

人工饲料对黄带犀猎蝽生长发育、繁殖及捕食效能的影响



陈苏怡¹ 李晓光¹ 史爱民² 石萍丽² 石安宪³ 彩万志¹ 李虎^{1*}

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

摘要: 为评价人工饲料饲养对广泛分布于我国南方的黄带犀猎蝽 *Sycanus bifidus* 的生长发育、繁殖和控害能力的影响, 在室内条件下测定取食不同胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽若虫生长发育和繁殖的相关生物学参数, 并比较取食斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 胶囊人工饲料和活虫饲料的黄带犀猎蝽 3~5 龄若虫对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的捕食功能反应和搜寻效应。结果表明, 以斜纹夜蛾胶囊人工饲料饲喂的黄带犀猎蝽若虫可完成完整世代并继续繁殖, 其成虫获得率为 15.0%, 若虫总发育周期为 107.6 d, 雌、雄成虫体重分别为 113.8 mg 和 84.7 mg, 产卵前期为 31.3 d, 单雌产卵量为 117.3 粒, 卵期为 24.5 d, 卵孵化率为 90.8%; 而取食胶囊人工饲料内容物为黄粉虫 *Tenebrio molitor* 匀浆液和混合匀浆液的黄带犀猎蝽若虫不能完成完整世代。取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料和活虫饲料的黄带犀猎蝽 3~5 龄若虫的捕食功能反应均符合 Holling II 型和 Holling III 型功能反应模型, 使用斜纹夜蛾胶囊人工饲料饲养的黄带犀猎蝽对猎物的捕食效果和搜寻效应未受到明显影响, 表明该人工饲料可用于黄带犀猎蝽的规模化扩繁。

关键词: 黄带犀猎蝽; 斜纹夜蛾; 人工饲料; 胶囊化; 规模化饲养; 生物学参数; 捕食功能反应

Effects of artificial diet on the growth, development, reproduction, and predatory efficiency of the assassin bug *Sycanus bifidus*

Chen Suyi¹ Li Xiaoguang¹ Shi Aimin² Shi Pingli² Shi Anxian³ Cai Wanzhi¹ Li Hu^{1*}

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

Abstract: The assassin bug *Sycanus bifidus* is widely distributed in southern China. To evaluate the effects of artificial diet feeding on its growth, development, propagation, and pest control abilities, various biological parameters related to growth, development, and propagation of *S. bifidus* were examined while feeding on different capsule artificial diets. The predatory functional responses and searching effects of 3rd–5th-instar nymphs of *S. bifidus* were investigated when fed on *Spodoptera litura* capsule artificial diets and living insect diets, targeting the 3rd-instar larvae of *S. litura* indoors. The results showed that *S. bifidus* nymphs could complete an entire generation when feeding on *S. litura* capsule artificial diets, with an adult acquisition rate of 15.0%, a nymphal duration of 107.6 d, female and male adult body weights of 113.8 mg and 84.7 mg, respectively, a pre-oviposition period of 31.3 d, fecundity per female of 117.3, egg duration of 24.5 d, and an egg hatching rate of 90.8%. However, *S. bifidus* fed

基金项目: 云南省昭通市院士专家工作站项目(2021ZTYX05, 2019ZTYX03), 云南省生物多样性保护基金会项目

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: tigerleecau@hotmail.com

收稿日期: 2023-08-04

on *Tenebrio molitor* or a mixture of capsule artificial diets could not complete the entire generation. The predatory functional responses of 3rd–5th-instar nymphs of *S. bifidus* fed on both *S. litura* capsule artificial diets and living insect diets fitted the Holling II and Holling III models. Furthermore, the predation and searching effects of *S. bifidus* were not significantly affected by feeding on *S. litura* capsule artificial diets. These results indicated that this artificial diet could be applied for the artificial large-scale propagation of *S. bifidus*.

Key words: *Sycanus bifidus*; *Spodoptera litura*; artificial diet; capsulation; large-scale feeding; biological parameter; predatory functional response

猎蝽科是半翅目昆虫中最大的捕食性类群,在已知的近7 000种猎蝽中,除锥猎蝽亚科为血食性类群外,其他类群多以昆虫或节肢动物为主要捕食对象,是重要的农林害虫天敌资源(黄霞,2007;Schuh & Weirauch,2020)。目前,环斑猛猎蝽 *Sphedanolestes impressicollis*(李梦钗等,2009)、红彩瑞猎蝽 *Rhynocoris fuscipes*(邓海滨等,2012)、大红犀猎蝽 *Sycanus falleni*(侯峥嵘等,2020)和黄带犀猎蝽 *Sycanus bifidus*(王亚楠等,2020)等多种猎蝽正被逐渐开发和利用。其中,黄带犀猎蝽广泛分布于我国南方(赵萍,2008),适应能力、捕食力和耐饥力较强,且易于人工繁殖,可取食直翅目、半翅目、膜翅目、鞘翅目及鳞翅目等多个类群的害虫,尤喜捕食鳞翅目幼虫(黄增和等,1991;向涛和崔龙箫,2018;陈苏怡等,2023),具有较高的生物防治应用潜力。

捕食性蝽类天敌拥有很好的控害潜力和应用前景,在欧美地区,淡翅小花蝽 *Orius albidipennis*(Chyzik & Ucko,2002)、暗巨长颈盲蝽 *Macrolophus caliginosus*(Alomar et al.,2006)和斑腹刺益蝽 *Podisus maculiventris*(Coudron et al.,2007)等少量种类已经初步实现商业化生产,并主要用于防治温室害虫(徐学农和王恩东,2007)。国内对捕食性蝽类天敌的研究起步相对较晚,但近几年在南方小花蝽 *Orius similis*(张士昶等,2008)、大眼长蝽 *Geocoris pallidipennis*(周正,2012)和蠋蝽 *Arma custos*(戴文昊,2019)等捕食性蝽类的开发和利用方面也取得较大进展。但是,对于捕食性蝽类天敌的大规模扩繁和田间应用主要面临季节、寄主、种群退化和扩繁成本等因素的制约,且易受病原微生物干扰,发育整齐度不易控制,其中最主要的因素还是扩繁成本(马凤梅和吴伟坚,2005;Ahmad & Kamarudin,2016)。目前使用活虫饲养天敌的成本较高,且猎物被刺吸后很快死亡、腐烂,不仅浪费饲料而且饲养环境被污染,导致天敌昆虫染病和大规模死亡(戴文昊,2019)。因此针对这些问题,研究可替代猎物种类和改进饲料制作方法,如将活虫饲料胶囊化,并在保证

