

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20240084

# 沃氏新小绥螨对伊氏叶螨的捕食效能与控害潜力

钟隽<sup>1,2,3,4</sup>, 陈凌娟<sup>1,2,3,4</sup>, 黄朝<sup>1,2,3,4</sup>, 高菲<sup>1,2,3,4</sup>, 范青海<sup>5</sup>, 尤民生<sup>1,2,3,4\*</sup>, 蔡立君<sup>1,2,3,4\*</sup>  
<sup>1</sup>福建农林大学农林生物安全国家重点实验室, 福建福州 350002; <sup>2</sup>福建农林大学应用生态研究所, 福建福州 350002; <sup>3</sup>福建农林大学教育部害虫生态防控国际合作联合实验室, 福建福州 350002; <sup>4</sup>福建农林大学海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, 福建福州 350002; <sup>5</sup>新西兰初级产业部植物健康与环境实验室, 新西兰奥克兰 1142

**摘要:**【目的】明确沃氏新小绥螨对侵害螨伊氏叶螨的生物防治潜力。【方法】在实验室条件下,测定沃氏新小绥螨在番茄和龙葵2种常见茄科植物上对伊氏叶螨3种螨态(卵、幼螨、若螨)的捕食效能和自身密度干扰效应。【结果】沃氏新小绥螨在番茄和龙葵上对伊氏叶螨的捕食功能反应均属于 Holling II 型,且偏好取食伊氏叶螨卵和若螨;在龙葵上对伊氏叶螨的处理时间均短于在番茄上对相同螨态的处理时间,且对若螨的处理时间最短,为0.02 d;在龙葵上对伊氏叶螨幼螨的捕食能力最大,为42.34。沃氏新小绥螨对伊氏叶螨幼螨的搜索效应最大,在猎物密度固定的情况下,捕食率随自身密度升高而下降。【结论】沃氏新小绥螨对伊氏叶螨具有良好的控害能力。

**关键词:** 植绥螨; 自身密度干扰效应; 生物防治; 番茄; 龙葵

## Predation efficiency and control potential of *Neoseiulus womersleyi* against *Tetranychus evansi*

ZHONG Jun<sup>1,2,3,4</sup>, CHEN Lingjuan<sup>1,2,3,4</sup>, HUANG Chao<sup>1,2,3,4</sup>, GAO Fei<sup>1,2,3,4</sup>,  
FAN Qinghai<sup>5</sup>, YOU Minsheng<sup>1,2,3,4\*</sup>, CAI Lijun<sup>1,2,3,4\*</sup>

<sup>1</sup> State Key Laboratory of Agricultural and Forestry Biosecurity, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; <sup>2</sup> Institute of Applied Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; <sup>3</sup> Joint International Research Laboratory of Ecological Pest Control, Ministry of Education, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; <sup>4</sup> Ministerial and Provincial Joint Innovation Centre for Safety Production of Cross-Strait Crops, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; <sup>5</sup> Plant Health and Environment Laboratory, Ministry for Primary Industries, Auckland 1142, New Zealand

**Abstract:**【Aim】This study aims to assess the predatory capacity of *Neoseiulus womersleyi* on *Tetranychus evansi*.【Method】The functional response, searching efficiency, and self-density interference effect of *N. womersleyi* on *T. evansi* were investigated via two Solanaceae host plants, *Solanum lycopersicum* and *S. nigrum*.【Result】*N. womersleyi* showed Holling type II functional responses to the eggs, larvae, and nymphs of *T. evansi* on both *S. lycopersicum* and *S. nigrum*. *N. womersleyi* exhibited a preference for the eggs and nymphs of *T. evansi*. The handling time of *N. womersleyi* for *T. evansi* at the three stages on *S. nigrum* was shorter than that on *S. lycopersicum*, with the shortest handling time being 0.02 day for the nymphs on *S. nigrum*. *N. womersleyi* demonstrated the highest predation capacity for the larvae feeding on *S. nigrum*, with a predation rate reaching 42.34. The searching efficiency of *N. womersleyi* was greater for larvae than for eggs and nymphs. Under fixed prey density conditions, the predation rate of *N. womersleyi* decreased as its own density increased.【Conclusion】*N. womersleyi* possesses strong control potential against *T. evansi* on both *S. lycopersicum* and *S. nigrum*.

**Key words:** Phytoseiidae; self-density interference effect; biocontrol; *Solanum lycopersicum*; *Solanum nigrum*

伊氏叶螨 *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard 俗称番茄红叶螨, 隶属蜱螨亚纲 Acari 叶螨科 Tet-

收稿日期(Received): 2024-06-06 接受日期(Accepted): 2025-07-29

基金项目: 福建省科技厅对外合作项目(2022J0009)

