加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨的捕食能力比较*

王 蔓[1**] 李 波[2] 黄 婕[1] 门兴元[3] 季 洁[4] 刘永杰[1***] 尹淑艳[1***]

（1. 山东农业大学植物保护学院，泰安 271018；2. 泰安市林业局，泰安 271000；
3. 山东省农业科学院植物保护研究所，济南 250100；4. 福建省农业科学院植物保护研究所，福州 350013）

摘 要 **【目的】** 比较加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 和巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的捕食能力，为果园二斑叶螨生物防治剂的选择提供依据。**【方法】** 采用捕食功能反应的方法研究加州新小绥螨和巴氏新小绥螨雌成螨对二斑叶螨各螨态的捕食作用。**【结果】** 加州新小绥螨和巴氏新小绥螨雌成螨对二斑叶螨各螨态的捕食功能反应均属于 Holling Ⅱ型，对二斑叶螨各螨态的捕食能力均随着螨态的增大而降低，对卵的捕食能力最强，其次是幼螨、第一若螨、第二若螨、成螨。巴氏新小绥螨对二斑叶螨卵、幼螨的捕食能力强于加州新小绥螨，功能反应参数 a/T_h 值分别高出 55.2%和 30.1%，而加州新小绥螨对二斑叶螨第一若螨、第二若螨的捕食能力强于巴氏新小绥螨，a/T_h 值分别高出 67.5%和 114.5%，两种捕食螨对二斑叶螨雌成螨的捕食能力相当，a/T_h 值均为 4.5。加州新小绥螨和巴氏新小绥螨均对二斑叶螨的卵和幼螨表现出嗜食性，而对若螨和成螨没有嗜食性。两种捕食螨对二斑叶螨的捕食存在种内干扰，加州新小绥螨的干扰系数（0.328）大于巴氏新小绥螨（0.324）。**【结论】** 在室内环境稳定的条件下，加州新小绥螨对二斑叶螨的捕食能力强于巴氏新小绥螨。

关键词 加州新小绥螨；巴氏新小绥螨；二斑叶螨；功能反应；捕食选择；捕食干扰

Comparison of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus barkeri* as biological controls for *Tetranychus urticae*

WANG Man[1**] LI Bo[2] HUANG Jie[1] MEN Xing-Yuan[3] JI Jie[4] LIU Yong-Jie[1***] YIN Shu-Yan[1***]

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. Forestry Bureau of Taian City, Taian 271000, China; 3. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 4. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)

Abstract **[Objectives]** To compare the effectiveness of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus barkeri* as biological controls for *Tetranychus urticae* and thereby determine which species would be the better biological control for *T. urticae* in orchards. **[Methods]** The predation of adult female *N. californicus* and *N. barkeri* on different developmental stages of *T. urticae* was studied in the laboratory using the functional response method and the functional response of *N. californicus* and *N. barkeri* to different developmental stages of *T. urticae* were fitted to the Holling II equation. **[Results]** The predatory capacity of these two predatory mites decreased with spider mite size. Predation was greatest on eggs, followed by larvae, protonymphs, deutonymphs and adults. The capacity of *N. barkeri* to prey on eggs and larvae of *T. urticae* was stronger than that of *N. californicus*; the values of the functional response parameter a/T_h were 55.2% and 30.1% higher, respectively. The capacity of *N. californicus* to prey on protonymphs and deutonymphs of *T. urticae* was greater than that of *N. barkeri*; a/T_h values were 67.5% and 114.5% higher, respectively. The capacity of both predatory mites to prey on adult female *T. urticae* was similar (a/T_h = 4.5). Both *N. californicus* and *N. barkeri* preferred *T. urticae* eggs and larvae to nymphs and adults. There

*资助项目 Supported projects：山东省重大科技创新工程项目（2017CXGC0214）；国家重点研发计划（2016YFD0201113）

**第一作者 First author，E-mail：wangman1262006@126.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：shuyany@163.com；lyj@sdau.edu.cn

收稿日期 Received：2019-09-25；接受日期 Accepted：2019-10-28

was evidence of intraspecific interference in the predation of *N. californicus* and *N. barkeri* on *T. urticae*. The interference coefficient of *N. californicus* was slightly higher than that of *N. barkeri*. **[Conclusion]** *N. californicus* has greater capacity to prey on *T. urticae* than *N. barkeri* under stable laboratory conditions.

