

温度对加州新小绥螨捕食东方真叶螨功能反应的影响

贾静静^{1,2}, 符悦冠², 张方平², 梁敏¹, 陈俊谕^{2*}

(1. 海南大学热带农林学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 571101)

摘要: 为明确加州新小绥螨对橡胶重要害螨东方真叶螨的控害潜能, 系统研究了 21、24、27、30、33、36 °C 六个不同温度条件下加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的捕食作用。结果表明: 不同温度条件下加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的功能反应均能很好的拟合 Holling-II 型圆盘方程。在 21~36 °C 条件下, 加州新小绥螨对东方真叶螨成螨和卵的日均捕食量与捕食效能 (a/Th) 均在 33 °C 时最强, 但对若螨和幼螨的日均捕食量与捕食效能 在 30 °C 最强。在 27 °C 条件下加州新小绥螨对东方真叶螨若螨、幼螨和卵的选择系数分别为 0.62、1.40 和 1.01。在相同的猎物密度条件下, 加州新小绥螨的平均捕食量随其自身密度的增加而逐渐降低, 说明加州新小绥螨存在种内竞争和自我干扰作用, 捕食作用率与其自身密度关系为 $E=0.1631P^{-0.395}$ 。

关键词: 加州新小绥螨; 东方真叶螨; 功能反应; 寻找效应

中图分类号: S476.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2019)03-0382-08

Effects of Temperature on Predatory Functional Responses of *Neoseiulus californicus* to *Eutetranychus orientalis*

JIA Jingjing^{1,2}, FU Yueguan², ZHANG fangping², LIANG Ming¹, CHEN Junyu^{2*}

(1. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Haikou 571101, China)

Abstract: To explore the control potential of *Neoseiulus californicus* (McGregor) on *Eutetranychus orientalis* (Klein), an important harmful mite occurring in rubber, the predation *N.californicus* upon different stages of *E. orientalis* was investigated at six temperatures, i.e., 21, 24, 27, 30, 33 and 36 °C. The functional responses of *N. californicus* to *E. orientalis* at all the temperatures fitted well with the Holling-II equation. At 21—36 °C, the daily average predation and predation capability (a/Th) of *N. californicus* towards *E. orientalis* adults and eggs peaked at 33 °C, while peaked at 30 °C when the preys were *E. orientalis* nymphs and larvae. The selective coefficient of *N. californicus* for *E. orientalis* nymphs, larvae and eggs at 27 °C were 0.62, 1.40 and 1.01, respectively. At a certain prey density, the average predation of *N. californicus* decreased gradually with the increase in its density, indicating an obvious competition and self-interference in *N. californicus*. The relationship between predation and predator density was established as the equation $E=0.1631P^{-0.395}$.

Key words: *Neoseiulus californicus*; *Eutetranychus orientalis*; functional response; search effect

东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis* (Klein) 隶属于叶螨科 Tetranychidae、真叶螨属 *Eutetranychus*, 其寄主植物有苦楝、羊蹄甲、芒果、柑桔、柠檬、木菠萝和鸡蛋花等经济林木、果树和花卉^[1,2]。在山东泰安、济南、莱芜等地是大叶黄杨的重要害螨, 造成大叶黄杨叶片早期枯黄脱落, 严重影响了其观赏和绿化价值^[3]。

收稿日期: 2018-06-19

基金项目: 海南省自然科学基金 (318QN27); 天然橡胶产业技术体系 (CARS-33-BC2); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (1630042017009); 国家重点研发计划 (2017YFD0202100)

作者简介: 贾静静, 硕士研究生, E-mail: 1353346233@qq.com; *通信作者, 硕士, E-mail: jychen@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.03.021

目前, 该螨是海南、云南等地橡胶上严重发生的害螨之一^[4], 主要为害叶面, 受害叶片密布白色和灰绿色斑状、严重时则全叶枯黄, 对橡胶生产造成了严重损失。但有关东方真叶螨的研究报道甚少涉及其生物防治。由于橡胶树为高大乔木, 采用传统的化学防治手段操作较为困难, 且防治成本高, 寻找有效的捕食螨天敌进行东方真叶螨的生物防治将是未来橡胶害螨防治的重要手段。