作者简介: 钟隽, 女, 博士研究生。研究方向: 生物防治。E-mail: incubus09@qq.com

\* 通信作者(Author for correspondence), 尤民生, E-mail: msyou@fafu.edu.cn; 蔡立君, E-mail: cai-lijun@live.cn

ranychidae,广泛分布于美洲、非洲、澳洲、欧洲和亚洲的45个国家和地区。伊氏叶螨通过刺吸式口器刺吸寄主植物的叶片、嫩芽和果实后,造成叶片失绿、嫩芽萎蔫、果实产量和品质下降,导致重大的经济损失(Wakil *et al.*, 2018)。其寄主植物种类涉及37科138种,尤为偏好茄科 Solanaceae 植物,如番茄 *Solanum lycopersicum* L.、茄子 *Solanum melongena* L.、马铃薯 *Solanum tuberosum* L.、龙葵 *Solanum nigrum* L.、水茄 *Solanum torvum* Swartz 等(Migeon & Dorkeld, 2023)。据报道,伊氏叶螨在2000年以后逐渐成为非洲东南部与西部茄科经济作物上的主要害螨,最多造成90%的作物减产(Azandémè-Hounmalon *et al.*, 2015; Sibanda *et al.*, 2000)。现伊氏叶螨已入侵我国广东、广西和四川3省(自治区)(Tian *et al.*, 2019)。

植绥螨科 Phytoseiidae 隶属于蜱螨亚纲 Acari, 是重要的捕食性天敌类群,具有种类繁多、可应对多种生态环境、种群增长速度快、对多种害虫或害螨有控害能力等优点(徐学农等, 2013),为防治农业害螨提供了许多优秀的天敌品种。我国对植绥螨的研究主要集中在资源调查、系统分类、生物学习性、捕食潜能以及天敌释放等方面。现阶段对我国本土捕食性天敌螨,如胡瓜新小绥螨 *Neoseiulus cucumeris* Oudemans、沃氏新小绥螨 *Neoseiulus womersleyi* Schicha、巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* Hughes 等资源的开发利用均取得了一定成效(唐斌等, 2004; 徐国良等, 2002; 张娜等, 2019)。

沃氏新小绥螨广泛分布于我国各省市,如上海、浙江、山东、福建、辽宁等地(Negm *et al.*, 2021; Tseng, 1983),能捕食7属16种叶螨,嗜食叶螨属 *Tetranychus* 害螨(邹萍等, 1986)。有报道称沃氏新小绥螨对毛竹 *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.、黄豆 *Glycine max* (L.) Merr.、芸豆 *Phaseolus vulgaris* L.、茄子和辣椒 *Capsicum annuum* L. 上的二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 具有良好的捕食效果(石纪茂等, 1992; 周爱农和张孝羲, 1989)。Sarwar *et al.* (2010)认为沃氏新小绥螨若能以腐食酪螨 *Tyrophagus putrescentiae* Schrank 为食进行大规模饲养,则很有可能成为理想的捕食性天敌。

在全球对食品与生物安全日益重视的背景下,针对伊氏叶螨的防治策略已不再局限于化学方法,生物防治手段逐渐受到关注。近年来,越来越多的研究聚焦于绿色、生态友好的防治途径,包括生物

杀螨剂的开发、天敌的利用(Kungu *et al.*, 2018; Savi *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2010),以及将病原真菌与捕食性天敌结合使用等综合防控方式。本研究以沃氏新小绥螨为研究材料,旨在明确其在2种茄科植物上对伊氏叶螨各螨态的捕食效能及其自身密度干扰效应,探究其作为伊氏叶螨天敌的可能性,以期对伊氏叶螨的生物防治提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试螨源

沃氏新小绥螨成螨采自福建农林大学金山校区构树 *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent. 叶片,在温度(25±1)℃、相对湿度(70±5)%、光周期16 L:8 D的人工气候室内以芸豆上皮氏叶螨 *Tetranychus piercei* McGregor 为食饲养5代以上。

伊氏叶螨成螨由南京农业大学植物保护学院昆虫分子生态与进化实验室洪晓月课题组提供,在与沃氏新小绥螨相同饲养条件的人工气候室内用番茄和龙葵植株饲养多代。

### 1.2 饲养小室

饲养小室由3层亚克力板构成,上层为3.5 cm×2.5 cm×0.17 cm的长方形,中层为3.5 cm×3.5 cm×0.27 cm的正方形,下层为3.5 cm×3.5 cm×0.17 cm的正方形。中层板中心打一个直径为1.5 cm的圆孔。在中层和下层板之间夹入一片直径大于1.5 cm的寄主植物叶片,使圆孔位于叶片中间,将试验对象置于叶片上,随后覆盖上层板,再用燕尾夹固定三层板的四角。将固定好的小室置于浸满水的海绵垫上进行饲养、观察。

所有试验均在温度(25±2)℃、相对湿度(70±5)%、光周期16 L:8 D的人工培养箱内进行。

### 1.3 沃氏新小绥螨对不同寄主植物上伊氏叶螨的取食偏好性

每种寄主植物(番茄和龙葵)上的伊氏叶螨设置以下4种处理:卵-幼螨、卵-若螨、幼螨-若螨、卵-幼螨-若螨。每种处理对应螨态各20头,放入饲养小室中,每种处理重复5次。随机挑入1头饥饿24 h的沃氏新小绥螨雌成螨,24 h后观察记录每个饲养小室中伊氏叶螨各螨态被捕食情况。