Key words *Neoseiulus californicus*; *Neoseiulus barkeri*; *Tetranychus urticae*; functional response; prey selection; predation interference

在我国，苹果的栽培面积、总产量、人均占有量与出口量均居世界第一，是世界上最大的苹果生产和消费国（陈学森等，2010）。苹果生产中经常受到苹果叶螨的为害。苹果叶螨是为害苹果树的植食性叶螨，刺吸苹果叶片汁液，破坏叶绿素，影响光合作用，进一步影响树体和果实发育，严重时造成叶片焦枯或脱落。20 世纪 90 年代之前，为害苹果的叶螨主要是山楂叶螨 *Amphitetranychus viennensis*、苹果全爪螨 *Panonychus ulmi*、苜蓿苔螨 *Bryobia praetiosa*。20 世纪 90 年代以后，因环境条件及天敌种类的变化，二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的为害逐渐上升为主要害虫，并在全国范围内扩散（高越等，2019）。二斑叶螨螨体小、世代多、繁殖速度快、发育历期短，且极易产生抗药性（宫亚军等，2015；周兴隆等，2015；涂洪涛等，2016）。同时，杀虫、杀螨剂的长期大量不合理的使用加剧了抗药性的发展，成为该螨化学防治的主要问题（周兴隆等，2015）。此外，化学防治受到当前可持续和环境友好农业实践趋势及消费者对安全新鲜果蔬需求的严重挑战，生物防治被认为是化学防治的有效替代品（Xiao *et al.*，2013）。“以螨治螨”是害螨生物防治的有效措施之一（蒋洪丽等，2015）。

加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 和巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 均隶属于植绥螨科 Phytoseiidae、新小绥属 *Neoseiulus*。加州新小绥螨具有对温湿度适应范围广、对杀螨剂有抗性、耐饥饿能力强等特点，且能生活在害螨的结网中（Tusset *et al.*，2016）。目前，已被开发为重要的天敌商品（Gotoh *et al.*，2006）。当叶螨大量爆发时，可通过大量释放该螨用于防治叶螨（McMurtry *et al.*，2013）。国内外已有较多加州新小绥螨的繁殖生物学生态学、替代食物饲养繁育、重要害螨防治应用等的相关研究（Farazmand *et al.*，2012；Landeros *et al.*，2013；李庆等，2014；汪小东等，2014a、2014b、2014c；Döker *et al.*，2016；Song *et al.*，2016；尚素琴等，2017；刘静月等，2019；肖榕等，2019）。巴氏新小绥螨于世界各大洲均有分布，是许多农业生态系统中常见的捕食螨（Li *et al.*, 2018）。其食性广泛，除捕食叶螨和蓟马外，还能捕食蚜虫、木虱、粉虱、介壳虫、蚊蝇类幼虫和跳虫、线虫等，已被广泛应用于农业生物防治中（张东旭等，2013；陈耀年等，2016；胡军华等，2016）。

二斑叶螨是苹果园的主要害螨，利用捕食螨是当前绿色防控二斑叶螨的主要手段。捕食功能反应是研究天敌对其猎物捕食能力大小的经典方法（蒋洪丽等，2015）。目前，加州新小绥螨和巴氏新小绥螨是我国供应量较为充足的商品化捕食螨，虽已有这两种捕食螨对二斑叶螨捕食能力的相关研究报道（Farazmand *et al.*，2012；Landeros *et al.*，2013；陈耀年等，2016；Döker *et al.*，2016；Song *et al.*，2016；尚素琴等，2017），但都是相对独立的研究，研究条件不一致，研究结果无法比较。为此，本研究在室内相同条件下比较两种捕食螨对二斑叶螨的捕食功能反应，以期为苹果园二斑叶螨生物防治剂的选择提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料

供试螨源：二斑叶螨采自山东农业大学南校果树示范园的苹果上，用叶片水盘法在室内建立实验室种群（孙绪艮等，1995），饲养条件为：温度（25 ± 1）℃，相对湿度 60% ± 5%，光周期 16 L：8 D。加州新小绥螨和巴氏新小绥螨由福

