

不同温度下长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食效能

汪维华^{1,2}, 郑丽旧², 叶政培², 符悦冠^{2,3}, 张方平^{2*}, 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/农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室/天敌昆虫繁育与产业化海南省工程研究中心, 海口 571101; 3. 中国热带农业科学院三亚研究院, 三亚 572024)

摘要: 为探明温度对长刺新小绥螨 *Neoseiulus longispinosus* Evans 捕食朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval 功能反应的影响。在温度 15°C、18°C、21°C、24°C、27°C、30°C 条件下, 研究了长刺新小绥螨雌成螨对朱砂叶螨卵、幼螨、前若螨、后若螨、雌成螨的捕食情况。结果表明, 在 15~30°C 范围内, 随着温度升高、猎物密度增加, 长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食量呈上升趋势。同一温度及猎物密度时, 长刺新小绥螨雌成螨对朱砂叶螨不同螨态的捕食量为由高到低为幼螨>前若螨>后若螨>卵>雌成螨。在 15~30°C 温度范围内, 长刺新小绥螨对朱砂叶螨各螨态的捕食功能反应均符合 Holling-II 型方程, 以日均捕食量与捕食效能 (a/T_h) 为捕食能力的评价指标, 30°C 时长刺新小绥螨对朱砂叶螨幼螨的捕食能力最强, 为 111.80 头/天, 15°C 对朱砂叶螨雌成螨的捕食能力最弱, 为 4.98 头/天; 长刺新小绥螨对朱砂叶螨幼螨的寻找效应强于其他螨态, 且随温度升高呈上升趋势。在 30°C 温度条件下长刺新小绥螨对朱砂叶螨幼螨及前若螨有较强的控害能力。

关键词: 长刺新小绥螨; 朱砂叶螨; 温度; 功能反应; 寻找效应

中图分类号: Q968.1;S433

文献标识码: A

Predation efficacy of the *Neoseiulus longispinosus* on the *Tetranychus cinnabarinus* at different temperatures

WANG Wei-Hua^{1,2}, ZHENG Li-Jiu², YE Zheng-Pei², FU Yue-Guan^{2,3}, ZHANG Fang-Ping^{2*}, CHEN Jun-Yu^{2*} (1. College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Agricultural and Rural Affairs Ministry Key Laboratory of Integrated Pest Management for Tropical Crops, Provincial Engineering Research Center for the Breeding and Industrialization of Natural Enemies, Institute of Environment and Plant Protection, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 3. Sanya Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Sanya 572024, Hainan Province, China)

Abstract: The aim of this study was to examine the effects of temperature on the functional response exhibited by predatory mite, *Neoseiulus longispinosus* Evans, preying on *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval. Predation efficiency of female adult of *N. longispinosus* on various life

基金项目: 国家重点研发计划 (2024YFD1400100); 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-33-BC2); 热科院基本业务费 (1630042022006, 1630042024025)

作者简介: 汪维华, 男, 硕士研究生, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: 286887816@qq.com

*通讯作者 Author for correspondence: 陈俊谕, 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为害虫综合防治, E-mail: jychnen@163.com;

张方平, 女, 硕士, 研究员, 主要研究方向为害虫综合防治, E-mail: fangpingz97@163.com

收稿日期 Received: 2024-02-11; 接受日期 Accepted: 2024-04-15

stages of *T. cinnabarinus*, including eggs, larvae, protonymphs, deutonymphs, and female adults were observed across a temperatures gradient ranging from 15°C to 30°C. The predation of *N. longispinosus* on *T. cinnabarinus* increased with elevating temperature and prey density. At equivalent temperatures and densities, predation rates of female adult of *N. longispinosus* on different stages of *T. cinnabarinus* were found in a hierarchy: larvae > protonymphs > deutonymphs > eggs > female adults. The predation function response of *N. longispinosus* on each stage of the *T. cinnabarinus* followed the Holling-II equation within the 15~30°C temperature spectrum. Predation ability was evaluated by average daily predation and predation efficacy (a/T_h). Notably, and the *N. longispinosus* exhibited the highest predation ability on the larvae of *T. cinnabarinus* at 30°C, reaching 111.80, whereas the weakest predation capability (4.98) was were found when preying on the female adult of *T. cinnabarinus* at 15°C. The search efficiency of the *N. longispinosus* on *T. cinnabarinus* larvae was higher than that of other stage, showing an upward trend with increasing temperatures. At 30°C, *N. longispinosus* demonstrated a strong ability to control *T. cinnabarinus* larvae and protonymphs.

