东亚小花蝽（*Orius sauteri*）成虫对入侵害虫西花蓟马（*Frankliniella occidentalis*）成虫的捕食作用

张安盛，于 毅，李丽莉，张思聪

（山东省农业科学院植保所 济南 250100）

摘要 为探明东亚小花蝽对西花蓟马的控制效能，开展了东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食功能反应与寻找效应研究。试验结果表明，在供试温度下，其捕食功能反应符合 Holling II 型方程。在相同温度下，东亚小花蝽成虫的捕食量随着猎物密度的增加而增大，搜寻效应随着猎物密度的增加而降低。在 18～26℃，随着温度的升高，东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量增加，而在 26～34℃则有相反的趋势。在相同猎物密度条件下，随着东亚小花蝽成虫密度的增大，其平均捕食量逐渐减少，捕食作用率 E 也相应地降低，捕食作用率 E 与东亚小花蝽成虫密度 P 的关系为 $E = 0.5224\ P^{-0.7148}$，分摊竞争强度 I 与东亚小花蝽成虫密度 P 的关系为 $I = 0.9689\log P + 0.0763$。

关键词 东亚小花蝽；西花蓟马；捕食作用

文章编号 1000-0933（2007）05-1903-07 **中图分类号** Q968，S433.89 **文献标识码** A

Predation of *Orius sauteri* adult on adults of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), an invasive insect pest

ZHANG An-Sheng, YU Yi, LI Li-Li, ZHANG Si-Cong

Institute of Plant Protection, Shangdong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong Province 250100, *China*

***Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27**(5): 1903 ~ 1909.

Abstract: Functional response and searching rate of the *Orius sauteri* adult to *Frankliniella occidentalis* adults were studied in order to learn the control efficiency of the *O. sauteri* to *F. occidentalis*. The results showed that the functional response could be described by Holling II at all tested temperatures. At the same temperature, predation capacity of *O. sauteri* adult to *F. occidentalis* adults increased with the increment of density of *F. occidentalis* adults, however searching rate decreased. Predation capacity of *O. sauteri* adult increased with the increment of temperature at 18 ~ 26℃, however decreased at 26 — 34℃. At the same prey density, the average predation capacity and predation ratio of *O. sauteri* adult decreased with the increment of its density. The relationship between predation ratio (E) and density of *O. sauteri* adults (P) was described by equation of $E = 0.5224\ P^{-0.7148}$, and the relationship between intensity of scrambling competition (I) and the density of *O. sauteri* adults (P) was $I = 0.9689\log P + 0.0763$.

Key Words: *Orius sauteri*; *Frankliniella occidentalis*; predation

基金项目 山东省农业科学院青年基金资助项目（2006YQN026）

收稿日期 2006-11-02；**修订日期** 2007-03-29

作者简介 张安盛（971～），男，山东济南人，硕士，副研究员，主要从事植物保护研究. E-mail: zhangansheng2003@163.com

致谢 工作中得到山东省农业科学研究院门兴元博士的帮助，谨致谢意

Foundation item: The project was financially supported by Youth Fund of Shangdong Academy of Agricultural Sciences (No. 2006YQN026)

Received date: 2006-11-02; **Accepted date**: 2007-03-29

Biography: ZHANG An-Sheng, Master, Associate professor, mainly engaged in plant protection. E-mail: zhangansheng2003@163.com

西花蓟马 (*Frankliniella occidentalis* Pergande) 属缨翅目、蓟马科,该害虫起源于北美洲,20 世纪 80 年代后迅速向外扩散,现已分布于美洲、欧洲、亚洲、非洲和大洋洲的许多国家和地区,成为一种世界性危险害虫[]。西花蓟马可危害 50 多个科 500 多种植物,同时还传播多种病毒病,严重影响作物的产量和质量[~4]。我国大部分地区气候条件适合西花蓟马的发生和危害,其潜在适宜的定居区分布于全国 28 个省、自治区、直辖市[]。自从 2003 年在北京首次被发现以来[],该害虫又在云南省被发现[],并在局部地区爆发成灾[],且有一步传播蔓延的趋势。

