环境昆虫学报 2022，44（1）：27－34
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 01. 4

范悦莉，张晓滢，陆永跃，冼继东. 不同虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的室内捕食作用[J]. 环境昆虫学报，2022，44（1）：27－34.

不同虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的室内捕食作用

范悦莉，张晓滢，陆永跃，冼继东*
（华南农业大学植物保护学院，广州 510642）

摘要：为了明确叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellate*（Wolff）**对草地贪夜蛾** *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）**幼虫的控制作用，在实验室条件下测定了叉角厉蝽不同虫态对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力，研究了该蝽捕食功能反应、搜寻效应以及种内干扰作用。结果表明，叉角厉蝽3龄若虫、5龄若虫、成虫均可捕食草地贪夜蛾幼虫，总体呈现叉角厉蝽低龄若虫捕食草地贪夜蛾低龄幼虫的数量较多，高龄若虫和成虫捕食中间龄期幼虫数量较多的规律；叉角厉蝽3个虫态对草地贪夜蛾2～3龄幼虫的捕食功能反应均符合Holling II方程和Holling Ⅲ型功能反应新模型；5龄若虫对草地贪夜蛾2～3龄幼虫的捕食效能（a/T_h）最强（214.0）、日最大捕食量（$1/T_h$）最大（256.4头）。不同虫态叉角厉蝽的搜寻效应与草地贪夜蛾密度均呈负相关。建立了叉角厉蝽成虫密度、草地贪夜蛾4龄幼虫密度对捕食作用的干扰反应方程，干扰作用发生后该蝽的平均捕食量和捕食作用率均逐渐下降。本研究结果可为田间释放叉角厉蝽防治草地贪夜蛾提供依据。**

关键词：叉角厉蝽；草地贪夜蛾；捕食功能反应；搜寻效应；干扰反应
中图分类号：Q968.1；S476　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674－0858（2022）01－0027－08

Functional response of different stage of *Eocanthecona furcellate*（Wolff）preying on *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）larvae in the laboratory

FAN Yue-Li，ZHANG Xiao-Ying，LU Yong-Yue，XIAN Ji-Dong*（College of Plant Protection，South China Agricultural University，Guangzhou 510642，China）

Abstract： In order to clarify the control effect of stinkbug *Eocanthecona furcellate*（Wolff）on the moth *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）larvae，the predation ability of 3 stages of *E. furcellate* on different instar larvae of *S. frugiperda* was measured under laboratory conditions，and the predator-prey functional response，searching effect and intraspecific interference effect were studied based on the collected data. The results showed that 3rd instar nymphs，5th instar nymphs and adults of *E. furcellate* could prey on the larvae of *S. frugiperda*. In general，the number of the small instar larvae predated by the young nymphs was more，and the number of middle instar larvae was more preyed on by the aged nymphs and adults. The predatory functional responses of the three stinkbug stages to the 2nd～3rd instar larvae of the moth were in accordance with Holling II equation and Holling type III functional response model. The predation efficiency（a/T_h）of the 5th instar nymph of *E. furcellate* on the 2nd～3rd instar larvae of the moth was the highest（214.0），and the daily maximum predation（$1/T_h$）was the highest（256.4）. The searching efficiency of three stinkbug stages of *E. furcellate* was negatively correlated with its prey density. The interference response equation for the stink bug adult density and the moth 4th instar larva density on

基金项目：广东省重点领域研发计划项目（2020B020223004）；**广东省外来入侵物种风险评估和监测预警创新团队项目**（2020KJ134）
作者简介：范悦莉，女，1997**年生，河南周口人，硕士，从事害虫生物防治研究，**E－mail：1438932298@qq.com
* **通讯作者** Author for correspondence：**冼继东，女，博士，副教授，研究方向为农业害虫防治，**E－mail：jdxian@scau.edu.cn
收稿日期 Received：2021－02－23；**接受日期** Accepted：2021－05－28

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

predation was established, and the average predation amount and predation rate of the stink bug decreased gradually after the interference presented. The results can provide a basis and guide for releasing *E. furcellate* to control *S. frugiperda* in the fields.

