

不同龄期益蝽对粘虫各龄期幼虫的捕食功能

田旭^{1,2}, 金杰¹, 王富洋¹, 史彩华³, 李家前⁴, 孙智荣^{4*}, 李文红^{2*}

(1. 长江大学农学院, 湖北荆州 434025; 2. 贵州省农业科学院植物保护研究所, 贵阳 550006; 3. 湖北文理学院, 湖北襄阳 441053; 4. 贵州省黔西南州烟草公司, 贵州兴义 562400)

摘要: 为评估益蝽对粘虫不同龄期幼虫的捕食潜能, 本研究在室内条件下测定了益蝽若虫对粘虫幼虫的捕食功能。将益蝽按龄期进行 24 h 饥饿处理, 以 1 头/罐置于塑料罐中, 分别投喂不同数量和不同龄期的粘虫, 统计不同龄期益蝽捕食粘虫的数量, 使用圆盘方程拟合益蝽对粘虫的捕食功能曲线。益蝽若虫对粘虫具有较好的捕食能力, 其 3 龄、4 龄、5 龄若虫对粘虫 3 龄、4 龄、5 龄幼虫均能捕食, 捕食功能反应均符合 Holling II 圆盘方程。3 龄若虫对粘虫 3 龄、4 龄、5 龄幼虫的日最大捕食量分别为 24.50 头、29.90 头、4.50 头; 瞬时攻击率分别为 0.306、0.200、1.042; 处理时间分别为 0.041 h、0.033 h、0.224 h。4 龄若虫对粘虫 3 龄、4 龄、5 龄幼虫的日最大捕食量分别为 33.47 头、15.60 头、17.60 头; 瞬时攻击率分别为 0.367、0.466、0.281; 处理时间分别为 0.030 h、0.064 h、0.057 h。5 龄若虫对粘虫 3 龄、4 龄、5 龄幼虫的日最大捕食量分别为 27.80 头、17.20 头、8.50 头; 瞬时攻击率分别为 0.557、0.327、0.286; 处理时间分别为 0.036 h、0.058 h、0.117 h。结果表明益蝽对 3~4 龄粘虫有较好的控害潜能, 对 3 龄幼虫的捕食量最大, 对 5 龄幼虫的瞬时攻击率最高。

关键词: 益蝽; 粘虫; 捕食功能

Predatory functional response of different stages of *Picromerus lewisi* scott to different instars of *Mythimna seperata* walker

TIAN Xu^{1,2}, JIN Jie¹, WANG Fu-Yang¹, SHI Cai-Hua³, LI Jia-Qian⁴, SUN Zhi-Rong^{4*}, LI Wen-Hong^{2*} (1. College of Agriculture, Yangtze University, Jinzhou 434025, Hubei Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China; 3. Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei Province, China; 4. Guizhou Qianxinan Prefectural Tobacco Company, Xingyi 562400, Guizhou Province, China)

Abstract: To evaluate the predation potential of *Picromerus lewisi* against different instar larvae of *Mythimna seperata*, this study measured the predation function of *P. lewisi* nymph against *M. seperata* larvae under laboratory conditions. The tested *P. lewisi* were subjected to 24 h starvation previously. All tested *P. lewisi* were reared singly in a plastic jar fed with different numbers and stages of *M. seperata*. The number of *P. lewisi* preying on *M. seperata* at different stages was recorded, and the disc equation was used to fit the predatory function curve of *P. lewisi* against *M. seperata*. *P. lewisi* nymph had good predatory capability on *M. seperata*, and 3rd, 4th, and 5th nymphs could prey on the 3rd, 4th, and 5th larvae of *M. seperata*. The predatory function response fitted well to the Holling II disc equation. The theoretical maximum daily predation amounts of *P. lewisi* 3rd nymphs on *M. seperata* 3rd, 4th, and 5th larvae were 24.50, 29.90, and 4.50 preys, respectively, with attacking efficiency 0.306, 0.200, and 1.042 respectively, and prey handling time 0.041, 0.033, and 0.224 h, respectively. The theoretical daily maximum predation amounts of 4th nymphs on the 3rd, 4th, and 5th larvae of *M. seperata* was 33.47, 15.60, and 17.60 preys, respectively; with attacking efficiency 0.367, 0.466, and 0.281, respectively. The processing time was 0.030, 0.064, and 0.057 h, respectively. The theoretical daily maximum predation amounts of 5th nymphs on 3rd, 4th, and 5th larvae of *M. seperata* were

基金项目: 贵州省科技基金重点 (黔科合基础-ZK[2023]重点 023); 贵州省烟草公司黔西南州公司科技项目(202208)

作者简介: 田旭, 女, 1999 年生, 硕士研究生, 从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: xiaomangdexin@126.com

*通讯作者 Author for correspondence: 李文红, 女, 博士, 副研究员, 从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: liwh2015@126.com; 孙智荣,

男, 农艺师, 从事天敌繁育与应用研究, E-mail: szr6210734@126.com

收稿日期 Received: 2023-10-25; 接受日期 Accepted: 2024-03-06

27.80, 17.20, and 8.50, respectively, with attacking efficiency 0.557, 0.327, and 0.286 preys, respectively, with prey handling time 0.036, 0.058, and 0.117 h, respectively. The results showed that *P. lewisi* had good control potential against the 3rd and 4th *M. seperata*, with the highest predation rate on the 3rd larvae and the highest instantaneous attack rate on the 5th larvae.

