

加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的捕食作用

黄 婕¹ 王 蔓¹ 门兴元² 季 洁³ 刘永杰^{1*} 尹淑艳^{1,4*}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 3. 福建省农业科学院植物保护研究所, 福州 350013; 4. 山东省林业有害生物防控工程技术研究中心, 泰安 271018)

摘要: 为明确加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 对苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* 的控制潜力, 在实验室条件下测定加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的捕食功能反应、捕食选择性及加州新小绥螨自身密度对其捕食的干扰效应。结果表明: 在 25℃ 时, 加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的功能反应均属于 Holling II 型圆盘方程; 加州新小绥螨对苹果全爪螨卵的捕食能力最强, 为 40.3, 对幼螨、第 1 若螨、第 2 若螨和雌成螨次之, 捕食能力分别为 36.9、17.3、15.2、3.6; 加州新小绥螨对苹果全爪螨卵、幼螨、第 1 若螨、第 2 若螨和雌成螨的日最大捕食量分别为 34.5 粒、26.3、13.5、12.2 和 3.0 头; 加州新小绥螨对苹果全爪螨卵、幼螨和第 1 若螨有较强的嗜食性, 选择系数分别为 1.4、1.5、1.1, 对第 2 若螨和雌成螨没有嗜食性, 选择系数分别为 0.9 和 0; 加州新小绥螨对苹果全爪螨的总捕食量随自身密度增大而增大, 但单头捕食量和捕食作用率随着自身密度增大而下降, 其捕食作用率 E 与自身密度 P 的关系模型为 $E=0.050P^{-0.544}$ 。表明加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态尤其是卵、幼螨和第 1 若螨均有较强的控制潜力。

关键词: 加州新小绥螨; 苹果全爪螨; 功能反应; 捕食选择; 捕食干扰

Predation of European red mite *Panonychus ulmi* by predatory mite *Neoseiulus californicus* at different stages

HUANG Jie¹ WANG Man¹ MEN Xingyuan² JI Jie³ LIU Yongjie^{1*} YIN Shuyan^{1,4*}

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China; 3. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, Fujian Province, China; 4. Shandong Forestry Pest Control Engineering Technology Research Center, Tai'an 271018, Shandong Province, China)

Abstract: In order to determine the predation capacity of the predatory mite, *Neoseiulus californicus*, to European red mite, *Panonychus ulmi*, the functional responses of *N. californicus* to *P. ulmi* at different stages, the prey selection of *N. californicus* on *P. ulmi* at different stages and the interference effect of the density of *N. californicus* on its predation capacity were studied in the laboratory. The results showed that the functional response of *N. californicus* to each developmental stage of *P. ulmi* was all fitted to Holling II disc equation at 25℃. The predation capability of *N. californicus* on the eggs of *P. ulmi* was the strongest with the value 40.3, followed by the larvae, protonymphs, deutonymphs and female adults, with the value of 36.9, 17.3, 15.2 and 3.6, respectively. The daily maximum predation amount of *N. californicus* on the eggs, larvae, protonymphs, deutonymphs and female adults of *P. ulmi* were 34.5, 26.3, 13.5, 12.2 and 3.0. *N. californicus* had strong preference for the eggs, larvae, protonymphs of *P. ulmi*, with a selection coefficient of 1.4, 1.5 and 1.1, but there was no preference for deutonymphs and fe-

male adults, with a selection coefficient of 0.9 and 0. The total predation amount of *N. californicus* on *P. ulmi* increased with the density of *N. californicus*, but the predation amount per predatory mite and the predation rate decreased with the density of *N. californicus*. The relationship between the predation rate and the density of *N. californicus* was in line with the model $E=0.050P^{-0.544}$. The results showed that *N. californicus* had strong predation capability on each of the different developmental stages of *P. ulmi*, especially the egg, larva and protonymph stages.

Key words: *Neoseiulus californicus*; *Panonychus ulmi*; functional response; prey selection; predation interference

苹果是世界四大水果之一,我国苹果种植面积、产量均居世界首位,是世界上最大的苹果资源、生产和消费大国(王楠等,2019)。在生产中苹果树常受到苹果叶螨的为害。苹果叶螨是植食性叶螨,主要以幼若螨和成螨刺吸苹果叶片汁液进行为害,破坏叶绿素,影响光合作用,进一步影响树体和果实发育,严重时使叶片焦枯或脱落(高越等,2019)。苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* 是苹果叶螨的重要种类之一,自20世纪80年代中期开始,在很短时间内迅速发展成我国各地果园的优势害螨(顾耘和曹婷婷,2017),使苹果严重减产(闫文涛等,2011;王洪涛等,2012)。在生产上对苹果全爪螨的防治主要以化学防治为主,长期的化学防治不仅破坏了果园生态平衡,减少了天敌数量,降低了对苹果全爪螨的控制作用(王洪涛等,2012),而且导致苹果农药残留,严重影响有机、绿色果品的生产,因此,以捕食螨为重要组成部分的生物防治成为防治苹果全爪螨的较好选择。