### 1.4 沃氏新小绥螨对不同寄主植物上伊氏叶螨的捕食功能反应

分别挑取伊氏叶螨卵、幼螨及若螨各5、10、15、20、25、30头,放入盛有不同寄主植物(番茄或龙

葵)叶片的饲养小室中,再接入 1 头饥饿 24 h 的沃氏新小绥螨雌成螨,24 h 后观察记录沃氏新小绥螨取食的伊氏叶螨各螨态的数量,每个处理重复 5 次。

### 1.5 沃氏新小绥螨的自身密度干扰反应

挑取 20 头伊氏叶螨若螨分别放入 2 种寄主植物的饲养小室中,再分别接入 1、2、3、4、5 头饥饿 24 h 的沃氏新小绥螨雌成螨,24 h 后观察记录沃氏新小绥螨取食伊氏叶螨若螨的数量,每个处理重复 5 次。

### 1.6 数据分析

捕食者对猎物的嗜食程度用选择系数  $Q$  来表示,参照赵志模等(1993)的方法,其中  $Q = \frac{R_1}{R_2}$ ,  $R_1$  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,捕食者对该猎物呈嗜食性;  $Q < 1$  时,捕食者对该猎物呈非嗜食性;  $Q = 1$  时,捕食者对该猎物随机捕食。

捕食功能反应试验数据采用 Holling II 型圆盘方程进行拟合,参照吴坤君等(2004)的方法计算捕食者的捕食量  $N_a$ ,  $N_a = \frac{aTN}{1+aT_h N}$ , 其中,  $N$  为猎物初始密度,  $T$  为试验持续时间,  $a$  为瞬时攻击率,  $T_h$  为捕食者处理 1 头猎物的时间。理论日捕食量最大值  $N_{a,max} = \frac{aN}{aT_h N} = \frac{1}{T_h}$ , 捕食能力为  $\frac{a}{T_h}$ 。搜索效应  $S$  采用搜索效应方程进行计算,  $S = \frac{a}{1+aT_h N}$ 。

自身密度干扰反应采用 Hassell-Verley 模型进行拟合,参照 Hassell & Verly (1969)的方法,其中捕食作用率  $E = QP^m$ ,  $P$  为捕食者初始密度,  $Q$  为搜索常数,  $m$  为干扰常数;另外,捕食作用率还可通过  $E = N_a/NP$  计算得出,  $N_a$  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。

采用 Excel 2022 软件对数据进行初步处理分析,采用 SPSS 26.0 软件进行单变量方差分析(univariate analysis of variance),邓肯新复极差法(Duncan's)检验各处理差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 沃氏新小绥螨在不同寄主植物上对伊氏叶螨的捕食选择

沃氏新小绥螨在不同寄主植物上对伊氏叶螨

不同螨态的取食选择情况如表 1 所示。当伊氏叶螨卵与幼螨共存时,在番茄和龙葵上沃氏新小绥螨对伊氏叶螨卵的选择系数均大于 1,对卵表现出嗜食;卵与若螨共存时,在番茄和龙葵上沃氏新小绥螨对若螨表现出嗜食;幼螨与若螨共存时,在番茄上沃氏新小绥螨表现出嗜食幼螨,而在龙葵上则更偏好若螨。当卵与幼螨、幼螨与若螨共存时,沃氏新小绥螨在番茄与龙葵上捕食量差异显著 ( $P < 0.05$ ),取食龙葵上伊氏叶螨的量大于取食番茄上伊氏叶螨的量。

当伊氏叶螨卵、幼螨和若螨 3 种猎物同时存在时,在番茄和龙葵上沃氏新小绥螨均对卵和若螨表现出明显偏好,表明 3 种螨态同时存在时,沃氏新小绥螨会优先选择捕食伊氏叶螨的卵和若螨。

### 2.2 沃氏新小绥螨在不同寄主植物上对伊氏叶螨的捕食功能反应

沃氏新小绥螨在 2 种寄主植物上对伊氏叶螨 3 种螨态(卵、幼螨和若螨)的捕食功能反应曲线如图 1 所示,沃氏新小绥螨雌成螨在番茄和龙葵上对伊氏叶螨 3 种螨态的捕食功能反应均符合 Holling II 型。

同种寄主上沃氏新小绥螨对伊氏叶螨各螨态的捕食量随猎物密度的增大而增大。相同密度下沃氏新小绥螨在番茄上对伊氏叶螨幼螨的捕食量显著高于对卵和若螨的捕食量 ( $P < 0.05$ )。在龙葵上,沃氏新小绥螨对同等密度的伊氏叶螨 3 种螨态捕食量与在番茄上的相似,即对幼螨的捕食量显著高于对卵和若螨的捕食量 ( $P < 0.05$ );但对若螨的捕食量略大于对卵的捕食量,这与在番茄上不同。

在猎物密度相同条件下,沃氏新小绥螨在不同寄主上对 3 种螨态的捕食量存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),表现为在龙葵上的捕食量大于在番茄上的捕食量。寄主为番茄时,沃氏新小绥螨的最大捕食量为 14.4 头 · d<sup>-1</sup>,在龙葵上的最大捕食量高于在番茄上的,为 17.4 头 · d<sup>-1</sup>。

