

蠋蝽成虫对不同龄期甜菜夜蛾的捕食功能反应*

王金彦^{1**} 葛永英^{1,2} 蒋杰贤¹ 刘娅琴¹ 季香云^{1***}

(1. 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海市设施园艺重点实验室, 农业农村部绿色低碳重点实验室, 上海 201403;

2. 安顺学院农学院, 安顺 561000)

摘要 【目的】明确蠋蝽 *Arma chinensis* 成虫对不同龄期甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 幼虫的捕食能力, 探索蠋蝽防治甜菜夜蛾的潜能。【方法】在实验室条件下, 分别测定了蠋蝽雌、雄成虫对甜菜夜蛾 1-5 龄幼虫的捕食功能反应及其搜寻效应。【结果】蠋蝽成虫对各龄期甜菜夜蛾幼虫的捕食作用均符合 Holling II 模型方程 ($R^2=0.415-0.959$)。与其他龄期幼虫相比, 蠋蝽雌成虫对 1、3 和 5 龄甜菜夜蛾幼虫的捕食功能反应与 Holling II 模型拟合得更好, 蠋蝽雄成虫对 1、2、4 和 5 龄幼虫的捕食与该模型拟合效果更佳。雌、雄成虫均对甜菜夜蛾 2 龄幼虫的捕食量最高, 分别为 27.777 和 23.810 头, 雌虫的捕食量总体优于雄虫。蠋蝽雌成虫对甜菜夜蛾 1-5 龄幼虫的瞬时攻击率依次为 0.201、1.165、1.101、1.007 和 0.590, 处理时间分别 0.053、0.036、0.054、0.128 和 0.151 d。蠋蝽雄成虫对 3 龄甜菜夜蛾瞬时攻击率最高, 为 1.595, 对 1 龄幼虫最低, 为 0.134, 对甜菜夜蛾 1-5 龄幼虫的处理时间分别为 0.134、0.042、0.091、0.072 和 0.113 d。随甜菜夜蛾幼虫密度的上升, 蠋蝽的搜寻效应逐渐下降。【结论】蠋蝽成虫能有效捕食甜菜夜蛾各龄期幼虫, 尤其对 2 龄幼虫的控制效果最佳, 并且雌成虫在害虫防控中的潜力比雄虫更强。

关键词 蠋蝽; 甜菜夜蛾; 捕食能力; 搜寻效应; 生物防治

Functional response of *Arma chinensis* adults to different larval instars of *Spodoptera exigua*

WANG Jin-Yan^{1**} GE Yong-Ying^{1,2} JIANG Jie-Xian¹ LIU Ya-Qin¹ JI Xiang-Yun^{1***}

(1. Key Laboratory of Low-carbon Green Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

P. R. China, Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Eco-environmental Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Agricultural College of Anshun University, Anshun 561000, China)

Abstract [Aim] To measure the functional response of *Arma chinensis* adults to different larval stages of *Spodoptera exigua*, and thereby assess the potential of using this species as a biological control for *S. exigua*. [Methods] The ability of *A. chinensis* adults to prey on 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th instar larvae of *S. exigua* was measured under laboratory conditions. [Results] Predation dynamics for all instars were successfully modeled using a Holling type II equation ($R^2=0.415-0.959$). The predatory functional response of adults to 1st to 5th instar *S. exigua* larvae conformed to the Holling II model. Compared to other larval instars, the predatory functional response of female adults to 1st, 3rd, and 5th instar *S. exigua* larvae best fitted the Holling II model. The predatory functional responses of adult males to 1st, 2nd, 4th, and 5th instar larvae also best fit the model. The predatory capacity of adult male and female *A. chinensis* towards second instar larvae was the highest, with females consuming 27.777 and males 23.810, larvae. Adult females consistently showed higher predation rates than males. The instantaneous attack rates of female adults on 1st to 5th instar larvae were 0.201, 1.165, 1.101, 1.007, and 0.590, respectively, with handling times of 0.053, 0.036, 0.054, 0.128, and 0.151 d. The instantaneous attack rate of adult males was highest on third instar (1.595) and lowest for first instar (0.134) larvae. Handling times of adult males for 1st to 5th instar