Key words: *Picromerus lewisi*; *Mythimna seperata*; Predation function

粘虫 *Mythimna seperata* (Walker) 是一种典型远距离迁飞世界性害虫, 又称行军虫, 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 在我国除新疆外均有分布, 严重时暴发成灾 (李云瑞, 2006; 陈金安, 2014; 江幸福等, 2014), 造成减产甚至绝收 (段云等, 2022; 冯磊等, 2022), 严重威胁对我国粮食产业发展。化学农药仍是当前防控粘虫的主要手段, 已导致粘虫对氯氟氰菊酯、氯虫苯甲酰胺等多种杀虫剂产生抗药性 (李光博, 1993; 江幸福等, 2014; 廖贤斌等, 2020)。粘虫天敌种类众多, 高达 150 余种, 包括有鸟类、寄生蜂、蛙类、蜻类、线虫、蜘蛛等。黄葵等 (1990) 采用花盆罩笼法测定了青翅蚁形隐翅虫 *Paederus fuscipes* (Curtis)、侧纹褐蟹蛛 *Xysticus lateralis atrimaculatus* 和三突花蛛 *Misumenops tricuspidatus* 等天敌平均单头取食粘虫取食 3 龄幼虫依次为 1.67、2.83、2.17 和 0.83 头, 对 4 龄以后的幼虫几乎不捕食; 梁宏斌等 (2000) 汇总了中国捕食粘虫的 38 种步甲 *Carabidae*。利用天敌进行生物防控是害虫绿色防控的重要举措, 捕食性蜻是一类重要的害虫天敌, 具有较好的控害潜能, 对鳞翅目害虫有较好的防控作用 (Shapiro and Legaspi, 2006; Malaquias *et al.*, 2014; Medal *et al.*, 2017)。目前, 国内外已有诸多关于捕食性蜻防控害虫的研究报道。美国利用斑腹刺益蜻 *Podisus maculiventris* (Say) (Zou *et al.*, 2013) 和佛州优捕蜻 *Euthyrhynchus floridanus* L. (Zou *et al.*, 2015) 防控斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和大豆夜蛾 *Ilattia octo*。巴西利用黑刺益蜻 *Podisus nigrispinus* (唐艺婷等, 2019) 防控草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*。我国学者廖贤斌等 (2020) 报道了叉角厉蜻 *Cantheconidae furcellata* (walff) 成虫对 3 龄、4 龄和 5 龄粘虫幼虫的捕食功能反应, 表明叉角厉蜻成虫对 3 龄粘虫幼虫具有较好的捕食潜力; 杨浩岚等 (2023) 在室内条件下测定东亚小花蜻 *Orius sauteri* 5 龄若虫、雄成虫和雌成虫对粘虫 1 龄幼虫的捕食能力, 结果表明东亚小花蜻雌成虫对东方黏虫 *Mythimna separata* 1 龄幼虫的捕食能力最强; 众多学者开展了蠊蜻 *Arma custos* 捕食粘虫的相关研究 (李娇娇, 2016; 郭义, 2017; 张海平, 2017)。

益蜻 *Picromerus lewisi* (Scott) 属半翅目 Hemiptera 蜻科 Pentatomidae 益蜻亚科 Asopinae 昆虫, 是我国常见的一种捕食性天敌昆虫, 在俄罗斯、朝鲜和日本等地均有分布 (郑乐怡等, 1999; 赵清, 2013)。已有研究发现, 益蜻能捕食斜纹夜蛾、草地贪夜蛾、小菜蛾 *Plutella xylostella* 和烟青虫 *Helicoverpa assulta* 等多种重要农业害虫 (邹德玉等, 2016; 王燕等, 2019; 唐艺婷, 2020)。目前益蜻已在国内多个省份和地区进行了规模化人工繁育和应用, 并应用在烟草上防控斜纹夜蛾和烟青虫。现已有关于蠊蜻 (李娇娇等, 2016; 潘明真等, 2018; 杨灿等, 2021; 孟建玉等, 2022)、南方小花蜻 *Orius similis* (胡昌雄等, 2022)、环斑猛猎蜻 *Sphedanolestes impressicollis* (胡宗伟等, 2022)、大红犀猎蜻 *Sycanus falleni* (侯峥嵘等, 2020)、红彩真猎蜻 *Harpactor fuscipes* (邓海滨等, 2015) 等捕食性蜻对粘虫、斜纹夜蛾、番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 和茶尺蠖 *Ectropis obliqua hypulina* 等害虫的捕食功能研究, 也有关于益蜻的调查和其对斜纹夜蛾的捕食能力的研究 (陆民锋等, 2020; 杨青青等, 2022)。唐艺婷等报道了 3 龄、4 龄、5 龄益蜻若虫和成虫对 3 龄粘虫进行捕食功能反应 (唐艺婷等, 2018)。申修贤等研究了益蜻 5 龄若虫对不同龄期粘虫的捕食作用 (申修贤等, 2022)。粘虫共有 6 个龄期, 1、2 龄幼虫潜入植物心叶取食叶肉形成小孔, 3 龄后由叶边缘咬食形成缺刻, 大约 4 龄开始进入暴食期, 田间危害主要集中在 3~5 龄。而且, 利用益蜻防控鳞翅目害虫, 主要以 3~5 龄益蜻若虫进行释放。因此, 本研究开展了不同龄期益蜻若虫对粘虫各龄期幼虫的捕食功能研究, 以期益蜻的科学释放和田间防控粘虫提供科学依据。

1 材料与方

1.1 供试虫源

试验所需益蝽和粘虫均由贵州省黔西南州烟草公司兴仁市雨樟天敌繁育基地提供，带回贵州省植物保护研究所昆虫实验室进行饲养。室内采用人工饲料饲养粘虫，饲料主要配方：琼脂 31.2 g、草粉 200 g、麦麸 200 g、啤酒酵母 50 g、葡萄糖 25 g、山梨酸钾 5 g、尼泊金甲酯 6.2 g、抗坏血酸 15 g、水 1 875 mL。采用粘虫饲喂益蝽。环境条件为：温度 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\text{RH } 75\%\pm 5\%$ ，光周期 16 L: 8 D

1.2 试验方法

1.2.1 益蝽若虫对粘虫幼虫的捕食能力研究

采用塑料罐（ $d\times h=10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ ）进行益蝽若虫对粘虫幼虫的捕食功能研究。将 3~5 龄益蝽分别放入以纱网覆盖的塑料罐内，试验前饥饿 24 h，每罐 1 头益蝽，在纱网上放置一块浸湿的 4 cm^2 大小的脱脂棉，为益蝽提供水分。将饥饿处理后不同龄期的益蝽分别和粘虫 3、4、5 龄幼虫均放入塑料罐中进行捕食功能测定。根据其取食量和预实验结果，针对 3 龄益蝽，3、4、5 龄粘虫的投喂密度分别为 3、6、9、12、15 头/罐；针对 4 龄益蝽，3、4、5 龄粘虫的投喂密度分别为 3、6、9、12、15 头/罐；5 龄益蝽，捕食 3 龄粘虫的密度为 5、10、15、20、30 头/罐，捕食 4、5 龄粘虫的密度均为 3、6、9、12、15 头/罐，各处理均分别重复 10 次。24 h 后检查并统计粘虫被捕食数量。试验期间在塑料罐内放入一片玉米叶以防止猎物自残。试验环境条件为温度 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\text{RH } 75\%\pm 5\%$ ，光周期 16 L: 8 D。

