

塔六点蓟马对山楂叶螨的功能反应

李定旭^{1,2}, 田娟², 沈佐锐^{1,*}

(1. 中国农业大学昆虫系, 北京 100094; 2. 河南科技大学园林系, 洛阳 471003)

摘要:室内采用叶碟饲养的方法研究了苹果园塔六点蓟马 *Scolothrips takahashii* 各发育阶段对山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* 各虫态的功能反应, 结果表明, 塔六点蓟马成虫、幼虫对叶螨的卵、幼若螨及成螨的功能反应均为 Holling-Ⅱ型; 随着蓟马个体的不断生长, 其捕食量逐渐增大, 雌成虫的捕食量显著大于雄虫, 但其捕食的猎物数量随着叶螨个体的不断生长而减少; 温度对蓟马成虫的功能反应有明显的影响, 在 20~35℃ 范围内, 随着温度的升高其处置时间缩短、捕食能力明显增强; 蓟马成虫的日龄对其功能反应也有明显影响, 雌虫在日龄在 12d 之后, 捕食能力逐渐减弱, 15d 日龄的雌虫对螨卵的处置时间显著长于 3~6d 日龄, 雄虫则在 9d 日龄时对螨卵的处置时间已显著延长。

关键词:塔六点蓟马; 山楂叶螨; 功能反应; 温度; 年龄

文章编号:1000-0933(2006)05-1414-08 **中图分类号:**Q968, S433 **文献标识码:**A

Functional response of predatory thrips *Scolothrips takahashii* Prisener to *Tetranychus viennensis* Zacher

LI Ding-Xu^{1,2}, TIAN-Juan², SHEN Zuo-Rui^{1,*} (1. Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Department of Horticulture, He'nan University of Science and Technology, Luoyang, He'nan Province 471003, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1414~1421.

Abstract: *Scolothrips takahashii* Prisener is an important specialized predator of hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis* Zacher, a damaging pest in apple orchard in Northern China. In this study, a leaf disc bioassay was used to examine the functional response of each active stage of the predatory thrips against the spider mite under the conditions of (25 ± 1) °C, RH 60% ± 10%, and a photoperiod of 16L:8D; the influences of temperature and age of adult thrips on the functional response were also investigated at different level of constant temperatures and prey densities. Logistic regression was used to determine the type of functional response and Roger's random predator equation to fit the experimental data; then a non-linear regression, i.e. Gause-Newton, was used to estimate and compare the attack rates and handling times among different treatments.

The results indicated that functional responses of the thrips, including 1st larvae, 2nd larvae, female and male adults against each stage of the spider mite belonged to Holling-Ⅱ type. The number of prey killed by the thrips increased hyperbolically with increasing prey densities in each trial. Handling time (T_h) estimates for the thrips decreased as the mite developed and increased with the development of thrips themselves, e.g. the T_h of female adults of *S. takahashii* preying on eggs, larvae, protonymphs, deutonymphs, and females adult of *T. viennensis* were 0.4031, 0.6066, 0.7622, 1.0829, and 1.4524h, respectively, but when eggs of the mites were offered as prey, the T_h of the thrips decreased from 2.779 h in 1st larvae to 0.403 h and 1.2660 h in females and males respectively. There was no significant difference in the attack rates (a) among various stages of the thrips due

基金项目:国家“十五”攻关课题资助项目(2001BA 50PB01); 河南省教育厅资助项目(200510464017)

收稿日期:2005-10-16; **修订日期:**2006-03-20

作者简介:李定旭(1965~), 男, 河南灵宝人, 博士生, 教授, 主要从事害虫综合治理及昆虫生态学教学与研究. E-mail: lldingxu@sohu.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ipmist@cau.edu.cn

Foundation item: The project was supported by the National “Tenth Five-year Plan” Key Project (No. 2001BA 50PB01); Programme of Education Bureau of He'nan Province (No. 200510464017)

Received date: 2005-10-16; **Accepted date:** 2006-03-20

Biography: LI Ding-Xu, Ph. D. candidate, Professor, mainly engaged in integrated pest management and insect ecology. E-mail: lldingxu@sohu.com

to the overlaps of their associated 95% confidence interval, but significant differences were recorded in the handling times. In other words, the smaller the prey, the shorter the handling times. Handling times in female thrips were significantly shorter than that of males, indicating that female thrips were more voracious than males. The maximum predation of the spider mite eggs by females and males of the thrips were 59.81 and 23.19, respectively.

The analysis showed that temperature had significant effects on the predatory capacity of adult thrips over the range of 20 ~ 35°C. The values of a in both males and females were significantly lower at 20°C than at 25 ~ 35°C. The handling times in both males and females decreased linearly with increasing temperatures. Based on these results, a temperature vs handling time model was developed and parameterized. That is, $T_h = 1.1438 - 0.0261x$ for females, and $T_h = 2.405 - 0.056x$ for males (x is temperature), suggesting that the thrips would spend more time to handle the mite when temperature is low.

Age of adult thrips imposed significant impacts on the functional response of *S. takahashii* attacking *T. viennensis* eggs. There was no significant difference in attack rates in both females and males among various ages tested, but obviously prolonged handling times were noted in both females aged 15 d or more and males aged 9 d or more, compared to that of 3-6 days old thrips. It was suggested that the ageing rate in males was faster than that in females.

