



赵航, 廖贤斌, 高平, 邢孔政, 梁晨, 吴国星, 陈斌, 高熹. 叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 422–429.

叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的捕食功能反应

赵航, 廖贤斌, 高平, 邢孔政, 梁晨, 吴国星, 陈斌, 高熹*

(云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201)

摘要: 叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 是一种在生物防治方面有重要作用和潜力的捕食性天敌昆虫, 为探明叉角厉蝽对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 幼虫的控害潜力, 在室内温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $65\% \pm 10\%$ 、光周期 16 L:8 D 条件下, 观察了叉角厉蝽 4 龄、5 龄若虫和成虫分别对亚洲玉米螟 3 龄、4 龄幼虫的捕食行为, 测定了叉角厉蝽对不同亚洲玉米螟密度下的捕食量、搜寻效应以及自身密度和种间干扰对捕食作用的影响。结果表明, 叉角厉蝽对亚洲玉米螟的捕食功能反应符合 Holling-II 功能反应模型, 叉角厉蝽 3 个虫龄对亚洲玉米螟 3 龄与 4 龄幼虫的理论最大取食量顺序均为: 成虫 (30.21 头) > 5 龄若虫 (24.69 头) > 4 龄若虫 (11.96 头), 相同虫龄的叉角厉蝽对亚洲玉米螟 3 龄幼虫的最大取食量均大于对亚洲玉米螟 4 龄幼虫的最大取食量。在亚洲玉米螟相同虫龄内, 搜寻效应与猎物密度的增加呈负相关。在生存环境和亚洲玉米螟幼虫密度固定的条件下, 其平均捕食量和搜寻效应与叉角厉蝽成虫密度的增加呈负相关。叉角厉蝽成虫与亚洲玉米螟幼虫以相同比例增加时, 叉角厉蝽成虫种间会产生干扰作用。结果表明了叉角厉蝽对亚洲玉米螟具有较好的控害潜力, 为今后高效利用叉角厉蝽田间防治亚洲玉米螟提供了理论依据。

关键词: 叉角厉蝽; 亚洲玉米螟; 捕食功能; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 02-0422-08

Functional response of *Eocanthecona furcellata* to the larvae of *Ostrinia furnacalis*

ZHAO Hang, LIAO Xian-Bin, GAO Ping, XING Kong-Zheng, LIANG Chen, WU Guo-Xing, CHEN Bin, GAO Xi* (College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: *Eocanthecona furcellata* is a kind of natural predator which plays an important role and potential in biological control. The predatory potential of *E. furcellata* to the *Ostrinia furnacalis* larvae was explored. The predation behavior of the 4th, 5th nymphs and adult of *E. furcellata* on the 3rd and 4th larvae of *O. furnacalis* was observed under conditions of indoor temperature $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, relative humidity $65\% \pm 10\%$, light cycle 16 L:8 D. The predation amount and searching effect of *E. furcellata* on *O. furnacalis* under different densities and the effects of its own density and interspecific disturbance on predation were determined. The results showed that the predation function of the larvae of 3rd and 4th larvae of the *O. furnacalis* was consistent with the Holling II model. Under laboratory conditions, the maximum predation of the *E. furcellata* adult to the 3rd larvae was 30.21, and the theoretical maximum predation amount of the 3rd and 4th *O. furnacalis* larvae was as follows: adult > 5th nymph > 4th nymph. In the same instar of *O. furnacalis*, the searching ratio decreased with the increase of prey density. In a certain environment, when the density of prey was fixed, the average predator number and searching ratio of the

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0200308, 2018YFD0200703); 云南省教育厅科学研究基金 (2020Y143)

作者简介: 赵航, 男, 硕士研究生, 主要研究方向为害虫生物防治, E-mail: zhaohang666669@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 高熹, 博士, 副教授, 主要研究方向为害虫生态控制, E-mail: chonchon@163.com

收稿日期 Received: 2021-01-20; 接受日期 Accepted: 2021-03-18

predator decreased with the increase of predator density. When the same proportion of *E. furcellata* adults and *O. furnacalis* larvae increased, *E. furcellata* adult also produce interspecific interference. The study proved that *E. furcellata* was efficient for predation on the *O. furnacalis*, and it also supplied theoretical basis for utilizing *E. furcellata* to control *O. furnacalis* in the field.