加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* (McGregor) 隶属于植绥螨科 Phytoseiidae、新小绥螨属 *Neoseiulus*。该螨在国外已被用于苹果和草莓等作物的害螨防治^[5-7], 是国外重要的商品化品种^[8]。2009年福建省农业科学院植物保护研究所自欧洲引进加州新小绥螨, 研究了不同猎物及不同温度对加州新小绥螨发育和繁殖的影响, 发现加州新小绥螨以二斑叶螨和截形叶螨为猎物时在 15~35 °C 下均能够完成发育繁殖^[9,10]。2010年覃贵勇和李庆^[11]在四川省成都市牵牛花上采到了加州新小绥螨, 研究了该螨对柑橘全爪螨不同螨态的捕食能力, 发现其在 30 °C 时控害能力最强。2011年在广东省肇庆市鼎湖山自然保护区也采集到该螨^[12]。国内已有报道该螨对截形叶螨、土耳其斯坦叶螨、朱砂叶螨、卢氏叶螨等害螨均有很好的控制作用^[13-16]。鉴于其取食范围广、适应性强和该螨经 35~38 °C 短时高温处理后仍能正常生存^[17], 且该螨在国内也已开展商品化生产, 但未见在橡胶害螨上应用。因温度对其发育、繁殖和控害效果有重要影响。本试验旨在通过研究不同温度条件下加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的捕食效能及其自身密度干扰效应, 明确其在不同温度条件下对东方真叶螨不同螨态的控害潜能。有利于根据田间温度的变化来预测加州新小绥螨对东方真叶螨的控制能力, 为利用加州新小绥螨控制橡胶害螨东方真叶螨提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

东方真叶螨采自海南省儋州市宝岛新村中国热带农业科学院基地的橡胶园, 在室内用橡胶 (热研 7-33-97) 叶片连续饲养繁殖数代后作为供试螨源。

加州新小绥螨由福州冠农生物科技有限公司提供。

1.2 取食选择性

在直径为 15 cm 的培养皿内部铺一层海绵使之完全浸湿, 将橡胶叶剪成 3 cm×2 cm 的长方形小片, 叶面朝上平铺于湿润的海绵上。挑取东方真叶螨初产卵、若螨 (第二若螨)、幼螨各 20 头 (粒), 再分别接入一头经过饥饿处理 24 h 的加州新小绥螨雌成螨, 置于 (27±1) °C, RH 75%±5%, 光周期 12L:12D 的人工气候箱中。24 h 后观察记录加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的捕食量。每处理重复 6 次。

1.3 功能反应

分别挑取东方真叶螨雌成螨 2、4、6、8、10 头, 第二若螨 10、15、20、25、30 头, 幼螨 10、20、30、40、50 头, 卵 10、15、20、25、30 粒 (先在每片叶上接入一定量东方真叶螨雌成螨, 让其产卵 12 h 后移出, 并按设计的比例将其数量固定), 分别接入一头经过饥饿处理 24 h 的加州新小绥螨雌成螨, 分别置于 21、24、27、30、33 和 36 °C, RH 75%±5%, 光周期 12L:12D 的人工气候箱中, 24 h 后观察记录其捕食情况。每处理重复 6 次。

1.4 自身密度干扰反应

挑取东方真叶螨成螨 20 头, 分别接入 1、2、3、4、5 头加州新小绥螨雌成螨, 置于 (27±1) °C, RH 75%±5%, 光周期 12L:12D 的人工气候箱中, 每隔 8 h 检查 1 次, 及时剔除东方真叶螨所产的卵, 24 h 后观察记录捕食情况, 每处理重复 6 次。

1.5 数据统计与分析

用 Excel 软件和 SPSS 17.0 统计软件对试验数据进行处理。

捕食螨对猎物的嗜食性高低用选择系数 Q 来表示: $Q=R_1/R_2$, R_1 表示猎物某螨态被捕食数与被捕食总数之比; R_2 表示猎物某螨态数与猎物总数之比。 $Q<1$ 时, 捕食者对该猎物是非嗜食的; $Q>1$ 时, 捕食者对该猎物是嗜食的; $Q=1$ 时, 捕食者对该猎物是随机捕食的^[18]。

功能反应用 Holling-II 型圆盘方程: $Na=aTN/(1+aThN)$ 拟合^[19], 式中 Na 为猎物被捕食数量, a 为瞬时攻击率, T 为试验总时间, 本试验中 T 为 1 d, N 为猎物的初始密度, Th 为处理时间。

寻找效应方程 $S=a/(1+aThN)$, 式中 S 为寻找效应, N 为猎物的初始数量, a 为瞬时攻击率, Th 为处置 1 头猎物所需的时间。

自身密度干扰效应用 Hassell-Verley 模型 $E=QP^m$ 拟合^[20], 捕食作用率 $E=Na/(NP)$, 式中 Na 为被捕食猎物数量、 N 为猎物初始数量、 P 为捕食者初始密度、 Q 为搜寻常数、 m 为干扰参数。分摊竞争强度 $I=(E_l - E_p)/E_l$, 公式中 E_l 为 1 头天敌的捕食作用率、 E_p 为 P 头天敌的捕食作用率。