加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 隶属于蛛螨亚纲植绥螨科新小绥螨属,在欧洲、美洲、亚洲等洲的多种作物和落叶树上被发现(Schausberger & Croft, 2000),能有效控制玉米、葡萄等作物上的叶螨和蓟马等有害生物(张艳璇等,2012)。该螨对温湿度适应范围广、对杀螨剂有抗性、耐饥饿能力强(Tusset et al., 2016),在国外已被开发为重要的天敌商品(Gotoh et al., 2006),其可以在害螨的结网里生活,因此当有吐丝拉网习性的害螨大量暴发时,也可以进行释放防治(McMurtry et al., 2013)。我国最早于2009年由福建省农业科学院植物保护研究所从欧洲引进加州新小绥螨(张艳璇等,2012),后在四川省(覃贵勇等,2013)、广州市、北京市(蒋洪丽等,2015)等地也有其防治进展报道。捕食功能反应是研究天敌对其猎物捕食的有效性、捕食能力的经典方法(Ali et al., 2011;蒋洪丽等,2015),国内外关于加州新小绥螨捕食方面的研究较多,国外研究多集

中于加州新小绥螨对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的捕食(Greco et al., 2005; Sato et al., 2007; Ahn et al., 2010),也有对苹果全爪螨控制潜力的相关报道(Gotoh et al., 2006; EI Taj & Jung, 2012);国内研究多集中于加州新小绥螨国内品系对柑橘全爪螨 *P. citri*(覃贵勇等,2013)、土耳其斯坦叶螨 *T. turkestan*(汪小东等,2014a)、截形叶螨 *T. truncate*(汪小东等,2014b)、朱砂叶螨 *T. cinnabarinus*(李庆等,2014;蒋洪丽等,2015)、猕猴桃卢氏叶螨 *T. ludeni*(陈莉等,2016)、神泽氏叶螨 *T. kanzawai*(Song et al., 2016)、二斑叶螨(Song et al., 2016; Zheng et al., 2017)等捕食作用,但目前未见对苹果全爪螨捕食能力的报道。

虽然加州新小绥螨国外品系对苹果全爪螨国外品系控制潜力的研究已有报道(Gotoh et al., 2006; EI Taj & Jung, 2012),但捕食螨捕食猎物的功能反应会因捕食螨取食历史的不同而有差异(Castagnoli & Simoni, 1999)。为明确我国商品化生产的加州新小绥螨对我国北方果园苹果全爪螨的控制潜力,拟在实验室条件下测定加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的捕食功能反应、捕食选择性及加州新小绥螨自身密度对其捕食的干扰效应,以期为苹果全爪螨的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试螨源和植物:于2018年7月自山东农业大学果树示范园的富士苹果树上采集苹果全爪螨,采用叶片水盘法(孙绪良等,1995)于温度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(60\pm 5)\%$ 、光周期 16 L:8 D 的人工气候箱内用自山东农业大学校园内采集的日本晚樱叶片饲养,建立实验室种群;加州新小绥螨由福建省农业科学院植物保护研究所提供,挑选健康活跃、个体大小一致的雌成螨,用苹果全爪螨饲养后饥饿 24 h,用于试验。

仪器:RLD-400A-4 人工气候箱,宁波乐电仪器

制造有限公司;JSZ-8-040030 双目解剖镜,深圳市晨晟光学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 加州新小绥螨对苹果全爪螨的捕食功能反应

参照孙绪良等(1995)方法,将日本晚樱叶片制成长3.5 cm、宽2.5 cm的叶盘。在干净叶盘中,苹果全爪螨各螨态分别设置5个密度梯度,即卵密度分别为5、10、15、20、25粒/叶盘,幼螨和第1若螨密度分别为4、8、12、16、20头/叶盘,第2若螨密度分别为3、6、9、12、15头/叶盘,雌成螨密度分别为2、4、6、8、10头/叶盘,每个叶盘分别挑入1头经24 h饥饿处理的加州新小绥螨雌成螨,置于温度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(60\pm 5)\%$ 、光周期L 16:D 8的人工气候箱内,24 h后统计苹果全爪螨各螨态被捕食的数量,每次每个处理1个叶盘,每个处理重复3次。采用Holling圆盘方程 $N_a=aTN/(1+aT_hN)$ 对试验数据进行拟合(吴坤君等,2004),式中 N 为猎物初始密度; N_a 为猎物被捕食量; a 为瞬时攻击率; T 为捕食者总利用时间($T=1\text{ d}$); T_h 为处理1头猎物所需要的时间; a/T_h 用来评价捕食者的捕食能力; $1/T_h$ 为日最大捕食量。