Key words: *Neoseiulus longispinosus*; *Tetranychus cinnabarinus*; temperature; functional response; searching efficiency

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval 是一种重要的农业害螨 (Bi *et al.*, 2016; Lu *et al.*, 2018), 具有发育速度快、繁殖力强、寄主种类多、危害性大等特点 (吴孔明, 1990; Zhang *et al.*, 2004)。该螨是一种世界性害螨, 广泛分布于我国华北、华南、华东及辽宁、河南、甘肃等省, 其寄主植物有茄子、菜豆、小麦、大豆等 100 多种 (Liu and Gui, 2007)。朱砂叶螨主要是以成螨及若螨刺吸寄主植物叶片, 导致叶片退绿、坏死、落叶。随着温室蔬菜、水果、花卉等栽培面积逐年扩大, 该螨时常爆发成灾, 并造成严重经济损失 (李莉, 1990)。因此, 控制朱砂叶螨的发生成为亟待解决的重要问题。目前, 对朱砂叶螨的治理以使用杀螨剂进行化学防治为主。然而, 长期大量的使用化学农药导致害螨抗药性和农药残留增加, 不仅致使水源和土壤污染加强, 还使农作物产品质量及生态安全性下降。随着人类对食品、环境安全的需求增强, 农作物生产中对安全、可持续、环境相容性好的害虫 (螨) 防控技术的需求也日益增加 (陈俊谕等, 2016; 辛天荣等, 2019)。采用释放天敌进行“以螨治螨”是对朱砂叶螨进行生态、可持续防控的有效措施 (张方平等, 2010; Lin *et al.*, 2017)。据报道, 叶螨的天敌类群较多, 包括捕食螨、捕食性蓟马、捕食性瓢虫等, 如龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg、加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* McGregor 等天敌对朱砂叶螨有较强的控害潜力 (邱晓红, 2006; 蒋洪丽等, 2015)。

长刺新小绥螨 *Neoseiulus longispinosus* Evans 属植绥螨科 Phytoseiidae 新小绥螨属 *Neoseiulus*, 是一种分布于热带及亚热带地区能捕食咖啡小爪螨 *Oligonychus coffeae* Nietner、柑橘全爪螨 *Panonychus citri* McGregor、二斑叶螨 *Tetranychus neocaledonicus* Koch、截形叶螨 *Tetranychus truncatus* Ehara 等害螨的重要天敌 (Bounfour and Mcurtry, 1987; Huyen *et al.*, 2017; Jyothis and Ramani, 2019; Mondal *et al.*, 2020; Bhowmik and Yadav, 2021)。该螨在

15~30°C 条件下, 未成熟期的存活率在 94% 以上, 在 27~30°C 条件种群增长快 (Rahman *et al.*, 2013), 是一种适于热带地区的优势天敌。尽管如此, 温度对该螨捕食能力的影响尚未明确, 其对重要农业害螨朱砂叶螨的控害能力未见报道, 对朱砂叶螨不同虫态的捕食能力是否存在差异也有待研究。为此, 本文在 15°C、18°C、21°C、24°C、27°C、30°C 等温度下研究了长刺新小绥螨雌成螨对朱砂叶螨卵、幼螨、前若螨、后若螨、雌成螨的捕食作用, 以期明确长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食能力, 为利用长刺新小绥螨防治朱砂叶螨提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

朱砂叶螨和长刺新小绥螨均采集于海南省儋州市宝岛新村的黄豆叶片上。将采集回的虫源在中国热带农业科学院环境与植物保护研究所儋州院区的温度为 26±1°C、湿度为 70%~75% 的人工气候室 (上海一恒科学仪器有限公司 MGC-100BP-2L) 内以黄豆叶片作为寄主饲养朱砂叶螨, 以朱砂叶螨作为食物饲养长刺新小绥螨, 两种试虫均在室内繁殖 3 代以上备用。

1.2 实验装置

螨饲养小室由三层长×宽为 20 mm × 20 mm 的亚克力板制作而成, 安装螨饲养小室时由上到下依次为上层板 (厚度 0.5 mm)、中间层亚克力板 (厚度为 2 mm, 且中间设一直径为 10 mm 的圆形孔作为螨的活动空间)、新鲜平整与亚克力板尺寸相近的黄豆叶、滤纸 (略大于亚克力板) 及下层亚克力板 (厚度 0.5 mm), 用长尾夹将饲养小室的上中下三层板进行固定, 然后放在铺有湿海绵 (厚度 1 cm) 的托盘内, 用以保湿。

1.3 实验方法

挑取朱砂叶螨卵 (3、6、9、12、15 粒)、幼螨 (10、20、30、40、50 头)、前若螨 (10、20、30、40、50 头)、后若螨 (5、10、15、20、25 头) 及雌成螨 (3、6、9、12、15 头) 放入螨饲养小室内, 再分别接入 1 头经 24 h 饥饿处理的长刺新小绥螨雌成螨, 然后置于温度 15±1°C、18±1°C、21±1°C、24±1°C、27±1°C 和 30±1°C, 相对湿度 75%±5%, 光周期 14 L : 10 D 的人工气候箱内, 24 h 后观察记录长刺新小绥螨对朱砂叶螨各螨态的捕食量。试验重复 6 次。

1.4 数据分析

长刺新小绥螨对猎物密度的功能反应试验所得数据采用 Holling-II 型圆盘方程 $N_a = aTN/(1 + aT_hN)$ (林克剑, 2006; Udiarto *et al.*, 2023), 寻找效应: $S = a/(1 + aT_hN)$, 其中, N_a 为被捕食的猎物数, N 为猎物密度, T 为试验时间 (24 h), a 为瞬时攻击速率, T_h 为猎物处理时间 (丁岩钦, 1980; Bruzzone *et al.*, 2022)。

数据处理和图表绘制在 Office 专业增强版 2019 和 Origin 2022 中进行, 使用 DPS 7.5 软件对数据进行统计学分析, 采用 Duncan's 法比较显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同温度对长刺新小绥螨捕食能力的影响