拟合结果(表 2)显示,沃氏新小绥螨在龙葵上对伊氏叶螨卵的瞬时攻击率最大为 1.34,对若螨的瞬时攻击率最小,为 0.89。沃氏新小绥螨对伊氏叶螨幼螨的处理时间最短,处理相同螨态时在龙葵上的处理时间低于番茄。沃氏新小绥螨对龙葵上伊氏叶螨幼螨的捕食能力  $a/T_h$  最强,为 42.34,对番茄上若螨的捕食能力  $a/T_h$  最弱,为 8.99,总体上对

幼螨的捕食能力更强,且在龙葵上对伊氏叶螨各形态具有更强捕食能力。沃氏新小绥螨在龙葵上对幼螨的日最大捕食量最高为 40.64 头,对番茄上若

螨的日最大捕食量最低,为 9.03 头。所有拟合方程  $R^2$  均在 0.94~0.99 范围内,表明试验数据与模型的拟合性良好。

表 1 沃氏新小绥螨对番茄和龙葵上伊氏叶螨各形态捕食偏好性

Table 1 Predation preference of *N. womersleyi* to the different stages of *T. evansi* on *S. lycopersicum* and *S. nigrum*

组别 Treatment	螨态 Stage	番茄 <i>S. lycopersicum</i>		龙葵 <i>S. nigrum</i>	
		捕食量 /(头·d <sup>-1</sup> ) Predation number	选择系数 <i>Q</i> Selection coefficient <i>Q</i>	捕食量 /(头·d <sup>-1</sup> ) Predation number	选择系数 <i>Q</i> Selection coefficient <i>Q</i>
卵-幼螨 Egg-larva	卵 Egg	4.80±1.60	1.31±0.31	8.60±2.94b	1.06±0.10
	幼螨 Larva	2.40±1.01	0.69±0.31	8.00±3.74b	0.94±0.10
卵-若螨 Egg-nymph	卵 Egg	3.00±1.26	0.99±0.26	3.80±0.75a	0.93±0.13
	若螨 Nymph	3.20±1.33	1.01±0.26	4.40±1.02a	1.07±0.13
幼螨-若螨 Larva-nymph	幼螨 Larva	3.60±1.02	1.08±0.31	4.40±1.36b	0.86±0.23
	若螨 Nymph	3.40±1.85	0.92±0.31	5.80±1.33b	1.14±0.23
卵-幼螨-若螨 Egg-larva-nymph	卵 Egg	4.00±1.67	1.05±0.35	4.20±0.98a	1.14±0.26
	幼螨 Larva	3.40±0.80	0.95±0.25	3.20±1.72a	0.83±0.27
	若螨 Nymph	3.60±1.02	1.00±0.27	4.00±1.41a	1.02±0.20

表中数据为平均值±标准误,同行数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Data in the table are mean ± SE. Different letters following the data in the same row indicate significant differences by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ ).

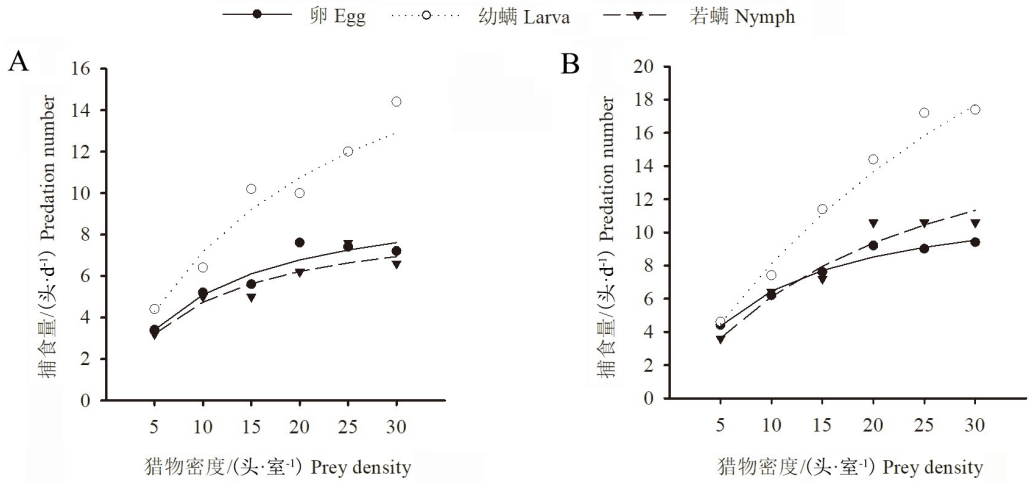


图 1 番茄 (A) 和龙葵 (B) 上沃氏新小绥螨对伊氏叶螨卵、幼螨和若螨的捕食功能反应  
Fig.1 Predatory functional responses of *N. womersleyi* to eggs, larvae, and nymphs of *T. evansi* on *S. lycopersicum* (A) and *S. nigrum* (B)