饲料营养不影响天敌生长发育和对害虫控害能力的前提下,提高饲料利用率和降低成本是捕食性天敌规模化扩繁的关键环节。

宫靖垚等(2019)和戴文昊等(2021)将饲料胶囊化后饲喂叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 和蠋蝽,并对其捕食能力进行了评价。本团队前期以黄粉虫 *Tenebrio molitor*、果蝇 *Drosophila* sp.、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和棉蚜 *Aphis gossypii* 作为规模化饲养黄带犀猎蝽的活虫饲料,并分别测定取食这些饲料的黄带犀猎蝽生长发育和繁殖的相关生物学参数,发现以黄粉虫和斜纹夜蛾作为活虫饲料饲养的效果较好(陈苏怡等,2022)。本研究在此基础上分别将斜纹夜蛾匀浆液、黄粉虫匀浆液和2种活虫1:1体积比混合匀浆液制成胶囊人工饲料,并通过室内试验比较不同胶囊人工饲料对黄带犀猎蝽若虫生长发育历期、体重、成虫寿命和繁殖的影响,及斜纹夜蛾胶囊人工饲料和活虫饲料饲养的黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食能力反应和搜寻效应,从而评价利用该胶囊人工饲料规模化扩繁黄带犀猎蝽的可行性,以期为捕食性蝽类天敌的胶囊人工饲料开发和规模化扩繁技术提升提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:黄带犀猎蝽种群采自广西壮族自治区百色市那坡县玉米田,已在室内饲养多代,以斜纹夜蛾和黄粉虫幼虫在长42 cm、宽28 cm、高20 cm的养虫笼内群体饲养;斜纹夜蛾幼虫以人工饲料饲养,人工饲料配方及饲养方法参照孙庚等(2015)方法;黄粉虫幼虫及其饲料麦麸从网上购得。所有供试昆虫于温度为(25±1)℃、相对湿度为(60±5)%、光照周期为14 L:10 D的人工气候室内饲养。

试剂及仪器:本试验所用试剂均为国产分析纯。PB12X1-101B 料理机,美的集团股份有限公司;OTS-750 空气压缩机,台州市奥突斯工贸有限公司;SPL-01 凝珠包装试验机,佛山市博维环保材料

有限公司;Parafilm封口膜,美国Bemis公司;PE膜(1丝),东莞市新灿包装制品有限公司;离型纸,东莞永煜包装制品有限公司;长22.3 cm、宽15.3 cm、高9.0 cm塑料盒,义乌市商邦日用品有限公司;长42 cm、宽28 cm、高20 cm养虫笼,自制;FA2104电子分析天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 胶囊人工饲料制备

试验共设定3组不同内容物胶囊配方,分别以过滤后的斜纹夜蛾匀浆液、黄粉虫匀浆液和2种活虫体积比1:1混合匀浆液作为内容物。选取一定数量的高龄斜纹夜蛾、黄粉虫幼虫和高龄斜纹夜蛾+黄粉虫幼虫(体积比1:1),三者容积相同,且不低于料理机最少可用容积,分别放入料理机中启用匀浆模式,得到3种匀浆液,并用纱布过滤后倒入50 mL离心管中,备用。胶囊人工饲料制作前先用75%酒精将操作台和工具擦拭,依次打开空气压缩机和包装试验机开关,启用包装试验机手动模式,温度设为75~80 °C,将Parafilm封口膜剪裁后放在模型上,按F3抽真空至封口膜塑性后停止,每个胶囊放入300 μL匀浆液,上覆PE膜并垫上1层离型纸,双手摁压两侧按钮密封3 s后再次摁压,将胶囊修剪后即可使用。

1.2.2 胶囊人工饲料对黄带犀猎蝽生长发育的影响测定

将室内饲养多代的黄带犀猎蝽初产24 h内卵置于长22.3 cm、宽15.3 cm、高9.0 cm的塑料盒中,盒盖中央切割1个12 cm×6 cm的长方形孔,上覆孔径为0.125 mm的尼龙纱网,旁边放置1块浸湿脱脂棉增加湿度,待其孵化,记录卵的孵化时间。将初孵若虫用毛笔单头挑入上底直径7.5 cm、下底直径5.5 cm、高9.6 cm的300 mL太空杯中,放置1块浸湿脱脂棉提供水分,用孔径0.125 mm纱网和橡皮筋封口。设3组处理,即喂食黄粉虫胶囊人工饲料组、斜纹夜蛾胶囊人工饲料组和混合胶囊人工饲料组。饲养1~2龄若虫时每个太空杯中放入1枚胶囊,饲养3龄及以上龄期若虫时每个太空杯中放入2枚胶囊,每48 h更换1次。每组处理20头黄带犀猎蝽若虫,重复3次。每24 h观察记录1次黄带犀猎蝽若虫的发育进度,若蜕皮前死亡计入该发育阶段死亡数,在蜕皮24 h内用电子分析天平称量其体重,直到羽化为成虫。羽化失败或羽化24 h内死亡均记为羽化期死亡。新羽化的成虫称重、记录性别后进行组内配对,单对转移至太空杯中,放入1块浸湿脱脂棉和4枚同种内容物胶囊,用孔径0.125 mm纱网和橡皮筋封口,并放置剪裁后的5 cm×5 cm蛋托盘供其产卵,产卵后24 h内收集新产卵并放入新蛋托盘供其继续

产卵,将卵转移至新的太空杯中,用孔径0.125 mm纱网和橡皮筋封口,纱网上放置1块浸湿脱脂棉增加湿度,待其孵化。在试验阶段,若配对成虫中雄成虫在雌成虫开始产卵前死亡,则从同一组种群内选择羽化日期相近的雄成虫补充配对。每24 h观察记录1次生物学指标,包括产卵日期、孵化日期以及产卵量等,直至所有黄带犀猎蝽成虫死亡,记录成虫寿命。使用相同方法对孵化的下一代黄带犀猎蝽若虫进行饲养。计算各生物学参数:各发育阶段死亡率=各发育阶段死亡数/20×100%;成虫获得率=100%- \sum 各发育阶段死亡率;雌虫比=雌成虫数量/成虫获得数量×100%;产卵前期为羽化日期到第1次产卵日期相隔天数;单雌产卵量= \sum 单次产卵量;卵孵化率=初孵若虫数/单次产卵量×100%。

