

加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食潜能

朱睿 郭建军 乙天慈 肖榕 金道超*

(贵州大学昆虫研究所, 贵州省山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025)

摘要: 为探究加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* (McGregor) 对侧多食跗线螨 *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) 的潜在控制能力, 在温度 19~31℃、相对湿度 (75±5)% 条件下应用捕食功能反应模型研究了加州新小绥螨对侧多食跗线螨各螨态的捕食作用。结果表明, 加州新小绥螨对侧多食跗线螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨的选择性捕食系数分别为 0.64、1.50、0.77 和 1.09。不同温度条件下, 加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食功能反应均属于 Holling II 型, 对猎物幼螨和雌成螨的控制能力最强; 28℃ 时加州新小绥螨的捕食能力最强, 对侧多食跗线螨卵、幼螨、若螨和雌成螨的攻击系数分别为 0.45、0.97、0.79 和 0.82; 最大日捕食量分别为 27.10 粒、71.94、32.79 和 35.21 头。加州新小绥螨的捕食作用存在较强的种内干扰反应, 随着捕食者密度增加, 捕食作用率下降, 28℃ 时捕食作用率与其自身密度的关系为 $E=0.4345P^{-0.6278}$ 。表明加州新小绥螨对侧多食跗线螨有很好的控制潜力。

关键词: 加州新小绥螨; 侧多食跗线螨; 捕食效能

Preying potential of predatory mite *Neoseiulus californicus* to broad mite *Polyphagotarsonemus latus*

Zhu Rui Guo Jianjun Yi Tianci Xiao Rong Jin Daochao*

(Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou Province, China)

Abstract: In order to explore the potential control ability of predatory mite *Neoseiulus californicus* (McGregor) to *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), a polyphagous pest mite damaging various crops, the predations of *N. californicus* on different stages of *P. latus* were examined by using the functional response method under conditions of five temperatures (19, 22, 25, 28 and 31℃) and RH (75±5)% in the laboratory. The results showed that the selective coefficient Q of the predator on eggs, larvae, nymphs and adult females were 0.64, 1.50, 0.77 and 1.09, respectively. The functional responses of *N. californicus* fitted well with Holling II type at different temperature conditions, and it preferred *T. latus* larvae and female adults much more than the eggs and the nymphs. The predation ability of *N. californicus* on *T. latus* was the strongest at 28℃. The attack coefficients on the eggs, larvae, nymphs and adult females were 0.45, 0.97, 0.79 and 0.82, respectively, and the maximum daily predation numbers were 27.10, 71.94, 32.79 and 35.21, respectively. The predation function of *N. californicus* had strong intraspecific interference, and predation rates decreased with rising predator densities. At 28℃, the relationship between the predation rate and its own density was $E=0.4345P^{-0.6278}$. The results indicated that *N. californicus* had great potential for controlling the pest mite *P. latus*.

Key words: *Neoseiulus californicus*; *Polyphagotarsonemus latus*; predatory function

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201000), 农业部农作物病虫害鼠疫监测与防治项目(农财发[2016]35号), 贵州大学“SRT计划”项目(贵大校创字2017094)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: daochoajin@126.com

收稿日期: 2017-12-29

加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* (McGregor) 属于植绥螨科新小绥螨属 (Gerson et al., 2003; Krantz & Walter, 2009), 在美洲、非洲南部、欧洲南部、地中海沿岸和亚洲东南部等地区广泛分布, 在自然界中栖息的植物主要有玉米、葡萄、鳄梨、柑橘、木薯、草莓、豆角等 (Oatman et al., 1977; Fraulo et al., 2008)。加州新小绥螨具有 II 型专食性和 III 型泛食性的特点, 能取食多种叶螨以及蓟马等小型昆虫 (Rhodes & Liburd, 2006; McMurtry et al., 2013)。国外已将加州新小绥螨开发为商品化天敌, 主要用于温室、果园及大田作物二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 的防治 (徐学农和王恩东, 2007)。在我国, 福建省农业科学院植物保护研究所最早于 2009 年引进加州新小绥螨, 并开展了以截形叶螨 *Tetranychus truncates* Ehara 为食时温度对其发育和繁殖的影响研究 (张艳璇等, 2012); 2013 年在四川省成都市和广东省鼎湖山地区发现并采集到了加州新小绥螨, 初步研究了该螨对柑橘全爪螨 *Panonychus citri* McGregor 的控制潜力 (覃贵勇等, 2013; Xu et al., 2013)。目前国内利用加州新小绥螨防治的害螨 (虫) 有土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* (Ugárov et Nikol)、朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)、截形叶螨、猕猴桃卢氏叶螨 *Tetranychus ludeni* Zacher 和西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (李庆等, 2014; 汪小东等, 2014; 陈莉等, 2016)。但利用加州新小绥螨防治侧多食跗线螨 *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) 的研究尚未见报道。

