



朱安迪, 王映山, 方晨, 胡恒笑, 王嘉阳, 苏杰, 李海强, 张建萍. 不同温度下双尾新小绥螨对西花蓟马的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 430–439.

不同温度下双尾新小绥螨对西花蓟马的捕食功能反应

朱安迪¹, 王映山², 方晨¹, 胡恒笑¹, 王嘉阳¹, 苏杰¹, 李海强³, 张建萍^{1*}

(1. 石河子大学农学院/新疆绿洲生态病虫害防治与植保资源利用重点实验室, 新疆石河子 832003; 2. 第二师农业技术推广站, 新疆铁门关市 841505; 3. 新疆农业科学院植物保护研究所/农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 为明确双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* 各螨态对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 不同龄期若虫的捕食量及不同温度对其捕食量的影响。本研究通过测定不同温度下 24 h 内双尾新小绥螨各螨态对不同密度西花蓟马若虫的捕食情况 (西花蓟马猎物密度分别为 5、10、15、20 和 25 头/室, 温度分别设置为 23、26、29、32 和 35℃)。研究结果表明, 双尾新小绥螨各螨态对猎物的捕食量随猎物密度的升高而增加。当温度为 29℃, 雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫捕食量最高, 在猎物数为 25 头/室时, 可达 4.4 头/日。23~32℃ 内, 双尾新小绥螨的雌成螨的捕食量随温度的上升而增加, 到达 35℃ 时开始降低。29~32℃ 双尾新小绥螨的雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量最高, 可达 6.7 头/日, 最适于其捕食。结果表明双尾新小绥螨对西花蓟马若虫的捕食功能反应类型符合 Holling II 模型, 其对西花蓟马有较好的捕食能力, 可利于西花蓟马的生物防治。

关键词: 双尾新小绥螨; 西花蓟马; 捕食评价; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S467

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 02-0430-10

Functional response of predatory mite *Neoseiulus bicaudus* on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* at different temperatures

ZHU An-Di¹, WANG Ying-Shan², FANG Chen¹, HU Heng-Xiao¹, WANG Jia-Yang¹, SU Jie¹, LI Hai-Qiang³, ZHANG Jian-Ping^{1*} (1. College of Agriculture / Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang Autonomous Region, China; 2. Second Division Agricultural Technology Extension Station, Tiemenguan City 841505, Xinjiang Autonomous Region, China; 3. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830091, China)

Abstract: In order to understand the predation condition of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* on different instars of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and the effect of predation by predatory mites under different temperatures. The number of preys consumed in different treatments (the thrips densities were 5, 10, 15, 20 and 25 individuals / chamber, and the temperature were 23, 26, 29, 32 and 35℃ respectively) were recorded after 24 h in this study. The results showed that, the predation amount of different instar of *N. bicaudus* increased with the densities of prey. During 29℃, the consumed of 1st

基金项目: 国家自然科学基金 (32060635); 兵团区域创新引导计划项目 (2018BB043); 石河子大学高层次人才科研启动项目 (RCZK201947); 农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室开放基金 (KFJJ202004)

作者简介: 朱安迪, 男, 硕士研究生, 研究方向为植物保护, E-mail: 502817501@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 张建萍, 女, 博士, 教授, 研究方向为植物保护, E-mail: zhip_agr@shzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-11-26; 接受日期 Accepted: 2021-03-31

instar of *F. occidentalis* by adult female *N. bicaudus* were the highest, up to 4.4 individuals / day. During 23 ~ 32°C, the predation of adult female *N. bicaudus* increased with the temperature rose, and started to decreased when the temperature at 35°C. During temperature range of 29 ~ 32°C, the adult female *N. bicaudus* had the highest predation on the 1st nymphs of western flower thrips, up to 6.7 individuals / day, it was the most suitable for the predation. The results showed that the functional response of *N. bicaudus* on nymphs of *F. occidentalis* fitting with Holling II equation. *N. bicaudus* had good predation ability on western flower thrips, and could be used in its biological control.

Key words: *Neoseiulus bicaudus*; *Frankliniella occidentalis*; predation evaluation; biological control

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 属缨翅目 Thysanoptera 蓟马科 Thripidae 花蓟马属 *Frankliniella*, 食性杂, 能直接取食危害 62 科 500 多种植物 (Moritz, 2002)。西花蓟马的锉吸式口器刺吸寄主植物的叶、芽、花和果实的汁液, 在叶片上造成银白色斑点, 严重时叶片出现大面积的白色斑块, 影响叶片光合作用, 造成落花、果实发育迟缓、畸形, 种子发育不良等 (Vierbergen, 1990)。同时西花蓟马是多种植物病毒的传播媒介, 严重影响作物的产量和品质 (German *et al.*, 1992; Ullman *et al.*, 1997)。目前在田间对西花蓟马的防治主要依赖于化学农药, 据报道西花蓟马已对多种杀虫剂产生了抗性 (王圣印等, 2014)。而化学农药滥用不仅导致“3R”问题, 同时也危害人类健康。因此, 利用生物防治西花蓟马成为研究的热点之一。早在 20 世纪欧洲国家已经开展利用胡瓜新小绥螨 *Neoseiulus cucumeris* (原名胡瓜钝绥螨 *Amblyseius cucumeris*) 防治蓟马的研究 (Ramakers, 1978; Ramakers, 1980; Ramakers & Lieburg, 1982)。近年来, 利用斯氏钝绥螨 *Amblyseius swirskii* 防治粉虱和蓟马越来越受到重视 (杨海林等, 2015)。随着西花蓟马在世界范围内传播加重, 利用捕食螨已成为防治西花蓟马的重要手段之一 (鄧军锐等, 2007; 徐学农等, 2013)。

双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* 隶属于植绥螨科 Phytoseiidae 新小绥螨属 *Neoseiulus*。该螨是新疆的本地种, 于 2013 年首次在新疆伊犁被采集到, 由于十分适应新疆高温干旱的特殊地理条件, 生物防治潜力巨大 (王振辉等, 2015; Shen *et al.*, 2017)。该螨是一种多食性的捕食螨, 能够捕食叶螨、烟粉虱 *Bemisia tabaci*、烟蓟马 *Thrips tabaci* 等小型昆虫 (Zhang *et al.*, 2017; 董芳等, 2019; 韩国栋等, 2020)。自西花蓟马入侵新疆以来, 目前新疆各个地区的温室大棚蔬菜种植区均发生严重

