植物保护学报 Journal of Plant Protection，2023，50(2)：519-529 DOI：10.13802/j.cnki.zwbhxb.2023.2021129

黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食功能反应

陈苏怡[1] 杨毅娟[2] 王孟卿[3] 李永青[2] 石安宪[2] 杨海林[4] 李 虎[1] 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. 中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193；4. 云南省烟草公司玉溪市公司，玉溪 653100）

摘要：为明确黄带犀猎蝽*Sycanus croceovittatus*对斜纹夜蛾*Spodoptera litura*的控害潜能，在实验室条件下对黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌雄成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食功能反应、搜寻效应和自身密度干扰反应进行研究。结果表明，黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应均符合Holling II型和Holling III型2种模型；在拟合Holling II模型中，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日均最大捕食量分别为2.78、4.17、4.35、12.50和8.33头，控害效能分别为5.53、6.54、8.78、14.75和10.42；对斜纹夜蛾4龄幼虫的日均最大捕食量分别为2.56、2.86、3.85、3.57和4.35头，控害效能分别为2.23、3.94、4.54、11.32和5.70，其中雌成虫的控害效能最大。在拟合Holling III模型中，对斜纹夜蛾3龄幼虫的日均最大捕食量分别为2.75、4.10、4.32、10.76和7.41头，最佳寻找密度分别为1.19、2.03、1.73、5.28和3.88头/盒；对斜纹夜蛾4龄幼虫的日均最大捕食量分别为2.38、2.78、3.55、3.58和4.00头，最佳寻找密度分别为1.83、1.50、2.06、0.95和2.10头/盒。搜寻效应与害虫密度呈负相关；种内干扰效应与天敌密度呈正相关。表明黄带犀猎蝽成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食能力优于黄带犀猎蝽若虫。

关键词：黄带犀猎蝽；斜纹夜蛾；捕食功能反应；生物防治

Predatory functional responses of assassin bug *Sycanus croceovittatus* to the 3rd- and 4th-instar larvae of taro caterpillar *Spodoptera litura*

Chen Suyi[1] Yang Yijuan[2] Wang Mengqing[3] Li Yongqing[2] Shi Anxian[2] Yang Hailin[4] Li Hu[1] 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. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. Yunnan Tobacco Company, Yuxi Branch, Yuxi 653100, Yunnan Province, China）

Abstract: To clarify the predation ability of the assassin bug *Sycanus croceovittatus* against *Spodoptera litura*, the 3rd- to 5th-instar nymphs, and female and male adults of *Sy. croceovittatus* were tested for their predatory functional responses to and searching effects on the 3rd- and 4th-instar larvae of *Sp. litura* as well as the effect of conspecific density on their predation success under laboratory conditions. The results showed that the functional responses of *Sy. croceovittatus* at all developmental stages fitted the Holling II and Holling III disc equations. In the Holling II model, the 3rd- to 5th-instar nymphs, and female and male adults of *Sy. croceovittatus* had a daily maximum consumption of 2.78, 4.17, 4.35, 12.50 and 8.33, and a predatory capacity of 5.53, 6.54, 8.78, 14.75 and 10.42, respectively, against *Sp. litura* 3rd-instar larvae; a daily maximum consumption of 2.56, 2.86, 3.85, 3.57 and 4.35, and a predatory

基金项目：中国烟草总公司重大科技项目(110202101046(LS-06)，110202001032(LS-01))，中国烟草总公司云南省公司科技计划项目(2022530000241018)，昭通市专家工作站(2019ZTYX03，2021ZTYX05)

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：caiwz@cau.edu.cn

收稿日期：2021-06-12

capacity of 2.23, 3.94, 4.54, 11.32 and 5.70 were observed against *Sp. litura* 4th-instar larvae, respectively, with the female adult showing the best pest control efficiency. According to the Holling III model, the 3rd- to 5th-instar nymphs, and female and male adults of *Sy. croceovittatus* had a daily maximum consumption of 2.75, 4.10, 4.32, 10.76 and 7.41, and an optimal searching density of 1.19, 2.03, 1.73, 5.28 and 3.88 per box, respectively, against *Sp. litura* 3rd-instar larvae; there was a daily maximum consumption of 2.38, 2.78, 3.55, 3.58 and 4.00, and an optimal searching density of 1.83, 1.50, 2.06, 0.95 and 2.10 per box, respectively, against *Sp. litura* 4th-instar larvae. The searching effect was negatively correlated with the pest density. The intraspecific interference effect was positively correlated with the density of predator. The results indicated that the predation ability of *Sy. croceovittatus* adults was stronger than nymphs.

Key words: *Sycanus croceovittatus*; *Spodoptera litura*; predatory functional responses; biological control

斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*，俗称乌头虫、五花虫、夜盗蛾、麻条子虫和莲纹夜蛾，幼虫暴食性，可将植株叶片取食一空，对作物造成毁灭性为害，是亚洲乃至全世界重要的农业害虫（杜娟，2016），主要分布在我国江苏、浙江、湖南、河南、河北、山东等省份，寄主植物有烟草、玉米、甘蓝、花椰菜、红薯、棉花和多种禾本科植物以及木本植物如桑、茶和柑橘等（束炎南，1959）。斜纹夜蛾具有分布范围广、食性杂、繁殖速度快、易暴发等特点，是广泛关注的害虫模式物种之一，已被列入世界性农业害虫行列（杜娟，2016）。1958年斜纹夜蛾在全国范围大发生，自2000年以来，因受气候和种植业结构等因素影响，局部地区暴发成灾，导致农产品产量和品质显著下降，经济效益巨大（束炎南，1959；肖立武等，2014）。由于长期对斜纹夜蛾进行大量、频繁以及不合理地使用化学农药，导致其对多类药剂均产生了不同程度的抗性（桑松等，2013），因此有必要寻求一种低成本、无污染、高效益的生物防治措施。