1.2.2 益蝽若虫对粘虫幼虫的捕食行为观察

在测定益蝽若虫对粘虫幼虫捕食能力的同时，观察记载益蝽捕食粘虫幼虫的行为特征。

1.3 数据统计与分析

所有数据采用 Excel 2021 和 WPS 2019 软件处理。使用 Excel 2021 和 Graphpad Prism 8.0.2 对数据进行拟合与作图。利用 HollingII 反应模型进行拟合，圆盘方程为 $N_a = aNTr / (1 + aThN)$ ，其中 N_a 为捕食粘虫的数量， a 为益蝽对粘虫的瞬时攻击率， N 为粘虫不同龄期幼虫的密度， Tr 是实验的总时间为 1 d， Th 为益蝽捕食 1 头粘虫所需时间。

2 结果与分析

2.1 益蝽若虫对粘虫幼虫的捕食能力

益蝽若虫对粘虫具有较好的捕食能力，益蝽 3、4、5 龄若虫对粘虫 3、4、5 龄幼虫均能捕食，其捕食功能反应均符合 HollingII 圆盘方程（图 1、图 2、图 3）。3 龄益蝽若虫对粘虫 3、4、5 龄幼虫的日最大捕食量分别为 24.50、29.90、4.50 头；瞬时攻击率分别为 0.306、0.200、1.042；处理时间分别为 0.041、0.033、0.224 h。4 龄益蝽若虫对粘虫 3、4、5 龄幼虫的日最大捕食量分别为 33.47、15.60、17.60 头；瞬时攻击率分别为 0.367、0.466、0.281；处理时间分别为 0.030、0.064、0.057 h。5 龄益蝽若虫对粘虫 3、4、5 龄幼虫的日最大捕食量分别为 27.80、17.20、8.50 头；瞬时攻击率分别为 0.557、0.327、0.286；处理时间分别为 0.036、0.058、0.117 h（表 1）。

表 1 益蝽若虫对粘虫不同龄期幼虫的捕食功能反应

Table 1 Predatory functional responses of *Picromerus lewisi* nymph on *Mythimna seperata* larvae

益蝽 <i>P. lewisi</i>	粘虫 <i>M. seperata</i>	圆盘方程 Predatory functional response equation	R^2	瞬时攻击率 Attacking efficiency	处理时间 (T_h) Prey handling time	日最大捕食量 ($1/T_h$) Daily maximum predation amounts
3 龄 3 rd nymph	3 龄 3 rd nymph	$N_a=0.3063N / (1+0.0125N)$	0.883	0.306	0.041	24.50
	4 龄 4 th nymph	$N_a=0.2000N / (1+0.0067N)$	0.204	0.200	0.033	29.90
	5 龄 5 th nymph	$N_a=1.0419N / (1+0.2337N)$	0.546	1.042	0.224	4.50

4 龄 4 th nymph	3 龄 3 rd nymph	$Na=0.3668N/(1+0.0110N)$	0.120	0.367	0.030	33.47
	4 龄 4 th nymph	$Na=0.4663N/(1+0.0298N)$	0.960	0.466	0.064	15.60
	5 龄 5 th nymph	$Na=0.2805N/(1+0.0159N)$	0.230	0.281	0.057	17.60
5 龄 5 th nymph	3 龄 3 rd nymph	$Na=0.5567N/(1+0.0200N)$	0.908	0.557	0.036	27.80
	4 龄 4 th nymph	$Na=0.3270N/(1+0.0190N)$	0.803	0.327	0.058	17.20
	5 龄 5 th nymph	$Na=0.2861N/(1+0.3360N)$	0.938	0.286	0.117	8.50

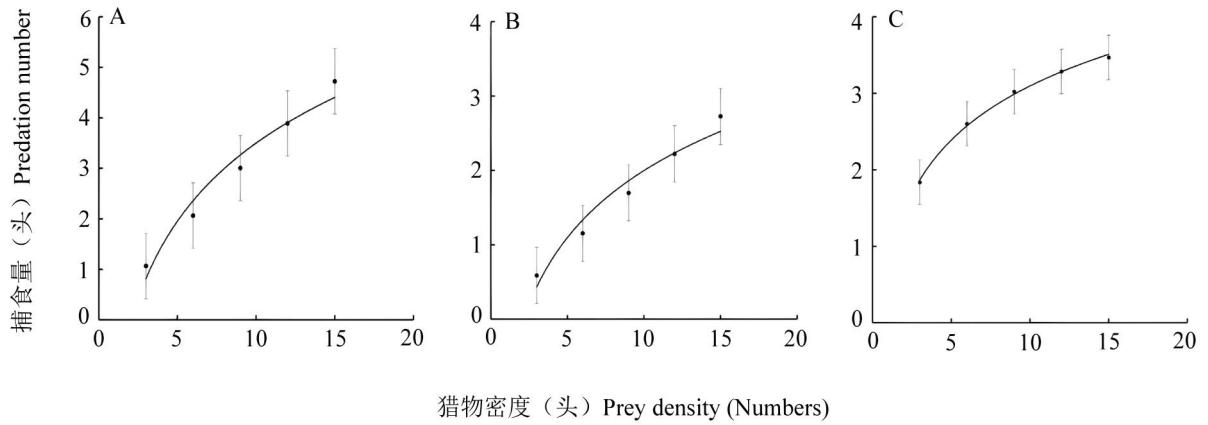


图 1 益蝽 3 龄若虫对不同龄期粘虫的捕食功能反应

Fig. 1 Predatory functional responses of 3rd nymph of *Picromerus lewisi* on *Mythimna seperata* larvae

注: A, 3 龄; B, 4 龄; C, 5 龄。下同。Note: A, 3rd larvae; B, 4th larvae; C, 5th larvae. The same below.