由表 1 可见, 猎物虫态为朱砂叶螨卵、幼螨、前若螨、后若螨、雌成螨时, 猎物密度及温度对长刺新小绥螨捕食朱砂叶螨卵的捕食量的影响明显 ($P<0.05$)。在温度为 15~30°C 范围内, 长刺新小绥螨对朱砂叶螨各螨态的捕食量整体随着温度升高而增多; 同一温度下, 随猎物密度的增加, 捕食量逐渐增多, 当朱砂叶螨的数量达到一定密度, 长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食量增速减缓。

表 1 不同温度和猎物密度下长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食量 (头)

Table 1 Predation number of *Neoseiulus longispinosus* to *Tetranychus cinnabarinus* at different temperatures and prey density

猎物螨态 Stage of prey	猎物密度 (ind.) Prey density	日均捕食量 (ind.) No. of daily predation					
		15°C	18°C	21°C	24°C	27°C	30°C
卵 Egg	3	2.33±0.04 Bc	2.83±2.87 Ab	3.00±3.05 Ac	3.00±0.12 Ad	3.00±0.05 Ae	3.00±0.02 Ae
	6	4.00±0.33 Bb	4.50±4.24 ABab	5.00±4.53 ABb	3.83±0.55 Bdc	5.67±0.55 Ad	5.67±0.19 Ad
	9	4.33±0.16 Cb	5.00±5.05 BCa	5.00±5.40 BCb	5.00±0.30 BCbc	6.33±0.28 Bc	7.33±0.05 Ac
	12	4.83±0.22 Dab	5.33±5.58 CDa	6.00±5.98 CDa	6.17±0.24 BCb	7.33±0.41 Bb	9.83±0.72 Ab
	15	5.50±0.03 Da	6.00±5.96 CDa	6.33±6.38 CDa	7.50±1.13 BCa	8.67±0.04 Ba	11.17±0.35 Aa
幼螨 Larva	10	9.33±0.01 Ad	10.00±0.39 Ac	9.83±0.09 Ae	9.33±0.08 Ae	10.00±0.04 Ae	10.00±0.02 Ae
	20	14.33±0.08 Bc	19.33±3.22 Ab	18.67±0.64 Ad	18.67±1.50 Ad	18.33±0.42 Ad	17.67±0.49 Ad
	30	17.67±0.05 Cb	19.50±0.23 BCab	25.50±0.74 Ac	21.00±2.65 Bc	24.00±0.26 Ac	26.33±1.34 Ac
	40	20.00±0.18 Ba	21.83±0.40 Bab	29.83±0.62 Ab	30.67±1.50 Ab	29.67±0.18 Ab	30.33±0.45 Ab
	50	21.33±0.10 Ba	21.33±2.73 Ba	33.33±1.99 Aa	34.00±0.09 Aa	33.33±0.53 Aa	35.33±0.42 Aa
前若螨 Protony-mph	10	8.30±0.05 Cc	8.67±0.32 BCe	9.17±0.27 ABCe	9.33±0.17 ABCc	10.00±0.29 ABc	9.67±0.03 Ad
	20	11.20±0.45 Bbc	11.00±1.30 Bd	12.00±1.11 Bd	13.00±0.73 Bb	13.00±1.21 Bbc	17.00±0.77 Ac
	30	12.70±0.59 Bb	13.33±1.27 Bc	14.33±1.23 Bc	15.33±1.13 Bb	15.67±1.13 Bb	19.00±1.93 Ac
	40	17.67±0.34 Ba	17.67±1.55 Bb	18.33±1.17 Bb	19.33±1.04 Ba	19.67±1.18 Ba	25.00±0.52 Ab
	50	19.33±0.22 Ba	19.33±2.15 Ba	20.33±2.03 Ba	21.00±1.41 Ba	21.67±2.00 Ba	28.33±1.09 Aa
后若螨 Deutony-mph	5	4.00±0.15 Ad	4.33±0.23 Ad	3.00±0.05 Bb	4.00±0.05 Ad	4.33±0.13 Ad	4.17±0.08 Ad
	10	5.00±0.58 Dcd	5.00±1.04 Dcd	5.67±0.19 Cb	6.33±0.47 Bc	6.50±0.97 ABc	7.00±0.95 Ac
	15	6.17±0.38 Cbc	7.00±0.17 Cbc	8.00±0.52 Ba	9.33±0.38 ABb	10.17±0.65 Ab	10.67±1.55 Ab
	20	7.00±0.18 Cb	8.33±0.42 BCab	8.83±0.33 BCa	11.00±0.37 Ba	11.83±0.80 ABab	12.67±0.90 Aa
	25	9.33±1.72 Ba	10.00±1.56 Ba	9.83±0.75 ABa	12.00±0.01 ABa	12.33±0.14 ABa	14.00±0.25 Aa
雌成螨 Female adult	3	2.00±0.39 Ba	2.67±1.06 ABc	2.67±0.35 ABb	2.67±0.42 ABb	2.50±0.07 ABb	3.00±1.19 Ab
	6	2.33±0.58 Cab	3.33±0.98 BCb	2.83±0.72 BCb	3.00±0.63 BCb	3.33±0.21 BCb	5.33±0.44 Aa
	9	2.67±0.18 Ba	3.33±0.41 ABb	3.00±0.49 ABb	3.17±0.39 ABb	3.67±0.51 ABb	5.00±0.54 Aa
	12	3.00±0.03 Ca	3.83±0.72 BCb	3.33±0.33 Cb	4.00±0.26 BCa	4.83±0.24 Ba	6.33±0.18 Aa
	15	3.67±0.52 Ca	5.17±0.99 Ba	5.67±1.89 ABa	4.33±0.48 BCa	5.67±0.79 ABa	6.33±0.27 Aa