Key words: *Eocanthecona furcellata*; *Ostrinia furnacalis*; predation function; biological control

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 属鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae, 是我国玉米 *Zea mays* 的主要害虫, 玉米生产的产量与质量深受其影响。亚洲玉米螟是一种杂食性害虫, 寄主范围广, 危害水稻 *Oryza sativa*、谷子 *Setaria italica*、玉米、大麻 *Cannabis sativa* 和高粱 *Sorghum bicolor* 等粮食与经济作物, 玉米在其一般发生年份减产 1/10 左右, 在大发生年份能造成 3/10 的产量损失, 严重时甚至绝收 (王振营等, 2019)。

亚洲玉米螟在田间以幼虫为害为主, 主要在玉米苗期和抽穗以后危害, 幼虫 3 龄后开始潜藏为害, 潜藏在幼嫩新叶、雄穗、花叶和苞丝上进行取食, 4 龄之后钻入茎秆进行为害, 玉米茎秆被蛀后, 阻断营养运输, 整体长势变弱, 同时穗部被蛀后造成的机械损伤还极易诱发玉米穗腐病等病害 (He *et al.*, 2006; 郑天翔等, 2019), 是黄淮海流域夏玉米田最为严重的蛀穗、蛀茎害虫之一 (袁志华等, 2013)。

叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 是一种重要的捕食性天敌昆虫, 该捕食性蝽捕食范围较广, 大多数鳞翅目昆虫幼虫均能被其捕食 (朱涤芳, 1990)。在生物防治中, 利用捕食性天敌进行害虫综合防治是生物防治的重要构成部分 (林明江等, 2012), 在林业、设施农业害虫防控中利用其发挥了一定的作用 (杨怀文, 2015; 张帆等, 2015; 党英侨等, 2018)。国内外学者对叉角厉蝽已开展了较多方面的研究 (Parveen *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2020)。廖贤斌等 (2020) 对叉角厉蝽捕食粘虫幼虫的功能反应进行了研究, 发现叉角厉蝽成虫对 3 龄粘虫的捕食能力最强, 理论最大捕食量 78.74 头; 范悦莉等 (2020) 研究发现, 叉角厉蝽 3 龄若虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫具有较好的捕食能力, 日最大捕食量为 50.25 头, 同时发现其捕食作用具有一定的种内干扰作用。此外, 叉角厉蝽对尘污灯蛾 *Spilarctia obliqua*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、豆荚野螟 *Maruca testulalis*、隐纹谷弄蝶 *Pelopidas mathias*、绿额翠尺蛾 *Thalassodes proquadria* 等鳞翅目害虫同样有较强的捕食能力

(谢钦铭等, 2001; Pillai *et al.*, 2013; 陈然等, 2020)。

鉴于亚洲玉米螟幼虫期的危害特点以及叉角厉蝽的捕食特性, 本实验选择了叉角厉蝽 4 龄、5 龄若虫和成虫分别对亚洲玉米螟 3 龄、4 龄幼虫的捕食能力进行研究, 同时拟合了成虫的搜寻效应和自身密度干扰模型, 以期探明叉角厉蝽对亚洲玉米螟的防控潜力, 为日后利用叉角厉蝽防治亚洲玉米螟提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

叉角厉蝽: 采自云南省玉溪市元江县的蓝花楹 *Jacaranda mimosifolia*, 在实验室内于温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $65\% \pm 10\%$ 、光周期 16 L:8 D 条件下饲喂黄粉虫 *Tenebrio molitor* 蛹进行继代繁殖, 同时在其野外发生时期采集野生虫源与室内饲养的成虫交配传代。实验前叉角厉蝽 4 龄、5 龄若虫和成虫均饥饿 24 h。

亚洲玉米螟: 采自于云南省宣威市玉米田, 在实验室内于温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $60\% \pm 10\%$ 、光周期 16 L:8 D 条件下饲喂以人工饲料形成稳定种群, 室内饲喂 3 代后用于试验。

1.2 叉角厉蝽 4 龄、5 龄若虫和成虫对亚洲玉米螟 3 龄、4 龄幼虫的捕食功能反应

本实验选择长 14 cm、宽 8.3 cm、高 7 cm 的透明测试盒作为测试容器, 试验环境条件为温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、RH $65\% \pm 10\%$ 、光周期 16 L:8 D。设置每盒 3、6、9、12、15 头共 5 个密度梯度水平的亚洲玉米螟幼虫。在测试容器中移入相应虫龄和数量的亚洲玉米螟幼虫, 同时在其中添加适量玉米叶作为亚洲玉米螟幼虫的食物, 容器顶部具有数个用于透气的小洞, 随后移入 1 头相应龄期并饥饿 24 h 的叉角厉蝽, 其中成虫试虫为随机抓取发育良好的雌雄个体, 观察 24 h 后亚洲玉米螟的存活数量。各组合重复 5 次。

1.3 叉角厉蝽成虫自身密度对亚洲玉米螟功能反应的影响

本实验在 1.2 中使用的测试盒和环境条件下进行, 每个测试盒放入亚洲玉米螟 3 龄幼虫 50 头和密度分别为 1、2、3、4、5 头/盒的叉角厉蝽成虫。24 h 后观察亚洲玉米螟的存活数量, 每个处理重复 3 次。