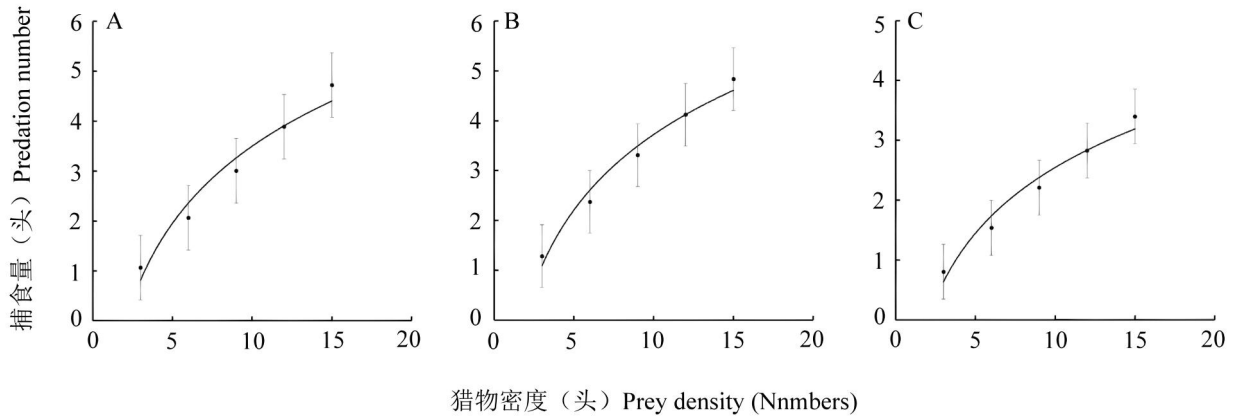


图 2 益蝽 4 龄若虫对不同龄期粘虫的捕食功能反应

Fig. 2 Predatory functional responses of 4th nymph of *Picromerus lewisi* on *Mythimna seperata* larvae

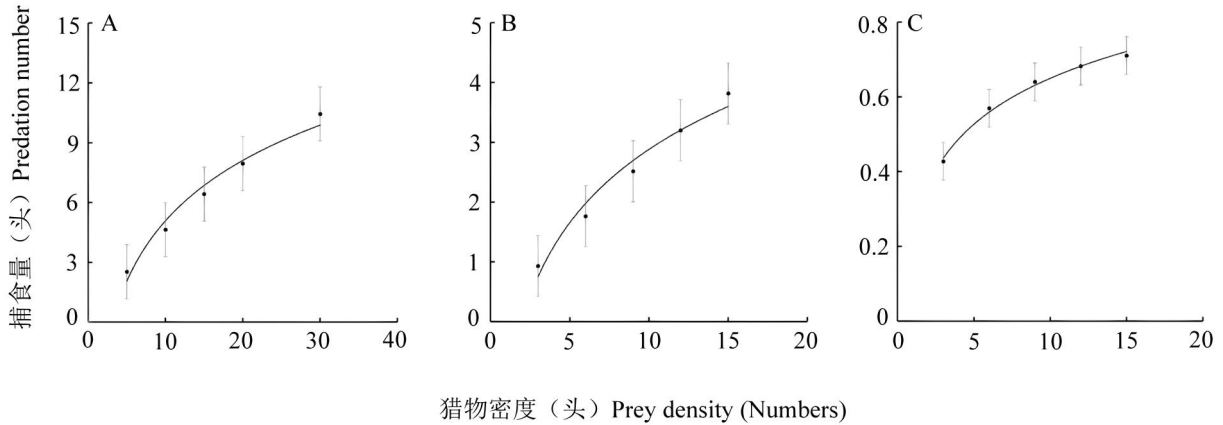


图3 益蝽5龄若虫对不同龄期粘虫的捕食功能反应

Fig. 3 Predatory functional responses of 5th nymph of *Picromerus lewisi* on *Mythimna seperata* larvae

2.2 益蝽若虫对粘虫幼虫的捕食行为

捕食行为观察发现，5龄益蝽若虫从4龄粘虫幼虫头部以下的躯体刺入口针吸食其内容物（图4）。益蝽在捕食一头粘虫时并不将其内容物全部吸食，而是取食约70%~80%后转而攻击下一头猎物。在益蝽捕食过程中，搜寻发现粘虫后立即对其进行攻击，常将口针刺入粘虫幼虫胸腹部，多头益蝽取食一头粘虫时，可分别刺吸其不同身体部位。粘虫幼虫被益蝽刺吸后，立即产生甩脱行为，迅速爬行，蠕动身体尝试逃脱；而益蝽跟随粘虫移动并继续保持口针刺入粘虫体内，直至粘虫不再挣扎。3龄、4龄益蝽捕食粘虫，随着粘虫密度和龄期的增加，多头益蝽逐渐倾向于攻击一头粘虫，3龄、4龄益蝽单头捕食不同龄期粘虫时，捕食速度较慢且捕食量不高；5龄益蝽捕食3龄、4龄粘虫，捕食速度较快且捕食量相对较高，单头5龄益蝽可在相同的处理时间捕食多头粘虫。



图4 益蝽捕食粘虫行为特征

Fig. 4 Predatory behavior characteristics of *Picromerus lewisi* on *Mythimna seperata* larvae

3 结论与讨论

捕食功能反应是检验天敌昆虫对田间害虫是否具有控害能力的重要依据，可以通过捕食功能方程反应捕食者对猎物种群的捕食能力，从而评价其生防潜能。本研究发​​现益蝽若虫对3、4、5龄粘虫的捕食功能反应符合HollingII模型，这与蠋蝽捕食亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*（孙婧婧等，2022）、六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata* 捕食柑橘木虱 *Diaphorina citri*（何万财等，2023）、海岛小花蝽 *Orius maxidentex* 捕食美洲棘蓟马 *Echinothrips americanus*（韩姗妮等，2023）、环斑猛猎蝽捕食斜纹夜