为害 (杨华等, 2016; 陈泓渝等, 2020)。该捕食螨是否能有效控制西花蓟马, 作为温室大棚生物西花蓟马的有效生物防治天敌? 本文对双尾新小绥螨各螨态对西花蓟马不同龄期若虫的捕食功能以及温度对双尾新小绥螨的雌成螨捕食西花蓟马 1 龄若虫能力的影响进行了研究, 以期在西花蓟马的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

西花蓟马: 采自石河子大学农学院试验站, 实验室内以菜豆 *Phaseolus vulgaris* 为寄主植物进行繁育。

双尾新小绥螨: 2013 年采集于新疆伊犁地区, 实验室内 (温度 25°C ± 2°C, RH 60% ± 10%, 光周期 16 L: 8 D) 以腐食酪螨 *Tyrophagus putrescentiae* 加麸皮制成饲料进行饲喂, 连续饲养超过 30 代。

1.2 西花蓟马 1 龄若虫和 2 龄若虫的获得

为获得龄期一致的西花蓟马若虫, 使用菜豆叶片制成叶碟, 接入 15 头西花蓟马雌成虫, 添加玫瑰花粉作为营养补充 (沈登容等, 2012), 使其产卵 24 h 后, 去除雌成虫, 置于 29°C ± 1°C, RH 70% ± 10%, 光周期 16 L: 8 D 的恒温培养箱中, 48 h 后可得到龄期一致的西花蓟马 1 龄若虫, 选取一部分用于捕食功能反应, 另一部分 1 龄若虫挑至新的叶碟上, 置于培养箱中, 48 h 后即可得到龄期一致的西花蓟马 2 龄若虫。

1.3 双尾新小绥螨对西花蓟马的捕食功能反应

根据前期的预实验结果, 双尾新小绥螨选取雌成螨、雄成螨、第 II 若螨、第 I 若螨共 4 个螨态, 猎物西花蓟马为 1 龄若虫和 2 龄若虫 (罗春萍等, 2018; Su *et al.*, 2019a)。猎物密度设置为每小室 5、10、15、20 和 25 头, 每个密度设置 10 次重复。试验小室由 3 块正方形的透明亚克力板组

成 (5 cm × 5 cm × 0.3 cm), 中间一片亚克力板中心有直径 2.5 cm 的空洞, 为试验提供空间, 孔洞一侧使用菜豆叶片背面覆盖, 叶片下垫一条长于小室的滤纸, 用于缓冲对叶片的压力及记录编号, 所有部分使用长尾夹固定。每个小室挑入一头经过 24 h 饥饿处理的双尾新小绥螨, 并置于恒温培养箱中 29℃ ± 1℃, RH 60% ± 10%, 光周期 16 L: 8 D, 24 h 后观察记录猎物的消耗量。

1.4 温度对双尾新小绥螨捕食西花蓟马能力的影响

捕食螨选择双尾新小绥螨的雌成螨, 猎物为西花蓟马的 1 龄若虫。猎物密度设置为每小室 5、10、15、20 和 25 头, 每个密度设置 10 个重复。每个小室挑入一头经过饥饿处理 24 h 的双尾新小绥螨雌成螨。分别置于温度设为 23、26、29、32 和 35℃, RH 60% ± 10%, 光周期 16 L: 8 D 的恒温培养箱内, 24 h 后观察记录猎物的消耗量。

1.5 数据处理

捕食功能反应: 根据猎物密度与被捕食量之间的逻辑斯蒂回归分析确定捕食功能反应类型, 方程如下 (Farhadi *et al.*, 2010; Ganjisaffar and Perring, 2015):

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}$$

其中, N_0 为猎物初始量, N_e 为被捕食的猎物数。 P_0 、 P_1 、 P_2 和 P_3 为常数、一次、二次、三次方系数。如果 $P_1 = 0$, 捕食者的捕食量随着猎物的密度的增加而直线上升, 属于 Holling I 型; 如果 $P_1 < 0$, 而且捕食者捕食量随着猎物密度增加而增加, 之后处于一个平稳状态, 则属于 Holling II 型。如果 $P_1 > 0$, 捕食者的捕食量随猎物密度呈 “S” 波动, 则属于 Holling III 型。Holling II 型功能反应模型 (Timms *et al.*, 2008):

$$N_e = \frac{a N_0 T}{1 + a N_0 T_h}$$

其中, a 为攻击系数 (Attack rate); T 为捕食者处理猎物的总时间 (本文 T 为 1 d)。 T_h 为发现并捕食一头猎物所消耗的时间。

S 为寻找效应, 公式如下 (邓士群等, 2020):

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

使用 IBM SPSS Statistics 20 和 Origin 2017 软件进行统计计算及作图, 利用 Duncan 式新复极差法对处理间的数据进行多重比较分析; 两者之间对比使用独立样本 T 检验进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 双尾新小绥螨不同龄期对西花蓟马若虫的捕食功能反应

双尾新小绥螨不同龄期对西花蓟马若虫的取食量如表 1 所示。双尾新小绥螨雌成螨和雄成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量均显著高于对西花蓟马 2 龄若虫的捕食量 ($P < 0.05$)。随着猎物密度上升, 双尾新小绥螨各螨态的捕食量逐渐增加。29℃ 下, 雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量最高, 最高可达 4.4 头/日。除猎物密度 10 头/室, 双尾新小绥螨雌成螨和雄成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量无显著差异外 ($P > 0.05$), 其余猎物密度下, 双尾新小绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量均显著高于其它活动螨态 ($P < 0.05$)。在任意猎物密度下, 双尾新小绥螨雌成螨和雄成螨对西花蓟马 2 龄若虫的捕食量无显著差异 ($P > 0.05$)。

回归分析结果显示, 一次方系数 P_1 在各个猎物密度处理下均小于 0 (表 2), 并且捕食螨的捕食量均随着猎物密度的增加逐渐增加后趋于稳定 (图 1)。表明双尾新小绥螨各活动螨态对西花蓟马 1 龄、2 龄若虫的捕食功能类型均属于 Holling II 型。