2 结果与分析

2.1 加州新小绥螨对东方真叶螨不同螨态的取食选择性

加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的取食选择差异性显著。当若螨、幼螨和卵同时存在时, 加州新小绥螨较嗜食幼螨和卵 ($Q>1$), 且对幼螨的嗜食性大于卵, 而对若螨表现为非嗜食性 ($Q<1$) (表 1)。

表 1 加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的选择性
Table 1 Selectivity of *N. californicus* on different stages of *E. orientalis*

螨态 Stage	初始数量 (头) Initial number	被捕食数 (头) Predation number	占被捕食比例 Accounting for predation ratio (%)	选择系数 Q
若螨 Nymph	20	4.00±1.10 c	20.51	0.62
幼螨 Larva	20	9.00±1.10 a	46.15	1.40
卵 Egg	20	6.50±1.52 b	33.33	1.01

注: 表中数据为平均值±标准差, 同列数据后不同小写字母表示捕食量差异显著 ($P<0.05$) (邓肯氏新复极差法)。

Note: Data were mean±SD, the data in the same column followed by different lowercase letters indicated significant difference ($P<0.05$) by Duncan's new multiple range.

2.2 加州新小绥螨对东方真叶螨的功能反应

2.2.1 温度对加州新小绥螨日均捕食量的影响 同一温度下, 加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的捕食量均随猎物密度的增加而增大, 但随着猎物密度的不断增加, 加州新小绥螨的捕食量增幅逐渐减缓。同一密度下, 在 21~36 °C 范围内, 随着温度的升高, 加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的捕食量逐渐增大, 当 33 °C 时对成螨和卵的捕食量最大 (表 2, 表 5), 温度高于 33 °C 捕食量开始减小, 但加州新小绥螨在不同温度条件下对成螨的捕食量差异不显著。加州新小绥螨对东方真叶螨若螨和幼螨的捕食量在 30 °C 时达到最大, 温度高于 30 °C 时, 捕食量下降, 但当幼螨密度为 10 头时, 27~33 °C 间捕食量相同 (表 3, 表 4)。

2.2.2 温度对加州新小绥螨功能反应的影响 在 21~36 °C 范围内, 加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的捕食作用采用 Holling-II 型圆盘方程, 拟合结果见表 6。结果表明, 参数估计 R^2 值均大于 0.909, 经卡方检验, χ^2 为 0.0012~0.8763, $\chi^2 < \chi^2_{(0.05,4)} = 9.49$, 表明理论值与观测值较吻合。说明加州新小绥螨对不同螨态

表 2 不同温度下加州新小绥螨对不同密度的东方真叶螨成螨的日捕食量

Table 2 Daily predation number of *N. californicus* prey on *E. orientalis* adult at different temperatures and densities

猎物密度 Prey density	加州新小绥螨日均捕食量 (头) Daily predation number of <i>N. californicus</i>					
	21 °C	24 °C	27 °C	30 °C	33 °C	36 °C
2	1.17±0.75 Aa	1.33±0.52 Aa	1.50±0.55 Ba	1.50±0.55 Ba	1.67±0.51 Ba	1.33±0.52 Aa
4	1.50±0.55 Aa	1.83±0.75 Aa	1.83±0.98 ABa	2.33±1.37 ABa	2.33±1.03 ABa	1.83±0.75 Aa
6	1.67±1.03 Aa	2.17±0.75 Aa	2.17±1.17 ABa	2.33±1.03 ABa	2.50±1.05 Aa	2.17±1.17 Aa
8	2.00±0.89 Aa	2.17±0.41 Aa	2.50±1.05 ABa	2.50±1.05 ABa	3.17±1.33 Aa	2.33±1.03 Aa
10	2.00±1.26 Aa	2.33±0.52 Aa	3.00±1.26 Aa	3.00±1.10 Aa	3.17±0.75 Aa	2.50±1.05 Aa

注: 表中数据为平均值±标准差, 同列数据后不同大写字母表示在同一温度不同猎物密度条件下捕食量差异显著, 同行不同小写字母表示在同一猎物密度不同温度下捕食量差异显著 ($P<0.05$) (邓肯氏新复极差法)。下表同。

Note: Data were mean±SD, the data in the same column followed by different uppercase letters indicated significant difference in the same temperature at different prey density conditions. The data in the same row followed by different lowercase letters indicated significant difference in the same prey density at different temperature conditions ($P<0.05$) by Duncan's new multiple range. The notes in the following tables were same with table 2.

