应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2019, 56(4): 718–727. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2019.083

尼氏真绥螨对三种橡胶叶螨的控害效能评价*

贾静静[1**] 符悦冠[1,3] 张方平[1,3] 周世豪[2] 聂 跃[2] 陈俊谕[1,3***]

（1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，海口 571101；2. 海南大学林学院，海口 570228；
3. 农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室，海口 571101）

摘 要 **【目的】** 明确尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi* 对 3 种橡胶叶螨的捕食选择性和控害潜能。**【方法】** 在室内温度（27±1）℃、RH（75±5）%、光周期 12L∶12D 条件下，研究了尼氏真绥螨对六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*（Riley）、东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*（Klein）和比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*（Hirst）不同螨态的捕食选择性和捕食作用。**【结果】** 尼氏真绥螨对六点始叶螨不同螨态均表现为嗜食性而不取食比哈小爪螨卵。尼氏真绥螨对 3 种叶螨不同螨态的功能反应均能较好的拟合 Holling-Ⅱ型圆盘方程，其对六点始叶螨不同螨态的捕食效能（a/T_h）最高，对雌成螨、若螨、幼螨以及卵的捕食效能分别为 49.79 头、106.83 头、157.25 头和 38.44 粒，其次为东方真叶螨，最后为比哈小爪螨。在不同温度条件下，尼氏真绥螨对六点始叶螨若螨的捕食效能（a/T_h）在 30 ℃时最强，而对东方真叶螨和比哈小爪螨若螨的捕食效能（a/T_h）均在 33 ℃时最强。**【结论】** 尼氏真绥螨对 3 种橡胶害螨均具有较好的控害潜能，其中对六点始叶螨的控害效果最佳，可以考虑作为橡胶害螨的优势天敌资源加以利用。

关键词 尼氏真绥螨；六点始叶螨；东方真叶螨；比哈小爪螨；功能反应

Evaluation of *Euseius nicholsi* as a biological control for three species of spider mites in rubber plantations

JIA Jing-Jing[1**] FU Yue-Guan[1,3] ZHANG Fang-Ping[1,3]
ZHOU Shi-Hao[2] NIE Yue[2] CHEN Jun-Yu[1,3***]

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China;
2. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R China, Haikou 571101, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the prey preferences and potential of *Euseius nicholsi* as a biological control for three species of spider mites in rubber plantations. **[Methods]** The prey preferences and functional response of *E. nicholsi* to *Eotetranvchus sexmaculatus*, *Eutetranychus orientalis* and *Oligonychus biharen* were studied at (27±1) ℃, RH 75%±5% and a 12L∶12D photoperiod. **[Results]** *E. nicholsi* preyed on different life-stages of *E. sexmaculatus* but did not prey on the eggs of *O. biharen*. The functional response of *E. nicholsi* to different life-stages of *E.sexmaculatus*. *E orientalis* and *O. biharen* matched the Holling-II equation. The predation capability (a/T_h) of *E. nicholsi* on the adult females, nymphs, larvae and eggs of *E. sexmaculatus* was the strongest with values of 49.79, 106.83, 157.52 and 38.44, respectively. The next preferred prey was *E. orientalis* and the least preferred was *O. biharen*. The predation capability (a/T_h)) of *E. nicholsi* on *E. sexmaculatus* nymphs was strongest at 30 ℃, but for the nymphs of *E. orientalis* and *O. biharen* this was strongest at 33 ℃. **[Conclusion]** *E. nicholsi* is a potential biological control for the spider mites *E. sexmaculatus*. *E orientalis* and *O. biharen* in rubber plantations. Of these three species, *E orientalis* should be most effective at controlling *E. sexmaculatus* and should be considered a useful natural predator for the control of this pest.

*资助项目 Supported projects：橡胶产业体系害虫防控岗位（项目编号：CARS-33-BC2）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项-中国热带农业科学院院级创新团队项目（项目编号：1630042017009）；海南省重点研发计划项目（项目编号：ZDYF2019096）
**第一作者 First author，E-mail：1353346233@qq.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：jychencn@163.com
收稿日期 Received：2019-06-13；接受日期 Accepted：2019-07-02

Key words　*Euseius nicholsi*; *Eotetranychus sexmaculatus*; *Eutetranychus orientalis*; *Oligonychus biharen*; functional respons

天然橡胶是重要的热带作物，是我国重要的战略物资，我国橡胶种植区主要以海南和云南为主（黄慧德，2017）。叶螨作为小型吸汁性害虫，繁殖快、发育历期短、适应性强、在短时间内就可以形成较高的种群密度，是橡胶上的重要害虫之一。