1.2.3 胶囊人工饲料对黄带犀猎蝽捕食能的影响测定

对使用斜纹夜蛾胶囊人工饲料和以斜纹夜蛾及黄粉虫幼虫活虫饲喂的黄带犀猎蝽实验室种群进行捕食能功能反应试验。分别用选取当日蜕皮24 h内分别用胶囊人工饲料和活虫饲料饲喂的黄带犀猎蝽3、4和5龄若虫,分别单头置于上底直径7.5 cm、下底直径5.5 cm、高9.6 cm的300 mL太空杯中,用孔径0.125 mm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。将斜纹夜蛾3龄幼虫放入1.2.2所述开孔塑料盒中,密度设为5、10、15、20和30头/盒,同时分别放入1头饥饿处理24 h的黄带犀猎蝽,底部放入适量1.1所述人工饲料供斜纹夜蛾取食。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斜纹夜蛾的数量,计算黄带犀猎蝽的捕食量。

1.2.4 饲喂人工饲料后黄带犀猎蝽的捕食能功能反应拟合

利用模型方程与1.2.3统计的捕食量进行拟合,确定不同饲料饲养的不同龄期黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食能功能反应。Holling II型功能反应模型为 $N_a = aNT_r/(1+aT_hN)$ (Holling, 1959),其中 N_a 为天敌捕食量; 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。

1.2.5 饲喂人工饲料后黄带犀猎蝽的搜寻效应拟合

利用拟合 Holling II型功能反应模型的参数与1.2.3统计的捕食量进行拟合,计算不同饲料饲养的不同龄期黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的搜寻效应,搜寻效应模型为 $S = a/(1+aT_hN)$ (丁岩钦, 1994),

其中 S 为搜寻效应。

1.3 数据分析

死亡率、发育历期和体重等种群生命参数在取食不同猎物组处理间的差异显著性采用单因素方差分析(F 检验)，其中各发育阶段死亡率服从二项分布，在进行方差分析时需将小于30%或大于70%范围内的数据进行反正弦转换，以矫正其正态性和方差的均匀性。3组处理间采用Tukey法进行差异显著性检验，2组处理间采用 t 测验法进行差异显著性检验，Holling II、Holling III和搜寻效应模型的拟合及参数利用非线性回归估计。统计计算过程由Excel 2019和GraphPad Prism 6.01软件完成。

2 结果与分析

2.1 胶囊人工饲料对黄带犀猎蝽生长发育的影响

2.1.1 对黄带犀猎蝽各发育阶段死亡率的影响

黄带犀猎蝽取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料可以完成完整的世代发育，而取食黄粉虫胶囊人工饲料和混合胶囊人工饲料时均未完成完整的世代发育(表1)。取食黄粉虫胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽1龄若虫的死亡率为45.0%，显著低于取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组和混合胶囊人工饲料组($df=2, 6, F=11.452, P=0.009$)；2龄、3龄和5龄若虫取食不同胶囊人工饲料后的死亡率均无显著差异(2龄： $df=2, 6, F=4.508, P=0.064$ ；3龄： $df=2, 6, F=2.396, P=0.172$ ；5龄： $df=4, t=1.159, P=0.271$)；取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽2龄和3龄若虫的发育历期分别显著短于取食混合胶囊人工饲料组和黄粉虫胶囊人工饲料组(2龄： $df=2, 35, F=6.449, P=0.004$ ；3龄： $df=2, 31, F=3.854, P=0.032$)；总体来看，取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽1龄若虫的发育历期最长，为23.8 d，2~4龄若虫的发育历期均最短，分别为17.4、15.7和19.8 d，5龄若虫的发育历期为34.1 d，若虫总历期为107.6 d(表2)。

表1 不同胶囊人工饲料饲养下黄带犀猎蝽各发育阶段的死亡率和成虫获得率

Table 1 Mortality and adult acquisition rates of *Sycanus bifidus* at different developmental stages under different capsule artificial feeding conditions

内容物 Inclusion	若虫死亡率 Mortality of nymph/%					羽化期成虫死亡率 Mortality during emergence period/%	成虫获得率 Adult acquisition rate/%
	1龄 1st-instar	2龄 2nd-instar	3龄 3rd-instar	4龄 4th-instar	5龄 5th-instar		
斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>	80.0±5.0 a	3.3±3.3 a	0.0±0.0 a	1.7±1.7 a	0.0±0.0	0.0±0.0	15.0±5.8 a
黄粉虫 <i>Tenebrio molitor</i>	45.0±10.0 b	13.3±1.7 a	6.7±1.7 a	28.3±7.3 b	6.7±3.3	/	0.0±0.0 b
混合 Mixture	86.7±4.4 a	8.3±1.7 a	3.3±3.3 a	1.7±1.7 a	/	/	0.0±0.0 b

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经Tukey法检验差异显著($P<0.05$)。/表示未获得该阶段参数值。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Tukey test ($P<0.05$). / indicates the phase parameter value is not obtained.

2.1.3 对各发育阶段黄带犀猎蝽体重的影响

取食不同胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽1~3龄若虫体重均无显著差异(1龄： $df=2, 177, F=0.002, P=0.998$ ；2龄： $df=2, 48, F=0.620, P=0.542$ ；3龄： $df=2, 35, F=2.951, P=0.065$)，其中取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组2龄若虫的体重较取食其他胶囊人工饲料组低，但3龄若虫的体重较取食其他胶囊人工饲料组高，分别为1.7 mg和4.1 mg；取食斜纹夜蛾胶囊人

$t=2.000, P=0.116$)；取食黄粉虫胶囊人工饲料组4龄若虫的死亡率显著高于取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组和混合胶囊人工饲料组($df=2, 6, F=12.259, P=0.008$)；另外，2~5龄若虫均以取食黄粉虫胶囊人工饲料组的死亡率最高，分别为13.3%、6.7%、28.3%和6.7%；取食不同胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽成虫获得率存在显著差异($df=2, 6, F=6.670, P=0.030$)，取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组的成虫获得率为15.0%，显著高于取食另外2种胶囊人工饲料组(表1)。