Key words: *Eocanthecona furcellate* (Wolff); *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith); predatory functional response; searching efficiency; interference effect

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 是一种多食性害虫，原产地为美洲亚热带和热带地区 (Todde *et al.*, 1980; CABI, 2020)，2018 年 12 月在我国云南省首次发现后 (刘学礼等, 2019)，截止至 2019 年 10 月，草地贪夜蛾已侵入我国 26 省 (自治区、直辖市) 1 518 个县 (区、市)，对粮食生产安全构成了严重威胁 (姜玉英等, 2019b)。草地贪夜蛾的寄主范围广 (CABI, 2020)，在我国已发现该虫幼虫为害 15 种作物，喜食玉米 (姜玉英等, 2019b)。我国玉米不仅种植面积大，分布区域也较为广泛，充足的食物资源为草地贪夜蛾的种群区域性迁移为害和周年繁育奠定了基础，因此该虫将会在我国定殖且周年常态化发生 (杨普云等, 2019; 王磊等, 2019a)，已有调查证实南方 6 个省区成为该虫全年繁殖区 (齐国君等, 2020)。预测结果显示目前入侵我国的草地贪夜蛾“玉米型”种群最多可能入侵我国 30 个省级区域 2 300 多个县级区域，危害玉米等作物面积最大可能达到 500 万 ha 左右 (王磊等, 2019b; 王磊和陆永跃, 2020)。

作为应急防控措施，化学防治见效快，但使用不当时易使草地贪夜蛾产生抗药性。研究表明该虫对有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类等常用化学杀虫剂抗性已达中等至高等水平 (王芹芹等, 2019)。因此，对于草地贪夜蛾开发非化学防控手段很有必要，其中保护和利用天敌昆虫防治该虫可以取得较好效果 (唐璞等, 2019; 陈万斌等; 2019; Koffi *et al.*, 2020)。温室蝇 *Winthemia trinitatis*、岛甲腹茧蜂 *Chelonus insularis*、夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus*、*Chelonus insularis*、*Meteorus arizonensis* 和 *Campoletis flavicincta* 都可寄生草地贪夜蛾 (Zenner *et al.*, 2006; Carneiro *et al.*, 2010; Ordóñez-García *et al.*, 2015; Prasanna *et al.*, 2018)。黄足肥螋 *Eurellia pallipes*、八条瓢虫 *Harmonia octomaculata*、波纹瓢虫 *Coccinella transversalis*、多异瓢虫 *Hippodamia variegata*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 和七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 等也能够较好控制草地贪夜蛾低龄幼虫数量 (赵英杰等, 2019; Sharanabasappa *et al.*, 2019; 孔琳等, 2019a; 孔琳等, 2019b)。捕食性蝽如蠋蝽 *Arma chinensi*、益蝽 *Picromerus lewisi*、东亚小花蝽 *Orius sauteri* 和叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellate* 均具有较好的控害效果 (范悦莉等, 2019; 唐艺婷等, 2019; 王燕等, 2019; 赵雪晴等, 2019)。

叉角厉蝽是夜蛾类害虫的一种重要的捕食性天敌，但是关于该蝽对草地贪夜蛾控制作用的报道较少。唐敏等 (2019) 研究表明叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫具较好的捕食效能，尤其是 5 龄若虫和成虫捕食能力较强。笔者观察结果显示该蝽取食草地贪夜蛾幼虫时是以口针从幼虫体躯末端或腹部插入取食，且 3 龄若虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食能较好的拟和符合 Holling II 型功能反应模型 (范悦莉等, 2019)。虽然对于叉角厉蝽捕食草地贪夜蛾幼虫已有一些报道，但田间释放时还需要明确根据草地贪夜蛾幼虫发生龄期、密度等确定叉角厉蝽具体释放虫态、数量等诸多问题。为进一步评估和明确叉角厉蝽的捕食效能，本文开展了该蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用、捕食功能反应以及种内干扰作用等研究，可为田间应用叉角厉蝽防治草地贪夜蛾提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

叉角厉蝽：采自华南农业大学农场十字花科蔬菜地，在培养箱内 (温度 27 ± 1℃，相对湿度 70% ± 10%，光周期 L∶D = 16∶8) 用斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、黄粉虫 *Tenebrio molitor* 进行多代饲养备用。

草地贪夜蛾：采自广西省来宾市林碑村，用人工饲料在室内 (温度 27 ± 1℃，相对湿度 70% ± 10%，光周期 L∶D = 16∶8) 继代饲养，繁殖两代以上，选择健康虫体用于试验。

试验条件同上述饲养条件。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2　试验方法

1.2.1　不同虫态的叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力测定

叉角厉蝽设3龄若虫、5龄若虫和成虫3个虫态，草地贪夜蛾幼虫设1～2、3、4、5龄4个龄期组，共12个处理。用足量草地贪夜蛾幼虫供叉角厉蝽取食24 h后再饥饿24 h，用于室内捕食能力测定。

在直径15 cm塑料培养皿中放1头叉角厉蝽和20头草地贪夜蛾幼虫，每皿置一块浸湿脱脂棉。每处理重复5次。24 h后记录草地贪夜蛾幼虫活虫数。试验时放入足量人工饲料，以防止草地贪夜蛾幼虫自相残杀。计算单头叉角厉蝽的捕食量和捕食率。