表 3 不同温度下加州新小绥螨对不同密度的东方真叶螨若螨的日捕食量

Table 3 Daily predation number of *N. californicus* prey on *E. orientalis* nymph at different temperatures and densities

猎物密度 Prey density	加州新小绥螨日均捕食量 (头) Daily predation number of <i>N. californicus</i>					
	21 °C	24 °C	27 °C	30 °C	33 °C	36 °C
10	6.67±1.21 Cbc	7.50±2.17 Cbc	9.17±0.98 Cab	10.00±0.00 Ca	9.50±1.22 Ca	6.83±2.40 Cbc
15	7.67±2.07 Cc	8.67±1.51 BCbc	11.17±3.06 BCab	13.17±2.14 BCa	12.67±2.73 BCa	8.00±1.41 BCc
20	8.33±1.63 BCb	9.83±2.23 ABCb	14.00±2.97 ABa	14.17±2.32 Ba	14.16±2.86 ABa	9.00±1.79 ABCb
25	10.50±2.35 ABb	11.00±2.10 ABb	14.83±3.31 Aa	18.50±4.14 Aa	17.00±3.10 Aa	10.67±2.88 ABb
30	11.33±2.16 Ab	11.83±2.64 Ab	15.83±3.06 Aab	20.00±4.65 Aa	18.00±4.82 Aa	11.50±3.62 Ab

表 4 不同温度下加州新小绥螨对不同密度的东方真叶螨幼螨的日捕食量

Table 4 Daily predation number of *N. californicus* prey on *E. orientalis* larva at different temperatures and densities

猎物密度 Prey density	加州新小绥螨日均捕食量 (头) Daily predation number of <i>N. californicus</i>					
	21 °C	24 °C	27 °C	30 °C	33 °C	36 °C
10	8.17±1.83 Cb	9.00±1.67 Dab	10.00±0.00 Ca	10.00±0.00 Da	10.00±0.00 Da	8.33±1.63 Cb
20	12.17±3.19 BCc	14.67±3.01 Cbc	17.17±2.79 Bab	19.83±0.41 Ca	18.33±3.20 Cab	14.67±3.50 BCbc
30	14.5±3.83 ABc	19.17±4.36 BCbc	23.00±6.90 ABab	26.33±4.46 Ba	24.67±4.32 Bab	19.17±6.88 ABbc
40	17.17±5.56 Ac	23.33±5.82 ABbc	25.00±5.75 Aab	32.33±5.93 Aa	31.67±6.62 Aa	21.33±8.21 ABbc
50	19.00±4.43 Abc	26.67±2.80 Aab	28.33±7.15 Aab	33.50±7.42 Aa	32.33±5.61 Aa	23.33±5.85 Abc

表 5 不同温度下加州新小绥螨对不同密度的东方真叶螨卵的日捕食量

Table 5 Daily predation number of *N. californicus* prey on *E. orientalis* egg at different temperatures and densities

猎物密度 Prey density	加州新小绥螨日均捕食量 (头) Daily predation number of <i>N. californicus</i>					
	21 °C	24 °C	27 °C	30 °C	33 °C	36 °C
10	7.16±1.60 Bb	8.83±1.30 Ca	9.33±1.03 Ca	9.83±0.41 Ca	9.83±0.41 Da	9.17±1.60 Ca
15	9.33±3.44 ABcb	11.00±2.00 BCab	11.67±2.16 BCab	13.50±1.64 Ba	14.00±1.67 Ca	11.50±2.66 BCab
20	10.17±2.32 ABcb	12.83±3.31 ABab	14.00±2.37 ABab	15.67±3.72 ABa	16.83±3.37 BCa	13.83±4.45 ABab
25	11.00±2.61 Ab	14.00±2.19 ABb	14.33±2.07 Ab	18.83±4.36 Aa	20.33±4.23 ABa	14.33±4.13 ABb
30	12.00±2.83 Ac	16.00±3.58 Abc	16.33±2.42 Abc	19.00±3.29 Ab	24.17±4.54 Aa	16.00±3.58 Abc

的东方真叶螨捕食作用均能较好地拟合 Holling-II 型圆盘方程。

加州新小绥螨对东方真叶螨成螨和卵的最大日捕食量 (I/Th) 和捕食效能 (a/Th) 均随温度的升高而增大, 33 °C 时最大, 当温度高于 33 °C 呈下降趋势, 处置时间 (Th) 则随温度的升高而缩短, 33 °C 时最短, 超过 33 °C 处置时间延长; 而对若螨和幼螨的最大日捕食量 (I/Th) 与捕食效能 (a/Th) 在 30 °C 达到最大, 处置时间 (Th) 在 30 °C 时最短。加州新小绥螨对东方真叶螨成螨的瞬时攻击率 (a) 随温度的升高而增大, 33 °C 瞬时攻击率最大, 温度高于 33 °C 开始减小, 但对东方真叶螨若螨、幼螨和卵的攻击系数 (a) 不随温度的变化而呈现趋势性改变, 但均在 27 °C 时瞬时攻击率 (a) 最大。