注: 表中数据为平均值±标准差, 大写字母表示同行相同密度不同温度间差异显著 ($P<0.05$), 小写字母表示同列相同温度同一猎物螨态不同密度间差异显著 ($P<0.05$)。Note: Data in the table were presented as mean ± standard deviation, uppercase letters indicated significant differences between different temperature at the same density within the same row ($P<0.05$), lowercase letters indicated significant difference between different densities of the same prey mite stage and temperature within the same column ($P<0.05$).

2.2 不同温度下长刺新小绥螨对朱砂叶螨的功能反应

采用 Holling-II 圆盘模型对表 1 数据进行拟合 (表 2), 计算出不同温度下的捕食功能反应方程及相关参数。结果显示, 拟合优度检验 χ^2 值为 0.0222~1.2251, 均远小于 $\chi^2(0.05)=11.07$, 表明理论值与观测值较吻合, 说明长刺新小绥螨对朱砂叶螨各虫态的捕食功能反应符合

Holling-II圆盘方程模型。从表 2 可见，长刺新小绥螨对朱砂叶螨的处理时间整体表现为：随着温度升高，长刺新小绥螨对朱砂叶螨各虫态的处理时间 T_h 均随着温度的升高而缩短。以 a/T_h （瞬时攻击率 a 和处理时间 T_h 的比值）衡量天敌对害虫的捕食能力，长刺新小绥螨对朱砂叶螨不同螨态的捕食能力由高到低为幼螨>前若螨>后若螨>卵>雌成螨。捕食能力及捕食上限均以 30℃最高；除 18℃捕食朱砂叶螨前若螨外，捕食能力及捕食上限均以 15℃最低。

表 2 不同温度下长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食功能反应

Table 2 Predation functional response of *Neoseiulus longispinosus* to *Tetranychus cinnabarinus* at different temperatures

温度 (°C)	虫态	功能反应模型	瞬时攻击率 (a)	处理时间 (T_h)(d)	捕食能力 (a/T_h)	捕食上限 ($1/T_h$)	χ^2
Temperature	Stage	Functional response equation	Instant attack rate	Handling time	Predation capacity	Daily maximum predation amount	
15		$Na=1.1152N/(1+0.1373N)$	1.1152	0.12	9.06	8.12	0.0458
18		$Na=1.4736N/(1+0.1807N)$	1.4736	0.12	12.02	8.16	0.0279
21	卵	$Na=1.5564N/(1+0.1771N)$	1.5564	0.11	13.68	8.79	0.0803
24	Egg	$Na=1.4027N/(1+0.1535N)$	1.4027	0.11	12.85	9.14	0.3002
27		$Na=1.2583N/(1+0.0791N)$	1.2583	0.06	20.01	15.90	0.0933
30		$Na=1.0945N/(1+0.0262N)$	1.0945	0.03	38.14	34.84	0.0861
15		$Na=1.3198N/(1+0.0416N)$	1.3198	0.03	41.90	31.75	0.0026
18		$Na=1.4637N/(1+0.0408N)$	1.4637	0.03	52.46	35.84	0.9771
21	幼螨 Larva	$Na=1.1044N/(1+0.0113N)$	1.1044	0.01	108.27	98.04	0.1703
24		$Na=1.0424N/(1+0.0107N)$	1.0424	0.01	101.21	97.09	0.5072
27		$Na=1.1409N/(1+0.0137N)$	1.1409	0.01	95.08	83.33	0.0222
30		$Na=1.1044N/(1+0.0110N)$	1.1044	0.01	111.80	101.01	0.1703
15		$Na=1.2246N/(1+0.0516N)$	1.2246	0.04	29.09	23.75	0.7506
18	前若螨	$Na=1.2987N/(1+0.0556N)$	1.2987	0.04	30.34	23.36	0.6790
21	Protony-mph	$Na=1.3852N/(1+0.0557N)$	1.3852	0.04	34.46	24.88	0.5030
24		$Na=1.3759N/(1+0.0502N)$	1.3759	0.04	37.70	27.40	0.2803
27		$Na=1.5340N/(1+0.0580N)$	1.5340	0.04	40.58	26.46	0.4653
30		$Na=1.2047N/(1+0.0242N)$	1.2047	0.02	59.93	49.75	0.2695
15		$Na=1.2475N/(1+0.1238N)$	1.2475	0.10	12.58	10.08	0.4782
18	后若螨	$Na=1.2762N/(1+0.1113N)$	1.2762	0.09	14.63	11.47	0.5090
21	Deutony-mph	$Na=0.6875N/(1+0.0265N)$	0.6875	0.04	17.86	25.97	0.1352
24		$Na=0.9428N/(1+0.0387N)$	0.9428	0.04	22.99	24.39	0.0615
27		$Na=1.0310N/(1+0.0424N)$	1.0310	0.04	25.09	24.33	0.1741
30		$Na=0.9314N/(1+0.0254N)$	0.9314	0.03	34.12	36.63	0.0671
15		$Na=1.3349N/(1+0.3576N)$	1.3349	0.27	4.98	3.73	0.2795
18		$Na=1.8423N/(1+0.3745N)$	1.8423	0.20	9.06	4.92	0.4686
21	雌成螨	$Na=1.9861N/(1+0.4586N)$	1.9861	0.23	8.60	4.33	1.2251
24	Female adult	$Na=2.0525N/(1+0.4655N)$	2.0525	0.23	9.05	4.41	0.2860
27		$Na=1.2913N/(1+0.1980N)$	1.2913	0.15	8.42	6.52	0.2165
30		$Na=1.5347N/(1+0.1659N)$	1.5347	0.11	14.20	9.25	0.4417

