

# 中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食 功能反应与搜寻效应

张安盛 李丽莉 于毅 门兴元

(山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100)

**摘要:** 中华草蛉是蓟马的重要天敌, 为探明其对西花蓟马的控制效能, 在室内开展了中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食功能反应与搜寻效应研究。结果表明, 在供试温度下, 该捕食功能反应符合Holling II型方程。在相同温度下, 中华草蛉幼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℃范围内, 随着温度的升高, 中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食量增加, 而在26~34℃范围则有相反的趋势。26℃时捕食数量最大, 捕食上限达163.9头。在相同猎物密度条件下, 捕食作用率与中华草蛉幼虫密度的关系为 $E = 0.3284 P^{-0.4467}$ , 分摊竞争强度与中华草蛉幼虫密度的关系为 $I = 0.8203 \lg P + 0.0038$ 。

**关键词:** 中华草蛉; 西花蓟马; 捕食功能反应; 搜寻效应

## Functional response and searching rate of *Chrysopa sinica* larvae on *Frankliniella occidentalis* nymphs

ZHANG An-sheng LI Li-li YU Yi MEN Xing-yuan

(Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China)

**Abstract:** *Chrysopa sinica* is major natural enemy of thrips. Functional response and searching rate of *C. sinica* larvae on *Frankliniella occidentalis* nymphs were studied in laboratory in order to learn the control efficiency of the *C. sinica* on *F. occidentalis*. The functional response could be described with Holling II equation within the range of test temperature. At same temperature, the predation capacity of *C. sinica* larvae on *F. occidentalis* nymphs increased with the increasing density of *F. occidentalis* nymphs, while searching rate decreased. Predation capacity of *C. sinica* larvae increased with the increase of temperature at 18–26℃, however decreased at 26–34℃. At 26℃, predation number was the highest, which was 163.9. At same prey density, the relationship between predation ratio ( $E$ ) and density of *C. sinica* larvae ( $P$ ) was described by equation of  $E = 0.3284 P^{-0.4467}$ , and the relationship between intensity of scrambling competition ( $I$ ) and the density of *C. sinica* larvae ( $P$ ) is  $I = 0.8203 \lg P + 0.0038$ .

**Key words:** *Chrysopa sinica*; *Frankliniella occidentalis*; functional response; searching rate

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* Pergande 是世界性危险害虫, 分布于全球 69 个国家和地区<sup>[1]</sup>。我国大部分地区气候条件适合该害虫的发生和危害, 其潜在适宜定居区分布于全国 28 个省、自治区、直辖市<sup>[2]</sup>。自 2003 年在北京首次被发现后<sup>[1]</sup>, 西

花蓟马又在云南、浙江等省被发现<sup>[3]</sup>, 并在局部地区暴发成灾<sup>[4]</sup>。西花蓟马可危害 50 多个科 500 多种植物, 并传播多种病毒病, 对农业生产造成严重危害<sup>[1]</sup>, 成为影响我国蔬菜、果树、棉花等作物生产的潜在威胁。

基金项目: 国家基础研究发展计划(2002CB111400)

作者简介: 张安盛, 男, 1971 年生, 副研究员, 主要从事害虫生物防治研究, email: zhangansheng2003@163.com

收稿日期: 2007-02-05

国外对西花蓟马研究较多,如生物学习性、田间发生规律、化学防治技术等<sup>[5~8]</sup>,但随着其抗药性的增强,合理利用当地自然天敌控制西花蓟马是当前国外研究的重要内容<sup>[9~13]</sup>。国内对西花蓟马的研究刚刚起步,主要是对其鉴定方法<sup>[14,15]</sup>、地理分布<sup>[2,16]</sup>、田间发生和危害状况<sup>[4,17]</sup>、药剂筛选试验<sup>[18]</sup>等进行初步研究,关于自然天敌对西花蓟马控制作用的报道仅见胡瓜钝绥螨对西花蓟马捕食功能的研究<sup>[19]</sup>。