1.4 干扰反应

按天敌: 猎物 = 1: 10, 分别移入 1、2、3、4、5 头叉角厉蝽成虫和 10、20、30、40、50 头亚洲玉米螟, 24 h 后观察亚洲玉米螟的存活数量, 每个处理重复 3 次。

1.5 数据分析

叉角厉蝽对亚洲玉米螟的功能反应方程:

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{aT} \times \frac{1}{N} + \frac{Th}{T}$$

式中: N_e 是被捕食的亚洲玉米螟数量; N 是供试猎物亚洲玉米螟密度; T 是试验持续时间; a 是瞬时攻击率; Th 是捕食者处置一头猎物所用的时间。由于 $T = 1 \text{ d} (24 \text{ h})$, 故公式可以简化为:

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{a} \times \frac{1}{N} + Th \text{ (Holling, 1959)}。$$

叉角厉蝽对亚洲玉米螟搜寻效应方程: $S = \frac{a}{1 + aThN}$, 式中 a 是功能反应方程中的瞬时攻击率; Th 是捕食者处置一头猎物所用的时间; N 是供试猎物亚洲玉米螟的密度; S 是搜寻效应值。

$E = QP - m\left(E = \frac{N_e}{NP}\right)$, E 是捕食作用率; Q 是搜寻常数; P 是捕食者的密度; m 是干扰常数; N_e 捕食的猎物总数; N 是猎物密度 (Hassell, 1969)。

Watt 反应模型方程: $A = aP - b$, A 是竞争条件下的捕食量, a 是常数 (无竞争条件下每头天敌的捕食量估计), b 是种内竞争参数, P 是天敌密度 (Watt, 1959)。

试验所得的数据使用 Excel 进行分析整理, 用 SPSS 21.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的捕食能力

叉角厉蝽 4 龄、5 龄若虫、成虫分别对亚洲玉

米螟 3 龄、4 龄幼虫的实际捕食量与理论捕食量如图 1 ~ 图 3 所示, 叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的实际捕食量随着亚洲玉米螟幼虫密度的增加而增大, 其增大趋势随着亚洲玉米螟密度的持续增加而逐渐减慢, 最终达到一种近似于饱和的捕食量。叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的捕食功能反应及其参数结果如表 1。其相关系数 r 在 0.9 ~ 0.99 之间, χ^2 范围 (0.2325 ~ 0.2325) 均小于 $\chi^2_{(4, 0.01)} = 13.277$, 说明叉角厉蝽 4 龄、5 龄若虫和成虫对亚洲玉米螟 3 龄、4 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型。叉角厉蝽成虫对亚洲玉米螟 3 龄幼虫瞬时攻击率最高, 为 0.8757, 叉角厉蝽 5 龄若虫对亚洲玉米螟 4 龄幼虫的瞬时攻击率最低, 为 0.4868; 叉角厉蝽处于同一虫龄时, 随着亚洲玉米螟的虫龄的增大, 理论最大取食量减少, 处理时间增长, 瞬时攻击率变小; 叉角厉蝽对亚洲玉米螟 3 龄、4 龄幼虫的理论最大取食量随着叉角厉蝽虫龄的增加而增加, 成虫时对亚洲玉米螟 3 龄、4 龄幼虫捕食量最高, 分别为 30.21 和 17.12 头 (表 1)。

2.2 叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的搜寻效应

依据寻找效应方程和捕食功能反应的参数值, 可以得到叉角厉蝽对亚洲玉米螟的搜寻效应 (图 4)。叉角厉蝽对亚洲玉米螟 3 龄、4 龄幼虫的搜寻效应值大致均为成虫 > 5 龄若虫 > 4 龄若虫; 当亚洲玉米螟幼虫虫龄相同时, 4 龄、5 龄若虫、成虫叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的搜寻效应与猎物密度呈负相关; 同一虫态的叉角厉蝽对亚洲玉米螟 4 龄幼虫的搜寻效应小于其对亚洲玉米螟 3 龄幼虫的搜寻效应。

2.3 叉角厉蝽自身密度对亚洲玉米螟搜寻效应的影响

依据自身密度干扰反应方程, 利用 Hassell 模型拟合得到叉角厉蝽成虫对亚洲玉米螟 3 龄幼虫的种内干扰反应方程为 $E = 0.3157P^{-0.416}$ ($r = 0.952$, $\chi^2 = 0.0047 < \chi^2_{(4, 0.01)} = 13.277$), 当亚洲玉米螟 3 龄幼虫密度设置为 50 头/盒时, 叉角厉蝽成虫的总捕食量随其自身密度增大而增大, 不同密度下的叉角厉蝽成虫捕食量之间具有显著差异 ($P < 0.05$), 密度为 1 头/盒与密度为 4 头/盒、5 头/盒之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。叉角厉蝽对亚洲玉米螟的搜寻效应和平均捕食量随着叉角厉蝽成虫密度增大而降低 (表 2)。

