

## 花角蚜小蜂对松突圆蚧的寄生功能反应\*

王竹红<sup>1</sup> 黄建<sup>1\*</sup> 陈倩倩<sup>1</sup> 郭祥<sup>2</sup>( <sup>1</sup> 福建农林大学生物农药与化学生物学教育部重点实验室,福州 350002 ; <sup>2</sup> 长乐市林业局,福建长乐 350200 )

**摘要** 在实验室条件下,以松突圆蚧(*Hemiberlesia pitysophila* Takagi)雌成蚧为寄主,研究了花角蚜小蜂(*Coccobius azumai* Tachikawa)的寄生功能反应。结果表明:寄生功能反应均符合Holling II型方程,且功能反应受到温度、寄主密度和寄生物密度的影响。在同一温度下,寄生数量随寄主密度的增大而增加,在15℃~25℃范围内,随着温度的升高,被寄生的松突圆蚧雌成蚧数量增加,而在25℃~35℃之间呈相反趋势。花角蚜小蜂的寄生功能反应有较强的种内干扰作用,随自身密度的增加,寄生数量逐渐减少。Hassell(1969)模型 $E = QP^{-m}$ 和Beddington(1975)模型 $E = aT/[1 + bt_w(P - 1)]$ 均能较好地反映花角蚜小蜂的寻找效应与其自身密度之间的关系,模拟结果分别为 $E = 0.1659P^{-0.5597}$ 和 $E = 0.1437T/[1 + 0.2691(P - 1)]$ 。

**关键词** 花角蚜小蜂 松突圆蚧 功能反应

文章编号 1001-9332(2007)10-2326-05 中图分类号 S476+.3 文献标识码 A

**Parasitic functional response of *Coccobius azumai* Tachikawa (Hymenoptera: Aphelinidae) to *Hemiberlesia pitysophila* Takagi (Homoptera: Diaspididae).** WANG Zhu-hong<sup>1</sup>, HUANG Jian<sup>1</sup>, CHEN Qian-qian<sup>1</sup>, GUO Xiang<sup>2</sup>(<sup>1</sup>Key Laboratory of Biopesticide and Chemical Biology of Education Ministry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; <sup>2</sup>Forestry Bureau of Changle, Changle 350200, Fujian, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.* 2007, 18(10): 2326-2330.

**Abstract:** With female *Hemiberlesia pitysophila* adult as the host, this paper studied the parasitic functional response of *Coccobius azumai* in laboratory. The results showed that the response of *C. azumai* fitted Holling Type II equation, and was affected by temperature and the densities of host and parasitoid. At the same temperature, the number of parasitized host increased with increasing host density. At 15℃-25℃, the parasitized number increased with temperature; while at 25℃-35℃, it was in adverse. There was a stronger intraspecific interference in the parasitic functional response of *C. azumai*, i. e., the number of parasitized host decreased with increasing *C. azumai* density. The relationship between searching efficiency ( $E$ ) of *C. azumai* and its density ( $P$ ) could be well simulated as  $E = 0.1659P^{-0.5597}$  by Hassell (1969) model  $E = QP^{-m}$  and as  $E = 0.1437T/[1 + 0.2691(P - 1)]$  by Beddington (1975) model  $E = aT/[1 + bt_w(P - 1)]$ .

**Key words:** *Coccobius azumai* Tachikawa; *Hemiberlesia pitysophila* Takagi; functional response.

## 1 引 言

功能反应是捕食者(或寄生者)在一定时间内的捕食量(或寄生量)随猎物(或寄主)密度变化而变化的反应<sup>[23]</sup>,它既是生态学研究的基本内容,也是生物防治研究的重要基础工作<sup>[33]</sup>。目前,国内外关于寄生性天敌的功能反应研究较多,主要集中于小蜂总科的蚜小蜂<sup>[7,10,13]</sup>、赤眼蜂<sup>[16,18,25,30]</sup>、跳小

蜂<sup>[3-4,26]</sup>、金小蜂<sup>[9,20-21]</sup>、缨小蜂<sup>[19]</sup>和姬蜂总科的蚜茧蜂<sup>[8,15,34]</sup>、姬蜂<sup>[2,17,29]</sup>、茧蜂<sup>[24,27-28]</sup>等。

