



黄带犀猎蝽对黏虫3龄幼虫的捕食功能反应

陈苏怡¹ 杨毅娟² 史爱民³ 孙婧婧¹ 李 虎¹ 石安宪^{2*} 彩万志^{1*}

(1. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193; 2. 昭通市植保植检站, 云南 昭通 657100; 3. 苏州推动者生物科技有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要: 为绿色防控黏虫 *Mythimna separata*, 在实验室条件下研究黄带犀猎蝽 *Sycanus croceovittatus* 4、5龄若虫和雌、雄成虫对不同密度黏虫3龄幼虫的捕食功能反应、搜寻效应和自身密度干扰效应。结果表明, 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的捕食功能反应均符合Holling II和Holling III两种模型; 在拟合Holling II模型中, 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的日均最大捕食量分别为9.709、30.075、16.215和24.319头, 控害效能分别为13.544、36.180、28.377和30.739, 其中5龄若虫对黏虫3龄幼虫的控害效能最大; 在拟合Holling III模型中, 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫的日均最大捕食量分别为8.855、20.960、14.700和18.180头, 最佳寻找密度分别为4.084、8.497、5.370和7.322头/盒; 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫搜寻效应与黏虫密度呈负相关关系, 平均每头黄带犀猎蝽的捕食量与其自身密度呈负相关; 黄带犀猎蝽5龄若虫相较于4龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫有较高的捕食能力, 更具有田间推广应用潜力。

关键词: 黄带犀猎蝽; 黏虫; 捕食功能反应; 搜寻效应; 自身密度干扰反应

Predatory functional responses of assassin bug *Sycanus croceovittatus* to the third-instar larvae of oriental armyworm *Mythimna separata*

Chen Suyi¹ Yang Yijuan² Shi Aimin³ Sun Jingjing¹ Li Hu¹ Shi Anxian^{2*} Cai Wanzhi^{1*}

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. Station of Plant Protection of Zhaotong City, Zhaotong 657100, Yunnan Province, China;
3. Suzhou Tuidongzhe Biotechnology Co., Ltd., Suzhou 215000, Jiangsu Province, China)

Abstract: For sustainable control of oriental armyworm *Mythimna separata*, the 4th-, 5th-instar nymphs and adults of *Sycanus croceovittatus* were tested under laboratory conditions for their functional responses to and searching efficiency against the 3rd-instar *M. separata* larvae as well as the effect of conspecific density on their predation success. The results showed that the functional responses during all *S. croceovittatus* developmental stages fitted the Holling II and Holling III disc equations. In the Holling II model, the 4th- and 5th-instar nymphs and female and male adults of *S. croceovittatus* had a daily maximum consumption of 9.709, 30.075, 16.215 and 24.319, and a predation capacity of 13.544, 36.180, 28.377 and 30.739, respectively, with the 5th-instar nymph showing the best pest control efficiency. According to the Holling III model, the 4th- and 5th-instar nymphs and female and male adults of *S. croceovittatus* had a daily maximum consumption of 8.855, 20.960, 14.700 and 18.180, and an optimal searching density of 4.084, 8.497, 5.370 and 7.322 per box, respectively. The searching efficiency was negatively correlated with the pest density. The average predation capacity per predator was negatively correlated with the predator density. In general, the 5th-instar nymph of *S. croceovittatus* had

the highest predation ability against *M. separata* 3rd-instar larvae, which was significantly stronger than the 4th-instar nymph, female and male adults, and also has the potential for field popularization and application.

Key words: *Sycanus croceovittatus*; *Mythimna separata*; predatory functional response; searching efficiency; effect of conspecific density

黏虫 *Mythimna separata* 隶属鳞翅目夜蛾科, 是一种严重威胁玉米、小麦和水稻等主粮作物生产安全的远距离迁飞害虫(曾娟等, 2013; 姜玉英等, 2014), 北至我国东北部和前苏联远东地区, 南到澳大利亚和新西兰, 西起巴基斯坦, 东达萨摩亚群岛等多个国家和岛屿均见其为害(江幸福等, 2014)。我国除新疆维吾尔自治区(简称新疆)外各省份均有报道, 在 1950—1989 年这 40 年之间, 黏虫暴发成灾多达 17 年, 成灾面积达 7 191 万 hm^2 , 造成的粮食损失超过 1 643 万 t。1990—2011 年, 随着我国南方小麦种植面积大幅压缩, 黏虫为害逐步得到控制, 直至 2012 年全国黏虫大暴发, 在华北、东北地区 3 代黏虫成灾面积达 397.4 万 hm^2 , 多数省份黏虫的为害程度达历史之最(张云慧等, 2012; 曾娟等, 2013; 江幸福等, 2014)。长期采用化学农药对黏虫进行防治, 不仅破坏生态环境, 而且对天敌也产生影响, 因此开发利用天敌昆虫以及相关高效的生物防治替代措施迫在眉睫。