近年来，调查发现，我国海南、云南和广东等橡胶种植区普遍发生叶螨为害，其影响橡胶植株的光合作用和正常生长，严重则导致叶片脱落橡胶停割，对橡胶产业的健康发展构成了严重威胁。经过调查鉴定，六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*（Riley）、东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*（Klein）和比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*（Hirst）是橡胶上发生的主要叶螨种类，其寄主植物均十分广泛，包括多种经济林木、果树和花卉等（王慧夫，1981；林延谋等，1985，1995；李智全，1998；蔡子坚和温寿星，2002；张方平等，2002；季洁等，2005）。3 种叶螨对橡胶的危害部位和为害状存在一定差异。六点始叶螨通常在叶背可见，主要从叶柄基部开始为害，叶片受害处逐渐失绿，严重时造成橡胶叶片枯黄脱落，甚至停割，影响橡胶产量；与六点始叶螨相反，东方真叶螨主要分布在橡胶叶面，为害后叶片密布白色和灰绿色斑点或斑块状、严重时则全叶枯黄落叶；比哈小爪螨多见于叶背，偶在叶面发现为害，叶片受害部位呈灰白色斑点，严重时整个叶片呈灰白色。长期以来，橡胶害螨主要依赖于化学防治，考虑到化学防治其固有的弊端和生物防治的优点以及目前我国对化学农药减施的迫切要求，亟需解决橡胶叶螨的生物防治问题。

尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi*（Ehara *et* Lee），属植绥螨科真绥螨属，其异名为尼氏钝绥螨 *Amblyseius nicholsi*（Ehara *et* Lee），是我国最先用于防治柑桔叶螨的捕食性螨（朱志民和赖永房，1992），是湖南、江西和贵州桔园以及重庆等地叶螨天敌的优势种（周程爱等，1991；蓝文明等，1992；朱群等，2006；贺成龙，2012），其栖息植物十分广泛，除了柑桔、橙、柚、苹果等多种果树外，还包括多种乔木及灌木林也能在霍香蓟、丝瓜、紫苏、大豆、辣椒、茄子等一年生植物上生活（郑雪，2008），是中国南部自然环境中重要的天敌品种，能捕食多种害螨和小型害虫，还可以粉虱、蚜虫、蚧虫的幼虫、卵和分泌的露珠及多种植物花粉作为食物，是多种经济作物和果树叶螨的有效天敌（马盛峰和郭建军，2011；杨超，2012），目前，许多学者研究报道了尼氏真绥螨对多种叶螨有较好的捕食作用以及不同食物对其发育和繁殖的影响。经调查发现，尼氏真绥螨为海南胶园叶螨的优势天敌，但其对橡胶叶螨的捕食作用目前还没有相关报道，为了明确尼氏真绥螨对六点始叶螨、东方真叶螨和比哈小爪螨的控制潜能，本研究在室内条件下开展了尼氏真绥螨对 3 种橡胶叶螨不同螨态的捕食选择性和捕食作用以及温度对尼氏真绥螨捕食 3 种橡胶叶螨的影响，建立捕食功能反应模型，为橡胶叶螨的生物防治和更好地评价与利用该捕食螨提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

叶螨：六点始叶螨、东方真叶螨和比哈小爪螨均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。

尼氏真绥螨：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，在室内用六点始叶螨连续饲养繁殖数代后作为供试螨源。

1.2　试验方法

1.2.1　捕食选择性　在直径为 15 cm 的培养皿内部铺一层海绵使之完全浸湿，海绵直径小于培养

皿（d=10 cm），将橡胶叶剪成 3 cm×2 cm 的长方形小片，叶背朝上平铺于湿润的海绵上。按设定密度分别挑取不同叶螨雌成螨各 10 头、若螨（第二若螨）各 20 头、幼螨各 20 头、初产卵各 10 粒，再分别接入一头经过饥饿处理 24 h 的尼氏真绥螨雌成螨，置于（27±1）℃，RH 75 %±5%，L∶D=12∶12 的人工气候箱中。24 h 后观察记录尼氏真绥螨对不同叶螨的捕食量。每处理重复 6 次。

1.2.2 功能反应 分别挑取六点始叶螨雌成螨 10、15、20、25、30 头，第二若螨 20、30、40、50、60 头，幼螨 30、40、50、60、70 头，卵 10、15、20、25、30 粒（先在每片叶上接入一定量六点始叶螨雌成螨，让其产卵 12 h 后移出，并按设计的比例将其数量固定）；东方真叶螨雌成螨 2、4、6、8、10 头，第二若螨 5、10、15、20、25 头，幼螨 10、20、30、40、50 头，卵 2、4、6、8、10 粒；比哈小爪螨雌成螨 2、4、6、8、10 头，第二若螨 5、10、15、20、25 头，幼螨 10、20、30、40、50 头（预实验中发现尼氏真绥螨不取食比哈小爪螨卵，本实验未设置卵的处理）。再分别接入一头经过饥饿处理 24 h 的尼氏真绥螨雌成螨，分别置于 27 ℃（将 3 种叶螨若螨分别置于 21、24、27、30、33 ℃，捕食量在 33 ℃最大时，增加温度到 36 ℃），RH 75% ± 5%，L∶D=12∶12 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。

1.3 数据统计分析

用 Excel 2010 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，代表捕食者对该猎物是非嗜食的；$Q>1$ 时，代表捕食者对该猎物是嗜食的；$Q=1$ 时，代表捕食者对该猎物是随机捕食的（赵志模等，1993）。

功能反应用 Holling-Ⅱ型圆盘方程：$N_a=aTN/(1+aT_hN)$ 拟合，式中：N_a 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，T_h 为处理时间（丁岩钦，1994）。