松突圆蚧(*Hemiberlesia pitysophila*)是重大森林检疫性害虫,危害严重时,常造成松树大面积萎蔫、死亡<sup>[22]</sup>,严重破坏整个森林生态系统。利用寄生性天敌进行生物防治是控制松突圆蚧危害蔓延的有效途径之一<sup>[11-12]</sup>。花角蚜小蜂(*Coccobius azumai* Tachikawa)为引进种天敌,在松突圆蚧的生物防治中发挥着重要作用<sup>[31-32]</sup>,但目前对花角蚜小蜂的研究主要集中于林间应用和基本生物学<sup>[5,11,32]</sup>。本文从功能反应和寻找效应2个方面研究了花角蚜小蜂寄生数量与温度、寄主密度和自身密度的关系,旨在

\* 福建省科技厅重大研究项目(2005NZ1004)、福建省自然科学基金资助项目(B0410020)和福建省青年科技人才创新基金资助项目(2006F3017)。

\* \* 通讯作者。E-mail: jhuang@fjau.edu.cn

2006-10-23 收稿 2007-07-16 接受。

更好地了解该蜂的寄生性能,估价其寄生潜力,为林间放蜂和松突圆蚧生物防治提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 供试材料

花角蚜小蜂:在繁蜂基地采集被花角蚜小蜂寄生的松突圆蚧,放于收蜂箱中,待花角蚜小蜂羽化后收集获得。在室温条件下将花角蚜小蜂按照♀:♂ = 6:1的比例交配,并以20%蜂蜜水饲喂2 h。

松突圆蚧:林间采集松突圆蚧若虫,接种在人工盆栽松苗上,饲养至成虫。将带有松突圆蚧的松针取下镜检,使每束松针平均保留松突圆蚧活雌成蚧2~4头,剔除其余虫体。剪短松针末梢,使其能够刚好放入培养皿中,再用透明保鲜膜封口。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 花角蚜小蜂寄生功能反应试验** 共设5个松突圆蚧雌成蚧密度处理,即每个培养皿(Φ=9 cm)内分别接入5、10、20、40和60头松突圆蚧雌成蚧,再分别接入1头已经交配的花角蚜小蜂雌蜂(羽化当天),置于LRH-25-GS型恒温气候箱(广东省医疗器械厂)内,设15、20、25、30和35℃(±1℃)5个温度梯度,相对湿度为(70±5)%,光照14 h。每处理5次重复。24 h后镜检解剖,记录各处理被寄生的松突圆蚧雌成蚧数量。

**2.2.2 自然变温影响试验** 设5个密度处理,即每个培养皿内接入5、10、20、40和60头松突圆蚧雌成蚧,再分别接入1头已经交配的花角蚜小蜂雌蜂。试验在室内进行,温度为25℃~31℃,光照14 h,5次重复。24 h后镜检解剖,记录各处理被寄生的松突圆蚧雌成蚧数量。

**2.2.3 自身密度影响试验** 设3个花角蚜小蜂密度处理,即每个培养皿内分别接入2、4和8头花角蚜小蜂及30头松突圆蚧雌成蚧。试验在空调室内进行,温度为(25±1)℃,相对湿度(70±5)%,光照14 h,5次重复。24 h后镜检解剖,记录各处理被寄生的松突圆蚧雌成蚧数量。

### 2.3 数据处理

**2.3.1 功能反应** 采用Holling II型进行拟合,其方程式为:

$$N_a = \frac{aTN}{1 + aT_h N}$$

式中: $N_a$ 为被寄生的寄主数量; $N$ 为寄主密度; $T$ 为发现寄主的时间(实验总用时); $a$ 为瞬间攻击率; $T_h$ 为处置时间。

将上式整理成 $\frac{1}{N_a} = \frac{1}{aT} \cdot \frac{1}{N} + \frac{T_h}{T}$

设 $B = \frac{1}{aT}$ ,  $A = \frac{T_h}{T}$ ,则上式可化为直线方程:

$$\frac{1}{N_a} = B \frac{1}{N} + A$$

用最小二乘法计算 $A$ 、 $B$ ,从而得到 $a$ 和 $T_h$ 的值<sup>[6]</sup>。

**2.3.2 寻找效应** 1)采用Hassell<sup>[14]</sup>提出的寻找效应( $E$ )与寄生物密度( $P$ )的关系数学模型:

$$E = QP^{-m}$$

式中: $Q$ 为寻找参数; $m$ 为相互干扰参数。

将上模型转化为直线式:

