



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.

圆果大赤螨对桑树害虫的捕食功能反应

江秀均, 钟 健, 谢道燕, 陆鹏飞, 柴建萍*

(云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 云南蒙自 661101)

摘 要: 在室内条件下研究了圆果大赤螨对桑树害虫朱砂叶螨、桑蓟马和桑粉虱的捕食作用。结果表明, 圆果大赤螨对 3 种猎物的捕食功能反应均符合 Holling II 功能反应模型, 经 χ^2 检验, 理论值与观测值差异不显著。捕食功能反应参数表明圆果大赤螨对桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱捕食量差异显著, 其最大日捕食量理论值分别为: 416.67、222.22、97.09 头。圆果大赤螨对猎物的搜寻效应均随猎物密度的增加而呈线性下降, 且取食桑蓟马的搜寻效应明显高于朱砂叶螨和桑粉虱。Holling III 型功能反应新模型拟合得出, 1 头圆果大赤螨对桑蓟马、朱砂叶螨、桑粉虱的最佳寻找密度分别为 77.54 头、70.49 头和 27.27 头。研究表明, 圆果大赤螨对桑树害虫捕食能力依次为桑蓟马 > 朱砂叶螨 > 桑粉虱, 且对 3 种害虫均具有较强捕食能力, 是桑园害虫的重要天敌资源。

关键词: 圆果大赤螨; 桑蓟马; 朱砂叶螨; 桑粉虱; 功能反应; 搜寻效应

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2017) 06-1356-07

Predation function response of *Anystis baccarum* Linnaeus to pests on mulberry tree

JIANG Xiu-Jun, ZHONG Jian, XIE Dao-Yan, LU Peng-Fei, CHAI Jian-Ping* (Institute of Sericulture and Apiculture, Yunnan Academy of Agricultural, Mengzi 661100, Yunnan Province, China)

Abstract: Predatory function responses of *Anystis baccarum* adults to *Pseudodendrothrips mori* Niwa, *Tetranychus cinnabarinus* Boisduv and *Pealius mori* (Takahashi) were measured in laboratory. Results showed that the functional responses of *A. baccarum* adults to the three prey density fitted well with Holling II model. And there were no significant differences between theoretic values and the observed values by Chi-square test. The predatory capacities between *A. baccarum* and three prey species was significant differences and the maximum daily predatory capacities of *A. baccarum* adults *Ps. mori*, *T. cinnabarinus* and *Pe. mori* were 416.7, 222.2, 97.1 pests/day, respectively. Searching rate of *A. baccarum* decreased with the increase in prey density and that was highest on *Pseudodendrothrips mori* than on *Tetranychus cinnabarinus* and the best seeking density was about 77.5, 70.5, 27.3 pests per predator according to Holling III new functional response model. Altogether, the predatory capacities of *A. baccarum* to the prey was *Ps. mori* > *T. cinnabarinus* > *Pe. mori*. *A. baccarum* has strong predation function to three species pests, and it was an important natural enemies of pests resource in mulberry field.

Key words: *Anystis baccarum*; *Pseudodendrothrips mori*; *Tetranychus cinnabarinus*; *Pealius mori*; predation function; searching efficiency

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-22-SYZ27); 云南省现代农业蚕桑产业技术体系项目 (No. 2013KJTX006)

作者简介: 江秀均, 女, 1981 年生, 云南盐津人, 本科, 副研究员, 研究方向为桑树病虫害, E-mail: jxjynbb@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: chajp@163.com

收稿日期 Received: 2016-06-30; 接受日期 Accepted: 2016-10-18

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* Boiduv、桑蓊马 *Pseudodendrothrips mori* Niwa 和桑粉虱 *Pealius mori* (Takahashi) 是近年来桑园的重要害虫(侯守鹏, 2011; 柴建萍等, 2013a; 2013b; 杨振国等, 2015), 主要以若虫、成虫吸食桑叶汁液为害, 因其个体小, 发育周期短, 世代重叠严重, 易在桑园暴发成灾。随着桑园面积的增加, 云南省内各植桑区均有不同程度的发生, 严重影响桑叶的产量和质量, 而化学防治仍然是桑园病虫害防治的主要手段, 随着化学农药的长期多年使用, 极易使害虫产生抗药性, 加之化学农药的使用对天敌的杀伤作用也很大, 使得危害日益严重、防治也越来越困难, 同时也容易引起家蚕中毒(柴建萍等, 2013a; 钟健等, 2013)。而害虫猖獗成灾的一个重要原因是农药施用不科学, 大量杀死了天敌昆虫, 破坏了桑园害虫与天敌间的动态平衡。天敌是自然控制害虫发生危害的重要因素, 柴建萍等(2013a; 2013c)报道了胡瓜钝绥螨对桑园朱砂叶螨捕食作用及田间释放防治朱砂叶螨和桑蓊马的效果。利用捕食性天敌防治桑园害虫的相关报道较少。