1.2.2 加州新小绥螨对苹果全爪螨的捕食选择性

取苹果全爪螨各螨态各20粒或头放入同一个长3.5 cm、宽2.5 cm的新鲜叶盘中,挑入1头经24 h饥饿处理的加州新小绥螨雌成螨,置于温度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(60\pm 5)\%$ 、光周期L 16:D 8的人工气候箱内,24 h后统计苹果全爪螨各螨态被捕食的数量,每次每个处理1个叶盘,每个处理重复3次。加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的选择性用选择系数 Q 表示, Q =某螨态被捕食数占总捕食的百分比/某螨态占猎物总数的百分比,当 $Q>1$ 时,表示加州新小绥

螨对该螨态猎物嗜食;当 $Q<1$ 时,表示加州新小绥螨对该螨态猎物没有嗜食;当 $Q=1$ 时,表示加州新小绥螨对该螨态猎物是随机捕食(赵志模等,1993)。

1.2.3 加州新小绥螨自身密度对其捕食的干扰效应

挑30头苹果全爪螨雌成螨放入到长3.5 cm、宽2.5 cm的新鲜叶盘中,每盘分别放入1、3、5、7、9头经24 h饥饿处理的加州新小绥螨雌成螨,置于温度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(60\pm 5)\%$ 、光周期L 16:D 8的人工气候箱内,24 h后统计苹果全爪螨雌成螨被捕食的数量,每次每个处理1个叶盘,每个处理重复3次。采用Hassell-Verely模型方程 $E=AP^m$ (Hassell & Verely, 1969)拟合加州新小绥螨不同密度对其捕食苹果全爪螨的捕食干扰效应,式中 E 为捕食作用率; A 为搜寻常数; P 为加州新小绥螨密度; m 为干扰系数。

1.3 数据分析

应用SPSS 19.0软件对数据进行统计分析。模型的各参数均采用最小二乘法估计,由模拟方程计算的理论与由试验直接获得或由试验数据计算的实验值之间采用 χ^2 检验,利用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 加州新小绥螨对苹果全爪螨的捕食功能反应

加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的捕食功能反应符合Holling II型圆盘方程,各方程的相关系数 r 介于0.974~0.987之间,均大于 $r_{(0.01,3)}=0.959$,表明加州新小绥螨的捕食量与苹果全爪螨的密度极显著相关,各方程的 χ^2 介于0.004~0.539之间,均小于 $\chi^2_{(0.05,4)}=9.488$ (表1),表明理论与实测值差异不显著,试验数据与模型的拟合性良好。

表1 加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的捕食功能反应

Table 1 Functional response of *Neoseiulus californicus* to *Panonychus ulmi* at different stages

螨态 Mite stage	圆盘方程 Disk equation	瞬时攻击率 Instantaneous attack rate	处理时间/d Handling time	日最大捕食量 (粒或头) Daily maximum predation amount	捕食能力 Predation capacity	χ^2	r
卵 Egg	$N_a=1.169N/(1+0.216N)$	1.169	0.029	34.5	40.3	0.397	0.974
幼螨 Larva	$N_a=1.404N/(1+0.038N)$	1.404	0.038	26.3	36.9	0.539	0.976
第1若螨 Protonymph	$N_a=1.278N/(1+0.095N)$	1.278	0.074	13.5	17.3	0.168	0.978
第2若螨 Deutonymph	$N_a=1.246N/(1+0.165N)$	1.246	0.082	12.2	15.2	0.040	0.982
雌成螨 Female adult	$N_a=1.172N/(1+0.384N)$	1.172	0.328	3.0	3.6	0.004	0.987

N_a : 猎物被捕食量; N : 猎物初始密度。 N_a : Number of preys predated; N : initial density of prey.

相同条件下,加州新小绥螨对苹果全爪螨幼螨的瞬时攻击率最大,为1.404,其次是第1若螨、第2若螨、雌成螨和卵,瞬时攻击率分别为1.278、1.246、

1.172和1.169;对苹果全爪螨卵的处理时间最短,为0.029 d,对雌成螨的处理时间最长,为0.328 d;对苹果全爪螨卵的日最大捕食量最大,为34.5粒,其次为

幼螨、第1若螨和第2若螨,日最大捕食量分别为26.3、13.5和12.2头,对雌成螨的捕食量最少,日最大捕食量为3.0头;对苹果全爪螨各螨态的捕食能力由大到小分别为卵、幼螨、第1若螨、第2若螨、雌成螨,分别为40.3、36.9、17.3、15.2和3.6(表1)。

2.2 加州新小绥螨对苹果全爪螨的捕食选择性

加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的嗜食性明

显不同,其中对幼螨的嗜食性最高,选择系数为1.5;对卵和第1若螨的嗜食性稍低,选择系数分别为1.4和1.1;对第2若螨和雌成螨没有嗜食性,选择系数分别为0.9和0,均小于1.0。表明当苹果全爪螨各螨态同时存在时,加州新小绥螨会优先选择捕食苹果全爪螨幼螨、卵和第1若螨(表2)。

表2 加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的捕食选择性

Table 2 Prey selection of *Neoseiulus californicus* on *Panonychus ulmi* at different stages

螨态 Mite stage	被捕食数量/头 Preyed number	被捕食率/% Ratio preyed	选择系数 Selection coefficient
卵 Egg	7.0±0.6	23.3	1.4
幼螨 Larva	7.7±1.8	25.6	1.5
第1若螨 Protonymph	5.7±1.9	18.9	1.1
第2若螨 Deutonymph	4.7±1.2	15.6	0.9
雌成螨 Female adult	0.0±0.0	0.0	0.0

表中数据为平均数±标准误。Data are means±SD.