捕食性天敌是害虫生物防治工作的重要组成部分, 是最早被认识并用于防治害虫的自然天敌类群之一(林明江等, 2012)。猎蝽科是半翅目昆虫中最大的捕食性类群, 主要以其他昆虫和蜘蛛等节肢动物为食, 是重要的天敌资源, 目前环斑猛猎蝽 *Sphedanolestes impressicollis*、红彩瑞猎蝽 *Rhynocoris fuscipes* 和大红犀猎蝽 *Sycanus falleni* 等多种猎蝽正在被开发和利用(李梦钗等, 2009; 邓海滨等, 2014; 侯峥嵘等, 2020)。黄带犀猎蝽 *Sycanus croceovittatus* 广泛分布于我国广西壮族自治区(简称广西)、云南、贵州、香港等南方省区以及缅甸、印度等国家(赵萍, 2008), 捕食范围广泛, 尤其喜欢捕食鳞翅目害虫, 是降香黄檀树、桉树和杧果树等林木上害虫的重要天敌资源(罗永明等, 1993; 陈聪等, 2016; 向涛和崔龙箫, 2018), 也可在玉米地等农田环境中捕食草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 幼虫(王亚楠等, 2020)。该猎蝽易于人工繁殖, 且适应能力和捕食能力和耐饥能力较强, 捕食期长, 是一种很有应用潜力的天敌昆虫(黄增和等, 1991), 对其捕食效果和控害效能进行有效评价对于黄带犀猎蝽的田间推广应用具有重要

意义。目前关于益蝽 *Picromerus lewisi* 和叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 对黏虫幼虫的捕食功能反应的研究已有报道, 如唐艺婷等(2018)研究表明益蝽 5 龄若虫对黏虫有较强的捕食能力; 廖贤斌等(2020)研究表明叉角厉蝽成虫对黏虫有较强的捕食能力, 但关于猎蝽对黏虫捕食功能反应、搜寻效应和干扰效应的相关研究未见报道。虽然近年来捕食性天敌对黏虫的捕食功能反应研究较多, 但关于拟合 Holling III 功能反应模型的相关研究报道较少。

本课题前期发现黄带犀猎蝽各龄期若虫及雌、雄成虫在室内条件下均可捕食黏虫, 且捕食量较大。因此本试验通过拟合 Holling II、Holling III 功能反应模型、搜寻效应和干扰效应对室内条件下黄带犀猎蝽对黏虫的捕食潜能进行初步研究, 分析黄带犀猎蝽 4、5 龄若虫及雌、雄成虫对黏虫 3 龄幼虫捕食能力的差异, 探讨黄带犀猎蝽自身密度对其捕食能力的影响, 进而对其控害能力进行综合评价, 以期在田间利用黄带犀猎蝽防控黏虫提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 本试验所用黄带犀猎蝽为室内饲养多代黄带犀猎蝽种群和自广西那坡县玉米田及周边采集的黄带犀猎蝽种群的杂交 F_1 代, 置于长 42 cm、宽 28 cm、高 20 cm 养虫笼内饲养, 用网上购买的黄粉虫 *Tenebrio molitor* 幼虫与室内饲养的斜纹夜蛾 *S. litura* 3~5 龄幼虫饲喂, 于温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光周期 14 L: 10 D、相对湿度 $(60 \pm 5)\%$ 的人工气候室内饲养, 取 4、5 龄若虫和雌、雄成虫供试。斜纹夜蛾和黏虫由推动者生物科技有限公司提供, 用人工饲料于温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光周期 14 L: 10 D、相对湿度 $(60 \pm 5)\%$ 的人工气候室内饲养, 人工饲料配方及饲养方法参照孙庚等(2015)方法, 取黏虫 3 龄幼虫供试。

仪器: QHX-250BSH-III 人工气候培养箱, 上海新苗医疗器械制造有限公司。

1.2 方法

1.2.1 黄带犀猎蝽对黏虫的捕食功能反应

选取当日蜕皮的黄带犀猎蝽 4、5 龄若虫及羽

化24 h内的雌、雄成虫,单头置于上底直径7.5 cm、下底直径5.5 cm、高9.6 cm的300 mL透明太空杯中,用孔径为0.125 mm尼龙纱网和橡皮筋封口,纱网上放置一块浸湿的脱脂棉,饥饿处理24 h。黏虫3龄幼虫密度梯度分别为5、10、15、20和30头/盒。将5个密度的黏虫3龄幼虫分别与1头饥饿处理24 h的黄带犀猎蝽一起放入长22.3 cm、宽15.3 cm、高9 cm的塑料盒内,盒盖上开1个长15.0 cm、宽10.0 cm的孔,然后用孔径为0.125 mm的尼龙纱网密封,底部放入适量人工饲料供黏虫取食,置于温度(27±1)℃、光周期14 L:10 D、相对湿度(70±5)%的人工气候培养箱内饲养。每个密度为1个处理,每个塑料盒为1个重复,每个处理10次重复,24 h后观察并记录每盒内剩余黏虫数量,计算黄带犀猎蝽捕食量。

利用Holling II和Holling III功能反应模型拟合黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的捕食功能反应。Holling II功能反应模型为 $N_a = aNT_t / (1 + aT_h N)$ (Holling, 1959), 其中 N_a 为单头天敌捕食量, a 为瞬时攻击率, N 为猎物密度, T_t 为试验时间,本试验为1 d, T_h 为处理1头猎物所用的时间,当 $N \rightarrow \infty$ 时, $1/N \rightarrow 0$,理论日最大捕食量 $N_{amax} = 1/T_h$ 。Holling III功能反应模型为 $N_a = a' \exp(-b/N)$ (汪世泽和夏楚贵, 1988), 其中 a' 为日均最大捕食量, b 为捕食者的最佳寻找密度。