*资助项目 Supported projects: 上海市农业科技创新项目 (春蕾项目) (沪农科 (T2023318)); 上海市农业科技创新项目 (2024-02-08-00-12-F00019); 上海市农业科学院卓越团队建设项目 (农科卓 (2022) 017)

**第一作者 First author, E-mail: wangjinyan1912@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hwfy2002@163.com

收稿日期 Received: 2025-01-24; 接受日期 Accepted: 2025-06-14

S. exigua larvae were 0.134, 0.042, 0.091, 0.072, and 0.113 d respectively. Search efficiency decreased as host density increased. **[Conclusion]** Adult *A. chinensis* have strong predatory capacity for *S. exigua* larvae, particularly 2nd instar larvae. In addition, adult females have greater potential as biological control agents for *S. exigua* larvae than adult males.

Key words *Arma chinensis*; *Spodoptera exigua*; predation potential; searching effect; biological control

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 属鳞翅目 Lepidoptera, 夜蛾科 Noctuidae, 是一种间歇性暴发的杂食性害虫, 在全国各地均有分布, 其幼虫为害甘蓝、玉米、辣椒等 170 余种农作物, 严重影响农作物的产量和品质 (王金彦等, 2018; Wan *et al.*, 2019)。化学防治仍是当前田间防治甜菜夜蛾的主要手段, 但化学农药的过量使用已诱发显著的抗药性问题, 因此亟待寻求生物防治措施以应对甜菜夜蛾的防治需求。目前关于甜菜夜蛾生物防治的研究主要集中在杆状病毒 (张俊杰等 2001; 蒋杰贤等, 2005) 和寄生蜂 (季香云等, 2017; 王金彦等, 2023) 控害方面, 其捕食性天敌的利用尚待进一步挖掘。

蠊蝽 *Arma chinensis* 属半翅目 Hemiptera, 蝽科 Pentatomidae, 具备很强的环境适应能力, 易繁殖, 捕食周期长, 捕食范围广, 能捕食超过 40 种农林作物害虫 (邹德玉等, 2016; 潘明真等, 2018; 刘娟等, 2021), 能够有效抑制田间害虫种群数量的增长。上官斌 (2009) 对比了化学防治和蠊蝽控制侧柏毒蛾 *Parocneria furva*, 结果表明, 与化学防治相比, 蠊蝽在防治侧柏毒蛾方面具有长期有效, 经济环保等优势。高强等 (2019) 通过室内和田间试验发现蠊蝽对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 表现出较强的捕食能力。王燕等 (2019) 在室内试验中发现, 蠊蝽成虫能捕食草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 多个龄期的幼虫。此外, 蠊蝽作为本土天敌, 无生物入侵的风险。因此, 蠊蝽可作为一种优良的捕食性天敌, 应用于多个生态系统中的害虫防控, 具有广阔的开发与应用前景 (任春燕等, 2022)。高卓等 (2009) 阐明了蠊蝽的生物学特性及控制技术, 为释放蠊蝽防治甜菜夜蛾田间危害提供了佐证, 但是关于蠊蝽对甜菜夜蛾幼虫的捕食功能反应, 特别是针对不同龄期的系统研究仍显不足。本研究在实验室条件下测定了蠊蝽成虫对不同龄期

甜菜夜蛾幼虫的捕食作用, 以探讨蠊蝽对甜菜夜蛾的防控潜力, 为高效利用蠊蝽防控甜菜夜蛾提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

甜菜夜蛾为室内人工饲料 (由黄豆粉、麦胚、L-抗坏血酸、琼脂、酵母等原料组成) 饲养的试验种群。蠊蝽采集于上海市农业科学院庄行试验站, 并在实验室中继代饲养 2 代, 选取发育一致、活泼健康的蠊蝽成虫进行试验。

1.2 试验条件

蠊蝽成虫对 1-5 龄甜菜夜蛾幼虫捕食功能反应的测定, 在宁波江南仪器厂生产的 RXZ-380 人工培养箱内的一次性培养皿 (直径 9 cm) 中进行。人工培养箱条件为温度 (28 ± 1) °C, 相对湿度 65%, 光周期 16L : 8D。

1.3 试验方法

试验前分别将雌雄蠊蝽成虫放置于培养皿内饥饿处理, 每皿 1 头蛻皮 24 h 内的蠊蝽成虫, 并放置浸湿的脱脂棉球 1 粒, 待成虫饥饿 24 h 后分别接入甜菜夜蛾 1-5 龄幼虫, 同时在培养皿内放入甜菜夜蛾人工饲料, 避免幼虫因饥饿而死亡或自残。