2.3 长刺新小绥螨对朱砂叶螨的寻找效应

根据公式 $S=a/(1+aT_hN)$ 计算长刺新小绥螨对朱砂叶螨的寻找效应（图 1）。在供试温度下，长刺新小绥螨对朱砂叶螨的寻找效应均随着猎物密度的增加而降低。在相同虫态及同一猎物密度下，长刺新小绥螨对朱砂叶螨的寻找效应在 30℃时始终最高；寻找效应最低值根

据不同虫态不同温度而有较大差异, 猎物为朱砂叶螨的卵、幼螨、前若螨、雌成螨的寻找效应在 15°C 最低, 对于朱砂叶螨的后若螨, 在低猎物密度时, 寻找效应在 21°C 时最低。

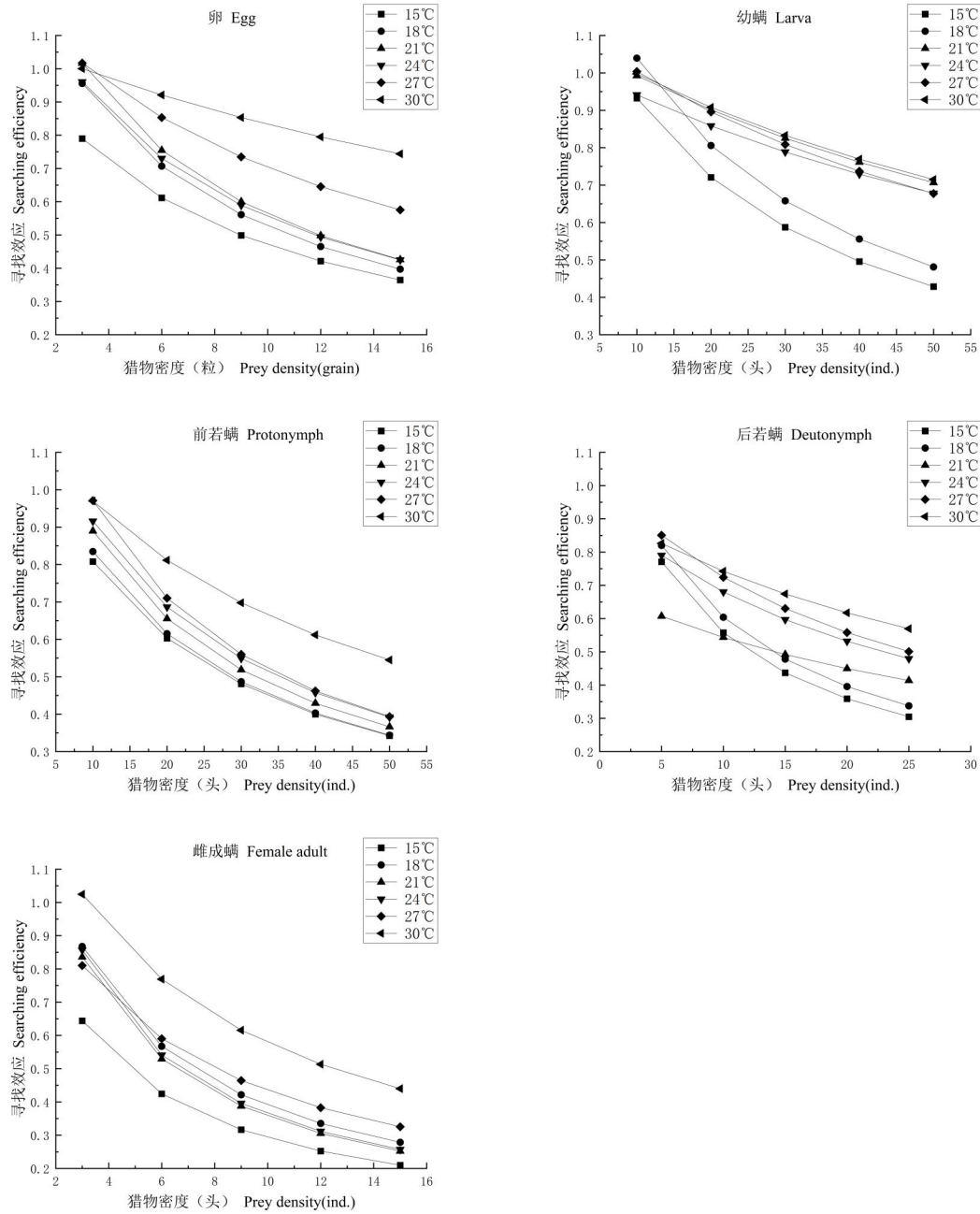


图 1 不同温度下长刺新小绥螨对朱砂叶螨的寻找效应

Fig. 1 Searching efficiency of *Neoseiulus longispinosus* to *Tetranychus cinnabarinus* at different temperatures