双尾新小绥螨对不同密度西花蓟马的捕食功能参数分析显示 (表 3), 在捕食西花蓟马 1 龄若虫时, 双尾新小绥螨成螨的攻击系数显著高于若螨。双尾新小绥螨雌成螨、雄成螨、第 II 若螨处理 1 头西花蓟马 1 龄若虫所需要的时间并无显著差异 ($P > 0.05$), 并且显著低于第 I 若螨的处理时间 ($P < 0.05$)。捕食效能可以看出双尾新小绥螨雌成螨捕食效能最高, 并且显著高于其他 3 个螨态 ($P < 0.05$)。在捕食西花蓟马 2 龄若虫时, 双尾新小绥螨雄成螨攻击系数显著高于雌成螨的攻击系数 ($P < 0.05$), 但雌成螨与雄成螨对西花蓟马 2 龄若虫的处理时间、捕食效能、日最大捕食量均无显著差异 ($P > 0.05$)。双尾新小绥螨对西花蓟马 1 龄若虫及 2 龄若虫的捕食功能参数可以看出, 双尾新小绥螨雌成螨与雄成螨对西花蓟马 1 龄若虫的攻击系数、捕食效能、日最大捕食量均显著高于西花蓟马 2 龄若虫 ($P < 0.05$), 且处理 1 头西花蓟马 1 龄若虫的时间显著短于处理 1 头西花蓟马 2 龄若虫的时间 ($P < 0.05$)。

表 1 双尾新小绥螨对西花蓟马若虫的日均捕食量（头/日）

Table 1 Consumption of nymphs of <i>Frankliniella occidentalis</i> consumed per day by <i>Neoseiulus bicaudus</i>						
双尾新小绥螨	西花蓟马	猎物密度（头/室） Prey density (individuals / chamber)				
<i>N. bicaudus</i>	<i>F. occidentalis</i>	5	10	15	20	25
雌成螨 Adult female mite	1 龄若虫 1 st instar nymph	1.7 ± 0.34 Ac**	2.1 ± 0.23 Ac**	3.0 ± 0.39 Abc**	3.8 ± 0.57 Aab**	4.4 ± 0.34 Aa**
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	0.5 ± 0.17 c	0.7 ± 0.26 ab	1.1 ± 0.18 abc	1.3 ± 0.26 ab	1.6 ± 0.27 a
	1 龄若虫 1 st instar nymph	1.4 ± 0.27 Ad*	2.0 ± 0.26 Acd*	2.5 ± 0.23 ABbc**	3.2 ± 0.36 ABab**	3.5 ± 0.48 Aba**
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	0.7 ± 0.21 b	1.0 ± 0.30 ab	1.2 ± 0.33 ab	1.5 ± 0.31 ab	1.7 ± 0.33 a
雄成螨 Adult male mite	1 龄若虫 1 st instar nymph	0.9 ± 0.28 ABc	1.5 ± 0.22 ABbc	2.1 ± 0.31 ABab	2.6 ± 0.31 BCab	3.0 ± 0.42 Ba
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	—	—	—	—	—
	1 龄若虫 1 st instar nymph	0.8 ± 0.20 Bd	1.2 ± 0.20 Bed	1.6 ± 0.27 Bbc	2.0 ± 0.26 Cab	2.5 ± 0.27 Ba
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	—	—	—	—	—

注：表中数据为平均值 ± 标准误；不同大写字母表示相同猎物虫态，相同猎物密度，不同捕食螨态之间的差异显著性（ $P < 0.05$ ）；不同小写字母表示相同猎物虫态，相同捕食螨态，不同猎物密度的差异显著性（ $P < 0.05$ ）；相同捕食螨态，相同猎物密度，不同猎物虫态的差异显著性用“*”表示 $P < 0.05$ 水平下的显著性差异，“**”表示 $P < 0.01$ 水平下的显著性差异。Note: Data of consumption was mean ± SE. Different uppercase letter indicated differences among different stages of *N. bicaudus* at same prey density and stage of *F. occidentalis*, different lowercase letters mean difference among same stages of *N. bicaudus* and *F. occidentalis* at different prey densities; difference between same stage of *N. bicaudus* and different prey stage at same density, “*” indicated $P < 0.05$, “**” indicated $P < 0.01$.

表 2 双尾新小绥螨对西花蓟马捕食功能回归分析

双尾新小绥螨	西花蓟马	参数	估值	标准误	<i>t</i>	<i>R</i> ²
<i>N. bicaudus</i>	<i>F. occidentalis</i>	Coefficient	Estimate	SE		
雌成螨 Adult female mite	1 龄若虫 1 st instar nymph	<i>P</i> ₁	−0.383	0.088	3.375	0.990
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	<i>P</i> ₁	−0.198	0.140	−1.412	0.924
雄成螨 Adult male mite	1 龄若虫 1 st instar nymph	<i>P</i> ₁	−0.233	0.037	−6.351	0.998
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	<i>P</i> ₁	−0.169	0.038	−4.404	0.998
第 II 若螨 Deutonymph	1 龄若虫 1 st instar nymph	<i>P</i> ₁	−0.100	0.022	−4.594	0.998
第 I 若螨 Protonymph	1 龄若虫 1 st instar nymph	<i>P</i> ₁	−0.139	0.023	−5.965	0.998