天敌捕食作用研究中常通过功能反应来讨论其优劣, 对捕食者的评价应根据其环境适应能力、功能和数值反应以及时空同步下与猎物的关系来进行 (Huffaker et al., 1971)。功能反应分为 4 种基本类型 (Holling, 1959), 目前已研究过的植绥螨功能反应大多属于 Holling II 型, 如东方钝绥螨 *Amblyseius briaentalis* (Ehara) (甘明等, 2001)、巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* Hughes (Fan & Petitt, 1994)、芬兰真绥螨 *Euseius finlandicus* Oudemans (Koveos & Broufas, 2000)、西方盲走螨 *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Laing & Osborn, 1974)、智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* Athias - Henriot (Skirvin & Fenlon, 2001)、拟长毛钝绥螨 *Amblyseius* (*Amblyseius*) *pseudolongispinosus* Xin, Liang et Ke (董杰等, 2011) 和加州新小绥螨 (李庆等, 2014) 等。

侧多食跗线螨又名茶黄螨、白蜘蛛, 属蛛形纲蜱

螨亚纲跗线螨科, 是我国蔬菜上的一种主要害螨, 也是世界性重要害螨, 严重为害茄子、辣椒、黄瓜等 60 多个科的植物 (李庆等, 2015)。该螨以刺吸式口器吸取植物汁液, 通过成螨和幼螨集中的方式在植物幼嫩部分为害, 受害叶片变厚、变小、变硬, 叶背面呈灰褐色或茶锈色, 具油渍光泽或油渍状, 叶片边缘向下卷曲 (张璞, 1980)。侧多食跗线螨为害蔬菜可造成 20%~30% 的产量损失, 最高达 80% 以上甚至绝收 (杨建民等, 2009)。贵州省是茶叶和辣椒种植大省, 近年来该螨呈逐年扩增趋势, 对区域特色农业产业的发展危害严重, 但针对贵州省侧多食跗线螨的研究很少 (鄧军锐, 2002)。目前生产上主要采用菊酯类、有机磷类农药防治侧多食跗线螨, 使得该螨抗性逐年增加 (张辉等, 2017)。本研究旨在探明加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食效能, 明确其生防应用潜力, 以期利用加州新小绥螨为主开展侧多食跗线螨的绿色防控技术提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 加州新小绥螨购自福州冠农生物科技有限公司, 供试种群在饲养台上繁殖备用。在直径 9 cm 的方形透明塑料盒内放置一块直径约 6 cm 的吸水海绵, 其上放置直径 6 cm 的培养皿, 培养皿内放置同样大小的滤纸, 盒内加入饱和食盐水与培养皿底部持平作为饲养台。将加州新小绥螨置于饲养台的培养皿内, 饲喂足量的椭圆食粉螨 *Aleuroglyphus ovatus* (Troupeau), 于温度为 $27\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(75\pm 5)\%$ 、光照周期为 16 L: 8 D 的智能型人工气候箱内群体饲养。椭圆食粉螨采自小麦储藏物中, 用麦麸于智能型人工气候箱内纯化饲养; 侧多食跗线螨为采自贵州省花溪区辣椒田的自然种群, 在实验室内用盆栽辣椒苗育繁, 供试种群在饲养台繁殖备用; 饲养条件均同上。在直径 6 cm 的培养皿中放置厚度为 1 cm 的吸水海绵, 上面平铺一张黑色棉布, 将干净的直径约 3 cm 的辣椒叶背面朝上置于棉布上, 用适量脱脂棉包裹叶缘, 此即为饲养台, 将培养皿中加水防止侧多食跗线螨逃脱, 叶片视情况进行更换。

供试植物及仪器: 辣椒品种为天贵辣椒 209, 广东省茂名市茂蔬种业科技有限公司, 室内盆栽育苗, 取直径约 3 cm 新鲜叶片进行试验。RXZ-260B 智能型人工气候箱, 宁波江南仪器厂; Motic SMZ-168 双目解剖镜, 德国 Motic 公司。