2.3 加州新小绥螨自身密度对其捕食的干扰效应

当温度为25℃且在苹果全爪螨密度和捕食空间一定的情况下,加州新小绥螨对苹果全爪螨的总捕食量随自身密度增大而增大,密度为1、3、5、7和9头/盘时,总捕食量分别是1.7、2.0、3.0、3.7和4.7头;但单头捕食量和捕食作用率随着自身密度的增大而下降,分别是1.666、0.666、0.600、0.523、0.518头和0.057、0.022、0.020、0.018、0.017(表3),说明加州

新小绥螨在捕食苹果全爪螨时,个体间存在相互干扰和竞争。经Hassell-Verely模型方程模拟,加州新小绥螨的捕食作用率与其自身密度间的关系模型为 $E=0.050P^{-0.544}$,相关系数 $r=0.989>r_{(0.01,3)}=0.959$,表明加州新小绥螨的捕食作用率与其自身密度极显著相关, $\chi^2=0.093<\chi^2_{(0.05,4)}=9.488$,表明理论值与实测值差异不显著,试验数据与模型的拟合性良好。

表3 加州新小绥螨自身密度对其捕食的干扰效应

Table 3 Interference effect of the density of *Neoseiulus californicus* on its predation capacity

加州新小绥螨密度/(头/盘) Density of <i>N. californicus</i>	总捕食量/头 Total predation amount	单头捕食量/头 Predation amount per predatory mite	捕食作用率 Predation rate
1	1.7±0.2 d	1.666±0.333 a	0.057
3	2.0±0.6 cd	0.666±0.577 ab	0.022
5	3.0±0.6 bc	0.600±0.577 bc	0.020
7	3.7±0.3 b	0.523±0.166 bc	0.018
9	4.7±0.3 a	0.518±0.333 c	0.017

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

本研究表明,加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的功能反应均符合Holling II型圆盘方程,与加州新小绥螨对二斑叶螨(Farazmand et al., 2012; Landeros et al., 2013; Döker et al., 2016)、土耳其斯坦叶螨(汪小东等, 2014a)、截形叶螨(汪小东等, 2014b)、朱砂叶螨(李庆等, 2014)、神泽氏叶螨(Song et al., 2016)、侧多食跗线螨 *Polyphagotarsonemus latus* (朱

睿等, 2019)的捕食功能反应结果一致。大多数捕食螨对叶螨的捕食功能反应均符合Holling II型圆盘方程,如巴氏钝绥螨 *Amblyseius barkeri* 对柑橘全爪螨(凌鹏等, 2008)、截形叶螨(崔晓宁等, 2011)和二斑叶螨(尚素琴等, 2015)、智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* 对土耳其斯坦叶螨(王银方等, 2013)、真桑钝绥螨 *A. makuwa* 对朱砂叶螨(张晓阳等, 2017)等。这种捕食规律同样在其它节肢动物捕食者中普遍存在,如大草蛉 *Chrysopa pallens* 捕食烟粉

虱 *Bemisia tabaci* (王然等, 2016), 东亚小花蝽 *Orius sauteri* 捕食棕榈蓟马 *Thrips palmi* (吕兵等, 2017), 异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 捕食枸杞木虱 *Paratrioza sinica* (巫鹏翔等, 2017)、雪松长足大蚜 *Cinara cedri* (王倩倩等, 2019), 日本刀角瓢虫 *Serangium japonicum* 捕食烟粉虱 (马丽君等, 2018) 等。加州新小绥螨对苹果全爪螨卵的捕食能力最强, 其次是幼螨, 对雌成螨的捕食能力最差, 与加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨 (汪小东等, 2014a)、截形叶螨 (汪小东等, 2014b)、朱砂叶螨 (李庆等, 2014)、柑橘全爪螨 (覃贵勇等, 2013) 的捕食功能反应一致, 究其原因可能是卵静止不动, 没有主动躲避的能力, 幼螨体型小, 反抗能力差, 而雌成螨体型较大, 反抗能力强。25℃下, 加州新小绥螨对苹果全爪螨、朱砂叶螨 (李庆等, 2014)、柑橘全爪螨 (覃贵勇等, 2013) 卵和幼螨的捕食能力 (a/T_h 值) 分别是 40.30、26.30、42.42、81.63、20.83、37.09, 表明对朱砂叶螨的控制能力更强, 但是捕食能力是在不同的实验室条件下获得的, 即使温度相同, 其它条件也可能会对其产生影响, 并且这样的比较是否科学, 均有待于进一步研究。