表 2 番茄和龙葵上沃氏新小绥螨对伊氏叶螨卵、幼螨和若螨的捕食功能反应参数

Table 2 Parameters of predatory functional responses of *N. womersleyi* to eggs, larvae, and nymphs of *T. evansi* on *S. lycopersicum* and *S. nigrum*

寄主 Host	螨态 Stage	功能反应模型 Functional response equation	瞬时攻击率 <i>a</i> Attacking efficiency <i>a</i>	处理时间 $T_h$ Handling time $T_h/d$	捕食能力 $a/T_h$ Predation capacity $a/T_h$	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient $R^2$	日最大捕食量/头 Daily maximum predation number
番茄 <i>S. lycopersicum</i>	卵 Egg	$N_a = 1.03N / (1 + 0.10N)$	1.03	0.10	10.38	0.96	10.12
	幼螨 Larva	$N_a = 1.07N / (1 + 0.05N)$	1.07	0.05	23.18	0.96	21.59
	若螨 Nymph	$N_a = 1.00N / (1 + 0.11N)$	1.00	0.11	8.99	0.94	9.03
龙葵 <i>S. nigrum</i>	卵 Egg	$N_a = 1.34N / (1 + 0.11N)$	1.34	0.08	16.73	0.99	12.49
	幼螨 Larva	$N_a = 1.04N / (1 + 0.02N)$	1.04	0.02	42.34	0.98	40.64
	若螨 Nymph	$N_a = 0.89N / (1 + 0.04N)$	0.89	0.05	17.56	0.98	19.82

### 2.3 沃氏新小绥螨在不同寄主植物上对伊氏叶螨的搜索效应

捕食者的搜索效应曲线能反映捕食者在一定区域内搜索猎物的难易度。沃氏新小绥螨在 2 种寄主植物上对伊氏叶螨卵、幼螨、若螨 3 种螨态的搜索效应均随猎物密度的增加而降低,说明随着猎

物密度的增大,沃氏新小绥螨雌成螨越容易找到伊氏叶螨。对比番茄上 3 种螨态的搜索效应曲线可以看出,沃氏新小绥螨对伊氏叶螨幼螨的搜索效应最大,对若螨的搜索效应最小;龙葵上沃氏新小绥螨对幼螨的搜索效应最大,低密度下对若螨的搜索效应最小,高密度下对卵的搜索效应最小(图 2)。

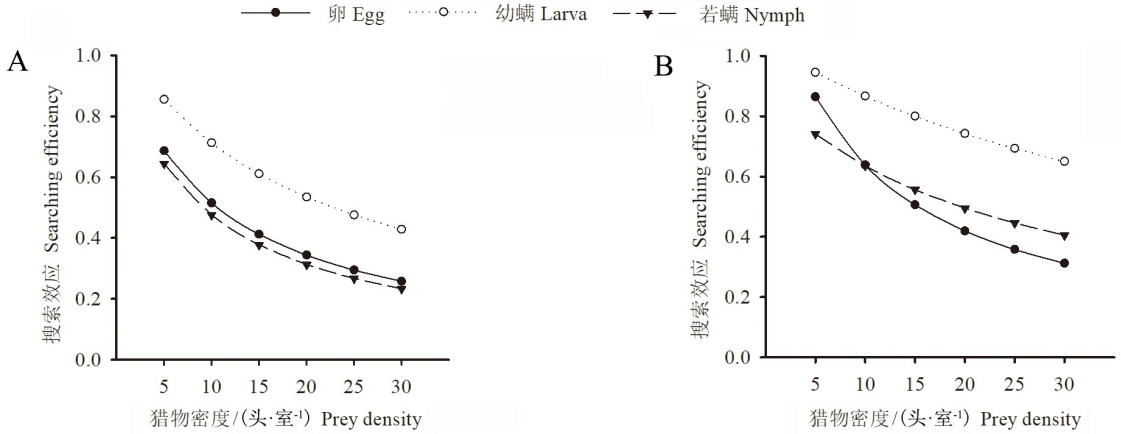


图 2 番茄(A)和龙葵(B)上沃氏新小绥螨对伊氏叶螨卵、幼螨和若螨的搜索效应

Fig.2 Searching efficiency of *N. womersleyi* for eggs, larvae, and nymphs of *T. evansi* on *S. lycopersicum* (A) and *S. nigrum* (B)

### 2.4 沃氏新小绥螨在不同寄主植物上的自身密度干扰反应

在猎物密度一定的情况下,随着沃氏新小绥螨自身密度的增加,其对猎物的捕食量也逐渐增大,但种内竞争增加,捕食效率下降(表 3)。经 Has-

sell-Verely 模型方程拟合,沃氏新小绥螨在番茄上的自身密度干扰反应方程为  $E = 0.148P^{-0.177}$ ,在龙葵上的自身密度干扰反应方程为  $E = 0.158P^{-0.197}$ 。这表明在沃氏新小绥螨捕食伊氏叶螨时个体间存在干扰和竞争。

表 3 番茄和龙葵上沃氏新小绥螨自身密度干扰反应方程及其参数

Table 3 Interference responses and estimated parameters of *N. womersleyi* at different densities on *S. lycopersicum* and *S. nigrum*