建农业科学院植物保护研究所提供，试验所用加州新小绥螨和巴氏新小绥螨均为雌成螨。

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 捕食功能反应 方法参照陈耀年等（2016），挑选健康活跃、个体大小一致的加州新小绥螨和巴氏新小绥螨雌成螨，先用二斑叶螨饲喂后再饥饿 24 h 用于试验（捕食螨挑选处理方法下同）。在干净叶盘（所有叶盘叶片面积控制在 2.5 cm × 3.5 cm）中分别设置二斑叶螨不同螨态的 5 个密度梯度。卵：5、10、15、20、25 粒/叶盘；幼螨：4、8、12、16、20 头/叶盘；第一若螨：4、8、12、16、20 头/叶盘；第二若螨：3、6、9、12、15 头/叶盘；雌成螨 2、4、6、8、10 头/叶盘。然后，再分别挑入 1 头经饥饿处理的加州新小绥螨或巴氏新小绥螨雌成螨，置于温度为（25 ± 1）℃，相对湿度为 60% ± 5%，光周期为 16 L：8 D 的人工气候箱内，24 h 后统计二斑叶螨各个螨态被捕食的数量，每个处理重复 3 次。

采用 Holling 圆盘方程 $N_a=aTN/(1+aT_hN)$ 对数据进行拟合（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（1 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 捕食选择性 方法参照蒋洪丽等(2015)。准备 2 个新鲜叶盘（同 1.2.1），每个叶盘挑入二斑叶螨 5 个螨态各 30 粒（头），然后挑入 1 头经饥饿处理的加州新小绥螨或巴氏新小绥螨雌成螨，置于人工气候箱内（同 1.2.1），24 h 后统计二斑叶螨各个螨态被捕食的数量，每个处理重复 3 次。

用选择系数 Q 表示捕食螨对二斑叶螨各螨态的选择性，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，表示捕食螨对该螨态猎物嗜食；当 Q<1 时，表示捕食螨对该螨态猎物非嗜食；当 Q=1 时，表示捕食螨对该螨态猎物是随机捕食（赵志模等，1993）。

1.2.3 捕食干扰效应 方法参照王倩倩等（2019）。准备 10 个新鲜叶盘，分别挑 30 头二斑叶螨雌成螨到新鲜的叶盘中。在每个叶盘中，分别接入经饥饿处理的加州新小绥螨或巴氏新小绥螨雌成螨 1、3、5、7、9 头，置于人工气候箱内（同 1.2.1），24 h 后统计二斑叶螨被捕食的数量，每个处理重复 3 次。

采用 Hassell-Verely 模型方程 $E=QP^{-m}$（Hassell and Verley，1969）拟合加州新小绥螨和巴氏新小绥螨捕食二斑叶螨的密度干扰效应，以反映加州新小绥螨和巴氏新小绥螨自身密度对其捕食过程的干扰作用。式中，E 为捕食作用率；Q 为搜寻常数；P 为捕食螨的密度；m 为干扰系数。

1.3 数据分析

各模拟方程的理论值与实际值的卡方（χ^2）检验均采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析，参数均采用最小二乘法估计，利用 Duncan 氏新复极差法对数据进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 捕食功能反应

加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨各螨态的捕食功能反应均可以很好地拟合 Holling Ⅱ圆盘方程（表 1，表 2）。方程的相关系数 r=0.976-0.990（加州新小绥螨，表 1）、0.958-0.988（巴氏新小绥螨，表 2）>$r_{(0.05,3)}$= 0.878，表明加州新小绥螨和巴氏新小绥螨的捕食量与二斑叶螨的密度显著相关，用拟合方程计算得到的理论值与实测值进行卡方检验，得出 χ^2 =0.127-0.287（加州新小绥螨，表 1）、0.013-1.308（巴氏新小绥螨，表 2）<$\chi^2_{(0.05,4)}$= 9.488，表明理论值与实测值差异不显著，拟合的 Holling Ⅱ