表 1 叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的功能反应
Table 1 Functional response of *Eocanthecona furcellata* on *Ostrinia furnacalis* larvae

叉角厉蝽虫态 <i>Eocanthecona furcellata</i> stage	亚洲玉米螟幼虫虫龄 <i>Ostrinia furnacalis</i> larvae stage	瞬时攻击率 a Instantaneous attack rate (a)	处理时间 Th Handling time (Th)	圆盘方程 Holling equation	理论最大取食量 (头) Theoretical maximum predation	相关系数 r Correlation coefficient (r)	χ^2	P
4 龄若虫 4 th nymph	3 龄幼虫 3 rd larvae	0.7911	0.0836	$Ne = 0.7911N / (1 + 0.0661N)$	11.96	0.9922	0.0177	0.997
	4 龄幼虫 4 th larvae	0.6329	0.1057	$Ne = 0.6329N / (1 + 0.0669N)$	9.46	0.9942	0.0314	0.999
5 龄若虫 5 th nymph	3 龄幼虫 3 rd larvae	0.8188	0.0405	$Ne = 0.8188N / (1 + 0.0332N)$	24.69	0.9926	0.0985	0.098
	4 龄幼虫 4 th larvae	0.4868	0.0617	$Ne = 0.4868N / (1 + 0.030N)$	16.21	0.9441	0.2027	0.995
成虫 Adult	3 龄幼虫 3 rd larvae	0.8757	0.0331	$Ne = 0.8757N / (1 + 0.0289N)$	30.21	0.9982	0.0386	0.999
	4 龄幼虫 4 th larvae	0.7955	0.0584	$Ne = 0.7955N / (1 + 0.0464N)$	17.12	0.9669	0.1811	0.996

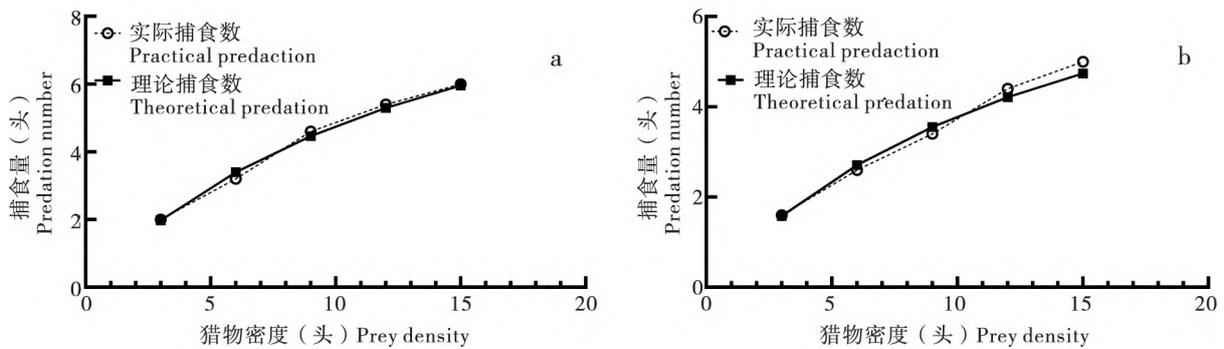


图 1 叉角厉蝽 4 龄若虫对亚洲玉米螟幼虫的捕食量

Fig. 1 Predation of 4th nymph of *Eocanthecona furcellata* on *Ostrinia furnacalis* larvae

注: a, 亚洲玉米螟 3 龄幼虫; b, 亚洲玉米螟 4 龄幼虫。下同。Note: a, 3rd larvae of *Ostrinia furnacalis*; b, 4th larvae of *Ostrinia furnacalis*. The same below.