圆果大赤螨 *Anystis baccarum* Linnaeus 属真螨目大赤螨科。该螨体型较大, 成螨体长 0.8 – 1.2 mm, 宽 0.5 – 0.7 mm, 活动能力强, 爬行速度快, 广泛分布于龙眼、柑橘、荔枝、茶树、萝卜、桑树等十种植物上, 是农林害虫和害螨的重要捕食性天敌, 能捕食蚜虫、木虱、叶螨、介壳虫、粉虱等多种害虫与害螨(吴伟坚和沈叔平, 1990; 吴洪基, 1994; Cuthbertson and Murchie, 2010; 邱良妙等, 2011; 熊忠华等, 2011; Cuthbertson and Murchie, 2012)。国内外对圆果大赤螨控制害虫方面及功能反应方面的研究已有一些报道。如曾兆华等(2007)研究了 5 种杀虫剂亚致死剂量对圆果大赤螨捕食功能的影响; 邱良妙等(2011)研究了圆果大赤螨对龙眼角颊木虱的控制作用; 廖冬晴等(2010)研究了不同温度条件下圆果大赤螨对茶红蜘蛛不同虫态的捕食作用; 江秀均等(2012)在对蒙自县桑园害虫及天敌种类调查中发现圆果大赤螨在桑园及周边作物上发生较为普遍, 是桑园害虫的重要捕食性天敌, 对桑园内的小型害虫具有较强的捕食能力, 具有很高的保护和利用价值, 但关于圆果大赤螨对朱砂叶螨、桑蓊马和桑粉虱捕食功能方面的研究尚未见报道。在桑园生态系统中, 朱砂叶螨、桑蓊

马、桑粉虱常常混合发生, 共同为害, 因此作者开展了圆果大赤螨对桑园的朱砂叶螨、桑蓊马和桑粉虱捕食功能反应, 旨在为评价、保护和利用圆果大赤螨进行桑园害虫生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

圆果大赤螨从云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所桑园桑树上捕捉, 选取大小一致, 健康活泼的成螨放在透气的离心管中饥饿 24 h 作为捕食功能反应试虫; 桑蓊马、朱砂叶螨和桑粉虱采自相同桑园的桑树上, 直接选取桑蓊马和桑粉虱成虫为供试猎物, 而朱砂叶螨经室内豇豆苗继代扩繁后选取大小一致的成螨作试虫。

1.2 试验条件

在智能人工气候箱(生产厂家: 宁波海曙赛福实验仪器厂, 型号: PRX-350C)进行, 试验环境设置为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 光周期为 L:D = 14 h:10 h, 相对湿度 $75\% \pm 5\%$ 。

1.3 试验方法

在捕食功能反应容器(50 mL 的三角瓶)中接入 N 头同一虫态的桑蓊马、朱砂叶螨和桑粉虱, 再迅速接入一头 1 头圆果大赤螨成螨, 然后用细密的纱布封口, 同时以不接圆果大赤螨且有相同密度的猎物为对照, 校正其死亡数量。朱砂叶螨直接用毛笔转入功能反应容器内, 桑蓊马放入冰箱冷冻 3 – 5 s 后迅速用毛笔转入功能反应容器内, 桑粉虱接虫参照周春涛等(2015)的方法。24 h 后将试虫倒出于体视显微镜下镜检残余的猎物数和死亡数, 记录不同猎物密度条件下圆果大赤螨的日捕食量。桑蓊马成虫和朱砂叶螨成虫密度梯度均为 50、100、150、200、250 头/瓶, 桑粉虱成虫的密度设置为 20、40、60、80、100 头/瓶, 每处理重复 3 次。