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

2 结果与分析

2.1 尼氏真绥螨对 3 种叶螨的捕食选择性

尼氏真绥螨对不同叶螨的捕食选择差异性显著。当 3 种叶螨雌成螨、若螨、幼螨和卵分别同时存在时，尼氏真绥螨对六点始叶螨不同螨态均表现为嗜食性（$Q>1$），且对雌成螨、若螨和卵的捕食量与比哈小爪螨和东方真叶螨相比差异性显著（$P<0.05$）。尼氏真绥螨对比哈小爪螨和东方真叶螨不同螨态的捕食量差异性不显著（$P>0.05$），其对比哈小爪螨卵的选择系数为 0（表 1）。

2.2 尼氏真绥螨对 3 种叶螨不同螨态的功能反应

尼氏真绥螨对 3 种叶螨不同螨态的捕食作用采用 Holling-Ⅱ型圆盘方程拟合结果见表 2，结果表明，参数估计 R^2 值均大于 0.931 6，经卡方检验，χ^2 为 0.035 4-0.442 0，$\chi^2<\chi^2(0.05, 4)=9.49$，表明理论值与观测值较吻合。说明尼氏真绥螨对六点始叶螨和东方真叶螨不同螨态以及比哈小爪螨雌成螨、若螨、幼螨的捕食作用均能较好地拟合 Holling-Ⅱ型圆盘方程。

尼氏真绥螨捕食不同叶螨雌成螨、若螨、幼螨和卵从最大日捕食量（$1/T_h$）和捕食效能（a/T_h）来看由高到低依次为捕食六点始叶螨＞东方真叶螨＞比哈小爪螨，其对各叶螨不同螨态的最大日捕食量（$1/T_h$）和捕食效能（a/T_h）来看由高到低依次为捕食幼螨＞若螨＞成螨＞卵，且对六点始叶螨不同螨态的捕食效能（a/T_h）与东方真叶螨和比哈小爪螨不同螨态相比差异显著。尼氏真绥螨不捕食比哈小爪螨卵且对东方真叶螨卵的捕食效能（a/T_h）也极低。

2.3　温度对尼氏真绥螨捕食 3 种叶螨若螨日均捕食量的影响

尼氏真绥螨在不同温度条件下对 3 种叶螨若螨的日均捕食量如图 1-图 3 所示，其对 3 种叶螨若螨的捕食量与猎物密度和温度有密切关系。在同一温度条件下，随着猎物密度的增大捕食量也随之增多，当猎物密度达到一定程度时，其捕食量逐渐趋于饱和趋势。猎物密度相同时，当六点始叶螨若螨为 20 头时，尼氏真绥螨在不同温度间的捕食量相接近。在 21-33 ℃范围内，尼氏真绥螨对六点始叶螨若螨的捕食量在 30 ℃时最高，温度高于 30 ℃时捕食量出现下降（图 1）。尼氏真绥螨对东方真叶螨若螨的捕食量当猎物密度为 5 头时，不同温度间捕食量接近，随着密度的增大均以 33 ℃时捕食量最高，36 ℃时捕食量低于 30 ℃（图 2）。在 21-36 ℃范围内，尼氏真绥螨对比哈小爪螨若螨的捕食量当密度为 5 头时，24-36 ℃的捕食量接近，但不同密度下捕食量均在 33 ℃最高，36 ℃时捕食量高于 30 ℃，但随着密度的增大 30 ℃时的捕食量与 36 ℃接近（图 3）。结果表明尼氏真绥螨的捕食量受温度的影响，且因叶螨种类不同其最大捕食量的温度不同。

表 1　尼氏真绥螨对 3 种叶螨不同螨态的捕食选择性

Table 1　Selectivity of *Euseius nicholsi* on different stages of three species of spider mites

螨态 Stage	叶螨 Spider mites	初始数量（头） Initial number (Individual)	被捕食数（头） Predation number (Individual)	占被捕食比例（%） Accounting for predation ratio (%)	选择系数 *Q* Selection coefficient
成螨 Adult	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	10	6.43±0.65a	61.65	1.87
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	10	2.14±0.51b	20.52	0.62
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	10	1.86±0.26b	17.83	0.53
若螨 Nymph	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	20	14.50±0.85a	51.79	1.57
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	20	7.17±0.87b	25.61	0.78
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	20	6.33±0.49b	22.61	0.69
幼螨 Larva	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	20	15.33±0.33a	36.50	1.10
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	20	13.17±0.98a	31.36	0.75
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	20	13.50±0.76a	32.14	0.97
卵 Egg	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	10	9.17±0.48a	90.17	2.71
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	10	1.00±0.45b	9.83	0.29
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	10	0.00±0.00b	0.00	0

表中数据为平均值±标准误，同列数据后标有不同小写字母表示捕食量差异显著（$P<0.05$）（Duncan's 新复极差法）。下表同。

Data are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$) by Duncan's new multiple range. The same bellow.

