

# 蠋蝽对棉铃虫幼虫的捕食功能反应

孙婧婧<sup>1</sup> 王孟卿<sup>2\*</sup> 唐艺婷<sup>2</sup> 李心钰<sup>1</sup> 张礼生<sup>2</sup> 李 虎<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

**摘要:** 为明确蠋蝽 *Arma custos* 对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 幼虫的生物防控潜能, 在室内条件下测定蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的捕食能力以及不同蠋蝽密度对自身捕食作用的影响。结果显示: 蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的捕食功能反应均符合Holling II模型。蠋蝽5龄若虫对棉铃虫3龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间和日最大捕食量分别为0.829、0.024 d和41.667头; 蠋蝽雌成虫对棉铃虫3龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间和日最大捕食量分别为0.796、0.020 d和50.000头; 蠋蝽雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间和日最大捕食量分别为0.752、0.021 d和47.619头。蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的搜寻效应均随猎物密度的增加而逐渐降低。当棉铃虫幼虫密度固定时, 单头蠋蝽的日捕食量随蠋蝽密度的增加而逐渐降低, 蠋蝽对棉铃虫的捕食作用受到自身密度的干扰, 5龄若虫和雌、雄成虫的干扰系数分别为0.548、0.702和0.772。表明蠋蝽5龄若虫及雌、雄成虫均对棉铃虫3龄幼虫具有一定的防控能力, 且成虫对棉铃虫幼虫的防控能力大于5龄若虫。

**关键词:** 蠋蝽; 棉铃虫; 生物防治; 功能反应

## Predatory functional response of *Arma custos* (Hemiptera: Pentatomidae) to the larvae of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)

Sun Jingjing<sup>1</sup> Wang Mengqing<sup>2\*</sup> Tang Yiting<sup>2</sup> Li Xinyu<sup>1</sup> Zhang Lisheng<sup>2</sup> Li Hu<sup>1\*</sup>

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract:** To investigate the potential of *Arma custos* to control the larvae of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*, the predation behaviors of *A. custos* at the 5th instar nymphal and adult stages towards the 3rd instar *H. armigera* larvae, and the effects of predator density on the predation ability of *A. custos* were tested under laboratory conditions. The results showed that the predatory functional response of the 5th instar larvae and adults of *A. custos* fitted the Holling II equation. The 5th instar nymphs had an attacking efficiency of 0.829, prey handling time of 0.024 d and a maximum predation of 41.667 heads; female adults had an attacking efficiency of 0.796, prey handling time of 0.020 d and a maximum daily predation of 50.000 heads; male adults had an attacking efficiency of 0.752, prey handling time of 0.021 d and a maximum daily predation of 47.619 heads. The searching effect of *A. custos* decreased with increasing density of *H. armigera*. When the density of *H. armigera* remained constant, increasing *A. custos* density resulted in a decrease in the individual daily predation rate. The predation of *A. custos* on the larvae of *H. armigera* was interfered by its own density, and the interference coefficients of the 5th instar nymphs, female and male adults of *A. custos* were 0.548, 0.702 and 0.772, respectively. The results indicated that both the 5th instar nymphs and adults of *A. custos* had a good

基金项目: 中国农业科学院基本科研业务费专项(Y2020YJ02), 中国烟草总公司贵州省公司蠋蝽绿色防控重大专项(201940)

\* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: mengqingsw@163.com, tigerleecau@hotmail.com

收稿日期: 2021-03-19

potential to control *H. armigera*, and adults had a better pest control potential than the 5th instar nymphs.

**Key words:** *Arma custos*; *Helicoverpa armigera*; biological control; functional response

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 隶属于鳞翅目夜蛾科,是棉花、玉米、小麦和烟草等重要农作物上的重大害虫(Tang et al., 2000; 李海强等, 2017; 商胜华等, 2020)。目前,我国对棉铃虫的防治主要依赖种植抗虫棉花和化学防治。转 Bt 基因抗虫棉花(Bt 棉花)的推广有效控制了棉铃虫在棉田的侵害和暴发(Wu et al., 2008)。然而, Bt 棉花长期大面积种植对棉铃虫形成了持续的选择压力,加快了害虫抗性的形成并降低了 Bt 棉花的抗虫效能(陆宴辉等, 2020)。Bt 棉花的种植还会影响天敌昆虫黑刺益蝽 *Podisus nigrispinus* 的生长发育(Malaquias et al., 2014)。同时,化学农药大量长期使用造成世界各地棉花产区的棉铃虫种群对拟除虫菊酯类等主要杀虫剂产生了较高抗性(Pereira et al., 2020; 全国农业技术推广服务中心, 2020),还导致农田生物多样性降低、水源与土壤污染等问题。充分发挥自然天敌的控害作用来综合治理棉铃虫是促进抗性作物持续利用、维护农田生态平衡和推进绿色农业发展的重要途径。