猎蝽科是半翅目昆虫中最大的捕食性类群，除粪食性及部分血食性猎蝽外（Putshkov & Putshkov，1996），均为捕食性种类，以其他昆虫或蜘蛛、马陆等节肢动物为主要猎食对象，是重要的天敌资源（黄霞，2007）。黄带犀猎蝽 *Sycanus croceovittatus* 隶属于半翅目 Hemiptera 猎蝽科 Reduviidae 犀猎蝽属 *Sycanus*，广泛分布于我国广东、广西、云南、贵州、香港等省区以及缅甸、印度等国家（赵萍，2008）。据记载，黄带犀猎蝽具有适应能力强、捕食虫种多和耐饥力较强等特点，且易于人工繁殖，可作为害虫天敌捕食马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus*、丽绿刺蛾 *Parasa lepida*、草地贪夜蛾 *Sp. frugiperda*、竹小斑蛾 *Artona funeralis*、大锯龟甲 *Basiprionota chinensis* 和异歧蔗蝗 *Hieroglyphus tonkinensis* 等多个目的害虫，尤其喜欢捕食鳞翅目幼虫（黄增和等，1991；向涛和崔龙箫，2018；王亚楠等，2020）。通过已有对捕食性半翅目天敌捕食能力测定的研究发现，烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis*、红彩瑞猎蝽 *Rhynocoris fuscipes* 和叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 5龄若虫或成虫对斜纹夜蛾卵和低龄幼虫（韦德卫等，1998；邓海滨等，2012；陈然等，2015）以及蠋蝽 *Arma custos* 和益蝽 *Picromerus lewisi* 3~5龄若虫和成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食均符合Holling II型功能反应模型（唐艺婷，2020；唐艺婷等，2020），且这些半翅目天敌对斜纹夜蛾表现出较大的捕食潜能。笔者在实验室和田间观察发现黄带犀猎蝽各龄期若虫及成虫均能捕食斜纹夜蛾，且捕食量较大，在捕食过程中，黄带犀猎蝽首先通过触角进行搜索，之后将喙插入斜纹夜蛾的头、胸或腹部，注入唾液，待鳞翅目幼虫不再挣扎后将其拖置于悬空状态取食。目前国内外对黄带犀猎蝽的研究报道主要集中在其食性、生物学特性研究等方面（黄增和等，1991；赵萍，2008；王亚楠等，2020），而有关该蝽对斜纹夜蛾的捕食作用尚缺乏定量研究。

本试验在室内条件下对黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食潜能进行研究，分析不同虫态黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫捕食能力的差异，探讨不同猎物密度对黄带犀猎蝽的捕食能力的影响，以期明确黄带犀猎蝽在田间释放的最适龄期和释放比例，为黄带犀猎蝽控害能力评价以及田间保护应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源：黄带犀猎蝽若虫和成虫、斜纹夜蛾幼虫均由苏州推动者生物科技有限公司提供。黄带犀

猎蝽已在室内利用网上购得黄粉虫 *Tenebrio molitor* 幼虫与斜纹夜蛾幼虫饲养5代以上，饲养容器为定制养虫笼（长 42 cm×宽 28 cm×高20 cm）；斜纹夜蛾参照孙庚等（2015）报道的人工饲料配方和饲养方法在室内饲养15代以上。所有供试昆虫于温度（25±1）℃、光照周期L 14 h∶D 10 h、相对湿度为（60±5）%条件下饲养于人工气候室内。

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 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的捕食量

选取当日蜕皮和羽化24 h内的黄带犀猎蝽3~5龄若虫及雌、雄成虫，分别单头置于300 mL太空杯（上底直径7.5 cm，下底直径5.5 cm，高9.6 cm）中，用纱网和橡皮筋封口，纱网上放置1块浸湿脱脂棉，饥饿处理24 h。根据预试验结果对每头黄带犀猎蝽设置的斜纹夜蛾3龄幼虫密度梯度为5、10、15、20、30头/盒，斜纹夜蛾4龄幼虫密度梯度为3、6、9、12、18头/盒，按设计的密度将斜纹夜蛾3、4龄幼虫和1头饥饿处理过的黄带犀猎蝽一起放入塑料盒（长22.3 cm×宽15.3 cm×高9 cm）中，盒盖上切割下1块长15.0 cm×宽10.0 cm的长方形孔后用尼龙纱网（孔径0.125 mm）密封，底部放入适量人工饲料供斜纹夜蛾取食。每个密度为1个处理，每个处理10次重复，每个塑料盒为1个重复。各密度梯度均设置对应的无捕食者作空白对照，在没有黄带犀猎蝽的情况下，每个密度为1个处理，每个处理5次重复。24 h之后观察并记录斜纹夜蛾自然死亡数量，校正后得出各处理黄带犀猎蝽的捕食量，得出各处理黄带犀猎蝽的捕食量。试验于温度（27±1）℃、光照周期L 14 h∶D 10 h、湿度70%±5%的人工气候培养箱中进行。

1.2.2 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应

利用功能反应模型方程与1.2.1中统计的捕食量进行拟合，确定不同虫态黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食功能反应。Holling II型功能反应模型为 $N_a=aNT_r/(1+aT_hN)$（Holling，1959），其中 N_a 为捕食者捕食量；a 为瞬时攻击率；N 为猎物密度；T_r 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 $N\to\infty$ 时，$1/N\to 0$，理论日最大捕食量 $N_{amax}=1/T_h$。Holling III型功能反应模型为 $N_a=a'\exp(-b/N)$（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。模型的拟合及参数利用非线性回归估计。

1.2.3 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的搜寻效应

利用1.2.2中Holling II型功能反应模型得到的参数瞬时攻击率 a 和处理1头猎物所用的时间 T_h，以及设置的猎物密度 N，计算黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的搜寻效应并作图，搜寻效应模型方程为 $S=a/(1+aT_hN)$（丁岩钦，1994），其中 S 为搜寻效应。模型的拟合及参数利用非线性回归估计。

1.2.4 黄带犀猎蝽自身密度干扰反应

对不同龄期黄带犀猎蝽进行饥饿处理24 h，方法同1.2.1。将饥饿处理的黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫分别与20、20、30、40、40头斜纹夜蛾3龄幼虫或12、12、18、24、24头斜纹夜蛾4龄幼虫一起放入塑料盒（长22.3 cm×宽15.3 cm×高9 cm）中，底部放入少量人工饲料供斜纹夜蛾食用，设置黄带犀猎蝽的密度梯度分别为1、2、3、4、5头/盒，每个密度为1个处理，每个处理重复5次，每个塑料盒为1个重复。各密度梯度均设置对应无捕食者作空白对照，在没有黄带犀猎蝽的情况下，每个密度为1个处理，每个处理5次重复。24 h之后观察并记录斜纹夜蛾自然死亡数量，校正后得出各处理黄带犀猎蝽的捕食量，得出各处理黄带犀猎蝽的捕食量。试验于温度（27±1）℃、光照周期L 14 h∶D 10 h、相对湿度70%±5%的人工气候培养箱中进行。

利用模型方程与统计的捕食量进行拟合，确定不同龄期黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫的自身密度干扰反应。Watt模型可以用来描述捕食功能反应过程中的自身密度干扰情况，Watt模型为 $A=a'P^{-b}$（Watt，1959），其中 P 为捕食者密度；A 为平均每只黄带犀猎蝽捕食的猎物数量；b 为捕食者之间的干扰系数。模型的拟合及参数利用非线性回归估计。

1.3 数据分析

试验数据采用Excel 2019和GraphPad Prism 6.01软件进行分析，采用Tukey法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食量

黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的日平均捕食量结果显示，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫均能捕食斜纹夜蛾3、4龄幼虫，且日平均捕食量随猎物密度的上升而不断增加，但增幅逐渐减缓。在同一龄期条件下，除黄带犀猎蝽3龄若虫外，其他龄期黄带犀猎蝽对不同密度斜纹夜蛾幼虫的捕食量间均存在显著差异。斜纹夜蛾3龄幼虫密度为30头/盒时，黄带犀

猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫的日平均捕食量分别为2.70、3.90、4.20、9.30和6.60头；斜纹夜蛾4龄幼虫密度为18头/盒时，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫日平均捕食量分别为2.30、2.70、3.30、3.40和3.60头。在供试猎物密度范围内，黄带犀猎蝽雌成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日平均捕食量高于其他龄期，雄成虫次之。当猎物密度为3头/盒和6头/盒时，雌成虫对斜纹夜蛾4龄幼虫的日平均捕食量高于其他龄期，雄成虫次之；当猎物密度为9头/盒和12头/盒时，雌、雄成虫日平均捕食量相同，且均高于若虫；当猎物密度为18头/盒时，雄成虫对斜纹夜蛾4龄幼虫的日平均捕食量最高，雌成虫次之(表1)。

表1 黄带犀猎蝽在不同草地贪夜蛾密度下的日平均捕食量

Table 1 Average daily consumption of *Sycanus croceovittatus* under different *Spodoptera litura* densities

草地贪夜蛾龄期 Instar of *Sp. litura*	草地贪夜蛾密度(头/盒) Density of *Sp. litura* per box	黄带犀猎蝽 *Sy. croceovittatus*				
		3龄若虫 3rd-instar nymph	4龄若虫 4th-instar nymph	5龄若虫 5th-instar nymph	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
3龄 3rd-instar	5	2.20±0.13 Ab	2.80±0.20 Bb	3.10±0.23 Bab	3.90±0.35 Ca	3.50±0.17 Ca
	10	2.40±0.16 Ad	3.20±0.20 ABcd	3.60±0.16 ABc	6.40±0.40 Ba	4.90±0.23 Bb
	15	2.50±0.17 Ad	3.60±0.16 ABc	3.80±0.25 ABc	7.10±0.28 ABa	5.70±0.15 ABb
	20	2.60±0.16 Ad	3.70±0.21 Acd	3.90±0.18 Ac	8.30±0.47 Aa	6.10±0.35 Ab
	30	2.70±0.21 Ad	3.90±0.23 Acd	4.20±0.13 Ac	9.30±0.47 Aa	6.60±0.37 Ab
4龄 4th-instar	3	1.40±0.16 Bb	1.70±0.21 Bb	1.80±0.20 Bb	2.60±0.16 Ba	2.00±0.21 Cab
	6	1.60±0.16 Bc	2.20±0.13 ABbc	2.60±0.16 Aab	3.10±0.18 ABa	2.80±0.13 Bab
	9	1.90±0.10 ABc	2.30±0.21 ABbc	2.70±0.15 Aab	3.20±0.20 ABa	3.20±0.20 ABa
	12	2.00±0.15 ABc	2.30±0.21 ABbc	2.90±0.23 Aab	3.30±0.15 Aa	3.30±0.15 ABa
	18	2.30±0.21 Ac	2.70±0.15 Abc	3.30±0.21 Aab	3.40±0.16 Aab	3.60±0.16 Aa

表中数据为平均数±标准误。同列不同大写字母和同行不同小写字母分别表示同一龄期不同猎物密度和同一猎物密度不同龄期经Tukey法检验差异显著(P<0.05)。Data in the table are means±SE. Different uppercase letters in the same column or lowercase letters in the same row indicate significant difference in the same instar at different prey densities or different instars under the same prey density by Tukey's test (P<0.05).

2.2 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫捕食功能反应

2.2.1 Holling II型功能反应模型

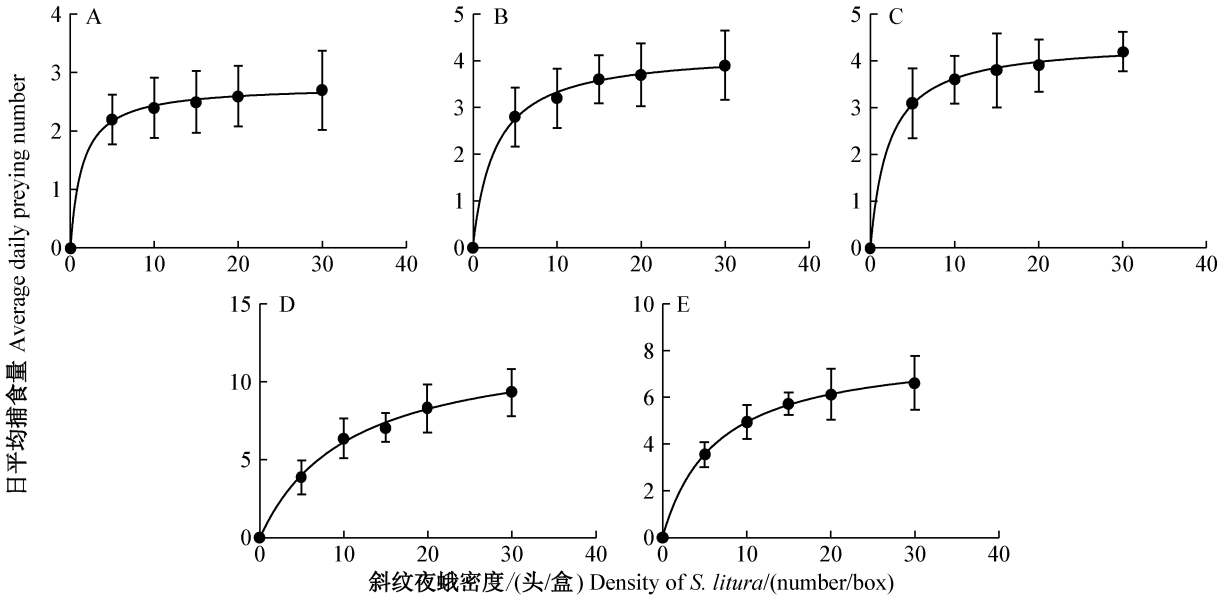
不同虫态黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的瞬时攻击率大小依次为5龄若虫(2.02)>3龄若虫(1.99)>4龄若虫(1.57)>雄成虫(1.25)>雌成虫(1.18)；日均最大捕食量大小依次为雌成虫(12.50头)>雄成虫(8.33头)>5龄若虫(4.35头)>4龄若虫(4.17头)>3龄若虫(2.78头)；控害效能大小依次为雌成虫(14.75)>雄成虫(10.42)>5龄若虫(8.78)>4龄若虫(6.54)>3龄若虫(5.53)；其中雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的Holling II型功能反应模型拟合度最高，为90.07%，3龄若虫最低，为80.13%(表2)。

表2 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的Holling II型功能反应模型

Table 2 Holling II-functional response models of *Sycanus croceovittatus* to the 3rd- and 4th-instar larvae of *Spodoptera litura*