国外对西花蓟马田间发生规律、化学防治等进行了一定的研究[~13],但因西花蓟马个体小,具有隐匿性,随着抗药性的增强,一般的化学防治方法很难对其进行有效防治,所以如何合理利用当地自然天敌控制西花蓟马是当前国外研究的热点课题[4~25]。目前国内关于天敌对西花蓟马的控制效能的研究极少,仅见胡瓜钝绥螨对西花蓟马捕食功能的研究[6]。

蓟马的自然天敌种类很多,其捕食性天敌包括捕食性蝽象、草蛉、捕食性蓟马和捕食性螨等[7],而大量研究表明,半翅目花蝽科 (Anthocoridae) 小花蝽属 (*Orius*) 的许多种对蓟马具有很强的自然控制能力[8~30]。东亚小花蝽 (*Orius sauteri* Poppius) 是我国重要捕食性天敌,研究其对西花蓟马的控制作用对于正确评估西花蓟马的生态风险性以及合理制定西花蓟马的防控技术体系都有重要的理论和实践意义。本文研究了东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食作用,以期为应用东亚小花蝽防治西花蓟马提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

西花蓟马由中国农科院蔬菜所提供,室内在糖果瓶中用芸豆饲养并建立稳定种群,取成虫做供试猎物。东亚小花蝽成虫采自山东省农科院试验农场,在 26℃下先将其转入有高密度西花蓟马成虫的糖果瓶中饲喂 48h,再饥饿 24h 做供试天敌。

1.2 主要仪器设备

HPG-280H 型光照培养箱,容积 26ml 的塑料注射器管,封口膜。

1.3 试验方法

1.3.1 不同温度下东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食功能反应

用 5 台光照培养箱控制温度,设定温度分别为 18、22、26、30、34℃,相对湿度均为 70%。在各供试温度下,将供试西花蓟马成虫吸入塑料注射器管中,共设 6 个密度处理,即 5、10、15、20、25、30 头/管,每管放入一片 1.0 cm × 0.6 cm × 0.2 cm 的芸豆片,再接入 1 头东亚小花蝽成虫,最后用封口膜将注射器封口,每密度处理设置 6 重复。24 h 后检查西花蓟马成虫剩余数和自然死亡数。

1.3.2 东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫的种内干扰

在每支塑料注射器管中吸入 60 头西花蓟马成虫,放入一片 1.0 cm × 0.6 cm × 0.2 cm 的芸豆片,再分别接入 1 头、2 头、3 头、4 头、5 头东亚小花蝽成虫,用封口膜将注射器封口,每密度处理设置 6 重复。将塑料注射器管放入温度 26℃、相对湿度 70% 的光照培养箱中,24 h 后检查西花蓟马成虫剩余数和自然死亡数。

1.4 试验数据处理

1.4.1 功能反应[31]:

$$\frac{1}{N_a}=\frac{1}{aT}\times\frac{1}{N}+\frac{T_h}{T}$$

式中,N 为供试猎物密度;N_a 为被捕食的猎物数量;T 为试验持续时间;a 为瞬时攻击率;T_h 为处置一头猎物时间。因为 T 为 1d (24h),以上公式简化为:

$$\frac{1}{N_a}=\frac{1}{a}\times\frac{1}{N}+T_h \qquad ()$$

1.4.2　寻找效应估计[1]:

$$S = \frac{a}{1 + aT_h N} \quad (2)$$

1.4.3　干扰反应[2]:

$$E = QP^{-m} \text{ 或 } \log E = \log Q - m\log P \quad (E = \frac{N_a}{N \times P}) \quad (3)$$