捕食螨密度/头 Density of <i>N. womersleyi</i>	番茄 <i>S. lycopersicum</i>				$R^2$	龙葵 <i>S. nigrum</i>			
	捕食量/头 Predation number	捕食作用率 $E$ Predation rate $E$	干扰效应理论 模型 Hassell- Verley model			捕食量/头 Predation number	捕食作用率 $E$ Predation rate $E$	干扰效应理论 模型 Hassell- Verley model	$R^2$
1	3.8±2.14	0.127	$E = 0.148P^{-0.177}$	0.253	4	4.6±1.85	0.153	$E = 0.158P^{-0.197}$	0.832
2	11.0±2.76	0.183			3	8.4±2.87	0.140		
3	10.4±3.38	0.116			4	12.6±4.08	0.140		
4	12.6±2.80	0.105			5	14.0±4.00	0.117		
5	16.4±2.06	0.109				16.6±2.87	0.111		

### 3 讨论

当伊氏叶螨卵、幼螨与若螨同时存在时,沃氏新小绥螨更偏好伊氏叶螨的卵和若螨。沃氏新小绥螨对卵的取食偏好在先前的研究中有报道(杨莹等,2013; 邹萍等,1986; Jyothis & Ramani, 2019)。但也有研究认为,植绥螨由于处理卵的时间较长导致其对若螨的偏好大于对卵的偏好(Ibrahim & Palacio, 1994)。天敌偏好取食最有利于自身生长

发育及繁殖的螨态,其取食偏好可能受猎物种类、猎物营养、捕食者的搜寻能力和饥饿水平等因素影响(Blackwood *et al.*, 2001; Carrillo *et al.*, 2010; Rasmy *et al.*, 1982)。沃氏新小绥螨对卵和若螨的取食偏好可能是因为这 2 种螨态最能满足其生长发育及繁殖的需求。

天敌的捕食功能反应在一定程度上反映了天敌对猎物的搜索能力、处理效应及最大捕食量,以

及部分天敌行为及密度对捕食效果的影响(莫利锋等,2012)。本研究中,以同种寄主植物为食的伊氏叶螨各螨态下,沃氏新小绥螨对伊氏叶螨幼螨的捕食量最大,并且沃氏新小绥螨对伊氏叶螨3种螨态的捕食功能反应均为Holling II型,即随着猎物密度的增大捕食量迅速提高,这与董杰等(2011)的研究相一致。捕食能力 $a/T_h$ 越大,表明天敌对猎物的控害能力越强(林克剑等,2006)。本研究发现,沃氏新小绥螨对伊氏叶螨幼螨的 $a/T_h$ 相较于对其余螨态更大,说明相较于卵与若螨,其对伊氏叶螨幼螨的控害能力最强。现阶段对于沃氏新小绥螨的研究主要围绕其生物学特征和田间释放效果(Han *et al.*, 2003; Kondo, 2004; Nguyen & Shih, 2010; Ullah & Gotoh, 2014),以及其对二斑叶螨、神泽氏叶螨 *T. kanzawai* 和 *T. macferlanei* 捕食能力的研究(钟苗, 2020; Ali *et al.*, 2011; Kondo, 2004)。以神泽氏叶螨作为猎物的研究较早,但其结果并未有瞬时攻击率、处理时间等参数。对比本研究与前人对沃氏新小绥螨捕食二斑叶螨和 *T. macferlanei* 的捕食研究结果,沃氏新小绥螨对卵的理论日最大捕食量为 *T. macferlanei*>二斑叶螨>伊氏叶螨,最大可达212.77头;对幼螨的理论日最大捕食量为二斑叶螨>*T. macferlanei*>伊氏叶螨,最大可达1000头;对 *T. macferlanei* 前若螨的理论日最大捕食量最大,为53.48头。

对比前人研究中理论日最大捕食量可知,捕食螨的运动速度,换言之其捕食能力,受寄主植物叶面特征,尤其是叶表皮毛的形态影响(Madadi *et al.*, 2007)。张燕南等(2018)在研究番茄、芸豆、黄瓜 *Cucumis sativus* L.及茄子等4种寄主植物对双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 捕食土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* (Ugarov & Nikolski) 的影响中发现,双尾新小绥螨在叶表皮毛较少的芸豆叶片上的运动速率及捕食能力较高,在叶表皮毛较多的番茄叶片上的运动速率及捕食能力较低,说明寄主植物叶表绒毛数量越少越有利于捕食螨运动和捕食。龙葵叶表皮毛的密度显著低于番茄叶表皮毛密度(郭明池等,2010),故沃氏新小绥螨更容易在龙葵上获得猎物。本研究也发现,在同一密度和同种猎物的情况下,沃氏新小绥螨对龙葵上的伊氏叶螨的捕食量显著高于在番茄上的。随着猎物密度增加,沃氏新小绥螨对伊氏叶螨各螨态的搜