型圆盘方程能较好地描述试验数据。

瞬时攻击率 a 和处理时间 T_h 之比可以衡量天敌对害虫的控制能力，a/T_h 值越大，表示天敌对害虫的控制能力越强。由表 1，表 2 可以看出，加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨各螨态的捕食能力均随着螨态的增大而降低，对卵的捕食能力最强，其次是幼螨、第一若螨、第二若螨、成螨。巴氏新小绥螨对二斑叶螨卵、幼螨的 a/T_h 值（89.7、51.5）（表 2）大于加州新小绥螨（57.8、39.6）（表 2），分别高出 55.2%和 30.1%，而加州新小绥螨对二斑叶螨第一若螨、第二若螨的 a/T_h 值（38.2、35.4）（表 1）大于巴氏新小绥螨（22.8、16.5）（表 2），分别高出 67.5%和 114.5%，两种捕食螨对二斑叶螨雌成螨的 a/T_h 值相同，均为 4.5（表 1、表 2），说明加州新小绥螨对二斑叶螨卵、幼螨的捕食能力弱于巴氏新小绥螨，而对二斑叶螨第一若螨、第二若螨的捕食能力强于巴氏新小绥螨，两种捕食螨对二斑叶螨雌成螨的捕食能力相当。综合比较两种捕食螨对二斑叶螨各螨态的 a/T_h 值可看出，加州新小绥螨对二斑叶螨的捕食能力更强一些。加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨卵、幼螨的理论最大日捕食量分别为 51.7 粒、44.6 头（表 1）和 83.9 粒、52.5 头（表 2），对二斑叶螨第一若螨、第二若螨的理论最大日捕食量分别为 35.0 头、33.7 头（表 1）和 19.7 头、11.7 头（表 2）。

表 1　加州新小绥螨对二斑叶螨各螨态的功能反应

Table 1　Functional response of *Neoseiulus californicus* to *Tetranychus urticae* at different stages

螨态 Mite stage	圆盘方程 The disk equation	相关系数 r Correlation coefficient	χ^2	瞬时攻击率 a Instant attack rate	处理时间 T_h Handing time	最大日捕食量 $1/T_h$ Daily maximum predation amount	捕食能力 a/T_h Predation ability
卵 Egg	N_a=1.116 3N/(1+0.215 7N)	0.977	0.129	1.116 3	0.019 3	51.7	57.8
幼螨 Larva	N_a=0.950 1N/(1+0.040 7N)	0.976	0.156	0.950 1	0.022 4	44.6	39.6
第一若螨 Protonymph	N_a=1.092 8N/(1+0.026 5N)	0.982	0.128	1.092 8	0.028 6	35.0	38.2
第二若螨 Deutonymph	N_a=1.050 5N/(1+0.031 1N)	0.983	0.287	1.050 5	0.029 6	33.7	35.4
成螨 Adult	N_a=0.835 2N/(1+0.155 4N)	0.990	0.127	0.835 2	0.186 2	5.4	4.5

表 2　加州新小绥螨对二斑叶螨各螨态的功能反应

Table 2　Functional response of *Neoseiulus barkeri* to *Tetranychus urticae* at different stages

螨态 Mitestage	圆盘方程 The disk equation	相关系数 r Correlation coefficient	χ^2	瞬时攻击率 a Instant attack rate	处理时间 T_h Handing time	最大日捕食量 $1/T_h$ Daily maximum predation amount	捕食能力 a/T_h Predation ability
卵 Egg	N_a=1.068 6N/(1+0.012 7N)	0.958	0.627	1.068 6	0.011 9	83.9	89.7
幼螨 Larva	N_a=1.056 7N/(1+0.019 0N)	0.975	1.308	1.056 7	0.019 0	52.5	51.5
第一若螨 Protonymph	N_a=1.159 7N/(1+0.058 8N)	0.969	0.153	1.159 7	0.050 7	19.7	22.8
第二若螨 Deutonymph	N_a=1.369 5N/(1+0.115 7N)	0.971	0.013	1.369 5	0.085 3	11.7	16.5
成螨 Adult	N_a=1.168 2N/(1+0.303 3N)	0.988	0.087	1.168 2	0.259 6	3.9	4.5