2.1.2 对黄带犀猎蝽若虫发育历期的影响

取食混合胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽的生长发育结束于4龄期，取食黄粉虫胶囊人工饲料组的生长发育结束于5龄期，而取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组的则可以完成整个世代的生长发育(表2)。取食不同胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽1龄和4龄若虫的发育历期均无显著差异(1龄： $df=2, 50, F=2.277, P=0.113$ ；4龄： $df=11, t=1.159, P=0.271$)；取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽2龄和3龄若虫的发育历期分别显著短于取食混合胶囊人工饲料组和黄粉虫胶囊人工饲料组(2龄： $df=2, 35, F=6.449, P=0.004$ ；3龄： $df=2, 31, F=3.854, P=0.032$)；总体来看，取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽1龄若虫的发育历期最长，为23.8 d，2~4龄若虫的发育历期均最短，分别为17.4、15.7和19.8 d，5龄若虫的发育历期为34.1 d，若虫总历期为107.6 d(表2)。

工饲料组的4龄和5龄若虫体重显著高于取食黄粉虫胶囊人工饲料组(4龄： $df=2, 30, F=10.42, P<0.001$ ；5龄： $df=11, t=3.205, P=0.008$)，分别为12.3 mg和37.0 mg；取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组的雌、雄成虫体重分别为113.8 mg和84.7 mg(表3)。

2.1.4 对黄带犀猎蝽成虫寿命、繁殖力和卵孵化的影响

由于取食黄粉虫胶囊人工饲料组和混合胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽均未完成完整世代，因此仅统

计取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽的各项指标,其中雌虫比为77.8%,雌成虫寿命为43.1 d、雄

成虫寿命为26.0 d,产卵前期为31.3 d,单雌产卵量为117.3粒,卵期为24.5 d,卵孵化率为90.8%。

表2 不同胶囊人工饲料饲养下黄带犀猎蝽若虫的发育历期

Table 2 Nymphal developmental durations of *Sycanus bifidus* feeding on different capsule artificial diets

内容物 Inclusion	若虫发育历期 Development duration of nymph/d					若虫总历期 Nymphal duration
	1龄 1st-instar	2龄 2nd-instar	3龄 3rd-instar	4龄 4th-instar	5龄 5th-instar	
斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>	23.8±1.6 a	17.4±1.6 b	15.7±1.0 b	19.8±1.7	34.1±0.9	107.6±3.6
黄粉虫 <i>Tenebrio molitor</i>	21.2±1.1 a	19.9±1.0 b	21.0±1.3 a	23.0±1.5	/	/
混合 Mixture	18.0±1.9 a	30.7±7.1 a	18.0±0.0 ab	/	/	/

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Tukey 法检验差异显著($P<0.05$)。/表示未获得该阶段参数值。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Tukey test ($P<0.05$). / indicates the phase parameter value is not obtained.

表3 不同胶囊人工饲料饲养下黄带犀猎蝽在各发育阶段的体重

Table 3 Body weights in each stage of *Sycanus bifidus* feeding on different capsule artificial diets

内容物 Inclusion	若虫体重 Body weight of nymph/mg					成虫体重 Body weight of adult/mg	
	1龄 1st-instar	2龄 2nd-instar	3龄 3rd-instar	4龄 4th-instar	5龄 5th-instar	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>	0.6±0.0 a	1.7±0.1 a	4.1±0.2 a	12.3±0.8 a	37.0±1.5**	113.8±4.7	84.7±8.2
黄粉虫 <i>Tenebrio molitor</i>	0.6±0.0 a	1.8±0.1 a	3.5±0.1 a	9.3±0.3 b	28.1±2.4	/	/
混合 Mixture	0.6±0.0 a	1.9±0.1 a	3.6±0.1 a	11.1±0.0 ab	/	/	/

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Tukey 法检验差异显著($P<0.05$); **表示同列数据经 t 检验法检验差异极显著($P<0.01$)。/表示未获得该阶段参数值。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Tukey test ($P<0.05$); ** indicates significant difference by t test ($P<0.01$). / indicates the phase parameter value is not obtained.

2.2 饲喂人工饲料对黄带犀猎蝽捕食能影响

取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日平均捕食量均随猎物密度上升呈现先增加后降低的趋势,当猎物密度为20头/盒时捕食量最大,分别为5.800、8.800和11.000头;取食活虫饲料组黄带犀猎蝽3龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日平均捕食量随猎物密度上升而不断增加,当猎物密度为30头/盒时捕食量最大,为3.800头,黄带犀猎蝽4、5龄若虫的日平均捕食量随猎物密度上升呈现先增加后降低的趋势,当猎物密度为20头/盒时捕食量最大,分别为7.000头和9.200头;不同处理间黄带犀猎蝽的日平均捕食量均随着龄期的增加而增加(表4)。当猎物密度为15头/盒时,取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽4龄若虫的日平均捕食量显著大于取食活虫饲料组4龄若虫的($df=2, 177, F=0.002, P=0.998$);当猎物密度为5头/盒时,取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽5龄若虫的日平均捕食量极显著大于取食活虫饲料组5龄若虫的;其余取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫的日平均捕食量均大于取食活虫饲料组相应龄期若虫,但差异不显著(表4)。

2.3 饲喂人工饲料后黄带犀猎蝽的捕食功能反应

2.3.1 Holling II 功能反应模型拟合效果

取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组和活虫饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的瞬时攻击率、日均最大捕食量和控害效能均随着龄期的增大而增加,处理时间则随着龄期的增加而缩短,其中取食胶囊人工饲料组5龄若虫和取食活虫饲料组3龄若虫的Holling II 功能反应模型拟合效果最好,拟合度分别为78.24%和84.46%(表5、图1)。取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫的瞬时攻击率分别为1.045、1.241和1.471,日均最大捕食量分别为7.194、11.628和15.152头,控害效能分别为7.518、14.430和22.288;取食活虫饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫的瞬时攻击率分别为1.126、1.277和1.324,日均最大捕食量分别为4.237、7.092和12.346头,控害效能分别为4.771、9.057和16.346(表5)。取食胶囊人工饲料组的不同龄期黄带犀猎蝽的日均最大捕食量和控害效能均高于取食活虫饲料组。

2.3.2 Holling III 功能反应模型拟合效果

取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料组和活虫饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的日均最

大捕食量和最佳寻找密度均随龄期的增大而增加，其中取食人工饲料组5龄若虫和取食活虫饲料组3龄若虫的Holling III功能反应模型拟合效果最好，拟合度分别为78.28%和84.42%（表6、图2）。取食人工饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫的日均最大捕食量分别为6.580、10.327和13.204头，最佳寻找密度