1.2 方法

1.2.1 加州新小绥螨对侧多食跗线螨的选择捕食作用

挑取单头加州新小绥螨雌成螨,于2 mL离心管中饥饿24 h备用。每个饲养台中挑入侧多食跗线螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨各40头(粒)和1头经饥饿处理的加州新小绥螨雌成螨,置于温度为 $27\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(75\pm 5)\%$ 、光照周期为16 L:8 D的智能型人工气候箱中饲养,24 h后在解剖镜下查看并记录加州新小绥螨对侧多食跗线螨各螨态的日捕食量,每个处理5次重复。用选择性系数 Q 来评价天敌对猎物的嗜食性(赵志模等,1993), Q =某螨态被捕食数占总捕食数的百分比/某螨态占猎物总数的百分比。假设侧多食跗线螨各螨态的个体被取食概率相同,当 $Q>1$ 时,认为捕食螨嗜食该螨态猎物; $Q<1$ 时,即非嗜食; $Q=1$ 时,表明捕食螨对猎物该螨态为随机性取食。

1.2.2 加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食功能反应

猎物侧多食跗线螨设卵、幼螨、若螨和雌成螨4个螨态,每个饲养台分别加入卵、幼螨、若螨和雌成螨5、10、15、20、25和30(粒)头/皿,再接入1头经24 h饥饿处理的加州新小绥螨雌成螨,分别饲养于温度为19、22、25、28和 31°C 、相对湿度为 $(75\pm 5)\%$ 、光照周期为16 L:8 D的人工气候箱内,24 h后在解剖镜下查看并记录侧多食跗线螨各螨态被捕食情况,每处理5次重复。用Holling圆盘方程 $N_a=aT/(1+aT_bN)$ 拟合加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食功能反应(Holling,1959)。式中 N_a 为被捕食猎物数, a 为瞬时攻击系数, T 为捕食者发现猎物的时间(本试验中 T 为1 d), T_b 为处理时间, N 为猎物初始密度。加州新

小绥螨对侧多食跗线螨各螨态的捕食能力用 a/T_b 值评价,对侧多食跗线螨的寻找效应 $S=a/(1+aT_bN)$ 。

1.2.3 加州新小绥螨自身干扰反应测定

分别按30头/皿的密度将侧多食跗线螨雌成螨挑入各个饲养台中,再按密度1、3、5、7和9头/皿接入经24 h饥饿处理的加州新小绥螨雌成螨,分别饲养于温度为19、22、25、28和 31°C 、相对湿度为 $(75\pm 5)\%$ 、光照周期为16 L:8 D的人工气候箱内,24 h后在解剖镜下查看并记录侧多食跗线螨雌成螨被捕食情况,每处理5次重复。加州新小绥螨的种内干扰系数用Hassell-Varley干扰模型 $E=QP^m$ 进行拟合,其中: E 为捕食作用率,计算公式为 $E=N_a/(NP)$; Q 为搜寻常数; P 为捕食者供试密度; m 为干扰常数。

1.3 数据分析

利用Excel 2016进行试验数据的统计并绘图,应用SPSS 19.0统计分析软件对加州新小绥螨捕食量进行单因素方差分析(ANOVA),采用Duncan氏新复极差法对加州新小绥螨捕食侧多食跗线螨各螨态的捕食量进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 加州新小绥螨的选择性捕食作用

加州新小绥螨对侧多食跗线螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨的嗜食性差异显著($P<0.05$),日均被捕食数分别为9.20粒、21.40、11.00、15.60头,对幼螨和雌成螨表现为嗜食,且喜食幼螨大于雌成螨,选择性捕食系数分别为1.50和1.09(表1)。而加州新小绥螨捕食侧多食跗线螨的卵和若螨时,选择性捕食系数仅为0.64和0.77,表现为非嗜食性。

表1 加州新小绥螨对侧多食跗线螨的选择捕食性

Table 1 Selectivity of *Neoseiulus californicus* to different stages of *Polyphagotarsonemus latus*

螨态 Stage	各螨态数量 No.	日均被捕食数 Preyed number per day	被捕食比例(%) Ratio preyed	选择性系数 Q Selection coefficient Q
卵 Egg	40	9.20±0.66 Cc	16.1	0.64
幼螨 Larva	40	21.40±1.03 Aa	37.4	1.50
若螨 Nymph	40	11.00±0.71 Cc	19.2	0.77
雌成螨 Adult female	40	15.60±0.68 Bb	27.3	1.09

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同大、小写字母分别表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.01$ or $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test, respectively.

