

# 腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟幼虫的寄生功能反应

李宏梦<sup>1,2</sup>, 刘凯强<sup>2</sup>, 何康来<sup>2</sup>, 王振营<sup>2\*</sup>

(1. 吉林农业大学生物防治研究所/天敌昆虫应用技术工程研究中心, 长春 130118; 2. 中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

**摘要:** 为评估腰带长体茧蜂 *Macrocentrus cingulum* 对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的控害潜能, 在实验室条件下 (湿度 60%~80%, 光周期 16L:8D) 研究了 20、24、28、32 °C 下腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟幼虫的寄生功能反应和 20、24、28 °C 下腰带长体茧蜂的自身密度干扰效应。结果表明: 在 20~32 °C 内, 腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟的寄生功能反应均符合 Holling II 型; 相同温度下, 随着寄主亚洲玉米螟密度的增加, 腰带长体茧蜂寄生量增加, 但当寄主密度增加到一定数量后, 寄生量趋于稳定。24 °C 的寄生效能最大, 20 °C 最小。随着寄主亚洲玉米螟密度和腰带长体茧蜂密度的增加, 搜寻效应逐渐降低。采用 Hessel 干扰模型, 发现 28 °C 时的搜寻常数 Q 和干扰效应 m 均为最大, 腰带长体茧蜂个体间的干扰效应降低了其寄生效能。

**关键词:** 腰带长体茧蜂; 亚洲玉米螟; 功能反应; 密度效应; 温度

**中图分类号:** S476.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2019)03-0350-06

## Functional Response of *Macrocentrus cingulum* to *Ostrinia furnacalis* Larvae

LI Hongmeng<sup>1,2</sup>, LIU Kaiqiang<sup>2</sup>, HE Kanglai<sup>2</sup>, WANG Zhenying<sup>2\*</sup>

(1. Engineering Research Center of Natural Enemy Insects/Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. State Key Laboratory of Biology of Plant Diseases and Insect Pests/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In order to evaluate the control potential of *Macrocentrus cingulum* to *Ostrinia furnacalis*, functional responses of *M. cingulum* to the larva of *O. furnacalis* at 20, 24, 28, 32 °C and the self-interference effect of *M. cingulum* at 20, 24, 28 °C were examined under laboratory conditions (RH 60%—80%, 16L:8D). The results showed that, between 20—32 °C, the functional responses fitted well with the Holling type II model. At a certain temperature, the number of parasitized larvae responded positively to host density and reached a peak when the host density increased to a certain amount. The parasitism efficiency was the largest at 24 °C and the lowest at 20 °C. Therefore, 24 °C is the suitable temperature for *M. cingulum*. The searching efficiency of *M. cingulum* decreased with the increase of *O. furnacalis* and *M. cingulum* densities. According to the Hassell model, both the searching coefficient Q and the disturbance coefficient m maximized at 28 °C and minimized 20 °C, indicating that the interference in *M. cingulum* might reduce its parasitism efficiency.

**Key words:** *Macrocentrus cingulum*; *Ostrinia furnacalis*; functional response; density effect; temperature

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 是一种世界性农业害虫, 分布于东亚、东南亚、澳大利亚及太平洋诸岛屿, 是我国玉米上最重要的害虫<sup>[1]</sup>。现阶段对亚洲玉米螟的防治主要采用化学农药、性诱剂以及释放赤眼蜂等措施<sup>[2-7]</sup>。腰带长体茧蜂 *Macrocentrus cingulum* Brischke 是一种多胚发

收稿日期: 2018-12-05

基金项目: 粮食丰产增效科技创新 (2016YFD0300704); 国家玉米产业技术体系 (CARS-02)

作者简介: 李宏梦, 硕士研究生, E-mail: 1299826745@qq.com; \*通信作者, 研究员, E-mail: zywang@ippcaas.cn。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.03.003