捕食率(%)=(草地贪夜蛾幼虫总数－草地贪夜蛾幼虫活虫数)/草地贪夜蛾幼虫总数×100

1.2.2　不同虫态的叉角厉蝽对草地贪夜蛾2～3龄幼虫的捕食功能反应

叉角厉蝽设3龄若虫、5龄若虫和成虫3个虫态；草地贪夜蛾幼虫为2～3龄，密度设为5、10、15、25、35头/皿，每个培养皿中放1头叉角厉蝽，其它处理及重复数量同1.2.1。每个处理设置对照，记录自然死亡率。24 h后记录草地贪夜蛾幼虫被捕食数量。计算叉角厉蝽捕食量，并以对照组死亡率校正。

Holling Ⅱ圆盘方程：$N_a = aNT_r/(1+aT_hN)$，式中N_a为草地贪夜蛾被捕食数量，a为叉角厉蝽对草地贪夜蛾的瞬时攻击率，N为草地贪夜蛾的密度，T_r是叉角厉蝽搜寻草地贪夜蛾总时间（本试验中$T_r=1$ d），T_h即处理时间（为叉角厉蝽捕食1头草地贪夜蛾所需的时间）。当草地贪夜蛾密度N趋近于无穷时，$1/N$趋近于0，从而得到理论最大日捕食量$Na_{max}=1/T_h$（Holling，1959）。

Holling Ⅲ新模型方程：$N_a = a' \cdot \exp(-bN^{-1})$，式中$b$为最佳寻找密度，$a'$为捕食上限（汪世泽和夏楚贵，1988）。

两方程分别简化为$\frac{1}{N_a}=\frac{1}{a}\frac{1}{N}+T_h$和$\ln N_a = \ln a' - b\frac{1}{N}$。

1.2.3　不同虫态的叉角厉蝽对草地贪夜蛾2～3龄幼虫的搜寻效应

搜寻效应方程为$S=a/(1+aT_hN)$，其他参数同上（丁岩钦，1994）。

1.2.4　种内干扰作用对叉角厉蝽成虫捕食作用率的影响

叉角厉蝽成虫与草地贪夜蛾4龄幼虫按1∶10比例设置。每个培养皿中分别放入10、20、30、40、50头草地贪夜蛾4龄幼虫，然后依次放入1、2、3、4、5头叉角厉蝽成虫，试验过程中放入适量草地贪夜蛾人工饲料。共5个处理，重复4次。24 h后统计被捕食的草地贪夜蛾幼虫数量。

干扰反应方程：$E=QP^{-m}$（$E=\frac{Ne}{NP}$）。方程中E是竞争下的捕食作用率，Q为搜寻系数，P为叉角厉蝽的密度，m为捕食者和被捕食者的干扰常数，Ne为叉角厉蝽捕食的草地贪夜蛾总数，N为草地贪夜蛾密度（丁岩钦，1980）。

1.3　数据处理

所有数据先使用Excel 2010计算均值，再使用SPSS 19.0软件进行单因素方差分析（One－Way ANOVA），应用Duncan氏新复极差法比较不同数据组间差异。

2　结果与分析

2.1　叉角厉蝽不同虫态对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力

叉角厉蝽不同虫态对草地贪夜蛾不同龄期幼虫捕食量和捕食率见表1。

叉角厉蝽同一虫态对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力存在明显变化，总体表现为低龄若虫捕食低龄幼虫数量较多，高龄若虫和成虫捕食3龄和4龄幼虫数量较多。叉角厉蝽3龄若虫对草地贪夜蛾1～2龄幼虫的捕食能力最强，日捕食量为8.00头，捕食率为40.00%；3龄若虫的捕食能力随着草地贪夜蛾幼虫龄期不断增大而逐渐下降，其中对5龄幼虫捕食能力最弱，日捕食量和捕食率分别仅为1.60头和8.00%。叉角厉蝽5龄若虫对草地贪夜蛾3龄幼虫捕食能力最强，日捕食量达10.60头，捕食率最高为53.00%；对4龄、5龄幼虫日捕食量、捕食率相继降低，分别为9.40头、47.00%和4.40头、22.00%；对1～2龄幼虫捕食能力最弱，日捕食量、捕食率仅为1.20头、6.00%。叉角厉蝽成虫的捕食能力与5龄若虫表现类似的规律，对草地贪夜蛾幼虫的日捕食量、捕食率由高到低分别为3、4、5、1～2龄幼虫，对草地贪夜蛾的日捕食量、捕食率分别为9.00、8.80、4.20、0.40头和45.00%、44.00%、21.00%、2.00%。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力

Table1 Predatory ability of *Eocanthecona furcellate* on *Spodoptera frugiperda* larvae