式中,Q 为寻找常数;P 为捕食者的密度;m 为干扰常数;E 为捕食常数(捕食作用率),N_a 为捕食的猎物总数;N = 猎物密度。

1.4.4　分摊竞争强度[3]:

$$I = (E_1 - E_P)/E_1$$

式中:I 为分摊竞争强度;E_1 为 1 头天敌的捕食作用率,E_P 为密度为 P 的天敌捕食作用率。

以上方程的拟合度用卡方检验方法检验。

2　结果与分析

2.1　东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫捕食功能反应

不同温度下东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量见图 1。图 1 表明,在所有温度下,东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量随着猎物密度的增加而增加,当猎物密度增加到一定限度(25 头/管)后,东亚小花蝽成虫捕食量增加的速度变慢,呈负加速曲线。东亚小花蝽成虫的捕食量随着猎物密度的增加幅度以 26℃条件下最大,18℃条件下最小,22℃与 30℃条件下则较为接近。

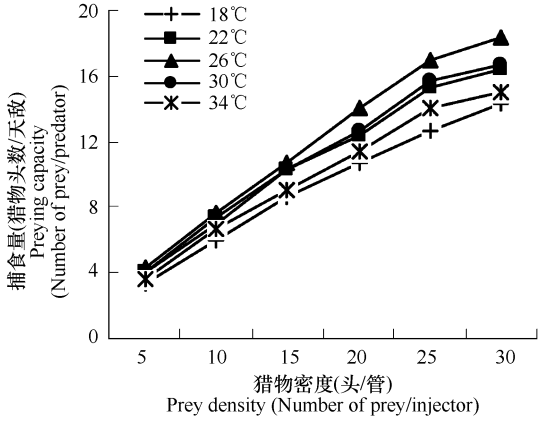

图 1　不同温度下东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量

Fig. 1　Preying capacity of *O. sauteri* adult to *F. occidentalis* adult at different temperatures

根据 Holling Ⅱ型圆盘方程(式 1)计算得到不同温度下东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫的功能反应方程及其参数(表 1)。结果显示,方程的相关系数 R 值均较高(0.9997 ~ 0.9989),表明各温度条件下天敌捕食量与猎物密度显著相关,所有温度下的 X^2 值(0.0801 ~ 0.0076)均低于 $X^2_{(0.01,4)}$(3.28),表明理论捕食量与实际捕食量非常吻合。在供试温度范围内,东亚小花蝽成虫处理一头西花蓟马成虫所需的时间(T_h)以 26℃时最短(0.0195d),34℃时最长(0.0254d);捕食上限以 26℃时最大(51.28 头),34℃时最小(39.37 头);瞬间攻击率(a)以 26℃时最大(0.9375),18℃时最小(0.7222)。

表 1　不同温度下东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的功能反应

Table 1　Functional response of *O. sauteri* adult to *F. occidentalis* adults at different temperatures

温度(℃) Temperature	功能反应方程 Functional response equation	R	T_h(d)	a	捕食上限(头/天) Maximal predation (Number of prey /d)	X^2
18	$1/Na = 0.0244 + 1.3846/N$	0.9997	0.0244	0.7222	40.98	0.0076
22	$1/Na = 0.0220 + 1.1400/N$	0.9997	0.0220	0.8772	45.45	0.0364
26	$1/Na = 0.0195 + 1.0667/N$	0.9990	0.0195	0.9375	51.28	0.0801
30	$1/Na = 0.0210 + 1.1555/N$	0.9989	0.0210	0.8654	47.62	0.0594
34	$1/Na = 0.0254 + 1.2404/N$	0.9996	0.0254	0.8062	39.37	0.0416

2.2　东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫寻找效应估计

东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫在不同温度条件下的寻找效应见图 2。图 2 显示,在供试温度下东亚小

花蝽成虫对西花蓟马成虫的寻找效应均随着猎物密度的增加而降低。西花蓟马成虫密度相同时,东亚小花蝽成虫的寻找效应在不同温度下有较大的差异,在 26℃时始终最高,18℃时始终最低。在 18 ~ 26℃范围内,东亚小花蝽成虫的寻找效应随温度的升高而增加,26 ~ 34℃范围内,其寻找效应随温度的升高而降低。