$$\lg E = \lg Q - m \lg P$$

利用 $E$ 、 $P$ 的值拟合计算 $Q$ 、 $m$ 的值,进而得出方程式。

2)采用Beddington<sup>[11]</sup>提出的寻找效应( $E$ )与寄生物密度( $P$ )的关系数学模型:

$$E = \frac{aT}{1 + bt_w R}, \quad R = P - 1$$

式中: $a$ 为寄生物的攻击率; $T$ 为寻找消耗时间与其他寄生物相遇消耗的时间的总和(实验时间); $b$ 为寄生物之间的相遇率; $t_w$ 为每个寄生物一次相遇消耗的时间; $P$ 为寄生物的密度。同样,将上模型转化为直线式,再利用 $E$ 、 $P$ 的值拟合计算 $a$ 、 $bt_w$ 的值,进而得出方程式。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同恒温对花角蚜小蜂寄生功能反应的影响

由图1可以看出,不同温度条件下的寄生功能均符合Holling II型功能模型。花角蚜小蜂寄生数量在松突圆蚧密度较低(每皿5~20头)时,增长率较

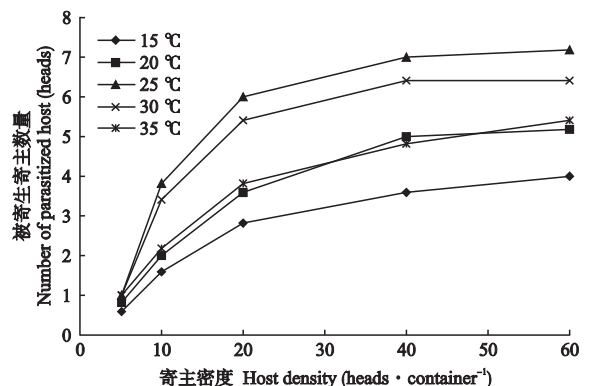


图1 不同温度下花角蚜小蜂的寄生功能反应  
Fig. 1 Functional responses of *C. azumai* at different temperatures.

表 1 不同温度下花角蚜小蜂的寄生功能反应参数

Tab. 1 Functional response parameters of *C. azumai* at different temperatures

| 温度<br>Temperature<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | 功能反应线性方程<br>Linear equation<br>of functional response | 相关系数<br>Correlation<br>coefficient<br>( $r$ ) | 功能反应<br>圆盘方程<br>Disc equation<br>of functional<br>response | 卡方<br>Chi-squared<br>test ( $\chi^2$ ) | 瞬间攻击率<br>Attack rate<br>( $a$ ) | 处置时间<br>Handling<br>Time<br>( $T_h$ ) | 寄生上限<br>Maximum<br>parasitized<br>( $N_{a\max}$ ) |
|---|---|---|--|--|---------------------------------|---------------------------------------|---|
| 15  | $\frac{1}{N_a} = 6.2266 \frac{1}{N} + 0.1119$         | 0.9809 **                                     | $N_a = \frac{0.1606N}{1 + 0.01798N}$                       | 0.5570                                 | 0.1606                          | 0.1119                                | 8.9326  |
| 20  | $\frac{1}{N_a} = 4.8540 \frac{1}{N} + 0.0815$         | 0.9850 **                                     | $N_a = \frac{0.2060N}{1 + 0.0168N}$                        | 0.2914                                 | 0.2060                          | 0.0815                                | 12.2699   |
| 25  | $\frac{1}{N_a} = 3.3602 \frac{1}{N} + 0.0421$         | 0.9520 *                                      | $N_a = \frac{0.2976N}{1 + 0.0125N}$                        | 1.9303                                 | 0.2976                          | 0.0421                                | 23.7529   |
| 30  | $\frac{1}{N_a} = 3.4722 \frac{1}{N} + 0.0559$         | 0.9583 *                                      | $N_a = \frac{0.2880N}{1 + 0.0161N}$                        | 1.3767                                 | 0.2880                          | 0.0558                                | 17.9051   |
| 35  | $\frac{1}{N_a} = 3.920 \frac{1}{N} + 0.1039$          | 0.9915 **                                     | $N_a = \frac{0.2551N}{1 + 0.0265N}$                        | 0.1445                                 | 0.2551                          | 0.1038                                | 9.6246  |

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ . 下同 The same below.