1.4 数据统计与分析

捕食功能反应: 捕食功能反应采用 Holling II (1959) 型圆盘方程进行拟合(Holling, 1959; 崔志富, 2015), 即数学模型为: $N_a = aNT / (1 + aT_h N)$ 或者 $1/N_a = T_h + 1/aN$ ($T = 1 \text{ d}$)。式中 N_a 为猎物被捕食数量, N 为猎物起始密度(头), a 为瞬间攻击率, T 为捕食者可利用发现猎物的总时间, 本试验为 1 d; T_h 为对猎物的平均处理时间(即捕食 1 头猎物所消耗的时间)。用 a/T_h 值评价圆果大赤

螨对猎物的捕食能力 (柴建萍等, 2013a)。

搜寻效应估计 (丁岩钦, 1994; 唐良德等, 2015): 通过搜寻效应 (S) 与寄主密度 (N) 的关系式 $S = a / (1 + aT_h N)$, 利用 Holling II 模型所得的参数估计圆果大赤螨对猎物的搜寻效应, 其中 S 为搜寻效应, a 为瞬间攻击率, T_h 为对猎物的平均处理时间, N 为猎物密度。

最佳寻找密度: 根据汪世泽等 (1988; 刘萍等, 2014) 提出的 Holling III (1988) 型功能反应新模型 $N_a = a' \cdot \exp(-b/N)$ 进行拟合。式中 N_a 为猎物被捕食数量, N 为猎物密度, a' 为 N_a 的上限, $N_{a \max}$ 是天敌的最大捕食量, b 为天敌密度 $P = 1$ 头时的

最佳寻找密度。

本试验的数据是采用 SPSS 17.0 和 Excel 2003 软件进行作图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 圆果大赤螨对不同猎物的捕食功能反应

圆果大赤螨对不同猎物的日捕食量 (N_a) 随猎物密度 (N) 的增加而增加 (如图 1), 当 N 达到一定程度时, 圆果大赤螨捕食量的增加幅度趋于平缓, 呈负加速曲线。圆果大赤螨对不同猎物的捕食功能反应均属 Holling II 型。

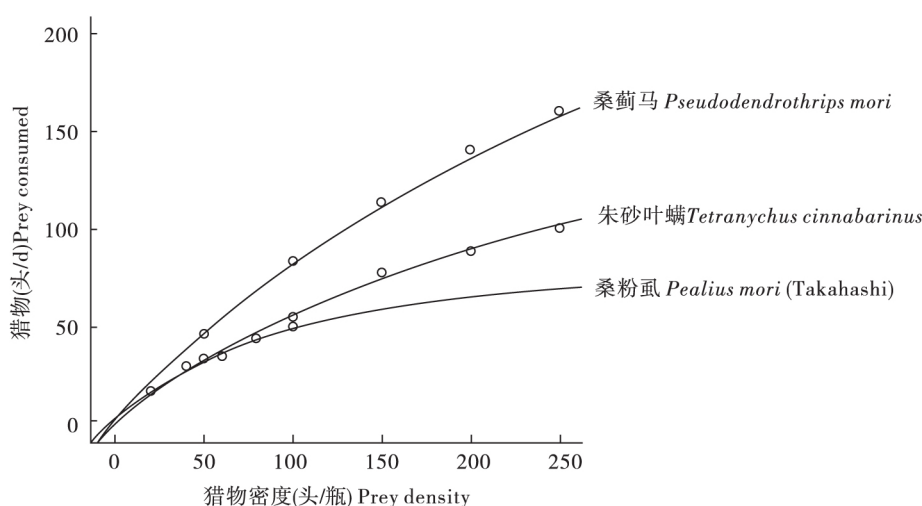


图 1 圆果大赤螨对不同猎物的捕食功能反应拟合曲线

Fig. 1 Fitting curve about the predation functional response of *Anystis baccarum* to *Pseudodendrothrips mori*, *Tetranychus cinnabarinus*, *Pealius mori* (Takahashi)