蛾（蒋文丽等，2022）等的捕食功能反应模型一致。益蝽4龄和5龄若虫对粘虫3龄幼虫均有较高的日最大捕食量，这与唐艺婷等（2018）报道的不同龄期益蝽对3龄粘虫的捕食功能和申修贤等（2022）报道的益蝽5龄若虫对粘虫的捕食功能结果相似，证实了我们研究结果的可靠性。王巧等（2023）研究多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 对核桃黑斑蚜 *Chromaphis juglandicola* 幼虫的捕食结果也表明了4龄多异瓢虫对核桃黑斑蚜的日最大捕食量较高。王燕等（2023）研究结果同样说明了侧刺蝽 *Andrallus spinidens* 在捕食草地贪夜蛾时，侧刺蝽4龄和5龄若虫对草地贪夜蛾3龄、4龄幼虫均具有较强的捕食能力，且5龄若虫对草地贪夜蛾3龄幼虫的捕食量最高。据本研究试验所得结果，随着猎物龄期的增加，不同龄期的益蝽日最大捕食量逐渐减少，这或与随着猎物龄期增加其体型会有所变化有关；除4龄益蝽外，相同龄期的益蝽随猎物密度的增加日最大捕食量逐渐减少，这或与随着猎物密度增加益蝽的处理速度减缓有关。

除捕食量之外，天敌对猎物的瞬时攻击率和处理时间也是反映其捕食能力的重要指标。孙婧婧等（2022）研究表明蠋蝽雌成虫对亚洲玉米螟4龄幼虫的瞬时攻击率最大，为0.849，雄成虫和5龄若虫的瞬时攻击率分别为0.818和0.790，雌成虫对亚洲玉米螟4龄幼虫的处理时间最短，为0.027 d，雄成虫的处理时间次之，为0.036 d，而5龄若虫的处理时间最长，为0.041 d，这与本研究得到的5龄益蝽在捕食3~5龄粘虫时，捕食4龄粘虫处理时间最长的结论相似；韩姗妮等（2023）的报道表明海岛小花蝽5龄若虫处理单头美洲棘蓟马2龄若虫所需要的时间最短，为0.0203 d，瞬时攻击率为1.1813，瞬时攻击率为成虫>2龄若虫>伪蛹，处理单头猎物时间为伪蛹>成虫>2龄若虫，同样，本研究中5龄益蝽在捕食低龄粘虫时较高龄粘虫的瞬时攻击率更高、处理时间更短；蠋蝽5龄若虫处理小菜蛾4龄幼虫的时间最短，只需0.012 d，唐艺婷等（2020）的研究表明蠋蝽3~5龄若虫和成虫对小菜蛾4龄幼虫的瞬时攻击率大小依次为：3龄若虫>4龄若虫>5龄若虫>雌成虫>雄成虫，这与本研究所述3~5龄益蝽捕食4龄粘虫，4龄益蝽对4龄粘虫瞬时攻击率最高、处理时间最短的结论不同。本研究通过试验发现3龄益蝽对5龄粘虫的瞬时攻击率最高，对4龄粘虫的处理时间最短；4龄益蝽对4龄粘虫的瞬时攻击率最大，对3龄粘虫的处理时间最短；5龄益蝽对3龄粘虫的瞬时攻击率最大，对3龄粘虫的处理时间也最短。益蝽若虫对3龄幼虫捕食量最大，这与益蝽捕食同属于鳞翅目害虫的草地贪夜蛾幼虫的捕食能力研究结果相似，但益蝽若虫对5龄粘虫的瞬时攻击率最大，与其结果不同（王燕等，2020），这可能与猎物物种差异有关，如粘虫相对于草地贪夜蛾更难被益蝽制服。同时本文也注意到益蝽若虫对5龄粘虫的瞬时攻击率最大，但处理时间也最长。这可能与5龄粘虫体型较其他龄期较大有关，相关假设有待继续观察研究。同时，不同的蝽类对猎物的瞬时攻击率和处理时间差异也体现在体型上，如猎蝽科 *Reduviidae* 头部尖长，触角细长，体长细椭圆形，如蚊虫状，足细长，常捕食蚜虫、白蚁、蓟马等；姬蝽科 *Nabidae* 头部狭长，体多为中小型，常捕食蚜虫等小型节肢动物；益蝽、蠋蝽一类体型一般大小，触角棒状，足短于猎蝽和姬蝽，但可捕食斜纹夜蛾、草地贪夜蛾和粘虫等体型相对较大的害虫。

捕食性蝽科天敌在捕食猎物时，通过长长的口针将毒液注入猎物体内，导致猎物组织液化、麻痹和中毒死亡，但其捕食猎物的行为因虫体结构及其毒液成分等不同而有所差异（Martinez *et al.*, 2016; Andrew *et al.*, 2018; Gao *et al.*, 2022）。在搜寻和捕食行为方面，叉角厉蝽在捕食茶谷蛾 *Agriophara rhombata* 幼虫时，触角以一定频率上下左右摆动来搜索猎物，当接近猎物时，触角停止摆动并伸出口针，伺机将口针刺入幼虫体内（龚雪娜等，2023）。这与本研究中益蝽捕食粘虫和大部分蝽捕食猎物的行为相似。这是因为触角上有许多不同的感应器，是参与捕食性蝽搜寻猎物的重要器官。黄带犀猎蝽 *Sycanus croceouittatus* 在饥饿状态下搜寻到草地贪夜蛾幼虫，短暂接触后，迅速将口针刺入猎物体内，使草地贪夜蛾麻痹，并完成取食。有时将猎物致死后并不完全取食，而是收回口针搜寻并攻击下一头猎物（王亚楠等，2020）。这与益蝽捕食粘虫的特点相似，但这与蠋蝽捕食猎物情况不同。蠋蝽5龄若虫搜寻到草地贪夜蛾幼虫时并不迅速进行攻击，而是经过长时间缓慢靠近猎物，