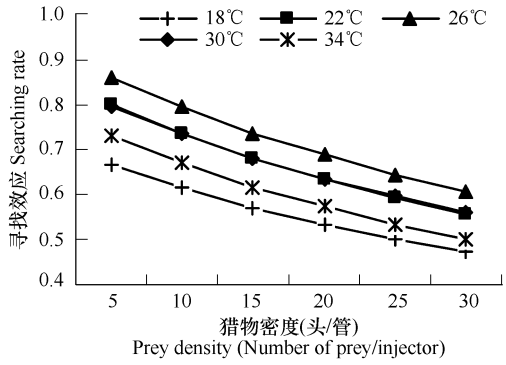

图 2 不同温度下东亚小花蝽成虫寻找效应与西花蓟马成虫密度的关系

Fig. 2 Relationship between searching rate of *O. adult* and density of *F. occidentalis* adults at different temperatures condition

2.3 东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫捕食作用的种内干扰

根据公式 3 计算出捕食作用率 (E) 见表 2。表 2 显示,东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的平均捕食量随着其自身密度的增大逐渐减少,捕食作用率逐渐降低。当东亚小花蝽成虫由 1 头增加到 2 头时,其捕食作用率下降 0.2695,当其密度继续增加 (3 ~ 5 头) 时,捕食作用率下降的幅度则相对变小 (0.0509 ~ 0.0275)。根据干扰反应公式 (式 3) 计算得出,东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫过程中的自我干扰方程为 $E = 0.5224\ P^{-0.7148}$,其相关系数为 0.9898,表明捕食作用率与捕食者密度显著相关,卡方检验显示,X^2 值 (0.0057) 小于 $X^2_{(0.01,3)}$ (11.34),表明上述模型可以用来描述东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫过程中的自我干扰情况。

表 2 东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫捕食作用率 (E) 和分摊竞争强度 (I)

Table 2 Predation rate (E) and intensity of scrambling competition (I) of *O. sauteri* adults to *F. occidentalis* adults

项目 Item	东亚小花蝽成虫密度 (头/管) Density of *O. sauteri* adult (Number /injector)				
	1	2	3	4	5
捕食量 (猎物头数/天敌) Preying capacity (Number of prey/predator)	33.33	17.17	14.11	11.92	10.27
捕食作用率 Predation ratio	0.5556	0.2861	0.2352	0.1986	0.1711
分摊竞争强度 Intensity of scrambling competition	0	0.4850	0.5767	0.6425	0.6920

利用分摊竞争强度公式 (式 4) 计算出分摊竞争强度参数见表 2,图 3。东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫所产生的竞争是分摊竞争,I 与 $\log P$ 之间关系式为 $I = 0.9689\log P + 0.0763$,其相关系数为 0.9589,表明两者显著相关,卡方检验显示,X^2 值 (0.0971) 小于 $X^2_{(0.01,3)}$ (1.34),表明该模型能够较好地描述东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫过程中的分摊竞争情况。图 3 显示,东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫的种内分摊竞争强度随着自身密度的对数值的增长而呈直线增加。

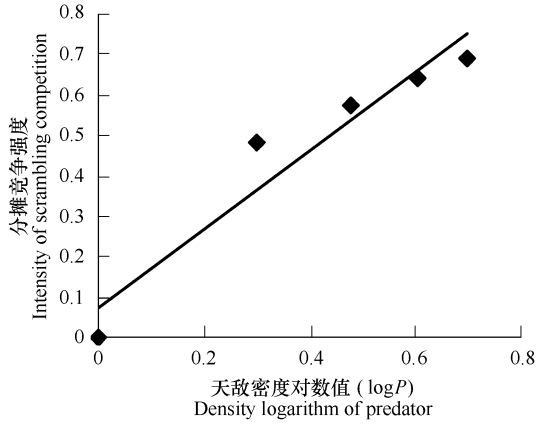

图 3 东亚小花蝽成虫密度与其捕食西花蓟马成虫种内分摊竞争强度的关系

Fig. 3 Relationship between density of *O. sauteri* adults (P) and intensity of scrambling competition (I) predating on *F. occidentalis* adults