通过对 Holling II 功能反应模型的拟合, 得到圆果大赤螨对不同猎物的功能反应方程及参数 (表 1)。所得模型经卡方适合性检验, χ^2 值均小于 $\chi^2_{(4, 0.05)} = (9.49)$, 即各拟合方程的理论值与实测值之间差异不显著。通过比较功能反方程的各参数, 圆果大赤螨对猎物的攻击系数 (a): 桑蓊马成虫 (0.9996) > 桑粉虱 (0.9378) > 朱砂叶螨 (0.7362); 其相应的处理时间 (T_h) 桑蓊马 (0.0024 d) 最短, 桑粉虱最长 (0.0103 d); 从理论最大日捕食量来看, 圆果大赤螨对捕食不同猎物从高到低的顺序为桑蓊马成虫 (416.67 头/d) > 朱砂叶螨 (222.22 头/d) > 桑粉虱 (97.09 头/d); 圆果大赤螨对猎物的控制作用: 桑蓊马 (416.5000) > 朱砂叶螨 (163.6000) > 桑粉虱 (91.0485)。即圆果大赤螨对桑蓊马瞬间攻击率、

日最大捕食量、控制能力均最大、处理时间最短, 对朱砂叶螨的瞬间攻击率最小, 对桑粉虱的日捕食量最小、处置时间最长。上述结果表明, 圆果大赤螨倾向于在单位时间内攻击取食较多的桑蓊马, 对桑蓊马的控制作用明显强于朱砂叶螨和桑粉虱。

2.2 圆果大赤螨对不同猎物的搜寻效应

搜寻效应是捕食性天敌在捕食过程中对于猎物攻击的一种行为效应。天敌对于猎物的作用大小与其本身的寻找效应有一定关系, 而搜寻效应的大小则常与猎物密度、天敌本身有密切关系 (唐良德等, 2015; 王玉洁等, 2015)。对圆果大赤螨成虫捕食桑蓊马、朱砂叶螨和桑粉虱的搜寻效应与猎物密度之间进行回归分析 (如图 2), 结果表明圆果大赤螨捕食不同猎物时, 其搜寻效应

均随猎物密度的增加而呈线性下降 ($y = -0.0013x + 0.9537, R^2 = 0.99$; $y = -0.0011x + 0.675, R^2 = 0.9826$; $y = -0.0038x + 0.8425, R^2 = 0.9786$)。比较回归方程系数可知, 在相同猎物密度条件下, 圆果大赤螨捕食蓟马的搜寻效应明显高于朱砂叶螨和桑粉虱。

表 1 圆果大赤螨对桑树害虫的捕食功能反应方程及参数
Table 1 Response function and parameters of *Anystis baccarum* to *Pseudodendrothrips mori*, *Tetranychus cinnabarinus*, *Pealius mori* (Takahashi) (Holling II)

害虫种类 Preys species	α	T_h/d	α/T_h	日最大捕食量(头/d)	功能反应方程 Functional response equation	r^2	χ^2
				Daily most prey consumed amount			
桑蓟马 <i>Pseudodendrothrips mori</i>	0.9996	0.0024	416.5000	416.67	$N_a = 0.9996 N / (1 + 0.0024 N)$	0.9998	0.1237
朱砂叶螨 <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	0.7362	0.0045	163.6000	222.22	$N_a = 0.7362 N / (1 + 0.0033 N)$	0.9985	0.1523
桑粉虱 <i>Pealius mori</i> (Takahashi)	0.9378	0.0103	91.0485	97.09	$N_a = 0.9378 N / (1 + 0.0097 N)$	0.9971	0.1191

注: a , 攻击系数; T_h , 处理时间; a/T_h , 控制作用; r^2 , 相关系数; χ^2 , 卡方值; N_a , 猎物捕食量; N , 猎物初始密度。
Note: a , Attack coefficient; T_h , Handling time; a/T_h , Control effect; r^2 , Correlation coefficient; χ^2 , Chrsquare; N_a , The number of prey consumed; N , The number of prey density.