蠋蝽 *Arma custos* 隶属于半翅目蝽科益蝽亚科,可捕食鳞翅目、鞘翅目和半翅目等多个类群的害虫(Zou et al., 2012);该虫适应性强,在我国南北方均有分布,且不同于赤眼蜂等寄生性天敌昆虫需要每年人工繁殖至适龄后释放,蠋蝽在适宜的生境条件下连续释放 2~3 年,即可在释放地定殖并形成稳定种群,是一种具有良好推广应用前景的捕食性天敌昆虫(高卓等, 2009)。已有研究表明,蠋蝽对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (王燕等, 2019)、小菜蛾 *Plutella xylostella* (唐艺婷等, 2020a)、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (唐艺婷等, 2020b)等多种鳞翅目害虫有较强的捕食能力和控害潜能。蠋蝽对棉铃虫也有捕食行为(唐艺婷等, 2020b),但关于蠋蝽对棉铃虫的捕食能力和控害效果目前尚缺乏系统研究。本研究选取蠋蝽捕食能力较强的 5 龄若虫和雌、雄成虫,测定其对棉铃虫 3 龄幼虫的捕食功能反应、搜寻效应以及干扰效应,初步评价蠋蝽对棉铃虫幼虫的控害能力,以期为棉铃虫的生物防治提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试昆虫:蠋蝽由中国农业科学院植物保护研

究所天敌昆虫实验室提供,全部虫源置于长 21 cm、宽 14 cm、高 9 cm 的透明、透气养虫盒内,在温度(28±1)℃、光周期 16 L:8 D、相对湿度(70±5)%条件下用柞蚕 *Antheraea pernyi* 蛹饲养,取 5 龄若虫和成虫供试。柞蚕蛹购自西丰县农丰生防专业合作社。棉铃虫 3 龄幼虫购自科云生物公司,用自带人工饲料饲养供试。

供试植物:玉米品种为曲辰 19 号,利用营养土在温度(25±1)℃、光周期 16 L:8 D、相对湿度(60±5)%条件下培养至 3 叶期供试。

仪器:RXZ 型人工气候箱,宁波江南仪器厂公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 蠋蝽对棉铃虫 3 龄幼虫的捕食量测定

选取蜕皮 24 h 内的蠋蝽 5 龄若虫和羽化 24 h 内的蠋蝽雌、雄成虫,分别单头置于杯底直径 5.5 cm、杯口直径 7.5 cm、高 9.5 cm 的塑料杯内进行饥饿处理,杯口以孔径为 0.125 mm 的尼龙纱网覆盖后用橡皮筋密封,仅在纱网上放置 1 块浸湿的 6 cm<sup>2</sup> 大小的脱脂棉供蠋蝽补充水分,置于人工气候箱内饥饿 24 h。分别将 1 头饥饿处理后的 5 龄若虫和雌、雄成虫蠋蝽接入养虫盒内,每盒放置的棉铃虫 3 龄幼虫密度分别为 5、10、15、20、30、40 头,共计 18 个处理,并在养虫盒内放入 2 片新鲜玉米叶和少量人工饲料供棉铃虫幼虫取食,然后将养虫盒置于温度为(28±1)℃、光周期为 16 L:8 D、相对湿度为(70±5)%的人工气候箱内饲养,24 h 后检查盒内棉铃虫 3 龄幼虫的存活数量,计算蠋蝽在不同猎物密度下的日捕食量和日捕食率。每个密度处理重复 10 次,每个养虫盒为 1 个重复。日捕食率=日捕食量/养虫盒内原有棉铃虫 3 龄幼虫数量×100%。

#### 1.2.2 蠋蝽对棉铃虫 3 龄幼虫的捕食功能反应确定

捕食功能反应是指单头蠋蝽在试验设定的猎物密度下单位时间内(1 d)捕食的棉铃虫幼虫数量。蠋蝽 5 龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫 3 龄幼虫的捕食功能反应利用 Holling II 模型:  $N_a = aNT_t / (1 + aT_h N)$  (Holling, 1959)进行拟合分析,其中  $N_a$  为蠋蝽捕食棉铃虫 3 龄幼虫的头数; $a$  为蠋蝽对棉铃虫 3 龄幼虫的瞬间攻击率; $N$  为每盒放置的棉铃虫 3 龄幼虫密度; $T_t$  为试验总时间,为 1 d; $T_h$  为处理时间,即蠋蝽捕食 1 头棉铃虫 3 龄幼虫所用的时间,单位为 d; $1/T_h$

为日最大捕食量;  $a/T_h$  为控害效能。利用控害效能  $a/T_h$  来衡量蠋蝽对棉铃虫3龄幼虫的捕食能力。

### 1.2.3 蠋蝽对棉铃虫3龄幼虫的搜寻效应确定

蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的搜寻效应利用方程  $S=a/(1+aT_hN)$  (丁岩钦, 1994) 进行拟合分析, 其中  $S$  为搜寻效应,  $N$  为猎物密度, 瞬间攻击率  $a$  和处理时间  $T_h$  均由 1.2.2 中 Holling II 模型拟合得到。