不同龄期甜菜夜蛾的密度: 1 龄 15、20、25、30、35 和 40 头/皿; 2 龄 10、15、20、25、30 和 35 头/皿; 3 龄 4、8、12、16、20 和 24 头/皿; 4 龄 3、6、9、12、15 和 18 头/皿; 5 龄 2、3、4、5、6 和 7 头/皿, 每处理重复 3 次。分别观察蠊蝽雌、雄成虫对各龄期甜菜蛾幼虫的捕食情况。24 h 后检查各龄期甜菜夜蛾幼虫的死亡数量。观察时用毛笔轻轻拨动甜菜夜蛾幼虫, 若无反应或不活动则判定为死亡, 并记录数据。

1.4 数据分析

用 Holling II 功能反应模型进行数据拟合分析。功能反应方程： $N_a = aNT/(1 + aT_hN)$ ；搜寻效应方程： $S = a / (1 + aT_hN)$ 。式中 N_a 为蠋蝽捕食甜菜夜蛾幼虫的数量， a 为蠋蝽对甜菜夜蛾的瞬时攻击率； N 是甜菜夜蛾幼虫的密度； T 是试验总时间为 1 d， T_h 是处理时间（蠋蝽捕食 1 头甜菜夜蛾所用的时间）， S 为搜寻效应（Holling, 1959）。试验数据利用 SPSS 20.0 和 Graphpad Prism 8.0 进行分析作图。

2 结果与分析

2.1 蠋蝽成虫捕食甜菜夜蛾幼虫的功能反应

2.1.1 蠋蝽雌成虫捕食甜菜夜蛾幼虫的功能反应 蠋蝽雌成虫对 1-5 龄甜菜夜蛾幼虫的捕食功能反应与 Holling II 模型相符合（表 1, 图 1:A-E）。蠋蝽雌成虫对不同龄期甜菜夜蛾的瞬时攻击率由高到低依次为 2 龄（1.165）、3 龄（1.101）、4 龄（1.007）、5 龄（0.590）和 1 龄（0.201）；日最大捕食量由高到低表现为 2 龄（27.777 头）

表 1 蠋蝽雌成虫捕食不同龄期甜菜夜蛾幼虫的功能反应参数

Table 1 Functional responses of female adult of *Arma chinensis* to *Spodoptera exigua* larvae in different instars

龄期 Instar	R^2	捕食功能方程 Function response	瞬时攻击率 Attack efficiency	处理时间 (d) Handling time (d)	日最大捕食量 (头) Maximum prey consumed daily (ind.)
1 龄 1st instar	0.844	$N_a=0.201N/(1+0.011N)$	0.201	0.053	18.867
2 龄 2nd instar	0.537	$N_a=1.165N/(1+0.042N)$	1.165	0.036	27.777
3 龄 3rd instar	0.959	$N_a=1.011N/(1+0.059N)$	1.011	0.054	18.519
4 龄 4th instar	0.549	$N_a=1.007N/(1+0.129N)$	1.007	0.128	7.812
5 龄 5th instar	0.636	$N_a=0.590N/(1+ 0.089N)$	0.590	0.151	6.623