表 2 尼氏真绥螨对 3 种叶螨的 Holling-Ⅱ型功能反应参数估计

Table 2 The Holling-Ⅱ functional response parameters of *Euseius nicholsi* to three species of spider mites

螨态 Stage	叶螨 Spider mites	瞬时攻击率 Instantaneous attack rate	处理时间 Handing time T_h (d)	最大日捕食量 Daily maximum predation number $1/T_h$	捕食效能 Predation capacity a/T_h	功能反应方程 Functional response equation	R^2 value	χ^2 value
成螨 Adult	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	1.244 7	0.025 0	40.00	49.79	N_a=1.244 7 N/(1+0.0311 N)	0.987 1	0.086 5
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	0.911 8	0.142 5	7.02	6.40	N_a=0.911 8 N/(1+0.129 9 N)	0.931 6	0.139 9
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	0.774 8	0.184 6	5.42	4.20	N_a=0.774 8 N/(1+0.143 0 N)	0.952 8	0.149 6
若螨 Nymph	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	1.143 1	0.010 7	93.46	106.83	N_a=1.143 1 N/(1+0.012 2 N)	0.994 3	0.125 5
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	1.332 6	0.070 7	14.14	18.85	N_a=1.332 6 N/(1+0.094 2 N)	0.992 3	0.035 4
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	1.257 5	0.078 6	12.72	16.00	N_a=1.257 5 N/(1+0.098 8 N)	0.982 6	0.087 4
幼螨 Larva	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	1.100 7	0.007 0	142.86	157.25	N_a=1.100 7 N/(1+0.007 7 N)	0.996 3	0.044 0
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	0.816 9	0.014 0	71.43	58.23	N_a=0.816 9 N/(1+0.011 4 N)	0.983 9	0.442 0
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	1.309 1	0.023 5	42.55	55.71	N_a=1.309 1 N/(1+0.030 8 N)	0.979 5	0.401 6
卵 Egg	六点始叶螨 *Eotetranychus sexmaculatus*	0.987 8	0.025 6	38.91	38.44	N_a=0.987 8 N/(1+0.025 4 N)	0.959 8	0.100 3
	东方真叶螨 *Eutetranychus orientalis*	0.309 4	0.345 7	2.89	0.89	N_a=0.309 4 N/(1+0.107 0 N)	0.966 2	0.035 8
	比哈小爪螨 *Oligonychus biharen*	–	–	–	–	–	–	–

2.4 不同温度下尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的功能反应

在 21-33 ℃（36 ℃）范围内，尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的捕食作用采用 Holling-Ⅱ型圆盘方程拟合结果见表 3。结果表明，参数估计的 R^2 值均大于 0.797 6，拟合优度检验为 0.008 7-

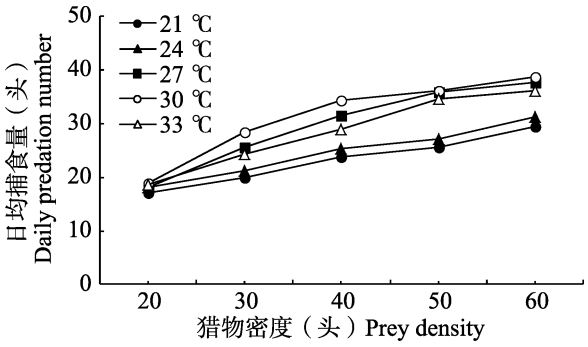

图 1　不同温度下尼氏真绥螨对不同密度的六点始叶螨若螨的日捕食量

Fig. 1　Daily predation number of *Euseius nicholsi* prey on *Eotetranychus sexmaculatus* nymph at different temperatures and densities

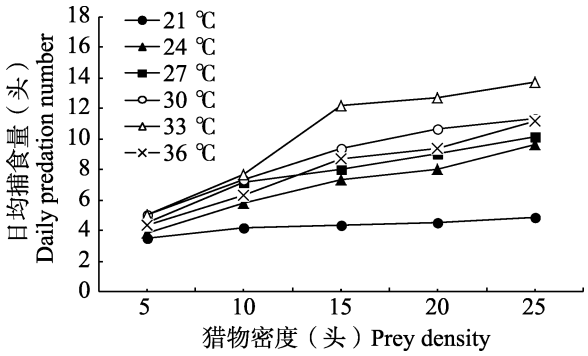

图 2　不同温度下尼氏真绥螨对不同密度的东方真叶螨若螨的日捕食量

Fig. 2　Daily predation number of *Euseius nicholsi* prey on *Eutetranychus orientalis* nymph at different temperatures and densities

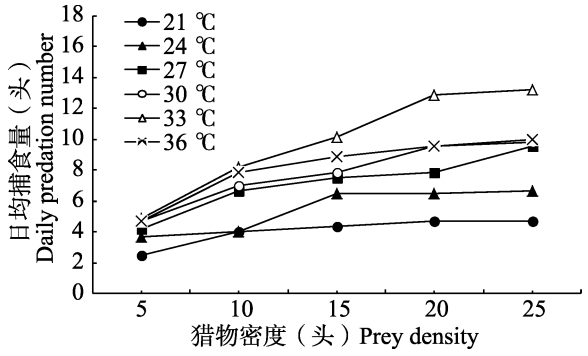

图 3　不同温度下尼氏真绥螨对不同密度的比哈小爪螨若螨的日捕食量

Fig. 3　Daily predation number of *Euseius nicholsi* prey on *Oligonychus biharen* nymph at different temperatures and densities