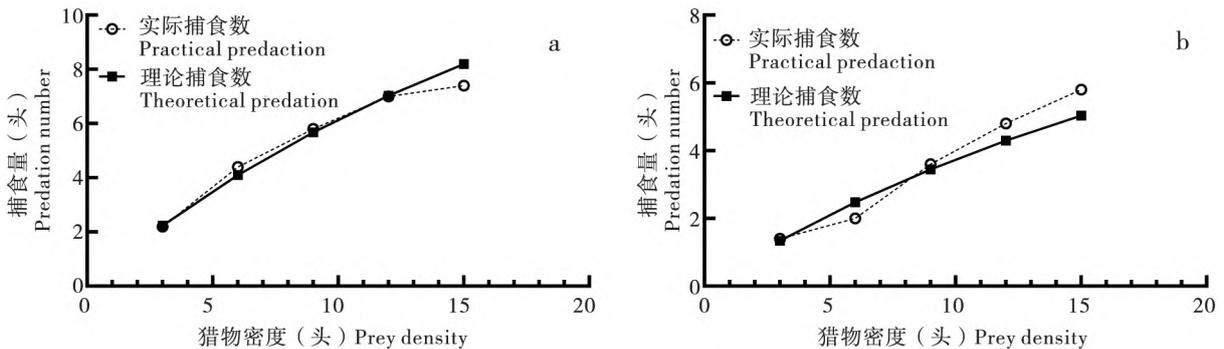


图 2 叉角厉蝽 5 龄若虫对亚洲玉米螟幼虫的捕食量

Fig. 2 Predation of 5th nymph of *Eocanthecona furcellata* on *Ostrinia furnacalis* larvae

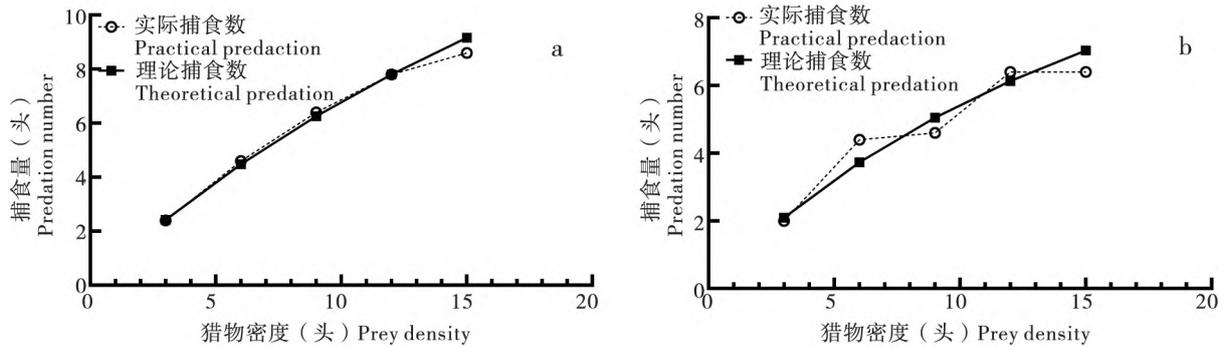


图3 叉角厉蝽成虫对亚洲玉米螟幼虫的捕食量

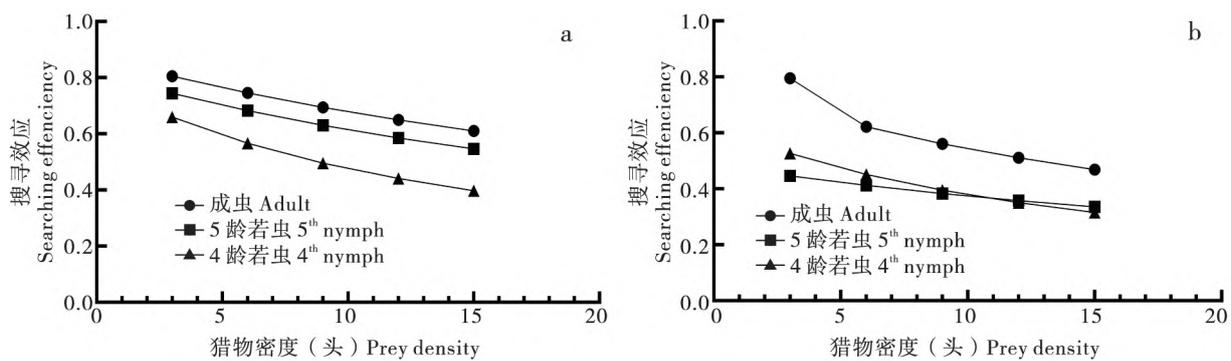
Fig. 3 Predation of *Eocanthecona furcellata* adult on *Ostrinia furnacalis* larvae

图4 叉角厉蝽对亚洲玉米螟幼虫的搜寻效应

Fig. 4 Searching efficiency of *Eocanthecona furcellata* to *Ostrinia furnacalis* larvae

注: a, 亚洲玉米螟 3 龄幼虫; b, 亚洲玉米螟 4 龄幼虫。Note: a, 3rd larvae of *O. furnacalis*; b, 4th larvae of *O. furnacalis*.