2.2 加州新小绥螨的捕食功能反应

19~ 31°C 下,利用Holling II型圆盘方程对加州新小绥螨捕食侧多食跗线螨各螨态情况进行拟合,结果表明,加州新小绥螨捕食侧多食跗线螨各螨态

的功能反应均属于Holling II型。相同温度下,对侧多食跗线螨幼螨的捕食能力最强,对雌成螨和若螨的捕食能力次之,对卵的捕食能力最弱;不同温度下,加州新小绥螨的瞬时攻击系数、平均捕食量均随

温度的升高先增加后减小,处理时间则随着温度的升高先缩短后延长。加州新小绥螨雌成螨对侧多食跗线螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨的攻击系数均在28℃时达最大值,分别为0.45、0.97、0.79和0.82;处理时间均最短,分别为0.04、0.01、0.03和0.03;最大日捕食量分别为27.10粒、71.94、32.79、35.21头;功能反应方程分别为 $N_a=0.4541N_0/(1+0.0168N_0)$ 、 $N_a=0.9654N_0/(1+0.0134N_0)$ 、 $N_a=0.7927N_0/(1+0.0242N_0)$ 和 $N_a=0.8189N_0/(1+0.0233N_0)$ 。温度高于28℃时,侧多食跗线螨被捕食量开始下降,31℃时,对侧多食跗线螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨的最大日捕食量分别为12.89粒、50.00、15.24、24.63头(表2)。

由表2中温度和加州新小绥螨对侧多食跗线螨各螨态的捕食能力(a/T_h 值),得到温度对各螨态捕食能力(a/T_h 值)的影响变化曲线(图1)。在19~31℃下,温度变化明显影响加州新小绥螨对侧多食跗线螨各螨态的捕食能力(a/T_h 值),呈先增强后减弱的趋势。28℃时达最大值,对侧多食跗线螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨的捕食能力(a/T_h 值)分别为12.31、69.45、25.99和28.83;温度高于28℃后,加州新小绥螨捕食能力下降,31℃时,对侧多食跗线螨的卵、幼螨、若螨和雌成螨的捕食能力(a/T_h 值)分别为2.70、32.90、6.42和12.32。表明高温和低温条件下加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食能力都会受到影响。

表2 不同温度条件下加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食
Table 2 Functional response of *Neoseiulus californicus* to *Polyphagotarsonemus latus* at different temperatures

温度(℃) Temperature	螨态 Stage	功能反应模型 Functional response model ($N_a=$)	最大日捕食量 Daily maximum predation no. $1/T_h$	相关系数 Correlation coefficient r	瞬间攻击系数 Instant attack rate a	处理时间 Handling time T_h (d)	捕食能力 Predation capacity a/T_h
19	卵 Egg	$0.2172N_0/(1+0.0202N_0)$	10.75	0.9913**	0.22	0.09	2.34
	幼螨 Larva	$0.6245N_0/(1+0.0169N_0)$	36.90	0.9826**	0.62	0.03	23.04
	若螨 Nymph	$0.2690N_0/(1+0.0144N_0)$	18.66	0.9844**	0.27	0.05	5.02
	雌成螨 Adult female	$0.4086N_0/(1+0.0154N_0)$	26.53	0.9676**	0.41	0.04	10.84
22	卵 Egg	$0.2487N_0/(1+0.0161N_0)$	15.46	0.9815**	0.25	0.06	3.84
	幼螨 Larva	$0.7297N_0/(1+0.0152N_0)$	48.08	0.9939**	0.73	0.02	35.08
	若螨 Nymph	$0.3919N_0/(1+0.0079N_0)$	49.75	0.9680**	0.39	0.02	19.50
	雌成螨 Adult female	$0.4930N_0/(1+0.0108N_0)$	45.45	0.9879**	0.49	0.02	22.29
25	卵 Egg	$0.4122N_0/(1+0.0161N_0)$	25.58	0.9706**	0.41	0.04	10.54
	幼螨 Larva	$0.8495N_0/(1+0.0167N_0)$	51.02	0.9908**	0.85	0.02	43.34
	若螨 Nymph	$0.4782N_0/(1+0.0107N_0)$	44.84	0.9711**	0.48	0.02	21.44
	雌成螨 Adult female	$0.6233N_0/(1+0.0146N_0)$	42.55	0.9897**	0.62	0.02	26.52
28	卵 Egg	$0.4541N_0/(1+0.0168N_0)$	27.10	0.9624**	0.45	0.04	12.31
	幼螨 Larva	$0.9654N_0/(1+0.0134N_0)$	71.94	0.9970**	0.97	0.01	69.45
	若螨 Nymph	$0.7927N_0/(1+0.0242N_0)$	32.79	0.9949**	0.79	0.03	25.99
	雌成螨 Adult female	$0.8189N_0/(1+0.0233N_0)$	35.21	0.9871**	0.82	0.03	28.83
31	卵 Egg	$0.2094N_0/(1+0.0162N_0)$	12.89	0.9895**	0.21	0.08	2.70
	幼螨 Larva	$0.6579N_0/(1+0.0132N_0)$	50.00	0.9875**	0.66	0.02	32.90
	若螨 Nymph	$0.4213N_0/(1+0.0276N_0)$	15.24	0.9393**	0.42	0.07	6.42
	雌成螨 Adult female	$0.5001N_0/(1+0.0203N_0)$	24.63	0.9686**	0.50	0.04	12.32