索效应逐渐降低,即随着猎物密度的增大沃氏新小绥螨搜索到猎物的难度越低。沃氏新小绥螨对伊氏叶螨幼螨的搜索效应最大,这可能是因为幼螨个体小,行动缓慢,容易被沃氏新小绥螨捕获,因此,沃氏新小绥螨可以在更短的时间里发现和处理幼螨(陈莉等,2016)。

天敌自身密度会影响其对猎物的捕食(Jiang *et al.*, 2021)。在所处空间和猎物数量都保持不变的条件下,随着沃氏新小绥螨自身密度的增大,捕食作用率  $E$  逐渐减小,高密度下沃氏新小绥螨间的个体竞争加剧。自身密度干扰效应也存在于斯氏钝绥螨 *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot)、龟纹瓢虫 *Propylea japonica* (Thunberg)、六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* Fabricius 对害虫的捕食过程中(李盼等,2022; 王利平等,2011; 周军辉等,2020)。因此,在具体实践中需考虑更多影响伊氏叶螨实施防治的因素。

本研究在实验室条件下测试了沃氏新小绥螨在2种茄科寄主植物上对伊氏叶螨3种螨态的捕食效果,结果显示沃氏新小绥螨对伊氏叶螨具有一定的控制能力。然而,在田间环境中捕食螨的捕食效果可能受到其他生物因素(寄主植物、食物链、种间竞争等)和非生物因素(温湿度、化学农药等)的影响,在田间不同作物上释放沃氏新小绥螨后的实际效果仍需进一步研究。

## 参考文献

- 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.
- 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.
- 郭明池,梁文进,蒋慕琰,袁秋英,2010. 17种茄科草本植物叶表皮毛形态特征之研究. 台湾杂草会刊, 31(2): 49-56.
- 李盼,朱津贤,莫小娜,林幸明,刘田振,李金花,蔡笃程,2022. 六斑月瓢虫对普通大蓟马的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 38(1): 140-148.
- 林克剑,吴孔明,刘山蓓,张永军,郭予元,2006. 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. 昆虫知识, 43(3): 339-343.
- 莫利锋,邹军锐,张昌容,2012. 寄主植物对南方小花蝽捕食西花蓟马的影响. 贵州农业科学, 40(9): 136-139.

- 石纪茂, 余华星, 杨士德, 1992. 拟长毛钝绥螨的生物学特性及捕食作用研究. *林业科技通讯*, 10(13): 27-30.
- 唐斌, 张帆, 陶淑霞, 熊继文, 2004. 中国植绥螨资源及其生物学研究进展. *昆虫知识*, 41(6): 527-531.
- 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.
- 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.
- 徐国良, 黄忠良, 欧阳学军, 吴洪基, 2002. 中国植绥螨的研究应用. *昆虫天敌*, 24(1): 37-44.
- 徐学农, 吕佳乐, 王恩东, 2013. 国际捕食螨研发与应用热点问题及启示. *中国生物防治学报*, 29(2): 163-174.
- 杨莹, 姜晓环, 徐学农, 王恩东, 2013. 两种叶螨及其不同螨态对拟长毛钝绥螨后代性比的影响. *中国生物防治学报*, 29(1): 17-23.
- 张娜, 刘玉升, 谢丽霞, 2019. 叶螨的重要天敌——深点食螨瓢虫的研究进展. *应用昆虫学报*, 56(4): 662-671.
- 张燕南, 顾佳敏, 陈静, 王佩玲, 张建萍, 2018. 寄主植物对双尾新小绥螨运动速率及捕食能力的影响. *昆虫学报*, 61(9): 1047-1053.
- 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.
- 钟苗, 2020. 拟长毛新小绥螨对二斑叶螨的捕食效能研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.
- 周爱农, 张孝羲, 1989. 拟长毛钝绥螨的生物学特性研究. *生物防治通报*, 5(4): 153-156.
- 周军辉, 李鹏雷, 乃吾扎提·祖农, 郑卉娜, 黄建, 王竹红, 2020. 龟纹瓢虫对柑橘木虱的捕食功能反应及猎物偏好性. *植物保护学报*, 47(5): 1062-1070.
- 邹萍, 高建荣, 马恩沛, 1986. 拟长毛钝绥螨食性和捕食量研究. *昆虫天敌*, 8(3): 137-141.
- ALI M P, NAIF A A, HUANG D, 2011. Prey consumption and functional response of a phytoseiid predator, *Neoseiulus womersleyi*, feeding on spider mite, *Tetranychus macfarlanei*. *Journal of Insect Science*, 11: 167.
- AZANDÉMÈ-HOUNMALON G Y, AFFOGNON H D, KOMLAN F A, TAMÒ M, FIABOE K K M, KREITER S, MARTIN T, 2015. Farmers' control practices against the invasive red spider mite, *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard in Benin. *Crop Protection*, 76: 53-58.
- BLACKWOOD J S, SCHAUSBERGER P, CROFT B A, 2001. Prey-stage preference in generalist and specialist phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) when offered *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) eggs and larvae. *Environmental Entomology*, 30(6): 1103-1111.
- CARRILLO D, PEÑA J, HOY M A, FRANK J H, 2010. Development and reproduction of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) feeding on pollen, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), and other microarthropods inhabiting cocoons in Florida, USA. *Experimental and Applied Acarology*, 52(2): 119-129.
- HAN S, JUNG C, LEE J H, 2003. Release strategies of *Amblyseius womersleyi* and population dynamics of *Amblyseius womersleyi* and *Tetranychus urticae*: I. release position in pear. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 6(2): 221-227.
- HASELL M P, VARLEY G C, 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1133-1137.
- IBRAHIM Y B, PALACIO V, 1994. Life history and demography of the predatory mite, *Amblyseius longispinosus* Evans. *Experimental and Applied Acarology*, 18(6): 361-369.
- JIANG L, ZHAO R, TIAN H, WU X X, GUO F G, CHEN W, 2021. Functional response and predation potential of *Carabus elysii* adults against the terrestrial slug *Agriolimax agrestis*. *Insects*, 12: 1135.
- JYOTHIS D, RAMANI N, 2019. Evaluation of prey stage preference of the predatory mite *Neoseiulus longispinosus* (Evans) on the spider mite pest *Tetranychus neocaledonicus* (André) (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Acarologia*, 59(4): 484-491.
- KONDO A, 2004. Colonizing characteristics of two phytoseiid mites, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Neoseiulus womersleyi* (Schicha) (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse grapevine and effects of their release on the kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acari: Tetranychidae). *Applied Entomology and Zoology*, 39(4): 643-649.
- KUNGU M M, DELETRE E, SUBRAMANIAN S, FIABOE K, GITONGA L, LAGAT Z O, MARTIN T, 2018. A new mite IPM strategy: predator avoidance behaviour resulting from the synergetic effects of predator release and acaricide-treated nets: new mite IPM strategy combining predator release and acaricide-treated nets. *Pest Management Science*, 75(4): 979-985.
- MADADI H, ENKEGAARD A, BRODSGAARD H F, KHARRAZI-PAKDEL A, MOHAGHEGH J, ASHOURI A, 2007. Host plant effects on the functional response of *Neoseiulus cucumeris* to onion thrips larvae. *Journal of Applied Entomology*, 131(9/10): 728-733.
- MIGEON A, DORKELD F, 2023. *Spider mites web: a comprehensive database for the Tetranychidae*. [2024-04-07]. <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>.