Key words: *Scolothrips takahashii*; *Tetranychus viennensis*; functional response; temperature; age

山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* Zacher、二斑叶螨 *T. urticae* 及苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* Koch 等是危害落叶果树的主要害螨^[1-5], 不仅发生面积大, 而且危害严重, 是各地果园常年防治的主要对象^[6]。目前, 螨类的防治主要依赖化学药剂, 由于螨类害虫世代周期短、生殖力强, 加之果园用药频率高, 使得螨类对各种化学药剂的抗药性产生和发展速度都较快^[3,6,7]。同时, 出于对食品安全的考虑以及对环境保护的担心, 人们迫切需要寻求能够替代化学防治的措施, 因此, 对生物防治的研究越来越受到重视^[8]。

苹果园中捕食螨类的天敌包括瓢虫类、草蛉类、捕食性螨类、蓟马类等, 有关瓢虫类^[9]、草蛉类^[10,11]的国内外报道已有很多, 有关捕食性螨类在欧洲、北美洲也有很多报道, 并且已经成功的应用于生产实践^[12], 而有关蓟马类的研究较少。蓟马类天敌主要种类集中于皮蓟马科 (Phlaeothripidae)、蓟马科 (Thripidae) 和纹蓟马科 (Aeolothripidae)^[13], 其中, 蓟马科 *Scolothrips* 属中的种类几乎全部都是螨类的专性捕食者^[8,14,15], 但在该属中只有北美六点蓟马 *S. sexmaculatus* (Pergande) 有较深入的研究^[14,15]。

塔六点蓟马 *Scolothrips takahashii* Prisener 是东亚地区主要的捕食性蓟马种类之一^[16]。近年来的一些研究表明, 该种类捕食多种作物包括果树、棉花叶等上的螨类, 是一种非常有潜力的害螨自然控制因子^[8,17]。在我国河南省的苹果园中, 塔六点蓟马不仅发生早, 而且种群数量较大 (6 ~ 8 月间), 是控制山楂叶螨等害螨的重要天敌^[17,18]。为在叶螨综合治理中充分发挥其应有的作用, 有关该种类的生物学、生态学研究是不可缺少的前提和基础。已往的研究已经报道了塔六点蓟马的发育起点和有效积温^[8]、对二斑叶螨 *T. urticae* Koc、神泽叶螨 *T. kanzawai* Kishida 卵的捕食量^[8,19-23]、成虫对二斑叶螨和朱砂叶螨 *T. cinnabarinus* (Boisduval) 卵的功能反应^[17,20]、不同猎物、不同温度对其生长发育的影响^[8,22] 以及不同药剂对蓟马的毒力^[24] 等。本文主要研究塔六点蓟马各生育阶段对山楂叶螨不同螨态的功能反应以及温度、塔六点蓟马成虫的不同日龄对其功能反应的影响, 以期六点蓟马的合理利用提供必要的依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

山楂叶螨 *T. viennensis* 采自河南省洛阳市郊区孙旗屯乡土桥沟村苹果园, 带回室内在离体苹果 *Malus pumila* Mill. (品种为金冠, Golden delicious) 叶片上饲养至少 3 代之后备用; 塔六点蓟马 *S. takahashii* 亦采自上述果园, 在室内饲以山楂叶螨; 在试验进行之前至少经过一个世代的室内饲养。饲养条件均为温度 (25 ± 1) °C, 相对湿度 60% ± 10%, 光周期为 16L:8D。

1.2 试验方法

所有试验均在 RSH-250 II 型人工气候箱 (广州医疗器械厂) 中进行。山楂叶螨在 180mmΦ 的培养皿中饲

养,先在培养皿底部倒入 15 g/L 的琼脂培养基,待其凝固后放入新鲜的苹果叶片(反面朝上),接入山楂叶螨连续饲养,培养皿盖用 5mm 厚的橡胶块垫起以利空气流通,苹果叶片和琼脂培养基定期更换。待室内山楂叶螨种群数量合适时,开始饲养六点蓟马。选择叶螨数量适中的单叶移入 150mm Φ 培养皿(亦加入琼脂培养基),同时接入六点蓟马;饲养期间每隔 2d 将蓟马成虫转移至另外的叶片。功能反应试验均在 DZ-8003 型多功能养虫盒(西安狄寨植保仪器厂,90 $\times$ 90 $\times$ 45mm³,体积为 245cm³,顶端两侧各有一以 40 目尼龙纱覆盖的 5mm Φ 的通气空,)中进行,先在养虫盒底部放入直径 25mm,高 5mm 的琼脂一块,并加入适量清水使水面与琼脂面平齐,再将 25mm ϕ 的苹果叶碟置于琼脂块上,接入试虫后,将养虫盒放入人工气候箱培养。

1.2.1 蓟马成虫、幼虫对山楂叶螨卵的功能反应 在苹果叶碟(25mm Φ)反面接入处于产卵盛期的山楂叶螨雌虫 10~30 头,24h 后移去雌螨并在解剖镜下调整每个叶碟上的卵量至所需数量(成虫:15~95 粒,幼虫:6~25 粒,各 6~7 个密度梯度),然后接入蓟马成虫(雌、雄)或幼虫(1 龄、2 龄)1 头,24h 后移去蓟马,并检查剩余的卵量。蓟马成虫(4~7 日龄)在试验前经过 12h 饥饿,1、2 龄幼虫(小于 0.5 日龄)因其龄期发育历期不足 2d^[8] 只饥饿 6h。如试验结束时幼虫发生蜕皮现象则弃去该组数据,每一处理重复 15~22 次。