表 2 自然变温(25 $^{\circ}\text{C}$ —31 $^{\circ}\text{C}$ )下花角蚜小蜂的寄生功能反应参数Tab. 2 Functional response parameters of *C. azumai* at various temperatures from 25 $^{\circ}\text{C}$  to 31 $^{\circ}\text{C}$ 

| 温度<br>Temperature<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | 功能反应线性方程<br>Linear equation<br>of functional<br>response | 相关系数<br>Correlation<br>coefficient<br>( $r$ ) | 功能反应<br>圆盘方程<br>Disc equation<br>of functional<br>response | 卡方<br>Chi-squared<br>test<br>( $\chi^2$ ) | 瞬间攻击率<br>Attack rate<br>( $a$ ) | 处置时间<br>Handling<br>time<br>( $T_h$ ) | 寄生上限<br>Maximum<br>parasitized<br>( $N_{a\max}$ ) |
|---|--|---|--|---|---------------------------------|---------------------------------------|---|
| 25 - 31                                     | $\frac{1}{N_a} = 5.3420 \frac{1}{N} + 0.0511$            | 0.9918 **                                     | $N_a = \frac{0.1872N}{1 + 0.0095N}$                        | 1.4766                                    | 0.1872                          | 0.0511                                | 19.5503   |

大,在密度较高(每皿 40~60 头)时,增长率较小。在同一寄主密度下,花角蚜小蜂对松突圆蚧的寄生数量在 25 $^{\circ}\text{C}$  时最大,30 $^{\circ}\text{C}$  时次之,15 $^{\circ}\text{C}$  时最少,如松突圆蚧密度为每皿 40 头时,25 $^{\circ}\text{C}$  的寄生数量为 7.9 头,30 $^{\circ}\text{C}$  为 7.0 头,15 $^{\circ}\text{C}$  为 3.7 头。可见 25 $^{\circ}\text{C}$  和 30 $^{\circ}\text{C}$  较适合花角蚜小蜂寄生产卵。

根据 2.3.1 的功能反应公式,计算得出不同温度条件下寄生功能反应方程及相关参数(表 1)。

卡方检验  $\chi^2 < \chi_{0.05,3}^2 (=7.82)$  表明,理论值与观察值比较吻合。在 5 个温度梯度下,花角蚜小蜂寄生处理 1 只松突圆蚧的时间以 25 $^{\circ}\text{C}$  下最短( $T_h = 0.0421$ , 约 1 h),15 $^{\circ}\text{C}$  下最长( $T_h = 0.1119$ , 约 2.6 h)。瞬间攻击率则以 25 $^{\circ}\text{C}$  下最大,为 0.2976;30 $^{\circ}\text{C}$  下次之;15 $^{\circ}\text{C}$  下最小。

### 3.2 自然变温对花角蚜小蜂寄生功能反应的影响

由表 2 可以看出,花角蚜小蜂在自然变温条件下的寄生功能反应也符合 Holling II 型功能模型,寄生数量随着寄主密度的增加而增大。 $1/N_a$  与  $1/N$  的相关系数为 0.9918 ( $P < 0.01$ ),表明寄生数量与寄主密度显著相关,卡方检验  $\chi^2 < \chi_{0.05,3}^2 (=7.82)$  表明,理论值与观察值比较吻合,Holling II 型功能模型能较好地描述花角蚜小蜂在变温条件下对松突圆蚧的寄生作用。

### 3.3 自身密度对花角蚜小蜂寻找效应的影响

寻找效应是捕食者(或寄生物)在捕食(或寄

生)过程中对于猎物(或寄主)攻击的一种行为效应。其高低与猎物(或寄主)密度、捕食者(或寄生物)密度、空间分布、气象因素等有密切的关系,因此在研究捕食-猎物系统或寄生物-寄主系统时,必须考虑增加寻找效应的成分<sup>[6]</sup>。