2.4 温度对东亚小花蝽成虫捕食西花蓟马成虫的影响

不同温度条件下,东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量见图 4。图 4 显示,相同猎物密度条件下,在 18 ~ 26℃范围内,随着温度的升高,东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量逐渐增多;而在 26 ~ 34℃范围内则随着温度升高,捕食量逐渐下降。

东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量与温度的回归方程见表 3,表 3 显示,所有的回归方程中方程的相关系数均较高 (0.9963 ~ 0.9360),表明东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量与温度显著相关,卡方检验显示 X^2 值 (0.0446 ~ 0.0028) 均远小于 $X^2_{(0.01,3)}$ (1.34),表明回归方程能较好拟合温度对东亚小花蝽成虫捕食作用的影响。

3　讨论

在国外有许多种小花蝽 (*Orius*) 如 :*O. laevigatus*、*O. majusculus*、*O. armatus*、*O. heteroriosus*、*O. tantillus*、*O. insidiosus* 等被广泛用来防治西花蓟马[3,4],对于东亚小花蝽研究的则相对较少。Paik 等研究表明相对于东亚小花蝽当地常见食物棉蚜、叶螨,取食西花蓟马的东亚小花蝽的发育历期更短、寿命更长、繁殖力更高,表明西花蓟马是东亚小花蝽适宜食物[4],而在所设定的西花蓟马密度下,一头东亚小花蝽成虫日平均捕食西花蓟马成虫 33.33 头,26℃下的理论日捕食量达 51.28 头,这表明东亚小花蝽对西花蓟马的成虫有非常强的捕食能力。

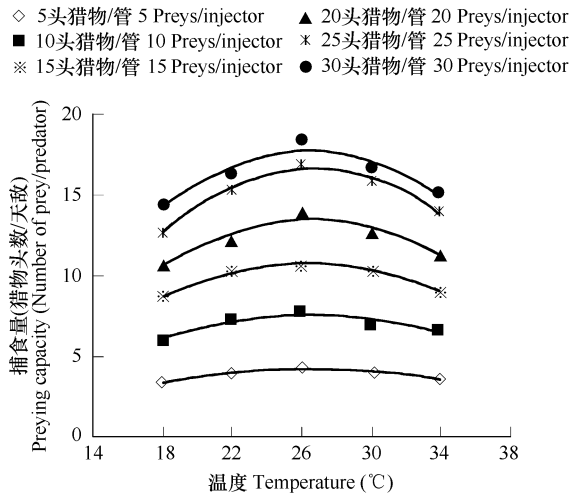

图 4　温度对东亚小花蝽成虫捕食不同密度的西花蓟马成虫的影响

Fig. 4　Effect of temperature on predation of *O. sauteri* adult to *F. occidentalis* adults at different densities

温度是影响害虫生物防治的一个重要因子,可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[5]。研究不同温度下东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫功能反应,有利于根据田间温度的变化预测东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的控制能力,从而为东亚小花蝽的田间释放提供理论基础。西花蓟马最适宜发育温度为 20 ~ 30℃[6],本研究表明东亚小花蝽成虫在此温度范围内对西花蓟马成虫的功能反应均符合 Holling II 型方程,且一直对猎物保持着较强的捕食能力。但该捕食反应试验是在室内限定条件下进行的,猎物与捕食者均在一个简单的封闭系统内,而自然界中,除了温度外,捕食性天敌的捕食能力还受湿度、光周期等多种因子的影响,这些因子对东亚小花蝽捕食西花蓟马的影响有待研究。