2.2.3 温度对加州新小绥螨寻找效应的影响 在相同温度下, 加州新小绥螨的寻找效应随着猎物密度的增加而逐渐降低。在相同猎物密度下, 加州新小绥螨对成螨和卵的寻找效应随温度的升高逐渐上升, 33 °C 时寻找效应最高, 温度高于 33 °C 呈下降趋势。其中, 24 °C 和 36 °C 时对成螨的寻找效应相接近, 而对卵的寻找效应在 24 °C、27 °C 和 36 °C 时相接近 (图 1, 图 4); 对若螨和幼螨的寻找效应也随温度的升高而逐渐上升, 到达一定温度后又开始下降, 30 °C 时寻找效应最高, 当幼螨密度为 10 头时 27~33 °C 寻找效应基本相同 (图 2, 图 3)。结果表明加州新小绥螨对东方真叶螨不同螨态的寻找效应受温度的影响且不同螨态的最高寻找效应温度不同。

2.3 自身密度干扰效应

在一定的猎物密度条件下, 加州新小绥螨的平均捕食量随其自身密度的增加而逐渐降低, 捕食作用率也逐渐下降, 说明加州新小绥螨存在种内竞争和自我干扰作用 (表 7)。

表 6 不同温度条件下加州新小绥螨对东方真叶螨的 Holling-II 型功能反应参数估计

Table 6 The Holling-II functional response parameters of *N. californicus* to *E. orientalis* at different temperatures

螨态 Stage	温度 Temperature (°C)	瞬时攻击率 Instantaneous attack rate <i>a</i>	处理时间 Handling time <i>Th</i> (d)	最大日捕食量 Daily maximum predation number <i>1/Th</i>	捕食效能 Predation capacity <i>a/Th</i>	功能反应方程 Functional response equation	R^2	χ^2
成螨 Adult	21	1.1208	0.4203	2.38	2.67	$Na = 1.1208N / (1 + 0.4711N)$	0.9691	0.0148
	24	1.2381	0.3454	2.90	3.58	$Na = 1.2381N / (1 + 0.4276N)$	0.9914	0.0060
	27	1.3084	0.3069	3.26	4.26	$Na = 1.3084N / (1 + 0.4015N)$	0.9102	0.0838
	30	1.3180	0.2784	3.59	4.73	$Na = 1.3180N / (1 + 0.3669N)$	0.9478	0.0489
	33	1.4176	0.2507	3.99	5.65	$Na = 1.4176N / (1 + 0.3554N)$	0.9701	0.0346
	36	1.1438	0.3180	3.14	3.60	$Na = 1.1438N / (1 + 0.3637N)$	0.9981	0.0012
若螨 Nymph	21	1.1012	0.0641	15.60	17.18	$Na = 1.1012N / (1 + 0.0706N)$	0.9093	0.8763
	24	1.3736	0.0629	15.90	21.84	$Na = 1.3736N / (1 + 0.0864N)$	0.9773	0.0311
	27	1.4088	0.0390	25.64	36.12	$Na = 1.4088N / (1 + 0.0549N)$	0.9857	0.0411
	30	1.3585	0.0274	36.50	49.58	$Na = 1.3585N / (1 + 0.0372N)$	0.9664	0.2038
	33	1.3479	0.0309	32.36	43.62	$Na = 1.3479N / (1 + 0.0416N)$	0.9933	0.3890
	36	1.1288	0.0613	16.31	18.41	$Na = 1.1288N / (1 + 0.0692N)$	0.9619	0.0711
幼螨 Larva	21	1.1688	0.0378	26.46	30.92	$Na = 1.1688N / (1 + 0.0442N)$	0.9947	0.0663
	24	1.1073	0.0215	46.51	51.50	$Na = 1.1073N / (1 + 0.0238N)$	0.9977	0.0921
	27	1.2259	0.0180	55.56	68.11	$Na = 1.2259N / (1 + 0.0221N)$	0.9982	0.0992
	30	1.1141	0.0088	113.64	126.60	$Na = 1.1141N / (1 + 0.0098N)$	0.9933	0.4961
	33	1.1305	0.0111	90.09	101.84	$Na = 1.1305N / (1 + 0.0125N)$	0.9976	0.2537
	36	1.0251	0.0215	46.51	47.68	$Na = 1.0251N / (1 + 0.0220N)$	0.9967	0.0943
卵 Egg	21	1.2285	0.0565	17.70	21.74	$Na = 1.2285N / (1 + 0.0694N)$	0.9895	0.0172
	24	1.3545	0.0404	24.75	33.53	$Na = 1.3545N / (1 + 0.0547N)$	0.9926	0.0348
	27	1.4874	0.0401	24.94	37.09	$Na = 1.4874N / (1 + 0.0596N)$	0.9882	0.0456
	30	1.3189	0.0251	39.84	52.55	$Na = 1.3189N / (1 + 0.0331N)$	0.9913	0.0801
	33	1.1296	0.0133	75.19	84.93	$Na = 1.1296N / (1 + 0.0150N)$	0.9971	0.0488
	36	1.4449	0.0400	25.00	36.12	$Na = 1.4449N / (1 + 0.0578N)$	0.9922	0.0293