分别为4.089、5.176和5.315头；取食活虫饲料组黄带犀猎蝽3~5龄若虫的日均最大捕食量分别为4.068、6.648和11.111头，最佳寻找密度分别为2.660、3.579和5.350头（表6）。取食人工饲料组的不同龄期黄带犀猎蝽的日均最大捕食量和最佳寻找密度均高于取食活虫饲料组。

表4 取食不同饲料的黄带犀猎蝽日平均捕食量

Table 4 Average daily predacious quantities of *Sycanus bifidus* under different feedings conditions

猎物密度/ (头/盒) Density of prey per box	3龄若虫日平均捕食量 Average daily predacious quantity of 3rd-instar nymph		4龄若虫日平均捕食量 Average daily predacious quantity of 4th-instar nymph		5龄若虫日平均捕食量 Average daily predacious quantity of 5th-instar nymph	
	人工饲料 Artificial diet		活虫饲料 Natural diet		人工饲料 Artificial diet	
5	3.000±0.316	2.400±0.245	3.800±0.200	3.400±0.245	4.800±0.200**	3.200±0.374
10	4.200±0.735	3.200±0.200	5.400±0.872	4.200±0.583	7.400±0.872	7.400±0.812
15	4.800±0.860	3.200±0.200	7.800±0.970*	4.800±0.583	8.800±0.970	7.400±1.166
20	5.800±1.393	3.600±0.400	8.800±1.356	7.000±0.548	11.000±1.095	9.200±1.594
30	5.600±1.435	3.800±0.374	8.000±0.316	5.200±1.200	10.800±1.655	8.600±0.748

表中数据为平均数±标准误。*和**分别表示人工饲料和活虫饲料饲养的黄带犀猎蝽日平均捕食量经t测验法检验差异显著($P<0.05$ 和 $P<0.01$)。Data in the table are mean±SE. * or ** indicates significant difference in average daily predacious quantity of *Sycanus bifidus* feeding on artificial and natural diets by t test ($P<0.05$ or $P<0.01$)。

表5 取食不同饲料的黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的Holling II型功能反应模型

Table 5 Holling III functional response models of *Sycanus bifidus* against the 3rd-instar larvae of *Spodoptera litura* under different feeding conditions

饲料种类 Type of feed	捕食者虫态 Stage of predator	功能反应方程 Functional response equation	瞬时攻击率 Instantaneous attacking rate (a)	处理时间 Handling time (T_h)/d	日均最大捕食量 Daily maximum con- sumption individual ($1/T_h$)	控害效能 Predation capacity (a/T_h)	拟合度 Degree of fitting/%
人工饲料 Artificial diet	3龄 3rd-instar	$N_a = 1.045N/(1+0.145N)$	1.045	0.139	7.194	7.518	51.48
	4龄 4th-instar	$N_a = 1.241N/(1+0.107N)$	1.241	0.086	11.628	14.430	75.68
	5龄 5th-instar	$N_a = 1.471N/(1+0.097N)$	1.471	0.066	15.152	22.288	78.24
活虫饲料 Natural diet	3龄 3rd-instar	$N_a = 1.126N/(1+0.266N)$	1.126	0.236	4.237	4.771	84.46
	4龄 4th-instar	$N_a = 1.277N/(1+0.180N)$	1.277	0.141	7.092	9.057	65.43
	5龄 5th-instar	$N_a = 1.324N/(1+0.107N)$	1.324	0.081	12.346	16.346	71.31

N_a 为天敌捕食量, N 为猎物密度。 N_a is the amount of predator predation, and N is the density of prey.

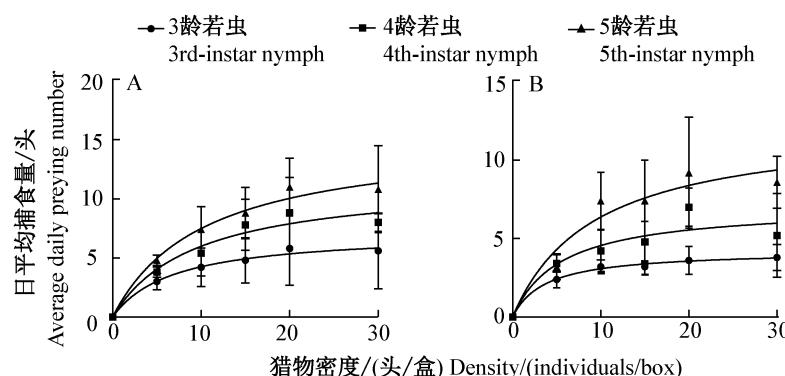


图1 取食人工饲料(A)和活虫饲料(B)的黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的Holling II捕食功能反应

Fig. 1 Holling II predatory functional responses of *Sycanus bifidus* against 3rd-instar larvae of *Spodoptera litura* under conditions of artificial (A) and natural (B) diets

表6 取食不同饲料的黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的 Holling III型功能反应模型

Table 6 Holling III functional response models of *Sycanus bifidus* against the 3rd-instar larvae of *Spodoptera litura* under different feeding conditions

饲料种类 Type of feed	捕食者虫态 Stage of predator	功能反应方程 Functional response equation	日均最大捕食量 Daily maximum consumption individual	最佳寻找密度 Optimal searching density	拟合度 Degree of fitting/%
人工饲料 Artificial diet	3龄若虫 3rd-instar nymph	$N_a = 6.580 \exp(-4.089/N)$	6.580	4.089	51.46
	4龄若虫 4th-instar nymph	$N_a = 10.327 \exp(-5.176/N)$	10.327	5.176	76.20
	5龄若虫 5th-instar nymph	$N_a = 13.204 \exp(-5.315/N)$	13.204	5.315	78.28
活虫饲料 Natural diet	3龄若虫 3rd-instar nymph	$N_a = 4.068 \exp(-2.660/N)$	4.068	2.660	84.42
	4龄若虫 4th-instar nymph	$N_a = 6.648 \exp(-3.579/N)$	6.648	3.579	65.45
	5龄若虫 5th-instar nymph	$N_a = 11.111 \exp(-5.350/N)$	11.111	5.350	72.81

N_a 为天敌捕食量, N 为猎物密度。 N_a is the amount of predator predation, and N is the density of prey.