**表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关。 ** indicates significant correlation at $P<0.01$ level.

2.3 加州新小绥螨的寻找效应估计

基于寻找效应方程 $S=a/(1+aT_hN)$ 和表2中的参数值,获得加州新小绥螨雌成螨在19~31℃范围内和不同猎物密度条件下的寻找效应 S 。加州新小绥螨雌成螨对猎物的寻找效应受温度和猎物密度变化的影响较大,寻找效应随侧多食跗线螨密度的增加而降低,不同温度下对侧多食跗线螨的寻找效应下降趋势也有较大变化。侧多食跗线螨密度为5头/皿、

温度为28℃时加州新小绥螨雌成螨的寻找效应最高,为0.77;猎物密度为30头/皿、温度为19℃时寻找效应最低,为0.32。31℃时加州新小绥螨的寻找效应介于19℃和22℃处理之间(图2)。

2.4 加州新小绥螨的种内干扰反应

19~31℃下,加州新小绥螨雌成螨对侧多食跗线螨的日捕食量随温度的升高呈先增加后减小的趋势;搜寻系数 Q 越大,种内干扰系数 m 也越大;当温

度达31℃以上时,搜寻系数 Q 和干扰系数 m 开始减小。28℃时,日捕食量达到最大值,干扰模型为 $E=0.4345P^{-0.6278}$,相关系数 r 为0.9961,查阅相关系数检验表得 $r>r_{(0.01,4)}=0.9172$,表明捕食作用率 E 和捕食者供试密度 P 之间显著相关。卡方检验 $\chi^2=59.50$,

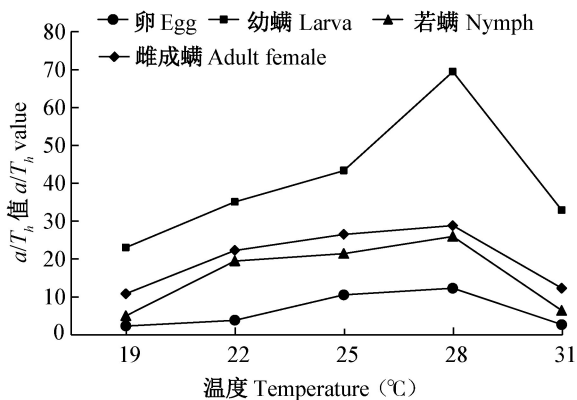


图1 温度对加州新小绥螨捕食侧多食跗线螨能力(a/T_h)的影响

Fig.1 The effect of temperature on a/T_h value of *Neoseiulus californicus* to *Polyphagotarsonemus latus*

查卡方表得 $\chi^2_{(0.01,3)}=11.34$, $\chi^2>\chi^2_{(0.01,3)}$,即 $P<0.01$,表明该理论模型拟合效果良好。加州新小绥螨随着自身密度的增加,对侧多食跗线螨的总捕食量也在增加,但每头侧多食跗线螨的平均捕食量在下降,表明其存在种内干扰。

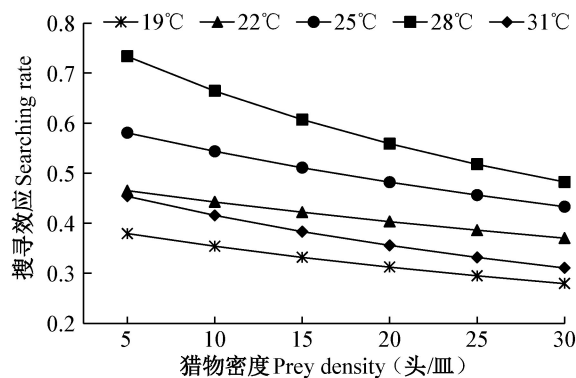


图2 不同温度下加州新小绥螨雌成螨对侧多食跗线螨的寻找效应

Fig. 2 Searching rate of female adults of *Neoseiulus californicus* to *Polyphagotarsonemus latus* at different temperatures

表3 加州新小绥螨自身密度干扰反应方程

Table 3 Self-interference equation of *Neoseiulus californicus* at different densities