1.2.2 蓟马成虫对山楂叶螨幼螨、若螨及成螨的功能反应 取新鲜的苹果叶片若干,每叶上接入山楂叶螨雌虫 60 头,12h 后去掉雌螨,只保留螨卵进行饲养。卵饲养期间每隔 12h 检查一次,并将新孵化的幼螨(<12h)用细毛笔转移至新鲜的苹果叶碟上,1h 后接入蓟马(4~7 日龄,下同)1 头;在山楂叶螨幼、若螨发育期间,每隔 6h 检查一次,并将新蜕皮的若螨 I、若螨 II 接入苹果叶碟,1h 后接入蓟马成虫 1 头;对于成螨,因其产卵前期仅为 1.7d^[25],为保证蓟马在试验期间只能捕食到成螨并防止成螨产卵,直接从室内饲养的种群中挑选初羽化的成螨(<6h)供试,1h 后接入蓟马 1 头;所有试验均在 24h 后移去蓟马,并检查剩余的螨量。对于成螨捕食试验,在试验期间每隔 6h 检查一次,如发现成螨有产卵现象,则弃去该组数据;在幼若螨捕食试验中,各组试验均设空白对照(不接蓟马),试验结束时如对照组发生幼若自然死亡现象则弃去该组数据。每一处理重复 10~18 次。

1.2.3 不同温度对蓟马成虫功能反应的影响 仅对山楂叶螨的卵进行试验,设置 20、25、30、35 $^{\circ}$ C 4 个温度处理,其余方法如前所述,每一处理重复 12~18 次。

1.2.4 不同日龄蓟马成虫对其功能反应的影响 仅对山楂叶螨的卵进行试验,设 6 个处理,蓟马成虫的日龄分别为 3、6、9、12、15、18 d,其余方法仍如前所述,每一处理重复 10~16 次。

1.3 数据分析方法

所有的数据均采用 SAS(V 8.2)统计软件进行分析。对于所有功能反应的原始数据首先采用 Juliano 提出的 Logistic 回归法确定功能反应曲线的类型^[26],即以猎物被捕食的比例与猎物的初始密度进行回归分析,采用下式:

$$Na/N_0 = \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3) / [1 - \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)]$$

式中, Na 为被捕食的猎物数量, N_0 为猎物的初始密度, P_0, P_1, P_2, P_3 为参数,参数估计采用最大似然估计。由此结果判定功能反应曲线类型的标准是: $P_1 = 0$, 为 I 型功能反应; $P_1 < 0$, 为 II 型功能反应; $P_1 > 0$, 则为 III 型;各参数的显著性检验采用 Trexler 的方法^[27]。本研究分析结果证明所有的功能反应均为 II 型功能反应(详见结果分析部分)。功能反应的类型确定后,再拟合功能反应方程。由于本研究中没有及时地补充猎物(猎物密度随时间推移而减小),故采用 Roger 的随机捕食模型^[28] $N_a = N_0 [1 - \exp(a(T_k N_a - T))]$ 来拟合试验数据,其中, a 为瞬时攻击效率, T_k 为处置时间, T 为试验时间(24h)。参数估计采用 SAS 软件中 PROC NLIN 程序,各处理模型参数之间的比较则根据其 95% 置信区间是否重叠来进行。

2 结果分析

2.1 蓟马各虫态对山楂叶螨各发育阶段功能反应类型的确定

根据试验结果,利用 Logistic 模型进行回归的结果如表 1。由于六点蓟马成虫及幼虫的 P_1 值均小于 0,且与 0 的差异显著性均达 0.05 水平,表明其功能反应均为 II 型功能反应;尽管在蓟马成虫对山楂叶螨若螨 II 及

成螨等的捕食试验中, P_2 值与 0 的差异未达显著水平, 这并不影响功能反应的类型^[27]。在蓟马成虫捕食山楂叶螨幼螨及若螨Ⅰ处理中, P_2 值未能估计出, 说明此试验中猎物初始密度的设置偏小, 蓟马对猎物的捕食量增长没有随猎物密度升高而进入平台期, 而只有 P_2 值显著的大于零(如蓟马雌成虫捕食螨卵, 蓟马雄成虫捕食雌成螨)才表明蓟马对猎物捕食量的随猎物密度的升高已进入平台期^[26, 27]。