0.463 2 之间，$\chi^2<\chi^2$（0.05，4）=9.49，表明理论值与观测值较吻合，说明尼氏真绥螨在不同温度条件下对 3 种叶螨若螨的捕食作用均能较好地拟合 Holling-II 型圆盘方程。

尼氏真绥螨对六点始叶螨若螨最大日捕食量（$1/T_h$）和捕食效能（a/T_h）随温度的升高而增大，30 ℃时最大，当温度高于 30 ℃呈下降趋势，处置时间（T_h）则随温度的升高而缩短，30 ℃时最短，超过 30 ℃处置时间延长；尼氏真绥螨对东方真叶螨和比哈小爪螨若螨最大日捕食量（$1/T_h$）与捕食效能（a/T_h）在 33 ℃达到最大，处置时间（T_h）在 33 ℃时最短；但尼氏真绥螨对六点始叶螨、东方真叶螨和比哈小爪螨若螨的瞬时攻击率（a）不随温度的变化而呈现趋势性改变，其瞬时攻击率（a）最大值分别在 24、21、30 ℃。

2.5　不同温度下尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的寻找效应

在相同温度下，尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的寻找效应均随着猎物密度的增加而逐渐降低呈线性下降趋势。在相同猎物密度下，尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的寻找效应随温度的升高逐渐上升，30 ℃时对六点始叶螨若螨寻找效应最高，温度高于 30 ℃呈下降趋势，27 ℃时寻找效应高于 33 ℃（图 4）；尼氏真绥螨对东方真叶螨和比哈小爪螨若螨 33 ℃时寻找效应最高，其对东方真叶螨若螨寻找效应 30 ℃高于 36 ℃，而对比哈小爪螨若螨寻找效应 30 ℃低于 36 ℃（图 5，图 6）。结果表明尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的寻找效应受温度和密度的密切影响。

3　结论与讨论

尼氏真绥螨对不同叶螨的捕食选择存在显著性差异，其对六点始叶螨不同螨态均表现为嗜食性，这与对东方真叶螨和比哈小爪螨不同螨态捕食量相比差异性显著，其对东方真叶螨和比哈小爪螨不同螨态捕食量之间差异性不显著。当 3 种叶螨卵同时存在时其对东方真叶螨卵的选择系数仅为 0.29，表现为非嗜食性且不取食比哈小爪螨的卵，因而，当胶园 3 种叶螨混合发生时，

表 3 不同温度条件下尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的 Holling-Ⅱ型功能反应参数估计

Table 3 The Holling-Ⅱ functional response parameters of *Euseius nicholsi* to three species of spider mites nymphat different temperatures

叶螨	温度（℃）Temperature	瞬时攻击率 Instantaneous attack rate (a)	处理时间 Handing time T_h (d)	最大日捕食量 Daily maximum predation number $1/T_h$	捕食效能 Predation capacity (a/T_h)	功能反应方程 Functional response equation	R^2 value	χ^2 value
六点始叶螨若螨 *Eotetranychus sexmaculatus* (nymph)	21	1.408 8	0.024 0	41.67	58.70	N_a=1.408 8N/(1+0.033 8N)	0.969 1	0.154 6
	24	1.457 1	0.022 3	44.84	65.34	N_a=1.457 1N/(1+0.032 5N)	0.974 6	0.140 2
	27	1.143 1	0.010 7	93.46	106.83	N_a=1.143 1N/(1+0.012 2N)	0.994 3	0.125 0
	30	1.235 2	0.010 6	94.34	116.53	N_a=1.235 2N/(1+0.013 1N)	0.969 9	0.463 2
	33	1.259 8	0.014 2	70.42	88.72	N_a=1.259 8N/(1+0.017 9N)	0.995 3	0.065 7
东方真叶螨若螨 *Eutetranychus orientalis* (nymph)	21	2.210 4	0.195 8	5.11	11.29	N_a=2.210 4N/(1+0.432 8N)	0.975 0	0.008 7
	24	1.051 0	0.072 6	13.77	14.48	N_a=1.051 0N/(1+0.076 3N)	0.993 9	0.059 3
	27	1.332 6	0.070 7	14.14	18.85	N_a=1.332 6N/(1+0.094 2N)	0.992 3	0.035 4
	30	1.418 6	0.060 7	16.47	23.37	N_a=1.418 6N/(1+0.086 1N)	0.995 7	0.017 9
	33	1.218 3	0.038 0	26.32	32.06	N_a=1.218 3N/(1+0.046 3N)	0.980 3	0.244 6
	36	1.153 5	0.061 0	16.39	18.91	N_a=1.153 5N/(1+0.070 4N)	0.986 3	0.092 4
比哈小爪螨若螨 *Oligonychus biharen* (nymph)	21	0.837 9	0.152 8	6.54	5.48	N_a=0.837 9N/(1+0.128 0N)	0.969 6	0.050 6
	24	1.208 9	0.120 5	8.30	10.03	N_a=1.208 9N/(1+0.145 7N)	0.797 6	0.316 0
	27	1.257 5	0.078 6	12.72	16.00	N_a=1.257 5N/(1+0.098 8N)	0.982 6	0.087 4
	30	1.428 8	0.074 4	13.44	19.20	N_a=1.428 8N/(1+0.106 3N)	0.992 3	0.037 4
	33	1.201 3	0.040 3	24.81	29.81	N_a=1.201 3N/(1+0.048 4N)	0.997 5	0.052 3
	36	1.391 6	0.062 4	15.06	20.96	N_a=1.391 6N/(1+0.092 4N)	0.981 9	0.084 1