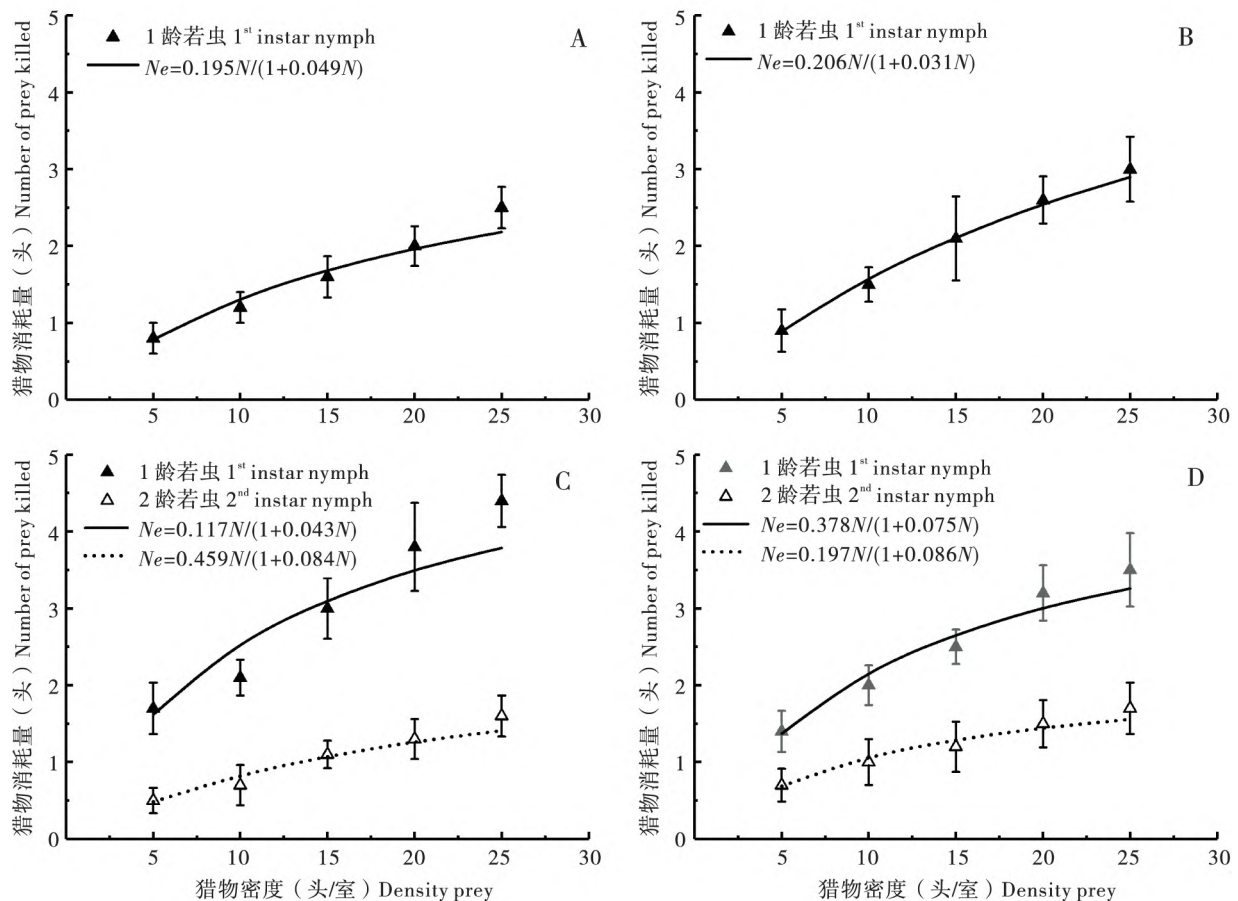


图1 双尾新小绥螨对西花蓟马捕食功能反应曲线

Fig. 1 Functional response of different stages of *Neoseiulus bicaudus* feeding different stages of *Frankliniella occidentalis*

注: 图中 A、B、C、D 分别代表双尾新小绥螨第 I 若螨、第 II 若螨、雌成螨、雄成螨。Note: Fig. A, B, C and D meaned protonymph, deutonymph, adult female mite, adult male mite of *N. bicaudus*, respectively.

表3 双尾新小绥螨对不同密度西花蓟马的捕食功能参数

Table 3 Estimates of functional response parameters of *Neoseiulus bicaudus* on different densities of *Frankliniella occidentalis*

双尾新小绥螨 <i>N. bicaudus</i>	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	攻击系数 (<i>a</i>) Attack rate	处理时间 (<i>T_h</i>) Handling time/s	捕食效能 (<i>a/T_h</i>) Predation efficacy	最大捕食量 (<i>1/T_h</i>) Maximum consumption	<i>R</i> ²
雌成螨 Adult female mite	1 龄若虫 1 st instar nymph	0.52 ± 0.07 Aa	0.18 ± 0.05 Aa	3.24 ± 0.72 Aa	5.99 ± 0.60 ABa	0.89
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	0.12 ± 0.00 Ab	0.37 ± 0.05 Ab	0.37 ± 0.06 Ab	2.89 ± 0.31 Ab	0.96
雄成螨 Adult male mite	1 龄若虫 1 st instar nymph	0.40 ± 0.03 Aa	0.20 ± 0.12 Aa	2.03 ± 0.25 Ba	5.04 ± 0.28 BCa	0.98
	2 龄若虫 2 nd instar nymph	0.20 ± 0.02 Bb	0.44 ± 0.23 Ab	0.48 ± 0.06 Ab	2.30 ± 0.12 Ab	0.98
第 II 若螨 Deutonymph	1 龄若虫 1 st instar nymph	0.21 ± 0.00 B	0.15 ± 0.02 A	1.40 ± 0.09 B	6.69 ± 0.31 A	1.00
第 I 若螨 Protonymph	1 龄若虫 1 st instar nymph	0.21 ± 0.02 B	0.25 ± 0.05 B	0.86 ± 0.15 B	4.08 ± 0.35 C	0.98

注: 表中数据为平均值 ± 标准误; 不同大写字母表示不同捕食螨态捕食相同猎物时存在显著性差异; 不同小写字母表示同一捕食螨态捕食不同猎物时存在显著性差异 ($P < 0.05$)。Note: Date of consumption was mean ± SE. Different uppercase letters indicated the difference between different predators on the same prey, the different lowercase meaned difference between the same predator on different preys ($P < 0.05$).

2.2 双尾新小绥螨对西花蓟马的寻找效应

双尾新小绥螨各活动螨态捕食西花蓟马的1 龄

若虫及 2 龄若虫寻找效应均随猎物密度的升高而降低。双尾新小绥螨在西花蓟马猎物密度为

5 头/室时，雌成螨对西花蓟马的 1 龄若虫寻找效应最高，雄成螨对西花蓟马 2 龄若虫的寻找效应最高。且在其他猎物密度下，双尾新小绥螨成螨对西花蓟马 1 龄若虫的寻找效应均高于若螨，且均高于对西花蓟马 2 龄若虫的寻找效应 ($P < 0.05$) (图 2)。