表 3　东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的捕食量与温度的回归方程

Table 3　Regression models to describe relationships between temperature and predation capacity of *O. sauteri* adult to *F. occidentalis* adults

西花蓟马成虫密度 (头/管) Density of *O. sauteri* adult (Number /injector)	回归方程 Regression equation	R	X^2
5	$y = -0.0119\ x^2 + 0.6345\ x - 4.2235$	0.9778	0.0068
10	$y = -0.0193\ x^2 + 1.0304\ x - 6.1713$	0.9360	0.0287
15	$y = -0.0297\ x^2 + 1.5616\ x - 9.7765$	0.9963	0.0028
20	$y = -0.0402\ x^2 + 2.1308\ x - 14.7510$	0.9601	0.0394
25	$y = -0.0521\ x^2 + 2.7818\ x - 20.5385$	0.9837	0.0226
30	$y = -0.0491\ x^2 + 2.5956x - 16.5850$	0.9598	0.0446

寻找效应是捕食者在捕食过程中对寄主攻击的一种行为效应[1],本研究表明随着自身密度的增大,东亚小花蝽成虫对西花蓟马成虫的平均捕食量逐渐减少,寻找效应逐渐下降,捕食作用率逐渐降低,个体间存在分摊竞争,故在田间释放东亚小花蝽防治西花蓟马时还应研究东亚小花蝽释放密度,以达到最佳的控害效能。

外来生物入侵是指外来生物在自然状态或人类作用下,在异地获得生长与繁殖的现象,外来生物入侵将成为导致生物多样性丧失的首要因素,对生物多样性、生态系统完整性造成极大的威胁[7]。西花蓟马作为重要危险性入侵害虫已经在我国定居,一旦传播蔓延,将造成无法估计的损失。充分发挥本土的天敌资源的作用,是建立西花蓟马防控体系的重要环节。在室内研究中东亚小花蝽已经表现出对西花蓟马很强的捕食能力

和控制潜力,在自然界中其对西花蓟马的控制能力还需进一步的研究。

References:

[1] Dai L, Du Y Z, Ju R T, *et al*. Status of diffusion for the Western flower thrip. Entomological Journal of East China, 2005, 14 (2): 150-154.

[2] Morse J G, Hoddle M S. Invasion biology of thrips. Annual Review of Entomology, 2006, 51: 67-89.

[3] Lu Y B, Bei Y W, Lin W C, *et al*. The biology, host and damage of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2004, 16 (6): 317-320.

[4] Wu Q J, Zhang Y J, Xu B Y, *et al*. The biological character, damage and management of an invasive insect pest, *Frankliniella occidentalis*. Chinese Bulletin of Entomology, 2005, 42 (1): 11-15.

[5] Dai L, Du Y Z, Zhang L W, *et al*. A preliminary study on the suitable establishment areas of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in China. Plant Protection, 2004, 30 (6): 48-51.

[6] Zhang Y J, Wu Q J, Xu BY, *et al*. Dengerous alien invasive species-occurrence and damages of *Frankliniella occidentalis* in Beijing. Plant Protection, 2003, 29 (4): 58-59.

[7] Xu J J, Wei L L. An invasive insect pest, Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), was found in Lincang city. Plant Quarantine, 19 (6): 294-295.

[8] Ren J, Lei Z R, Zhang L J, *et al*. The occurrences and damages of *Frankliniella occidentalis* in Beijing municipality. China Plant Protection, 2006, 26 (6): 5-7.

[9] Cho K, Kennedy G G, Walgenbach J F. Daily and temporal occurrence of *Frankliniella* spp. (Thysanoptera: Thripidae) on tomato. Applied Entomology and Zoology, 2000, 35 (2): 207-214.

[10] Pearsall I A, Myers J H. Population dynamics of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in nectarine orchards in British Columbia. Journal of Economic Entomology, 2000, 93 (2): 264-275.