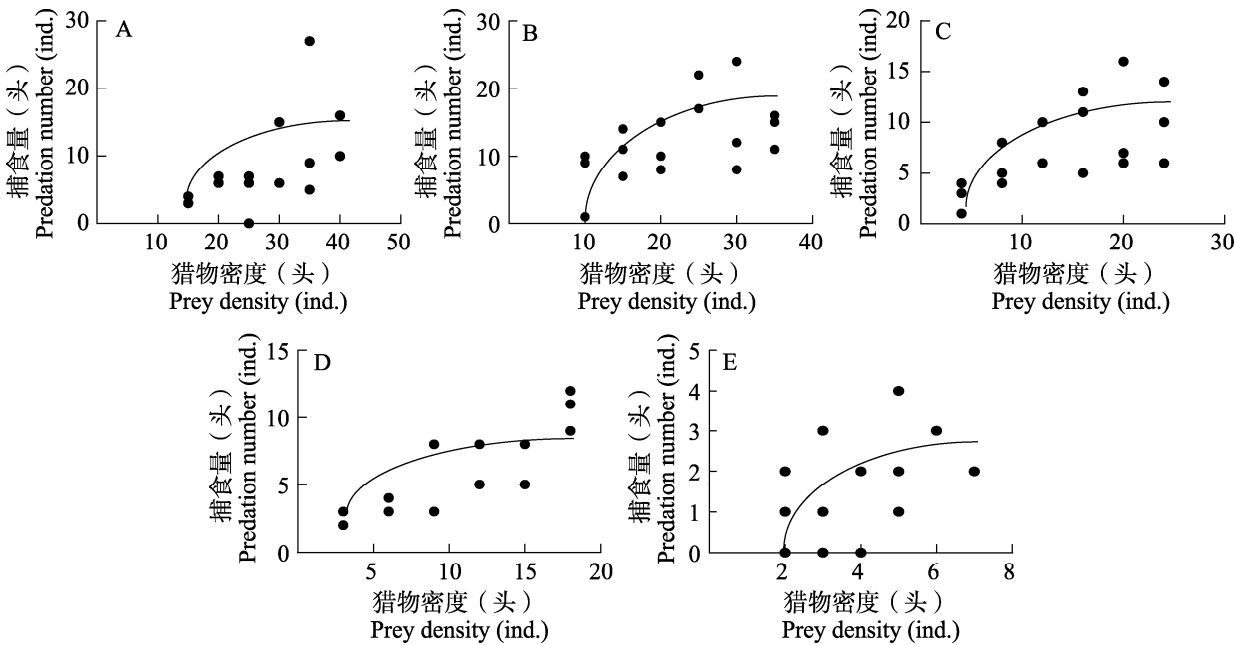


图 1 蠋蝽雌成虫捕食不同龄期甜菜夜蛾幼虫的功能反应曲线

Fig. 1 Functional response curves of female adult of *Arma chinensis* to *Spodoptera exigua* larvae in different instars

A. 1 龄 1st instar; B. 2 龄 2nd instar; C. 3 龄 3rd instar; D. 4 龄 4th instar; E. 5 龄 5th instar.

> 1 龄 (18.867 头) > 3 龄 (18.519 头) > 4 龄 (7.812 头) > 5 龄 (6.623 头)。其中, 蠋蝽对甜菜夜蛾 2 龄幼虫处理时间最短, 日捕食量最大, 防控效果最好。根据相关系数 R^2 , 蠋蝽雌成虫对 1、3 及 5 龄甜菜夜蛾的捕食功能反应利用 Holling II 模型拟合较好 (表 1)。

2.1.2 蠋蝽雄成虫捕食不同龄期甜菜夜蛾幼虫功能反应 蠋蝽雄成虫对 1-5 龄甜菜夜蛾捕食功能反应总体符合 Holling II 模型 (表 2, 图 2:A-E)。

蠋蝽雄成虫对不同龄期的甜菜夜蛾瞬时攻击率由低到高依次为 1 龄 (0.134)、2 龄 (0.316)、5 龄 (0.655)、4 龄 (0.936)、3 龄 (1.595); 日最大捕食量从高到低排列为 2 龄 (23.810 头) > 4 龄 (18.867 头) > 3 龄 (10.989 头) > 5 龄 (8.849 头) > 1 龄 (7.463 头)。从相关系数 R^2 看, 蠋蝽雄成虫对 1、2、4 及 5 龄甜菜夜蛾利用捕食功能反应 Holling II 模型拟合得更好 (表 2)。

表 2 蠋蝽雄成虫捕食不同龄期甜菜夜蛾幼虫功能反应参数
Table 2 Functional responses of male adult of *Arma chinensis* to *Spodoptera exigua* larvae in different instars

龄期 Instar	R^2	捕食功能方程 Function response	瞬时攻击率 Attack efficiency	处理时间 (d) Handling time (d)	日最大捕食量 (头) Maximum prey consumed daily (ind.)
1 龄 1st instar	0.934	$N_a=0.134N/(1+0.018N)$	0.134	0.134	7.463
2 龄 2nd instar	0.954	$N_a=0.316N/(1+0.013N)$	0.316	0.042	23.810
3 龄 3rd instar	0.415	$N_a=1.595N/(1+0.145N)$	1.595	0.091	10.989
4 龄 4th instar	0.758	$N_a=0.936N/(1+0.067N)$	0.936	0.072	13.889
5 龄 5th instar	0.625	$N_a=0.655N/(1+0.074N)$	0.655	0.113	8.849