育的幼虫内寄生蜂<sup>[8]</sup>, 是亚洲玉米螟幼虫的重要寄生性天敌之一<sup>[9]</sup>, 其自然寄生率可达 30%~40%<sup>[10]</sup>, 已经被成功地作为一种防治欧洲玉米螟 *O. nubilalis* 和亚洲玉米螟的天敌昆虫<sup>[11]</sup>。腰带长体茧蜂在亚洲玉米螟幼虫的各个龄期均可寄生, 但以 3 龄期寄生为最佳<sup>[12]</sup>。大量学者对腰带长体茧蜂的生物学<sup>[13]</sup>、生理生化<sup>[14-17]</sup>等方面进行了研究, 但缺乏对该蜂寄生功能反应、自身密度干扰效应等方面的研究。

功能反应描述了捕食者或寄生蜂的攻击率与被捕食者或寄主密度关系, 对评价寄生蜂的控害能力, 提高其防治效果有重要作用<sup>[18-20]</sup>。许多被广泛利用或即将被利用的寄生性天敌进行过寄生功能反应研究, 如黄色潜蝇茧蜂 *Opius flavus*<sup>[21]</sup>、松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi*<sup>[22]</sup>、瘦怒茧蜂 *Orgilus ischnus*<sup>[23]</sup>、斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis*<sup>[24]</sup>、伞裙追寄蝇 *Exorista civilis*<sup>[25]</sup>、周氏啮小蜂 *Chouioia cunea*<sup>[26]</sup>等。

本研究在实验室条件下, 以亚洲玉米螟幼虫为寄主, 拟合了不同温度下腰带长体茧蜂的 Holling II 型功能反应方程、搜寻效应以及自身的密度干扰效应方程<sup>[27,28]</sup>。以便更好地了解其寄生能力, 为利用腰带长体茧蜂系统高效地防治亚洲玉米螟提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

亚洲玉米螟幼虫采用标准养虫技术和无琼脂半人工饲料进行饲养<sup>[29,30]</sup>, 在人工气候室内连续饲养多代。

腰带长体茧蜂采自吉林省公主岭市野外试验基地内被寄生的亚洲玉米螟老熟幼虫, 在室内用亚洲玉米螟 3 龄幼虫为寄主进行继代繁殖。将寄生后亚洲玉米螟幼虫培养于温度 (27±1) °C、相对湿度 70%~80%, 光周期 16L:8D 的人工气候箱内; 将结茧后腰带长体茧蜂幼虫至成蜂期, 培养于温度 (24±1) °C、相对湿度 60%~70%、光周期 16L:8D 的养蜂笼中进行繁殖, 同时饲喂 20% 的蜂蜜水。

### 1.2 不同温度下腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟的寄生功能反应

共设 5 个不同的寄主幼虫密度, 即在以新鲜玉米穗轴切片为载体的培养皿上, 分别接入 5、10、15、20、25 头的 3 龄亚洲玉米螟幼虫。在养蜂笼 (15 cm×15 cm×15 cm) 中接入羽化 24 h 内的腰带长体茧蜂雌、雄成蜂一对 (♀:♂=1:1), 分别置于 20、24、28、32 °C (光周期 16L:8D, 相对湿度 70%~80%) 的人工气候箱中, 交配 24 h 后放入亚洲玉米螟幼虫; 寄生 24 h 后, 将亚洲玉米螟幼虫取出, 放入装有工饲料的养虫盒中, 将养虫盒置于温度 (28±1) °C、光周期 16L:8D 和相对湿度 70%~80% 的人工气候箱中。10 d 后, 统计寄生情况, 每个处理重复 5 次。

数据采用 Holling II 圆盘方程进行拟合, 方程式为  $N_a = aTN/(1 + aT_hN)$ 。式中,  $N$  为寄主密度 (头/皿);  $N_a$  为被寄生的寄主数量 (头);  $a$  为瞬间攻击率;  $T$  为总的寄生时间 (d) (本试验为 1);  $T_h$  为寄生蜂处理每头寄主所花时间 (d)。