尼氏真绥螨可能会优先考虑捕食六点始叶螨。有学者研究报道尼氏真绥螨对朱砂叶螨不同螨态的捕食选择中虽对卵有一定量的捕食但表现为非嗜食性；当柑桔始叶螨成螨、若螨和卵同时存在时，其对卵的捕食量几乎为零；对柑桔全爪螨不同螨态捕食过程中其对卵的捕食量最低（郅军锐，

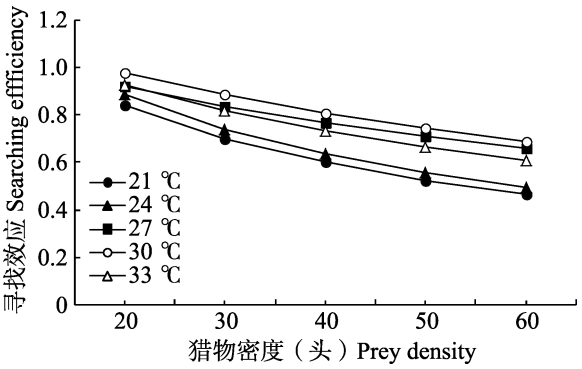

图 4　不同温度条件下尼氏真绥螨对不同密度六点始螨若螨的寻找效应

Fig. 4　The searching efficiency of *Euseius nicholsi* to *Eotetranychus sexmaculatus* nymph at different temperatures and densities

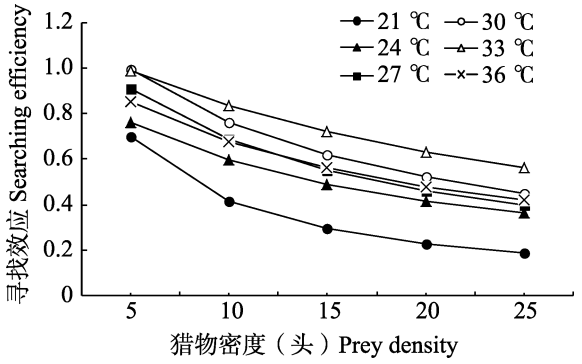

图 5　不同温度条件下尼氏真绥螨对不同密度东方真叶螨若螨的寻找效应

Fig. 5　The searching efficiency of *Euseius nicholsi* to *Eutetranychus orientalis* nymph at different temperatures and densities

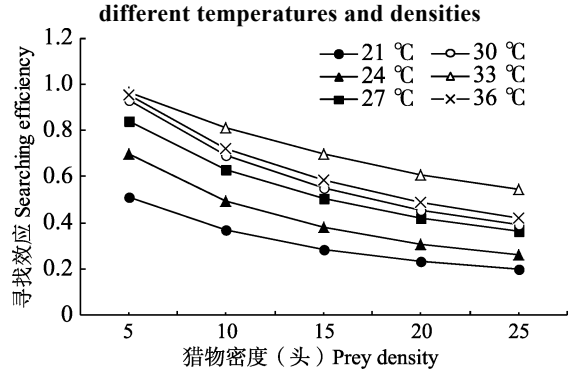

图 6　不同温度条件下尼氏真绥螨对不同密度比哈小爪螨若螨的寻找效应

Fig. 6　The searching efficiency of *Euseius nicholsi* to *Oligonychus biharen* nymph at different temperatures and densities

1994；秦素研，2006；辛天蓉等，2013），这与本实验研究结果相一致，但尼氏真绥螨对二斑叶螨不同螨态的捕食过程中其对卵的捕食量最大（陈文龙等，1996），推测这是由于不同叶螨卵的自身营养成分或卵壳结构差异导致尼氏真绥螨的嗜好性和捕食量性不同。

功能反应是评估捕食性天敌控害潜能的重要方法和途径，本实验分别拟合了尼氏真绥螨对六点始叶螨、东方真叶螨和比哈小爪螨 3 种叶螨不同螨态的捕食功能，结果表明尼氏真绥螨对 3 种叶螨的捕食作用均符合 Holling-Ⅱ功能反应模型。这与前面研究者所报道的尼氏真绥螨对柑桔全爪螨、桔全爪螨、柑桔始叶螨、二斑叶螨和朱砂叶螨等拟合模型一致（周程爱等，1991；郅军锐等，1994；陈文龙，1996；秦素研和刘怀，2006；贺成龙，2012；辛天蓉等，2013）。其中捕食效能（a/T_h）是衡量天敌作用的重要参数之一，捕食效能（a/T_h）值越大，表明对害虫的控制能力越强。本实验研究结果中尼氏真绥螨对不同叶螨雌成螨、若螨、幼螨和卵从捕食效能（a/T_h）来看对六点始叶螨不同螨态捕食效能最高，其次为东方真叶螨，最后为比哈小爪螨，其原因可能是六点始叶螨自身所含营养成分更有利于尼氏真绥螨的生长发育和繁殖。