1.2.2 黄带犀猎蝽对黏虫3龄幼虫的搜寻效应

同样设置黏虫3龄幼虫密度梯度分别为5、10、15、20和30头/盒。将1.2.1中Holling II功能反应模型获得的参数 a 、 T_h 和 N 代入搜寻效应模型方程中,计算黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的搜寻效应并作图。搜寻效应模型方程为 $S = a / (1 + aT_h N)$ (丁岩钦, 1994), 其中 S 为搜寻效应。

1.2.3 黄带犀猎蝽自身密度对捕食量的影响

黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫选取及饥饿处理方法同1.2.1。将饥饿处理24 h后的黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫1、2、3、4和5头分别置于长22.3 cm、宽15.3 cm、高9 cm的塑料盒中,即黄带犀猎蝽密度梯度分别为1、2、3、4和5头/盒,每个虫态每个密度分别放入20、30、40和40头黏虫3龄幼虫,底部放入少量人工饲料供黏虫食用,置于温度(27±1)℃、光周期14 L:10 D、相对湿度(70±5)%的人工气候培养箱内饲养,每个密度为1个处理,每个塑料盒为1个重复,每个处理重复5次,24 h后观察并记录每盒内剩余黏虫数量,计算黄带犀猎蝽的捕食量。

利用自身密度干扰模型对黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的自身密度干扰效应进行拟合。自身密度干扰模型为 $A = cP^d$ (Watt, 1959), 其中 P 为捕食者密度, A 为平均每头黄带犀猎蝽的捕食量, c 为天敌的最大捕食量; d 为捕食者之间的干扰系数。

1.3 数据分析

所有数据分析及相关图形绘制均由Excel和GraphPad Prism 6.01软件完成,采用Tukey法对试验数据进行差异显著性检验。利用非线性回归对Holling II、Holling III、寻找效应及干扰模型进行拟合及参数估计。

2 结果与分析

2.1 黄带犀猎蝽对黏虫的捕食功能反应

2.1.1 Holling II功能反应模型拟合效果

黄带犀猎蝽各虫态对黏虫3龄幼虫的瞬时攻击率由大到小依次为雌成虫、4龄若虫、雄成虫和5龄若虫,瞬时攻击率分别为1.750、1.395、1.264和1.203;黄带犀猎蝽各虫态对黏虫3龄幼虫的日均最大捕食量由大到小依次为5龄若虫、雄成虫、雌成虫和4龄若虫,日均最大捕食量分别为30.075、24.319、16.215和9.709头;黄带犀猎蝽各虫态对黏虫3龄幼虫的控害效能由大到小依次为5龄若虫、雄成虫、雌成虫和4龄若虫,控害效能分别为36.180、30.739、28.377和13.544,其中黄带犀猎蝽雄成虫的Holling II功能反应模型拟合效果最好,拟合度 R^2 为0.975(表1)。随着黏虫密度的增加,黄带犀猎蝽各虫态的日均捕食量不断增加,但增加幅度逐渐变缓;当黏虫密度最大时,黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫日均捕食量分别为8.1、15.6、11.8和14.5头(图1)。

2.1.2 Holling III功能反应模型拟合效果

不同虫态黄带犀猎蝽对3龄黏虫的日均最大捕食量由大到小依次为5龄若虫、雄成虫、雌成虫和4龄若虫,日均最大捕食量分别为20.960、18.180、14.700和8.855头;不同虫态黄带犀猎蝽对3龄黏虫的最佳寻找密度由大到小依次为5龄若虫、雄成虫、雌成虫和4龄若虫,最佳寻找密度分别为8.497、7.322、5.370和4.084头/盒,其中黄带犀猎蝽雄成虫的Holling III功能反应模型拟合效果最好,拟合度 R^2 为0.970(表2)。当猎物密度增加到一定数量时,黄带犀猎蝽的捕食功能反应达到平稳期,最佳寻找密度均处于功能反应曲线的大幅上升部分内,此时尽管未达到理论上的最大捕食量,但此密度下的捕食比

率却呈现增长趋势(图2)。

2.2 黄带犀猎蝽对黏虫3龄幼虫的搜寻效应

不同虫态黄带犀猎蝽对黏虫3龄幼虫的搜寻效应与害虫密度呈负相关关系。当黏虫3龄幼虫密度为5、10、15、20和30头/盒时,黄带犀猎蝽4龄若虫的搜寻效应分别为0.812、0.572、0.442、0.360和0.263;5龄若虫的搜寻效应分别为1.003、0.859、0.752、0.668和0.547;雌成虫的搜寻效应分别为1.137、0.842、0.668、0.554和0.413;雄成虫的搜寻效应分别为1.003、0.832、0.710、0.620和0.494(图3)。

表1 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫捕食黏虫3龄幼虫的Holling II功能反应模型参数

Table 1 Holling II functional response model parameters of the 4th-, 5th-instar nymphs and female and male adults of *Sycanus croceovittatus* to the 3rd-instar larvae of *Mythimna separata*

捕食者虫态 Predator stage	功能反应方程 Functional response equation	瞬时攻击率 Instantaneous attacking rate	处理时间 Handling time/d	日均最大捕食量 Daily maximum consumption/individuals	控害效能 Predation capacity	拟合度 R^2 Degree of fitting R^2
4龄若虫 4th-instar nymph	$N_a=1.395N/(1+0.144N)$	1.395	0.103	9.709	13.544	0.926
5龄若虫 5th-instar nymph	$N_a=1.203N/(1+0.040N)$	1.203	0.033	30.075	36.180	0.949
雌成虫 Female adult	$N_a=1.750N/(1+0.108N)$	1.750	0.062	16.215	28.377	0.903
雄成虫 Male adult	$N_a=1.264N/(1+0.052N)$	1.264	0.041	24.319	30.739	0.975

N_a : 单头天敌捕食量; N : 猎物密度。 N_a : The consumption per predator; N : the density of prey.