表 1 蓟马各虫态对山楂叶螨各发育阶段的捕食率与初始密度的 logistic 回归结果

叶螨生态 Stages of spider mite	参数 Parameters	蓟马雌成虫 Female thrips			蓟马雄成虫 Male thrips		
		Estimates (± S.E.)	χ^2	p	Estimates (± S.E.)	χ^2	p
卵 Eggs	P_0	9.0104 ± 1.0302	76.49	< 0.0001	2.6656 ± 0.6792	15.4	< 0.0001
	P_1	-0.614 ± 0.0848	52.44	< 0.0001	-0.2778 ± 0.0596	7.7	0.0121
	P_2	0.0156 ± 0.00220	50.16	< 0.0001	0.0033 ± 0.00162	0.03	0.8535
	P_3	-0.00013 ± 0.000018	51.81	< 0.0001	$8.49 \times 10^{-7} \pm 0.000014$	0.00	0.9506
	P_0	1.718 ± 0.728	5.57	0.0183	2.1251 ± 0.6646	10.23	0.0014
幼螨 Larvae	P_1	-0.0797 ± 0.0392	4.13	0.0421	-0.1346 ± 0.0357	14.21	0.0002
	P_2	—			—		
	P_3	0.0001 ± 0.000014	44.25	< 0.0001	-0.00005 ± 0.000013	15.01	0.0001
	P_0	4.1376 ± 0.9011	21.08	< 0.0001	2.8738 ± 0.8630	11.74	0.0004
	P_1	-0.2331 ± 0.0479	23.65	< 0.0001	-0.1060 ± 0.0401	6.99	0.0082
若螨 I Protonymphs	P_2	—			—		
	P_3	$8.6 \times 10^{-6} \pm 0.000017$	0.25	0.6155	-0.00067 ± 0.000015	19.72	< 0.0001
	P_0	0.1019 ± 0.9232	10.58	< 0.0001	3.7404 ± 1.0302	16.49	< 0.0001
	P_1	-0.1231 ± 0.0479	5.65	0.0028	-0.2193 ± 0.0448	22.44	< 0.0001
	P_2	0.00092 ± 0.00017	0.00	0.9958	0.0117 ± 0.0167	0.49	0.4839
若螨 II Deutonymphs	P_3	0.00028 ± 0.000017	0.02	0.8904	-0.000162 ± 0.000199	0.67	0.4145
	P_0	4.5598 ± 0.852	10.74	0.0065	1.7454 ± 0.3183	7.84	0.0077
	P_1	-0.21383 ± 0.076	4.99	0.0157	-0.1948 ± 0.0097	15.52	< 0.0001
	P_2	0.0053 ± 0.0045	1.02	0.383	0.00457 ± 0.00124	2.16	0.0466
	P_3	-0.00007 ± 0.00005	0.96	0.4653	$-9.25 \times 10^{-6} \pm 7.329E-6$	1.38	0.1566
		蓟马 1 龄幼虫 First stadium in thrips			蓟马 2 龄幼虫 Second stadium in thrips		
卵 Eggs	P_0	8.635 ± 2.962	4.75	0.0293	3.5635 ± 1.145	10.91	0.0341
	P_1	-1.435 ± 0.382	3.98	0.0359	-0.1161 ± 0.0063	9.16	0.0452
	P_2	0.085 ± 0.073	1.03	0.3105	0.0171 ± 0.0408	0.17	0.6759
	P_3	-0.00179 ± 0.00219	0.67	0.4143	0.000463 ± 0.00076	0.36	0.5466

2.2 塔六点蓟马对不同发育阶段山楂叶螨的功能反应

根据前述分析结果,利用随机捕食模型拟合试验数据(如图 1 及表 2)。不同发育阶段的塔六点蓟马对山楂叶螨卵的攻击速率差异不显著(95%置信区间重叠),但对猎物的处置时间随着蓟马生长发育而逐渐缩短,从 1 龄幼虫的 2.077h 缩短到成虫的 0.4013h(雌性);理论最大捕食量($1/T_h$)则由 1 龄幼虫的 11.55 粒增加到雌性成虫的 59.81 粒。在猎物相同的情况下,雌成虫对猎物的处置时间显著短于雄成虫,但雄虫的瞬时攻击率则高于雌虫(如表 2)。

表2 六点蓟马对山楂叶螨不同发育阶段的功能反应参数

叶螨虫态 Stages of spider mite	蓟马雌成虫 Female thrips			蓟马雄成虫 Male thrips		
	a ($\pm$ SE)	T_h ($\pm$ SE)	R^2	a ($\pm$ SE)	T_h ($\pm$ SE)	R^2
卵 Eggs	0.1142 $\pm$ 0.0249a	0.4013 $\pm$ 0.0635c	0.9478	0.2140 $\pm$ 0.0461a	1.0340 $\pm$ 0.0455b	0.8448
幼螨 Larvae	0.0892 $\pm$ 0.0248a	0.6066 $\pm$ 0.1417b	0.9482	0.1482 $\pm$ 0.0363a	1.2215 $\pm$ 0.088b	0.9227
若螨 I Protonymphs	0.0745 $\pm$ 0.0183a	0.7622 $\pm$ 0.1068b	0.9341	0.1061 $\pm$.0235a	1.3798 $\pm$ 0.1034ab	0.9273
若螨 II Deutonymphs	0.0698 $\pm$ 0.0159a	1.0829 $\pm$ 0.1665ab	0.9048	0.0913 $\pm$ 0.0136a	1.6053 $\pm$ 0.1357a	0.931
雌成螨 Adult females	0.0554 $\pm$ 0.0203a	1.4524 $\pm$ 0.1065a	0.8639	0.0816 $\pm$ 0.0117a	1.7464 $\pm$ 0.1416a	0.8814
	蓟马 1 龄幼虫 First stadium in thrips			蓟马 2 龄幼虫 Second stadium in thrips		
卵 Eggs	0.3075 $\pm$ 0.1090a	2.0779 $\pm$ 0.242a	0.9147	0.1713 $\pm$ 0.0401a	1.2216 $\pm$ 0.1100b	0.9266

同一列中相同字母表示差异不显著 ($p > 0.05$), 下同
Means followed by the same letters within column are not significantly different (comparison of 95% confidence intervals), the same below

塔六点蓟马成虫对山楂叶螨的功能反应随着叶螨的发育阶段不同而有明显变化(表 2)。随着叶螨个体的长大蓟马的瞬时攻击率减小,但在叶螨的不同发育阶段之间并无显著差异;处置时间则随着叶螨个体的长大而逐渐延长,雌雄蓟马的处置时间由幼螨的 0.6066h 和 1.2215h 增加到成螨的 1.4524h 和 1.7264h,且不同螨态之间处置时间的差异明显。雌雄蓟马成虫对山楂叶螨的幼螨、若螨 I、若螨 II 和雌成螨的理论最大捕食量依次分别为 39.56、31.49、22.16、16.52 头和 19.65、17.39、14.95、13.74 头。雌雄两性对叶螨幼、若螨的处置时间有显著差异,而对于成螨则无明显差异。