3 结论与讨论

功能反应是评估捕食性天敌控害潜能的重要方法和途径, 生物防治学家通常会设计这类实验来验证天敌对寄主(猎物)的寄生(捕食)潜能 (Okuyama and Ruyle, 2011)。Holling-II 型功能反应模型常应用于评价天敌昆虫对其猎物(寄主)的捕食(寄生)效能 (吴坤军等,

2004)。本研究中,长刺新小绥螨雌成螨对朱砂叶螨的功能反应均符合 Holling-II型功能反应模型,结果与加州新小绥螨捕食柑橘全爪螨、六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus* (Riley) 等的功能反应拟合模型一致(覃贵勇等, 2013; 贾静静等, 2019)。在评价天敌对害虫的捕食能力时,常用瞬时攻击率与处置时间的比值 (a/T_h) 作为衡量天敌作用的重要参数之一, a/T_h 值越大,表明天敌对害虫的控制能力越强(贾静静等, 2019),因此,本研究也主要是依据 a/T_h 值来评价长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食能力。

温度是影响天敌捕食猎物的重要因子(Brown *et al.*, 2004)。在本试验中,长刺新小绥螨捕食朱砂叶螨的卵、幼螨、前若螨、后若螨及雌成螨时瞬时攻击率与处置时间的比值(a/T_h)随着温度的升高而增加,均在 30°C 时最大,表明 30°C 时长刺新小绥螨对朱砂叶螨所有螨态的捕食能力最强。结果与长刺新小绥螨在 15~35°C 条件下捕食二斑叶螨时随温度的升高,捕食时间缩短、捕食能力增强的情况相似(Sugawara *et al.*, 2018)。这说明温度明显影响长刺新小绥螨的捕食能力,该螨特别适合用于热区的害螨生物防治,而低温条件不利于长刺新小绥螨捕食,田间应用时应当避开连续性低温天气。

捕食性昆虫的捕食能力与猎物种类、密度及虫态同样相关。本研究中长刺新小绥螨雌成螨对朱砂叶螨的捕食能力与猎物密度呈正相关,但当朱砂叶螨的数量达到一定密度,长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食量呈增速减缓趋势,结果与圆果大赤螨 *Anystis baccharum* Linnaeus、加州新小绥螨等天敌相关的结果相似(李庆等, 2014; 江秀均等, 2017),说明在利用长刺新小绥螨防治朱砂叶螨时应依据合理的益害比进行。以瞬时攻击率与处理时间之比 a/T_h 作为评价指标,长刺新小绥螨对朱砂叶螨的捕食能力总体表现为幼螨>前若螨>卵>后若螨>雌成螨,结果与普通钝绥螨 *Amblyseius vulgaris* 及尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi* 捕食朱砂叶螨时均喜好捕食幼螨而不喜好卵和成螨(赵志模等, 1993)相似,这可能是低龄螨的活动力弱、体壁较薄等因素导致。Rahman 报道长刺新小绥螨在 25、30 和 35°C 捕食咖啡小爪螨雌成螨的 a/T_h 为 5.685、6.892 和 6.912(Rahman *et al.*, 2012),真桑钝绥螨 *Amblyseius makuwa* Ehara 25°C 捕食朱砂叶螨若螨、雌成螨的 a/T_h 分别为 5.8730、4.4009(张晓阳等, 2017),本研究中,27°C、30°C 时长刺新小绥螨除捕食朱砂叶螨各螨态的 a/T_h 为 8.42~118.80 头(粒),21°C、24°C 时捕食后若螨、前若螨及幼螨的 a/T_h 为 17.86~108.27 头,说明长刺新小绥螨对朱砂叶螨具有良好的捕食潜能。

本研究通过不同温度下长刺新小绥螨捕食朱砂叶螨不同虫态的功能反应,明确了不同温度对长刺新小绥螨捕食朱砂叶螨功能反应的影响。田间利用长刺新小绥螨防治朱砂叶螨时需综合考虑叶螨的密度、温度、防治成本等因素,选择合适的益害比及时机进行释放。另外,由于天敌对猎物的捕食功能不仅受其自身密度影响,还受温度、猎物密度、空间异质性等因素影响(邓海滨等, 2015; 王蔓等, 2019),鉴于本研究仅是在室内控制条件下进行,与田间长刺新小绥螨在田间对朱砂叶螨的实际控害效率存在差异(王玉雪等, 2023),实验设计过程使用的捕食者和猎物成螨均为雌成螨,其捕食效能雌雄差异明显,没有设计不同雌雄捕