### 1.2.4 蠋蝽密度对捕食的干扰试验

选取蜕皮 24 h 内的蠋蝽5龄若虫和羽化 24 h 内的蠋蝽雌、雄成虫饥饿处理 24 h, 方法同 1.2.1。根据预试验结果, 将棉铃虫3龄幼虫和饥饿处理后的蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫分别按 40:1、40:2、40:3、40:4、40:5 的比例接入养虫盒内, 共计 15 个处理, 并在养虫盒内放入 2 片新鲜玉米叶和少量人工饲料供棉铃虫幼虫取食, 然后将养虫盒置于温度为  $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光周期为 16 L:8 D、相对湿度为  $(70 \pm 5)\%$  的人工气候箱内饲养, 24 h 后检查盒内棉铃虫3龄幼虫的存活数量, 计算蠋蝽在不同密度下的日捕食量, 计算方法同 1.2.1。每个密度处理重复 5 次, 每个养虫盒为 1 个重复。蠋蝽自身密度对其捕食效应的影响采用 Watt 干扰模型  $A=a'P^b$  (Watt, 1959) 进行拟合分析, 式中,  $A$  为竞争条件下平均每只蠋蝽捕食棉铃虫3龄幼虫的头数,  $a'$  为蠋蝽的最大捕食量,  $P$  为蠋蝽密度,  $b$  为捕食者蠋蝽之间的干扰系数。

## 1.3 数据分析

数据用 Excel 2019 处理后, 使用 Graph Pad 6.01 软件拟合蠋蝽对棉铃虫的捕食功能反应、搜寻效应和干扰反应方程并作图, 利用 Tukey 法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 蠋蝽对棉铃虫3龄幼虫的捕食量

蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫均对棉铃虫3龄幼虫具有较大的捕食量。随着棉铃虫幼虫密度的增加, 蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫的日捕食量也不断增加, 但捕食量的增幅逐渐减缓。在试验设计的猎物密度范围内, 当棉铃虫幼虫密度一定时, 蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫的日捕食量之间无显著差异。当猎物密度达到 40 头/盒时, 蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫的日捕食量达到最大, 分别为 18.6、18.6 和 18.1 头, 与猎物密度为 30 头/盒时的日捕食量差异不显著, 但显著大于其他密度下的日捕食量(表1)。蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的日捕食率随棉铃虫密度的增加而降低, 当棉铃虫密度由 5 头/盒上升至 15 头/盒时, 蠋蝽的日捕食率下降幅度较大。当棉铃虫密度达到 40 头/盒时, 蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫幼虫的日捕食率开始低于 50.00%, 分别为 46.50%、46.50% 和 45.25%(表2)。

表1 蠋蝽对不同密度棉铃虫3龄幼虫的日捕食量

Table 1 Daily predation capacity of *Arma custos* against the 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera* at different densities

| 捕食者虫态<br>Stage of predator | 5头/盒<br>5 larvae/box | 10头/盒<br>10 larvae/box | 15头/盒<br>15 larvae/box | 20头/盒<br>20 larvae/box | 30头/盒<br>30 larvae/box | 40头/盒<br>40 larvae/box |
|----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 5龄若虫 5th instar nymph      | 4.5±0.2 df           | 7.6±0.5 cd             | 9.1±0.6 bc             | 11.0±0.8 b             | 15.6±0.9 a             | 18.6±1.2 a             |
| 雌成虫 Female adult           | 4.5±0.2 df           | 7.2±0.4 cd             | 8.5±0.6 bc             | 11.3±0.7 b             | 17.7±1.3 a             | 18.6±1.3 a             |
| 雄成虫 Male adult             | 4.4±0.2 df           | 6.6±0.5 cd             | 8.3±0.6 bc             | 11.0±0.5 b             | 16.6±0.8 a             | 18.1±1.2 a             |

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示经 Tukey 法检验差异显著 ( $P<0.05$ )。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference by Tukey test ( $P<0.05$ ).

表2 蠋蝽对不同密度棉铃虫3龄幼虫的日捕食率

Table 2 Daily predation rates of *Arma custos* on the 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera* at different densities %

| 捕食者虫态<br>Stage of predator | 5头/盒<br>5 larvae/box | 10头/盒<br>10 larvae/box | 15头/盒<br>15 larvae/box | 20头/盒<br>20 larvae/box | 30头/盒<br>30 larvae/box | 40头/盒<br>40 larvae/box |
|----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 5龄若虫 5th instar nymph      | 90.00                | 76.00                  | 60.67                  | 55.00                  | 52.00                  | 46.50                  |
| 雌成虫 Female adult           | 90.00                | 72.00                  | 56.67                  | 56.50                  | 59.00                  | 46.50                  |
| 雄成虫 Male adult             | 88.00                | 66.00                  | 55.33                  | 55.00                  | 55.33                  | 45.25                  |

### 2.2 蠋蝽对棉铃虫3龄幼虫的捕食功能反应

蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的捕食量随棉铃虫密度的升高而增加, 当棉铃虫密度大于 30 头/盒时增幅减缓并逐渐趋于日最大捕食量

(图1), 功能反应均符合 Holling II 模型(表3)。其中, 蠋蝽5龄若虫对棉铃虫3龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间和日最大捕食量分别为 0.829、0.024 d 和 41.667 头; 蠋蝽雌成虫对棉铃虫3龄幼虫的瞬时攻击