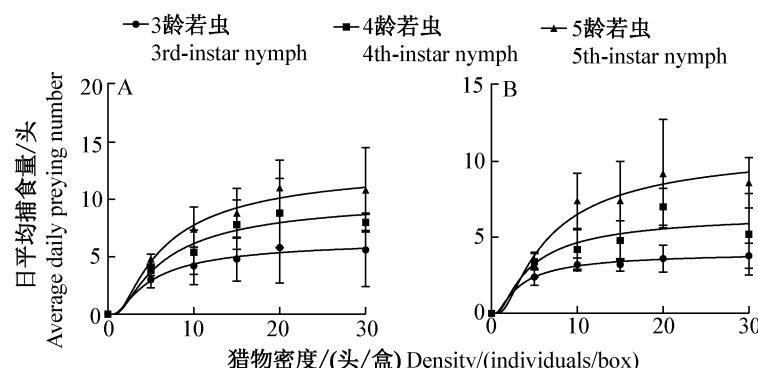


图2 取食人工饲料(A)和活虫饲料(B)的黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的 Holling III 捕食功能反应

Fig. 2 Holling III predatory functional responses of *Sycanus bifidus* against 3rd-instar larvae of *Spodoptera litura* under conditions of artificial (A) and natural (B) diets

2.4 饲喂人工饲料后黄带犀猎蝽的搜寻效应

取食不同饲料的不同龄期黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的搜寻效应与猎物密度均呈负相关关系(图3)。取食人工饲料组中,当斜纹夜蛾幼虫密度为5、10、15、20和30头/盒时,黄带犀猎蝽3龄若虫的搜寻效应分别为0.605、0.426、0.329、0.268和0.195,4龄若虫的搜寻效应分别为0.809、0.600、0.477、0.396和0.295,5龄若虫的搜寻效应分别为0.990、0.746、0.599、0.500和0.376;黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的搜寻效应能达到0.5以上最大的密度分别为7.504、13.886和20.003头/盒;当斜纹夜蛾幼虫密度为30头/盒时,不同虫态黄带犀猎蝽的搜寻效应从大到小依次为5龄若虫、4龄若虫和3龄若虫,其中5龄若虫的搜寻效应随猎物密度增加下降趋势最大,3龄若虫下降趋势最小(图3-A)。取食活虫饲料组中,当斜纹夜蛾幼虫密度为5、10、15、20和30头/盒时,黄带犀猎蝽3龄若虫的搜寻效应分别为0.484、0.308、0.226、0.178和0.126,4龄若虫的搜寻效应分别为0.672、0.456、0.345、0.278和0.199,5龄若虫的搜寻效应分别为0.862、0.639、0.508、0.421和0.314;黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾

3龄幼虫的搜寻效应能到达0.5以上的最大密度分别为4.711、8.631和15.367头/盒;当斜纹夜蛾幼虫密度为30头/盒时,不同虫态黄带犀猎蝽的搜寻效应从大到小依次为5龄若虫、4龄若虫和3龄若虫,其中4龄若虫的搜寻效应随猎物密度增加下降趋势最大,3龄若虫下降趋势最小(图3-B)。

3 讨论

捕食性蝽类天敌的规模化扩繁大多使用天然猎物,早期主要利用地中海粉斑螟 *Ephestia kuehniella*、印度谷螟 *Plodia interpunctella* 和麦蛾 *Sitotroga cerealella* 等鳞翅目昆虫的卵或幼虫替代自然寄主来满足天敌人工扩繁的营养需求(Riddick, 2009)。随着市场需求的增加,柞蚕 *Antheraea pernyi*、家蝇 *Musca domestica* 和黄粉虫等也开始被用于捕食性蝽类天敌的规模化扩繁,但是活虫饲料要求维持三级营养链,所以增加了饲养成本,使生物防治成本增加(邹卫辉, 2004; 刘丰姣和曾凡荣, 2013)。将活虫饲料胶囊化,可提高饲料的利用率,降低成本,还可避免捕食性天敌与饲料的直接接触,在一定程度上可阻碍细菌或真菌侵染,且便于存储和运输,还适宜批

量生产,但需要对其进行效果评价,即是否能满足捕食性蝽类生长发育的营养需要以及是否会影响捕食

性蝽类对靶标害虫的控制能力。

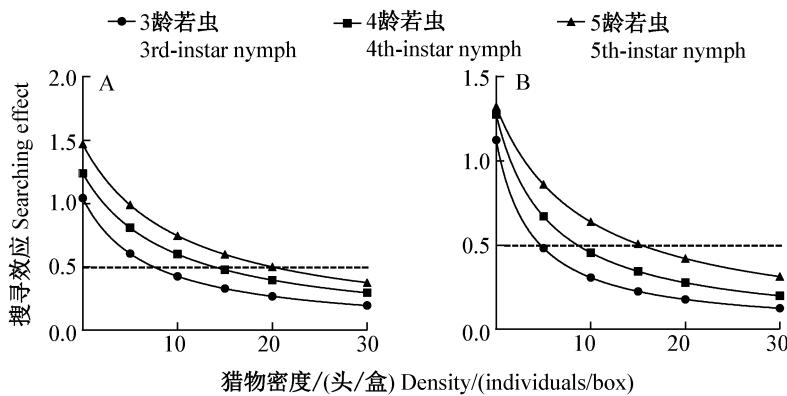


图3 取食人工饲料(A)和活虫饲料(B)的黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾3龄幼虫的搜寻效应

Fig. 3 Searching effects of *Sycanus bifidus* against 3rd-instar larvae of *Spodoptera litura* under conditions of artificial (A) and natural (B) diets

本研究首次在捕食性猎蝽中开展胶囊人工饲料饲养,结果表明,黄带犀猎蝽取食以斜纹夜蛾匀浆液为内容物的胶囊人工饲料可以完成世代发育,但取食以黄粉虫匀浆液或二者混合匀浆液为内容物的胶囊人工饲料未能完成世代发育,且不同胶囊人工饲料种类对其生长发育和繁殖等有显著影响。取食斜纹夜蛾匀浆液组黄带犀猎蝽的成虫获得率为15.0%,远低于用斜纹夜蛾活虫饲喂的成虫获得率69.9% (陈苏怡等,2022),主要原因在于1龄若虫死亡率较高,可能是1龄若虫口器较弱且食量较小,而胶囊膜较厚且斜纹夜蛾匀浆液水分含量偏高,导致其取食困难且无法满足生长发育所需营养,可考虑低龄若虫直接用活虫饲喂,高龄期采用胶囊人工饲料饲喂。取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽若虫总历期约107.6 d,成虫产卵前期约31.3 d,卵期约24.5 d,较取食斜纹夜蛾活虫饲料组表现出发育历期延长的特征,与柞蚕蛹及其胶囊饲料对蠋蝽发育的影响相似(戴文昊,2019;陈苏怡等,2022)。此外,取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽雌、雄成虫体重分别约113.8 mg和84.7 mg,单雌产卵量约117.3粒,相较于取食活虫饲料组,取食人工饲料后表现出体型偏小、体重减轻和产卵力下降等品质下降的特征(Saastamoinen et al., 2013; Xie et al., 2015; Jaumann & Snell-Rood, 2019)。但其雌虫比较大(77.8%),寿命较长(雌成虫寿命约43.1 d,雄成虫寿命约26.0 d)且卵孵化率高(90.8%),表明人工饲料对卵活性和成虫寿命的影响也较小(Arijs & De Clercq, 2004;陈苏怡等,2022),当食物营养匮乏时,天敌生殖活动减弱,营养将优先供应生命代谢活动(Vivan et al., 2003)。