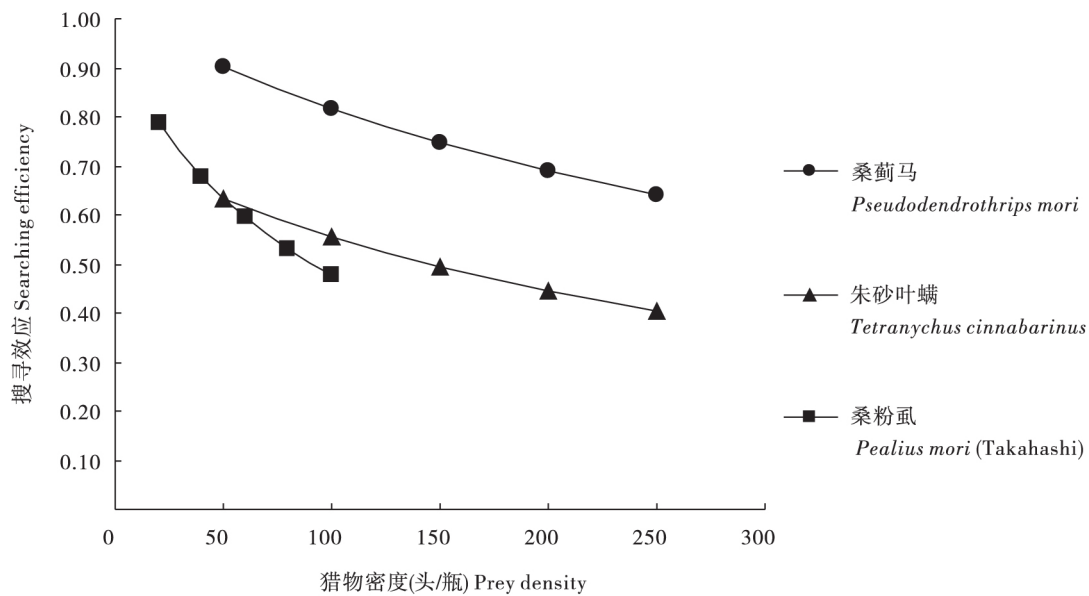


图 2 圆果大赤螨在不同猎物密度下的搜寻效应
Fig. 2 The searching efficiency of *Anystis baccarum* to *Pseudodendrothrips mori*, *Tetranychus cinnabarinus*, *Pealius mori* (Takahashi) in different prey densities

2.3 最佳寻找密度

天敌的搜索攻击行为只有在某种最佳猎物密度条件下才能发挥最大的积极性 (汪世泽和夏楚贵, 1988)。利用本研究的数据以汪世泽等 (1988) 提出的 Holling III 功能反应新模型 $N_a = a \cdot \exp(-b/N)$ 进行拟合, 结果如表 2, 即圆果大赤螨

捕食量与桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱成虫密度的关系得模型方程分别为: $N_a = 202.0873 \cdot \exp(-77.543/N)$ 、 $N_a = 123.2235 \cdot \exp(-70.487/N)$ 、 $N_a = 59.9254 \cdot \exp(-27.267/N)$, 将方程所得理论值与实测值经卡方适合性检验, 所得 χ^2 值分别为 2.2607、1.4069、0.8673, 均小于 $\chi^2_{(4, 0.05)} = (9.49)$, 差异

不显著,说明新模型拟合效果较好,可用来描述圆果大赤螨成虫对桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱成虫的捕食情况。计算结果表明,当捕食者的密度 $P=1$ 时,在 1 d 内,1 头圆果大赤螨对桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱成虫最大捕食量为 202.09、

123.22、59.93 头,最佳寻找密度分别为 77.54 头、70.49 头、27.27 头。因此利用圆果大赤螨防治桑园害虫桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱时,益害比以 1:78、1:71、1:27 作为参考。

表 2 圆果大赤螨对不同猎物的 Holling III 型功能反应

Table 2 The results of the function response model estimation of *Anystis baccarum* to *Pseudodendrothrips mori*, *Tetranychus cinnabarinus*, *Pealius mori* (Takahashi) (Holling III)

害虫种类 Preys species	日最大捕食量 (头/d) Daily most prey consumed amount	最佳寻找密度 (头) Best searching density	功能反应方程 Functional response equation	r^2	χ^2
桑蓟马 <i>Pseudodendrothrips mori</i>	202.09	77.54	$N_a = 202.0873 \exp^{(-77.543/N)}$	0.9767	2.2607
朱砂叶螨 <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	123.22	70.49	$N_a = 123.2235 \exp^{(-70.487/N)}$	0.9682	1.4069
桑粉虱 <i>Pealius mori</i> (Takahashi)	59.93	27.27	$N_a = 59.9254 \exp^{(-27.267/N)}$	0.9768	0.8673