表2 叉角厉蝽成虫密度对搜寻效应的影响

Table 2 Effect of *Eocanthecona furcellata* adult density to searching efficiency

捕食者密度 (头/盒) Predator density	猎物密度 (头/盒) Prey density	捕食量 (头) Predator number	平均捕食量 (头) Average predator number	搜寻效应 Searching efficiency
1	50	16.67 ± 7.51 b	16.67	0.333
2	50	21.67 ± 3.79 ab	10.83	0.216
3	50	29.00 ± 5.57 ab	9.67	0.193
4	50	37.00 ± 2.00 a	9.25	0.185
5	50	41.33 ± 0.58 a	8.27	0.165

注: 表中数据为平均数 ± 标准误, 同一列数字后具有相同的字母表示在 0.05 水平上差异不显著 (Tukey 多重比较法)。表 3 同。Note: Data were mean ± SE, and followed by the same letters in the same column indicate no significant difference at 0.05 level by Tukey multiple range test. Same to table 3.

2.4 干扰反应

通过拟合 Watt 反应模型, 得到 $a = 9.9329$, $b = 0.0073$, 拟合结果为 $A = 9.9329P^{-0.073}$ ($r = 0.9911$, $\chi^2 = 0.0299 < \chi^2_{(4, 0.01)} = 13.277$)。结果表

明: 在猎物与天敌比例固定的条件下, 叉角厉蝽成虫数量越大, 叉角厉蝽的捕食量也越大, 不同密度下具有显著差异 ($P < 0.05$), 但其平均捕食量呈减少趋势 (表 3)。

表 3 叉角厉蝽成虫种间干扰反应

Table 3 Interference response of *Eocanthecona furcellata* adult

捕食者密度 (头/盒) Predator density	猎物密度 (头/盒) Prey density	捕食量 (头) Predator number	平均捕食量 (头) Average predator number	种内干扰方程 Intraspecific interference equatiuon
1	10	9.33 ± 0.58 e	9.33	A = 9.9329P ^{-0.073}
2	20	17.67 ± 1.53 d	8.83	
3	30	26.00 ± 3.61 c	8.67	
4	40	33.67 ± 3.21 b	8.42	
5	50	41.33 ± 0.58 a	8.27	

3 结论与讨论

本研究表明,叉角厉蝽4龄、5龄若虫和成虫对亚洲玉米螟3龄、4龄幼虫的捕食功能反应均符合Holling II模型。在实验条件下,该蝽捕食能力随亚洲玉米螟幼虫密度增大而增大,但增大的趋势逐渐减缓。叉角厉蝽各虫龄对亚洲玉米螟3龄和4龄幼虫理论最大捕食量排序顺序相同,均为:成虫>5龄若虫>4龄若虫。叉角厉蝽成虫对亚洲玉米螟3龄幼虫理论最大捕食量和瞬时攻击率分别为30.21头、0.8757,对亚洲玉米螟4龄幼虫理论最大捕食量和瞬时攻击率分别为17.12头、0.7955,表明叉角厉蝽对亚洲玉米螟具有较强的捕食作用,尤其是对亚洲玉米螟3龄幼虫具有更强的控害能力。

前人研究发现,黄足肥螋*Euborellia pallipes*对亚洲玉米螟3龄幼虫的理论最大日捕食量为79.37头(宁格等,2013);拟环纹豹蛛*Pardosa pseudoannulata*雌蛛与雄蛛对亚洲玉米螟3龄幼虫的理论最大日捕食量分别为85头和26头(田耀加等,2012);本试验结果显示,叉角厉蝽成虫对亚洲玉米螟3龄幼虫的理论最大日取食量为30.21头,低于黄足肥螋与拟环纹豹蛛雌虫,高于拟环纹豹蛛雄虫。造成捕食量出现差异的原因除物种原因和实验设计外,还可能是由于黄足肥螋能够进入亚洲玉米螟的蛀孔内进行取食,减轻了亚洲玉米螟幼虫钻蛀结网行为对其捕食行为的影响。

在实验中观察到,叉角厉蝽对亚洲玉米螟的捕食行为与其它具有刺吸式口器的黄带犀猎蝽*Betta macrostoma*(王亚楠等,2020)、蝟蝽*Arma chinensis*(王燕等,2019)的捕食行为相似。在经

过搜寻后,叉角厉蝽会迅速发起进攻,直接将口针刺入亚洲玉米螟幼虫身体,同时分泌大量唾液导致猎物快速麻痹(Lemos *et al.*, 2005),在此过程中口针一直保持插入,同时伴随有拖拽行为发生,直至幼虫被刺死,刺死后的亚洲玉米螟仍然会被叉角厉蝽取食甚至干瘪。然而,在捕食亚洲玉米螟高龄幼虫时,由于幼虫虫体较大,反抗较激烈,有时叉角厉蝽会收回口器,转而寻找下一头猎物,虽然此时取食终止,但注入害虫体内的唾液仍会导致幼虫死亡。据观察,被刺死的亚洲玉米螟数量明显大于实际被取食的量。