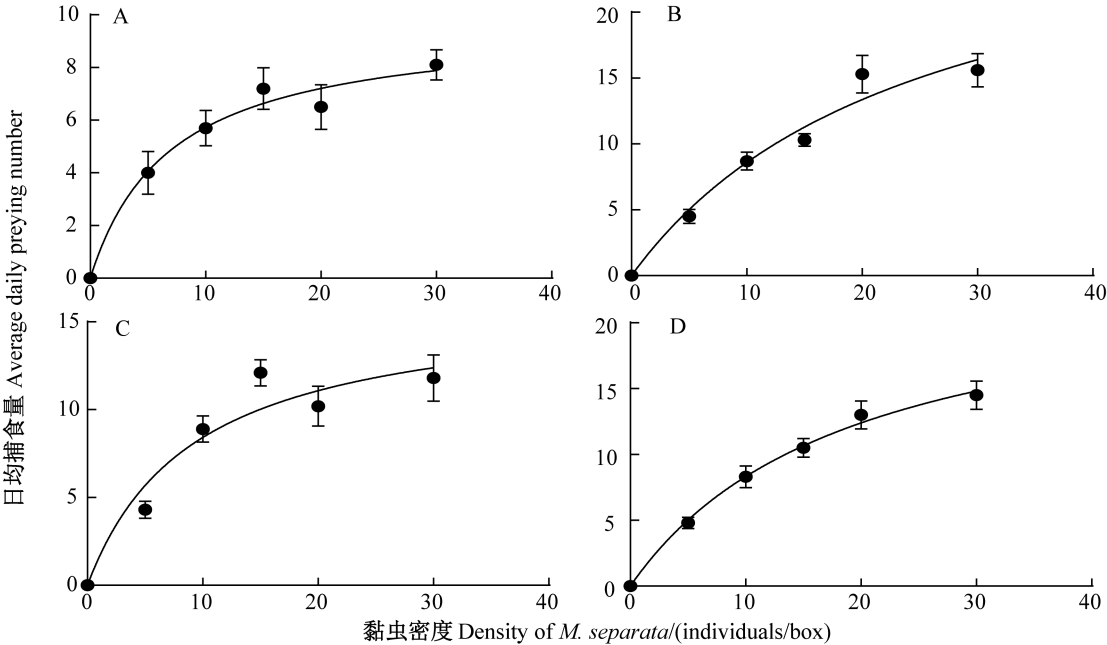


图1 黄带犀猎蝽4、5龄若虫(A~B)和雌、雄成虫(C~D)对黏虫3龄幼虫的Holling II捕食功能反应

Fig. 1 Holling II functional responses of the 4th-, 5th-instar nymphs (A~B) and female and male adults (C~D) of *Sycanus croceovittatus* to the 3rd-instar larvae of *Mythimna separata*

表2 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫捕食黏虫3龄幼虫的Holling III功能反应模型参数

Table 2 Holling III functional response parameters of the 4th-, 5th-instar nymphs and female and male adults of *Sycanus croceovittatus* to the 3rd-instar larvae of *Mythimna separata*

捕食者虫态 Predator stage	功能反应方程 Functional response equation	日均最大捕食量 Daily maximum consumption/individuals	最佳寻找密度 Optimal searching density/ (individuals/box)	拟合度 R^2 Degree of fitting R^2
4龄若虫 4th-instar nymph	$N_a=8.855\exp(-4.084/N)$	8.855	4.084	0.925
5龄若虫 5th-instar nymph	$N_a=20.960\exp(-8.497/N)$	20.960	8.497	0.949
雌成虫 Female adult	$N_a=14.700\exp(-5.370/N)$	14.700	5.370	0.923
雄成虫 Male adult	$N_a=18.180\exp(-7.322/N)$	18.180	7.322	0.970

N_a : 单头天敌捕食量; N : 猎物密度。 N_a : The consumption per predator; N : the density of prey.