小心翼翼将口针刺入猎物体内开始取食猎物，即使猎物反抗也不退出口针，直至猎物不再挣扎，最终吸食至猎物只剩表皮，呈干瘪状态，再开始搜寻下一个猎物（唐艺婷等，2019）。在取食部位方面，叉角厉蝽的口针通常从茶谷蛾低龄幼虫体侧或腹部、尾部插入（偶尔从背部刺入），而捕食茶谷蛾高龄幼虫时，经常从其腹部末端插入较多，其次为头壳部位（龚雪娜等，2023）。黄带犀猎蝽口针可从草地贪夜蛾幼虫身体各部位刺入，包括头部、腹部腹面以及腹部末端等（王亚楠等，2020）。蝽蝽的口针可从草地贪夜蛾幼虫身体各部位刺入，包括骨化的头部、相对柔软的腹部背面，以及体躯末端等（唐艺婷等，2019）。本研究发现益蝽若虫主要从粘虫幼虫腹部侧缘、腹部背部、尾部等刺入口针（偶有从头部刺入），这与以上所述相似，但与唐艺婷等报道的益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食行为不同，其未在试验中发现益蝽从草地贪夜蛾幼虫头部刺入口针（唐艺婷等，2019）。这或与猎物差异和不同地方益蝽种群等原因有关，如同龄期的草地贪夜蛾和粘虫，前者更为活跃，益蝽难以从头部进行攻击和成功捕食。

综上，不同龄期益蝽对不同龄期的粘虫皆可取食，其中5龄益蝽捕食3龄、4龄暴食粘虫在HollingII模型拟合程度、处理猎物时间以及捕食能力等方面综合表现较好，由此在田间释放益蝽防治粘虫时，首选5龄益蝽为宜。由于本研究仅在室内对益蝽的捕食行为和捕食反应进行了观察和探究，关于益蝽田间防控粘虫效果的试验及益蝽在田间的定殖与扩散研究还有待完善。

参考文献（References）

- Andrew AW, Mark LM, Jiayi J, *et al.* The assassin bug *Pristhesancus plagipennis* produces two distinct venoms in separate gland lumens [J]. *Nature Communications*, 2018, 9: 755.
- Chen JA. The occurrence characteristics and comprehensive management techniques of *Mythimna separata* [J]. *Guizhou Agricultural Science*, 2014, 42 (1): 94-97. [陈金安. 小麦粘虫的发生特点与综合治理技术 [J]. 贵州农业科学, 2014, 42 (1): 94-97]
- Deng HB, Lu YH, Tian MY, *et al.* The predatory response and search effect of the *Harpactor fuscipes* on *Myzus persicae* [J]. *Chinese Journal of Tobacco*, 2015, 21 (5): 74-78. [邓海滨, 吕永华, 田明义, 等. 红彩真猎蝽对烟蚜的捕食功能反应及寻找效应 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21 (5): 74-78]
- Duan Y, Cheng Q, Guo P, *et al.* Research progress on the occurrence, harm, and prevention of the *leucania loreyi* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2022, 4: 65. [段云, 陈琦, 郭培, 等. 劳氏粘虫的发生危害和防治研究进展 [J]. 昆虫学报, 2022, 4: 65.]
- Feng L, Tang SS, Liu F, *et al.* The toxicity and control effect of seven biological insecticides on the larvae of the *Spodoptera frugiperda* and *Mythimna separata* [J]. *Journal of Environmental Insects*, 2022, 44 (1): 35-43. [冯磊, 唐圣松, 刘芳, 等. 7种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫幼虫的毒力与防效 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (1): 35-43]
- Gao FD, Li T, Li XY, *et al.* Proteotranscriptomic analysis and toxicity assay suggest the functional distinction between venom gland chambers in twin-spotted assassin bug, *Platyeris biguttatus* [J]. *Biology*, 2022, 11: 464.
- Gong XN, Yu XS, Wang XS, *et al.* A preliminary study on predation behavior of *Eocanthecona furcellata* on the larvae of *Agriophara rhombata* [J]. *Hubei Agricultural Science*, 2023, 62 (5): 73-76. [龚雪娜, 玉香甩, 王雪松, 等. 叉角厉蝽对茶谷蛾幼虫捕食行为的初步研究 [J]. 湖北农业科学, 2023, 62 (5): 73-76]
- Guo Y. The Effect of Feeding on Different Levels of Sterols in the Body of *Mythimna separata* on the Nutritional Metabolism and Growth and Development of *Arma chinensis*[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Thesis, 2017. [郭义. 取食体内不同甾醇水平的粘虫对蝽蝽营养代谢及生长发育的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院硕士论文, 2017]
- Han SN, Wang JY, Li JL, *et al.* A study on the predation effect of the *Orius maxidentex* on *Echinothrips americanus* [J]. *Journal of Environmental Insects*, 2024, 46 (1): 227-235. [韩姗姗, 王建赞, 李金磊, 等. 海岛小花蝽对美洲棘蓟马的捕食作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (1): 227-235]
- He WC, Wang FF, Hu YW, *et al.* The predation effect of the *Menochilus sexmaculata* on *Diaphorina citri* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (3): 514-522. [何万财, 王飞凤, 胡玉伟, 等. 六斑月瓢虫对柑橘木虱的捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (3): 514-522]
- Hou ZR, Liu BB, Liu JX, *et al.* The functional response of the *Sycanus falleni* to the 3rd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (4): 852-858. [侯峥嵘, 孙贝贝, 刘先建, 等. 大红犀猎蝽对草地贪夜蛾3龄幼虫捕食功能反应 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (4): 852-858]
- Hu CX, Lei ZY, Zhang Q, *et al.* The predation function and intraspecific cannibalism behavior of the *Orius similis* on the adults of *frankliniella occidentalis* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49 (3): 758-766. [胡昌雄, 雷志远, 张倩, 等. 南方小花蝽对西花蓟马成虫的捕食功能及种内互残行为 [J]. 植物保护学报, 2022, 49 (3): 758-766]
- Hu ZW, Feng WZ, Zhang HR, *et al.* Analysis of predation function of *Sphedanolestes impressicollis* on young larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Environmental Insects*, 2022, 44 (3): 530-537. [胡宗伟, 冯万祖, 张浩然, 等. 环斑猛猎蝽对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能分析 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (3): 530-537]
- Huang K, Ni HX, Guo YY, *et al.* A Study on the Predation Function of the Main Natural Enemies in Wheat Fields Against the First Generation of *Mythimna separata* [C]. Beijing: Beijing Entomological Society Compilation of abstracts from the academic symposium on the 40th anniversary of the establishment of the Beijing Insect Society Institute of Plant Protection, 1990: 1. [黄葵, 倪汉祥, 郭予元, 等. 麦田主要天敌对一代粘虫捕食功能的研究 [C]. 北京: 北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编, 1990: 1]
- Jiang WL, Feng WZ, Hu ZW, *et al.* The predatory functional response of the *Sphedanolestes impressicollis* to the young larvae of the *Spodoptera litura* [J]. *Tobacco Science and Technology*, 2022, 55 (6): 27-34. [蒋文丽, 冯万祖, 胡宗伟, 等. 环斑猛猎蝽对斜纹夜蛾低龄幼虫的捕食功能反应 [J]. 烟草科技, 2022, 55 (6): 27-34]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, *et al.* The current status and development trend of *Mythimna separata* research in China [J]. *Journal of Applied Insects*,