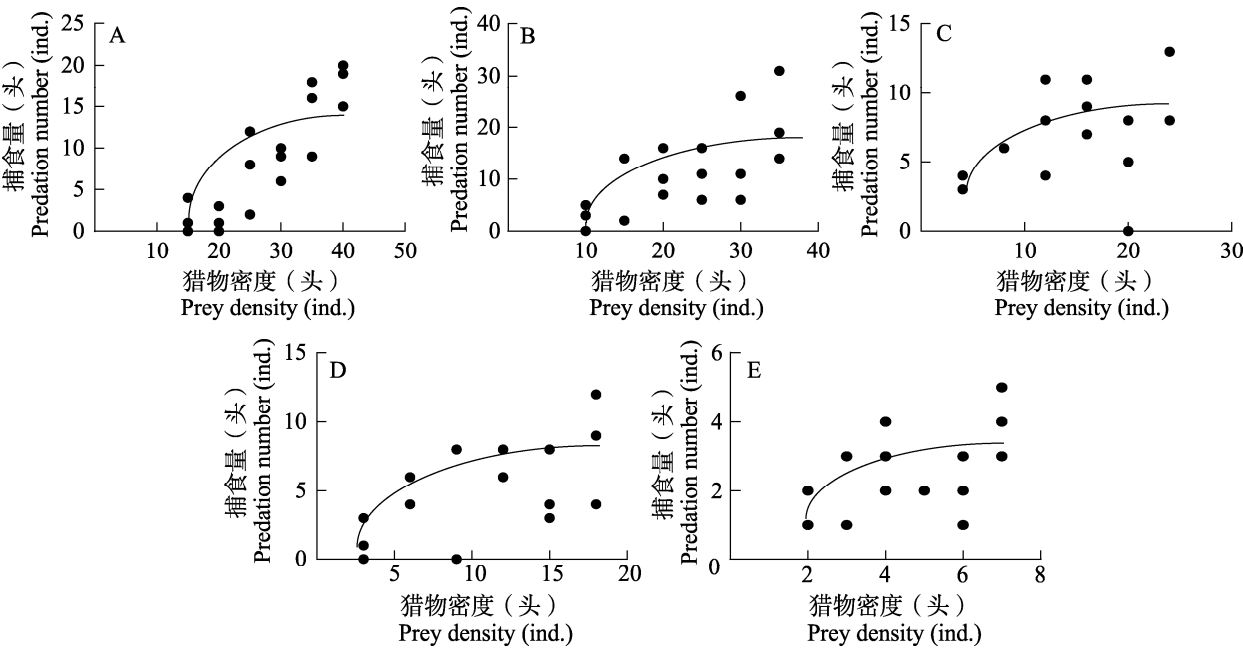


图 2 蠋蝽雄成虫捕食不同龄期甜菜夜蛾幼虫的功能反应曲线
Fig. 2 Functional response curves of male adult of *Arma chinensis* to *Spodoptera exigua* larvae in different instars

A. 1 龄 1st instar; B. 2 龄 2nd instar; C. 3 龄 3rd instar; D. 4 龄 4th instar; E. 5 龄 5th instar.

2.2 蠋蝽成虫对不同龄期甜菜夜蛾幼虫的搜寻效应

2.2.1 蠋蝽雌成虫对不同龄期甜菜夜蛾幼虫的搜寻效应 如图 3 (A-E) 所示, 蠋蝽雌成虫的搜寻效应随不同龄期甜菜夜蛾幼虫密度的增加而呈现递减的趋势, 说明在猎物密度增加的情况下, 蠋蝽对甜菜夜蛾的搜寻难度逐渐减小, 搜寻时间缩短。蠋蝽雌成虫对 2 龄甜菜夜蛾幼虫的搜