捕食螨对害螨的捕食选择是一个复杂的过程, 但大部分捕食螨都对害螨的卵、幼螨或者第1若螨有嗜食性, 对第2若螨或成螨无嗜食性, 如巴氏钝绥螨对腐食酪螨 *Tyrophagus putrescentiae* 卵、幼螨和第1若螨有嗜食性, 但对其成螨无嗜食性 (王峻枫等, 2013); 芬兰真绥螨 *Euseius finlandicus* 对截形叶螨卵和幼螨有嗜食性, 但对其成螨无嗜食性 (郑开福等, 2013); 斯氏钝绥螨 *A. swirskii* 对马铃薯上腐食酪螨若螨有明显的嗜食性 (郑亚强等, 2017); 巴氏钝绥螨对柑橘全爪螨幼螨和若螨有嗜食性 (凌鹏等, 2008)。本研究也得到类似结果, 加州新小绥螨对苹果全爪螨卵、幼螨和第1若螨有嗜食性, 对苹果全爪螨的第2若螨和雌成螨无嗜食性。

捕食者自身密度对其捕食作用有明显的影响 (王利平等, 2011)。本研究结果表明, 加州新小绥螨在捕食苹果全爪螨时存在较强的种内干扰效应, 当苹果全爪螨数量一定时, 随着加州新小绥螨自身密度的增加, 单头捕食量下降。汪小东等 (2014a, b) 研究发现, 加州新小绥螨在捕食土耳其斯坦叶螨和截形叶螨时, 也存在很强的种内干扰效应。产生捕食者自身干扰的原因可能与捕食者自身的竞争有关, 也可能与猎物之间的相互干扰和影响有关, 因此, 在实际生产中利用加州新小绥螨控制害螨时, 应密切观察害螨的种群数量及发育阶段, 控制益害比, 以期

达到最佳防控效果。

本研究在室内相对稳定的条件下测定加州新小绥螨对苹果全爪螨有较强的捕食能力, 但捕食螨在实际释放应用中会受到多种变化因素的影响, 因此, 加州新小绥螨可否用于果园苹果全爪螨的防控还需通过进一步的田间试验来验证。

参考文献 (References)

- AHN JJ, KIM KW, LEE JH. 2010. Functional response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry leaves. *Journal of Applied Entomology*, 134(2): 98–104
- ALI MP, NAIF AA, HUANG DC. 2011. Prey consumption and functional response of a phytoseiid predator, *Neoseiulus womersleyi*, feeding on spider mite, *Tetranychus macfarlanei*. *Journal of Insect Science*, 11(3): 127–264
- CASTAGNOLI M, SIMONI S. 1999. Effect of long-term feeding history on functional and numerical response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental & Applied Acarology*, 23(3): 217–234
- CHEN L, LI Q, JIANG CX, YANG QF, WANG HJ. 2016. Predation of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus ludeni* of kiwi fruit. *Journal of Chinese Biological Control*, 32(5): 569–574 (in Chinese) [陈莉, 李庆, 蒋春先, 杨群芳, 王海建. 2016. 加州新小绥螨对猕猴桃卢氏叶螨的捕食作用. *中国生物防治学报*, 32(5): 569–574]
- CUI XN, ZHANG YL, SHEN HM, ZHANG XH. 2011. The predatory function of *Amblyseius barkeri* on *Tetranychus truncatus*. *Journal of Plant Protection*, 38(6): 575–576 (in Chinese) [崔晓宁, 张亚玲, 沈慧敏, 张新虎. 2011. 巴氏钝绥螨对截形叶螨的捕食作用. *植物保护学报*, 38(6): 575–576]
- DÖKER I, KAZAK C, KARUT K. 2016. Functional response and fecundity of a native *Neoseiulus californicus* population to *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) at extreme humidity conditions. *Systematic and Applied Acarology*, 21(11): 1463–1472
- EI TAJ HF, JUNG C. 2012. Effect of temperature on the life-history traits of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) fed on *Panonychus ulmi*. *Experimental & Applied Acarology*, 56(3): 247–260
- FARAZMAND A, FATHIPOUR Y, KAMALI K. 2012. Functional response and mutual interference of *Neoseiulus californicus* and *Typhlodromus bagdasarjani* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 38(5): 369–376
- GAO Y, WANG YP, WANG YL, CAO KQ, WANG QY. 2019. Species of apple spider mites and application of miticides in main apple producing areas of China. *China Plant Protection*, 39(2): 67–70 (in Chinese) [高越, 王银平, 王亚黎, 曹克强, 王勤英. 2019. 我