寻找效应是捕食者对猎物在捕食作用中的一种进行攻击的行为效应,在室内亚洲玉米螟密度固定条件下,叉角厉蝽的捕食量与自身密度呈正相关,平均捕食量和搜寻效应与自身密度呈负相关,随着捕食者密度增加,捕食者互相遭遇的几率增大,导致其寻找时间相应增大,捕食效果下降,产生干扰作用(周集中等,1986);在生存空间固定的情况下,叉角厉蝽成虫与亚洲玉米螟幼虫的密度呈相同比例增加时,叉角厉蝽成虫之间表现为较强的种内干扰作用。该结果与叉角厉蝽对斜纹夜蛾幼虫(陈然等,2015)、绿额翠尺蛾幼虫(谢钦铭等,2001)的捕食功能反应类似。因此在实际应用时需调查田间的亚洲玉米螟虫态和数量,在亚洲玉米螟处于较低虫龄的时期进行大规模释放,同时也要考虑到自身密度和种间干扰对叉角厉蝽捕食能力的影响。考虑到亚洲玉米螟具有钻蛀的习性,可能影响到叉角厉蝽对害虫的寻找效应,在田间进行释放时,为取得更好的控害效果,应尽量于玉米苗期、亚洲玉米螟虫龄较低时释放。

本实验是在实验室设定的猎物条件与外部环境固定的条件下进行的,所研究的捕食性天敌捕

食能力是在理想环境下的捕食能力 (唐天成等, 2018)。在实际应用中捕食性天敌的捕食能力受到温度、光照、湿度、害虫、其它天敌等生物因素和非生物因素的影响, 这些因素对叉角厉蝽捕食亚洲玉米螟的捕食功能的影响有待于继续探究。鉴于自然环境具有复杂多样性, 需要依据模型进行估算, 综合考虑环境、害虫数量等因素确定所需释放的天敌数量, 来达到较好的控制效果 (Heinz & Nelson, 1996; 王媛等, 2015)。

参考文献 (References)

- Chen R, Liang GW, Zhang ZY, et al. The functional response of *Cahtheconidea furcellata* (Hemiptera: Asopinae) to *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (2): 401–406. [陈然, 梁广文, 张拯研, 等. 叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (2): 401–406]
- Dang YQ, Wang XY, Yang ZQ. Advances in biological control of forest insect pests by using natural enemies in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (2): 242–255. [党英侨, 王小艺, 杨忠岐. 天敌昆虫在我国林业害虫生物防治上的研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (2): 242–255]
- Fan YL, Gu XH, Xian JD, et al. Functional response of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (6): 1175–1180. [范悦莉, 谷星慧, 洗继东, 等. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (6): 1175–1180]
- Gao P, Liao XB, Wu GX, et al. Gross morphology and ultrastructure of the salivary glands of the stink bug predator *Eocanthecona furcellata* [J]. *Microscopy Research and Technique*, 2021, 84 (2): 246–252.
- Hassell MP, Varley GC. New induction population model for insect parasites and its bearing on biological control [J]. *Nature*, 1969, 223 (5211): 1113–1137.
- He KL, Wang ZY, Bai SX, et al. Efficacy of transgenic Bt cotton for resistance to the Asian corn borer (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *Crop Protection*, 2006, 25 (2): 167–173.
- Heinz KM, Nelson JM. Interspecific interactions among natural enemies of *Bemisia* an inundative biological control program [J]. *Biological Control*, 1996, 6 (3): 384–393.
- Lemos WP, Ramalho FS, Serrão JE, et al. Morphology of female reproductive tract of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) fed on different diets [J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2005, 48 (1): 129–138.
- Liao XB, Gao P, Zhao H, et al. Functional response of adult of *Eocanthecona furcellata* to the larvae of *Mythimna separata* [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2020, 51 (8): 1992–1997. [廖贤斌, 高平, 赵航, 等. 叉角厉蝽成虫对粘虫幼虫的捕食功能反应 [J]. 南方农业学报, 2020, 51 (8): 1992–1997]
- Lin MJ, An YX, Guan CX, et al. Application prospects of predator of sugarcane borers [J]. *Sugarcane and Canedugar*, 2012, 3: 29–33. [林明江, 安玉兴, 管楚雄, 等. 甘蔗螟虫捕食性天敌昆虫利用前景 [J]. 甘蔗糖业, 2012, 3: 29–33]
- Ning G, Zhang LM, Du GZ, et al. Predation function of *Eurellia pallipes* Shriraki adults on *Ostrinia furnacalis* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (3): 305–310. [宁格, 张立敏, 杜广祖, 等. 黄足肥螋成虫对亚洲玉米螟的捕食作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (3): 305–310]
- Parveen S, Ahmad A, Brožek J, et al. Morphological diversity of the labial sensilla of phytophagous and predatory Pentatomidae (Hemiptera: Heteroptera), with reference to their possible functions [J]. *Zootaxa*, 2015, 4039 (2): 359–372.
- Pillai AK, Agnihotri M. Biology and predatory potential of *Eocanthecona furcellata* Wolff on *Maruca vitrata* Geyer [J]. *Madras Agricultural Journal*, 2013, 21 (1): 95–101.
- Tian YJ, Liang GW, Zeng L, et al. Predatory efficiencies of *Pardosa pseudoannulata* on eggs and early instar larvae of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (4): 478–483. [田耀加, 梁广文, 曾玲, 等. 拟环纹豹蛛对亚洲玉米螟卵及低龄幼虫的捕食效应 [J]. 中国生物防治学报, 2012, 28 (4): 478–483]
- Tang TC, Zhang Y, Li JC, et al. Predatory responses of *Chrysoperla sinica* and *Chrysopa pallens* to *Aleurocan spinifetus* nymphs [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (2): 217–222. [唐天成, 张艳, 李程锦, 等. 中华通草蛉和大草蛉幼虫对黑刺粉虱若虫的捕食功能反应 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (2): 217–222]
- Watt KEF. A mathematical model for the effect of densities of attacked and attacking species on the number attacked [J]. *Candad Entomologist*, 1959, 91 (3): 129–144.
- Wang Y, Chen Y, Zhang ZY, et al. Study on preying potential of different stages of nymphs and adults of *Harmonia axyridis* Pallas on *Myzus persicae* Sulzer [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (5): 1075–1080. [王媛, 陈越, 张拯研, 等. 不同龄期异色瓢虫对烟蚜的捕食潜能研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (5): 1075–1080]
- Wang ZY, Wang XM. Current status and management strategies for corn pests and diseases in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (1): 1–11. [王振营, 王晓鸣. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策 [J]. 植物保护, 2019, 45 (1): 1–11]
- Wang YN, Zhao SY, He YZ, et al. Predation of the larvae of *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith by *Sycanus croceouittatus* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (4): 525–529. [王亚楠, 赵胜园, 何运转, 等. 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (4): 525–529]
- Wang Y, Zhang HM, Yin YQ, et al. Predation of adult of *Arma chinensis* to larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 42–46. [王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蝽蝽成虫对草地贪夜蛾不同虫龄幼虫的捕食能力 [J]. 植物保护, 2019, 45 (5): 42–46]
- Xie QM, Liang GW, Luo S, et al. Observation of the predacious