率、处理时间和日最大捕食量分别为0.796、0.020 d和50.000头；蠋蝽雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间和日最大捕食量分别为0.752、0.021 d和47.619头。控害效能 $a/T_h$ 表明，蠋蝽雌成虫对棉铃虫3龄幼虫的控害效能最高(39.800)，雄成虫次之(35.810)，5龄若虫的控害效能最低(34.542)。

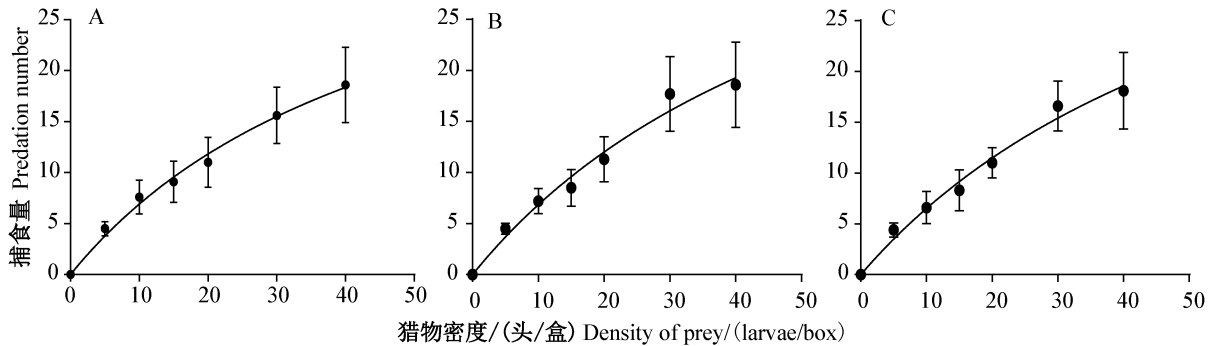


图1 蠋蝽5龄若虫(A)、雌成虫(B)和雄成虫(C)对棉铃虫3龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 1 Functional responses of the 5th instar nymph (A), female adult (B) and male adult (C) of *Arma custos* to the 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera*

表3 蠋蝽对棉铃虫3龄幼虫的捕食功能反应

Table 3 Functional responses of *Arma custos* to the 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera*

| 捕食者虫态<br>Stage of predator | 捕食功能方程<br>Functional response equation | $R^2$ | 瞬时攻击率<br>Attacking efficiency | 处理时间<br>Handling time/d | 日最大捕食量<br>Maximum daily predation | 控害效能<br>Predation capacity |
|----------------------------|----------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 5龄若虫<br>5th instar nymph   | $N_a=0.829N/(1+0.020N)$                | 0.879 | $0.829\pm0.078$               | $0.024\pm0.004$         | 41.667                            | 34.542                     |
| 雌成虫<br>Female adult        | $N_a=0.796N/(1+0.016N)$                | 0.860 | $0.796\pm0.080$               | $0.020\pm0.004$         | 50.000                            | 39.800                     |
| 雄成虫<br>Male adult          | $N_a=0.752N/(1+0.016N)$                | 0.893 | $0.752\pm0.066$               | $0.021\pm0.004$         | 47.619                            | 35.810                     |

表中数据为平均数±标准误。 $N_a$ : 被蠋蝽捕食的猎物数;  $N$ : 猎物密度。Data in the table are mean±SE.  $N_a$ : Number of preys predated;  $N$ : prey density.

### 2.3 蠋蝽对棉铃虫3龄幼虫的搜寻效应

蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的搜寻效应均随着猎物密度的增加而降低,表明蠋蝽对棉铃虫幼虫的搜寻难度随猎物密度的增加而逐渐降低,搜寻时间也逐渐减少。在棉铃虫幼虫密度为

5头/盒时,蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫的搜寻效应最高,分别为0.754、0.737和0.697;在棉铃虫幼虫密度为40头/盒时,蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫的搜寻效应最低,分别为0.462、0.486和0.461(图2)。

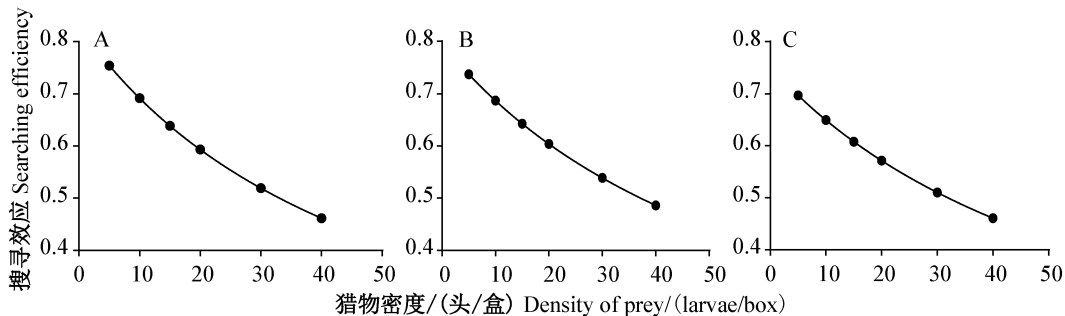


图2 蠋蝽5龄若虫(A)、雌成虫(B)和雄成虫(C)对棉铃虫3龄幼虫的搜寻效应

Fig. 2 Searching efficiencies of the 5th instar nymph (A), female adult (B) and male adult (C) of *Arma custos* to the 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera*