寻找效应与寄主密度、寄生物密度的关系为:

$$E = \frac{N_a}{N \times P}$$

式中: $N_a$  为被攻击的寄主数量; $N$  为寄主密度; $P$  为寄生物密度<sup>[6]</sup>。

根据以上公式计算出不同密度花角蚜小蜂对松突圆蚧的寻找效应(表 3)。

利用表 3 中的  $E$ 、 $P$  值拟合 2.3.2 的 2 个数学模型,得到:

$$1) \lg E = -0.7799 - 0.5597 \lg P \\ (r = 0.9745^{**})$$

表 3 花角蚜小蜂对松突圆蚧雌成蚧的寻找效应

Tab. 3 Searching efficiency of *C. azumai* to adult female of *H. pitysophila*

| 花角蚜小蜂密度 $P$<br>Density (heads ·<br>container $^{-1}$ ) | 被寄生寄主数量<br>Number of<br>parasitized host<br>( $N_a$ ) | 寻找效应<br>Searching<br>efficiency<br>( $E$ ) |
|--|---|--|
| 2  | 6.4   | 0.1067                                     |
| 4  | 10.2  | 0.0850                                     |
| 8  | 11.8  | 0.0492                                     |

得出  $Q = 0.1659$   $m = 0.5597$ . 则 Hassell 寻找效应 ( $E$ ) 与寄生物密度 ( $P$ ) 的数学模型为:

$$E = 0.1659P^{-0.5597} \quad (\text{I})$$

2) 同样, 利用表 3 中的数值, 得到 Beddington 寻找效应 ( $E$ ) 与寄生物密度 ( $P$ ) 的关系数学模型:

$$E = \frac{0.1437T}{1 + 0.2691R}, R = P - 1 \quad (\text{II})$$

将以上 2 个数学模型 (I 和 II) 中的寻找效应 ( $E$ ) 与寄生物密度 ( $P$ ) 的观察值和理论值绘制成图 2. 从中可以看出, 模型 I 和模型 II 的模拟值和观察值都很接近, 即 2 个模型都可以预测花角蚜小蜂对松突圆蚧雌成蚧的寻找效应. 花角蚜小蜂的寻找效应随自身密度的增加而降低, 说明在花角蚜小蜂的寄生过程中, 种群内不同个体之间存在相互干扰现象.

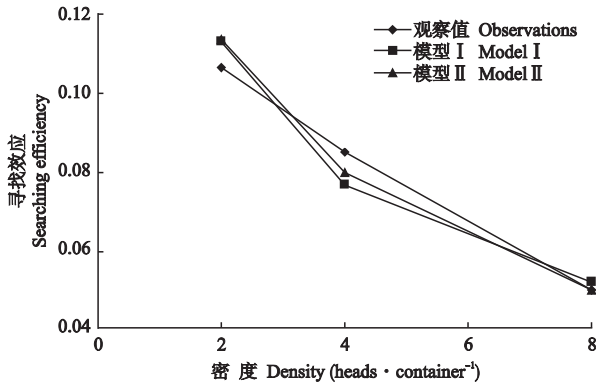


图 2 花角蚜小蜂自身密度 ( $P$ ) 与寻找效应 ( $E$ ) 的关系

Fig. 2 Relationship between *C. azumai* density and its searching efficiency.

## 4 结 论

研究表明, 温度可影响花角蚜小蜂的活动能力. 25 °C ~ 30 °C 适宜花角蚜小蜂活动, 在该温度条件下, 花角蚜小蜂的瞬间攻击率比在其他温度下高, 对寄主的处理时间缩短, 低温不利于花角蚜小蜂活动. 温度还影响花角蚜小蜂的寄生能力. 25 °C ~ 30 °C 条件下, 花角蚜小蜂的寄生数量均高于其它温度条件下的数量, 低温不利于花角蚜小蜂产卵. 尽管花角蚜小蜂在 35 °C 下可以产卵, 但由于松突圆蚧在高温条件下死亡率明显增加<sup>[22]</sup>, 加上花角蚜小蜂在大于 33 °C 的条件下发育明显减缓<sup>[5]</sup>, 所以在进行花角蚜小蜂生殖习性研究和林间放蜂时, 要注意避免高温对其寄生作用的影响.