[11] Han J B, Ann K S, Lee C K, *et al*. Fumigant Toxicity of Pennyroyal and Spearmint oils against Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis*. Korean Journal of Applied Entomology, 2006, 45 (1): 45-49.

[12] Bhagwat B, Lane W D. Eliminating thrips from in vitro shoot cultures of apple with insecticides. HortScience, 2003, 38 (1): 97-100.

[13] Hardie D C, Cook D F, Seaton K A. The effectiveness of a range of insecticides against western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) (Thysanoptera: Thripidae) on cut flowers. Australian Journal of Agricultural Research, 1997, 48 (6): 781-788.

[14] Al-mazra'awi M S, Shipp L, Broadbent B, *et al*. Biological control of *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae) and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) by *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) vectored *Beauveria bassiana* in greenhouse sweet pepper. Biological Control, 2006, 37: 89-97.

[15] Arthurs S, Heinz K M. Evaluation of the nematodes *Steinernema feltiae* and *Thripinema nicklewoodi* as biological control agents of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* infesting chrysanthemum. Biocontrol Science and Technology, 2006, 16: 141-155.

[16] Ebssa L, Borgemeister C, Poehling H M. Simultaneous application of entomopatho genic nematodes and predatory mites to control western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. Biological Control, 2006, 39: 66-74.

[17] Kim J H, Byeon Y W, Kim Y H, *et al*. Biological Control of Thrips with *Orius strigicollis* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) on Greenhouse Green pepper, weet pepper and Cucumber. Korean Journal of Applied Entomology, 2006, 45: 1-7.

[18] Shipp J L, Wang K. Evaluation of *Dicyphus hesperus* (Heteroptera: Miridae) for biological control of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse tomato. Journal of Economic Entomology. 2006, 99: 414-420.

[19] Skirvin D, Kravar-Garde L, Reynolds K, *et al*. The influence of pollen on combining predators to control *Frankliniella occidentalis* in ornamental chrysanthemum crops. Biocontrol Science and Technology, 2006, 16, 99-105.

[20] Van Driesche R G, Lyon S, Stanek E J, *et al*. Evaluation of efficacy of *Neoseiulus cucumeris* for control of western flowerthrips in spring bedding crops. Biological Control, 2006, 36 (2): 203-215.

[21] Reitz S R, Funderburk J E, Waring S M. Differential predation by the generalist predator *Orius insidiosus* on congeneric species of thrips that vary in size and behavior. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2006, 119 (3): 179-188.

[22] Xu X O, Borgemeister C, Poehling H M. Interactions in the biological control of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and two-spotted spider mite Tetranychus urticae Koch by the predatory bug *Orius insidiosus* Say on beans. Biological Control, 2006, 36 (1): 57-64.

[23] Kakimoto K, Inoue H, Hinomoto N, *et al*. Potential of *Haplothrips brevitubus* (Karny) (Thysanoptera: Phlaeothripidae) as a predator of mulberry thrips Pseudodendrothrips mori (Niwa) (Thysanoptera: Thripidae). Biological Control, 2006, 37 (3): 314-319.

[24] Berndt O, Poehling H M, Meyhofer R. Predation capacity of two predatory laelapid mites on soil-dwelling thripsstages. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2004, 112 (2): 107-115.

[25] Baez I, Reitz S E, Funderburk J E. Predation by *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae) on life stages and species of *Frankliniella* flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in pepper flowers. Environmental Entomology, 2004, 33 (4): 662-670.

[26] Zhi J R, Ren S X. The functional response and numerical response of *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Journal of South China Agricultural University, 2006, 27 (4): 35-38.

[27] Ananthakrishnan T N. Biosystematics of Thysanoptera. Annual Review of Entomology, 1979, 24: 159-183.

[28] Kiman Z B, Yeargan K V. Development and reproduction of the predator *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) reared on diets of selected plant material and arthropod prey. Annals of the Entomological Society of America, 1985, 78: 464-467.