食者进行比较。因此,下一步应在田间或大棚内进行长刺新小绥螨捕食作用的研究,也可以设计加入雄成螨实验内容,为其在大田成功应用于朱砂叶螨防控提供更多的数据支撑。

参考文献 (References)

- Bhowmik S, Yadav SK. *Neoseiulus longispinosus* Evans-blessing of Phytoseiids [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2021, 41: 927-932.
- Bi JL, Niu ZM, Yu L, *et al.* Resistance status of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* and the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* to selected acaricides on strawberries [J]. *Insect Science*, 2016, 23 (1): 88-93.
- Bounfour M, Mcmurtry J. Biology and ecology of *Euseius scutalis* (Athias-Henriot) (Acarina: Phytoseiidae) [J]. *Hilgardia*, 1987, 55 (5): 21-23.
- Brown JH, Gillooly JF, Allen AP, *et al.* Toward a metabolic theory of ecology [J]. *Ecology*, 2004, 85 (7): 1771-1789.
- Bruzzone OA, Aguirre MB, Hill JG, *et al.* Revisiting the influence of learning in predator functional response, how it can lead to shapes different from type III [J]. *Ecology and Evolution*, 2022, 12 (2): 1-12.
- Chen JY, Li L, Zhang FP, *et al.* Differential Functional Responses of *Stethorus* (*Allosstethorus*) *parapauperculus* at Different Hunger Levels to *Tetranychus cinnabarinus* [C]. Beijing: Chinese Society of Plant Protection. Collection of Papers from the 2016 Academic Annual Conference on Plant Protection Science and Agricultural Precision Poverty Alleviation. Institute of Environment and Plant Protection, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, 2016: 1.[陈俊谕, 李磊, 张方平, 等. 不同饥饿程度拟小食螨瓢虫对朱砂叶螨的功能反应 [C]. 北京: 中国植物保护学会. 植保科技创新与农业精准扶贫——中国植物保护学会 2016 年学术年会论文集. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 2016: 1]
- Deng HB, Lv YH, Tian MY, *et al.* *Harpactor fuscipes* predation response and searching efficiency towards *Myzus persicae* [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2015, 21 (5): 74-78. [邓海滨, 吕永华, 田明义, 等. 红彩真猎蝽对烟蚜的捕食功能反应及寻找效应 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21 (5): 74-78]
- Ding YQ. Principles and Applications of Mathematical Ecology of Insect Populations [M]. Beijing: Science Press, 1980. [丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1980]
- Huyen LT, Tung ND, Lan DH, *et al.* Life table parameters and development of *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) reared on citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) at different temperatures [J]. *Systematic and Applied Acarology*, 2017, 22 (9): 1316-1326.
- Jia JJ, Chen JY, Zhang FP, *et al.* *Neoseiulus californicus* predation efficiency on *Eotetranychus sexmaculatus* at different temperatures [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 857-865. [贾静静, 陈俊谕, 张方平, 等. 加州新小绥螨在不同温度下对六点始叶螨的捕食效能 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 857-865]
- Jia JJ, Fu YG, Zhang FP, *et al.* *Euseius nicholsi* evaluation of the control efficiency of three rubber leaf mites [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 718-727. [贾静静, 符悦冠, 张方平, 等. 尼氏真绥螨对三种橡胶叶螨的控害效能评价 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 718-727]
- Jiang HL, Wang ED, Lv JL, *et al.* *Neoseiulus californicus* predation selectivity on different forms of *Tetranychus cinnabarinus* and its functional response compared with *Amblyseius* (*Amblyseius*) *pseudolongispinosus* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (1): 8-13, 27. [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, 27]
- Jiang JX, Zhong J, Xie DY, *et al.* *Anystis baccarum* Linnaeus predation response to mulberry pests [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (6): 1356-1362. [江秀均, 钟健, 谢道燕, 等. 圆果大赤螨对桑树害虫的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (6): 1356-1362]
- Jyothis D, Ramani N. Evaluation of prey stage preference of the predatory mite *Neoseiulus longispinosus* Evans on the spider mite pest *Tetranychus neocaledonicus* (André) (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) [J]. *Acarologia*, 2019, 59 (4): 484-491.
- Li L. Study on the Plant Dominant Factors in the Relationship between *Tetranychus cinnabarinus* and Host Plants [D]. Guiyang: Guizhou University Master Thesis, 2006. [李莉. 朱砂叶螨与寄主植物相互关系中的植物主导因素研究 [D]. 贵阳: 贵州大学硕士论文, 2006]
- Li Q, Cui Q, Jiang CX, *et al.* *Neoseiulus californicus* control effect on the carmine spider mite [J]. *Journal of Plant Protection*, 2014, 41 (3): 257-262. [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]
- Lin KJ, Wu KM, Liu SB, *et al.* *Chrysoperla sinica* Tjeder, *Propylaea japonica*, and *Harmonia axyridis* predation functional response to B-type aphids [J]. *Entomological Knowledge*, 2006, 3: 339-343. [林克剑, 吴孔明, 刘山蓓, 等. 中华草蛉、龟纹瓢虫和异色瓢