- NEGM M W, MATSUDA T, KAYUKAWA T, HO C C, HSU Y T, KONGCHUENSIN M, KONVIPASRUANG P, GOTOH T, 2021. Morphological ontogeny and molecular analyses of geographic strains of two closely related *Neoseiulus* species (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia*, 61(2): 432–452.
- NGUYEN T V, SHIH C I T, 2010. Development of *Neoseiulus womersleyi* (Schicha) and *Euseius ovalis* (Evans) feeding on four tetranychid mites (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) and pollen. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 13: 289–296.
- RASMY A H, HAFEZ S M, ELSAWY S A, 1982. Influence of prey species and stages on predatory efficiency and development of two phytoseiid mites. *Entomophaga*, 27(2): 135–139.
- SARWAR M H, XU X, WU K, 2010. Effects of different flours on the biology of the prey *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acarina: Acaridae) and the predator *Neoseiulus pseudolongispinosus* (Xin, Liang and Ke) (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology*, 36(5): 363–369.
- SAVI P J, MARTINS M B, DE MORAES G J, HOUNTONDJI F C C, DE ANDRADE D J, 2021. Bioactivity of oxymatrine and azadirachtin against *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae) and their compatibility with the predator *Phytoseiulus longipes* (Acari: Phytoseiidae) on tomato. *Systematic and Applied Acarology*, 26(7): 1264–1279.
- SIBANDA T, DOBSON H M, COOPER J F, MANYAN-GARIRWA W, CHIIMBA W, 2000. Pest management challenges for smallholder vegetable farmers in Zimbabwe. *Crop Protection*, 19(8/10): 807–815.
- SILVA F R D, MORAES G J D, MANOEL JR C G, KNAPP M, ROUAM S L, PAES J L A, OLIVEIRA G M D, 2010. Efficiency of *Phytoseiulus longipes* Evans as a control agent of *Tetranychus evansi* Baker and Pritchard (Acari: Phytoseiidae: Tetranychidae) on greenhouse tomatoes. *Neotropical Entomology*, 39(6): 991–995.
- TIAN L, JIN P Y, SUN C P, HONG X Y, 2019. First distribution record of the tomato red spider mite *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae) in mainland China. *Systematic and Applied Acarology*, 24(6): 965.
- TSENG H, 1983. Further study on phytoseiid mites from Taiwan (Acarina: Mesostigmata). *Chinese Journal of Entomology*, 3: 33–74.
- ULLAH M S, GOTOH T. 2014. Life-table attributes of *Neoseiulus womersleyi* (Schicha) feeding on five tetranychid mites (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 40(4): 337–348.
- WAKIL W, BRUST G E, PERRING T M, 2018. *Sustainable management of arthropod pests of tomato*. New York: Academic Press.

(责任编辑:陈晓雯)