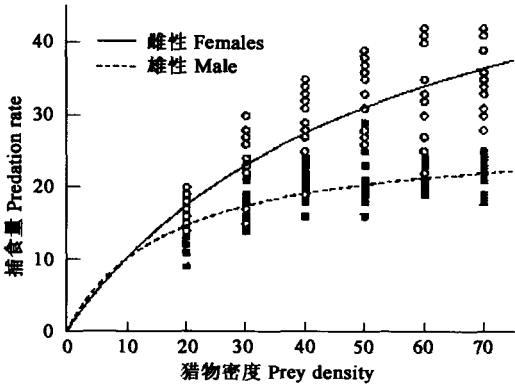


图1 塔六点蓟马对山楂叶螨卵的功能反应

Fig.1 Functional response of *S. takahashii* to *T. viennensis* eggs

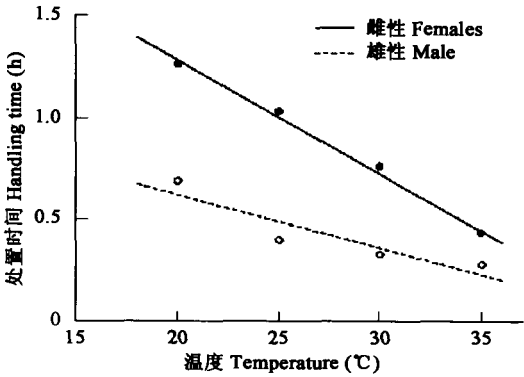


图2 塔六点蓟马对山楂叶螨卵的处置时间与温度的关系

Fig.2 Relationship between handling time of *S. takahashii* and temperature

2.3 不同温度对六点蓟马功能反应的影响

利用在不同温度下蓟马成虫对山楂叶螨卵的捕食率与相应的初始猎物密度进行 Logistic 回归分析,结果(如表 3)表明其功能反应均为 II 型;塔六点蓟马雌雄虫不同温度下对山楂叶螨卵的功能反应参数的估计值如表 4。温度的高低对蓟马功能反应的强弱有明显的影响,雌雄性蓟马的瞬时攻击率均随温度的升高而提高,但在 25~35℃之间,两性的瞬时攻击率虽有一定变化,但差异不显著,而在 20℃下,蓟马的瞬时攻击率显著低于其他温度;雌雄蓟马对猎物的处置时间均随着温度的升高而缩短,并表现出良好的线性关系(图 2):雌性: $y = 1.1438 - 0.0261x$, $R^2 = 0.8436$;雄性 $y = 2.405 - 0.056x$, $R^2 = 0.9965$ 。在 20~35℃试验温度下,雌性对螨卵的理论最大捕食量依次为 34.78、59.81、72.90 和 85.96 粒,雄性的分别为 18.96、23.19、33.54 粒和 54.74 粒。

表 3 不同温度下塔六点蓟马对山楂叶螨卵捕食率与初始密度的 logistic 回归分析结果

Table 3 Results of logistic regression of the proportion of *T. viennensis* eggs eaten by *S. takahashii* as a function of initial prey density at different temperatures

温度(℃) Temperature	参数 Parameters	蓟马雌成虫 Female thrips			蓟马雄成虫 Male thrips		
		Estimates (± S.E.)	χ^2	P	Estimates (± S.E.)	χ^2	P
35	P_0	4.3596 ± 2.0248	6.64	0.0313	7.1807 ± 0.2302	34.07	< 0.0001
	P_1	-0.0545 ± 0.1008	5.26	0.0389	-0.2785 ± 0.0645	18.67	< 0.0001
	P_2	0.000155 ± 0.00158	0.01	0.9216	0.00387 ± 0.00105	13.47	< 0.0002
	P_3	$1.665 \times 10^{-7} \pm 7.871 \times 10^{-6}$	0.00	0.9831	$-0.00002 \pm 5.437 \times 10^{-6}$	11.58	0.0007
30	P_0	4.7312 ± 1.3522	12.24	0.0005	5.5728 ± 0.8630	41.7	< 0.0001
	P_1	-0.1068 ± 0.0803	4.77	0.0184	-0.2477 ± 0.0529	21.96	< 0.0001
	P_2	0.000867 ± 0.00148	0.34	0.5578	0.00357 ± 0.00100	12.72	0.0004
	P_3	$-2.71 \times 10^{-6} \pm 8.545 \times 10^{-6}$	0.10	0.7510	$-0.00002 \pm 5.945 \times 10^{-6}$	9.11	0.0025
20	P_0	3.5598 ± 2.152	2.74	0.0981	1.1409 ± 0.5183	4.84	0.0277
	P_1	-0.2483 ± 0.176	4.99	0.0159	-0.0957 ± 0.0197	23.52	< 0.0001
	P_2	0.00593 ± 0.00452	1.72	0.1899	0.00157 ± 0.00034	2.16	0.0643
	P_3	-0.00005 ± 0.000037	1.76	0.1845	$-9.37 \times 10^{-6} \pm 3.449 \times 10^{-6}$	7.38	0.0066

25℃下的数据见表 1 See table 1 for. Data at the condition of 25℃

2.4 不同日龄蓟马成虫对其功能反应的影响

随着蓟马成虫日龄的不断增长,其生理机能日渐衰老,活力逐渐降低,对叶螨的捕食能力陆续减弱,各日龄阶段的功能反应经 Logistic 回归分析(结果略)证明仍然为 Holling-Ⅱ型,功能反应参数的估计结果如表 4。由于雌性塔六点蓟马在 25℃时的平均产卵历期为 17.8d^[8],本研究中对 18d 之前的蓟马进行测定。

表 4 六点蓟马在不同温度下对山楂叶螨卵的功能反应参数

Table 4 Mean (SE) estimates of the attack constant [$a(h^{-1})$] and handling time [$T_h(h)$] for *S. takahashii* females and males attacking *T. viennensis* eggs at various temperatures