花角蚜小蜂的寄生数量随寄主密度增大而增加. 25 °C 寄主密度为每皿 10 头时, 寄生数量为 3.8

头, 而寄主密度为每皿 60 头时, 寄生数量为 7.2 头, 增长了近 1 倍. 自身密度对花角蚜小蜂的寻找效应也具有明显影响. Hassell<sup>[14]</sup> 和 Beddington<sup>[11]</sup> 分别提出的寻找效应 ( $E$ ) 与捕食者 (或寄生者) 密度 ( $P$ ) 的数学模型均能较好地模拟花角蚜小蜂对松突圆蚧雌成蚧的寻找效应, 当花角蚜小蜂自身密度增加时, 由于种群个体间存在相互干扰现象, 寻找效应随之降低.

## 参考文献

- [1] Beddington JR. 1975. Mutual interference between parasites or predators and its effect on searching efficiency. *Journal of Animal Ecology*, **44**: 331-340
- [2] Bezemer TM, Mills NJ. 2001. Host density responses of *Mastrus ridibundus*, a parasitoid of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Biological Control*, **22**(2): 169-175
- [3] Chen S-B (陈少波), Chen W (陈伟), He C-H (何朝晖), et al. 1996. Host selection and functional response of *Anagrus dactylopi*. *Journal of Fujian Academy of Agricultural Science* (福建农学院学报), **11**(2): 37-40 (in Chinese)
- [4] Chong JH, Oetting RD. 2006. Functional response and progeny production of the Madeira mealybug parasitoid, *Anagrus* sp. nov. nr. *sinope*: The effects of host and parasitoid densities. *Biological Control*, **39**: 320-328
- [5] Ding D-C (丁德诚), Pan W-Y (潘务耀), Tang Z-Y (唐子颖), et al. 1995. Biology of *Coccobius azumai* Tachikawa (Hymenoptera: Aphelinidae). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **38**(1): 46-52 (in Chinese)
- [6] Ding Y-Q (丁岩钦). 1994. *Mathematic Ecology of Insect*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- [7] Enkegaard A. 1994. Temperature dependent functional response of *Encarsia formosa* parasitizing the poinsettia strain of the cotton whitefly, *Bemisia tabaci*, on poinsettia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **73**(1): 19-29
- [8] Fathipour Y, Hosseini A, Talebi AA, et al. 2006. Functional response and mutual interference of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphididae) on *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae). *Entomologica Fennica*, **17**(2): 90-97
- [9] Flinn PW, Hagstrum DW. 2002. Temperature-mediated functional response of *Theocolax elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitizing *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*, **38**(2): 185-190
- [10] Greenberg SM, Legaspi BC, Jones WA. 2001. Comparison of functional response and mutual interference between two aphelinid parasitoids of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Entomological Science*, **36**(1): 1-8
- [11] Gu D-X (古德祥), Chen Y-G (陈永革). 1998. Life table of *Hemiberlesia pitysophila* Takagi and its parasitoid