蓟马的自然天敌种类很多,其捕食性天敌包括草蛉、捕食性蝽象和捕食性螨等<sup>[20]</sup>。中华草蛉 *Chrysopa sinica* Tjeder 是中国重要捕食性天敌,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。作者研究了中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食功能反应与搜寻效应,以期应用中华草蛉防治西花蓟马提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

西花蓟马由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供,室内在糖果瓶中用芸豆饲养多代并建立稳定种群,选择 2~3 龄若虫作供试猎物。中华草蛉由山东农业大学植保学院提供,室内将初孵幼虫移入小试管中用西花蓟马单头饲养,选择大小一致的 2 龄幼虫,饥饿 24 h 后作供试天敌。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 不同温度下中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食功能反应

用 5 台 HPG-280H 型光照培养箱控制温度,供试温度分别为 18、22、26、30、34℃ (±0.5℃),相对湿度均为 65%±3%。在各试验温度下,将供试西花蓟马若虫吸入塑料注射器管(容积 26 mL,下同)中,设 20、40、60、80、100、120、140 头/管 7 个密度处理,每管放入一体积为 1.0 cm × 0.5 cm × 0.2 cm 的芸豆片,再接入 1 头中华草蛉幼虫,最后用封口膜将注射器封口,每密度处理 4 次重复。24 h 后检查西花蓟马若虫剩余数和自然死亡数。

#### 1.2.2 中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫的种内干扰

在每支塑料注射器管中吸入 300 头西花蓟马若虫,放入一体积为 1.0 cm × 0.5 cm × 0.2 cm 的芸豆片,再分别接入 1、2、3、4、5 头中华草蛉幼虫,用封口膜将注射器封口,每密度处理 4 次重复。将塑料注

射器管放入温度 26 ± 0.5℃、相对湿度 65% ± 3% 的 HPG-280H 型光照培养箱中,24 h 后检查西花蓟马若虫剩余数和自然死亡数。

### 1.3 数据处理

#### 1.3.1 功能反应<sup>[21]</sup>

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

式中: $N_a$  为被捕食的猎物数量; $N$  为猎物密度; $a$  为瞬时攻击率; $T$  为试验持续时间(1 天); $T_h$  为处置 1 头猎物时间。

#### 1.3.2 搜寻效应估计<sup>[22]</sup>

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

#### 1.3.3 干扰反应<sup>[22]</sup>

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

式中: $Q$  为搜寻常数; $P$  为捕食者的密度; $m$  为干扰常数; $E$  为捕食作用率; $N_a$  为被捕食的猎物数量; $N$  为猎物密度。

#### 1.3.4 分摊竞争强度<sup>[23]</sup>

$$I = (E_1 - E_p) / E_1 \quad (4)$$

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。

## 2 结果与分析

### 2.1 中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫捕食功能反应

结果表明,在相同温度条件下,中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食量均随着猎物密度的增加而增加,当猎物密度增加到一定限度(100 头/管)后,中华草蛉幼虫捕食量增加的速度变慢,呈负加速曲线;在相同猎物密度条件下,其捕食量在 18~26℃ 范围内随着温度的升高而逐渐增加,26~34℃ 范围内则随着温度升高而逐渐减少(图 1)。

根据 Holling II 型圆盘方程(公式 1)计算得到不同温度下中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫的功能反应方程及其参数(表 1)。结果显示,方程的相关系数均大于 0.9960,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  $\chi^2$  值均远低于  $\chi^2_{(0.01,5)}$  (15.09),理论捕食量与实际捕食量非常吻合。在供试温度范围内,26℃ 条件下中华草蛉幼虫处理 1 头西花蓟马若虫所需的时间最短,捕食上限最大,瞬间攻击率最大;18℃ 条件下中华草蛉幼虫处

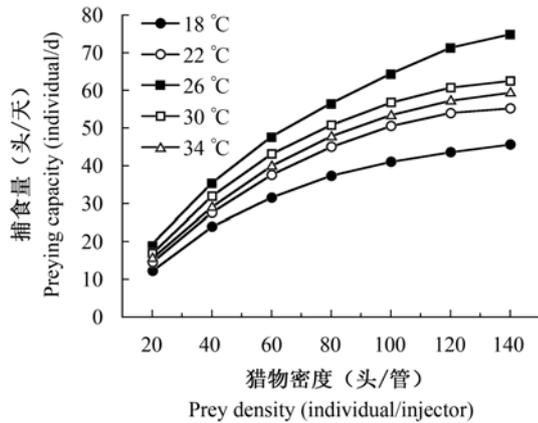


图1 不同温度条件下中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食量

Fig. 1 Preying capacity of *C. sinica* larvae on *F. occidentalis* nymphs at different temperatures

