

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2021.04.008

黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应

杜浩⁺, 只佳增⁺, 周劲松, 刘学敏, 张建春, 岳建伟^{*}
云南省红河热带农业科学研究所, 云南 河口 661300

摘要:【目的】探明黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的捕食潜力。【方法】在室内条件下,研究了黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的捕食功能反应、搜寻效应和干扰反应。【结果】黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的捕食功能反应模型均符合 Holling II 型,即其捕食量随猎物密度的增加而增加,其搜寻效应随猎物密度的增加而减小,Holling II 方程依次为: $N_a = 0.9750N/(1+0.0273N)$ 、 $N_a = 1.1654N/(1+0.0804N)$ 、 $N_a = 1.3058N/(1+0.1799N)$;黄带犀猎蝽成虫自身密度干扰反应符合 Hasse II 型($E = 0.337P^{-0.565}$),即随着自身密度的增加,平均捕食量逐渐减少,捕食作用率逐渐降低。【结论】黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫有较好的防治潜力,可用于斜纹夜蛾的生物防治中。

关键词: 黄带犀猎蝽; 斜纹夜蛾; 捕食功能; 干扰反应



开放科学标识码
(OSID 码)

Predatory functional response of *Sycanus croceovittatus* (Hemiptera: Reduviidae) adults on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae

DU Hao⁺, ZHI Jiazeng⁺, ZHOU Jinsong, LIU Xuemin, ZHANG Jianchun, YUE Jianwei^{*}
Tropical Agriculture Research Institute of Honghe, Hekou, Yunnan 661300, China

Abstract: 【Aim】To investigate the predation potential of *Sycanus croceovittatus* (Hemiptera: Reduviidae) adults on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. 【Method】The predatory functional response, searching effect, and interference response of *Sycanus croceovittatus* to *Spodoptera litura* 2nd, 3rd, and 4th instar larvae were studied in the laboratory. 【Result】The predatory functional response models of *Sycanus croceovittatus* adults to the 2nd, 3rd, and 4th instar larvae of *Spodoptera litura* were all in accordance with Holling type II functional response. That is, the predation amount increases with an increase in prey density, and the search effect decreases with an increase in prey density. The Holling type II functional response equation is as follows: $N_a = 0.9750N/(1+0.0273N)$, $N_a = 1.1654N/(1+0.0804N)$, and $N_a = 1.3058N/(1+0.1799N)$. The self-density interference response of *Sycanus croceovittatus* adults was in accordance with the Hasse II type ($E = 0.337P^{-0.565}$): with an increase in prey density, the average predation quantity and predation rate decrease gradually. 【Conclusion】*Sycanus croceovittatus* adults have good control potential for *Spodoptera litura* larvae and can be used in biological control of *Spodoptera litura*.

Key words: *Sycanus croceovittatus*; *Spodoptera litura*; predatory function; interference response

黄带犀猎蝽 *Sycanus croceovittatus* Dohrn, 又称中黄猎蝽, 属半翅目 Hemiptera 猎蝽科 Reduviidae, 是农林业中一种重要的捕食性天敌。黄带犀猎蝽为不完全变态昆虫, 分为卵、若虫和成虫 3 个虫态, 若虫共 5 个龄期。黄带犀猎蝽在国外分布于缅甸和泰国, 在国内分布于福建、广东、广西、云南等省

收稿日期(Received): 2020-12-31 接受日期(Accepted): 2021-02-14

基金项目: 科技人才与平台计划(202005AD160004); 云南省创新引导与科技型企业培育计划(202004AR040006)

作者简介: 杜浩, 男, 助理研究员。研究方向: 热作病虫害生防技术。E-mail: 1245854812@qq.com; 只佳增, 男, 助理研究员。研究方向: 热作栽培与生态研究。E-mail: 303567395@126.com

⁺ 同等贡献作者(The two authors contributed equally to this work)

^{*} 通信作者(Author for correspondence), E-mail: 188650684@qq.com

(区)(王亚楠等,2020)。其猎物范围广泛,包括蚜虫、姬缘蝽、蝗虫、蟋蟀、甲虫、蠹蛾、叶蜂、菜青虫、蚊和蜘蛛等(黄增和等,1991; Hoffmann,1934)。

斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 隶属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 俗称莲纹夜蛾、夜盗虫、夜老虎等(张根顺等,2003)。据统计,斜纹夜蛾的寄主植物有 109 科 389 种(包括变种),主要以幼虫取食植物叶片、蛀茎(果)等(罗凯等,2015)。长期以来,对斜纹夜蛾的治理主要以化学防治为主,但随着 3R 问题的日益突出,生物防治越来越引起植保工作者的关注(田耀加等,2011)。关于斜纹夜蛾的生物防控已有较多报道,包括自然天敌的利用、植物源提取物、性信息素、转基因技术和抗虫品种选育等(罗凯等,2015)。自然天敌的发掘和利用是生物防治中一个重要的方向,研究人员已相继研究了叉角厉蝽 *Cantheconidea furcellata* (Wolff)(陈然等,2015)、红彩真猎蝽 *Harpactor fuscipes* (Fabricius)(邓海滨等,2012)、拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata* (Boesenberg et Strand)(田耀加等,2011)、蠼螋 *Arma chinensis* (Fallou)(唐艺婷等,2020)对斜纹夜蛾的捕食能力。

笔者在前期香蕉病虫调查中常观察到黄带犀猎蝽成虫捕食斜纹夜蛾幼虫的现象,而关于黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的捕食情况还未见报道。为探究黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的捕食能力、寻找效应和干扰反应,在室内开展了黄带犀猎蝽成虫对 2、3、4 龄斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应试验,以期对斜纹夜蛾的天敌防控提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

黄带犀猎蝽成虫和斜纹夜蛾 2 龄幼虫均采自云南省红河热带农业科学研究所香蕉园。斜纹夜蛾 3、4 龄幼虫以新鲜香蕉叶续代饲养建立种群。以下试验均在室内自然条件下开展,试验时间为 2020 年 9—10 月。

1.2 试验方法

1.2.1 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应 试验在透明盒子中进行(盒子上开有数个小孔,长 150 cm,宽 15.0 cm,高 8.5 cm),在盒子底部放入新鲜洗净香蕉叶供斜纹夜蛾幼虫取食,在盒子角落放一蘸水棉花团,供黄带犀猎蝽补充水分。斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫均设置每盒 3、6、9、12、15、18、

21 头 7 个梯度,分别放入 1 头饥饿处理 24 h 的黄带犀猎蝽,每处理重复 4 次,24 h 后统计捕食量。

1.2.2 捕食者自身密度对捕食功能反应的影响 每个盒子中放入 40 头 3 龄斜纹夜蛾幼虫,分别放入 1、2、3、4、5 头经饥饿处理 24 h 的黄带犀猎蝽成虫,24 h 后统计捕食情况。每处理重复 3 次。

1.3 数据统计

1.3.1 Holling II 型功能反应 $\frac{1}{N_a} = \frac{1}{aT} \times \frac{1}{N} + \frac{T_h}{T}$ 。式

中, N 为供试猎物密度; N_a 为被捕食的猎物数量; T 为猎物暴露于捕食者的时间,本研究中 $T=1$ d; a 为瞬时攻击率; T_h 为处置时间,即处置 1 头猎物所需时间(Holling,1959)。

1.3.2 搜索效应方程 $S = \frac{a}{1+aT_hN}$ 。式中, a 为瞬时攻击率, T_h 为处置 1 头猎物的时间, N 为被捕食的猎物数量, S 为搜索效应值(范悦莉等,2019)。

1.3.3 Hassell 干扰模型 $E = QP^{-m}$ ($E = N_e/NP$)。式中, E 为竞争下的捕食作用率; Q 为搜寻常数; P 为捕食者的密度; m 为干扰常数; N_e 为捕食的猎物总数; N 为初始猎物密度(范悦莉等,2019; Hassell & Verley,1969)。

1.3.4 分摊竞争强度 $I = (E_1 - E_p)/E_1$ 。式中, E_1 为 1 头捕食者的捕食作用率; E_p 为捕食者密度为 P 头时的捕食作用率(罗春萍等,2018; 周军辉等,2020)。