温度(℃) Temperature	蓟马雌成虫 Female thrips			蓟马雄成虫 Male thrips		
	$a(\pm S.E.)$	$T_h(\pm S.E.)$	R^2	$a(\pm S.E.)$	$T_h(\pm S.E.)$	R^2
20	0.0654 ± 0.0149b	0.6900 ± 0.0106a	0.9312	0.0474 ± 0.0105b	1.2660 ± 0.1392a	0.9261
25	0.1142 ± 0.0239a	0.4013 ± 0.0635b	0.9138	0.2140 ± 0.0676a	1.0350 ± 0.061ab	0.8448
30	0.1683 ± 0.0566a	0.3292 ± 0.0523bc	0.8917	0.1456 ± 0.04132a	0.7640 ± 0.0567b	0.8617
35	0.1862 ± 0.0416a	0.2792 ± 0.0300c	0.9265	0.1280 ± 0.0222a	0.4384 ± 0.0323c	0.9001

尽管在 3~18d 日龄之间,雌雄性六点蓟马的瞬时攻击率没有显著的差异,但其对山楂叶螨卵的处置时间存在显著差异,其中,日龄为 15d、18d 的雌虫对山楂叶螨卵的处置时间明显长于 3d 和 6d 日龄的雌虫,说明日龄大于 15d 的雌虫随着生殖活动的减弱,其生命机能明显下降,捕获、处置猎物的能力降低,对猎物的控制作用已明显下降;6d 的雌虫不仅瞬时攻击率较高,而且对猎物的处置时间最短,即此时的蓟马对叶螨的控制能力最强;这是由于此阶段的雌虫已进入生殖高峰期^[8],旺盛的生殖活动必须以充足的营养物质为基础,故捕食量较大。雄成虫对叶螨卵的处置时间随着蓟马的衰老而延长,且延长的速度快于雌虫,至 9d 日龄时,其处置时间已显著长于 3~6d 的雄虫(因其 95% 置信区间不重叠),加之雄虫在蓟马种群中的比例较小^[8],故在田间雄性蓟马对叶螨的控制作用较小。

表 5 不同日龄蓟马对山楂叶螨卵的功能反应参数

Table 5 Effects of ageing on the functional response in *S. takahashii* adults

日龄(d) Age	蓟马雌成虫 Female thrips			蓟马雄成虫 Male thrips		
	$a(\pm S.E.)$	$T_h(\pm S.E.)$	R^2	$a(\pm S.E.)$	$T_h(\pm S.E.)$	R^2
3	0.0844 ± 0.0149a	0.4188 ± 0.0696c	0.9235	0.2035 ± 0.0543a	1.0807 ± 0.0545bc	0.8910
6	0.1231 ± 0.0239a	0.3969 ± 0.0673c	0.9138	0.2141 ± 0.0676a	1.0350 ± 0.0610c	0.8445
9	0.0690 ± 0.0127a	0.4458 ± 0.0859bc	0.9022	0.2514 ± 0.0640a	1.2594 ± 0.0546b	0.8266
12	0.0643 ± 0.0105a	0.5514 ± 0.0797bc	0.9070	0.1445 ± 0.0363a	1.4605 ± 0.0684ab	0.8545
15	0.0877 ± 0.0161a	0.6981 ± 0.0515ab	0.8840	0.1513 ± 0.0427 ^a	1.6953 ± 0.0763 ^a	0.8452
18	0.0844 ± 0.0126a	0.8101 ± 0.0586a	0.9030	0.1292 ± 0.1040 ^a	1.7724 ± 0.0832 ^a	0.7369

该组数据为 9 次重复的结果;## 该组数据为 6 次重复的结果,其余各组均不少于 10 次重复 # The data were derived from nine replications;

the data derived from six replicates

3 讨论

天敌的功能反应是评价天敌对害虫的控制效能的一项基础性研究,是了解天敌-猎物种群数量动态的重要内容。本研究结果表明,塔六点蓟马各发育阶段对山楂叶螨各发育阶段的功能反应均为 Holling-Ⅱ型,这与 Gotoh 等报道的该蓟马成虫捕食二斑叶螨卵的功能反应类型是一致的^[20]。由于 Holling 模型的一个基本假设是,试验期间猎物的密度保持恒定,而本研究中未能及时的补充猎物,因此,在对模型的参数估计时采用 Roger 的随机捕食模型。Gotoh 等报道蓟马雌成虫对二斑叶螨卵的日最大捕食量为 75.7 粒^[20],而本研究中其对山楂叶螨卵的日最大捕食量为 60.0 粒,略小于对二斑叶螨的捕食量;Kishimoto 在另一研究中报道,塔六点蓟马雌虫每天可捕食二斑叶螨卵 52.4 粒^[21],而对山楂叶螨卵的捕食量则为 44.32 粒^[21],但这是塔六点蓟马雌虫连续取食 5d 的平均值。

塔六点蓟马对山楂叶螨各活动态的捕食量小于对卵的捕食量,而且随着山楂叶螨个体的不断长大,其捕食量逐渐减小(表 3),这是由于山楂叶螨个体的日渐增大也伴随着其活动能力的增强,因而蓟马对叶螨的捕获能力随之减弱,处置时间则随之延长。尽管本研究中并未涉及蓟马对叶螨不同虫态的选择性研究,但根

据其对不同螨态的捕获能力推断,在田间各个螨态共存的情况下,蓟马的主要捕食虫态当是卵,这不仅是因为卵更容易捕获,而且卵在叶螨种群中的比例高达 60% ~ 70%^[25,29]。本研究中,蓟马雌成虫对山楂叶螨若螨Ⅱ的理论最大捕食量为 22.16 头,与 Kishimoto 报道的 20.6 头^[21]基本一致,而对幼螨、若螨Ⅰ及成螨的捕食量目前尚缺乏可用来相互比较的数据。