2.2 捕食选择性

加州新小绥螨和巴氏新小绥螨均对二斑叶螨的卵和幼螨表现出嗜食性（Q >1），而对二斑叶螨的第一若螨、第二若螨和成螨没有嗜食性（Q <1）（表 3，表 4），但加州新小绥螨对二斑叶螨幼螨的嗜食性（Q=2.0）大于对卵的嗜食性（Q=1.5）（表 3），巴氏新小绥螨相反，对二斑叶螨卵的嗜食性（Q=3.1）大于对幼螨的嗜食性（Q=1.4）（表 4）。当二斑叶螨各螨态同时存在时，两种捕食螨均会优先选择捕食二斑叶螨的卵和幼螨。

表 3 加州新小绥螨对二斑叶螨不同螨态的捕食选择性

Table 3 Selecion of *Neoseiulus californicus* on *Tetranychus urticae* at different stages

螨态 Insect state	被捕食数量 Number of prey	被捕食率 Predation ratio（%）	选择系数 Selection factor（Q）
卵 Egg	3.0±0.6	10.0	1.5
幼螨 Larva	3.8±0.2	12.8	2.0
第一若螨 Protonymph	1.7±0.3	5.6	0.8
第二若螨 Deutonymph	1.0±0.6	3.3	0.5
成螨 Adult	0.3±0.3	1.1	0.2

表 4 巴氏新小绥螨对二斑叶螨不同螨态的捕食选择性

Table 4 Selecion of *Neoseiulus barkeri* on *Tetranychus urticae* at different stages

螨态 Insect state	被捕食数量 Number of prey	被捕食率 Predation ratio（%）	选择系数 Selection factor（Q）
卵 Egg	9.7±1.5	32.2	3.1
幼螨 Larva	4.3±0.3	14.4	1.4
第一若螨 Protonymph	1.3±0.3	4.4	0.4
第二若螨 Deutonymph	0.3±0.3	1.1	0.1
成螨 Adult	0	0	0

2.3 捕食干扰效应

在二斑叶螨密度和捕食空间一定的情况下，加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨的总捕食量随自身密度的增加而增大，捕食作用率随捕食螨自身密度的增加而逐渐减小（表 5），说明加州新小绥螨和巴氏新小绥螨在捕食二斑叶螨时，个体间存在相互干扰和竞争。模拟获得加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨的干扰效应模型分别为 E=0.072 0$P^{-0.328}$、E=0.065 4$P^{-0.324}$，相关系数 r =0.988（加州新小绥螨）、0.960（巴氏新小绥螨）＞$r_{(0.01,3)}$=0.959，表明两种捕食螨单头雌成螨的日平均捕食量与其自身密度极显著相关。经卡方适合性检验得出 χ^2=0.250（加州新小绥螨）、0.384（巴氏新小绥螨）＜$\chi^2_{(0.05,4)}$=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。加州新小绥螨的干扰系数比巴氏新小绥螨稍大，说明加州新小绥螨在捕食二斑叶螨时的种内干扰效应更强一些。

3 讨论

1959 年 Holling 首次提出功能反应的概念，并用 3 种基本曲线来描述功能反应类型：Ⅰ型是线型，Ⅱ型是负加速曲线型，Ⅲ型为 S 型（Holling，1959）。此后，功能反应被广泛用于评估捕食性昆虫和螨类的有效性。本研究结果表明，加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对二斑叶螨各螨态的功能反应均符合 Holling Ⅱ型，该结果与加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani*（汪小东等，2014a）、截形叶螨 *Tetranychus truncate*（汪小东等，2014c）、朱砂

表 5　加州新小绥螨和巴氏新小绥螨的捕食干扰效应

Table 5　The predation interference effect of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus barkeri*