温度对尼氏真绥螨的捕食能力有重要影响，本实验在不同温度条件下分别对六点始叶螨、东方真叶螨和比哈小爪螨 3 种叶螨若螨进行功能反应模型拟合，结果表明不同温度下尼氏真绥螨对 3 种叶螨若螨的捕食功能与上面结果一致，均属于 Holling-Ⅱ型。本实验中尼氏真绥螨对六点始叶螨若螨的捕食效能（a/T_h）在 30℃最高，而对比哈小爪螨和东方真叶螨两种叶螨若螨的捕食效能（a/T_h）却在 33 ℃最高，这与前面研究者所报道的尼氏真绥螨对柑桔全爪螨若螨的捕食效能（a/T_h）在 32 ℃最高相接近，但与尼氏真绥螨对桔全爪螨若螨的捕食效能（a/T_h）在 28 ℃最高不一致（贺成龙，2012；辛天蓉，2013），其原因有可能是叶螨种类不同或不同地理种群的尼氏真绥螨生存的环境存在较大差异而导致最高捕食能力温度不一致。还有学者研究了不同寄主植物上的尼氏真绥螨对柑桔红蜘蛛的捕食能力，结果显示不同寄主上的尼氏真绥螨对柑桔红蜘蛛的捕食能力存在差异（熊忠华等，2012），

因此，不同寄主植物上的尼氏真绥螨也是导致其最高捕食能力温度不同的原因。

本研究首次对橡胶叶螨优势天敌尼氏真绥螨对 3 种橡胶叶螨的捕食功能做了较系统的评价，得到尼氏真绥螨对 3 种叶螨均有较好的控害潜能，且对六点始叶螨的控害潜能很高，可见尼氏真绥螨在橡胶叶螨的生物防治中具有很高的利用价值，可预测现实胶园中其对叶螨的抑制作用和初期的防治效果，而且有学者研究尼氏真绥螨可用多种植物花粉来扩繁，所以利用尼氏真绥螨来防治橡胶叶螨具有广阔的应用前景。本文仅对捕食功能反应进行了研究，尼氏真绥螨取食不同叶螨对其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，对尼氏真绥螨在田间胶园中对叶螨的捕食能力还需做进一步观察，从而更全面地评价和利用尼氏真绥螨对叶螨的控制作用。

参考文献 (References)

Cai ZJ, Wen SX, 2002. The damage and control of the loquat spider mite *Oligonychus biharen*. *South China Fruits*, 31(6): 41–42. [蔡子坚, 温寿星, 2002. 枇杷红蜘蛛——比哈小爪螨的为害与控制. 中国南方果树, 31(6): 41–42.]

Cheng WL, GU ZF, Sun XQ, Wang H, 1996. Laboratory reproduction of *amblyseius nicholsi* and its predation to *Tetranychus urticae* on strawberry in plastic shed. *Journal of Shanghai Agricultural College*, 14(2): 101–105. [陈文龙, 顾振芳, 孙兴全, 王慧, 1996. 尼氏钝绥螨的室内繁殖及其对二班叶螨的捕食作用研究. 上海农学院学报, 14(2): 101–105.]

Ding YQ, 1994. Mathematical Ecology of Insects. Beijing: Science Press. 476–489. [丁岩钦. 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 476–489.]

He CL, 2012. Investigation and comparisons of predation ability of two predacious acarids in citrusor orchards in Chongqing. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [贺成龙, 2012. 重庆市桔园捕食螨调查及两种捕食螨捕食能力的比较研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]

Huang HD, 2017. Production and supply analysis of rubber plangting. *World Tropical Agriculture Information,* (4): 1–4. [黄慧德, 2107. 橡胶种植生产与供給分析.世界热带农业信息, (4): 1–4.]

Ji J, Zhang YX, Cheng X, Lin JZ, 2005. Life Table of experimental population of *Oligonychus biharen*. *Acta Arachnologica Sinica,* 14(1): 37–41. [季洁, 张艳璇, 陈霞, 林坚贞, 2005. 比哈小爪螨实验种群生命表研究. 蛛形学报, 14(1): 37–41.]

Lan WM, Yang ZQ, Wu WN, 1992. Species of phytoseiid mites in citrus orchard of Jiangxi. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 14 (3): 269–272. [蓝文明, 杨子琦, 吴伟南, 1992. 江西柑桔园植绥螨简记. 江西农业大学学报, 14(3): 269–272.]

Li ZQ, 1998. Studies on the occurrence damage and control method of rubber *Eotetranvchus Sexmaculatus* in Dongping farm. *Tropical Crop Research*, (2): 1–5. [李智全, 1998. 东平农场橡胶六点始叶螨发生·为害及防治研究. 热带作物研究, (2): 1–5.]

Lin YM, Fu YG, Yang GR, Zhang JH, 1995. Effects of temperature on the development and reproduction of *Eutetranychus orientali*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 16(1): 94–98. [林延谋, 符悦冠, 杨光融, 张俊宏, 1995. 温度对东方真叶螨的发育与繁殖的影响. 热带作物学报, 16(1): 94–98.]