环境温度不仅能够影响昆虫的生长发育和繁殖,同时也可以影响昆虫的觅食行为,甚至可以改变天敌对猎物功能反应的类型^[30]。本研究表明,在 20 ~ 35℃ 的温度范围内,随着温度的升高,塔六点蓟马对山楂叶螨卵的捕食作用逐渐加强,虽然功能反应的形式没有发生改变,且对猎物的处置时间随温度升高而逐渐缩短,二者呈显著的线性关系。已有的研究表明,塔六点蓟马与山楂叶螨对温度的反应非常相似,例如,发育起点和有效积温二者分别为 11.7℃、204.1 日度^[8]和 11.3 ~ 12.6℃、190.8 ~ 273.67 日度^[31];在温度为 25℃ 时,由卵发育至成虫的时间分别为 13.3d^[8]和 12.1d^[25,29],内禀增长率分别为 0.195^[8]和 0.195 ~ 0.215^[29];田间种群数量高峰期均在 6 ~ 8 月份^[1,18],田间山楂叶螨的严重危害时期也是六点蓟马的捕食能力最强之际;加之塔六点蓟马在田间能够根据植株受害后所散发的特殊气味自主寻找猎物^[22,32],因此,在山楂叶螨的综合治理中充分利用塔六点蓟马的控制作用,有望进一步提高叶螨的治理效果。

在当前药剂使用十分频繁的山楂叶螨治理体系中,对塔六点蓟马的利用可从其与药剂的协调配合及人工饲养释放两方面考虑,前者张金勇等已做了初步探索^[18];对于后一方面应在人工饲养技术上寻求突破,并在人工释放技术方面作深入探索。本研究结果表明,塔六点蓟马成虫对山楂叶螨卵的有效捕食时间约为 12d,在此期间蓟马对叶螨的控制能力最强,之后其捕食效率则会明显降低,而山楂叶螨完成一个世代的时间也是 12d 左右^[26,27],并且 12d 之后,新一代蓟马又即将成熟^[8]。如能在山楂叶螨发生高峰期前一代释放一次蓟马,则有望改变对该螨防治完全依赖于药剂的局面。

References:

- [1] Liu Q X, Wang L Q. Studies on biology of hawthorn spider mite. Entomol. Knowledge, 1965, 9(5):283 ~ 285.
- [2] Zhang R C. Observations on the biology of *Panonychus ulmi* Koch in apple orchards. Acta Entomologica Sinica, 1974, 17(4):397 ~ 404.
- [3] Li D L, Zhang C T, Xu G L. A study on the population dynamics and damage of red spider mite; *Tetranychus viennensis*. Forest Research, 1998, 11(3): 335 ~ 338.
- [4] Gu Y. Studies on the inter-specific competition between *Tetranychus urticae* and *T. viennensis*. Entomol. J. East China 1997, 6(1): 71 ~ 76.
- [5] Gotoh T. Developmental zero of *Tetranychus viennensis* Zacher (Acarina: Tetranychidae) on deciduous oak. Appl. Entomol. Zool. 1986, 31: 174 ~ 175.
- [6] Qiu TT. Integrated pest management for apple in old Yellow River region. J. Fruit Sci., 1994, 1(1): 58 ~ 61.
- [7] Liu J X, Hu M, Han J C. Resistance of *Tetranychus viennensis* Zacher to acaricides and the synergistic effect of pesticide combination. Acta Phytomycol Sinica, 2004, 31:199 ~ 204.
- [8] Gotoh T, Yamaguchi K, Fukazawa M, and Mori K. Effect of temperature on life history traits of the predatory thrips, *Scolothrips takahashii* Priesner (Thysanoptera: Thripidae) Appl. Entomol. Zool., 2004, 39: 511 ~ 519.
- [9] Obrycki J J, Kring T J. Predaceous coccinellidae in biological control. Ann. Rev. Entomol., 1998, 43:295 ~ 321.
- [10] Xu Y Y, Mou T Y, Hu C. Researches and application of *Chrysoperla sinica* (Tjeder) in China. Entomol. Knowledge, 1999, 36(5): .313 ~ 316.
- [11] Su S Q, Zhou Y J. The functional response model of *Chrysopa Sepempunctata* to the density of *Aphis citricola*. J. Henan Agri. Univ., 1993 27(2): 156 ~ 158.
- [12] McMurtry J A, Croft B A. Life-style of Phytoseiidae mites and their roles in biological control. Ann. Rev. Entomol., 1997, 42:291 ~ 321
- [13] Chazeau J. Predaceous insects. In: Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control. Vol. B (W. Helle and M. W. Sabelis ed). Amsterdam, Elsevier, 1985, 211 ~ 246.
- [14] Gilstrap F E. Six-spotted thrips: a gift from nature that controls spider mites. In: Parker B L, Skinner M and Lewis T eds. Thrips Biology and Management. New York, Plenum Press, 1995. 305 ~ 316.
- [15] Gilstrap F E and Oatman E R. The bionomics of *Scolothrips sexmaculatus* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), an insect predator of spider mites. Hilgardia, 1976, 44: 27 ~ 59.
- [16] Han Y F. Two new species in genus of Scolothrips and re-cognition of males in *Scolothrips takahashii* Priesner Anim. Research, 1982, 3:53 ~ 56.
- [17] Gao Z R, Qiu F Li Q S. Biology and predation effects of *Scolothrips takahashii* in cotton field. Entomol. Knowledge, 1989, 26(6).332.