3 结论与讨论

在利用天敌开展生物防治的研究过程中, Holling 功能反应模型已被广泛应用于评价天敌寄生或捕食效应(田耀加等, 2012)。本实验研究了圆果大赤螨对不同猎物密度下的捕食能力, 结果表明, 圆果大赤螨对朱砂叶螨、桑蓟马和桑粉虱成虫具有很强的捕食作用, 捕食功能反应均符合 Holling II 功能反应模型, 其捕食量随着桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱等猎物密度的增加而上升, 搜寻效应随猎物密度的增加而降低。在供试的 3 种小型害虫中, 日均捕食量最多的是桑蓟马, 其次是朱砂叶螨, 最少的是桑粉虱。其原因可能是桑蓟马、朱砂叶螨体型较小, 圆果大赤螨对其具有更高的攻击率和控制作用, 而体型稍大的桑粉虱受到攻击时会飞翔, 在一定程度上增加了天敌对猎物的处置时间, 从而降低其捕食率。这与廖冬晴等(2010)和 Cuthbertson 等(2004)的研究结果类似, 圆果大赤螨对体型较小猎物具有较大的捕食量和较强的控制能力。邱良妙等(2011)报道 1 头圆果大赤螨对龙眼角颊木虱 1 龄若虫的捕食量为 476.19 头, 2 龄若虫的捕食量为 178.57 头。本研究得出, 1 头圆果大赤螨对桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱的最大日捕食量分别为 416.67 头、

222.22 头、97.09 头, 此结果说明圆果大赤螨对桑园内的小型害虫具有较强的控制作用, 因此在桑园中, 应注重保护和利用该天敌, 充分发挥天敌的自然控制作用。

Holling III 型反应功能模型在多种捕食性天敌昆虫中已有应用(田耀加等, 2012; 刘萍, 2014; 崔志富, 2015; 王玉洁等, 2015; 朱亮, 2015), 而在圆果大赤螨功能反应中还未有应用。本研究同时用 Holling III 型功能反应新模型进行拟合, 通过卡方检验及相关性分析, 发现该模型同样适合圆果大赤螨对桑蓟马、朱砂叶螨和桑粉虱的捕食作用。该模型考虑到了昆虫食欲的限制, 更加符合实际(汪世泽和夏楚贵, 1988), 由该模型得出的最大捕食量明显低于 Holling II 型模型, 这与其他天敌(刘萍, 2014; 崔志富, 2015; 朱亮, 2015)功能反应的研究结论类似。而且该模型可以估计最佳寻找密度参数, 对 Holling II 模型是一个很好的补充, 可以用于指导天敌的田间释放量。因此认为 Holling II 和 Holling III 两个功能反应模型同时使用能更好地描述天敌的捕食作用。

研究结果表明圆果大赤螨对桑园主要害虫表现较强的捕食能力和控制能力, 尤其是对桑蓟马。捕食螨的捕食行为是一个复杂的行为过程, 既受天敌自身特性的影响, 又受环境因素的制约(柴建萍等, 2013a)。本研究是在室内限定条件下进

行,捕食者与猎物均在一个简单的封闭系统内。但在自然条件下受桑园管理、温度、湿度、其他天敌及害虫等因素的影响,会影响圆果大赤螨的捕食能力。

圆果大赤螨虽然对桑园的主要害虫有较强的控制作用,该螨在蒙自的活动盛期是每年的3月到5月,8月到9月,此时正值蚕桑生产旺季,桑叶采摘和伐条,会严重影响该螨在桑园的种群数量,造成了种群的不稳定性。加之圆果大赤螨有自相残杀的习性,及桑园化学农药的使用,导致该螨生物防控作用减弱。本研究表明,1头圆果大赤螨成螨对朱砂叶螨的日最大捕食量达123.22头,而柴建萍等(2013a)研究表明,胡瓜钝绥螨对朱砂叶螨的日最大捕食量是6.56头。圆果大赤螨对朱砂叶螨的最大日捕食量是胡瓜钝绥螨对朱砂叶螨的最大日捕食量的33.8506倍,进一步说明圆果大赤螨具有较强的捕食能力,因此开展圆果大赤螨人工饲养技术研究及针对桑园害虫防控技术研究具广阔的应用前景。

参考文献 (References)