### 2.4 蠋蝽密度对自身捕食作用的影响

在捕食空间一定和棉铃虫3龄幼虫密度固定的

情况下,单头蠋蝽的捕食量随其自身密度的增加而不断降低,总捕食量则不断增加,表明蠋蝽在捕食棉

铃虫3龄幼虫时,个体间存在相互干扰和竞争。随着蠋蝽自身密度的增加,个体间的相互干扰增强,5龄若虫的日平均捕食量由16.800头逐渐下降至

7.200头,雌成虫的日平均捕食量由17.800头逐渐下降至5.120头,雄成虫的日平均捕食量由17.800头逐渐下降至5.280头(表4)。

表4 不同蠋蝽密度下其对棉铃虫3龄幼虫的日捕食量

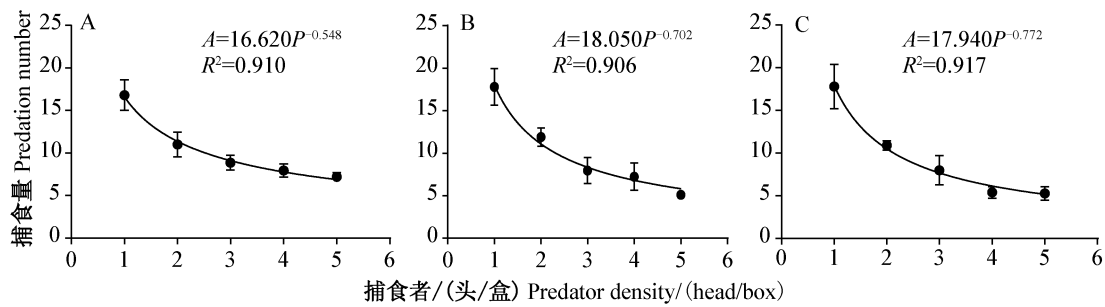
Table 4 Daily predatory capacity of *Arma custos* against the 3rd larvae of *Helicoverpa armigera*

| 捕食者虫态<br>Stage of predator | 蠋蝽密度/(头/盒) Density of <i>A. custos</i> /(head/box) |                 |                 |                  |                |
|----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|
|                            | 1                                                  | 2               | 3               | 4                | 5              |
| 5龄若虫 5th instar nymph      | 16.800±0.800 Aa                                    | 11.000±0.652 Ab | 8.868±0.388 Abc | 7.950±0.348 Acd  | 7.200±0.219 Ac |
| 雌成虫 Female adult           | 17.800±0.970 Aa                                    | 11.900±0.485 Ab | 7.966±0.681 Ac  | 7.248±0.714 ABcd | 5.120±0.049 Bd |
| 雄成虫 Male adult             | 17.800±1.158 Aa                                    | 10.900±0.245 Ab | 7.998±0.766 Ac  | 5.400±0.302 Bc   | 5.280±0.350 Bc |

表中数据为平均数±标准误。同列不同大写字母、同行不同小写字母表示经Tukey法检验差异显著( $P<0.05$ )。Data in the table are mean±SE. Different uppercase letters in the same column and different lowercase letters in the same row indicate significant difference by Tukey test ( $P<0.05$ ).

蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的自身密度干扰反应方程分别为 $A=16.620P^{-0.548}$ 、 $A=18.050P^{-0.702}$ 和 $A=17.940P^{-0.772}$ 。蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫在无干扰情况下对棉铃虫3龄幼虫的平均捕

食量分别为16.620、18.050和17.940头,与本研究蠋蝽密度为1头/盒时的日捕食量接近(表4)。蠋蝽雄成虫的干扰系数最大,为0.772;雌成虫的干扰系数略低,为0.702;5龄若虫的干扰系数最小,为0.548(图3)。



A: 每只蠋蝽的捕食量; P: 捕食者密度。A: Predatory capacity; P: predator density.

图3 蠋蝽密度对其5龄若虫(A)、雌成虫(B)和雄成虫(C)捕食量的影响

Fig. 3 Effects of the predator density on the predatory capacities of the 5th instar nymph (A), female adult (B) and male adult (C) of *Arma custos*

### 3 讨论

利用天敌昆虫来防治害虫是生物防治的重要手段之一,而明确天敌昆虫对目标害虫的控害能力是应用天敌昆虫的首要基础,捕食功能反应试验是测试天敌昆虫对目标害虫控害能力大小的经典方法(Holling, 1959; 侯峥嵘等, 2020; 段雪莹等, 2021)。本研究的捕食功能反应测试结果表明,蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的日最大捕食量接近,在41.667~50.000头之间,且捕食功能反应均符合Holling II模型,这与益蝽 *Picromerus lewisi* (唐艺婷等, 2018)、叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* (范悦莉等, 2019)、大红犀猎蝽 *Sycanus falleni* (侯峥嵘等, 2020)和东亚小花蝽 *Orius sauteri* (孙贝贝等, 2020)等捕食蝽对猎物的捕食功能反应模型一致。