以上数据均采用 Excel 2007 和 SPSS 22.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应

由图 1 可见,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的捕食量均随着斜纹夜蛾幼虫密度的增加而增加,且增加幅度随着斜纹夜蛾幼虫密度增加而缓慢减小。对黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫捕食量的倒数随斜纹夜蛾幼虫密度的倒数变化关系进行线性拟合发现,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型。黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的捕食功能反应方程依次为 $N_a = 0.9750N/(1 + 0.0273N)$ ($r = 0.9929$), $N_a = 1.1654N/(1 + 0.0804N)$ ($r = 0.9924$), $N_a = 1.3058N/(1 + 0.1799N)$ ($r = 0.9931$),理论捕食量的拟合曲线依次为图 1A、B、

C。用拟合模型计算黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的理论捕食量,并与实际捕食量进行卡方检验,所得卡方值依次为 0.4902、0.2156、0.0491,均远小于 $\chi^2_{6,0.05}=12.59$,说明所拟合的模型公式可较好反应黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫不同密度下的捕食量变化规律。

根据拟合得到的 Holling II 公式计算可得,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的瞬间攻击率(a)依次为 0.9750、1.1654、1.3058,处置时间

(T_h)依次为 0.0280、0.0690、0.1378 h ,理论最大捕食量($1/T_h$)依次为 35.7、14.5、7.3 头。可见,随着斜纹夜蛾幼虫龄期的增加,黄带犀猎蝽成虫捕食斜纹夜蛾幼虫的瞬间攻击率逐渐增强,处置时间逐渐延长,理论最大捕食量逐渐减小。从评价天敌对猎物捕食效能的综合指标 a/T_h 来看,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的捕食能力随着斜纹夜蛾幼虫龄期的增加而逐渐减弱(表 1)。

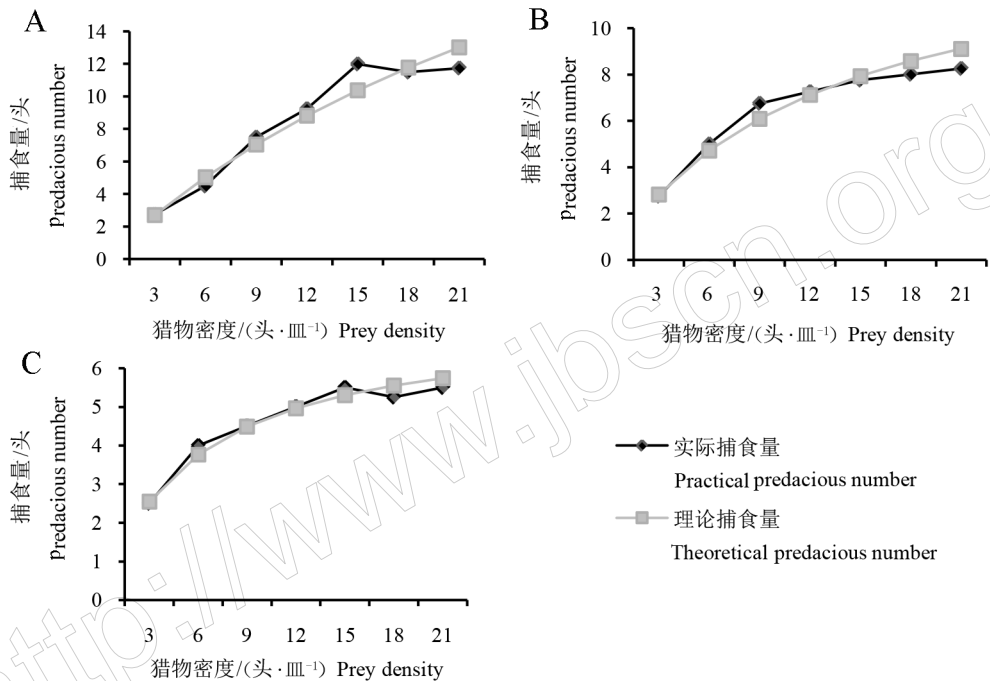


图 1 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾 2 龄(A)、3 龄(B)、4 龄(C)幼虫的捕食功能曲线
Fig.1 Functional response curve of *Sycanus croceovittatus* adults on *Spodoptera litura* larvae