寻效应最高。

2.2.2 蠋蝽雄成虫对不同龄期甜菜夜蛾幼虫的搜寻效应 蠋蝽雄成虫对不同龄期甜菜夜蛾幼虫的搜寻效应随猎物密度的升高而呈现递减的趋势 (图 4: A-E)。表明猎物密度的增加, 降低了蠋蝽雄成虫对目标害虫的搜寻难度, 其搜索趋势与雌成虫一致。蠋蝽雄成虫对 3 龄甜菜夜蛾幼虫的搜寻效应相对较高。

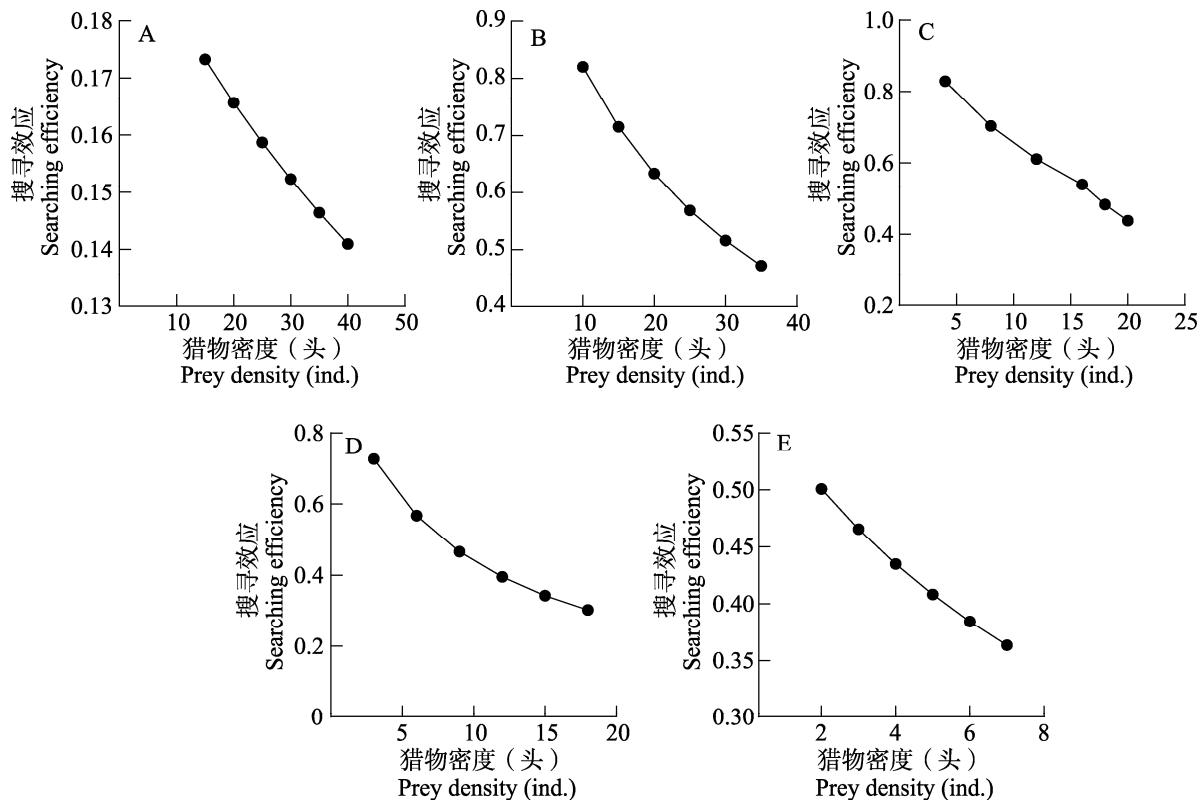


图 3 蠋蝽雌成虫对不同龄期甜菜夜蛾幼虫的搜寻效应

Fig. 3 Searching efficiency of female adult of *Arma chinensis* to *Spodoptera exigua* larvae in different instars

A. 1 龄 1st instar; B. 2 龄 2nd instar; C. 3 龄 3rd instar; D. 4 龄 4th instar; E. 5 龄 5th instar.

3 讨论

作为评估天敌控害效能的关键指标, 捕食功能反应的研究具有重要价值。在害虫生物防治的研究过程中, 通过研究功能反应, 可以确定捕食性天敌对害虫种群的调控效果, 并评估其在生物防治实践中的可行性 (Farrokhi *et al.*, 2010; 王燕等, 2019; 王金彦等, 2020)。Holling II 模型