本研究发现,蠋蝽5龄若虫对棉铃虫3龄幼虫的

瞬间攻击率较雌、雄成虫高,但对猎物的处理时间也相对较长,对猎物的控害效能( $a/T_h$ )略低于雌、雄成虫,分别为34.542、39.800和35.810,即蠋蝽5龄若虫对棉铃虫3龄幼虫的捕食能力低于雌、雄成虫。但蠋蝽对棉铃虫3龄幼虫的控害效能远高于蠋蝽成虫对斜纹夜蛾、思茅松毛虫 *Dendrolimus kikuchii*、云南松毛虫 *Dendrolimus houi* 和马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* 3龄幼虫的控害效能(分别为18.205、2.578、2.678和3.293)(唐艺婷等, 2020b; 熊跃芝等, 2020),与其对草地贪夜蛾3龄幼虫和小菜蛾4龄幼虫的控害效能接近(分别为63.588和90.500)(王燕等, 2019; 唐艺婷等, 2020a)。这些差异可能与试验环境温度、捕食蝽的饥饿程度、对猎物的喜食程度以及能量需求不同有关(孙贝贝等, 2020; 唐艺婷等, 2020a, b)。因此,在实际应用时需要综合考虑环境条件、捕食蝽所处虫态和靶标害虫种类,以充分发挥

天敌的捕食控害能力。在本试验中,蠋蝽5龄若虫对棉铃虫幼虫的捕食能力与其成虫相近,且捕食期长于成虫,释放后可以捕食更多害虫,因此在防治棉铃虫时应考虑优先释放蠋蝽5龄若虫,在节约成本的同时提高天敌利用率和控害效果。

天敌对猎物的搜寻效应通常会随着猎物密度的增加而降低(Holling, 1959; 丁岩钦, 1994),在益蝽捕食黏虫 *Mythimna separata* 3龄幼虫(唐艺婷等, 2018)、大红犀猎蝽捕食草地贪夜蛾3龄幼虫(侯峙嵘等, 2020)、大草蛉 *Chrysopa pallens* 与东亚小花蝽捕食草地贪夜蛾低龄幼虫(曹雯星等, 2020; 孙贝贝等, 2020)和龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 捕食柑橘木虱 *Diaphorina citri*(周军辉等, 2020)的捕食试验中表现出相同的规律。而蠋蝽的搜寻效应也同样呈现出随着棉铃虫幼虫密度增加而不断降低的趋势,且在猎物密度小于15头/盒时,相同猎物密度下蠋蝽5龄若虫的搜寻效应大于雌、雄成虫,而随着猎物密度的增大,5龄若虫搜寻效应的降幅大于雌、雄成虫,对猎物的搜寻效应相对较低,表明5龄若虫受猎物密度的影响更大。在蠋蝽对小菜蛾4龄幼虫的捕食试验中,相同猎物密度下5龄若虫对猎物的搜寻效应高于雌、雄成虫,且受猎物密度的影响同样大于雌、雄成虫(唐艺婷等, 2020a)。但在蠋蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食试验中,相同猎物密度下雌成虫对猎物的搜寻效应较高、受猎物密度的影响更大(唐艺婷等, 2020b)。这些差异可能与猎物种类有关,猎物种类不同其密度对不同虫态蠋蝽的影响程度也不同。因此在应用蠋蝽进行生物防治时,还需要参考天敌昆虫对猎物的搜寻效应,在害虫密度相对较低时选择释放对害虫搜寻能力较高的天敌虫态。

在猎物密度及捕食空间一定时,蠋蝽捕食棉铃虫幼虫存在捕食者自身的种内干扰效应,且蠋蝽雌、雄成虫间的种内干扰效应大于5龄若虫,表明成虫更倾向于单独捕食,这与东亚小花蝽捕食草地贪夜蛾1龄幼虫(孙贝贝等, 2020)的结果一致。因此,在田间实际应用之前,为充分利用天敌资源,还需要进一步优化蠋蝽释放的益害比,以提高其控害效率。根据本试验结果,当棉铃虫3龄幼虫密度为30头/盒时,即蠋蝽与棉铃虫幼虫比例为1:30时,蠋蝽5龄若虫和成虫对棉铃虫幼虫的日捕食量较高、日捕食率均大于50%,且此时天敌对猎物的搜寻效应相对较高,随着棉铃虫幼虫密度增加,蠋蝽对猎物的日捕食量趋于稳定,日捕食率逐渐下降。但蠋蝽的捕食能力与环境条件息息相关,在复杂的田间环境下,蠋蝽