捕食螨种类 Species of predatory mites	捕食螨密度 Predatory density	总捕食量 Total number of prey consumed	捕食作用率（%） Average predation rate （%）	Hassell-Verley 方程 Hassell-Verley model
加州新小绥螨 *N. californicus*	1	2.2±0.2 cd	0.072	加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* $E=0.072\ 0P^{-0.328}$
巴氏新小绥螨 *N. barkeri*		1.8±0.2 d	0.061	
加州新小绥螨 *N. californicus*	3	4.3±0.7 bcd	0.048	
巴氏新小绥螨 *N. barkeri*		4.7±0.4 bcd	0.052	
加州新小绥螨 *N. californicus*	5	6.8±0.9 ab	0.046	
巴氏新小绥螨 *N. barkeri*		6.0±1.0 abc	0.040	
加州新小绥螨 *N. californicus*	7	8.0±1.0 ab	0.038	巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* $E=0.065\ 4P^{-0.324}$
巴氏新小绥螨 *N. barkeri*		7.3±0.3 ab	0.035	
加州新小绥螨 *N. californicus*	9	9.2±1.4 a	0.034	
巴氏新小绥螨 *N. barkeri*		8.0±0.6 ab	0.030	

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, and followed by different letters indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*（李庆等，2014）、神泽氏叶螨 *Tetranychus kanzawai*（Song *et al.*，2016）、巴氏新小绥螨（巴氏钝绥螨 *Amblyseius barkeri*）对柑橘全爪螨 *Panonychus citri*（凌鹏等，2008）、截形叶螨（崔晓宁等，2011）的捕食功能反应结果一致，也与其他条件下研究的这两种捕食螨对二斑叶螨的的捕食功能反应类型一致（Farazmand *et al.*，2012；Landeros *et al.*，2013；Döker *et al.*，2016；Song *et al.*，2016；尚素琴等，2017）。这一结果说明环境条件不同不会改变捕食者的捕食功能反应类型，但会改变捕食功能反应参数。尚素琴等（2017）在 24 ℃、相对湿度为 85%±5%，光周期为 16 L：8 D 的条件下，研究巴氏新小绥螨对二斑叶螨卵的捕食功能反应参数 a/T_h 值为 11.9，而本研究中，在温度（25 ± 1）℃，相对湿度为 60%±5%的条件下，巴氏新小绥螨对二斑叶螨卵的捕食功能反应参数 a/T_h 值为 89.7。

捕食者的消耗率通常与猎物大小成反比（Kasap and Atlihan，2011），本研究结果也符合这一规律。随着猎物二斑叶螨螨态的增大，加州新小绥螨和巴氏新小绥螨对其的捕食能力逐渐下降，对卵的捕食能力大于对幼螨、若螨和成螨的捕食能力。但 Song 等（2016）研究发现，加州新小绥螨对二斑叶螨幼螨和若螨的控制能力大于对卵的控制能力。这可能是因为二斑叶螨的幼螨和若螨以群集形式取食，使得它们相对容易处理。卵是个不动的螨态，无躲避敌害的能力，从理论上来讲，更易被捕食者捕食。之所以出现不同的结果，推测可能与研究条件如捕食空间大

小不一致有关。

本研究结果表明，巴氏新小绥螨对二斑叶螨卵、幼螨的捕食能力强于加州新小绥螨，而加州新小绥螨对二斑叶螨若螨的捕食能力强于巴氏新小绥螨，两种捕食螨对二斑叶螨雌成螨的捕食能力相当，但综合比较两种捕食螨对二斑叶螨各螨态的 a/T_h 值可知，加州新小绥螨对二斑叶螨的捕食能力更强一些。与巴氏新小绥螨相比，加州新小绥螨的种内干扰效应稍大，但考虑到其具有较强的捕食能力，同时对温湿度适应范围广、耐饥饿能力强、对杀螨剂有抗性、可以生活在害螨的结网里等优势（McMurtry *et al.*，2013；Tusset *et al.*，2016），可优先选择加州新小绥螨作为果园二斑叶螨绿色防控的生物防治剂，但其田间防效还需进一步验证。

参考文献 (References)

Chen XS, Han MY, Su GL, Liu FZ, Guo GN, Jiang YM, Mao ZQ, Peng FT, Su HR, 2010. Discussion on today' s world apple industry trends and the suggestions on sustainable and efficient development of apple industry in China. *Journal of Fruit Science*, 27(4): 598–604. [陈学森, 韩明玉, 苏桂林, 刘凤之, 过国南, 姜远茂, 毛志泉, 彭福田, 束怀瑞, 2010. 当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见. 果树学报, 27(4): 598–604.]