- rate by *Coccobius azumai* Tachikawa. *Natural Enemies of Insects* (昆虫天敌), **20**(1):156-163 (in Chinese)
- [ 12 ] Gu D-X (古德祥), Zhang G-R (张古忍), Zhang R-J (张润杰), et al. 2000. Review on fifty-years biological control of insect pests in southern China. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **43**(3):327-335 (in Chinese)
- [ 13 ] Hamilton GC, Lashomb JH, Zhang JX, et al. 2005. Ovipositional preferences and functional response of parasitoids of euonymus scale, *Unaspis euonymi* (Comstock) and San Jose scale, *Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock) (Homoptera: Diaspididae). *Biological Control*, **32**(3):337-347
- [ 14 ] Hassell MP. 1969. A population model for the interaction between *Cyzenis albicans* and *Operophtera brumata* at Wytham Berkshire. *Journal of Animal Ecology*, **38**:567-576
- [ 15 ] Hofsvang T, Hagvar EB. 1983. Functional responses to prey density of *Ephedrus cerasicola* (Hym.: Aphididae), an aphidiid parasitoid of *Myzus persicae* (Hom.: Aphididae). *Entomophaga*, **28**(4):317-324
- [ 16 ] Huang S-S (黄寿山), Dai Z-Y (戴志一), Wu D-Z (吴达璋), et al. 1995. Effect of temperature on the functional responses of *Trichogramma ostrinae*. *Journal of South China Agricultural University* (华南农业大学学报), **16**(3):30-33 (in Chinese)
- [ 17 ] Isenhour DJ. 1985. *Campolepis sonorensis* (Hym.: Ichneumonidae) as a parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae): Host stage preference and functional response. *Entomophaga*, **30**:31-36
- [ 18 ] Kalyebi A, Overholt WA, Schulthess F, et al. 2005. Functional response of six indigenous trichogrammatid egg parasitoids (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Kenya: Influence of temperature and relative humidity. *Biological Control*, **32**(1):164-171
- [ 19 ] Lou Y-G (娄永根), Cheng J-A (程家安). 1996. Effect of morphological characters of rice varieties on functional response of *Anagrus nilaparvatae*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **7**(1):61-66 (in Chinese)
- [ 20 ] Menon A, Flinn PW, Dover BA. 2002. Influence of temperature on the functional response of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae), a parasitoid of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Stored Products Research*, **38**(5):463-469
- [ 21 ] Morales-Ramos JA, Cate JR. 1992. Functional response of *Catolaccus grandis* (Burks) (Hymenoptera: Pteromalidae) in field cages. *Biological Control*, **2**(3):193-202
- [ 22 ] Pan W-Y (潘务耀), Tang Z-Y (唐子颖), Xie G-L (谢国林), et al. 1988. Studies on a new destructive forest pest in South China: Pine needle hemiberlesian scale (Coccoidea: Diaspididae). *Journal of Entomology* (昆虫学研究集刊), **7**:177-189 (in Chinese)
- [ 23 ] Price PW. 1984. *Insect Ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- [ 24 ] Rakhshani E, Talebi AA, Kavallieratos N, et al. 2004. Host stage preference, juvenile mortality and functional response of *Trioxys pallidus* (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae). *Biological*, **59**(2):197-203
- [ 25 ] Reay-Jones FPF, Rochat J, Goebel R, et al. 2006. Functional response of *Trichogramma chilonis* to *Galleria mellonella* and *Chilo sacchariphagus* eggs. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **118**(3):229-236
- [ 26 ] Sagarra LA, Vincent C, Peters NF, et al. 2000. Effect of host density, temperature, and photoperiod on the fitness of *Anagyrus kamali*, a parasitoid of the hibiscus mealybug *Maconellicoccus hirsutus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **96**(2):141-147
- [ 27 ] Shi Z-H (施祖华), Liu S-S (刘树生). 1999. Influence of temperature on functional response of *Cotesia plutellae*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10**(3):332-334 (in Chinese)
- [ 28 ] Tripathi RN, Singh R. 1991. Aspects of life-table studies and functional response of *Lysiphlebia mirzai*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **59**(3):279-287
- [ 29 ] Trudeau D, Gordon DM. 1989. Factors determining the functional response of the parasitoid *Venturia canescens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **50**(1):3-6
- [ 30 ] Van Alebeek FAN, Bezemer TM, van Huis A, et al. 1996. The functional response of *Uscana lariophaga* under different egg distributions of its host *Callosobruchus maculatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **81**(2):227-233
- [ 31 ] Wang Z-H (王竹红), Huang J (黄建), Liang Z-S (梁智生), et al. 2004. Introduction and application of *Coccobius azumai* Tachikawa (Hymenoptera: Aphelinidae). *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (Natural Science) (福建农林大学学报·自然科学版), **33**(3):313-317 (in Chinese)
- [ 32 ] Xie G-L (谢国林), Pan W-Y (潘务耀), Tang Z-Y (唐子颖). 1997. Evaluation on the effective and stable control of *Hemiberlesia pitysophila* Takagi with *Coccobius Azumai* Tachikawa. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **40**(2):135-144 (in Chinese)
- [ 33 ] Xu R-M (徐汝梅). 1987. *Ecology of Insect Population*. Beijing: Beijing Normal University Press. (in Chinese)
- [ 34 ] Zamani AA, Talebi AA, Fathipour Y, et al. 2006. Temperature-dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae), on the cotton aphid. *Journal of Pest Science*, **79**(4):183-188

作者简介 王竹红,女,1976年生,博士,讲师。主要从事害虫生物防治与综合治理研究,发表论文10余篇。E-mail: wzhuhong@126.com

责任编辑 肖红