对猎物的捕食能力明显低于室内条件下(高卓等, 2012)。因此,田间条件下蠋蝽与棉铃虫幼虫的最适释放比例是否为1:30还有待进一步研究。

本研究在室内条件下探究了蠋蝽5龄若虫和雌、雄成虫对棉铃虫3龄幼虫的捕食能力,明确了蠋蝽对棉铃虫幼虫具有较好的防控潜能,并建议释放蠋蝽5龄若虫来防治棉铃虫。而在田间自然环境下蠋蝽的捕食行为还受到作物种类、作物密度、气候条件和地理区域等多种生物及非生物因素的影响(唐艺婷等, 2020a,b; 熊跃芝等, 2020)。因此,为充分发挥天敌的控害作用,还需通过田间释放试验进一步明确蠋蝽对棉铃虫的实际控制能力以及释放的最适益害比。在饲养过程中发现,蠋蝽2~4龄若虫对棉铃虫幼虫也表现出积极的捕食行为,蠋蝽低龄若虫对棉铃虫幼虫的控害能力也有待进一步研究。此外,棉铃虫成虫较强的繁殖能力和远距离迁飞的习性是造成其种群激增、区域性扩散成灾的主要原因(吴孔明和郭予元, 2007)。因此,利用蠋蝽防治棉铃虫幼虫的同时,应整合信息素、食诱剂、飞蛾诱捕器等技术,群集诱杀成虫,降低田间落卵量,从而实现棉铃虫种群的绿色综合治理(陆宴辉等, 2020)。

## 参 考 文 献 (References)

- Cao WX, Zhang T, Yang H, Xu ZQ, Gu JJ, Chen HX. 2020. Evaluation of predatory function of *Chrysopa pallens* to larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. Journal of Plant Protection, 47(4): 839-844 (in Chinese) [曹雯星, 张韬, 杨欢, 徐自强, 顾俊杰, 陈红星. 2020. 大草蛉对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能评价. 植物保护学报, 47(4): 839-844]
- Ding YQ. 1994. Mathematical ecology of insects. Beijing: Science Press, pp. 257-258, 303-304 (in Chinese) [丁岩钦. 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社, pp. 257-258, 303-304]
- Duan XY, Wang YD, Zhang NZ, Gao F, Zhao ZH. 2021. Research advances in evaluation methods of predator's control of insect pests. Journal of Plant Protection, 48(2): 275-288 (in Chinese) [段雪莹, 王祎丹, 张乃钊, 高峰, 赵紫华. 2021. 捕食性天敌控害能力评价方法进展. 植物保护学报, 48(2): 275-288]
- Fan YL, Gu XH, Xian JD, Chen XM, Lu YY, Zhang LM, Zhou WB. 2019. Functional response of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Environmental Entomology, 41(6): 1175-1180 (in Chinese) [范悦莉, 谷星慧, 洗继东, 陈雪梅, 陆永跃, 张立猛, 周文兵. 2019. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾的捕食功能反应. 环境昆虫学报, 41(6): 1175-1180]
- Gao Z, Wang XW, Zhang LX, Sun Y, Fan JS, Fu X, Jin N, Wang GQ. 2012. Study on artificial breeding technology and releasing in field of *Arma chinensis* Fallou. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 3(1): 65-73 (in Chinese) [高卓, 王哲玮, 张李香, 孙元, 范锦胜, 付雪, 金娜, 王贵强. 2012. 蠋蝽人工繁殖