表 1 黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应参数							
Table 1 Functional response parameters of <i>Sycanus croceovittatus</i> adults on <i>Spodoptera litura</i> larvae							
虫态 Stage	瞬间攻击率 (a) Rate of instantaneous attack	处理 1 头猎物的 时间(T_h) Handling time for a prey	Holling 方程 Holling equation	卡方值 χ^2 Chi square value	相关系数 (r) Correlation coefficient	捕食能力 Predation capacity	最大取食量 /头 Maximum predation
2 龄幼虫 2nd larvae	0.9750	0.0280	$N_a = 0.9750N / (1 + 0.0273N)$	0.4902	0.9929	34.8	35.7
3 龄幼虫 3rd larvae	1.1654	0.0690	$N_a = 1.1654N / (1 + 0.0804N)$	0.2156	0.9924	16.9	14.5
4 龄幼虫 4th larvae	1.3058	0.1378	$N_a = 1.3058N / (1 + 0.1799N)$	0.0491	0.9931	9.5	7.3

2.2 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫的搜寻效应

将瞬间攻击率(a)和处置时间(T_h)带入搜寻效应方程,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的搜寻效应方程分别为 $S=0.9750/(1+0.0273N)$ 、 $S=1.1654/(1+0.0804N)$ 、 $S=1.3058/(1+0.1799N)$ 。通过搜寻效应方程计算可得不同斜纹夜蛾幼虫密度下的搜寻效应值,得到的搜寻效应曲线如图 2 所

示。除猎物密度为 3 头·盒⁻¹时,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的搜寻效应随斜纹夜蛾幼虫龄期的增加而逐渐减弱;当斜纹夜蛾幼虫处于同一龄期时,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的搜寻效应随着斜纹夜蛾幼虫密度的增加而逐渐减弱。当猎物密度为 3 头·盒⁻¹时,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的搜寻效应略大于其对 2 龄幼虫的搜寻效

应,考虑是由于在猎物密度极低的情况下,其搜寻效应值均较大,趋近于 1 所致。

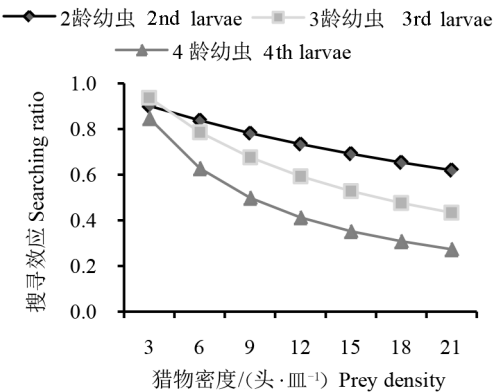


图 2 黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的搜寻效应
Fig.2 Searching ratio of *Sycanus croceovittatus* adults to *Spodoptera litura* larvae

2.3 黄带犀猎蝽自身密度对捕食功能的干扰反应
猎物(斜纹夜蛾 3 龄幼虫)密度不变的情况下,黄带犀猎蝽成虫自身密度对其捕食功能反应的影响见表 2。由表 2 可见,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的总捕食量随自身密度的增大而增大,单头

平均捕食量和捕食作用率随自身密度的增大而减小。根据 Hasse II 干扰模型得到黄带犀猎蝽成虫捕食 3 龄斜纹夜蛾幼虫的自我干扰反应方程为 $E = 0.337P^{-0.565}$ ($R^2 = 0.9757$),根据方程计算可得捕食作用率理论值,与实测值进行卡方检验,得到 $\chi^2 = 0.0025$,远小于 $\chi^2_{4,0.05} = 9.49$,表明所拟合 Hasse II 模型公式能较好地反映黄带犀猎蝽成虫自身密度对捕食斜纹夜蛾 3 龄幼虫的干扰反应。