- 国苹果主产区苹果叶螨种类及杀螨剂应用现状. 中国植保导刊, 39(2): 67-70]
- GOTOH T, TSUCHIYA A, KITASHIMA Y. 2006. Influence of prey on developmental performance, reproduction and prey consumption of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental & Applied Acarology*, 40(3/4): 189-204
- GRECO NM, SÁNCHEZ NE, LILJESTHÖM GG. 2005. *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) as a potential control agent of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): effect of pest/predator ratio on pest abundance on strawberry. *Experimental & Applied Acarology*, 37(1/2): 57-66
- GU Y, CAO TT. 2017. Succession dynamics and control techniques of mite pests in orchards in eastern Shandong Province. *Yantai Fruits*, (3): 25-27 (in Chinese) [顾耘, 曹婷婷. 2017. 胶东地区果园叶螨类害虫演替动态与防治技术. 烟台果树, (3): 25-27]
- HASSELL MP, VERLEY GC. 1969. New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control. *Nature*, 223(5211): 1133-1137
- JIANG HL, WANG ED, LÜ JL, WANG BM, XU XN. 2015. Preference of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) and functional responses of *N. californicus* and *Amblyseius pseudolongispinosus* to prey developmental stages of *Tetranychus cinnabarinus*. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(1): 8-13 (in Chinese) [蒋洪丽, 王恩东, 吕佳乐, 王伯明, 徐学农. 2015. 加州新小绥螨对朱砂叶螨不同螨态的捕食选择性及与拟长毛钝绥螨功能反应比较. 中国生物防治学报, 31(1): 8-13]
- LANDEROS J, CERDA P, BADII MH, AGUIRRE LA, CERNA E, OCHOA YM. 2013. Functional response of *Neoseiulus californicus* on *Tetranychus urticae* on apple leaves. *Southwestern Entomologist*, 38(1): 79-84
- LI Q, CUI Q, JIANG CX, WANG HJ, YANG QF. 2014. Control efficacy of Chinese *Neoseiulus californicus* (McGregor) predation on *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). *Journal of Plant Protection*, 41(3): 257-262 (in Chinese) [李庆, 崔琦, 蒋春先, 王海建, 杨群芳. 2014. 加州新小绥螨对朱砂叶螨的控制作用. 植物保护学报, 41(3): 257-262]
- LING P, XIA B, LI PX, SHU C, ZHONG L, LI AH. 2008. Functional response of *Amblyseius barkeri* (Acarina: Phytoseiidae) on *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *Acta Arachnologica Sinica*, 7(1): 29-34 (in Chinese) [凌鹏, 夏斌, 李鹏新, 舒畅, 钟玲, 李爱华. 2008. 巴氏钝绥螨对柑橘全爪螨的捕食效能. 蛛形学报, 7(1): 29-34]
- LÜ B, SUN M, ZHAI YF, CHEN H, ZHENG L, YU Y. 2017. Evaluation of the biocontrol capacity of predatory bug *Orius sauteri*, reared on *Sitotroga cerealella* eggs, on *Thrips palmi* based on predatory functional response. *Journal of Plant Protection*, 44(5): 875-876 (in Chinese) [吕兵, 孙猛, 翟一凡, 陈浩, 郑礼, 于毅. 2017. 基于捕食功能反应评价麦蛾卵饲养东亚小花蝽对棕榈蓟马的控害效果. 植物保护学报, 44(5): 875-876]
- MA LJ, ZHANG SZ, LIU TX. 2018. Influences of interspecific competition between ladybeetle *Serangium japonicum* and parasitoid *Encarsia formosa* on predation of tobacco whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Plant Protection*, 45(6): 1289-1295 (in Chinese) [马丽君, 张世泽, 刘同先. 2018. 种间竞争对烟粉虱天敌日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂捕食功能反应的影响. 植物保护学报, 45(6): 1289-1295]
- MCMURTRY JA, MORAES GJD, SOURASSOU NF. 2013. Revision of the lifestyles of *Phytoseiid* mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic & Applied Acarology*, 18(4): 297-320
- QIN GY, LI Q, YANG QF, WANG HJ, JIANG CX. 2013. Potential of predator mite *Neoseiulus californicus* in controlling citrus red mite *Panonychus citri*. *Journal of Plant Protection*, 40(2): 149-154 (in Chinese) [覃贵勇, 李庆, 杨群芳, 王海建, 蒋春先. 2013. 加州新小绥螨对柑橘全爪螨的控制潜力. 植物保护学报, 40(2): 149-154]
- SATO ME, SILVA MZD, FILHO MFDS, MATIOLI AL, RAGA A. 2007. Management of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in strawberry fields with *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) and acaricides. *Experimental & Applied Acarology*, 42: 107-120
- SCHAUSBERGER P, CROFT BA. 2000. Nutritional benefits of intra-guild predation and cannibalism among generalist and specialist phytoseiid mites. *Ecological Entomology*, 25(4): 473-480
- SHANG SQ, ZHENG KF, ZHANG XH. 2015. The functional response of *Amblyseius barkeri* to *Tetranychus urticae*. *Journal of Plant Protection*, 42(3): 316-320 (in Chinese) [尚素琴, 郑开福, 张新虎. 2015. 巴氏钝绥螨对二斑叶螨的捕食功能反应. 2015. 植物保护学报, 42(3): 316-320]
- SONG ZW, ZHENG Y, ZHANG BX, LI DS. 2016. Prey consumption and functional response of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae). *Systematic & Applied Acarology*, 21(7): 936-946
- SUN XG, ZHOU CG, ZHANG XD, LIU YM, MI XM. 1995. A study on the diapause of *Oligonychus ununguis* (Jacobi). *Acta Entomologica Sinica*, 38(3): 305-311 (in Chinese) [孙绪良, 周成刚, 张小娣, 刘玉美, 宓秀民. 1995. 针叶小爪螨的滞育研究. 昆虫学报, 38(3): 305-311]
- TUSSET AM, PICCIRILLO V, BALTHAZAR JM. 2016. A note on SDRE control applied in predator-prey model: biological control of spider mite *Panonychus ulmi*. *Journal of Biological Systems*, 24(2): 333-344
- WANG HT, WANG PS, SI SD, LUAN BH, WANG YZ. 2012. Resistance monitoring of different *Panonychus ulmi* populations to four acaricides in Shandong Province. *Journal of Fruit Science*, 29(6): 1083-1087 (in Chinese) [王洪涛, 王培松, 司树鼎, 栾炳辉, 王英姿. 2012. 山东地区不同苹果全爪螨种群对4种杀螨剂的抗药性检测. 果树学报, 29(6): 1083-1087]
- WANG JF, CHEN J, LI GT, JIANG JQ. 2013. Predation effect of *Amblyseius barkeri* to *Tyrophagus putrescentiae*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 41(15): 6694-6696 (in Chinese) [王峻枫, 陈军, 李桂亭, 江俊起. 2013. 巴氏钝绥螨对腐食酪螨的捕食作用. 安徽农业科学, 41(15): 6694-6696]