叉角厉蝽虫态 Stage of *E. furcellate*	草地贪夜蛾幼虫龄期 Instar of *S. frugiperda* larva							
	1～2 龄 1st～2nd instar		3 龄 3rd instar		4 龄 4th instar		5 龄 5th instar	
	日捕食量(head) Predation Amount	捕食率(%) Predation rate	日捕食量(head) Predation amount	捕食率(%) Predation rate	日捕食量(head) Predation amount	捕食率(%) Predation rate	日捕食量(head) Predation amount	捕食率(%) Predation rate
3 龄若虫 3rd nymph	8.00 ± 0.45Aa	40.00 ± 2.24Aa	5.00 ± 0.32Ba	25.00 ± 1.58Ba	4.40 ± 0.40Ba	22.00 ± 2.00Ba	1.60 ± 0.24Ca	8.00 ± 1.23Ca
5 龄若虫 5th nymph	1.20 ± 0.97Ab	6.00 ± 4.85Ab	10.60 ± 0.24Bb	53.00 ± 1.22Bb	9.40 ± 0.51Bb	47.00 ± 2.55Bb	4.40 ± 0.24Cb	22.00 ± 1.23Cb
成虫 Adult	0.40 ± 0.24Ab	2.00 ± 1.22Ab	9.00 ± 1.48Bb	45.00 ± 7.42Bb	8.80 ± 0.86Bb	44.00 ± 4.30Bb	4.20 ± 0.49Cb	21.00 ± 2.45Cb

注：表中数据为平均值 ± 标准误，同一行数据后具相同大写字母和同一列数据后具相同小写字母者表示在 $P < 0.05$ 水平上差异不显著（Duncan's 复极差检验）。Note: Mean ± SE values, with the same uppercase letter after the same row of data and the same lowercase letter after the same column of data indicated that the difference was not significant at $P < 0.05$ (Duncan's multiple range test).

叉角厉蝽不同虫态对草地贪夜蛾同一龄期的幼虫的捕食结果显示，除了 3 龄若虫对 1～2 龄幼虫的捕食量较高于 5 龄若虫及成虫外，5 龄若虫和成虫对 3 龄、4 龄、5 龄幼虫捕食量均明显高于 3 龄若虫。

2.2 不同虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的捕食功能反应

叉角厉蝽各虫态对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 方程（表 2）。叉角厉蝽不同虫态捕食能力从大到小依次为 5 龄若虫、成虫、3 龄若虫，日最大捕食量分别为 256.4、116.3、11.5 头；瞬时攻击率由高到低依次为成虫、3 龄若虫、5 龄若虫，分别为 1.0091、0.9718、0.8348。从捕食效能指标来看，叉角厉蝽捕食能力的大小顺序为 5 龄若虫（214.0）＞成虫（117.3）＞3 龄若虫（11.2）。由以上研究结果可知，针对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫，叉角厉蝽 5 龄若虫的捕食效果显著优于 3 龄若虫和成虫。

表 2 叉角厉蝽对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的捕食功能反应（Holling II 圆盘方程）

Table 2 Predation functional response model (Holling-II disc equation) of *Eocanthecona furcellate* to 2nd～3rd *Spodoptera frugiperda* larvae

叉角厉蝽虫态 Stage of *E. furcellate*	Holling II 圆盘方程 Holling-II disc equation	瞬间攻击率 a Rate of instantaneous attack	处置时间(d) T_h Handling time	捕食效能 a/T_h Predator capacity	日最大捕食量 $1/T_h$ Maximum prey consumed daily	R^2	P
3 龄若虫 3rd nymph	$Na = 0.9718N/(1 + 0.0845N)$	0.9718	0.0870	11.2	11.5	0.9168	< 0.05
5 龄若虫 5th nymph	$Na = 0.8348N/(1 + 0.0033N)$	0.8348	0.0039	214.0	256.4	0.9817	< 0.01
成虫 Adult	$Na = 1.0091N/(1 + 0.0087N)$	1.0091	0.0086	117.3	116.3	0.9991	< 0.01

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.3　不同虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的搜寻效应

根据试验数据，计算出各虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的搜寻效应（图 1）。各虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的搜寻效应随着幼虫密度的增加呈逐渐减小的趋势。叉角厉蝽不同虫态对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的搜寻效应以成虫最高，5 龄若虫次之，3 龄若虫最低。

2.4　叉角厉蝽各虫态对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的最佳寻找密度

分析并建立叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫捕食作用的 Holling Ⅲ型功能反应新模型（表 3）。由该结果可知，叉角厉蝽 3 龄若虫、5 龄若虫、成虫对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的最佳寻找密度分别为 5.5、9.7 和 9.4 头，捕食上限分别为 10.0、26.3 和 28.8 头。