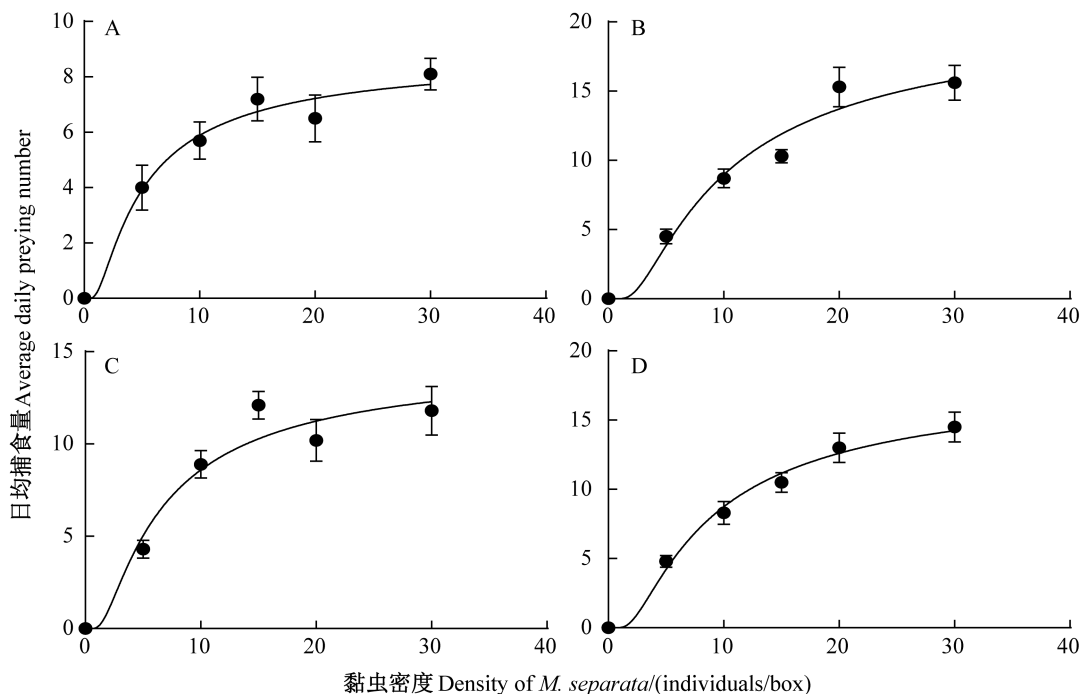


图2 黄带犀猎蝽4、5龄若虫(A~B)和雌、雄成虫(C~D)对黏虫3龄幼虫的Holling III捕食功能反应
Fig. 2 Holling III functional responses of the 4th-, 5th-instar nymphs (A~B) and female and male adults (C~D) of *Synanus croceovittatus* to the 3rd-instar larvae of *Mythimna separata*

黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫搜寻效应能达到50%以上的最大密度分别为12.430、35.150、23.148和29.384头/盒;当黏虫3龄幼虫密度为30头/盒时,不同虫态的黄带犀猎蝽搜寻效应由大到小依次为5龄若虫、雄成虫、雌成虫和4龄若虫,其中雌成虫搜寻效应随猎物密度增加的下降趋势最大,5龄若虫的下降趋势最小(图3)。

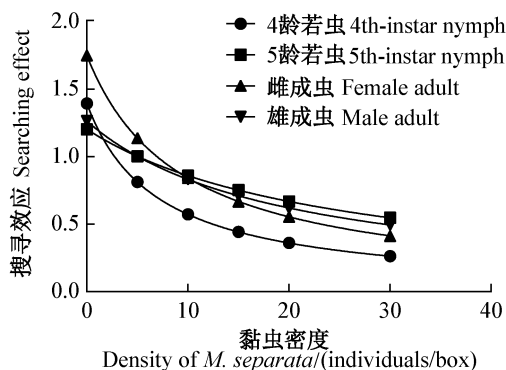


图3 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的搜寻效应

Fig. 3 Searching efficiencies of the 4th-, 5th-instar nymphs and female and male adults of *Synanus croceovittatus* to the 3rd-instar larvae of *Mythimna separata*

2.3 黄带犀猎蝽自身密度对其捕食量的影响

当黄带犀猎蝽密度为1头/盒时,黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫日均捕食量分

别为6.50、15.60、13.40和15.20头,当黄带犀猎蝽密度为5头/盒时,单头黄带犀猎蝽的日均捕食量分别降为3.84、5.72、6.44和6.88头,随着黄带犀猎蝽密度的增加其各虫态对黏虫3龄幼虫的日均捕食量显著降低,其中黄带犀猎蝽5龄若虫的日均捕食量下降趋势最大(表3)。不同虫态黄带犀猎蝽自身密度干扰系数由大到小依次为5龄若虫、雄成虫、雌成虫和4龄若虫,干扰系数分别为0.760、0.544、0.418和0.376,与最大捕食量的顺序相同,平均每头黄带犀猎蝽的捕食量与其自身密度呈负相关(表4)。

3 讨论

本研究结果表明,黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的日均捕食量随黏虫密度的增加整体呈上升趋势,但其增加幅度变缓;黄带犀猎蝽5龄若虫对黏虫3龄幼虫的日均最大捕食量为30.075头,大于4龄若虫和雌、雄成虫的日均最大捕食量。唐艺婷等(2018)研究结果也表明益蝽5龄若虫对黏虫3龄幼虫的日均捕食量最大,为8.929头,显著低于黄带犀猎蝽5龄若虫对黏虫3龄幼虫的日均最大捕食量。本研究结果显示黄带犀猎蝽雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的日均最大捕食量分别为16.215头和24.319头,捕食能力介于叉角厉蝽成虫(78.740头)和益蝽成虫(7.407头)之间(廖贤斌等,

2020)。本研究结果显示黄带犀猎蝽5龄若虫对黏虫3龄幼虫的控害效能为36.180, 优于黄带犀猎蝽其他虫态的控害效能, 也小于叉角厉蝽5龄若虫对草地贪夜蛾3龄幼虫的控害效能(82.25)和蠋蝽 *Arma custos* 5龄若虫对小菜蛾 *Plutella xylostella* 4龄幼虫的控害效能(90.50)(唐敏等, 2019; 唐艺婷等, 2020a)。从控害效能参数值来看, 黄带犀猎蝽的控