### 1.3 不同温度下腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟的搜寻效应

试验方法同 1.2, 采用 Holling<sup>[31]</sup>提出的寻找效应与猎物的密度模型进行拟合:  $S = a/(1 + aT_hN_0)$ ,  $a$  和  $T_h$  同 Holling II 方程,  $N_0$  为寄主密度。

### 1.4 不同温度下腰带长体茧蜂的自身密度干扰效应

分别将 1、2、4、6、8 对 (♀:♂=1:1) 新羽化 (24 h 内) 的腰带长体茧蜂成蜂放入养蜂笼中 (15 cm×15 cm×15 cm), 然后置于 20、24、28 °C (光周期 16L:8D, 相对湿度 70%~80%) 的人工气候箱中, 交配 24 h 后, 放入 60 头 3 龄亚洲玉米螟幼虫; 寄生 24 h 后亚洲玉米螟幼虫饲养同 1.2。10 d 后, 统计寄生情况, 每个处理重复 5 次。采用 Hassell-Varley 干扰模型  $E = QP^{-m}$ ,  $E$  为寻找效应,  $Q$  为搜寻常数,  $m$  为相互干扰参数。

### 1.5 数据统计与分析

数据分析及绘图采用 SAS 9.1 和 Excel 软件。应用 Tukey's HSD 法进行处理间的差异显著性检验, 通过卡方检验进行寄生功能反应模型和自身密度干扰模型方程的拟合优度检验。

2 结果与分析

2.1 不同温度下腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟的寄生功能反应

同一温度下，随着寄主密度的增加腰带长体茧蜂的寄生量也随之增加。寄主密度为 5 头/皿时，寄生量最小，寄主密度为 25 头/皿时，寄生量最大。而当寄主密度一定时，不同温度下，20 ℃时寄生量略低于其余温度，但差异不显著（表 1）。

通过对不同温度下腰带长体茧蜂寄生亚洲玉米螟的数量建立模型，发现均符合 Holling II 模型，对表 1 数据进行模拟，得到各温度下腰带长体茧蜂的 Holling II 型功能反应模型（表 2）。不同温度下，相关系数  $R^2$  均达到显著水平，卡方检验  $\chi^2$  均小于  $\chi^2_{0.05}$ ，说明估算出的圆盘方程能很好地反应腰带长体茧蜂在不同温度下对亚洲玉米螟的寄生作用。寄生上限 24 ℃>28 ℃>32 ℃>20 ℃，20 ℃时寄生上限最低，仅为 14.2，其他温度下的寄生上限均超过 20；处理时间 20 ℃>28 ℃>24 ℃>32 ℃；瞬间攻击率 20 ℃>28 ℃>24 ℃>32 ℃（表 2）。根据最大寄生量和寄生效能判断<sup>[32]</sup>，24 ℃为腰带长体茧蜂的较适活动温度。

表 1 不同温度下腰带长体茧蜂的寄生量  
Table 1 Parasitized number of *O. furnacalis* larvae by *M. cingulum* at different temperatures

寄主密度 (头/皿) Host density	温度 Temperature (℃)							
	20		24		28		32	
	实际寄生量 (头)	理论寄生量 (头)	实际寄生量 (头)	理论寄生量 (头)	实际寄生量 (头)	理论寄生量 (头)	实际寄生量 (头)	理论寄生量 (头)
5	4.00±0.55 b	4.00	4.00±0.40 b	3.99	4.20±0.37 c	3.98	3.80±0.20 d	3.73
10	6.60±1.03 ab	6.25	6.60±1.03 ab	6.86	5.50±0.50 c	6.82	6.00±0.32 cd	6.43
15	6.50±1.04 ab	7.69	10.00±1.41 a	9.02	8.60±0.68 b	8.95	8.60±1.02 bc	8.47
20	9.80±0.66 a	8.69	10.60±1.33 a	10.70	13.00±0.55 a	10.59	10.25±1.55 ab	10.07
25	9.60±0.81 a	9.42	11.40±1.75 a	12.05	13.40±0.75 a	11.91	12.60±1.50 a	11.35

注：同列数据后不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）  
Note: Data in the same column followed by different lowercase letters indicated significantly different ( $P<0.05$ ).