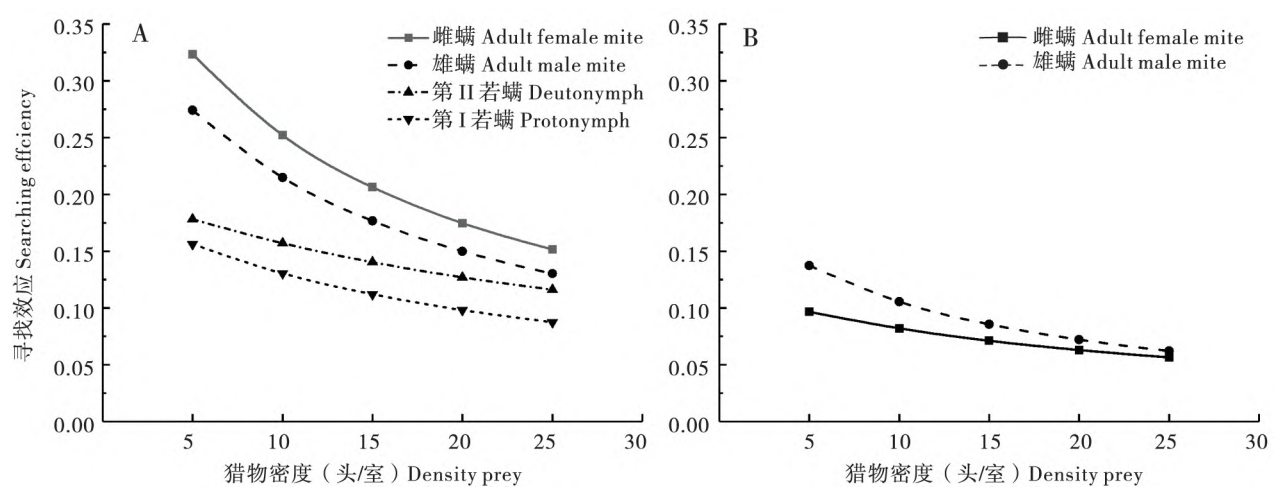


图 2 双尾新小绥螨对西花蓟马的寻找效应曲线
Fig. 2 Searching efficacy of *Neoseiulus bicaudus* to *Frankliniella occidentalis*

注: A 和 B 分别代表西花蓟马 1 龄若虫和 2 龄若虫。Note: A and B meant 1st instar and 2nd instar of *Frankliniella occidentalis* respectively.

2.3 温度对双尾新小绥螨雌成螨捕食西花蓟马 1 龄若虫的影响

在相同温度下，双尾新小绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量随着猎物密度的增加而增加。在 23 ~ 32℃，相同猎物密度下捕食螨对西花

蓟马 1 龄若虫的捕食量随温度的上升而增加，到达 35℃ 时捕食量开始下降。在 32℃，当猎物密度 25 头/室时，双尾新小绥螨雌成螨的捕食量达到最大值，6.7 头/日。因此，最适合双尾新小绥螨雌成螨捕食的温度范围为 29 ~ 32℃ (表 4)。

表 4 不同温度下双尾新小绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量

Table 4 Consumption of adult female *Neoseiulus bicaudus* on 1st instar nymphs *Frankliniella occidentalis* under different temperatures

温度 (°C) Temperature	猎物密度 (头/室) Prey density				
	5	10	15	20	25
23	1.70 ± 0.26 Cab	2.10 ± 0.23 BCbc	2.50 ± 0.31 ABCc	2.80 ± 0.33 ABb	3.00 ± 0.26 Ac
26	1.80 ± 0.33 Cab	2.30 ± 0.34 BCbc	2.90 ± 0.35 ABbc	3.20 ± 0.39 ABb	3.90 ± 0.31 Ac
29	1.80 ± 0.30 Cab	2.90 ± 0.31 Bab	3.60 ± 0.28 Bab	4.70 ± 0.40 Aa	5.20 ± 0.33 Ab
32	2.20 ± 0.20 Ea	3.20 ± 0.20 Da	4.00 ± 0.26 Ca	5.10 ± 0.31 Ba	6.70 ± 0.37 Aa
35	1.20 ± 0.25 Dc	2.00 ± 0.26 Cc	2.60 ± 0.16 BCc	3.10 ± 0.18 Bb	3.80 ± 0.25 Ac

注: 表中数据为平均值 ± 标准误; 不同大写字母表示相同温度下, 不同猎物密度时存在的显著差异; 不同小写字母表示相同猎物密度不同处理温度时存在的显著差异。Note: Data of consumption was mean ± SE. Different uppercase letters indicated difference between different prey densities at the same temperatures. Different lowercase letters meant the differences between same prey density on different temperatures.

在 23 ~ 35℃ 内，双尾新小绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食功能反应类型符合 Holling II 型 (表 5)。在 32℃ 时，捕食螨处理 1 头西花蓟马 1 龄若虫所用的时间最短，在各温度梯度下捕食螨处理时间由小到大依次为: 32℃ = 29℃ < 35℃ <

26℃ < 23℃。23 ~ 32℃ 内捕食螨的捕食效能随着温度的上升而增大，到达 35℃ 逐渐减弱。在 29 ~ 32℃ 内双尾新小绥螨雌成螨的日最大捕食量显著高于其余温度 ($P < 0.05$)。

表 5 不同温度双尾新小绥螨对西花蓟马捕食类型参数估计

Table 5 Estimate of coefficients in a binomial logistic regression of *Frankliniella occidentalis* consumed by *Neoseiulus bicaudus* at different temperatures

温度 (°C) Temperature	参数 Coefficient	估值 Estimate	标准误 SE	t	R ²
23	P ₁	-0.290	0.038	-7.587	0.999
26	P ₁	-0.240	0.097	-2.471	0.993
29	P ₁	-0.159	0.081	-1.971	0.989
32	P ₁	-0.203	0.002	-110.226	1.000
35	P ₁	-0.048	0.013	-3.696	1.000

表 6 不同温度下双尾新小绥螨对西花蓟马捕食功能反应参数

Table 6 Function response parameters of *Neoseiulus bicaudus* on *Frankliniella occidentalis* at different temperatures

温度 (°C) Temperature	攻击系数 (α) Attack rate	处理时间 (T _h) Handling time/s	捕食效能 (α/T _h) Predation efficacy	日最大捕食量 (1/T _h) Maximum consumption	R ²
23	0.68 ± 0.06 A	0.29 ± 0.01 D	2.40 ± 0.27 B	3.48 ± 0.10 C	0.96
26	0.65 ± 0.12 A	0.22 ± 0.01 C	3.09 ± 0.74 B	4.59 ± 0.25 C	0.95
29	0.45 ± 0.02 B	0.11 ± 0.01 A	4.13 ± 1.69 A	9.06 ± 0.42 A	0.99
32	0.62 ± 0.10 A	0.11 ± 0.01 A	6.30 ± 0.16 A	9.57 ± 0.99 A	0.96
35	0.29 ± 0.04 B	0.17 ± 0.01 B	3.60 ± 0.47 B	7.03 ± 0.29 B	1.00

注：大写字母表示不同温度之间的参数的显著差异。Note: Different uppercase letters mean difference of parameter on different temperatures.