- function of a bug *Cantheconidae furcellata* on Litchi Looper *Thalassodes proquadria* [J]. *Jiangxi Science*, 2001, 19 (1): 21 - 23. [谢钦铭, 梁广文, 罗诗, 等. 叉角厉蝽对绿额翠尺蛾幼虫的捕食作用的初步研究 [J]. 江西科学, 2001, 19 (1): 21 - 23]
- Yang HW. Review in utilization of insect natural enemies during the period from 1985 to 2015 in China (Part I) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (5): 603 - 612. [杨怀文. 我国农业害虫天敌昆虫利用三十年回顾 (上篇) [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (5): 603 - 612]
- Yuan ZH, Guo JF, Wang ZY, et al. Feeding preference of the Asia corn borer larvae for different host plants [J]. *Journal of Plant Protection*, 2013, 40 (3): 205 - 210. [袁志华, 郭井菲, 王振营, 等. 亚洲玉米螟幼虫对不同寄主植物的取食选择性 [J]. 植物保护学报, 2013, 40 (3): 205 - 210]
- Zhang F, Li Z, Xiao D, et al. Progress in pest management by natural enemies in greenhouse vegetables in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48 (17): 182 - 195. [张帆, 李姝, 肖达, 等. 中国设施蔬菜害虫天敌昆虫应用研究进展 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (17): 182 - 195]
- Zheng TX, Lei YM, Yin DZ, et al. Research progress of *Ostrinia furnacalis* in China [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2017, 14 (18): 8 - 11. [郑天翔, 雷玉明, 殷大泽, 等. 我国玉米螟的研究进展 [J]. 长江大学学报 (自科版), 2017, 14 (18): 8 - 11]
- Zhou JZ, Chen CM. Predation effect of the *Lycosa pseudoamulata* on the *Nilaparvata lugens* and its simulation model I. Functional response [J]. *Bulletin of Biological Control*, 1986, 2 (1): 2 - 9. [周集中, 陈常铭. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究 I. 功能反应 [J]. 生物防治通报, 1986, 2 (1): 2 - 9]
- Zhu DF. Study on biological characteristics of *Eocanthecona furcellata* Wolff [J]. *Natural Enemies of Insect*, 1990, 12 (2): 71 - 74. [朱涤芳. 叉角厉蝽生物学特性研究 [J]. 昆虫天敌, 1990, 12 (2): 71 - 74]