Chen YN, Ru Y, Shang SQ, 2016. Predator functional response of *Neoseiulus barkeri* on mixture resistance strain and susceptible strain of *Tetranychus urticae* Koch. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(4): 428–433. [陈耀年, 汝阳, 尚素琴, 2016. 巴氏新小绥螨对二斑叶螨混合抗性品系和敏感品系的捕食功能. 中国生物防治学报, 32(4): 428–433.]

Cui XN, Zhang YL, Shen HM, Zhang XH, 2011. The predatory function of *Amblyseius barkeri* on *Tetranychus truncate*. *Journal of Plant Protection*, 38(6): 575–576. [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.

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. [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.]

Gong YJ, Jin GH, Cui BX, Wang ZH, Zhu L, Kang ZJ, Wei SJ, 2015. Toxicity of the acaricide bifenazate to the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) and the feasibility of using bifenazate in conjunction with *P. persimilis* to control the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(6): 1459–1465. [宫亚军, 金桂华, 崔宝秀, 王泽华, 朱亮, 康总江, 魏书军, 2015. 联苯肼酯对智利小植绥螨的安全性及二者对二斑叶螨的联合控制作用. 应用昆虫学报, 52(6): 1459–1465.]

Gotoh T, Tsuchiya A, Kitashima Y, 2006. Influence of prey on developmental performance, reproduction and prey consumption of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 40(3/4): 189–204.

Hassell MP, Verley GC, 1969. New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control. *Nature*, 223(5211): 1133–1137.

Holling CS, 1959. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of European pine sawfly. *Canadian Entomologist*, 91(5): 293–329.

Hu JH, Wang XL, Zhang YH, Yao TS, Liu HQ, Li HJ, Ran C, 2016. Behavioral response of *Neoseiulus barkeri* to carrizo citrange leaves damaged by *Panonychus citri* and sucking insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 30–39. [胡军华, 王雪莲, 张耀海, 姚廷山, 刘浩强, 李鸿筠, 冉春, 2016. 巴氏新小绥螨对柑桔全爪螨处理的枳橙叶片挥发物的行为反应. 应用昆虫学报, 53(1): 30–39.]

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. [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.]

Kasap I, Atlihan R, 2011. Consumption rate and functional response of the predaceous mite *Kampimodromus aberrans* to two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* in the laboratory. *Experimental and Applied Acarology*, 53(3): 253–261.

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 LT, Jiao R, Yu LC, He XZ, He LM, Xu CX, Zhang LL, Liu JL, 2018. Functional response and prey stage preference of *Neoseiulus*

barkeri on *Trasonemus confusus*. *Systematic and Applied Acarology,* 23(11): 2244–2258.

Li Q, Cui Q, Jiang CX, 2014. Control efficacy of Chinese *Neoseiulus californicus* (McGregor) predation on *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). *Journal of Plant Protection*, 41(3): 257–262. [李庆, 崔琦, 蒋春先, 2014. 加州新小绥螨对朱砂叶螨的捕食作用. 植物保护学报, 41(3): 257–262.]

Ling P, Xia B, Li PX, Shu C, Zhong L, Li AH, 2008. Predation of *Amblyseius barkeri* to *Panonchus citri*. *Acta Arachnologica Sinica*, 7(1): 29–34. [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.]

Liu JY, Lü JL, Wang ED, Xu XN, Wang SS, 2019. Effects of artificial diets supplemented with different nutrient sources on the biology of *Neoseiulus californicus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 710–717. [刘静月, 吕佳乐, 王恩东, 徐学农, 王森山, 2019. 不同营养源添加的人工饲料对加州新小绥螨的生物学影响. 应用昆虫学报, 56(4): 710–717.]

McMurtry JA, Moraes GJD, Sourassou NF, 2013. Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4): 297–320.

Shang SQ, Liu P, Chen YN, Zhang XH, 2017. Functional response and control potential of *Neoseiulus barkeri* to *Tetranychus urticae. Plant Protection*, 43(3): 118–121. [尚素琴, 刘平, 陈耀年, 张新虎, 2017. 巴氏新小绥螨对二斑叶螨的捕食功能及控制潜力研究. 植物保护, 43(3): 118–121.]