- WANG LP, WANG YM, DU JP, ZHANG GA. 2011. Predation of *Amblyseius swirskii* on *Tetranychus ciuabariensis* nymphs. Chinese Journal of Biological Control, 27(2): 171–175 (in Chinese) [王利平, 王永模, 杜进平, 张国安. 2011. 斯氏钝绥螨对朱砂叶螨若螨的捕食作用. 中国生物防治学报, 27(2): 171–175]
- WANG N, ZHANG J, YU L, ZOU Q, GUO ZW, MAO ZL, WANG YC, JIANG SH, FANG HC, XU HF, et al. 2019. Progress on the resource breeding of kernel fruits II: progress on the germplasm resources, quality development and genetic breeding of apple in China. Journal of Plant Genetic Resources, 20(4): 801–812 (in Chinese) [王楠, 张静, 于蕾, 邹琦, 郭章文, 毛作霖, 王意程, 姜生辉, 房鸿成, 许海峰, 等. 2019. 仁果类果树资源育种研究进展 II: 苹果种质资源、品质发育及遗传育种研究进展. 植物遗传资源学报, 20(4): 801–812]
- WANG QQ, ZHANG WG, TIAN T, WANG XY, ZHOU CG, YIN SY. 2019. Predation of *Harmonia axyridis* on *Cinara cedris*. Journal of Plant Protection, 46(2): 458–464 (in Chinese) [王倩倩, 张卫光, 田恬, 王晓艺, 周成刚, 尹淑艳. 2019. 异色瓢虫对雪松长足大蚜的捕食作用. 植物保护学报, 46(2): 458–464]
- WANG R, WANG S, QU C, LI JH, CHEN ZQ, ZHANG F. 2016. The predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants. Journal of Plant Protection, 43(1): 149–154 (in Chinese) [王然, 王魁, 渠成, 李济航, 陈支芹, 张帆. 2016. 大草蛉幼虫对不同寄主植物上烟粉虱卵的捕食功能反应与搜寻效应. 植物保护学报, 43(1): 149–154]
- WANG XD, LIU F, ZHANG JH, YUAN XP, ZHAO YY. 2014a. Predation of predatory mite *Neoseiulus californicus* on strawberry spider mite *Tetranychus turkestanii*. Journal of Plant Protection, 41(1): 19–24 (in Chinese) [汪小东, 刘峰, 张建华, 袁秀萍, 赵伊英. 2014a. 加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食作用. 植物保护学报, 41(1): 19–24]
- WANG XD, ZHANG JH, HUANG YQ, YUAN XP, HE M, LI Q, ZHAO YY. 2014b. Predation of *Neoseiulus californicus* on *Tetranychus truncatus*. Northwest Agricultural Journal, 23(2): 39–43 (in Chinese) [汪小东, 张建华, 黄艳勤, 袁秀萍, 何森, 李倩, 赵伊英. 2014b. 加州新小绥螨对截形叶螨的捕食作用. 西北农业学报, 23(2): 39–43]
- WANG YF, TU EX, GUO WC, HE J. 2013. Functional of *Phytoseiulus persimilis* to predation of *Tetranychus turkestanii* Ugarov et Nikolski. Journal of Environmental Entomology, 35(2): 176–181 (in Chinese) [王银方, 吐尔逊, 郭文超, 何江. 2013. 智利小植绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食效能评价. 环境昆虫学报, 35(2): 176–181]
- WU KJ, SHENG CF, GONG PY. 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. Entomological Knowledge, 41(3): 267–269 (in Chinese) [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜. 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 昆虫知识, 41(3): 267–269]
- WU PX, MA BX, XU J, HE J, ZHANG R, ZHANG RZ. 2017. Predation of *Paratirozia sinica* Yang & Li by *Harmonia axyridis* adults. Journal of Plant Protection, 44(4): 582–588 (in Chinese) [巫鹏翔, 马宝旭, 徐婧, 何嘉, 张蓉, 张润志. 2017. 异色瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用. 植物保护学报, 44(4): 582–588]