理1头西花蓟马若虫所需的时间最长,捕食上限最小,瞬间攻击率最小。

## 2.2 中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫搜寻效应估计

利用搜寻效应公式(公式2)计算出不同温度下中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫的搜寻效应(图2)。结果显示,在相同温度下,中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的搜寻效应随着猎物密度的增加而降

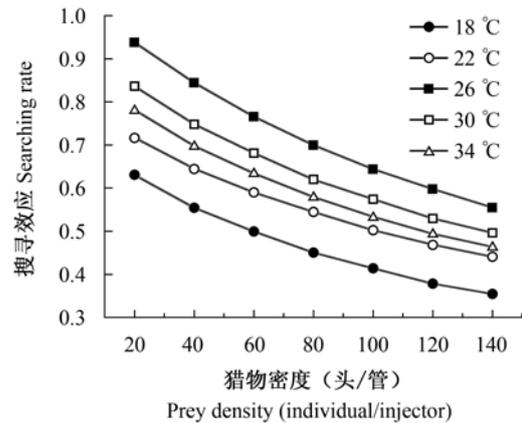


图2 不同温度条件下中华草蛉幼虫搜寻效应与西花蓟马若虫密度的关系

Fig. 2 Relationship between searching efficiency of *C. sinica* larvae and density of *F. occidentalis* nymphs at different temperatures

低。西花蓟马若虫密度相同时,中华草蛉幼虫的搜寻效应在不同温度下有较大的差异,在26°C时始终最高,18°C时始终最低。在18~26°C范围内,中华草蛉幼虫的搜寻效应随温度的升高而上升,26~34°C范围内,其搜寻效应随温度的升高而降低。

表1 不同温度条件下中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的功能反应

Table 1 Functional response of *C. sinica* nymph on *F. occidentalis* nymphs at different temperatures

温度(°C) Temperature	功能反应方程 Functional response equation	$R$	$T_h$ (d)	$a$	捕食上限 (individual /d) Maximal predation	$\chi^2$
18	$1/N_a = 1.3862/N + 0.0103$	0.9970	0.0103	0.7214	97.1	0.6013
22	$1/N_a = 1.2578/N + 0.0072$	0.9967	0.0072	0.7950	138.9	1.1207
26	$1/N_a = 0.9409/N + 0.0061$	0.9992	0.0061	1.0628	163.9	0.2250
30	$1/N_a = 1.0636/N + 0.0068$	0.9964	0.0068	0.9402	147.1	1.1650
34	$1/N_a = 1.1389/N + 0.0073$	0.9977	0.0073	0.8780	137.0	0.7470

## 2.3 中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫的种内干扰

每支塑料注射器管中接入4、5头中华草蛉幼虫的处理因其自相残杀而未能得到有效数据,故仅根据每管中接入1、2、3头中华草蛉幼虫的试验结果计算捕食作用率 $E$ (表2)。结果显示,在西花蓟马若虫密度相同条件下,随着中华草蛉幼虫密度的增大,其平均捕食量逐渐减少,捕食作用率逐渐降低。根据干扰反应公式(公式3)计算得出,中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫过程中的自我干扰方程为 $E = 0.3284 P^{-0.4467}$  ( $Q = 0.3284, m = 0.4467$ ),其相关系数为0.9998,表明捕食作用率与捕食者密度显著相关, $\chi^2$ 值(0.00001)小于 $\chi^2_{(0.01,1)}$ (6.63),上述模型