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*. *Systematic and Applied Acarology*, 21(7): 936–946.

Sun XG, Zhou CG, Zhang XD, Liu YM, 1995. A study on the diapause of *Oligonychus ununguis* (Jacobi). *Acta Entomologica Sinica*, 38(3): 305–311. [孙绪艮, 周成刚, 张小娣, 刘玉美, 1995. 针叶小爪螨的滞育研究. 昆虫学报, 38(3): 305–311.]

Tu HT, Zhang JY, Chen HJ, 2016. Sublethal effect of chlorpyrifos on the population dynamics of an experimental *Tetranychus urticae* Koch population. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 83–88. [涂洪涛, 张金勇, 陈汉杰, 2016. 毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨实验种群动态的影响. 应用昆虫学报, 53(1): 83–88.]

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): 1–12.

Wang QQ, Zhang WG, Tian T, Wang XY, Zhou CG, Yin SY, 2019. Predation of *Harmonia axyridis* on *Cinara cedri*. *Journal of Plant Protection*, 46(2): 458–464. [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 XD, Liu F, Zhang JH, Yuan XP, Zhao YY, 2014a. Predation of predatory mite *Neoseiulus californicus* on strawberry spider mite *Tetranychus turkestani. Journal of Plant Protection*, 41(1): 19–24. [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, Yuan XP, Huang YQ, Zhang JH, Zhao YY, 2014b. Evaluation of the potential for *Neoseiulus californicus* to act as a biological control for *Tetranychus turkestani* and *Tetranychus truncate*, based on life table analysis. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 795–801. [汪小东, 袁秀萍, 黄艳勤, 张建华, 赵伊英, 2014. 应用实验种群生命表评价加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨和截形叶螨的控制能力. 应用昆虫学报, 51(3): 795–801.]

Wang XD, Zhang JH, Huang YQ, Yuan XP, He M, Li Q, Zhao YY, 2014c. Predation of *Neoseiulus californicus* on *Tetranychus truncate. Northwest Agricultural Journal*, 23(2): 39–43. [汪小东, 张建华, 黄艳勤, 袁秀萍, 何淼, 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.]

Wu KJ, Sheng CF, Gong PY, 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(3): 267–269. [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.]

Xiao R, Yi TC, Guo JJ, Jin DC, 2019. Progress in research on *Neoseiulus californicus* (McGregor). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 672–677. [肖榕, 乙天慈, 郭建军, 金道超, 2019. 加州新小绥螨的研究进展. 应用昆虫学报, 56(4): 672–677.]

Xiao Y, Osborne LS, Chen J, McKenzie CL, 2013. Functional responses and prey-stage preferences of a predatory gall midge and two predacious mites with two spotted spider mites, *Tetranychus urticae*, as host. *Journal of Insect Science*, 13(8): 1–12.

Zhang DX, Meng RX, Zhang PF, Jia YH, Peng YQ, Han YH, 2013. Study on the foraging ability of the predatory mite *Neoseiulus barkeri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 203–209. [张东旭, 孟瑞霞, 张鹏飞, 贾永红, 彭勇强, 韩玉花, 2013. 巴氏新小绥螨对猎物搜寻能力的研究. 应用昆虫学报, 50(1): 203–209.]

Zhao ZM, Chen Y, Wu SY, 1993. Study on the predatory function of *Amblyseius vulgaris* to *Tetranychus cinnabarinus. Acta Arachnologica Sinica*, 2(1): 31–35. [赵志模, 陈艳, 吴仕元, 1993. 普通钝绥螨对朱砂叶螨捕食作用研究. 蛛形学报, 2(1): 31–35.]

Zhou XL, Yang SY, Hao Y, Wang JJ, Zhang XH, Shen HM, 2015. Selection of the most suitable reference genes and expression profiling of *CYP392A* subfamily genes in the multi-pesticide resistant strain of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 58(11): 1229–1236. [周兴隆, 杨顺义, 郝雨, 王进军, 张新虎, 沈慧敏, 2015. 二斑叶螨多重抗性品系最优内参基因的筛选及 *CYP392A* 亚家族基因的表达分析. 昆虫学报, 58(11): 1229–1236.]