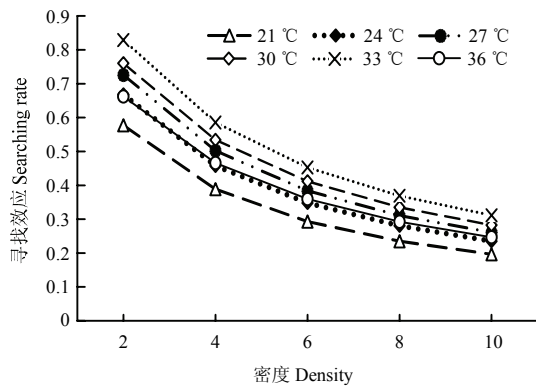


图 1 不同温度条件下加州新小绥螨寻找效应与猎物成螨密度之间的关系

Fig. 1 The relationship between searching rate and prey adult density of *N. californicus* at different temperatures

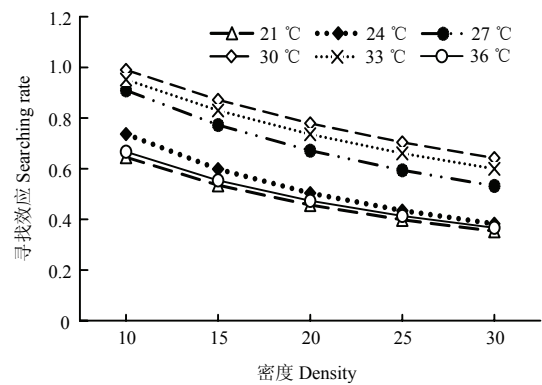


图 2 不同温度条件下加州新小绥螨寻找效应与猎物若螨密度之间的关系

Fig. 2 The relationship between searching rate and prey nymph density of *N. californicus* at different temperatures

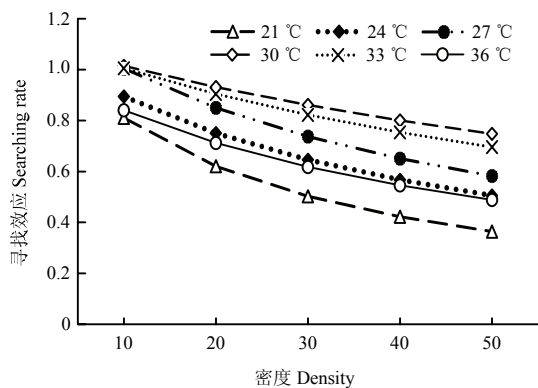


图 3 不同温度条件下加州新小绥螨寻找效应与猎物幼螨密度之间的关系

Fig. 3 The relationship between searching rate and prey larva density of *N. californicus* at different temperatures

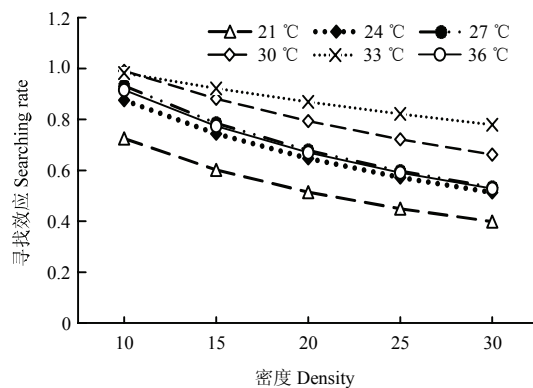


图 4 不同温度条件下加州新小绥螨寻找效应与猎物卵密度之间的关系

Fig. 4 The relationship between searching rate and prey egg density of *N. californicus* at different temperatures

表 7 加州新小绥螨自身密度的干扰反应方程及参数估计

Table 7 Interferential equations and estimated parameters of *N. californicus* at different density

捕食螨密度 Prey density	平均捕食量 Average Predation number	捕食作用率 Predation ration (E)	分摊竞争强度 Intensity of scrambling competition (I)	Hassell-Verley 干扰模型	R ²
1	3.33 ± 1.51 a	0.1665	0.0000		
2	2.50 ± 0.55 ab	0.1250	0.2492		
3	1.95 ± 0.39 b	0.0972	0.4164	$E=0.1631P^{-0.395}$	0.9638
4	1.92 ± 0.26 b	0.0959	0.4242		
5	1.80 ± 0.36 b	0.0900	0.4595		

注：表中数据为平均值±标准差，同列不同小写字母表示捕食量差异显著 ($P < 0.05$) (邓肯氏新复极差法)。

Note: Data were mean ± SD, the data in the same column followed by different lowercase letters indicated significant difference ($P < 0.05$) by Duncan's new multiple range.