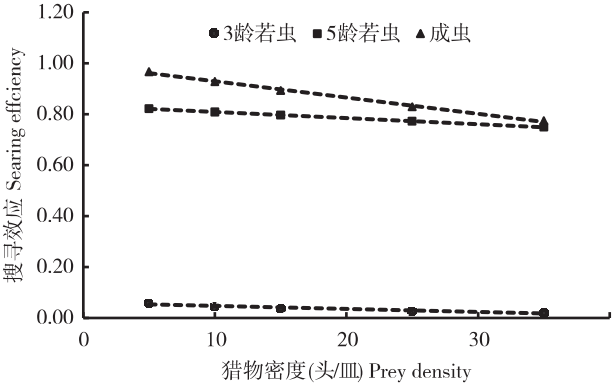


图 1　叉角厉蝽对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的搜寻效应

Fig. 1　Searching efficacy of *Eocanthecona furcellate* to 2nd～3rd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

表 3　不同虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾 2～3 龄幼虫的功能反应模型（Holling Ⅲ新模型方程）

Table 3　Predation functional response model (Holling-Ⅲ equation) of *Eocanthecona furcellate* to 2nd～3rd *Spodoptera frugiperda* larvae

叉角厉蝽虫态 Stage of *E. furcellate*	Holling Ⅲ新模型方程 Holling-Ⅲ equation	最佳寻找密度（头 b） Best searching density	捕食上限（头 a'） Maximum prey consumed	R^2	P
3 龄若虫 3rd nymph	$Na=10.0001\cdot\exp(-5.4552N^{-1})$	5.5	10.0	0.8365	<0.05
5 龄若虫 5th nymph	$Na=26.2903\cdot\exp(-9.6949N^{-1})$	9.7	26.3	0.9533	<0.05
成虫 Adult	$Na=28.8007\cdot\exp(-9.4252N^{-1})$	9.4	28.8	0.9543	<0.05

2.5　种内干扰作用对叉角厉蝽成虫捕食作用的影响

保持叉角厉蝽成虫和草地贪夜蛾 4 龄幼虫数量比例不变，随着叉角厉蝽的密度增加，种内干扰作用会对成虫的捕食产生一定影响，其平均捕食量和捕食作用率会逐渐下降（表 4）。当叉角厉蝽的密度分别为 1、2、3、4、5 头/皿时，其对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的平均捕食量分别为 7.67、6.50、6.50、5.83、5.73 头，捕食作用率分别为 0.7670、0.3250、0.2167、0.1458、0.1145。由观测数据计算出搜索常数 Q 为 0.6594，干扰系数 m 为 1.0836，建立叉角厉蝽成虫捕食草地贪夜蛾 4 龄幼虫的干扰反应方程为 $E=0.6594\ P^{-1.0836}$（$\chi^2=0.02<\chi^2_{(4,0.05)}=9.49$）。

表 4　干扰作用对叉角厉蝽成虫捕食草地贪夜蛾幼虫的影响

Table 4　Affection of interference effect to *Eocanthecona furcellate* adult's predation on *Spodoptera frugiperda*

叉角厉蝽密度（头/皿） Predator density	猎物密度（头/皿） Prey density	总捕食量（头） Predating number	平均捕食量（头） Average predating number	捕食作用率 Predation rate	
				实测值 Measured value	理论值 Theoretical value
1	10	7.67	7.67	0.7670	0.6594
2	20	13.00	6.50	0.3250	0.3111
3	30	19.50	6.50	0.2167	0.1975
4	40	23.33	5.83	0.1458	0.1446
5	50	28.67	5.73	0.1145	0.1135

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 结论与讨论

叉角厉蝽对草地贪夜蛾捕食能力较强。本研究中叉角厉蝽5龄若虫对草地贪夜蛾3龄幼虫的日捕食量和捕食率最高，分别为10.6头和53.0%；3龄若虫对1～2龄幼虫的捕食量和捕食率显著高于成虫和5龄若虫，对3～5龄幼虫的捕食量和捕食率显著低于成虫和5龄幼虫。这表明叉角厉蝽各虫态对草地贪夜蛾各龄期幼虫控害效果显著，且具有龄期选择性。这与唐敏等（2019）研究结果一致。