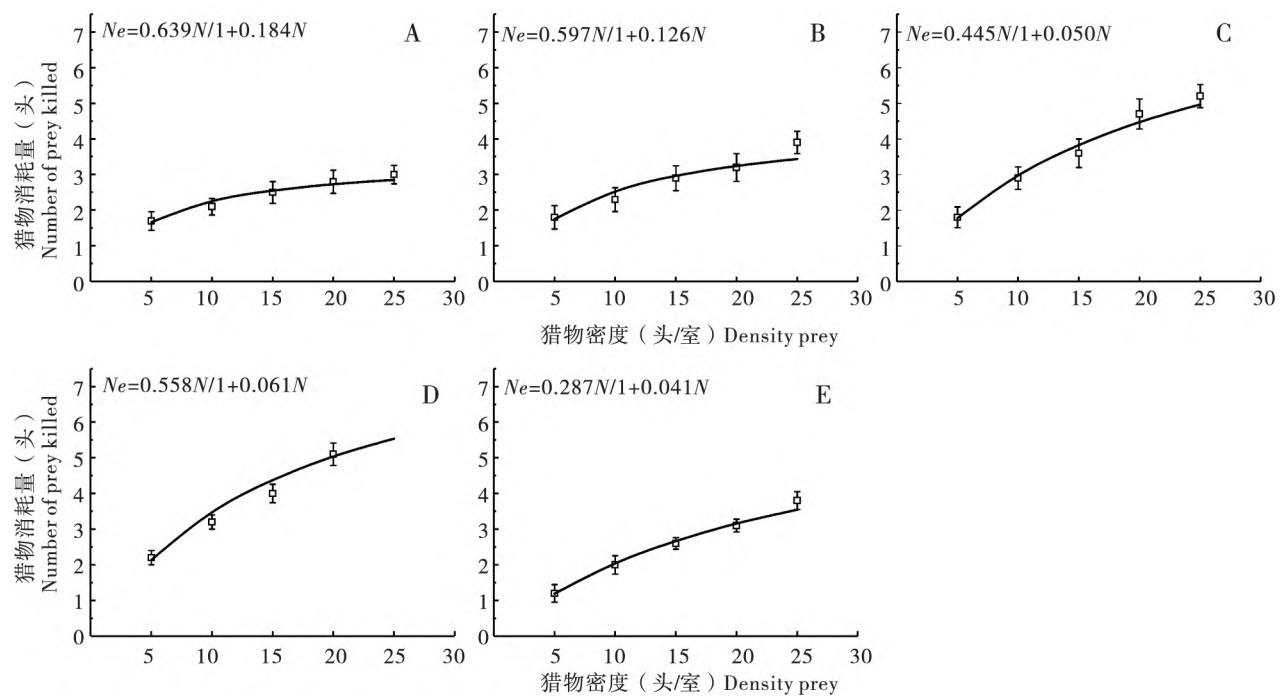


图 3 不同温度下双尾新小绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食功能曲线

Fig. 3 Functional response of different temperatures of adult female *Neoseiulus bicaudus* on 1st instar nymphs *Frankliniella occidentalis*

注：A、B、C、D 和 E 分别代表温度 23℃、26℃、29℃、32℃、35℃。Note: A, B, C, D and E mean the temperatures 23℃, 26℃, 29℃, 32℃, 35℃, respectively.

2.4 温度对双尾新小绥螨雌成螨捕食西花蓟马 1 龄若虫寻找效应的影响

各温度梯度下双尾新小绥螨雌成螨的寻找效应均随猎物密度的增加而降低。23 ~ 32℃ 内双尾新小绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的寻找效应随着温度升高而增加, 到达 35℃ 时寻找效应开始下降。32℃ 时捕食螨对西花蓟马 1 龄若虫寻找效应最高 (图 4)。

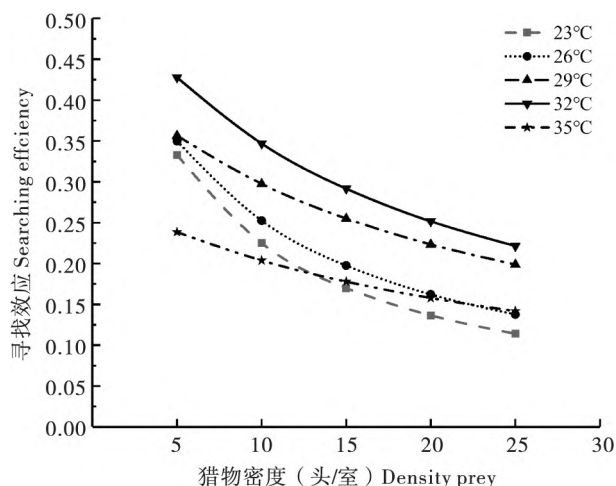


图 4 不同温度双尾新小绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的寻找效应

Fig. 4 Searching efficacy of adult female *Neoseiulus bicaudus* to 1st instar nymphs of *Frankliniella occidentalis* at different temperatures

3 结论与讨论

本研究探究了双尾新小绥螨对西花蓟马的捕食作用。结果表明, 双尾新小绥螨雌成螨、雄螨、第 I 若螨和第 II 若螨不同螨态均能够捕食西花蓟马的 1 龄若虫和 2 龄若虫。就双尾新小绥螨而言, 雌成螨对西花蓟马的捕食能力高于其它螨态。这一结果与双尾新小绥螨在捕食截形叶螨 *Tetranychus truncatus*、土耳其斯坦叶 *Tetranychus turkestanii* 和烟蓟马的结果一致 (Zhang *et al.*, 2017)。而对于西花蓟马, 1 龄若虫被捕食的量显著高于 2 龄若虫, 但是预蛹和蛹基本不被取食, 这可能与西花蓟马的习性有关。据文献报道, 巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 和胡瓜新小绥螨偏好西花蓟马 1 龄若虫, 而蓟马 2 龄若虫及预蛹可以通过突然扭动腹部, 并排出少量粘液来防御捕食螨的攻击, 蓟马成虫有翅, 捕食螨难以取食 (Kajita, 1986;

Bakker and Sabelis, 1989)。本研究结果表明, 双尾新小绥螨不仅可以捕食西花蓟马 1 龄若虫, 而且可以取食少量的 2 龄若虫。西花蓟马低龄若虫生活比较隐蔽, 双尾新小绥螨为生物天敌, 具有主动搜索能力, 因此, 可以作为生防天敌在西花蓟马低龄若虫期进行应用, 用来降低西花蓟马种群数量, 减轻作物受害。