表 2 不同温度下腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟的寄生功能反应参数  
Table 2 Parameters of parasitic functional responses of *M. cingulum* to *O. furnacalis* larvae at different temperatures

温度 Temperature (℃)	功能反应圆盘方程 Disc equation of functional response	瞬间攻击率 Attack rate ( $a$ )	处理时间 Handling time ( $T_h$ )	寄生效能 Parasitic efficiency ( $a/T_h$ )	相关系数 Correlation coefficient $R^2$	寄生上限 Maximum parasitized hosts ( $N_a$ max)	卡方检验 Chi-square ( $\chi^2$ )
20	$N_a=1.1135N/(1+0.0783N)$	1.1135	0.0703	15.84	0.9521	14.2	0.3391
24	$N_a=0.9560N/(1+0.0394N)$	0.9560	0.0412	23.22	0.9780	24.3	0.1526
28	$N_a=0.9582N/(1+0.0405N)$	0.9581	0.0422	22.69	0.9772	23.7	0.8309
32	$N_a=0.8895N/(1+0.0383N)$	0.8895	0.0383	20.66	0.9787	23.2	0.1596

2.2 不同温度下腰带长体茧蜂的搜寻效应

同一温度下，腰带长体茧蜂的搜寻效应随着寄主密度的增加而降低，当寄主密度大于 10 头/皿后，20 ℃时的搜寻效应均低于其他温度，表明低温时搜寻效应降低（图 1）。

2.3 不同温度下腰带长体茧蜂的自身密度干扰效应

相同温度下，随着腰带长体茧蜂自身密度的增加，被寄生的亚洲玉米螟幼虫数量也增加，但腰带长体茧蜂的寻找效应降低（表 3）。说明在同一温度下，腰带长体茧蜂的个体间存在相互干扰现象。根据 Hessel 提出的干扰模型进行拟合，结果见表 4。拟合模型的卡方检验  $\chi^2$  均小于  $\chi^2_{0.05}$ ，表明理论值与实际值很接近，模型稳定。腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟幼虫的搜寻常数和干扰常数均是 28 ℃>24 ℃>20 ℃。

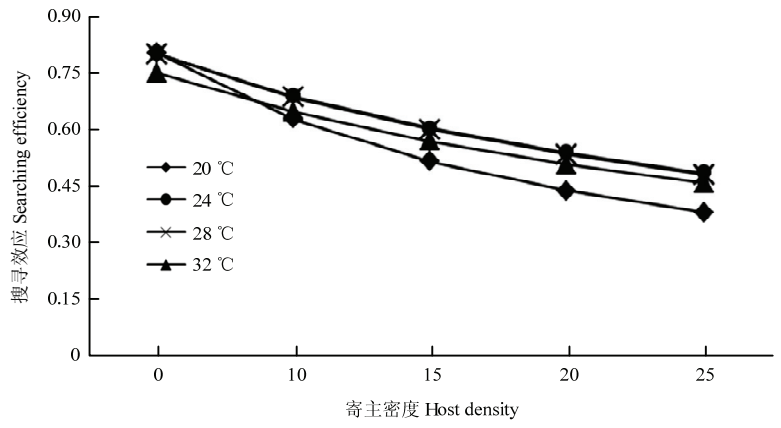


图 1 不同温度下腰带长体茧蜂搜寻效应与寄主密度的关系

Fig. 1 Searching efficiency of *M. cingulum* in relation to host density at different temperature

表 3 不同温度不同密度下腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟的寻找效应

Table 3 Searching efficiency of *M. cingulum* to *O. furnacalis* at different temperatures