- [18] Zhang J Y, Chen H J, Chen D Y. Studies on the hawthorn spider mite control by the combination of *Scolothrips takahashii* and pyridaben. *Deciduous Fruit*, 2005, (4):39 ~ 42.
- [19] Nakagawa T. Studies on the seasonal occurrence and predatory activity of the predators of Kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* Kishida in tea fields. *Bull. Saga Pref. Tea Exp. Stn.*, 1993, 1: 1 ~ 40.
- [20] Gotoh T, Nozawa M and Yamauchi K. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. *Appl. Entomol. Zool.*, 2004, 39: 97 ~ 105.
- [21] Kishimoto H. Development and oviposition of predacious insects, *Stethorus japonicus* (Coleoptera: Coccinellidae), *Oligota kashmirica benefica* (Coleoptera: Staphylinidae), and *Scolothrips takahashii* reared on different spider mite species (Acari: Tetranychidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 2003, 38: 15 ~ 21.
- [22] Takahashiii H, Takafuji A, Takabayashi J, Yano S and Shimoda T. Seasonal occurrence of specialist and generalist insect predators of spider mites and their response to volatiles from spider-mite-infested plants in Japanese pear orchards. *Exp. Appl. Acarol.*, 2001, 25: 393 ~ 402.
- [23] Kishimoto H. Species composition and seasonal occurrence of spider mites and their predators in Japanese pear orchards with different agrochemical spraying programs. *Appl. Entomol. Zool.*, 2002, 37:603 ~ 615.
- [24] Mori K, Gotoh T. Effects of pesticides on the spider mite predators, *Scolothrips takahashii* (Thysanoptera: Thripidae) and *Stethorus japonicus* (Coleoptera: Coccinellidae). *Internat. J. Acarol.* 2001, 27: 299 ~ 302.
- [25] Li D X, Hou Y L, Shen Z R. Influence of host plant species on the development and reproduction of hawthorn spider mite. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25:1562 ~ 1568.
- [26] Juliano S A. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In Scheiner S. M., Gurevitch J., eds. *Design and Analysis of Ecological Experiments*. Oxford University Press, 2001. 78 ~ 196.
- [27] Trexler J C, McCulloch C E and Travis J. How can the functional response best be determined? *Oecologia*, 1988, 76: 206 ~ 214.
- [28] Rogers D. Random search and insect population models. *J. Anim. Ecol.*, 1972, 41:369 ~ 383.
- [29] Kasap I. Life history of hawthorn spider mite: *Amphitettranychus viennensis* (Acarina: Tetranychidae) on various apple cultivars and at different temperatures. *Exp. Appl. Acarol.*, 2003, 31: 79 ~ 91.
- [30] Mohaghegh J, De Clercq P and Tirry L. Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigripinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae) to the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lep., Noctuidae): effect of temperature. *J. Appl. Entomol.*, 2001, 125: 131 ~ 134.
- [31] Zhao LQ, Hong B, Gu C. Studies on the developmental threshold temperature and the effective accumulated temperature of *Tetranychus viennensis* under natural temperature. *J. Ningxia Agri. Colledge*, 1998, 19:18 ~ 20.
- [32] Shimoda T, Takabayashi J, Ashihara W and Takafuji A. Response of predatory insect *Scolothrips takahashii* toward herbivore-induced plant volatiles under laboratory and field conditions. *J. Chem. Ecol.*, 1997, 23(8): 2033 ~ 2048.

参考文献:

- [1] 刘芹轩,王连全. 山楂叶螨生物学研究. *昆虫知识*, 1965, 9(5):283 ~ 285.
- [2] 张仁慈. 苹果红蜘蛛生物学观察. *昆虫学报*, 1974, 17(4):397 ~ 404.
- [3] 李大乱,张翠瞳,徐国良. 山楂叶螨种群动态及其危害研究. *林业科学研究*, 1998, 11(30):335 ~ 338.
- [4] 顾耘. 二斑叶螨与山楂叶螨种间竞争的研究. *华东昆虫学报*, 1997, 6 (1): 71 ~ 76.
- [6] 邱同铎. 黄河故道地区苹果病虫综合防治技术. *果树科学*, 1994, 11(1):58 ~ 61.
- [7] 刘金香, 胡美英, 韩巨才, 等. 山楂叶螨抗药性及混配增效作用. *植物保护学报*, 2004, 31(2):183 ~ 188.
- [10] 许永玉, 牟吉元, 胡萃. 中华通草蛉的研究与应用. *昆虫知识*, 1999, 36(5):313 ~ 316.
- [11] 苏胜权, 周亚君. 大草蛉对苹果园绣线菊蚜的功能反应模型. *河南农业大学学报*, 1993, 27(2): 156 ~ 158.
- [16] 韩运发. *Scolothrips* 属二新种及塔六点蓟马雄虫记述. *动物学研究*, 1982, 3:55 ~ 56.
- [17] 高宗仁, 邱峰, 李巧丝. 棉田塔六点蓟马的生物学及捕食功能研究. *昆虫知识*, 1989, 26(6):332.
- [18] 张金勇, 陈汉杰, 陈冬亚, 等. 塔六点蓟马与哒螨灵协同控制苹果树山楂叶螨的研究初报. *落叶果树*, 2005, (4):39 ~ 42.
- [25] 李定旭, 侯月利, 沈佐锐. 不同寄主对山楂叶螨生长发育及繁殖的影响. *生态学报*, 2005, 25:1562 ~ 1568.
- [31] 赵力群, 洪波, 顾才东, 等. 室内变温下山楂叶螨发育起点及有效积温研究. *宁夏农学院学报*, 1998, 19:18 ~ 20.