3 讨论

加州新小绥螨对猎物不同螨态的取食选择存在差异。已有研究表明，相对于朱砂叶螨卵与幼螨，加州新小绥螨更喜食若螨，其对朱砂叶螨卵、幼螨和若螨的喜好性 C_i 值分别为 -0.09、-0.07 和 0.06^[21]。本研究表明加州新小绥螨嗜食东方真叶螨幼螨和卵 ($Q > 1$)，且对幼螨的嗜食性大于卵，而对若螨表现为非嗜食性 ($Q < 1$)。日捕食能力也以对幼螨的为最大。加州新小绥螨对东方真叶螨的日捕食能力为幼螨 > 卵 > 若螨 > 成螨。

温度对加州新小绥螨对猎物的捕食能力有重要的影响。本研究表明加州新小绥螨对东方真叶螨成螨和卵的捕食效能 在 33 °C 最大，但对若螨和幼螨的捕食效能在 30 °C 最大。这与覃贵勇等^[11]报道的加州新小绥螨对柑橘全爪螨各螨态的捕食效能在 30 °C 时最大结果一致。李庆等^[15]报道加州新小绥螨对朱砂叶螨(成螨)的捕食效能在 31 °C 时最强，而对截形叶螨、土耳其斯坦叶螨(雌成螨、幼螨、卵)和卢氏叶螨(若螨)的捕食效能在 28 °C 最强^[13,14,16]，说明加州新小绥螨较适合在相对高温的条件下释放，但其不同温度下的捕食效能随猎物的不同而有所差异。

功能反应是评估捕食性天敌控害潜能的重要方法和途径，通过功能反应，可以分析捕食者捕食猎物的定量规律，评价捕食者对猎物的捕食效率，以及捕食者对猎物种群的控制能力^[22]。Holling- II 型功能反应模型是捕食者对其猎物的捕食功能反应最常见的形式^[23]。本研究表明，加州新小绥螨对东方真叶螨各螨态的功能反应均属于 Holling- II 型，这与前人报道的加州新小绥螨对柑橘全爪螨、截形叶螨、土耳其斯坦叶螨、朱砂叶螨和卢氏叶螨的功能反应拟合模型相一致^[11,13-16]。本试验研究发现加州新小绥螨对东方真叶螨

成螨的瞬时攻击率随着温度的升高而增大, 33 °C达到最大。而李庆等^[15]研究发现加州新小绥螨对朱砂叶螨成螨的瞬时攻击率却随着温度的升高而降低。其对东方真叶螨若螨、幼螨和卵的瞬时攻击率不随温度的变化而呈现趋势性改变, 但均在 27 °C瞬时攻击率最大, Ahn 等^[24]报道在 15~35 °C下, 加州新小绥螨对二斑叶螨卵的瞬时攻击率随着温度的升高而增大, 汪小东等^[13,14]报道其对截形叶螨和土耳其叶螨的瞬时攻击率随温度的升高而增大, 温度过高时降低且在 28 °C最大。尚素琴等^[25]研究报道巴氏钝绥螨对二斑叶螨若螨的瞬时攻击率随温度升高而增大但对成螨和卵的瞬时攻击率没有随温度的变化而呈趋势性改变, 出现这种差异可能与猎物种类和螨态不同有关。

在对加州新小绥螨自身密度干扰反应研究中发现, 随着加州新小绥螨自身密度的增大, 其对东方真叶螨的捕食作用率逐渐降低, 说明其个体间存在种内竞争和相互干扰。这与汪小东等^[13,14]报道加州新小绥螨雌成螨捕食截形叶螨和土耳其斯坦叶螨也存在种内竞争和相互干扰作用结果相一致。

综上, 加州新小绥螨在 21~36 °C范围内对东方真叶螨的不同螨态均具有较好的控制能力, 且在 33 °C对成螨和卵达到最佳控制效果。利用天敌昆虫防控农业害虫是安全有效的防治策略^[26], 因此, 加州新小绥螨可考虑作为热带亚热带橡胶植胶区害螨的重要天敌资源进行利用。天敌昆虫对猎物的捕食能力和猎物对天敌昆虫的生长发育及繁殖是综合评价天敌昆虫控制害虫潜能的两个重要方面^[27]。本文仅对捕食功能反应进行了研究, 取食东方真叶螨对加州新小绥螨生长发育和繁殖的影响还需进一步研究。另外, 本试验是在室内人工可控条件下进行的, 天敌在田间的捕食作用还受种群密度、气候因子、生物因子等多种影响。因此, 在进行田间应用时, 还应根据实际情况按比例释放以取得最大的经济效益和防治效果。