[29] Schmidt J M, Richards P C, Nadel H, *et al*. A rearing method for the production of large numbers of the Insidiosus flower bug, *Orius insidiosus* (Say). The Canadian Entomologist, 1995, 127: 445-447.

[30] Husseini M, Schumann K, Sermann H. Rearing immature feeding stage of *Orius majusculus* Reut. on the acarid mite *Tyrophagus putriscentiae* Schr. as a new alternative prey. Journal of applied Entomology, 1993, 116: 113-117.

[31] Ding Y Q, Mathematical models of the interaction between natural enemies and its prey. In: Ding Y Q ed. The Theory and Application of Insect Population Mathematics Ecology. Beijing: Science Press, 1980. 195-211.

[32] Hassell M P, Verley G C. New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control. Nature, 1969, 223: 1113-1117.

[33] Zou Y D, Geng J G, Chen G C, *et al*. Predation of *Harmonia axyridis* nymph on *Schizaphis graminun*. Chinese Journal of Applied Ecology, 1996. 7 (2): 197-200.

[34] Paik C H, Hwang C Y, Lee G H, *et al*. Development, reproduction and longevity of predator *Orius sauteri* poppius (Hemiptera: anthocoridae) when reared on three different preys. Korean Journal of Applied Entomology, 2003, 42: 35-41.

[35] Li D X, Tian J, Shen Z R. Functional response of predatory thrips *Scolothrips takahashii* Prisener to *Tetranychus viennensis* Zacher. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (5): 1414-1421.

[36] Lublinkoh J, Foster D E. Development and reproductive capacity of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) reared at three temperatures. Kansas Entomological Society, 1977, 50: 313-316.

[37] Huang H J, Ye W H. Exotic invasion and species diversity. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23 (2): 121-126.

参考文献:

[1] 戴霖,杜予州,鞠瑞亭,等. 危险性害虫西花蓟马的传播现状. 华东昆虫学报, 2005, 14 (2): 150~154.

[3] 吕要斌,贝亚维,林文彩,等. 西花蓟马的生物学特性、寄主范围及危害特点. 浙江农业学报, 2004, 16 (5): 317~320.

[4] 吴青君,张友军,徐宝云,等. 入侵害虫西花蓟马的生物学、危害及防治技术. 昆虫知识, 2005, 42 (1): 11~15.

[5] 戴霖,杜予州,张刘伟,等. 西花蓟马在中国的适应性分布研究初报. 植物保护, 2004, 30 (6): 48~51.

[6] 张友军,吴青君,徐宝云,等. 危险性外来入侵生物-西花蓟马在北京发生危害. 植物保护, 2003, 29 (4): 58~59.

[7] 徐家菊,韦丽莉. 临沧市新发现外来有害生物——西花蓟马. 植物检疫, 2005, 19 (5): 294~295.

[8] 任洁,雷仲仁,张令军,等. 北京地区西花蓟马发生危害调查研究. 中国植保导刊, 2006, 26 (5): 5~7.

[26] 郅军锐,任顺祥. 胡瓜钝绥螨对西花蓟马的功能反应和数值反应. 华南农业大学学报, 2006, 27 (3): 35~38.

[31] 丁岩钦. 天敌与寄主作用关系的数学模式. 见:丁岩钦主编. 昆虫种群数学生态学原理及应用. 北京:科学出版社, 1980. 195~211.

[33] 邹运鼎,耿继光,陈高潮,等. 1996. 异色瓢虫若虫对麦二叉蚜的捕食作用. 应用生态学报, 7 (2): 197~200.

[35] 李定旭, 田娟, 沈佐锐. 塔六点蓟马对山楂叶螨的功能反应. 生态学报, 2006, 26 (5): 1414~1421.

[37] 黄红娟, 叶万辉. 外来种入侵与物种多样性. 生态学杂志, 2004, 23 (2): 121~126.