草地贪夜蛾龄期 Instar of *Sp. litura*	黄带犀猎蝽虫态 Stage of *Sy. croceovittatus*	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/头 Daily maximum consumption/individuals	控害效能 Predatory capacity	拟合度 R^2/%
3龄 3rd-instar	3龄若虫3rd-instar nymph	N_a=1.99N/(1+0.72N)	1.99	0.36	2.78	5.53	80.13
	4龄若虫4th-instar nymph	N_a=1.57N/(1+0.38N)	1.57	0.24	4.17	6.54	84.95
	5龄若虫5th-instar nymph	N_a=2.02N/(1+0.46N)	2.02	0.23	4.35	8.78	87.39
	雌成虫Female adult	N_a=1.18N/(1+0.09N)	1.18	0.08	12.50	14.75	88.59
	雄成虫Male adult	N_a=1.25N/(1+0.15N)	1.25	0.12	8.33	10.42	90.07
4龄 4th-instar	3龄若虫3rd-instar nymph	N_a=0.87N/(1+0.34N)	0.87	0.39	2.56	2.23	72.86
	4龄若虫4th-instar nymph	N_a=1.38N/(1+0.48N)	1.38	0.35	2.86	3.94	73.89
	5龄若虫5th-instar nymph	N_a=1.18N/(1+0.31N)	1.18	0.26	3.85	4.54	80.13
	雌成虫Female adult	N_a=3.17N/(1+0.89N)	3.17	0.28	3.57	11.32	86.34
	雄成虫Male adult	N_a=1.31N/(1+0.30N)	1.31	0.23	4.35	5.70	86.59

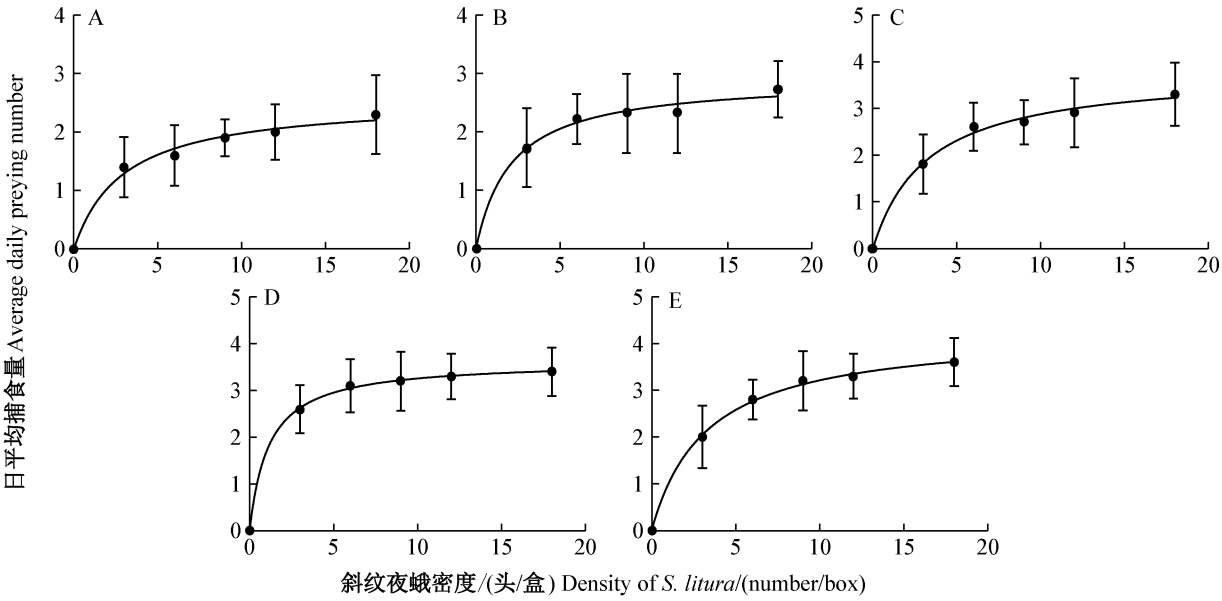
不同虫态黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾4龄幼虫的瞬时攻击率大小依次为雌成虫(3.17)>4龄若虫(1.38)>雄成虫(1.31)>5龄若虫(1.18)>3龄若虫(0.87)；日均最大捕食量大小依次为雄成虫(4.35头)>5龄若虫(3.85头)>雌成虫(3. 57头)>4龄若虫(2.86头)>3龄若虫(2.56头)；控害效能大小依次为雌成虫(11.32)>雄成虫(5.70)>5龄若虫(4.54)>4龄若虫(3.94)>3龄若虫(2.23)；其中雄成虫对斜纹夜蛾4龄幼虫的功能反应模型与Holling II型拟合度最高，为86.59%，3龄若虫最低，为72.86%。结果表明，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食反应均符合Holling II型功能反应模型，且捕食量随猎物密度的增加而增加，而捕食增长速率随猎物密度的增加而降低(图1~2)。



A：3龄若虫；B：4龄若虫；C：5龄若虫；D：雌成虫；E：雄成虫。A: 3rd-instar nymph; B: 4th-instar nymph; C: 5th-instar nymph; D: female adult; E: male adult.

图1　黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食功能反应(Holling II)

Fig. 1　Predatory functional responses of *Sycanus croceovittatus* to 3rd-instar larvae of *Spodoptera litura* (Holling II)



A：3龄若虫；B：4龄若虫；C：5龄若虫；D：雌成虫；E：雄成虫。A: 3rd-instar nymph; B: 4th-instar nymph; C: 5th-instar nymph; D: female adult; E: male adult.

图2　黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾4龄幼虫的捕食功能反应(Holling II)

Fig. 2　Predatory functional responses of *Sycanus croceovittatus* to 4th-instar larvae of *Spodoptera litura* (Holling II)