参 考 文 献

- [1] 王慧夫. 中国经济昆虫志(第二十三: 叶螨总科)[M]. 北京: 科学出版社, 1981, 43-44.
- [2] 林延谋, 符悦冠, 杨光融, 等. 温度对东方真叶螨的发育与繁殖的影响[J]. 热带作物学报, 1995, 16(1): 94-98.
- [3] 周成刚, 张卫光, 乔鲁芹, 等. 东方真叶螨的生物学特性、有效积温及发生规律[J]. 林业科学, 2006, 42(5): 89-93.
- [4] 张方平, 朱俊洪, 李磊, 等. 橡胶品种对东方真叶螨实验种群发育及繁殖的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(6): 1155-1160.
- [5] Monteiro L B, Doll A, Boeing L F. Effect of *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae) density on the control of red mite in apple tress[J]. Revista Brasileira De Fruticultura, 2008, 30(4): 902-906.
- [6] Fraulo A B, Liburd O E. Biological control of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, with predatory mite, *Neoseiulus californicus*, in strawberries[J]. Experimentai and Applied Acarology, 2007, 43(2): 109-119.
- [7] El Taj H F, Jung C. Effect of temprerature on the life-history traits of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) feed on *Panonychus ulmi*[J]. Experiment and Applied Acarology, 2012, 56(3): 247-260.
- [8] 徐学农, 王恩东. 国外昆虫天敌商品化现状及分析[J]. 中国生物防治, 2007, 23(4): 373-382.
- [9] 张艳璇, 季洁, 陈霞, 等. 温度对加州新小绥螨发育及繁殖的影响[J]. 福建农业学报, 2012, 27(2): 157-161.
- [10] 张艳璇, 季洁, 陈霞, 等. 温度对加州新小绥螨以截形叶螨为猎物的发育及繁殖的影响[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(2): 190-195.
- [11] 覃贵勇, 李庆. 温度对加州新小绥螨捕食作用影响及高温耐饥饿能力研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(3): 1034-1037.
- [12] Xu X N, Wang B M, Wang E D, et al. Comments on the identity of *Neoseiulus californicus* *sense lato* (Acari: Phytoseiidae) with a redescription of this species from southern China[J]. Systematic and Applied Acarology, 2013, 18(4): 329-344.
- [13] 汪小东, 张建华, 黄艳勤, 等. 加州新小绥螨对截形叶螨的捕食作用[J]. 西北农业学报, 2014, 23(2): 39-43.
- [14] 汪小东, 刘峰, 张建华, 等. 加州新小绥螨对土耳其斯坦叶螨的捕食作用[J]. 植物保护学报, 2014, 41(1): 20-24.
- [15] 李庆, 崔琦, 蒋春先, 等. 加州新小绥螨对朱砂叶螨的控制作用[J]. 植物保护学报, 2014, 41(3): 257-262.
- [16] 陈莉, 李庆, 王海建, 等. 加州新小绥螨对猕猴桃卢氏叶螨的捕食作用[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(05): 569-574.
- [17] 袁秀萍, 汪小东, 王佳武, 等. 短时高温对加州新小绥螨发育的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 853-858.
- [18] 赵志模, 陈艳, 吴仕元, 等. 普通钝绥螨(*Amblyseius vulgaris*)对朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)捕食作用的研究[J]. 蛛形学报, 1993, 2(1): 31-35.
- [19] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.

- [20] Hassell M P, Verly G C. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control[J]. *Nature*, 1969, 223(5211): 1133-1137.
- [21] 蒋洪丽, 王恩东, 吕佳乐, 等. 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[J]. *中国生物防治学报*, 2015, 31(1): 8-13.
- [22] 张文军. *生态学研究方法*[M]. 广州: 中山大学出版社, 2007, 318-319.
- [23] 夏育陆. 纽氏钝绥螨、尼氏钝绥螨及其猎物—桔全爪螨生态学特性的比较研究[J]. *生态学报*, 1989, 9(2): 174-181.
- [24] Ahn J J, Kim K W, Lee J H. Functional response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urtica* (Acari: Tetranychidae) on strawberry leaves[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2010, 134(2): 98-104.
- [25] 尚素琴, 郑开福, 张新虎. 巴氏钝绥螨对二斑叶螨的捕食功能反应[J]. *植物保护学报*. 2015, 42(3): 316-320.
- [26] 陈学新, 任顺祥, 张帆, 等. 天敌昆虫控害机制与可持续利用[J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50(1): 9-18.
- [27] 唐良德, 王晓双, 赵海燕, 等. 大草蛉幼虫捕食豆大蓟马和豆蚜的功能反应及生长发育[J]. *中国生物防治学报*, 2017, 33(1): 49-55.