- 2014, 51 (4): 881-889. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 我国粘虫研究现状及发展趋势 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (4): 881-889]
- Li GB. Overview and main progress of research on *Mythimna separata* in China [J]. *Plant Protection*, 1993, 4: 2-4. [李光博. 中国粘虫研究概况及主要进展 [J]. 植物保护, 1993, 4: 2-4]
- Li JJ, Zhang CH, Yi ZJ, et al. The effects of three prey species on the growth, development, and reproduction of the *Arma custos* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32 (5): 552-561. [李娇娇, 张长华, 易忠经, 等. 三种猎物对蠨螋生长发育和繁殖的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32 (5): 552-561]
- Li JJ. Study on the Developmental Effects of Feeding on Different Prey on the *Arma chinensis* and its Metabolomic Differences [D] Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Thesis, 2016. [李娇娇. 取食不同猎物对蠨螋的发育影响及其代谢组学差异研究 [D]. 北京: 中国农业科学院硕士论文, 2016]
- Li YR. *Agricultural Entomology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 131-135. [李云瑞. 农业昆虫学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 131-135]
- Liang HB, Yu PY. Search for the species of *Carabidae* that prey on *Mythimna separata* in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2000, 22 (4): 160-167. [梁宏斌, 虞佩玉. 中国捕食粘虫的步甲种类检索 [J]. 环境昆虫学报, 2000, 22 (4): 160-167]
- Liao XB, Gao P, Zhao H, et al. The predatory functional response of the adults of the pronged stink bug to the larvae of the *Mythimna separata* [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2020, 51 (8): 1992-1997. [廖贤斌, 高平, 赵航, 等. 叉角厉蝽成虫对粘虫幼虫的捕食功能反应 [J]. 南方农业学报, 2020, 51 (8): 1992-1997]
- Lu MF, Shi C, Xu YN, et al. Investigation on *Picromerus lewisi* as the natural enemy of *Ectropis obliqua hypulina* in Mount Wuyi rock tea production area [J]. *Fujian Tea*, 2020, 42 (11): 8-9. [陆民锋, 石晨, 许锐能, 等. 益蝽作为武夷山岩茶产区茶尺蠖天敌的调研 [J]. 福建茶叶, 2020, 42 (11): 8-9]
- Malaquias JB, Ramalho FS, Omoto C, et al. Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dall.) (Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on Bt cotton [J]. *Ecotoxicology*, 2014, 23: 192-200.
- Mang JY, Li ZM, Dong XL, et al. The predation ability of the nymph of the *Arma custos* to the 3-5 instar larvae of the *Spodoptera frugiperda* [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2022, 50 (8): 1-5. [孟建玉, 李治模, 董详立, 等. 蠨螋若虫对草地贪夜蛾 3~5 龄幼虫的捕食能力 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (8): 1-5]
- Martinez LC, Queiroz F, Maria do CAB, et al. Stink bug predator kills prey with salivary non-proteinaceous compounds [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 68: 71-78.
- Medal J, Cruz AS, Smith T. Feeding responses of *Euthyrhinchus floridanus* (Heteroptera: Pentatomidae) to *Megacopta cribraria* (Heteroptera: Plataspidae) with *Spodoptera frugiperda* and *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae as alternative prey [J]. *Journal of Entomological Science*, 2017, 52 (1): 87-91.
- Pan MZ, Zhang HP, Zhang CH, et al. The effects of feeding density and sex ratio on the survival and reproductive biological characteristics of *Arma custos* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (1): 52-58. [潘明真, 张海平, 张长华, 等. 饲养密度和性比对蠨螋存活和繁殖生物学特性的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34 (1): 52-58]
- Shapiro J, Legaspi JC. Assessing biochemical fitness of predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) in relation to food quality: Effects of five species of prey [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2006, 99 (2): 321-326.
- Sheng XX, Tian TA, Liu JF, et al. The predation effect of the 5th instar nymph of the *Picromerus lewisi* on different instar *Mythimna separata* larvae [J]. *Chinese Journal of Agriculture*, 2022, 38 (3): 116-120. [申修贤, 田太安, 刘健锋, 等. 益蝽 5 龄若虫对不同龄期粘虫幼虫的捕食作用 [J]. 中国农学通报, 2022, 38 (3): 116-120]
- Sun JJ, Wang MQ, Zhang CH, et al. The predation effect of *Arma custos* on Asian corn *Ostrinia furnacalis* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49 (4): 1187-1193. [孙婧婧, 王孟卿, 张长华, 等. 蠨螋对亚洲玉米螟幼虫的捕食作用 [J]. 植物保护学报, 2022, 49 (4): 1187-1193]
- Tang YT. Study on the Biological Control Potential of a New Natural Enemy-*Picromerus lewisi* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Thesis, 2020. [唐艺婷. 一种新天敌—益蝽的生物防治潜能研究 [D]. 北京: 中国农业科学院硕士论文, 2020]
- Tang YT, Guo Y, He GW, et al. The predatory response of different age groups of *Spodoptera litura* to *Mythimna separata* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34 (6): 825-830. [唐艺婷, 郭义, 何国玮, 等. 不同龄期的益蝽对粘虫的捕食功能反应 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34 (6): 825-830]
- Tang YT, Guo Y, Pan MZ, et al. Predation of *Plutella xylostella* larva by *Arma chinensis* [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (4): 155-160. [唐艺婷, 郭义, 潘明真, 等. 蠨螋对小菜蛾幼虫的捕食作用 [J]. 植物保护, 2020, 46 (4): 155-160]
- Tang YT, Li YY, Liu CX, et al. Predation and behavior of *Arma chinensis* to *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 65-68. [唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 等. 蠨螋对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 65-68]
- Tang YT, Li YY, Liu CX, et al. Evaluation of the predation ability and observation of predation behavior of the *Arma custos* against the *Spodoptera litura* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 65-68. [唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 等. 蠨螋对斜纹夜蛾的捕食能力评价及捕食行为观察 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 65-68]
- Tang YT, Wang MQ, Cheng HY, et al. Predatory capacity and behavior of *Picromerus lewisi* against *Spodoptera frugiperda* instar larvae [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (5): 698-703. [唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 等. 益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食能力评价和捕食行为观察 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (5): 698-703]
- Wang C, Mu YL, Wang J, et al. The predatory functional response of the adult *Arma custos* to the eggs and 3rd instar larvae of two tobacco pests [J]. *Plant Protection*, 2022, 48 (1): 158-162, 172. [杨灿, 母银林, 汪洁, 等. 蠨螋成虫对两种烟草害虫卵及 3 龄幼虫的捕食功能反应 [J]. 植物保护, 2022, 48 (1): 158-162, 172]
- Wang Q, Yang L, Pan YF, et al. The predation effect of the *Hippodamia variegata* on *Chromaphis juglandicola* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (6): 1289-1294. [王巧, 杨龙, 潘云飞, 等. 多异瓢虫对核桃黑斑蚜的捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (6): 1289-1294]
- Wang Y, Li XY, Zhang HM, et al. The predation behavior and ability of *Andrallus spinidens* against *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (2): 478-486. [王燕, 李向永, 张红梅, 等. 侧刺蝽对草地贪夜蛾的捕食行为和捕食能力 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (2): 478-486]
- Wang Y, Zhang HM, Li XY, et al. The predation ability of nymphs at different instars of the *Picromerus lewisi* on the larvae of the *Spodoptera litura* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (4): 520-524. [王燕, 张红梅, 李向永, 等. 益蝽不同龄期若虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (4): 520-524]
- Wang Y, Zhang HM, Yin YQ, et al. The predation ability of adult *Arma custos* on different instars of *Spodoptera litura* larvae [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 42-