害能力低于叉角厉蝽和蠋蝽, 但黄带犀猎蝽5龄若虫期为13~21 d(周鼎英, 1986), 明显长于益蝽、叉角厉蝽和蠋蝽5龄若虫期(徐崇华等, 1984; 朱涤芳, 1990; 唐艺婷, 2020), 表明黄带犀猎蝽能够在较长一段时间内对黏虫保持较好的控害能力, 能相对减少田间释放的次数和数量。

表3 黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的日均捕食量

Table 3 Average daily preying number of the 4th-, 5th-instar nymphs and female and male adults of *Sycanus croceovittatus* to the 3rd-instar larvae of *Mythimna separata*

捕食者虫态 Predator stage	猎物密度 Density of prey/ (individuals/box)	捕食者密度 Density of predator/(individuals/box)				
		1	2	3	4	5
4龄若虫 4th-instar nymph	20	6.50±0.27 a	4.90±0.99 ab	4.53±0.54 b	3.35±0.48 b	3.84±0.16 b
5龄若虫 5th-instar nymph	30	15.60±0.40 a	7.70±0.34 b	5.33±0.44 c	6.20±0.28 bc	5.72±0.20 c
雌成虫 Female adult	40	13.40±0.68 a	9.40±0.29 b	9.07±0.45 bc	7.60±0.26 cd	6.44±0.29 d
雄成虫 Male adult	40	15.20±0.58 a	8.40±0.33 b	8.53±0.08 b	6.85±0.57 b	6.88±0.54 b

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4 黄带犀猎蝽捕食黏虫3龄幼虫的自身密度干扰模型

Table 4 Watt model equation of *Sycanus croceovittatus* to the 3rd-instar larvae of *Mythimna separata*

捕食者虫态 Predator stage	Watt模型方程 Watt model equation	最大捕食量 Maximum predation capacity/individuals	自身密度干扰系数 Interference factor	拟合度 R^2 Degree of fitting R^2
4龄若虫 4th-instar nymph	$A=6.474P^{-0.376}$	6.474	0.376	0.930
5龄若虫 5th-instar nymph	$A=15.080P^{-0.760}$	15.080	0.760	0.922
雌成虫 Female adult	$A=13.310P^{-0.418}$	13.310	0.418	0.968
雄成虫 Male adult	$A=14.640P^{-0.544}$	14.640	0.544	0.920

P : 捕食者密度; A : 平均每头只黄带犀猎蝽的捕食量。 P : Density of predator; A : average predation capacity per predator.

本研究结果显示黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫的捕食功能反应同时符合 Holling II 和 Holling III 两种模型, 通过 Holling III 功能反应模型得到其对黏虫3龄幼虫的日均最大捕食量分别为8.855、20.960、14.700和18.180头, 小于Holling II模型得到的日均最大捕食量, 与龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 对扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* (崔志富等, 2015) 及东亚小花蝽 *Orius sauteri* 对美洲棘蓟马 *Echinothrips americanus* 的捕食功能结果(朱亮等, 2015)类似, 其原因可能是Holling II模型建立在天敌食欲和食量无限的前提下, 而Holling III模型考虑到天敌的厌食情况, 因此后者拟合出的日均最大捕食量较前者拟合出的日均最大捕食量偏小(陈文胜等, 2004; 魏治钢等, 2010)。通过Holling II模型可以拟合发现率和平均处理时间这2个生物学因子, 而Holling III模型还可估计最佳寻找密度以及最佳益害比, 这2种模型在一定程度上可以互补, 如果同

时使用这2种模型能更准确地描述天敌的作用, 对天敌的田间释放和利用有重要的指导作用。根据本研究结果获得的最佳寻找密度和搜寻效应结果可推测, 在室内条件下黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫与黏虫3龄幼虫的益害比分别为1: 12.430~1: 4.084、1: 35.150~1: 8.497、1: 23.148~1: 5.370 和 1: 29.384~7.322, 益害比越大防治效果越好, 此时黄带犀猎蝽对黏虫的搜寻效应能达到50%以上, 且捕食量相对较高。

当取食黏虫时黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫个体之间有干扰效应, 其日均捕食量随捕食者密度的增加而降低; 唐艺婷(2020)和侯峥嵘等(2020)分别对益蝽和大红犀猎蝽进行自身干扰效应的测定, 结果与本研究结果一致, 究其原因可能是在一定空间内, 天敌密度增加导致天敌个体间的互相干扰与分摊竞争作用增强, 种内干扰效应随之增强(张安盛等, 2007)。黄带犀猎蝽5龄若虫的自身密

度干扰系数为0.760,大于其他虫态的自身密度干扰系数,且大于益蝽(0.712)及蠋蝽5龄若虫(0.331)的自身密度干扰系数,这意味着其更倾向于单独捕食(唐艺婷,2020;唐艺婷等,2020b)。因此,在田间释放捕食性蝽时,可采用分散释放的方式,分期、分批释放,并把虫害严重区域作为重点释放区,以发挥捕食性蝽的正常捕食效能,将害虫种群长期控制在一个较低水平。

本研究初步明确了室内条件下黄带犀猎蝽4、5龄若虫和雌、雄成虫对黏虫3龄幼虫的捕食能力及其差异,但在自然条件下,天敌的控害能力除了受天敌自身和害虫的密度和龄期影响外,还受环境温湿度、农药使用和寄主植物种类等诸多因素的影响,将来需要进一步结合黏虫种群动态、环境条件、植株结构和防治成本等因素综合考虑天敌的控害能力,进一步对黄带犀猎蝽捕食行为与环境适应、规模化繁育和田间释放利用、与寄主相互作用等生物学和生态学机制等一系列问题开展研究,积极探索化学农药与捕食性蝽的共存模式,降低农药施用量,为黏虫绿色防治技术的推广应用提供参考。