规模化饲养的天敌缺乏评价标准是阻碍其生物防治大规模应用的重要因素。人工饲养捕食性蝽类的最终目的是用于大田害虫的生物防治,因此捕食性蝽类对靶标害虫的控制能力是人工饲养效果评价的最终标准(Cohen, 2000; 刘丰姣和曾凡荣, 2013)。通过比较取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料和活虫饲料的黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食量发现,取食人工饲料组黄带犀猎蝽日平均捕食量均大于取食活虫饲料组,且日平均捕食量均随猎物密度的上升呈现先增加后降低的趋势;而且在2种饲养条件下黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾3龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II型和 Holling III型功能反应模型,这与东亚小花蝽 *Orisus sauteri* 对美洲棘蓟马 *Echinothrips americanus* 的捕食功能反应结果相似(朱亮等,2015)。不同饲养条件下黄带犀猎蝽的捕食结果基本相似,且取食人工饲料组黄带犀猎蝽的日平均捕食量更大,表明斜纹夜蛾胶囊人工饲料与活虫饲料饲养的黄带犀猎蝽对斜纹夜蛾的捕食作用无明显差异,分析其原因可能是在同等的取食能力下,人工饲料饲养的天敌接触新的食物类型时激发了其潜在的捕食潜能(宫靖垚, 2018)。取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽3~5龄若虫对猎物的日均最大捕食量均高于取食活虫饲料组,说明取食斜纹夜蛾胶囊人工饲料的黄带犀猎蝽对猎物的控害效果强于取食活虫饲料组,这与戴文昊(2019)使用柞蚕蛹胶囊人工饲料饲养蠋蝽并评估其捕食枸杞棉蚜的结果相似,表明使用人工饲料短期驯化的黄带犀猎蝽对害虫仍有较好的控制作用,对猎物识别能力无显著影响。搜寻效应是捕食者在捕食过程中对猎物攻击的一种行为效应,捕

食者对猎物密度大小的控制作用与搜寻效应存在一定关系(丁岩钦, 1994)。本研究结果表明, 取食不同饲料的黄带犀猎蝽3~5龄若虫对斜纹夜蛾的搜寻效应均随猎物密度的增加而减少, 与大草蛉 *Chrysopa pallens* 幼虫捕食烟粉虱 *Bemisia tabaci* 卵、叉角厉蝽成虫捕食斜纹夜蛾幼虫、蠋蝽若虫和成虫捕食枸杞棉蚜的研究结果相似(陈然等, 2015; 王然等, 2016; 戴文昊等, 2021), 其中3龄幼虫搜寻效应受猎物密度的影响最小, 使用斜纹夜蛾胶囊人工饲料饲养黄带犀猎蝽对猎物的搜寻效应无显著影响。

本研究通过使用斜纹夜蛾胶囊人工饲料饲养黄带犀猎蝽, 并比较该人工饲料和活虫饲料饲养的黄带犀猎蝽对靶标害虫的控害情况, 表明使用斜纹夜蛾胶囊人工饲料饲养黄带犀猎蝽可以完成世代发育, 且不同内容物的胶囊人工饲料种类对其生存、生长发育和繁殖能力的影响有一定差异, 斜纹夜蛾胶囊人工饲料饲养的黄带犀猎蝽对猎物仍具有较强的防控能力, 且在捕食量、控害效能和搜寻效应方面优于活虫饲料饲养的。在实际应用中, 鉴于节约成本和规模化饲养的考虑, 人工饲料较活虫饲料在开发捕食性天敌黄带犀猎蝽的过程中更有优势, 且可为其他猎蝽科天敌的规模化扩繁提供参考, 但仍需在以下方面进一步研究和改进: 一是在最优活虫匀浆液的基础上, 筛选合适的人工饲料添加剂, 优化胶囊饲料内容物配方, 以满足黄带犀猎蝽生长发育和繁殖的营养需求, 提高存活率和繁殖力以及控害能力, 降低规模化扩繁成本; 二是进一步优化包装膜材, 阻碍细菌和真菌感染, 且能够满足各龄期黄带犀猎蝽的取食; 三是完善人工饲料饲养效果评价标准, 目前多基于生物学指标进行效果评价, 费时费力, 通过探索生物学指标和生理生化指标之间的关系, 以达到简化评价程序、节约成本的目的。

参 考 文 献 (References)