密度 Density (P)	温度 Temperature (°C)					
	20		24		28	
	被寄生寄主数量 ( <i>N</i> <sub>a</sub> )	寻找效应 ( <i>E</i> )	被寄生寄主数量 ( <i>N</i> <sub>a</sub> )	寻找效应 ( <i>E</i> )	被寄生寄主数量 ( <i>N</i> <sub>a</sub> )	寻找效应 ( <i>E</i> )
1	11.00±0.45 b	0.18±0.01 a	12.80±0.92 c	0.21±0.02 a	13.40±0.75 b	0.22±0.01 a
2	18.60±1.94 b	0.16±0.02 ab	20.60±1.78 b	0.17±0.01 b	20.40±1.60 b	0.17±0.01 b
4	29.80±1.62 a	0.12±0.01 bc	31.20±0.58 a	0.13±0.00 c	32.00±1.81 a	0.13±0.01 b
6	31.60±0.81 a	0.09±0.00 cd	31.40±1.50 a	0.09±0.00 d	34.20±3.26 a	0.10±0.01 c
8	31.00±1.61 a	0.06±0.00 d	35.00±0.55 a	0.07±0.00 d	32.00±3.10 a	0.07±0.01 c

表 4 不同温度下腰带长体茧蜂自身密度对其寄生的干扰效应

Table 4 Interference effects of the density of *M. cingulum* on its parasitism

温度 Temperature (°C)	干扰效应理论模型 Interference effect theory model	搜寻常数 Quest constant ( <i>Q</i> )	干扰系数 Interference constant ( <i>m</i> )	相关系数 Correlation coefficient ( <i>R</i> <sup>2</sup> )	卡方检验 Chi-square ( <i>χ</i> <sup>2</sup> )
20	$E=0.2029P^{-0.4778}$	0.2029	0.4778	0.9072	0.0076
24	$E=0.2315P^{-0.5191}$	0.2315	0.5191	0.9523	0.0053
28	$E=0.2413P^{-0.5447}$	0.2413	0.5447	0.9354	0.0067

3 讨论

寄生功能反应是评价寄生蜂对害虫控制作用的重要评估标准。自 Solomon<sup>[18]</sup>首次提出功能反应这个方法以来，已经提出了 5 种功能反应模型<sup>[31,33-35]</sup>，国内外众多学者都对寄生蜂的功能反应做了许多研究。本研究表明，在试验温度内，腰带长体茧蜂对亚洲玉米螟幼虫的寄生功能反应均符合 Holling II 圆盘模型，这与大多数茧蜂科的寄生蜂相符<sup>[21-24]</sup>。当温度一定时，腰带长体茧蜂的寄生量随寄主密度的增加而增加，但当寄主密度增加到一定值时，寄生量趋于平缓，与其他茧蜂相似，这可能是由于寄生蜂在单位时间内卵巢的怀卵量限制<sup>[36]</sup>。寄生蜂的瞬间攻击率与处理时间的比值，即寄生效能是衡量天敌作用效果的重要指标，对于腰带长体茧蜂，24 °C 时的寄生效能（23.22）最高，而 20 °C 时的寄生效能（15.84）最低；对于寄生上限，依旧是 24 °C（24.3）时最高，20 °C（14.2）时最低，说明低温会影响此蜂的寄生作用。因此在田间释放及室内扩繁时要控制好温度，不能过高或过低。