通过对双尾新小绥螨不同螨态不同密度对西花蓟马若虫捕食量使用回归分析结果显示, 方程系数常数 P_1 均小于 0, 根据模型判定其捕食功能反应类型均为 Holling II 型。进而研究了在不同温度 (23 ~ 35℃) 情况下, 双尾新小绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食能力, 功能反应类型也均属于 Holling II 型。虽然从捕食功能曲线上, 双尾新小绥螨对西花蓟马若虫的捕食功能曲线没有出现明显的拐点, 随着猎物密度增加, 取食量也在缓慢增加, 这可能与试验装置 (小室) 给与天敌、猎物有限的活动空间有关。而实际处理中, 由于双尾新小绥螨对西花蓟马 1 龄若虫及 2 龄若虫取食量有限, 猎物最高密度设置已是其实际最大捕食量的 5 倍以上, 且根据逻辑斯蒂方程拟合分析双尾新小绥螨对西花蓟马若虫的捕食功能类型均属于 Holling II 型。Holling II 型的捕食功能类型在植绥螨中十分常见, 例如胡瓜新小绥螨、巴氏新小绥螨等均属于此类型 (张东旭, 2012; 尚素琴等, 2016)。

不同温度对双尾新小绥螨捕食西花蓟马若虫的影响, 结果显示, 23 ~ 32℃ 双尾新小绥螨的日均捕食量随温度升高呈上升趋势, 29 ~ 32℃ 双尾新小绥螨的雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量最高, 可达 6.7 头/日, 最适于其捕食, 35℃ 时, 日均捕食量下降。这可能由于温度过高或过低时双尾新小绥螨的活动能力降低有关。同样, 斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量同样也随着温度而增加, 30℃ 时最大, 当每 25 头/室时对西花蓟马 1 龄若虫捕食量为 7.2 头/日, 到达 35℃ 捕食量下降 (罗春萍等, 2018), 这一结果与本研究结论近似, 说明在温度对捕食螨捕食猎物有一定影响, 在 29 ~ 32℃ 释放双尾新小绥螨, 对西花蓟马防控效果最好。

自然界中捕食螨对猎物的捕食能力受到多种因素的影响, 例如猎物的营养质量、防御机制和密度等 (Eubanks and Denno, 2000)。捕食者前期的取食经历对其取食选择性也具有较重要的影响

(Schausberger *et al.*, 2010)。使用西花蓟马饲养的斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量最大可达到 10.7 头/日 (罗春萍等, 2018), 而在相同猎物密度下使用椭圆食粉螨饲养的斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食量为 7.8 头 (禹云超等, 2019)。通过短期的人工驯化就可以达到提高对靶标猎物的选择率和取食量, 替代猎物饲养的双尾新小绥螨经过 3 d 的重新适应, 可提高其对自然猎物的选择性和取食量 (Su *et al.*, 2019)。因此是否可通过重新适应, 提高捕食螨对西花蓟马的选择和取食量, 来达到更好的防治效果, 有待进一步验证。

参考文献 (References)

- Bakker FM, Sabelis MW. How larvae of *Thrips tabaci* reduce the attack success of Phytoseiid predators [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1989, 50 (1): 47–51.
- Chen HY. Application Research of “Push-pull” Strategy in the Control of *Frankliniella occidentalis* [D]. Xinjiang: Shihezi University, 2020: 9–15. [陈泓渝. “Push-Pull” 策略在西花蓟马防治的应用研究 [D]. 新疆: 石河子大学, 2020: 9–15]
- Deng SC, Zhang WL, Xiao JF. Effect of lambda-cyhalothrin on predatory function response of *Oriussauteri* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (1): 40–45. [邓士群, 张雯林, 肖建飞, 等. 高效氯氟氰菊酯对东亚小花蝽捕食功能反应的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (1): 40–45]
- Dong F, Fu ZS, Wang JY, *et al.* Evaluation of control effect of releasing *Neoseiulus bicaudus* Wainstein on the *Tetranychus turkestanii* (Ugarov *et* Nikolskii) [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 56 (1): 1–12. [董芳, 符振实, 王嘉阳, 等. 双尾新小绥螨对土耳其斯坦叶螨控制效果评价 [J]. 新疆农业科学. 2019, 56 (1): 1–12]
- Farhadi R, Allahyari H, Juliano SA. Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. *Environmental Entomology*, 2010, 39 (5): 1586–1592.
- Fu ZS, Su J, Dong F, *et al.* Optimizing the release of *Neoseiulus bicaudus* to control *Tetranychus turkestanii* on string beans [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 750–759. [符振实, 苏杰, 董芳, 等. 双尾新小绥螨防治菜豆土耳其斯坦叶螨的释放技术研究 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 750–759]
- Ganjisaffar F, Perring TM. Prey stage preference and function response of the predatory mite *Galendromus flumenis* to *Oligonychus pratensis* [J]. *Biological Control*, 2015, 82: 40–45.
- Han GD, Tang SQ, Su J, *et al.* Prey preference of the predatory mite *Neoseiulus bicaudus* Wainstein (Phytoseiidae) on *Bemisia tabaci* and *Tetranychus turkestanii* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (3): 347–352. [韩国栋, 唐思琼, 苏杰, 等. 双尾新小绥螨对烟粉虱和土耳其斯坦叶螨的捕食选择性 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (3): 347–352]
- Kajita H. Predation by *Amblyseius* spp. (Acarina: Phytoseiidae) and *Orius* sp. (Hemiptera: Anthocoridae) on *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1986, 21 (3): 482–484.
- Luo CP, Hu YX, Sun JW, *et al.* Study on the functional response of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* as prey [J]. *Journal of Biosafety*, 2018, 27 (4): 274–378. [罗春萍, 卢艳霞, 孙军伟, 等. 斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食功能反应 [J]. 生物安全学报, 2018, 27 (4): 274–278]
- Madadi H, Enkegaard A, Brodsgaard HF, *et al.* Host plant effects on the functional response of *Neoseiulus cucumeris* to onion thrips larvae [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2007, 131 (9–10): 728–733.
- Ramakers PMJ. Possibilities for biological control of *Thrips tabaci* Lind (Thysanoptera: Thripidae) in glasshouses on cucumber and pepper, by *Orius minutus* (L.) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Amblyseius* spp. (Acarina: Phytoseiidae) [J]. *Mededelingen van de Faculteit Landbouw wetens chappen, Rijksuniversiteit Gent*, 1978, 43 (1): 463–469.
- Ramakers PMJ. Biological control of *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) with *Amblyseius* spp. (Acari: Phytoseiidae) [J]. *Bulletin Srop*, 1980, 3: 203–207.
- Ramakers PMJ, Lieburg MJ. Start of commercial production and introduction of *Amblyseius mckenziei* (Acarina: Phytoseiidae) for the control of *Thrips tabaci* Lind. (Thysanoptera: Thripidae) in glasshouses [J]. *Mededelingen van de Faculteit Landbouw wetens chappen, Rijksuniversiteit Gent*, 1982, 47 (2): 541–545.
- Schausberger P, Walzer A, Hoffmann D, *et al.* Food imprinting revisited: Early learning in foraging predatory mites [J]. *Behaviour*, 2010, 147: 883–897.
- Scott Brown AS, Simmonds MSJ, Blaney WM. Influence of species of host plants on the predation of thrips by *Neoseiulus cucumeris*, *Iphiseius degenerans* and *Orius lae vigatus* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1999, 92 (3): 283–288.
- Shang SQ, Liu P, Zhang XH. Predatory functional response of *Neoseiulus barkeri* on newly hatched nymphs of *Frankliniella occidentalis* [J]. *Plant Protection*, 2016, 42 (3): 141–144. [尚素琴, 刘平, 张新虎. 不同温度下巴氏新小绥螨对西花蓟马初孵若虫的捕食功能 [J]. 植物保护, 2016, 42 (3): 141–144]
- Shen DR, Zhang HR, Li ZY, *et al.* Effects of foods on the growth and development of *Frankliniella occidentalis* [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (1): 55–59. [沈登容, 张宏瑞, 李正跃, 等. 不同食物对西花蓟马生长发育的影响 [J]. 植物保护, 2012, 38 (1): 55–59]
- Shen XQ, Zhang YN, Li T, *et al.* Toxicity of three acaricides to the predatory mite, *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on the functional response to *Tetranychus turkestanii* (Acari: Tetranychidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110 (5): 2031–2038.
- Su J, Liu M, Fu ZS, *et al.* Effects of alternative and natural prey on