- Ahmad SN, Kamarudin N. 2016. Growth and longevity of the insect predator, *Sycanus dichotomus* Stål. (Hemiptera: Reduviidae) fed on live insect larvae. *Journal of Oil Palm Research*, 28(4): 471–478
- Alomar O, Riudavets J, Castañe C. 2006. *Macrolophus caliginosus* in the biological control of *Bemisia tabaci* on greenhouse melons. *Biological Control*, 36(2): 154–162
- Arijs Y, De Clercq P. 2004. Liver-based artificial diets for the production of *Orius laevigatus*. *BioControl*, 49(5): 505–516
- Chen R, Liang GW, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD. 2015. The functional response of *Caetheconidea 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, 洗继东. 2015. 叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食能功能反应. *环境昆虫学报*, 37(2): 401–406]
- Chen SY, Li YQ, Shi AX, Zha SY, Cai WZ, Wang MQ, Li H. 2022. Effects of prey species on growth, development and reproduction of *Sycanus croceovittatus*. *Plant Protection*, 48(5): 68–74 (in Chinese) [陈苏怡, 李永青, 石安宪, 查世钰, 彩万志, 王孟卿, 李虎. 2022. 取食不同猎物对黄带犀猎蝽生长发育和繁殖的影响. *植物保护*, 48(5): 68–74]
- Chen SY, Yang YJ, Shi AM, Sun JJ, Li H, Shi AX, Cai WZ. 2023. Predatory functional responses of assassin bug *Sycanus croceovittatus* to the third-instar larvae of oriental armyworm *Mythimna separata*. *Journal of Plant Protection*, 50(1): 111–118 (in Chinese) [陈苏怡, 杨毅娟, 史爱民, 孙婧婧, 李虎, 石安宪, 彩万志. 2023. 黄带犀猎蝽对黏虫3龄幼虫的捕食能功能反应. *植物保护学报*, 50(1): 111–118]
- Chyzik R, Ucko O. 2002. Seasonal abundance of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in the Arava Valley of Israel. *Phytoparasitica*, 30(4): 335–346
- Cohen AC. 2000. Feeding fitness and quality of domesticated and feral predators: effects of long-term rearing on artificial diet. *Biological Control*, 17(1): 50–54
- Coudron TA, Ellersieck MR, Shelby KS. 2007. Influence of diet on long-term cold storage of the predator *Podisus maculiventris* (Say) (Heteroptera: Pentatomidae). *Biological Control*, 42(2): 186–195
- Dai WH. 2019. Study on the predation function of *Arma chinensis* on *Aphis gossypii* and its artificial diet improvement. Master thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University (in Chinese) [戴文昊. 2019. 蠼蝽对枸杞棉蚜的捕食能功能及其人工饲料的改进研究. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学]
- Dai WH, Zhang ZL, Jiang X, Li KZ, Duan LQ. 2021. Effects of *Antherea pernyi* capsule diet on predational function of *Aram chinensis* to *Aphis gossypii*. *Forest Pest and Disease*, 40(2): 1–6 (in Chinese) [戴文昊, 张志林, 姜雄, 李可琢, 段立清. 2021. 柞蚕蛹胶囊饲养蠋蝽对其捕食枸杞棉蚜功能的影响. *中国森林病虫*, 40(2): 1–6]
- 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能功能反应. *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]
- Gong JY. 2018. The artificial diet for *Eocanthecona furcellata* (Wolff) and its predatory efficiency. Master thesis. Guangzhou: South China Agricultural University (in Chinese) [宫靖垚. 2018. 叉角厉蝽人工饲料研制及其捕食能功能评价. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学]
- Gong JY, Chen KW, Wen J, Liu J, Zhu YJ. 2019. Predatory capacity of *Eocanthecona furcellata* (Wolff) reared with artificial diets. *Journal of Environmental Entomology*, 41(3): 471–478 (in Chinese) [宫靖垚, 陈科伟, 温健, 刘杰, 朱永基. 2019. 人工饲料饲养的叉角厉蝽对昆虫的捕食能功能评价. *环境昆虫学报*, 41(3): 471–478]

- 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) [侯峻峰, 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, 4(1): 57–64]
- Jaumann S, Snell-Rood EC. 2019. Adult nutritional stress decreases oviposition choosiness and fecundity in female butterflies. *Behavioral Ecology*, 30(3): 852–863
- Li MC, Wen XJ, Gao BJ, Niu JS, Liu MG, Guo XJ. 2009. Study on indoor rearing technology of *Sphedanoletes impressicollis*. *Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, (2): 5–6 (in Chinese) [李梦钗, 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]
- Liu FJ, Zeng FR. 2013. Advances in artificial diet for rearing of predatory bugs. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(2): 294–300 (in Chinese) [刘丰姣, 曾凡荣. 2013. 捕食性蝽类昆虫人工饲料研究进展. 中国生物防治学报, 29(2): 294–300]
- Ma FM, Wu WJ. 2005. A summary of the research on artificial diet for rearing of predatory bugs. *China Plant Protection*, 25(4): 12–14 (in Chinese) [马凤梅, 吴伟坚. 2005. 捕食性蝽类人工饲养研究概述. 中国植保导刊, 25(4): 12–14]
- Riddick EW. 2009. Benefits and limitations of factitious prey and artificial diets on life parameters of predatory beetles, bugs, and lacewings: a mini-review. *BioControl*, 54(3): 325–339
- Saastamoinen M, Hirai N, van Nouhuys S. 2013. Direct and transgenerational responses to food deprivation during development in the Glanville fritillary butterfly. *Oecologia*, 171(1): 93–104
- Schuh RT, Weirauch C. 2020. True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): classification and natural history. 2nd edition. Manchester: Siri Scientific Press, pp. 339–359
- 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]
- Vivan LM, Torres JB, Veiga AFSL. 2003. Development and reproduction of a predatory stinkbug, *Podisus nigrispinus* in relation to two different prey types and environmental conditions. *BioControl*, 48(2): 155–168
- 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能力反应与搜寻效应. 植物保护学报, 43(1): 149–154]
- 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]
- 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]
- Xie JQ, De Clercq P, Pan C, Li HS, Zhang YH, Pang H. 2015. Larval nutrition-induced plasticity affects reproduction and gene expression of the ladybeetle, *Cryptolaemus montrouzieri*. *BMC Evolutionary Biology*, 15(1): 276
- Xu XN, Wang ED. 2007. Statue and analysis of overseas natural enemies merchandise. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(4): 373–382 (in Chinese) [徐学农, 王恩东. 2007. 国外昆虫天敌商品化现状及分析. 中国生物防治, 23(4): 373–382]
- Zhang SC, Zhou XM, Pan Y, Lei CL. 2008. Evaluation of an artificial liquid diet of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(9): 997–1001 (in Chinese) [张士昶, 周兴苗, 潘悦, 雷朝亮. 2008. 南方小花蝽液体人工饲料的饲养效果评价. 昆虫学报, 51(9): 997–1001]
- 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(异翅目: 猎蝽科). 博士学位论文. 北京: 中国农业大学]
- Zhou Z. 2012. A preliminary study on artificial diet for *Geocoris palidipennis* (Costa) (Heteroptera: Lygaeidae). Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [周正. 2012. 大眼长蝽人工饲料的初步研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- 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薊马的影响. 植物保护学报, 42(2): 229–236]
- Zou WH. 2004. The laboratory rearing and predatory capacity of the predatory bug, *O. sauteri* (Poppius) (Heteroptera: Anthocoridae). Master thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University (in Chinese) [邹卫辉. 2004. 东亚小花蝽人工饲养技术及捕食作用的研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学]

(责任编辑:李美娟)