46. [王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蠊蝽成虫对斜纹夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力 [J]. 植物保护, 2019, 45 (5): 42-46]
- Wang YL, Zhao SY, HE YZ, *et al.* Predation of the Larvae of *Spodoptera frugiperda* by *Sycanus croceovittatus* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (4): 525-529. [王亚楠, 赵胜园, 何运转, 等. 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (4): 525-529]
- Yang C. Study on the Predation, Selectivity, and Life Table of the *Arma custos* Against the *Spodoptera litura* and *Heliothis assulla* [D]. Guizhou: Guizhou University Master Thesis, 2021. [杨灿. 蠊蝽对斜纹夜蛾和烟青虫的捕食、选择性及生命表研究 [D]. 贵州: 贵州大学硕士论文, 2021]
- Yang HL, Li CJ, Cao F, *et al.* Evaluation of the predation function of the *Orius sauteri* on the first instar larvae of *Mythimna separata* [J] *Journal of Zhejiang University* (Agriculture and Life Sciences Edition), 2023, 49 (2): 159-166. [杨浩岚, 李成军, 曹付, 等. 东亚小花蝽对东方黏虫 1 龄幼虫的捕食功能评价 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2023, 49 (2): 159-166]
- Yang QQ, Cheng G, Fang L, *et al.* Evaluation of the predation ability of the *Picromerus lewisi* on tobacco *Spodoptera litura* larvae [J]. *Anhui Agricultural Science*, 2022, 50 (9): 140-142. [杨青青, 陈岗, 方亮, 等. 益蝽对烟草斜纹夜蛾幼虫的捕食能力评价 [J]. 安徽农业科学, 2022, 50 (9): 140-142]
- Zhang HP. Study on the Main Biological and Physiological Factors Affecting the Colonization Behavior of *Arma chinensis* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Thesis, 2017. [张海平. 影响蠊蝽定殖行为的主要生物及生理因子研究 [D]. 北京: 中国农业科学院硕士论文, 2017]
- Zhao Q. Revision of the Subfamily Euphorbia in China and DNA Taxonomy Studies on the Genera Euphorbia, Euphorbia and Euphorbia (Hemiptera: Pentatomidae) [D]. Jiangsu: Nankai University Doctoral thesis, 2013. [赵清. 中国益蝽亚科修订及蠊蝽属、辉蝽属和二星蝽属的 DNA 分类学研究(半翅目: 蝽科) [D]. 江苏: 南开大学博士论文, 2013]
- Zheng YL. Taxonomy of Insects [M]. Jiangsu: Nanjing Normal University Press, 1999. [郑乐怡. 昆虫分类学 [M]. 江苏: 南京师范大学出版社, 1999]
- Zou DY, Coudron TA, Liu C, *et al.* Nutrigenomics in *Arma chinensis*: Transcriptome analysis of *Arma chinensis* fed on artificial diet and chinese oak silk moth *Antheraea pernyi* pupae [J]. *PLoS ONE*, 2013, 8 (4): 60-81.
- Zou DY, Coudron T A, Wu HH, *et al.* Performance and cost comparisons for continuous rearing of *Arma chinensis* (Hemiptera: Pentatomidae: Asopinae) on a zoophytogenous artificial diet and a secondary prey [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2015, 108 (2): 454-461.
- Zou DY, Xu WH, Liu BM, *et al.* Research progress and prospects of the natural enemy insect, the *Arma custos* [J]. *Journal of Environmental Insects*, 2016, 38 (4): 857-865. [邹德玉, 徐维红, 刘佰明, 等. 天敌昆虫蠊蝽的研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (4): 857-865]