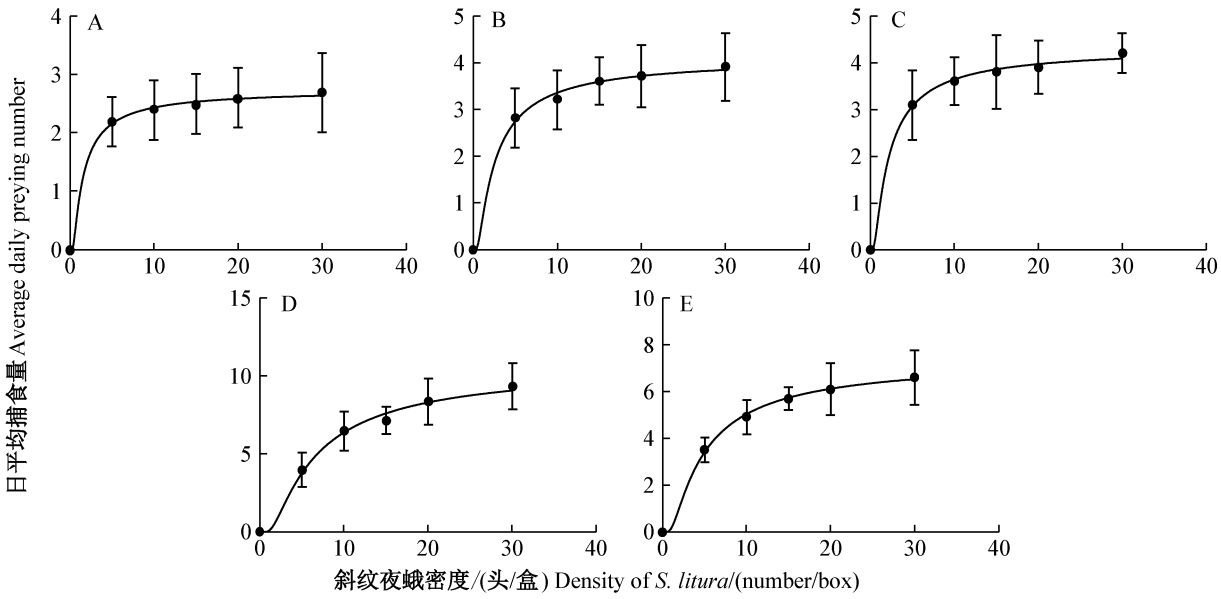
2.2.2 Holling III型功能反应模型

不同虫态黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的日均最大捕食量大小依次为雌成虫(10.76头)>雄成虫(7.41头)>5龄若虫(4.32头)>4龄若虫(4.10头)>3龄若虫(2.75头);最佳寻找密度大小依次为雌成虫(5.28头/盒)>雄成虫(3.88头/盒)>4龄若虫(2.03头/盒)>5龄若虫(1.73头/盒)>3龄若虫(1.19头/盒);其中雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的Holling III型功能反应模型拟合度最高,为89.99%,3龄若虫最低,为80.11%(表3)。不同虫态黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾4龄幼虫的日均最大捕食量大小依次为雄成虫(4.00头)>雌成虫(3.58头)>5龄若虫(3.55头)>4龄若虫(2.78头)>3龄若虫(2.38头);最佳寻找密度大小依次为雄成虫(2.10头/盒)>5龄若虫(2.06头/盒)>3龄若虫(1.83头/盒)>4龄若虫(1.50头/盒)>雌成虫(0.95头/盒);雄成虫对斜纹夜蛾4龄幼虫的Holling III型功能反应模型拟合度最高,为86.63%,3龄若虫最低,为72.37%(表3)。结果表明,黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食反应同样均符合Holling III型功能反应模型,捕食量随猎物密度的增加而增加,但捕食增长速率随猎物密度的增加先逐渐增大后逐渐降低(图3~4)。

表3 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的Holling III型功能反应模型

Table 3 Holling III-functional response models of *Sycanus croceovittatus* to the 3rd- and 4th-instar larvae of *Spodoptera litura*

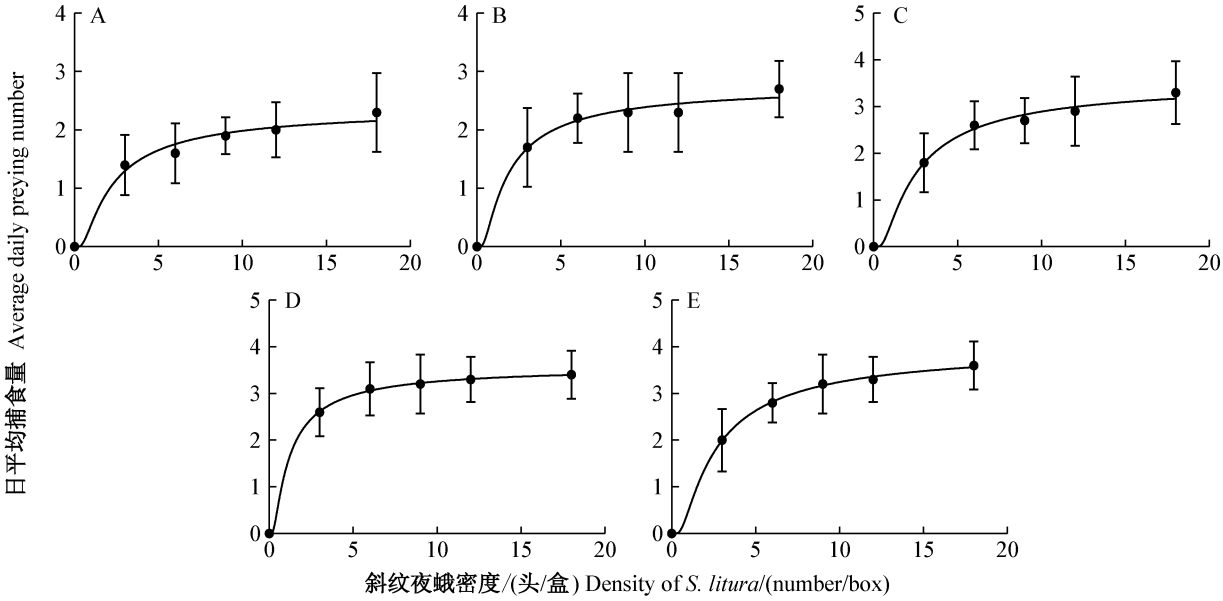
草地贪夜蛾龄期 Instar of *Sp. litura*	黄带犀猎蝽虫态 Stage of *Sy. croceovittatus*	功能反应方程 Functional response equation	日均最大捕食量 Daily maximum consumption/individuals	最佳寻找密度 Optimal searching density	拟合度 R^2/%
3龄 3rd-instar	3龄若虫 3rd-instar nymph	N_a= 2.75exp(−1.19/N)	2.75	1.19	80.11
	4龄若虫 4th-instar nymph	N_a= 4.10exp(−2.03/N)	4.10	2.03	84.86
	5龄若虫 5th-instar nymph	N_a= 4.32exp(−1.73/N)	4.32	1.73	87.34
	雌成虫 Female adult	N_a=10.76exp(−5.28/N)	10.76	5.28	88.37
	雄成虫 Male adult	N_a= 7.41exp(−3.88/N)	7.41	3.88	89.99
4龄 4th-instar	3龄若虫 3rd-instar nymph	N_a= 2.38exp(−1.83/N)	2.38	1.83	72.37
	4龄若虫 4th-instar nymph	N_a= 2.78exp(−1.50/N)	2.78	1.50	73.81
	5龄若虫 5th-instar nymph	N_a= 3.55exp(−2.06/N)	3.55	2.06	80.06
	雌成虫 Female adult	N_a= 3.58exp(−0.95/N)	3.58	0.95	86.36
	雄成虫 Male adult	N_a= 4.00exp(−2.10/N)	4.00	2.10	86.63



A: 3龄若虫; B: 4龄若虫; C: 5龄若虫; D: 雌成虫; E: 雄成虫。A: 3rd-instar nymph; B: 4th-instar nymph; C: 5th-instar nymph; D: female adult; E: male adult.

图3 黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食功能反应(Holling III)

Fig. 3 Predatory functional responses of *Sycanus croceovittatus* to 3rd-instar larvae of *Spodoptera litura* (Holling III)



A：3龄若虫；B：4龄若虫；C：5龄若虫；D：雌成虫；E：雄成虫。A: 3rd-instar nymph; B: 4th-instar nymph; C: 5th-instar nymph; D: female adult; E: male adult.