参 考 文 献 (References)

- Chen C, Huang HH, Li YZ, Huang YH, Fang HP, Huang ZH. 2016. Occurrence of lepidopterous defoliators attacking eucalyptus trees. *Forest Pest and Disease*, 35(4): 25–28 (in Chinese) [陈聪, 黄焕华, 李奕震, 黄咏槐, 方海鹏, 黄泽翰. 2016. 桉树食叶害虫发生现状分析. *中国森林病虫*, 35(4): 25–28]
- Chen WS, Cui ZX, Ren JJ, Wang YB. 2004. Functional responses of *Menochilus sexmaculatus* to peach aphid under different temperature. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 20(1): 69–70 (in Chinese) [陈文胜, 崔志新, 任吉君, 王蕴波. 2004. 不同温度下六斑月瓢虫对桃蚜功能反应的研究. *农业系统科学与综合研究*, 20(1): 69–70]
- Cui ZF, Cao FQ, Lin JT, Cheng LS, Peng ZQ, Wan FH, Liu WX. 2015. Predation of *Propylaea japonica* Thunberg to *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *Journal of Environmental Entomology*, 37(4): 834–842 (in Chinese) [崔志富, 曹凤勤, 林进添, 程立生, 彭正强, 万方浩, 刘万学. 2015. 龟纹瓢虫对扶桑绵粉蚧的捕食功能反应. *环境昆虫学报*, 37(4): 834–842]
- Deng HB, Lü YH, Qiu MW, Lu Z, Chen YM, Tian MY. 2014. Studies on the biological characteristics of predatory bug *Harpactor fuscipes*. *Chinese Tobacco Science*, 35(2): 109–112 (in Chinese) [邓海滨, 吕永华, 邱妙文, 路征, 陈永明, 田明义. 2014. 捕食性天敌红彩真猎蝽的生物学特性研究. *中国烟草科学*, 35(2): 109–112]
- 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]
- 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]
- Huang ZH, Wu JF, Zhang ZQ. 1991. A preliminary study on the bioeconomics and application of *Sycanus croceovittatus* (Hemiptera, Reduviidae). *Forest Research*, 4(1): 57–64 (in Chinese) [黄增和, 伍建芬, 张宗强. 1991. 黄带犀猎蝽的生物学及应用研究. *林业科学研究*, 4(1): 57–64]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ. 2014. Novel features, occurrence trends and economic impact of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1444–1449 (in Chinese) [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智. 2014. 我国粘虫发生危害新特点及趋势分析. *应用昆虫学报*, 51(6): 1444–1449]
- Jiang YY, Li CG, Zeng J, Liu J. 2014. Population dynamics of the armyworm in China: a review of the past 60 years' research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 890–898 (in Chinese) [姜玉英, 李春广, 曾娟, 刘杰. 2014. 我国粘虫发生概况: 60年回顾. *应用昆虫学报*, 51(4): 890–898]
- Li MC, Wen XJ, Gao BJ, Niu JS, Liu MG, Guo XJ. 2009. Research on indoor feeding technology of *Sphedanolestes impressicollis* Stål. *Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, (2): 5–6 (in Chinese) [李梦钊, 温秀军, 高宝嘉, 牛敬生, 刘满光, 郭小军. 2009. 环斑猛猎蝽室内饲养技术研究. *河北林业科技*, (2): 5–6]
- Liao XB, Gao P, Zhao H, Xie YH, Chen YQ, Wang ZJ, Chen B, Wu GX, Gao X. 2020. Predatory function response of adult of *Eocanthecona furcellata* (Wolff) to the larvae of *Mythimna separata* (Walker). *Journal of Southern Agriculture*, 51(8): 1992–1997 (in Chinese) [廖贤斌, 高平, 赵航, 谢永辉, 陈雅琼, 王志江, 陈斌, 吴国星, 高熹. 2020. 叉角厉蝽成虫对粘虫幼虫的捕食功能反应. *南方农业学报*, 51(8): 1992–1997]
- Lin MJ, An YX, Guan CX, Xu HL, Li JH, Liang RB. 2012. Application prospects of predator of sugarcane borers. *Sugarcane and Cane Sugar*, (3): 29–33 (in Chinese) [林明江, 安玉兴, 管楚雄, 许汉亮, 李继虎, 梁瑞波. 2012. 甘蔗螟虫捕食性天敌昆虫利用前景. *甘蔗糖业*, (3): 29–33]
- Luo YM, Cai SM, Jin QA. 1993. Natural enemy complex of mango insect pests in Hainan. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 14(1): 61–66 (in Chinese) [罗永明, 蔡世民, 金启安. 1993. 海南岛芒果树害虫天敌昆虫复合体的初步研究. *热带作物学报*, 14(1): 61–66]
- Sun G, Liu SW, Chang XH, Luo YM, Li KK, Song YQ. 2015. Study on effect of an improved artificial rearing technique for *Spodoptera litura* Fabricius. *Shandong Agricultural Sciences*, 47(2): 104–106 (in Chinese) [孙庚, 刘少武, 常秀辉, 罗艳梅, 李轲轲, 宋玉泉. 2015. 一种改进的斜纹夜蛾人工饲养技术的效果研究. *山东农业科学*, 47(2): 104–106]