根据分摊竞争强度公式计算黄带犀猎蝽成虫捕食斜纹夜蛾 3 龄幼虫的分摊竞争强度(I)见表 2。黄带犀猎蝽成虫捕食斜纹夜蛾 3 龄幼虫的分摊竞争强度与其自身密度的对数值($\lg P$)拟合得到线性方程 $I = 0.8634\lg P + 0.0036$ ($R^2 = 0.9916$) (图 3),由图 3 可见,黄带犀猎蝽成虫分摊竞争强度随其自身密度对数值的增加呈线性增加。分摊竞争强度方程拟合值与表 2 中分摊竞争强度实测值进行卡方检验得到 $\chi^2 = 0.0073$,远小于 $\chi^2_{4,0.05} = 9.49$,说明拟合方程能够较好地反应黄带犀猎蝽成虫捕食斜纹夜蛾 3 龄幼虫的分摊竞争情况。

表 2 黄带犀猎蝽自身密度对捕食效应的影响

Table 2 The effect of *Sycanus croceovittatus* adult density to predation effect

捕食者密度 /(头·皿 ⁻¹) Predator density	猎物密度 /(头·皿 ⁻¹) Prey density	总捕食量/头 Total predator number	平均捕食量/头 Average predator number	捕食作用率(E) Predation rate		Hasse II 方程 Hasse II equation	卡方值 χ^2 Chi square value	分摊竞争强度 Intensity of scrambling competition
				实测值 Measured value	理论值 Theoretical value			
1	40	13.00±1.00c	13.00±1.00a	0.3250	0.3370	$E = 0.337P^{-0.565}$ ($R^2 = 0.9757$)	0.0025	0.0000
2	40	19.00±2.65bc	9.50±1.32b	0.2375	0.2278			0.2692
3	40	23.33±3.21ab	7.78±1.07bc	0.1944	0.1812			0.4017
4	40	23.00±6.00ab	5.75±1.50cd	0.1438	0.1540			0.5577
5	40	27.00±3.46a	5.40±0.69d	0.1350	0.1357			0.5846

表中数据为平均值±标准差。不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平。
Data followed by different letters in the same column are significantly different at 0.05 level.

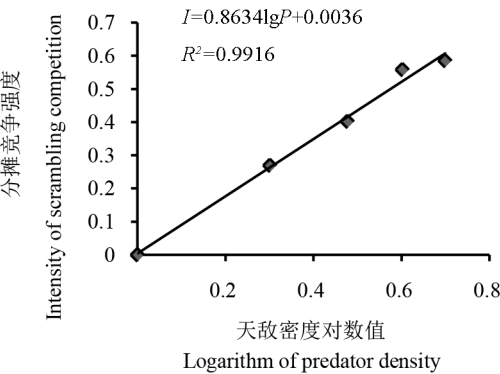


图 3 黄带犀猎蝽种内分摊竞争强度(I)与自身密度(P)的关系

Fig.3 Relationships between the intensity of scrambling competition (I) and the density of *Sycanus croceovittatus* (P)

3 讨论与结论

本研究对黄带犀猎蝽成虫捕食斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的行为观察,发现黄带犀猎蝽成虫以口针插入斜纹夜蛾幼虫虫体吸食其体液,被取食后的斜纹夜蛾幼虫呈干瘪状死亡,有时并不取食完全,将口针收回后接着寻找下一头猎物,该捕食过程与王亚楠等(2020)报道的黄带犀猎蝽 4、5 龄若虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食行为相似,同时结合黄增和等(1991)关于黄带犀猎蝽的生物学特性研究,认为黄带犀猎蝽若虫和成虫的捕食行为特征无明显差异,而主要表现为捕食能力和捕食量上的差异。