- 虫对 B 型烟粉虱的捕食功能反应 [J]. 昆虫知识, 2006, 3: 339-343]
- Lin T, You Y, Zeng ZH, *et al.* Temperature-dependent development of *Oligota flavicornis* (Coleoptera: Staphylinidae) preying on *Tetranychus cinnabarinus* (Acarina: Tetranychidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110 (6): 2334-2341.
- Liu B, Gui LY. Research progress on *Tetranychus cinnabarinus* in China [J]. *Journal of Yangtze University* (Natural Science Edition), Agricultural Volume, 2007, 4 (3): 9-12. [刘波, 桂连友. 我国朱砂叶螨研究进展 [J]. 长江大学学报(自然科学版)农学卷, 2007, 4 (3): 9-12]
- Lu W, Hu Y, Wei P, *et al.* A acaricide-mediated competition between the sibling species *Tetranychus cinnabarinus* and *Tetranychus urticae* [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111 (3): 1346-1353.
- Mondal P, Gowda CC, Srinivasa N. Comparative biology and demography of the predatory mite *Neoseiulus longispinosus* Evans on five prey species of *Tetranychus* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) [J]. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2020, 8 (3): 606-614.
- Okuyama T, Ruyle RL. Solutions for functional response experiments [J]. *Acta Oecologica*, 2011, 37 (5): 512-516.
- Qin GY, Li Q, Yang QF, *et al.* Potential of predacious mite *Neoseiulus californicus* in controlling citrus red mite *Panonychus citri* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2013, 40 (2): 149-154. [覃贵勇, 李庆, 杨群芳, 等. 加州新小绥螨对柑橘全爪螨的控制潜力 [J]. 植物保护学报, 2013, 40 (2): 149-154]
- Qiu XH. Study on the Interaction Patterns between Bt Cotton and *Tetranychus cinnabarinus* and its Natural Enemies [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University Master Thesis, 2006. [邱晓红. Bt 棉与朱砂叶螨及其天敌之间的互作规律研究 [D]. 武汉: 华中农业大学硕士论文, 2006]
- Rahman VJ, Babu A, Roobakkumar A, *et al.* Functional and numerical responses of the predatory mite, *Neoseiulus longispinosus*, to the red spider mite, *Oligonychus coffeae*, infesting tea [J]. *Journal of Insect Science*, 2012, 12 (1): 125.
- Rahman VJ, Babu A, Roobakkumar A, *et al.* Life table and predation of *Neoseiulus longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Oligonychus coffeae* (Acari: Tetranychidae) infesting tea [J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2013, 60: 229-240.
- Sugawara R, Ullah MS, Ho CC, *et al.* Impact of temperature-mediated functional responses of *Neoseiulus womersleyi* and *N. longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) [J]. *Biological Control*, 2018, 126: 26-35.
- Udiarto BK, Murtiningsih R, Muharam A, *et al.* Preferences and functional response of *Coccinellidae* to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2023, 83 (6): 715-724.
- Wang M, Li B, Huang J, *et al.* *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus barkeri* comparative predation ability on *Tetranychus urticae* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (6): 1256-1263. [王蔓, 李波, 黄婕, 等. 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 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (6): 1256-1263]
- Wang YX, Zhang HR, Xia PL, *et al.* Research on the predation function and dispersal ability of *Pheropsophus jessoensis* on *Spodoptera litura* [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2023, 54 (12): 3610-3618. [王玉雪, 张浩然, 夏鹏亮, 等. 耶气步甲对斜纹夜蛾的捕食功能及其扩散能力研究 [J]. 南方农业学报, 2023, 54 (12): 3610-3618]
- Wu KJ, Sheng CF, Gong PY. Functional response equation and parameter estimation of predatory insects [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2004, 3: 267-269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算 [J]. 昆虫知识, 2004, 3: 267-269]
- Wu KM. Study on the Density Effect of *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 1990, 27 (4): 213-216. [吴孔明. 朱砂叶螨密度效应研究 [J]. 昆虫知识, 1990, 27 (4): 213-216]
- Xin TR, Lian T, Li XE, *et al.* The effects of sublethal concentration of chlorfenapyr on the growth and reproduction of *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56(4):736-743. [辛天蓉, 练涛, 李雪儿, 等. 亚致死浓度除虫脒对朱砂叶螨生长和繁殖的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4):736-743]
- Zhang FP, Niu LM, Xu YC, *et al.* *Metaphycus parasaissetiae* control effect on *Parasaissetia nigra* [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 8: 2166-2170. [张方平, 牛黎明, 许永池, 等. 副珠蜡蚧阔柄跳小蜂对橡副珠蜡蚧的控制作用 [J]. 应用生态学报, 2010, 8: 2166-2170]
- Zhang JP, Wang JJ, Zhao ZM, *et al.* Effects of simulated acid rain on the physiology of carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduvals)(Acari: Tetranychidae) [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2004, 128 (5): 342-347.
- Zhang XY, Ma M, Li R, *et al.* Life table of experimental population of *Amblyseius makuwa* Ehara and predation on *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (2): 183-187. [张晓阳, 马敏, 李锐, 等. 真桑钝绥螨捕食朱砂叶螨的实验种群生命表及捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (2): 183-187]
- Zhao ZM, Chen Y, Wu SY. Study on the predation of *Amblyseius vulgaris* on *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Journal of Arachnology*, 1993, 2 (1): 31-35. [赵志模, 陈艳, 吴仕元. 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]