图4　黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾4龄幼虫的捕食功能反应（Holling III）

Fig. 4　Predatory functional responses of *Sycanus croceovittatus* to 4th-instar larvae of *Spodoptera litura* (Holling III)

2.3　黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的搜寻效应

黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的搜寻效应均随猎物密度的增加而下降。当斜纹夜蛾3龄幼虫密度为30头/盒时，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫的搜寻效应分别为0.09、0.13、0.14、0.31和0.22，当斜纹夜蛾4龄幼虫密度为18头/盒时，搜寻效应分别为0.12、0.14、0.18、0.19和0.20。黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫搜寻效应能达到50%以上的猎物最大密度分别为4.15、5.73、6.63、14.55和9.67头/盒；黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾4龄幼虫搜寻效应能达到50%以上的猎物最大密度分别为2.17、3.66、4.36、6.10和5.26头/盒（图5）。

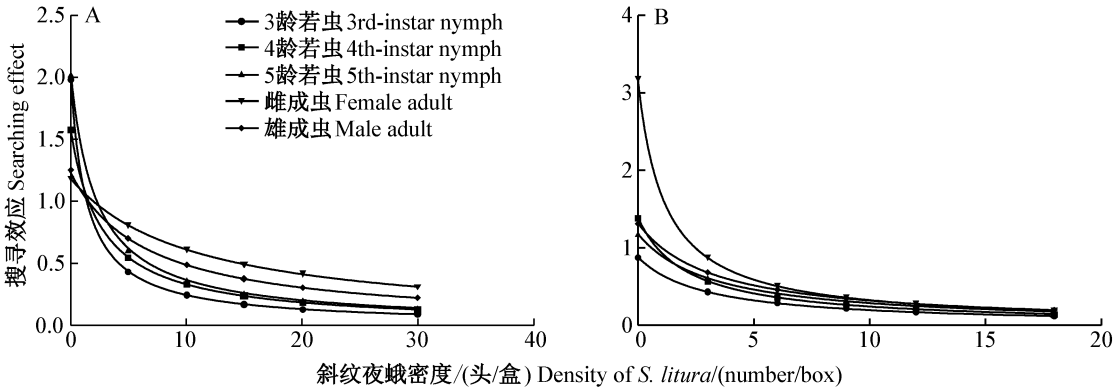


图5　黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄（A）、4龄（B）幼虫的搜寻效应

Fig. 5　Searching effects of *Sycanus croceovittatus* to 3rd-instar (A) and 4th-instar (B) larvae of *Spodoptera litura*

2.4　黄带犀猎蝽自身密度对捕食量的影响

单头黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的日平均捕食量随着捕食者密度的增加而降低，除黄带犀猎蝽3龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日平均捕食量外其他处理均存在显著差异。当捕食者密度为1头/盒时，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫捕食量分别为2.60、3.70、4.20、9.20和8.40头，而当捕食者密度为5头/盒时，单头黄带犀猎蝽的日平均捕食量分别降为2.04、2.60、3.20、3.44和3.56头。当捕食者密度为1头/盒时，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾4龄幼虫捕食量分别为2.00、2.30、3.30、5.40和4.80头，而当捕食

者密度为5头/盒时，单头黄带犀猎蝽的日平均捕食量分别降为1.00、1.08、2.24、2.76和2.20头，均为黄带犀猎蝽雌成虫的日平均捕食量下降趋势最大（表4）。

表4 不同密度黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的日平均捕食量

Table 4 Average daily consumption of 3rd- and 4th-instar larvae of *Spodoptera litura* by *Sycanus croceovittatus* at different densities

草地贪夜蛾龄期 Instar of *Sp. litura*	黄带犀猎蝽虫态 Stage of *Sy. croceovittatus*	猎物密度/(头/盒) Density of prey/(head/box)	日平均捕食量(头)Average daily consumption 捕食者密度/(头/盒)Density of predator /(head/box) 1	2	3	4	5
3龄 3rd-instar	3龄若虫3rd-instar nymph	20	2.60±0.24 a	2.50±0.16 a	2.20±0.08 a	2.05±0.05 a	2.04±0.04 a
	4龄若虫4th-instar nymph	20	3.70±0.21 a	3.10±0.10 ab	2.67±0.11 b	2.65±0.06 b	2.60±0.06 b
	5龄若虫5th-instar nymph	30	4.20±0.13 a	3.90±0.10 ab	3.47±0.08 bc	3.25±0.08 c	3.20±0.06 c
	雌成虫Female adult	40	9.20±0.37 a	4.70±0.26 b	4.40±0.94 b	4.35±0.30 b	3.44±0.53 b
	雄成虫Male adult	40	8.40±0.98 a	5.50±0.76 ab	5.20±0.31 ab	3.90±1.01 b	3.56±0.69 b
4龄 4th-instar	3龄若虫3rd-instar nymph	12	2.00±0.32 a	1.70±0.12 ab	1.33±0.11 bc	1.10±0.06 bc	1.00±0.06 c
	4龄若虫4th-instar nymph	12	2.30±0.21 a	1.80±0.12 ab	1.40±0.07 b	1.30±0.05 b	1.08±0.05 b
	5龄若虫5th-instar nymph	18	3.30±0.21 a	2.90±0.10 ab	2.33±0.11 b	2.25±0.08 b	2.24±0.04 b
	雌成虫Female adult	24	5.40±0.24 a	3.20±0.34 b	2.93±0.19 b	2.85±0.43 b	2.76±0.38 b
	雄成虫Male adult	24	4.80±0.80 a	2.90±0.19 ab	2.73±0.46 ab	2.40±0.40 b	2.20±0.44 b

表中数据为平均数±标准误。同行不同小写字母表示同一龄期不同捕食者密度的日平均捕食量经Tukey法检验差异显著（$P<0.05$）。Data in the table are means±SE. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference in the consumptions of the same instar by different densities of predator by Tukey's test ($P<0.05$).

拟合Watt模型结果显示，黄带犀猎蝽捕食斜纹夜蛾3龄幼虫的自身密度干扰系数大小依次为雌成虫（0.63）>雄成虫（0.52）>4龄若虫（0.24）>5龄若虫（0.18）>3龄若虫（0.16）；黄带犀猎蝽捕食斜纹夜蛾4龄幼虫的自身密度干扰系数大小依次为雄成虫（0.50）>雌成虫（0.47）>4龄若虫（0.44）>3龄若虫（0.42）>5龄若虫（0.27）。结果表明，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的自身密度干扰反应均符合Watt模型方程，其中黄带犀猎蝽雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的拟合度最高，为97.47%，3龄若虫最低，为90.84%；黄带犀猎蝽4龄若虫对斜纹夜蛾4龄幼虫的拟合度最高，为98.41%，雌成虫最低，为90.04%（表5）。

表5 黄带犀猎蝽捕食斜纹夜蛾3、4龄幼虫的Watt模型方程

Table 5 Watt Model equations of *Sycanus croceovittatus* aganst the 3rd- and 4th-instar larvae of *Spodoptera litura*