温度(℃) Temperature	不同密度加州新小绥螨的日捕食量(头) Daily predation number of <i>Neoseiulus californicus</i> at different densities					Hasse II-Verley模型 Hasse II-Verley model	r
	1	3	5	7	9		
19	7.40±0.47	16.20±0.48	17.20±0.57	21.00±0.53	21.80±0.62	$E=0.2667P^{-0.5096}$	0.9753
22	9.40±0.57	18.20±0.54	20.60±0.45	21.80±0.62	23.20±0.52	$E=0.3381P^{-0.5901}$	0.9848
25	11.20±0.57	19.80±0.51	23.20±0.59	24.20±0.44	26.80±0.39	$E=0.4119P^{-0.6083}$	0.9948
28	12.60±0.45	20.40±0.40	25.20±0.52	26.60±0.31	28.00±0.42	$E=0.4345P^{-0.6278}$	0.9961
31	9.40±0.76	13.80±0.65	15.70±0.58	16.80±0.48	17.80±0.65	$E=0.3357P^{-0.7152}$	0.9772

表中数据为平均数±标准误。Data in the table are mean±SE.

3 讨论

加州新小绥螨对侧多食跗线螨不同螨态的捕食能力差异变化很大。已有研究表明加州新小绥螨对柑橘全爪螨幼螨的捕食能力最强,对若螨和卵的捕食能力次之,对成螨的捕食能力最弱(覃贵勇和李庆,2013);其对截形叶螨各螨态的捕食能力强弱依次为卵>若螨>雌成螨(汪小东等,2014);而对朱砂叶螨各螨态的捕食能力强弱依次为幼螨>卵>若螨>成螨(李庆等,2014)。本研究结果表明,加州新小绥螨对侧多食跗线螨各螨态的捕食能力强弱依次为幼螨>雌成螨>若螨>卵,加州新小绥螨对侧多食跗线螨的幼螨和雌成螨表现出嗜食性,造成这种差异的原因可能与侧多食跗线螨的体型有关。本试验观察

发现,侧多食跗线螨的幼螨和雌成螨体型非常小,并且幼螨较雌成螨体壁更加薄弱,行动更加缓慢,加州新小绥螨用于发现和处理猎物的时间较短,而侧多食跗线螨的卵附着于叶片上,卵粒极小,可能不利于加州新小绥螨发现和取食。

捕食功能反应是室内检验和衡量捕食者捕食猎物能力的经典方法,是评价一种天敌昆虫对害虫控制作用的重要指标(Holling, 1959)。Holling II型捕食功能反应的特点是呈负加速曲线,为逆密度制约类型,也是捕食者-猎物系统中最常见的类型,多数捕食性节肢动物的功能反应为此模式(汪小东等,2014)。本研究结果表明,虽然加州新小绥螨对侧多食跗线螨的幼螨和雌成螨均表现出较强的嗜食性,对卵和若螨表现为非嗜食性,但功能反应均符合

Holling II 型。目前,国内应用加州新小绥螨防治土耳其斯坦叶螨(覃贵勇等,2013)、朱砂叶螨(李庆等,2014)、柑橘全爪螨(汪小东等,2014)和猕猴桃卢氏叶螨(陈莉等,2016)的捕食功能反应类型也均属 Holling II 型。周集中和陈常铭(1986)认为采用瞬时攻击系数 a 与处理时间 T_h 之比 (a/T_h) 来衡量捕食者捕食猎物能力的大小,更具优点。本试验中,加州新小绥螨的捕食能力随温度的变化而改变,用 a/T_h 值来评价捕食螨的捕食能力时,加州新小绥螨对侧多食跗线螨的捕食能力先增大后减小,28℃ 达最大值,对卵、幼螨、若螨和雌成螨的捕食能力 (a/T_h 值) 大小分别为 12.31、69.45、25.99 和 28.83; 温度高于 28℃ 后,加州新小绥螨的捕食能力减弱,说明高温和低温条件均可对侧多食跗线螨的捕食能力产生显著影响。汪小东等(2014)研究结果表明,加州新小绥螨捕食截形叶螨和土耳其斯坦叶螨时,均在 28℃ 下捕食能力最强,与本研究结果相似。据 Ahn et al.(2010)报道,在 15~35℃ 下,加州新小绥螨对二斑叶螨卵的 a/T_h 值随温度的升高呈先增强后减弱的趋势,与本试验中 a/T_h 值随温度的变化规律相同。