- body size, locomotion and dispersal of *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) [J]. *Systematic and Applied Acarology*, 2019a, 24 (9): 1579 – 1591.
- Su J, Zhu AD, Han GD, et al. Re-adaptation from alternative prey to target prey increased predation of predator on target mite [J]. *Systematic and Applied Acarology*, 2019b, 24 (3): 467 – 476.
- Timms JE, Oliver TH, Straw NA, et al. The effects of host plant on the Coccinellid functional response: Is the conifer specialist *Aphidecta obliterate* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) better adapted to spruce than the generalist *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Biological Control*, 2008, 47 (3): 273 – 281.
- Lewis Ted. Thrips as Crop Pests [M]. United Kingdom: CAB International, 1997: 539 – 565.
- Wang SY, Zhang AS, Li LL, et al. Insecticide resistance status of field populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in China and its control strategies [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (5): 621 – 630. [王圣印, 张安盛, 李丽莉等. 西花蓟马田间种群对常用杀虫剂的抗性现状及防治对策 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (5): 621 – 630]
- Wang ZH, Li YT, Li T, et al. The morphology and predatory behavior of the mite *Neoseiulus bicaudus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (3): 580 – 586. [王振辉, 李永涛, 李婷, 等. 双尾新小绥螨形态特征及捕食性功能 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (3): 580 – 586]
- Xu XN, Lü JL, Wang ED. Hot spots in international predatory mite studies and lessons to us [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2013, 29 (2): 163 – 174. [徐学农, 吕佳乐, 王恩东. 国际捕食螨研发与应用的热点问题及启示 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29 (2): 163 – 174]
- Zhang B, Zheng WW, Zhang HY. Influences of field plants on predatory mites I: Influences of prey host plants [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (4): 507 – 513. [张贝, 郑薇薇, 张宏宇. 田间植物对捕食螨的影响 I: 猎物寄主的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (4): 507 – 513]
- Zhang DX. Biological Control of Western Flower Thrips *Frankliniella occidentalis* and Spider Mites *Tetranychus truncatus* by a Shared Predatory Mite *Neoseiulus barkeri* (Hughes) [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2012: 28 – 34. [张东旭. 利用巴氏新小绥螨防治西花蓟马和截形叶螨的研究 [D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2012: 28 – 34]
- Zhang YN, Li YT, Jiang JYQ, et al. Effects of different photoperiods on the development and population parameters of *Neoseiulus bicaudus* Wainstein [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2016a, 53 (1): 48 – 54. [张燕南, 李永涛, 蒋珏瑛琪, 等. 光照时间对双尾新小绥螨生长发育及种群参数的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2016a, 53 (1): 48 – 54]
- Zhang YN, Guo DD, Jiang JYQ, et al. Effects of host plant species on the development and reproduction of *Neoseiulus bicaudus* (Phytoseiidae) feeding on *Tetranychus turkestani* (Tetranychidae) [J]. *Systematic and Applied Acarology*, 2016b, 21 (5): 647 – 656.
- Zhang YN, Jiang JYQ, Zhang YJ, et al. Functional response and prey preference of *Neoseiulus bicaudus* (Mesostigmata: Phytoseiidae) to three important pests in Xinjiang, China [J]. *Environmental Entomology*, 2017, 46 (3): 538 – 543.
- Zhang YN, Gu JM, Chen J, et al. Effect of host plants on the movement rate and predation ability of *Neoseiulus bicaudus* (Mesostigmat: Phytoseiidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (9): 1047 – 1053. [张燕南, 顾佳敏, 陈静, 等. 寄主植物对双尾新小绥螨运动速率及捕食能力的影响 [J]. 昆虫学报, 2018, 61 (9): 1047 – 1053]
- Zhi JR, Li JZ, Song QZ. Advances of *Amblyseius cucumeris* in controlling *Frankliniella occidentalis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23 (S1): 60 – 63. [邹军锐, 李景柱, 宋琼章. 利用胡瓜钝绥螨防治西花蓟马研究进展 [J]. 中国生物防治, 2007, 23 (增刊): 60 – 63]