Lin YM, Yang GR, Wang HJ, Yu G, 1985. Studies on the occurrence law and control method of *Eotetranvchus Sexmaculatus* in rubber tree. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 9(6): 111–117. [林延谋, 杨光融, 王洪基, 余贵, 1985. 胶树六点始叶螨的发生规律及防治研究. 热带作物学报, 9(6): 111–117.]

Ma SF, Guo JJ, 2011. Research progress of *Euseius nicholsi*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 39(4): 92–95. [马盛峰, 郭建军, 2011. 尼氏真绥螨的研究进展. 贵州农业科学, 39(4): 92–95.]

Qin SY, Liu H, 2006. Studies on the life history and predatory capacity of teranychus cnnabarnus on *Euseius nicholsi*. *Journal of Southwest Agricultural University* (*Nature Science*), 28(1): 87–88. [秦素研, 刘怀, 2006. 食物对尼氏真绥螨的发育繁殖和朱砂叶螨捕食量的研究. 西南农业大学学报(自然科学版), 28(1): 87–88.]

Qin SY, 2006. Study on biology and predacious function of *Euseius nicholsi*. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [秦素研, 2006. 尼氏真绥螨生物学及捕食作用的研究. 重庆: 西南大学.]

Wang HF, 1981. Economic Insect Fauna of China (Twenty-three: Tetranychoidea). Beijing: Science Press. 43–44. [王慧夫, 1981. 中国经济昆虫志 (第二十三: 叶螨总科). 北京: 科学出版社. 43–44.]

Xin TR, Gong S, Zou ZW, Xia B, 2013. Effects of temperature on predatory functional response of *Euseius nicholsi* to *Panonychus citri*. *Journal of Nanchang University*, 37(5): 480–495. [辛天蓉, 龚舒, 邹志文, 夏斌, 2013. 温度对尼氏真绥螨捕食桔全爪螨

功能反应的影响. 南昌大学学报, 37(5): 480–495.]

Xiong ZH, Xiong JM, Li HX, Wang XH, 2012. Difference of predatory capacity for *Euseius nicholsi* from five different host plants preying on panonychus citri. *Biological Disaster Science*, 35(2): 157–160. [熊忠华, 熊件妹, 李海霞, 王新辉, 2012. 5 种寄主上的尼氏真绥螨对柑桔红蜘蛛的捕食能力差异研究. 生物灾害科学, 35(2): 157–160.]

Yang C, 2012. Studies on genetic variation among natural populations of *Euseius nicholsi* (Acari: Phytoseiidea) from china by mitochondrial COI and nuclear RDNA ITS sequences. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Agriculture University. [杨超, 2012. 基于线粒体及核糖体序列分析的中国尼氏真绥螨自然种群遗传多样性研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]

Zhang FP, Fu YG, Jin QA, Zhang JB, 2002. Development and fecundity of *Oligonychus biharensis* on three southernfruit crops. *Journal of Fruit Science*, 31(6): 41–42. [张方平, 符悦冠, 金启安, 张敬宝, 2002. 比哈小爪螨在 3 种南方果树上的发育与繁殖. 中国南方果树, 31(6): 41–42.]

Zhao ZM, Chen Y, Wu SY, 1993. Predation of *Amblyseius vulgaris* on *Tetranychus cinnabarinus*. *Acta Arachnologica Sinica*, 2(1): 31–35. [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.]

Zheng X, 2008. Studies on population biology of *Euseius nicholsi* (Ehara *et* Lee) and its relationship with host plants. Master dissertation. Guizhou: Guizhou University. [郑雪, 2008. 尼氏真绥螨种群生物学及其与害螨寄主植物相互关系的研究. 硕士学位论文. 贵州: 贵州大学.]

Zhi JR, Guo ZZ, Xiong JW, 1994. Predation of *amblyseius nicholsi* on *Eotetranychus kankitus*. *Entomological Knowledge*, 31(1): 19–22. [郅军锐, 郭振中, 熊继, 1994. 尼氏钝绥螨对柑桔始叶螨捕食作用研究. 昆虫知识, 31(1): 19–22.]

Zhou CA, Zhou JJ, Peng JC, Ou Yang ZY, Hu LC, Yang ZL, Wang XB, 1991. A synthetical evaluation on functional responses and effectiveness of five species of predators to citrus red mite. *Acta Phytophlacica Sinica*, 18(3): 225–230.[周程爱, 邹建掬, 彭俊彩, 欧阳志云, 胡良成, 杨自力, 王小波, 1991. 湖南桔园主要天敌对柑桔全爪螨的捕食作用及其综合评定. 植物保护学报, 18(3): 225–230.]

Zhu ZM, Lai YF, 1992. Research and exploit of predatory mites in china. *Acta Arachnologica Sinica*, 1(2): 57–64. [朱志民, 赖永房, 1992. 中国研究与利用捕食螨概况. 蛛形学报, 1(2): 57–64.]

Zhun Q, Jin DC, Guo JJ, 2006. Species of phytoseiid mites and Its dominant species in Guizhou. *Guizhou Agricultural Sciences*, 34(5): 114–116. [朱群, 金道超, 郭建军, 2006. 贵州植绥螨及其优势种概述. 贵州农业科学, 34(5): 114–116.]