- Chai JP, Jiang XJ, Xie DY, et al. Preliminary study on predation of *Amblyseius cucumeris* Oudemans to *Tetranychus cinnabarinus* Boisduv in mulberry [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2013a, 26 (3): 1058–1061. [柴建萍, 江秀均, 谢道燕, 等. 胡瓜钝绥螨对桑园朱砂叶螨捕食作用研究初报 [J]. 西南农业学报, 2013, 26 (3): 1058–1061]
- Chai JP, Ni J, Jiang XJ, et al. Effects of sublethal doses of phoxim on enzyme activity of *Pealius mori* (Takahashi) [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013b, 44 (7): 1115–1119. [柴建萍, 倪婧, 江秀均, 等. 辛硫磷亚致死剂量对桑粉虱解毒酶活性的影响 [J]. 南方农业学报, 2013, 44 (7): 1115–1119]
- Chai JP, Xie DY, Jiang XJ, et al. Mulberry field green prevention and control technology application research. In “Innovation driven and modern plant protection” – Academic annual conference proceedings of the 11th National Congress of the China society of plant protection in 2013 [C]. China Society of Plant Protection, 2013: 1. [柴建萍, 谢道燕, 江秀均, 等. 桑园绿色防控技术的应用研究. 见: 中国植物保护学会. “创新驱动与现代植保”——中国植物保护学会第十一次全国会员代表大会暨2013年学术年会论文集 [C]. 中国植物保护学会, 2013: 1]
- Cui ZF, Cao FQ, Lin JT, et al. Predation of *Propylaea japonica* thunberg to *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (4): 834–842. [崔志富, 曹凤勤, 林进添, 等. 龟纹瓢虫对扶桑绵粉蚧的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (4): 834–842]
- Cuthbertson Andrew GS, Murchie Archie K. *Anystis baccarum* – a predatory mite in UK apple orchards [J]. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 2012, 16 (3): 18–22.
- Cuthbertson AGS, Murchie AK. The phenology, oviposition and feeding rate of *Anystis baccarum*, a predatory mite in bramley apple orchards in Northern Ireland [J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2004, 34 (3–4): 367–373.
- Cuthbertson AGS, Murchie AK. Ecological benefits of *Anystis baccarum* in an orchard ecosystem and the need for its conservation [J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2010, 7 (4): 807–813.
- Ding YQ. Mathematical Ecology of Insects [M]. Beijing: Science Press, 1994. [丁岩钦. 昆虫数学生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 1994]
- Holling CS. The components of predation as revealed by study of small – mammal predation of the European pine sawfly [J]. *Canadian Entomologist*, 1959, 91 (5): 293–320.
- Hou SP, Tang P, Gao MQ, et al. Natural enemies of *Pealius mori* (Takahashi) and its application [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (2): 426–430. [侯守鹏, 唐璞, 高明清, 等. 桑粉虱天敌及其利用研究 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (2): 426–430]
- Jiang XJ, Xie DY, Zhong J, et al. The population growth and characters of *Anystis baccarum* (Linnaeus) in mulberry field [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2012, 6: 30–31. [江秀均, 谢道燕, 钟健, 等. 桑园天敌 – 圆果大赤螨特性及田间种群消长规律 [J]. 云南农业科技, 2012, 6: 30–31]
- Liao DQ, Liang GW, Chen YJ. Effects of the predation of big red mite *Anystis baccarum* on tea red mite *Oligonychus coffeae* [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2010, 39 (2): 117–122. [廖冬晴, 梁广文, 岑伊静. 圆果大赤螨对茶红蜘蛛的捕食作用 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2010, 39 (2): 117–122]
- Liu P, Shen P, Wu JH, et al. Predation of *Aphis gossypii* by *Forficula vicaria* adult [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (5): 70–74. [刘萍, 沈平, 吴建华, 等. 迭球蝓成虫对棉蚜的捕食作用 [J]. 植物保护, 2014, 40 (5): 70–74]
- Qiu LM, Zhan ZX, Wu W. Population dynamics of *Anystis baccarum* Linnaeus and its control effect on *Cornegenapsylla sinica* Yang et Li [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (4): 529–533. [邱良妙, 占志雄, 吴玮. 圆果大赤螨的种群动态及其对龙眼角颊木虱的控制作用 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (4): 529–533]
- Tang LD, Li F, Wu JH, et al. Predation function response of *Menochilus sexmaculata* adults to *Bemisia tabaci*, *Aphis craccivora* and *Rhopalosiphum maidis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (2): 202–207. [唐良德, 李飞, 吴建辉, 等. 六斑月瓢虫捕食不同猎物的功能反应研究 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (2): 202–207]
- Tian YJ, Liang GW, Zeng L, et al. Predatory efficiencies of *Pardosa pseudoannulata* on eggs and early instar larvae of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (4): 478–483. [田耀加, 梁广文, 曾玲, 等. 拟环纹豹蛛对亚洲玉米螟卵及低龄幼虫的捕食效应 [J].