草地贪夜蛾龄期 Instar of *Sp. litura*	黄带犀猎蝽虫态 Stage of *Sy. croceovittatus*	Watt模型方程 Watt model equation	最大捕食量 Maximum predatory capacity	自身密度干扰系数 Interference factor	拟合度 R^2/%
3龄 3rd-instar	3龄若虫3rd-instar nymph	$A=2.66P^{-0.16}$	2.66	0.16	90.84
	4龄若虫4th-instar nymph	$A=3.66P^{-0.24}$	3.66	0.24	95.92
	5龄若虫5th-instar nymph	$A=4.26P^{-0.18}$	4.26	0.18	96.15
	雌成虫Female adult	$A=8.85P^{-0.63}$	8.85	0.63	92.08
	雄成虫Male adult	$A=8.35P^{-0.52}$	8.35	0.52	97.47
4龄 4th-instar	3龄若虫3rd-instar nymph	$A=2.06P^{-0.42}$	2.06	0.42	95.01
	4龄若虫4th-instar nymph	$A=2.33P^{-0.44}$	2.33	0.44	98.41
	5龄若虫5th-instar nymph	$A=3.33P^{-0.27}$	3.33	0.27	94.60
	雌成虫Female adult	$A=5.16P^{-0.47}$	5.16	0.47	90.04
	雄成虫Male adult	$A=4.66P^{-0.50}$	4.66	0.50	95.48

3 讨论

本研究结果表明，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食量均随着害虫密度增加整体呈上升趋势，但其增加幅度随着斜纹夜蛾密度增加而缓慢减小，且对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食量普遍高于4龄幼虫，分析其原因可能是由于天敌捕食量的差异与猎物体积以及猎物自身的营

养成分密切相关，斜纹夜蛾3龄幼虫体积较小，黄带犀猎蝽需要捕食较多虫量才能满足其生长发育的需要，而4龄幼虫体积较大且抗逆性较强，所以黄带犀猎蝽对其捕食量较小。

不同虫态黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的捕食功能反应均同时符合Holling II和Holling III两种功能反应模型，这与东亚小花蝽 *Orius sauteri* 对美洲棘蓟马 *Echinothrips americanus* 的捕食功能反应结果相似（朱亮等，2015）。Holling II功能反应模型结果表明，在黄带犀猎蝽供试虫态中，捕食者捕食增长速率均随猎物密度的增加而降低，其中雌成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日均最大捕食量最大（12.59头），与蠋蝽和益蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应的试验结果一致，即蠋蝽和益蝽雌成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日均最大捕食量均大于其他虫态，但黄带犀猎蝽雌成虫的日均最大捕食量略低于蠋蝽雌成虫（13.699头）和益蝽雌成虫（22.727头）（唐艺婷，2020；唐艺婷等，2020）；而捕食者黄带犀猎蝽雄成虫对斜纹夜蛾4龄幼虫的日均最大捕食量最大（4.27头）。瞬时攻击率与处理时间之比可用来衡量天敌对害虫的控害效能，a/T_h值越大，表明天敌对害虫的控制能力越强（周集中和陈常铭，1986）。在本研究中，黄带犀猎蝽雌成虫对斜纹夜蛾3、4龄幼虫的控害效能均优于其他龄期，分别为14.91和11.48。蠋蝽雌成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫（18.205）以及大红犀猎蝽 *Sycanus falleni* 雌成虫对草地贪夜蛾3龄幼虫（34.143）的控害效能同样优于其他龄期（唐艺婷等，2020；侯峥嵘等，2020），仅从控害效能参数分析，黄带犀猎蝽雌成虫的控害效能低于蠋蝽雌成虫。

Holling III功能反应模型结果显示，黄带犀猎蝽捕食增长速率随猎物密度的增加先逐渐增大后逐渐降低，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日均最大捕食量分别为2.75、4.10、4.32、10.76和7.41头，对斜纹夜蛾4龄幼虫的日均最大捕食量分别为2.38、2.78、3.55、3.58和4.00头，均小于拟合Holling II模型得到的相关参数结果，与朱亮等（2015）和王然等（2016）同时使用2种模型的捕食功能反应的研究结果类似，分析其原因可能是Holling III模型在Holling II模型的基础上考虑了猎物密度很低时捕食者对猎物反应会受到的抑制作用，因此Holling III模型拟合出的日均最大捕食量较小（刘爽等，2011）。本试验观察到许多斜纹夜蛾幼虫被黄带犀猎蝽杀死后未被完全取食，同时还观察到黄带犀猎蝽不再取食死亡猎物，说明黄带犀猎蝽有较强的攻击性，且偏食活猎物。在害虫生物防治中，最需要的就是对活体害虫的致死量，天敌偏食活猎物的特性无疑将提高其对猎物的致死量（唐艺婷等，2018）。

通过拟合Holling II模型能够得出发现率和平均处理时间这2个有意义的生物学因子，而利用Holling III模型可得出日均最大捕食量和最佳寻找密度参数，并估算天敌与害虫的最佳益害比，因此2种模型在一定程度上可以相互补充，同时使用2种模型更能准确地描述天敌的作用（陈文胜等，2004；魏治钢等，2010）。当猎物数量接近饱和时，黄带犀猎蝽取食量将受到其对猎物同化速度的制约而接近最大捕食量。而比对方程中最佳寻找密度后可知，其最佳寻找密度均处于拟合曲线的大幅上升部分内，尽管此时未达到理论上的最大捕食量，但是在此密度下的捕食比率却呈现增长态势。根据其最佳寻找密度和搜寻效益的结果，推测，黄带犀猎蝽3~5龄若虫和雌、雄成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的室内益害比范围大约分别为1∶4.15~1∶1.19、1∶5.73~1∶2.03、1∶6.63~1∶1.73、1∶14.55~1∶5.28和1∶9.67~1∶3.88，对斜纹夜蛾4龄幼虫的室内益害比范围大约分别为1∶2.17~1∶1.83、1∶3.66~1∶1.50、1∶4.36~1∶2.06、1∶6.10~1∶0.95和1∶5.26~1∶2.10，在此范围内黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的搜寻效应能达到50%以上，且捕食量较高，在此范围内益害比越大，防治时间越早，防治的效果越好。

在一定空间内，捕食过程中常存在捕食者自身的种内密度干扰作用，捕食性天敌个体数的多少常会产生不同程度的相互影响，单个捕食者的搜寻效应随捕食者密度的增加而减少（陈然等，2015）。利用Watt模型能较好地反映黄带犀猎蝽自身密度的干扰效应，不同虫态黄带犀猎蝽在取食斜纹夜蛾时也存在个体间的干扰反应，且自身密度越大，干扰也越大，平均捕食量随天敌密度的增加而降低，叉角厉蝽、大红犀猎蝽和红彩瑞猎蝽等其他捕食蝽也有类似的干扰反应（邓海滨等，2012；陈然等，2015；侯峥嵘等，2020）。黄带犀猎蝽捕食斜纹夜蛾3、4龄幼虫时则呈现出雌、雄成虫的自身密度干扰系数大于若虫，且随着斜纹夜蛾龄期增加，黄带犀猎蝽雌、雄成虫的自身密度干扰系数有所降低，表明猎物个体小时黄带犀猎蝽成虫更倾向于单独捕食，黄带犀猎蝽雌成虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的自身密度干扰系数（0.63）介于益蝽雌成虫（0.664）和蠋蝽雌成虫（0.359）之间（唐艺婷，2020；唐艺婷等，2020）。因此