本研究运用 Holling II 捕食功能反应方程和 Hasse II 干扰模型方程评价了黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的捕食反应、搜寻效应和自身密度干扰反应。结果显示:黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应符合 Holling II 型,即其捕食量随猎物密度的增加而增加,其搜寻效应随猎物密度的增加而减小;黄带犀猎蝽成虫自身密度干扰反应符合 Hasse II 型,即随着其自身密度的增加,平均捕食量逐渐减少,捕食作用率逐渐降低。本研究利用捕食功能反应参数对比了黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾 2、3、4 龄幼虫的捕食能力差异,结果发现,随着斜纹夜蛾幼虫龄期的增加,黄带犀猎蝽成虫捕食斜纹夜蛾幼虫的瞬间攻击率逐渐增强,但搜寻效应逐渐减弱,处置时间逐渐延长,理论最大捕食量逐渐减小。从评价天敌对猎物捕食效能的综合指标 a/T_h 来看,黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾幼虫的捕食能力随着斜纹夜蛾幼虫龄期的增长而逐渐减弱,结合斜纹夜蛾幼虫在空间分布格局上表现为随着幼虫龄期的增长聚集强度逐渐减弱,1~4 龄幼虫的空间分布型为聚集分布,5~6 龄幼虫空间分布型由聚集分布逐渐趋向于均匀分布(杜浩等,2020)。因此,在利用黄带犀猎蝽成虫控制斜纹夜蛾幼虫的实践中,应尽可能在斜纹夜蛾幼虫低龄期实施防控。

天敌对害虫的控制能力除了受到天敌自身的密度、害虫的密度影响外,还受到天敌和猎物的性别、虫态、龄期、丰富度、环境温度、湿度、光周期、寄主植物种类、生育期等诸多因素的影响(邱海燕等,2020;唐敏等,2019)。本研究只开展了室内条件下一定空间内黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应及自身密度干扰反应研究,未进行不同黄带犀猎蝽虫态、虫龄的捕食功能差异试验;未开展一定空间下,黄带犀猎蝽与斜纹夜蛾比例相同、密度成倍增加情况下的相互干扰反应试验;同时,本研究建立的 Holling 捕食功能反应方程和 Hasse II 自身密度干扰反应方程也未考虑田间环境因素,以及天敌和猎物种群的多样性等因素干扰。

参考文献

陈然,梁广文,张拯研,曾嵘,冼继东,2015. 叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应. 环境昆虫学报, 37(2): 401-406.

- 邓海滨,陈泽鹏,田明义,张茂新,陈永明,蒋秀玲,2013. 取食烟蚜和斜纹夜蛾的红彩真猎蝽实验种群生命表比较. 中国烟草学报, 19(6): 92-96.
- 杜浩,只佳增,李宗锴,周劲松,杨绍琼,陈伟强,2020. 香蕉园斜纹夜蛾幼虫的空间分布格局和抽样技术. 热带作物学报, 41(11): 2267-2272.
- 范悦莉,谷星慧,冼继东,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.
- 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 (1): 57-64.
- 罗春萍,户艳霞,孙军伟,樊清艳,赵永鑫,张凌英,杜广祖,陈斌,2018. 斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食功能反应. 生物安全学报, 27(4): 274-278, 316.
- 罗凯,李泽生,高燕,李桂林,殷山山,周侯光,罗仁山,姚志军,2015. 斜纹夜蛾生物防治研究进展. 安徽农业科学, 43(10): 126-129.
- 田耀加,梁广文,曾玲,陆永跃,2011. 拟环纹豹蛛对斜纹夜蛾卵及幼虫的捕食效应. 环境昆虫学报, 33(4): 502-506.
- 唐艺婷,王孟卿,李玉艳,刘晨曦,毛建军,陈红印,张礼生,2020. 蠋蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用. 中国烟草科学, 41(1): 62-66.
- 唐敏,邝昭琅,李子园,陆永悦,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.
- 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.
- 张根顺,陈乾锦,曾强,张玉珍,2003. 福建省烟田斜纹夜蛾的天敌调查. 江西农业大学学报 (S1): 77-80.
- 周军辉,李鹏雷,郑卉娜,黄建,王竹红,2020. 六斑月瓢虫对柑橘木虱若虫的捕食功能反应. 福建农林大学学报 (自然科学版), 49(3): 295-299.
- HASSELL M P, VERLEY G C, 1969. New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1113-1117.
- HOFFMANN W E, 1934. The life history and economic status of *Sycanus croceovittatus* Dohrn (Hemiptera, Reduviidae). *Lingnan Science Journal*, 13(3): 505-525, 55-56.
- HOLLING C S, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91(7): 385-398.

(责任编辑:郭莹)