可以用来描述中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫过程中的自我干扰情况。

利用分摊竞争强度公式(公式4)计算出分摊竞争强度参数(表2)。中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫所产生的竞争是分摊竞争, $I$ 与 $\lg P$ 之间关系式为 $I = 0.8203 \lg P + 0.0038$ ,该分摊竞争强度随着中华草蛉幼虫自身密度对数值的的增长而呈直线增加;其相关系数为0.9990,表明两者显著相关, $\chi^2$ 值(0.0043)小于 $\chi^2_{(0.01,1)}$ (6.63),该模型能够较好地描述中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫过程中的分摊竞争情况。

表 2 中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫捕食作用率( $E$ )和分摊竞争强度( $I$ )Table 2 Predation ratio( $E$ ) and intensity of scrambling competition ( $I$ ) of *C. sinica* larvae on *F. occidentalis* nymphs

中华草蛉幼虫密度(individual/injector)	捕食量(individual/d)	捕食作用率	分摊竞争强度
Density of <i>C. sinica</i> larvae	Preying capacity	Predation ratio	Intensity of scrambling competition
1	98.3	0.3278	0.0000
2	72.7	0.2422	0.2610
3	60.1	0.2004	0.3887
4	—	—	—
5	—	—	—

### 2.4 温度对中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫的影响

利用二次曲线模拟温度对中华草蛉幼虫捕食西花蓟马若虫的影响。结果显示,所有回归方程相关系数均大于0.90,表明中华草蛉幼虫对西花蓟

马若虫的捕食量与温度相关性较高, $\chi^2$ 值均小于 $\chi^2_{(0.01,3)}(11.34)$ (表3),回归方程能较好拟合温度对中华草蛉幼虫捕食作用的影响。

表 3 中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的捕食量与温度的回归模型

Table 3 Regression models to describe relationships between temperature and predation capacity of *C. sinica* larvae on *F. occidentalis* nymphs

西花蓟马若虫密度(individual/injector)	回归方程	$R$	$\chi^2$
Density of <i>F. occidentalis</i> nymph	Regression equation		
20	$y = -0.0551x^2 + 3.0752x - 25.5888$	0.9882	0.3143
40	$y = -0.1042x^2 + 5.8156x - 48.0013$	0.9256	0.3518
60	$y = -0.1458x^2 + 8.1674x - 69.3568$	0.9523	0.3174
80	$y = -0.1755x^2 + 9.8114x - 83.4160$	0.9465	0.4241
100	$y = -0.2098x^2 + 11.6857x - 102.1430$	0.9309	0.6794
120	$y = -0.2396x^2 + 13.3148x - 119.4485$	0.9012	1.2019
140	$y = -0.2590x^2 + 14.3524x - 130.3125$	0.9928	1.4322

## 3 讨论

中华草蛉作为对多种害虫有较好控制作用的一种捕食性天敌,很早就受到人们的重视。国内学者对中华草蛉的捕食功能反应和控害效果做过一些研究,但猎物主要为粉虱、叶螨、蚜虫等害虫<sup>[24~27]</sup>,而中华草蛉对西花蓟马的捕食功能反应则未见报道。探明中华草蛉对西花蓟马的捕食功能反应和搜寻效应,对于充分发挥中华草蛉的控害作用、科学指导对西花蓟马的生物防治具有重要意义。

多种天敌对西花蓟马具有较好的捕食作用。Xu等<sup>[12]</sup>研究表明,淡翅小花蝽对西花蓟马具有较强的捕食作用,单头小花蝽捕食量达62.5~67.7头;邹军锐等<sup>[19]</sup>的研究表明,胡瓜钝绥螨对西花蓟马的理论日捕食量达17.4头。在本试验所设定的西花蓟马密度下,1头中华草蛉幼虫日平均捕食西花蓟马若虫98.3头,26℃下的理论日捕食量达163.9头,表明中华草蛉对西花蓟马的若虫有很强的捕食潜能。

温度是影响天敌捕食作用的重要因子,研究不同温度下中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫功能反应,有利于根据田间温度的变化预测中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫的控制潜能。西花蓟马最适宜发育温度为20~30℃<sup>[28]</sup>,本研究表明,在此温度范围内中华草蛉幼虫对西花蓟马若虫保持着较强的捕食能力。但该试验是在室内限定条件下进行的,而自然界中,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,这些因子对中华草蛉捕食西花蓟马的影响还有待研究。