捕食者在一定的空间范围内,常常会对邻近的同种或者其它个体存在明显的反应。干扰反应会随着捕食者密度的增加使每头捕食者的寻找效率降低,因捕食者每次相遇都会产生局部扩散,从而增加捕食者搜寻猎物的时间(汪小东等,2014)。本研究中干扰反应结果表明,在 19~31℃ 下加州新小绥螨雌成螨对侧多食跗线螨的日捕食量随温度升高先增加后减小; 搜寻系数 Q 越大,种内干扰系数 m 也越大; 说明加州新小绥螨自身存在种内干扰与竞争作用,捕食作用率与其自身密度的关系为 $E=0.4345P^{-0.6278}$ 。尚素琴等(2015)关于巴氏钝绥螨对二斑叶螨干扰反应的研究结果与本研究相同,即在有限的生存空间和猎物密度不变的情况下,捕食螨随着自身密度的增加,总捕食量呈上升趋势,但单头捕食量明显下降。

加州新小绥螨对侧多食跗线螨的功能反应与其对土耳其斯坦叶螨、朱砂叶螨、截形叶螨、猕猴桃卢氏叶螨和西花蓟马的捕食功能反应相同,有关参数相似,而其已应用于这些害螨(虫)的防治且效果良好,说明加州新小绥螨具有防治侧多食跗线螨的应用潜力。自然条件下侧多食跗线螨雄成螨有背负雌若螨向嫩叶转移的习性(鄧军锐和关慧群,2001),本研究在室内条件下未涉及这一因素,该习性是否影响加州新小绥螨的捕食作用和大田防治效果,有待进一步深入研究。

致谢:福建省农业科学院林坚贞研究员帮忙鉴定侧多食跗线螨,特致致谢!