搜寻效应反应了寄生蜂对寄主的搜寻能力,与寄主密度和寄生蜂自身密度密切相关。本试验结果表明,当温度一定时,随着寄主亚洲玉米螟密度和腰带长体茧蜂自身密度的增加,搜寻效应逐渐降低,且温度不同,搜寻效应也不同,低温(20℃)下搜寻效应最低。通过对腰带长体茧蜂自身干扰效应模型的模拟发现,当寄生空间和寄主密度一定时,随着寄生蜂自身密度的增加,单头雌蜂所能寄生的寄主数量不断减少,表明腰带长体茧蜂个体之间的干扰和竞争随着寄生蜂密度的增加而增强。因此,在室内繁蜂和田间释放时,如果盲目地增加寄生蜂的数量,不仅使成本增加而且还会增加寄生蜂个体之间的干扰作用,使寄生效果降低。因此要根据空间大小以及寄主密度,合理地确定寄生蜂的数量,在保证寄生率的同时降低成本。

本试验是在室内湿度、温度较稳定的环境下进行的,并且寄生空间较小;而田间环境的温度和湿度等因素变化大,且空间大、范围广,会影响寄生蜂的寄生能力<sup>[37]</sup>。因此,本试验主要用于指导腰带长体茧蜂的室内大量扩繁,为田间释放提供参考。

**致谢:** 河南科技学院王超杰,河北农业大学郭佳佳、孙雪莲,吉林农业大学宋荷链、黄堃等参与了试验工作,在此一并感谢!。

### 参 考 文 献

- [1] 王振营,鲁新,何康来,等. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(5): 402-412.
- [2] 周淑香,鲁新,王振营,等. 对不同世代亚洲玉米螟进行化学防治的效果比较[J]. 植物保护, 2016, 42(4): 226-229.
- [3] 戴洪波,李霞,盛世蒙,等. 一种新型亚洲玉米螟性诱剂的田间诱蛾效果[J]. 中国农技推广, 2014, 30(10): 49-50.
- [4] 汪洋洲,王振营,盛如,等. 亚洲玉米螟新型性诱芯的诱蛾性能研究[J]. 植物保护, 2013, 39(4): 173-174.
- [5] 张帆. 赤眼蜂防治玉米螟田间应用技术[J]. 中国蔬菜, 2006(9): 53-54.
- [6] 于春香. 人工释放赤眼蜂防治玉米螟[J]. 现代农业, 2013(2): 26.
- [7] 张俊杰,阮长春,臧连生,等. 我国赤眼蜂工厂化繁育技术改进及防治农业害虫应用现状[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 638-646.
- [8] 胡建,刘峰. 腰带长体茧蜂卵和早期胚胎体外发育的初步研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(1): 83-87.
- [9] Campan E D M, Havard S, Sagouis A, *et al.* Acceptability and suitability of the European *Ostrinia nubilalis* Hübner for *Macrocentrus cingulum* Brischke from Asia and Europe[J]. Biological Control, 2014, 74: 13-20.
- [10] 刘德钧. 玉米螟天敌——螟虫长距茧蜂生活习性和应用价值的研究[J]. 上海农业学报, 1985(3): 19-26.
- [11] Ahmed T, Zhang T, Wang Z, *et al.* Molecular cloning, expression profile, odorant affinity, and stability of two odorant-binding proteins in *Macrocentrus cingulum* Brischke (Hymenoptera: Braconidae)[J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2017, 94(2): e21374.
- [12] 白树雄,张洪刚,葛星,等. 转 cry1F 基因玉米花粉对腰带长体茧蜂存活和繁殖的影响[J]. 植物保护, 2011, 37(6): 82-85.
- [13] 蒋桂福,吕家勋. 螟虫长距茧蜂生物学特性及繁殖利用研究初报[J]. 昆虫天敌, 1987(1): 1-5.
- [14] 陆剑锋,李永,陈学新,等. 腰带长体茧蜂毒液器官和卵巢的形态学及其超微结构[J]. 昆虫知识, 2006, 43(6): 818-821.
- [15] Hu J, Wang P, Zhang W. Two types of embryos with different functions are generated in the polyembryonic wasp *Macrocentrus cingulum* (Hymenoptera: Braconidae)[J]. Arthropod Structure and Development, 2015, 44(6): 677-687.
- [16] Havard S, Pélissier C, Ponsard S, *et al.* Suitability of three *Ostrinia* species as hosts for *Macrocentrus cingulum*: a comparison of their encapsulation abilities[J]. Insect Science, 2014, 21(1): 93-102.
- [17] 郝杰,王振营,王勤英,等. 杀虫蛋白 Vip3Aa11 对亚洲玉米螟及其寄生性天敌腰带长体茧蜂的影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60(7): 817-824.
- [18] Solomon M E. The natural control of animal populations[J]. Journal of Animal Ecology, 1949, 18(1): 1-35.
- [19] Skovgård H, Nachman G. Temperature-dependent functional response of *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae), a parasitoid of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae)[J]. Environmental Entomology, 2015, 44(1): 31-40.
- [20] Van Lenteren J C, Bakker K. Behavioural aspects of the functional responses of a parasite (*Pseudeucoila bochei* Weld) to its host (*Drosophila melanogaster*)[J]. Netherlands Journal of Zoology, 1977, 28(2): 213-233.
- [21] 杨琪,曹风勤,崔志富,等. 黄色潜蝇茧蜂的寄生功能反应研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(2): 60-63.
- [22] 杜文梅,臧连生,张俊杰,等. 两种不同地理种群长毛赤眼蜂对米蛾卵的寄生功能及数值反应[J]. 中国农业科学, 2016, 49(23): 4669-4676.
- [23] 杜芹,程云霞,罗礼智,等. 瘦螯茧蜂的发育与生殖及对草地螟的控制作用[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(4): 421-427.
- [24] 胡浩,孟玲,李保平. 斑痣悬茧蜂对不同龄期斜纹夜蛾幼虫的寄生功能反应[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 176-180.

