recorded from Xinjiang, China. *Systematic & Applied Acarology*, 20(4): 455.
- Wang CB, 2018. Effects of mixed prey system on bioefficacy of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae). Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [王成斌, 2018. 混合猎物系统对巴氏新小绥螨生物效能的影响. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Wang XJ, Yuan LP, Wang YW, Wang LJ, 1999. Biological characteristics and integrated control of *Tetranychus turkestanii*. *Acta Arachnologica Sinica*, 8(1): 16–19. [王旭疆, 袁丽萍, 王永卫, 王丽菁, 1999. 土耳其斯坦叶螨的生物学特性及其综合防治. 蛛形学报, 8(1): 16–19.]
- Wang ZH, Li YT, Li T, Lu YH, Zhang JP, Xu XN, 2015. The morphology and predatory behavior of the mite *Neoseiulus bicaudus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 580–586. [王振辉, 李永涛, 李婷, 陆宴辉, 张建萍, 徐学农, 2015. 双尾新小绥螨的形态特征及捕食性功能. 应用昆虫学报, 52(3): 580–586.]
- Xu SH, Li TJ, Wang AJ, Wang XQ, Zhang YY, 2021. Evaluation of the control effect of predatory mites on thrips and spider mites in protected cucumber. *China Plant Protection*, 41(9): 65–66. [徐淑华, 李天娇, 王爱珺, 王先青, 张燕燕, 2021. 捕食螨对设施黄瓜蓟马和叶螨的防效评价. 中国植保导刊, 41(9): 65–66.]
- Xu XN, Borgemeister C, Poehling HM, 2011. Interactions of western flower thrips, two-spotted spider mites and the predatory mite. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 579–587. [徐学农, Borgemeister C, Poehling HM, 2011. 西花蓟马, 二斑叶螨与黄瓜新小绥螨的相互关系研究. 应用昆虫学报, 48(3): 579–587.]
- Xu XN, Lv LJ, Wang DE, 2013. Research and application of predator mites in China. *China Plant Protection*, 33(10): 26–34. [徐学农, 吕佳乐, 王恩东. 捕食螨在中国的研究与应用. 中国植保导刊, 33(10): 26–34.]
- Yang H, Cui YY, Zhang S, Sun XJ, 2010. The occurrence and damage of the exotic invasive pest-western flower thrip (*Franoninila occidentalis*) in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 47(11): 2252–2253. [杨华, 崔元珩, 张升, 孙晓军, 2010. 外来入侵害虫——西花蓟马在新疆的发生为害. 新疆农业科学, 47(11): 2252–2253.]
- Yue Z, Zhi JR, Tian T, 2013. Effects of the eggs and webs produced by *Tetranychus urticae* on the development and reproduction of *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 967–973. [岳臻, 郑军锐, 田甜, 2013. 二斑叶螨的卵和丝网对西花蓟马生长发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 50(4): 967–973.]
- Zheng CY, Liu YH, Zhang NQ, Zhao XL, 2007. Invaded insect pest—*Franoninila occidentalis* first reported in Shandong Province. *Journal of Qingdao Agricultural University*, 24(3): 172–174. [郑长英, 刘云虹, 张乃芹, 赵希丽, 2007. 山东省发现外来入侵有害生物—西花蓟马. 青岛农业大学学报, 24(3): 172–174.]
- Zhu AD, Wang YS, Fang C, Hu HX, Wang JY, Su J, Li HQ, Zhang JP, 2022. Functional response of predatory mite *Neoseiulus bicaudus* on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* at different temperatures. *Journal of Environmental Entomology*, 44(2): 430–439. [朱安迪, 王映山, 方晨, 胡恒笑, 王嘉阳, 苏杰, 李海强, 张建萍, 2022. 不同温度下双尾新小绥螨对西花蓟马的捕食功能反应. 环境昆虫学报, 44(2): 430–439.]