- YAN WT, QIU GS, ZHOU YS, ZHANG HJ, CHEN HJ, ZHANG P, LIU CL, ZHENG YC. 2011. Spatial distribution pattern and time series dynamics of *Panonychus ulmi* (Koch) in an apple orchard of Liaoning Province, Northeast China. Chinese Journal of Applied Ecology, 22(11): 3053–3059 (in Chinese) [闫文涛, 仇贵生, 周玉书, 张怀江, 陈汉杰, 张平, 刘池林, 郑运成. 2011. 苹果全爪螨的空间分布格局及时序动态. 应用生态学报, 22(11): 3053–3059]
- ZHANG XY, MA M, LI R, LI SC. 2017. Life table of experimental population of *Amblyseius makuwa* Ehara and predation on *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval. Chinese Journal of Biological Control, 33(2): 183–187 (in Chinese) [张晓阳, 马敏, 李锐, 李生才. 2017. 真桑钝绥螨捕食朱砂叶螨的实验种群生命表及捕食作用. 中国生物防治学报, 33(2): 183–187]
- ZHANG YX, JI J, CHEN X, LIN JZ, CHEN BL. 2012. The effect of temperature on reproduction and development duration of *Neoseiulus (Amblyseius) californicus* (Mcgregor). Fujian Journal of Agricultural Sciences, 27(2): 157–161 (in Chinese) [张艳璇, 季洁, 陈霞, 林坚贞, 陈蓓蕾. 2012. 温度对加州新小绥螨发育及繁殖的影响. 福建农业学报, 27(2): 157–161]
- ZHAO ZM, CHEN Y, WU SY. 1993. Study on the predatory of *Amblyseius vulgaris* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae). Acta Arachnologica Sinica, 2(1): 31–35 (in Chinese) [赵志模, 陈艳, 吴仕元. 1993. 普通钝绥螨(*Amblyseius vulgaris*)对朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)捕食作用的研究. 蛛形学报, 2(1): 31–35]
- ZHENG KF, SHEN HM, ZHANG XH. 2013. Predation of *Euseius finlandicus* on *Tetranychus truncatus*. Journal of Applied Entomology, 50(2): 401–405 (in Chinese) [郑开福, 沈慧敏, 张新虎. 2013. 芬兰真绥螨对截形叶螨的捕食功能研究. 应用昆虫学报, 50(2): 401–405]
- ZHENG Y, CLERCQ PD, SONG ZW, LI DS, ZHANG BX. 2017. Functional response of two *Neoseiulus* species preying on *Tetranychus urticae* Koch. Systematic and Applied Acarology Society, 22(7): 1059–1068
- ZHENG YQ, CHEN YF, YU Q, MO XH, DU GZ, LUO CP, XIAO GL, CHEN B. 2017. The predatory efficacy of *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) to *Tyrophagus putrescentiae*. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 32(2): 233–237 (in Chinese) [郑亚强, 陈屹甫, 余清, 莫笑哈, 杜广祖, 罗春萍, 肖关丽, 陈斌. 2017. 斯氏钝绥螨对马铃薯上腐食酪螨的捕食效应研究. 云南农业大学学报(自然科学), 32(2): 233–237]
- ZHU R, GUO JJ, YI TC, XIAO R, JIN DC. 2019. Preying potential of predatory mite *Neoseiulus californicus* to broad mite *Polyphagotarsonemus latus*. Journal of Plant Protection, 46(2): 465–471 (in Chinese) [朱睿, 郭建军, 乙天慈, 肖榕, 金道超. 2019. 加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食潜能. 植物保护学报, 46(2): 465–471]

(责任编辑:张俊芳)