叉角厉蝽的捕食能力与猎物的虫龄、体躯大小相关。李文华等（2015）研究结果表明，各虫态的叉角厉蝽对黄野螟 *Heortia vitessoides* 3龄幼虫的平均捕食量均高于5龄幼虫。随着斜纹夜蛾幼虫龄期的增长，蝽蝽对该虫的捕食效能也逐渐降低（高强等，2019）。本试验中对草地贪夜蛾1～2龄幼虫来说，叉角厉蝽3龄若虫的捕食能力最强，但对3龄幼虫而言，5龄若虫、成虫的捕食能力最强，总体上看随着草地贪夜蛾的龄期增长和体躯增大，叉角厉蝽对其的捕食量和捕食率逐渐下降。因草地贪夜蛾暴食期为3龄以上高龄幼虫，且高龄幼虫会钻入玉米心叶、雌雄穗、茎秆等内部为害，所以在田间释放叉角厉蝽时进行防控时，宜在草地贪夜蛾3龄幼虫及之前释放，龄期越小时释放，防治效果应越好。

Holling捕食功能反应是测定捕食者捕食能力的一种经典方法，被广泛应用。本研究应用该模型研究结果得出叉角厉蝽5龄若虫对草地贪夜蛾2～3龄幼虫的日最大捕食量最高，成虫瞬时攻击率最高，捕食效能3龄若虫＜成虫＜5龄若虫。这与叉角厉蝽对草地贪夜蛾3龄幼虫捕食效能的大小顺序基本一致（唐敏等，2019）。李文华等（2015）研究表明相较于叉角厉蝽5龄若虫和成虫，3龄若虫对黄野螟幼虫的日最大捕食量最低。且叉角厉蝽5龄若虫对草地贪夜蛾3龄幼虫的日捕食量和捕食率也最高，获得这种结果可能是由于5龄若虫是成虫的前一龄期，需要补充大量能量用于羽化为成虫，为其繁殖和发育做充足准备（唐艺婷等，2018）。由此可见，叉角厉蝽5龄若虫对草地贪夜蛾2～3龄幼虫控害效果好于3龄若虫及成虫。

不同虫态的叉角厉蝽对草地贪夜蛾2～3龄幼虫的搜寻效应均随着草地贪夜蛾密度的增大而下降，其成虫对2～3龄幼虫搜寻效应要高于3龄和5龄若虫。这与赵雪晴等（2019）的研究中东亚小花蝽对草地贪夜蛾1龄、2龄幼虫的搜寻效应的结果类似。孔琳等（2019）也得出了多异瓢虫和异色瓢虫的对草地贪夜蛾幼虫搜寻效应也随着捕食者密度的增加而降低的结果。叉角厉蝽的捕食能力与猎物的密度紧密相关。建立的Holling Ⅲ功能反应新模型表明叉角厉蝽3龄若虫、5龄若虫、成虫对草地贪夜蛾2～3龄幼虫的最佳寻找密度分别为5.5、9.7和9.4头，即叉角厉蝽控制草地贪夜蛾2～3龄幼虫的益害比可设为1∶5、1∶10和1∶9。

捕食者对猎物的捕食作用与捕食者密度和猎物密度密切相关，随着二者密度的增加，捕食者和猎物的相互干扰作用明显，平均每头捕食者的捕食量和捕食率均会降低。当空间和猎物比例一定时，随着捕食者自身密度和草地贪夜蛾密度的增加，叉角厉蝽成虫对草地贪夜蛾4龄幼虫的平均捕食量会随之逐渐下降，这表明了二者之间存在干扰反应。这和东亚小花蝽与草地贪夜蛾1龄幼虫之间的密度干扰反应相似（赵雪晴等，2019），也和叉角厉蝽成虫捕食斜纹夜蛾3龄幼虫时二者的干扰作用相似（陈然等，2015）。

根据试验结果，若在草地贪夜蛾3龄幼虫时在田间释放叉角厉蝽3龄若虫，则益害比可初步设定为1∶10，但本试验开展于室内培养皿内，猎物与捕食者都处于一个相对集中且封闭的环境，而在捕食者—猎物系统中除了功能反应外，空间、温度、寄主植物以及化学药剂施用等诸多因子都会对捕食作用产生一定影响（巫厚长等，2000；李艳艳等，2013；胡长效等，2019；陈雪梅等，2020），所以研究结果可能难以全面反映叉角厉蝽对草地贪夜蛾的自然捕食能力，此益害比值仍需通过田间观察及笼罩试验进行修正，但本试验对于评价该蝽对草地贪夜蛾的控制作用仍具有参考价值。在评价叉角厉蝽对草地贪夜蛾的控制能力时应综合考虑时间、空间、杂草、寄主植株、温度、湿度、害虫空间分布、虫期、多种猎物并存，以及叉角厉蝽的饥饿程度等很多方面因素，关于该蝽对草地贪夜蛾捕食控制作用及田间应用等工作还需要开展大量的研究。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参考文献（References）

CABI. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) [EB/OL]. (2020-9-25). Wallingford, UK: CAB International. https://www.cabi.org/isc/datasheet/29810.