- Tang M, Kuang ZL, Li ZY, Lu YY, Chen KW, Liu GH. 2019. Functional response of *Eocanthecona furcellata* (Wolff) to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 979–985 (in Chinese) [唐敏, 邝昭琅, 李子园, 陆永跃, 陈科伟, 刘光华. 2019. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应. *环境昆虫学报*, 41(5): 979–985]
- Tang YT. 2020. Study on potential of a novel natural enemy insect *Picromerus lewisi* Scott in biological control. Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [唐艺婷. 2020. 一种新天敌: 益蝽的生物防治潜能研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- 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. 蝽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. 蝽蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用. *中国烟草科学*, 41(1): 62–66]
- Wang SZ, Xia CG. 1988. New model of Holling-III functional response. *Chinese Journal of Ecology*, 7(1): 1–3, 44 (in Chinese) [汪世泽, 夏楚贵. 1988. Holling-III型功能反应新模型. *生态学杂志*, 7(1): 1–3, 44]
- Wang YN, Zhao SY, He YZ, Wu KM, Li GP, Feng HQ. 2020. Predation of the larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) by *Sycanus croceovittatus* Dohrn. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(4): 525–529 (in Chinese) [王亚楠, 赵胜园, 何运转, 吴孔明, 李国平, 封洪强. 2020. 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用. *中国生物防治学报*, 36(4): 525–529]
- 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
- Wei ZG, Zhao L, Yang S. 2010. Predatory function of adults of *Chilocorus geminus* to *Pseudaulacaspis pentagona*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(1): 146–150 (in Chinese) [魏治钢, 赵莉, 杨森. 2010. 孪斑唇瓢虫成虫对桑白蚧的捕食功能. *昆虫知识*, 47(1): 146–150]
- Xiang T, Cui LX. 2018. A survey of major pest insects and their natural enemies of *Dalbergia odorifera* plantations in Hainan. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 38(11): 59–62 (in Chinese) [向涛, 崔龙箫. 2018. 海南降香黄檀人工林重要害虫及天敌种类调查. *热带农业科学*, 38(11): 59–62]
- Xu CH, Yan JJ, Yao DF. 1984. The relation between the development of *Arma chinensis* Fallou and temperature. *Scientia Silvae Sinicae*, 20(1): 96–99 (in Chinese) [徐崇华, 严静君, 姚德富. 1984. 温度与蝽蝽(*Arma chinensis* Fallou)发育的关系. *林业科学*, 20(1): 96–99]
- Zeng J, Jiang YY, Liu J. 2013. Analysis of the armyworm outbreak in 2012 and suggestions of monitoring and forecasting. *Plant Protection*, 39(2): 117–121 (in Chinese) [曾娟, 姜玉英, 刘杰. 2013. 2012年黏虫暴发特点分析与监测预警建议. *植物保护*, 39(2): 117–121]
- Zhang AS, Yu Y, Li LL, Zhang SC. 2007. Predation of *Orius sauteri* adult on adults of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), an invasive insect pest. *Acta Ecologica Sinica*, 27(5): 1903–1909 (in Chinese) [张安盛, 于毅, 李丽莉, 张思聪. 2007. 东亚小花蝽 (*Orius sauteri*) 成虫对入侵害虫西花蓟马 (*Frankliniella occidentalis*) 成虫的捕食作用. *生态学报*, 27(5): 1903–1909]
- Zhang YH, Zhang Z, Jiang YY, Zeng J, Gao YB, Cheng DF. 2012. Preliminary analysis of the outbreak of the third-generation armyworm *Mythimna separata* in China in 2012. *Plant Protection*, 38(5): 1–8 (in Chinese) [张云慧, 张智, 姜玉英, 曾娟, 高月波, 程登发. 2012. 2012年三代黏虫大发生原因初步分析. *植物保护*, 38(5): 1–8]
- Zhao P. 2008. Taxonomic study on the subfamily Harpactorinae (Heteroptera: Reduviidae) from China. PhD thesis. Beijing: China Agricultural University (in Chinese) [赵萍. 2008. 中国真猎蝽亚科分类研究(异翅亚目: 猎蝽科). 博士学位论文. 北京: 中国农业大学]
- Zhou DY. 1986. A preliminary study on the yellow bug. *Guangxi Forestry Science*, 15(1): 16–19 (in Chinese) [周鼎英. 1986. 中黄猎蝽的初步研究. *广西林业科技*, 15(1): 16–19]
- Zhu DF. 1990. Studies on the biological characteristics of *Cantheconidea furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae, Asopinae). *Natural Enemies of Insects*, 12(2): 71–74 (in Chinese) [朱涤芳. 1990. 叉角厉蝽生物学特性研究. *昆虫天敌*, 12(2): 71–74]
- Zhu L, Ge ZT, Gong YJ, Shi BC, Wang S, Wei SJ. 2015. Effects of temperature on predation of the thrips *Echinothrips americanus* (Thysanoptera: Thripidae) by the predatory bug *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae). *Journal of Plant Protection*, 42(2): 229–236 (in Chinese) [朱亮, 葛振泰, 宫亚军, 石宝才, 王魁, 魏书军. 2015. 温度对东亚小花蝽捕食美洲棘蓟马的影响. *植物保护学报*, 42(2): 229–236]

(责任编辑:张俊芳)