- 技术及田间释放控制研究. 黑龙江大学工程学报, 3(1): 65–73]
- Gao Z, Zhang LX, Wang GQ. 2009. *Arma chinensis* fallow protection and utilization as a control agent of sugarbeet insect-pests. Sugar Crops of China, 31(1): 70–72 (in Chinese) [高卓, 张李香, 王贵强. 2009. 保护利用蠊蝽防治甜菜害虫. 中国糖料, 31(1): 70–72]
- Holling CS. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. The Canadian Entomologist, 91(7): 385–398
- Hou ZR, Sun BB, Liu XJ, Yin Z, Li JP, Guo XH. 2020. Predatory functional response of assassin bug *Sycanus falleni* to the larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. Journal of Plant Protection, 47(4): 852–858 (in Chinese) [侯峥嵘, 孙贝贝, 刘先建, 尹哲, 李金萍, 郭喜红. 2020. 大红犀猎蝽对草地贪夜蛾3龄幼虫捕食功能反应. 植物保护学报, 47(4): 852–858]
- Li HQ, Li JH, Yang L, Liu J, Lu YH. 2017. A preliminary report of cotton bollworm harming walnut tree. China Plant Protection, 37(9): 44–45, 61 (in Chinese) [李海强, 李金花, 杨龙, 刘建, 陆宴辉. 2017. 棉铃虫为害核桃树调查初报. 中国植保导刊, 37(9): 44–45, 61]
- Lu YH, Liang GM, Zhang YJ, Yang XM. 2020. Advances in the management of insect pests of cotton in China since the 21st century. Chinese Journal of Applied Entomology, 57(3): 477–490 (in Chinese) [陆宴辉, 梁革梅, 张永军, 杨现明. 2020. 二十一世纪以来棉花害虫治理成就与展望. 应用昆虫学报, 57(3): 477–490]
- Malaquias JB, Ramalho FS, Omoto C, Godoy WAC, Silveira RF. 2014. Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on Bt cotton. Ecotoxicology, 23(2): 192–200
- National Agro-Tech Extension and Service Center. 2020. Monitoring results and recommendations for scientific drug use of agricultural pests in 2019. China Plant Protection, 40(3): 64–69 (in Chinese) [全国农业技术推广服务中心. 2020. 2019年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 40(3): 64–69]
- Pereira RM, Abbade Neto D, Amado D, Durigan MR, de Franciscatti RA, Mocheti M, Omoto C. 2020. Baseline susceptibility and frequency of resistance to diamide insecticides in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. Crop Protection, 137: 105266
- Shang SH, Tian TA, Zhao L, Yu XF, Shen XX, Yang MF. 2020. Tobacco pests trapping and killing by sugar-acetic acid mixtures. Tobacco Science & Technology, 53(7): 26–32 (in Chinese) [商胜华, 田太安, 赵丽, 于晓飞, 申修贤, 杨茂发. 2020. 不同配方糖醋液诱源对贵州遵义烟田害虫的诱杀作用. 烟草科技, 53(7): 26–32]
- Sun BB, Hou ZR, Dong M, Li JP, Guo XH, Yin Z. 2020. Functional response of *Orius sauteri* to the 1st-instar larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. Journal of Plant Protection, 47(4): 845–851 (in Chinese) [孙贝贝, 侯峥嵘, 董民, 李金萍, 郭喜红, 尹哲. 2020. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾1龄幼虫的捕食作用. 植物保护学报, 47(4): 845–851]
- Tang DL, Wang CZ, Luo LE, Qin JD. 2000. Comparative study on the responses of maxillary sensilla styloconica of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* and oriental tobacco budworm *H. assulta* larvae to phytochemicals. Science in China Series C: Life Sciences, 43(6): 606–612
- Tang YT, Guo Y, He GW, Liu CX, Chen HY, Zhang LS, Wang MQ. 2018. Functional responses of *Picromerus lewisi* Scott (Hemiptera: Pentatomidae) attacking *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). Chinese Journal of Biological Control, 34(6): 825–830 (in Chinese) [唐艺婷, 郭义, 何国玮, 刘晨曦, 陈红印, 张礼生, 王孟卿. 2018. 不同龄期的益蝽对粘虫的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 34(6): 825–830]
- Tang YT, Guo Y, Pan MZ, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, Wang MQ. 2020a. Predation of *Plutella xylostella* larva by *Arma chinensis*. Plant Protection, 46(4): 155–160 (in Chinese) [唐艺婷, 郭义, 潘明真, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 王孟卿. 2020a. 蠊蝽对小菜蛾幼虫的捕食作用. 植物保护, 46(4): 155–160]
- Tang YT, Wang MQ, Li YY, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS. 2020b. Predation of *Arma chinensis* on *Spodoptera litura* larvae. Chinese Tobacco Science, 41(1): 62–66 (in Chinese) [唐艺婷, 王孟卿, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生. 2020b. 蠊蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用. 中国烟草科学, 41(1): 62–66]
- Wang Y, Zhang HM, Yin YQ, Li XY, Zhao XQ, Tang YT, Wang MQ, Chen AD, Chen FS, Zhang LS. 2019. Predation of adult of *Arma chinensis* to larvae of *Spodoptera frugiperda*. Plant Protection, 45(5): 42–46 (in Chinese) [王燕, 张红梅, 尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 唐艺婷, 王孟卿, 湛爱东, 陈福寿, 张礼生. 2019. 蠊蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力. 植物保护, 45(5): 42–46]
- Watt KEF. 1959. A mathematical model for the effect of densities of attacked and attacking species on the number attacked. The Canadian Entomologist, 91(3): 129–144
- Wu KM, Guo YY. 2007. Geotype differentiation and regional migratory regularity of *Helicoverpa armigera* in China. Plant Protection, 33(5): 6–11 (in Chinese) [吴孔明, 郭予元. 2007. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律. 植物保护, 33(5): 6–11]
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ. 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. Science, 321(5896): 1676–1678
- Xiong YZ, Li M, Wu SL, Deng W. 2020. Predation function responses of *Arma chinensis* to 3 *Dendrolimus* spp. Hunan Forestry Science & Technology, 47(3): 49–53 (in Chinese) [熊跃芝, 李密, 伍绍龙, 邓婉. 2020. 蠊蝽对3种主要松毛虫的捕食功能反应. 湖南林业科技, 47(3): 49–53]
- Zhou JH, Li PL, Naiwuzhati·Zunong, Zheng HN, Huang J, Wang ZH. 2020. Functional response and predation preference of ladybeetle *Propylea japonica* to Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*. Journal of Plant Protection, 47(5): 1062–1070 (in Chinese) [周军辉, 李鹏雷, 乃吾扎提·祖农, 郑齐娜, 黄建, 王竹红. 2020. 龟纹瓢虫对柑橘木虱的捕食功能反应及猎物偏好性. 植物保护学报, 47(5): 1062–1070]
- Zou DY, Wang MQ, Zhang LS, Zhang Y, Zhang XJ, Chen HY. 2012. Taxonomic and bionomic notes on *Arma chinensis* (Fallou). Zootaxa, 3382(1): 41–52