Carneiro TR, Fernandes OA, Cruz I, *et al.* Functional response of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera, Scelionidae) to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae) eggs: Effect of female age [J]. *Revista Brasileira de Entomologia*, 2010, 54(4): 692-696.

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]

Chen WB, Li YY, Wang MQ, *et al.* Natural enemy insect resources, application status, existing problems and suggestions of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35(5): 658-673. [陈万斌，李玉艳，王孟卿，等. 草地贪夜蛾的天敌昆虫资源、应用现状及存在的问题与建议 [J]. 中国生物防治学报，2019，35(5)：658-673]

Chen XM, Gu XH, Xian JD, *et al.* A study on influence factors of search efficiency of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera) on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in tobacco [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43(1): 224-232. [陈雪梅，谷星慧，冼继东，等. 叉角厉蝽对烟草上斜纹夜蛾搜索效率影响因子的研究 [J]. 环境昆虫学报，2021，43(1)：224-232]

Ding YQ. Insect Mathematical Ecology [M]. Beijing: Science Press, 1994: 257-258, 303-304. [丁岩钦. 昆虫数学生态学 [M]. 北京：科学出版社，1994：257-258，303-304]

Ding YQ. Principles and Applications of Mathematical Ecology of Insect Populations [M]. Beijing: Science Press, 1980: 197-213. [丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用 [M]. 北京：科学出版社，1980：197-213]

Fan YL, Gu XH, Xian JD, *et al.* Functional response of *Eocanthecona furcellate* (Hemiptera: Pentatomidae) to *Spodoptera frugiperd*a (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41(6): 1175-1180. [范悦莉，谷星慧，冼继东，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 Q, Wang D, Zhang WH, *et al.* Study on predatory function of *Arma chinensis* on *Spodoptera litura* (Fabricius) [J]. *China Tobacco Science*, 2019, 40(6): 55-59. [高强，王迪，张文慧，等. 蝽蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用研究 [J]. 中国烟草科学，2019，40(6)：55-59]

Holling CS. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. *The Canadian Entomologist*, 1959, 91(7): 385-398.

Hu CA, Cao D, Xu WT. Effect of different temperatures and spatial scales on predation of *Coccus hesperidum* by *Propylaea japonica* [J]. *Henan Agricultural Science*, 2019, 48(12): 73-78. [胡长效，曹丹，徐万泰. 不同温度和空间对龟纹瓢虫捕食褐软蚧的影响 [J]. 河南农业科学，2019，48(12)：73-78]

Jiang YY, Liu J, Xie MC, *et al.* Observation on the spread of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019 [J]. *Plant Protection*, 2019, 45(6): 10-19. [姜玉英，刘杰，谢茂昌，等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测 [J]. 植物保护，2019，45(6)：10-19]

Koffi D, Kyerematen R, Vincent Y, *et al.* Natural enemies of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Ghana [J]. *Florida Entomologist*, 2020, 103(1): 85-90.

Kong L, Li YY, Wang MQ, *et al.* Predation of *Coccinella septempunctata* on young larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019a, 35(5): 715-720. [孔琳，李玉艳，王孟卿，等. 七星瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价 [J]. 中国生物防治学报，2019a，35(5)：715-720]

Kong L, Li YY, Wang MQ, *et al.* Predation of *Hippodamia variegata* and *Harmonia axyridis* to young larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019b, 35(5): 709-714b. [孔琳，李玉艳，王孟卿，等. 多异瓢虫和异色瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价 [J]. 中国生物防治学报，2019b，35(5)：709-714]

Li WH, Jia CJ, Chen HP, *et al.* Functional response of *Eocanthecona furcellate* (Wolff) to the larvae of *Heortia vitessoides* (Moore) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37(4): 843-848. [李文华，贾彩娟，陈惠平，等. 叉角厉蝽对黄野螟幼虫的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报，2015，37(4)：843-848]

Li YY, Zhou XR, Pang BP. Effect of host plants on the functional response of *Hippodamia variegate* (Goeze) to *Aphis gossypii* Glover [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35(5): 688-693. [李艳艳，周晓榕，庞保平. 瓜蚜寄主植物对多异瓢虫捕食功能反应的影响 [J]. 环境昆虫学报，2013，35(5)：688-693]

Ordóñez G, Magali, Rios V, *et al.* Occurrence of natural enemies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in chihuahua, Mexico [J]. *The Florida Entomologist*, 2015, 98(3): 843-847.

Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, *et al.* Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management [M]. Cimmyt/USAID, 2018: 1-109.