在进行捕食蝽的田间释放利用时，可在害虫发生前期或数量较少时，分期分批分散释放天敌，并且把虫害严重区域作为重点释放区，以正常发挥捕食蝽的捕食效能，达到把害虫种群长期控制在一个较低水平的目标。

使用捕食功能反应方法对捕食者的捕食效能进行评价，可为天敌昆虫控害潜能的评价提供相关理论依据以及田间释放应用提供技术支持（唐敏等，2019；徐庆宣等，2019）。本试验通过功能反应、搜寻效应和干扰反应试验初步明确了室内条件下不同龄期黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾幼虫的控制能力及其差异，但是自然条件下还存在气候、温湿度、降雨量等诸多不可控因素影响捕食者的捕食作用。因此在田间释放黄带犀猎蝽时，需综合考虑天敌的自身捕食效率、猎物密度、植株结构、环境条件情况和防治成本等因素，在本研究基础上，需进一步评价黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾自然种群的控制能力，除此之外，还应积极探索生物化学农药与黄带犀猎蝽的共存模式，以便更好地进行科学防治。在害虫为害前期，自然界中天敌的数量往往较少，还不足以控制害虫的发展趋势，这时可以通过人工繁育、释放的方法来增加自然界中天敌的数量，增强天敌对目标害虫的控制力。目前害虫天敌的田间防治体系建立还处于起步阶段，在各个方面都有着深远的拓展空间和发展方向。研究捕食者和猎物的相互作用有利于优化生防策略，可以预测天敌昆虫在田间应用时的释放比例以及释放虫态，实现以最小的释放成本达到最佳的控害效果。

参 考 文 献（References）

Chen R, Liang GW, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD. 2015. The functional response of *Cantheconidea furcellata* (Hemiptera: Asopinae) to *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Environmental Entomology, 37(2): 401−406 (in Chinese) [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]

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]

Deng HB, Wang Z, Chen YM, Wu WB, Peng WS. 2012. Predation of *Harpactor fuscipes* on *Helicoverpa assulta* and *Spodoptera litura*. Guangdong Agricultural Sciences, 39(13): 107−109 (in Chinese) [邓海滨, 王珍, 陈永明, 吴文斌, 彭文松. 2012. 红彩真猎蝽对斜纹夜蛾和烟青虫的捕食功能反应. 广东农业科学, 39(13): 107−109]

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]

Du J. 2016. Study on the biological and artificial diets of *Spodoptera litura*. Master thesis. Harbin: Northeast Agricultural University (in Chinese) [杜娟. 2016. 斜纹夜蛾生物学及人工饲料的研究. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学]

Holling CS. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. The Canadian Entomologist, 91(7): 385−398

Hou ZY, 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 X. 2007. Systematic study on Reduviidae (Heteroptera) from Guangxi. Master thesis. Guilin: Guangxi Normal University (in Chinese) [黄霞. 2007. 广西猎蝽科昆虫分类研究. 硕士学位论文. 桂林: 广西师范大学]

Huang ZH, Wu JF, Zhang ZQ. 1991. A preliminary study on the bionomics 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]

Liu S, Wang S, Liu BM, Zhou CQ, Zhang F. 2011. The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci*. Scientia Agricultura Sinica, 44(6): 1136−1145 (in Chinese) [刘爽, 王甦, 刘佰明, 周长青, 张帆. 2011. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察. 中国农业科学, 44(6): 1136−1145]

Putshkov PV, Putshkov VG. 1996. Family Reduviidae Latreille, 1807, assassin-bugs.//Aukema B, Rieger C. Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region, volume 2 Cimicomorpha I. Amsterdam: The Netherlands Entomological Society, pp. 148−265

Sang S, Wang Z, Qi JW, Shu BS, Zhong GH. 2013. Research progresses on pesticide resistance of *Spodoptera litura*. Journal of Environmental Entomology, 35(6): 808−814 (in Chinese) [桑松, 王政, 齐江卫, 舒本水, 钟国华. 2013. 斜纹夜蛾抗药性研究进展. 环境昆虫学报, 35(6): 808−814]

Shu YN. 1959. *Spodoptera litura*, a major pest in China. Entomological Knowledge, (3): 106−107 (in Chinese) [束炎南. 1959. 我国的大害虫——斜纹夜蛾. 昆虫知识, (3): 106−107]

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, Wang MQ, Li YY, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS. 2020. 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. 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]

Wang R, Wang S, Qu C, Li JH, Chen ZQ, Zhang F. 2016. The predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants. Journal of Plant Protection, 43(1): 149−154 (in Chinese) [王然, 王甦, 渠成, 李济航, 陈支芹, 张帆. 2016. 大草蛉幼虫对不同寄主植物上烟粉虱卵的捕食功能反应与搜寻效应. 植物保护学报, 43(1): 149−154]

Wang SZ, Xia CG. 1988. Holling-III type functional response to the new models. Journal of Ecology, 7(1): 1−3 (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]

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 DW, Xian XY, Zhou ZH, Wang ZY, Zhou XH, Huang JD. 1998. A preliminary study on the functional responses of *Cyrtopeltis tenuis* to *Spodoptera litura*. Acta Agriculturae Universitatis Henanensis, 32(1): 55−59 (in Chinese) [韦德卫, 贤小勇, 周至宏, 王助引, 周兴华, 黄家达. 1998. 烟盲蝽对斜纹夜蛾捕食功能反应的初步研究. 河南农业大学学报, 32(1): 55−59]

Wei ZG, Zhao L, Yang S. 2010. Predatory function of adults of *Chilocorus geminus* to *Pseudaulacapis 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]

Xiao LW, Huang XB, Huang J, Wang P, Long MF, Zeng JF, Deng YB. 2014. Cause analysis and prevention of *Spodoptera litura* outbreak. Fujian Agriculture, (10): 120−121 (in Chinese) [肖立武, 黄小兵, 黄娟, 王萍, 龙梅芳, 曾敬富, 邓银宝. 2014. 斜纹夜蛾暴发成灾原因分析及防控初探. 福建农业, (10): 120−121]

Xu QX, Wang S, Tian RB, Wang S, Zhang F, Ma J, Li S, Di N. 2019. Study on the predation potential of *Chrysopa pallens* on *Spodoptera frugiperda*. Journal of Environmental Entomology, 41(4): 754−759 (in Chinese) [徐庆宣, 王松, 田仁斌, 王甦, 张帆, 马娇, 李姝, 邸宁. 2019. 大草蛉对草地贪夜蛾捕食潜能研究. 环境昆虫学报, 41(4): 754−759]

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 JZ, Chen CM. 1986. Predation of wolf spider, *Lycosa pseudoannulata* on brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, and its functional response. Chinese Journal of Biological Control, 2(1): 2−9 (in Chinese) [周集中, 陈常铭. 1986. 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. 生物防治通报. 2(1): 2−9]

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, 王甦, 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：王　璇）