- [25] 王建梅, 刘长仲, 刘爱萍, 等. 伞裙追寄蝇对黏虫幼虫的寄生功能反应[J]. 植物保护, 2015, 41(1): 45-48, 58.
- [26] 吕宝乾, 苏璐, 彭正强, 等. 周氏啮小蜂(海南种群)对椰子织蛾的寄生功能反应[J]. 生物安全学报, 2018, 27(3): 200-204.
- [27] Hassell M P. A population model for the interaction between *Cyzenis albicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Operophtera brumata* (L.) (Geometridae) at Wytham, Berkshire[J]. Journal of Animal Ecology, 1969, 38(3): 567-576.
- [28] Hassell M P, Varley G C. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control[J]. Nature, 1969, 223(5211): 1133-1137.
- [29] 周大荣, 王玉英, 刘宝兰, 等. 玉米螟人工大量繁殖研究: I. 一种半人工饲料及其改进[J]. 植物保护学报, 1980, 7(2): 113-122.
- [30] 宋彦英, 周大荣, 何康来. 亚洲玉米螟无琼脂半人工饲料的研究与应用[J]. 植物保护学报, 1999, 26(4): 324-328.
- [31] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [32] 陈俊谕, 陈泰运, 符悦冠, 等. 哥德恩蚜小蜂对螺旋粉虱的功能反应研究[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(2): 175-180.
- [33] Holling C S. The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation[J]. Memories of the Entomological Society of Canada, 1965, 97(S45): 5-60.
- [34] Luck R F. Principles of arthropod predation[M]//Ecological Entomology. New York: Wiley, 1985, 497-530.
- [35] Sabelis M W, Crawley M J. Natural enemies: the population biology of predators, parasites and diseases[M]//Predatory Arthropods. Oxford: Blackwell, 1992, 225-264.
- [36] Mills N J, Lacan I. Ratio dependence in the functional response of insect parasitoids: evidence from *Trichogramma minutum* foraging for eggs in small host patches[J]. Ecological Entomology, 2010, 29(2): 208-216.
- [37] 陈鹏, 王凤珍, 李春成, 等. 榆紫叶甲赤眼蜂寄生功能反应对梯度恒温的响应[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(1): 114-116.