Qi GJ, Huang DC, Wang L, *et al.* The occurrence characteristic in winter and year-round breeding region of the fall armyworm, *Spodopterafrugiperda* (J. E. Smith) in Guangdong Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42(3): 573-582. [齐国君，黄德超，王磊，等. 广东省草地贪夜蛾冬季发生特征及周年繁殖区域研究 [J]. 环境昆虫学报，2020，42(3)：573-582]

Sharanabasappa CM, Kalleshwaraswamy J, Poorani MS, *et al.* Natural enemies of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a recent invasive pest on maize in south India [J]. *Florida Entomologist*, 2019, 102(3): 619-623.

Tang M, Zhao ZL, Li ZY, *et al.* Functional response of *Eocanthecona*

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

furcellate (Wolff) to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (5): 979 – 985. [唐敏, 邝昭琅, 李子园, 等. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (5): 979 – 985]

Tang Y, Wang ZZ, Wu Q, *et al*. Natural enemies resources of *Spodoptera frugiperda* and their application in biological control [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (3): 370 – 381. [唐璞, 王知知, 吴琼, 等. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (3): 370 – 381]

Tang YT, Guo Y, He GW, *et al*. Functional responses of *Picromerus lewisi* Scott (Hemiptera: Pentatomidae) attacking *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (6): 825 – 830. [唐艺婷, 郭义, 何国玮, 等. 不同龄期的益蝽对粘虫的捕食功能反应 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34 (6): 825 – 830]

Tang YT, Li YY, Liu CX, *et al*. Predation and behavior of *Arma chinensi* to *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 65 – 68. [唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 等. 蠋蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 65 – 68]

Todde L, Poole RW. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera frugiperda* from the western hemisphere [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1980, 73 (6): 722 – 738.

Wang L, Chen KW, Zhong GH, *et al*. Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019a, 41 (3): 479 – 487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨 [J]. 环境昆虫学报, 2019a, 41 (3): 479 – 487]

Wang L, Chen KW, Lu YY. Long – distance spreading speed and trend predication of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019b, 41 (4): 683 – 694. [王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测 [J]. 环境昆虫学报, 2019b, 41 (4): 683 – 694]

Wang L, Lu YY. Spreading trend predication of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in year of 2020 in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (5): 1139 – 1145. [王磊, 陆永跃. 2020 年我国草地贪夜蛾蔓延发生趋势及预测 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1139 – 1145]

Wang QQ, Cui L, Wang L, *et al*. Advances on the resistance of *Spodoptera frugiperda* to insecticides [J]. *Chinese Journal of Agropharmaceutics*, 2019, 21 (4): 401 – 408. [王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展 [J]. 农药学学报, 2019, 21 (4): 401 – 408]

Wang SZ, Xia CG. New model of Holling – Ⅲ functional response [J]. *Journal of Ecology*, 1988, 7 (1): 1 – 3. [汪世泽, 夏楚贵. Holling – Ⅲ型功能反应新模型 [J]. 生态学杂志, 1988, 7 (1): 1 – 3]

Wang Y, Wang MQ, Zhang HM, *et al*. Predation potential of adult of *Picromerus lewisi* (Fallou) on larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (5): 691 – 697. [王燕, 王孟卿, 张红梅, 等. 益蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (5): 691 – 697]

Wu HC, Cheng XN, Zou YD, *et al*. The predation effect of adult *Harmonia ax yridis* of different hunger levels on *Myzus persicae* [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2000, 27 (4): 348 – 351. [巫厚长, 程遐年, 邹运鼎, 等. 不同饥饿程度的异色瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用 [J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27 (4): 348 – 351]

Yang PY, Zhu XM, Guo JF, *et al*. Strategies and suggestions for prevention and control of *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 1 – 6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 1 – 6]

Yang XL, Liu YC, Luo MZ, *et al*. The first discovery of *Spodoptera frugiperda* that migrated to southwest my country in Jiangcheng County, Yunnan Province [J]. *Yunnan Agriculture*, 2019, 1: 72. [杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 等. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾 [J]. 云南农业, 2019, 1: 72]

Zenner I, Alvarez A, Barreto S. Influence of parasitism by *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) on the susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) to insecticides [J]. *Neotropical Entomology*, 2006, 35 (6): 818 – 822.

Zhao XQ, Liu Y, Shi WP, *et al*. Predatory effects of *Orius sauteri* on *Spodoptera frugiperd*a larva [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 79 – 83. [赵雪晴, 刘莹, 石旺鹏, 等. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食效应 [J]. 植物保护, 2019, 45 (5): 79 – 83]

Zhao YJ, Fu CY, Xu TM, *et al*. Predatory functional response of *Eurellia pallipes* to the second instar larva of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (6): 35 – 38, 54. [赵英杰, 符成悦, 徐天梅, 等. 黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应 [J]. 植物保护, 2019, 45 (6): 35 – 38, 54]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net