本研究表明,在西花蓟马若虫密度相同条件下,随着自身密度的增大,中华草蛉幼虫的日平均捕食量逐渐减少,捕食作用率逐渐降低,个体间存在分摊竞争,故在田间释放中华草蛉防治西花蓟马时还应研究中华草蛉释放密度,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<sup>[29]</sup>。西花蓟马作为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,中华草蛉已经表现出对西花蓟马很强的捕食和控制潜力,在自然界中其对西花蓟马的控制能力还需进一步研究。

致谢:本研究承蒙山东农业大学植保学院许永玉教授悉心指导,谨致谢意。

### 参 考 文 献 (References)

- 1 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):11-14
- 2 戴霖,杜予州,张刘伟,等. 西花蓟马在中国的适生性分布研究初报. 植物保护, 2004, 30(6):48-51
- 3 吴青君,徐宝云,张治军,等. 京、浙、滇地区植物蓟马种类及其分布调查. 中国植保导刊, 2007, 27(1):32-34
- 4 任洁,雷仲仁,张令军,等. 北京地区西花蓟马发生为害调查研究. 中国植保导刊, 2006, 26(5):5-7
- 5 Ishida H, Murai T, Sonoda S, et al. Effects of temperature and photoperiod on development and oviposition of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). Applied Entomology and Zoology, 2003, 38(1): 65-68
- 6 Cho K, Walgenbach J F, Kennedy G G. Daily and temporal occurrence of *Frankliniella* spp. (Thysanoptera: Thripidae) on tomato. Applied Entomology and Zoology, 2000, 35(2):207-214
- 7 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
- 8 Seaton K A, Cook D F, Hardie D C. 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
- 9 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(1): 89-97
- 10 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(1/2): 141-155
- 11 Ebssa L, Borgemeister C, Poehling H M. Simultaneous application of entomopathogenic nematodes and predatory mites to control western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. Biological Control, 2006, 39(1): 66-74
- 12 Xu X N, 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
- 13 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(1/2): 99-105
- 14 周力兵,刘忠善,李春艳,等. PCR法鉴定西花蓟马. 植物检疫, 2007, 21(2):78-81
- 15 刘宁,任立,张润志,等. 西花蓟马的鉴别及其与近缘种的区别. 昆虫知识, 2005, 42(3):345-347,F3
- 16 周卫川,林阳武,翁瑞泉,等. 西花蓟马在中国的地理分布和年发生代数预测. 昆虫知识, 2006, 43(6):798-801
- 17 乔凤霞,刘忠善,丁元明,等. 3种茄科类作物花期西花蓟马种群调查. 江西农业学报, 2007, 19(3):37-38
- 18 肖长坤,郑建秋,师迎春,等. 防治西花蓟马药剂筛选试验. 植物检疫, 2006, 20(1):20-22
- 19 鄧军锐,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
- 20 Ananthakrishnan T N. Biosystematics of Thysanoptera. Annual Review of Entomology, 1979, 24: 159-183
- 21 丁岩钦. 昆虫数学生态学. 北京:科学出版社, 1994, 257-258
- 22 丁岩钦. 昆虫数学生态学. 北京:科学出版社, 1994, 303-304
- 23 邹运鼎,耿继光,陈高潮,等. 异色瓢虫若虫对麦二叉蚜的捕食作用. 应用生态学报, 1996, 7(2):197-200
- 24 林克剑,吴孔明,刘山蓓,等. 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, 2006, 43(3):339-343
- 25 成文禄. 中华草蛉防治白粉虱的研究. 生物学教学, 2004, 29(11):63
- 26 王文娟,贺达汉. 三种主要天敌对二斑叶螨的控制作用研究. 农业科学研究, 2006, 27(1):16-19
- 27 丁岩钦,陈玉平. 中华草蛉对棉蚜与棉铃虫的捕食作用研究. 生物防治通报, 1986, 2(3):97-102
- 28 Lublinkhof J, Foster D E. Development and reproductive capacity of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) reared at three temperatures. Kansas Entomological Society, 1977, 50(3): 313-316
- 29 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