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
- Chen L, Li Q, Jiang CX, Yang QF, Wang HJ. 2016. Predation of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus ludeni* of Kiwi fruit. *Chinese Journal of 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]
- Dong J, Guo XH, Yue J, Yin Z, Qiao Y, Zhang LJ, Jin XH. 2011. Study on predatory function of *Amblyseius pseudolongispinosus* to *Tetranychus cinnabarinus*. *China Plant Protection*, 31(3): 8–11 (in Chinese) [董杰, 郭喜红, 岳瑾, 尹哲, 乔岩, 张令军, 金晓华. 2011. 拟长毛钝绥螨对朱砂叶螨的捕食作用研究. *中国植保导刊*, 31(3): 8–11]
- Fan YQ, Pettitt FL. 1994. Functional response of *Neoseiulus barkeri* Hughes on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Experimental & Applied Acarology*, 18(10): 613–621
- Fraulo AB, Mcsorley R, Liburd OE. 2008. Effects of the biological control agent *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on arthropod community structures in north Florida strawberry fields. *Florida Entomologist*, 91(3): 436–445
- Gan M, Li MH, Hu SQ. 2001. A study on the capture effect of predatory mite *Amblyseius orientalis* to red mite *Panonychus citri*. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 25(2): 131–133 (in Chinese) [甘明, 李明慧, 胡思勤. 2001. 东方钝绥螨对柑桔全爪螨捕食效应的研究. *南昌大学学报(理科版)*, 25(2): 131–133]
- Gerson U, Smiley RL, Ochoa R. 2003. *Mites (Acari) for pest control*. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 556
- Holling CS. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91: 385–398
- Huffaker CB, Messenger PS, DeBach P. 1971. The natural enemy component in natural control and the theory of biological control.// Huffaker CB. *Biological control*. Boston, MA: Springer, pp. 16–67
- Krantz GW, Walter DE. 2009. *A manual of acarology* (3rd edition). Texas: Texas Tech University Press, pp. 1–807
- Koveos DS, Broufas GD. 2000. Functional response of *Euseius finlandicus* and *Amblyseius andersoni* to *Panonychus ulmi* on apple and peach leaves in the laboratory. *Experimental & Applied Acarology*, 24(4): 247–256
- Laing JE, Osborn JAL. 1974. The effect of prey density on the functional and numerical responses of three species of predatory mites. *Entomophaga*, 19(3): 267–277
- Li Q, Cui Q, Jiang CX, Wang HJ, Yang QF. 2014. Control efficacy of Chinese *Neoseiulus californicus* (McGregor) population 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]
- Li Q, He Y, Yang QF, Jiang CX, Wang HJ, Jiang SR. 2015. Relationships between several secondary substances in pepper varieties and the resistance to broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Banks). *Journal of Plant Protection*, 42(2): 283–288 (in Chinese) [李庆, 何叶, 杨群芳, 蒋春先, 王海建, 蒋素容. 2015. 几种辣椒品种次生物质与抗侧多食跗线螨的关系. 植物保护学报, 42(2): 283–288]
- McMurtry JA, de Moraes GJ, Sourassou NF. 2013. Revision of the life-styles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4): 297–320
- Oatman ER, Mcmurtry JA, Gilstrap FE, Voth V. 1977. Effect of releases of *Amblyseius californicus*, *Phytoseiulus persimilis*, and *Typhlodromus occidentalis* on the twospotted spider mite on strawberry in southern California. *Journal of Economic Entomology*, 70(1): 45–47
- Qin GY, Li Q. 2013. Effect of temperature on the predation of *Neoseiulus californicus* (McGregor) and starvation tolerance at high temperature. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 26(3): 1034–1037 (in Chinese) [覃贵勇, 李庆. 2013. 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. 西南农业学报, 26(3): 1034–1037]
- Qin GY, Li Q, Yang QF, Wang HJ, Jiang CX. 2013. Potential of predacious 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]
- Rahmani H, Fathipour Y, Kamali K. 2009. Life history and population growth parameters of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) fed on *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) in laboratory conditions. *Systematic and Applied Acarology*, 14(2): 91–100
- Rhodes EM, Liburd OE. 2006. Evaluation of predatory mites and Acramite for control of two spotted spider mites in strawberries in North Central Florida. *Journal of Economic Entomology*, 99(4): 1291–1298
- 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. 植物保护学报, 42(3): 316–320]
- Skirvin DJ, Fenlon JS. 2001. Plant species modifies the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): implications for biological control. *Bulletin of Entomological Research*, 91(1): 61–67
- Wang XD, Liu F, Zhang JH, Yuan XP, Zhao YY. 2014. 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. 2014. 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]
- Xu XN, Wang ED. 2007. Statue and analysis of overseas natural enemies merchandise. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(4): 373–382 (in Chinese) [徐学农, 王恩东. 2007. 国外昆虫天敌商品化现状及分析. 中国生物防治, 23(4): 373–382]
- Xu XN, Wang BM, Wang ED, Zhang ZQ. 2013. Comments on the identity of *Neoseiulus californicus* sensu lato (Acari: Phytoseiidae) with a redescription of this species from southern China. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4): 329–344
- Yang JM, Gao JS, Gao Y. 2009. Investigation on host species and victim status of *Polyphagotarsonemus latus*. *Modern Agricultural Science and Technology*, (3): 152–153 (in Chinese) [杨建民, 高九思, 高阳. 2009. 侧多食跗线螨的寄主种类及被害情况调查研究. 现代农业科技, (3): 152–153]
- Zhang H, Wu GY, Li HL, Li LD, Wang DF, Zeng MS, Wang QS. 2017. Research advances on *Polyphagotarsonemus latus*. *Acta Tea Sinica*, 58(1): 35–40 (in Chinese) [张辉, 吴光远, 李慧玲, 李良德, 王定锋, 曾明森, 王庆森. 2017. 茶跗线螨的研究进展. 茶叶学报, 58(1): 35–40]
- Zhang P. 1980. Investigation and control of vegetables caused by *Polyphagotarsonemus latus*. *Entomological Knowledge*, 17(5): 203–205 (in Chinese) [张璞. 1980. 侧多食跗线螨为害蔬菜的调查及防治. 昆虫知识, 17(5): 203–205]
- Zhang YX, Ji J, Chen X, Lin JZ, Chen BL. 2012. The effect of temperature on development and reproduction of *Neoseiulus (Amblyseius) californicus* (Acari: Phytoseiidae) fed on *Tetranychus truncate*. *Journal of Environmental Entomology*, 34(2): 190–195 (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以截形叶螨为猎物的发育及繁殖的影响. 环境昆虫学报, 34(2): 190–195]
- Zhao ZM, Chen Y, Wu SY. 1993. Studies on the predacity 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]
- Zhi JR. 2002. The reproductive life table of *Polyphagotarsonemus latus*. *Entomological Knowledge*, 39(3): 199–202 (in Chinese) [郑军锐. 2002. 侧多食跗线螨实验种群繁殖特征生命表. 昆虫知识, 39(3): 199–202]
- Zhi JR, Guan HQ. 2001. The study on the biological and ecological characteristics of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 20(2): 106–109 (in Chinese) [郑军锐, 关慧群. 2001. 侧多食跗线螨的生物学和生态学特性. 山地农业生物学报, 20(2): 106–109]
- Zhou JZ, Chen CM. 1986. Predation of wolf spider, *Lycosa pseudoannulata* on brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, and its simulation model. I. Functional response. *Chinese Journal of Biological Control*, 2(1): 2–9 (in Chinese) [周集中, 陈常铭. 1986. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究 I. 功能反应. 生物防治通报, 2(1): 2–9]

(责任编辑:李美娟)