- 中国生物防治学报, 2012, 28 (4): 478–483]
- Wang SZ, Xia CG. The new model of Holling – III predatory functional response [J]. *Journal of Ecology*, 1988, 7 (1): 1–3, 44. [汪世泽, 夏楚贵. Holling – III 型功能反应新模型 [J]. 生态学报, 1988, 7 (1): 1–3, 44]
- Wang YJ, Wu J, Zhao YN, et al. Functional response and searching rate of giant Asian mantis *Hierodula patellifera* (Serville) nymphs to litchi stink bug *Tessaratoma papillosa* (Drury) nymphs [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42 (3): 310–315. [王玉洁, 吴娇, 赵怡楠, 等. 广斧螳若虫对荔枝椿象若虫的捕食功能反应与搜寻效应 [J]. 植物保护学报, 2015, 42 (3): 310–315]
- Wu HJ. Preliminary studies on *Anystis baccarum* (Linnaeus) (Acari: Anystidae) [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1994, 16 (3): 101–106. [吴洪基. 圆果大赤螨的初步研究 [J]. 昆虫天敌, 1994, 16 (3): 101–106]
- Wu WJ, Shen SP. Preliminary studies on the control effect of *Anystis baccarum* Linnaeus on *Cornegenapsylla sinica* [J]. *Natural Enemies of Insects*, 1990, 12 (2): 100. [吴伟坚, 沈叔平. 圆果大赤螨对松突圆蚧控制的初步观察 [J]. 昆虫天敌, 1990, 12 (2): 100]
- Xiong ZH, Li BT, Xiong JM, et al. Predatory function of *Anystis baccarum* L. to *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) and its sensitivity to five acaricides [J]. *Jiangxi Plant Protection*, 2011, 34 (2): 67–70. [熊忠华, 李保同, 熊件妹, 等. 圆果大赤螨对萝卜蚜的捕食作用与 5 种杀螨剂的耐药性 [J]. 江西植保, 2011, 34 (2): 67–70]
- Yang ZG, Xie DY, Chai JP, et al. Monitoring on the host preference and occurrence dynamic of *Pseudodendrothrips mori* by blue sticky cards [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42 (3): 62–64. [杨振国, 谢道燕, 柴建萍, 等. 蓝色粘虫板对桑蓟马的寄主趋性及发生动态监测 [J]. 广东农业科学, 2015, 42 (3): 62–64]
- Zeng ZH, Zhou Z, Wei ZJ, et al. Toxicity of five insecticides on predatory mite (*Anystis baccarum* L.) and their effects on predation to tea leafhopper (*Empoasca vitis* Götthe) [J]. *Journal of Tea Science*, 2007, 27 (2): 147–152. [曾兆华, 周喆, 魏智娟, 等. 五种杀虫剂对圆果大赤螨毒力及其对假眼小绿叶蝉捕食作用的影响 [J]. 茶叶科学, 2007, 27 (2): 147–152]
- Zhong J, Chai JP, Xie DY, et al. Investigation on insect pests and natural enemies of mulberry plantation in Mengzi [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 26 (2): 607–611. [钟健, 柴建萍, 谢道燕, 等. 蒙自地区桑园主要害虫及天敌种类调查初报 [J]. 西南农业学报, 2013, 26 (2): 607–611]
- Zhou CT, Tian MJ, Xie DY, et al. Dynamics of *Pealius mori* in mulberry field and screening of control insecticides [J]. *Agrochemicals*, 2015, 54 (3): 231–234. [周春涛, 田梅金, 谢道燕, 等. 桑粉虱的田间消长动态及防治药剂筛选 [J]. 农药, 2015, 54 (3): 231–234]
- Zhu L, Ge ZT, Gong YJ, et al. Effects of temperature on predation of the thrips *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae) by the predatory bug *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthracoridae) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42 (2): 229–236. [朱亮, 葛振泰, 宫亚军, 等. 温度对东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马的影响 [J]. 植物保护学报, 2015, 42 (2): 229–236]