在天敌昆虫控害的应用研究中有很强的适用性, 目前该模型已成为检验天敌昆虫在田间控制害虫作用的重要评价依据 (Holling, 1959)。本研究探讨了蠋蝽成虫对甜菜夜蛾幼虫的捕食作用, 研究结果显示, 蠋蝽成虫能够捕食各龄期 (1-5 龄) 的甜菜夜蛾幼虫, 且捕食动态符合 Holling II 功能反应模型。这一发现与多种捕食性蝽对夜蛾科害虫的捕食功能反应研究结果吻合

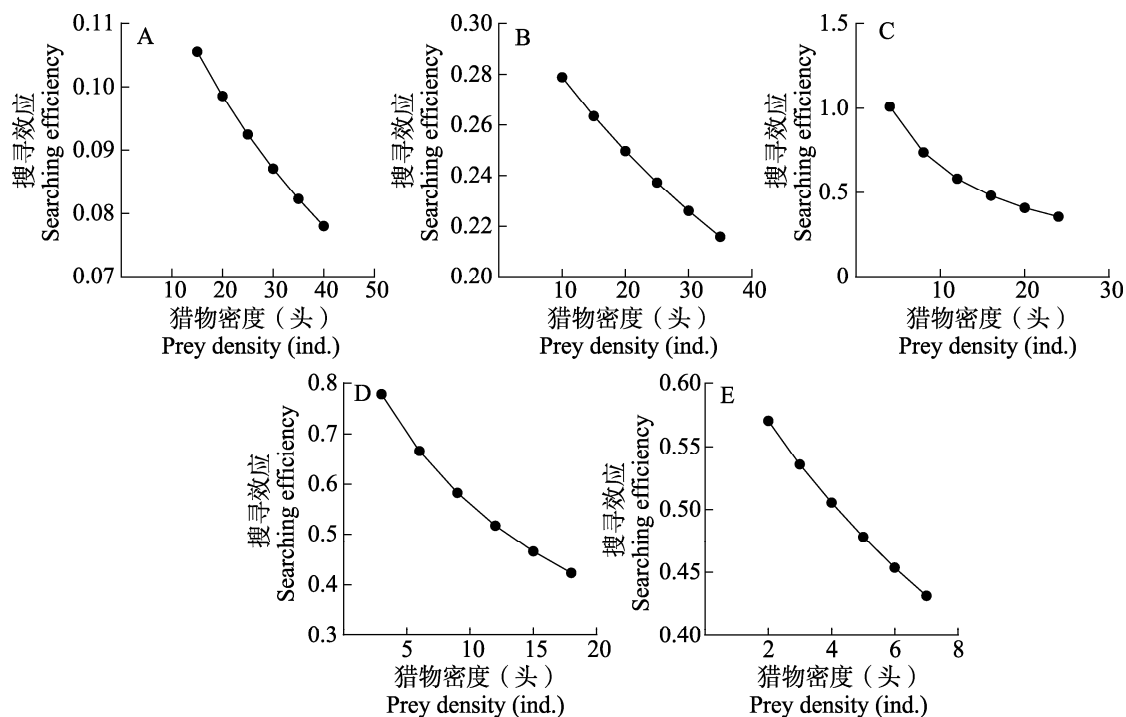


图 4 蠋蝽雄成虫对不同龄期甜菜夜蛾幼虫的搜寻效应

Fig. 4 Searching efficiency of male adult of *Arma chinensis* to *Spodoptera exigua* larvae in different instars

A. 1 龄 1st instar; B. 2 龄 2nd instar; C. 3 龄 3rd instar; D. 4 龄 4th instar; E. 5 龄 5th instar.

(Mohaghegh *et al.*, 2001; 陈然等, 2015; dos Santos *et al.*, 2016)。在设定的试验条件下, 蠋蝽的捕食量随着猎物密度的上升而增长, 但当甜菜夜蛾幼虫的密度达到一定水平时, 捕食量增加的速度逐渐降低, 这可能受其饱食效应等因素的限制。值得注意的是, 雌雄成虫均对 2 龄甜菜夜蛾幼虫表现出最高的捕食效能, 可能与低龄甜菜夜蛾幼虫体型较小有关。此外, 雌性成虫的捕食强度普遍高于雄性个体, 其原因可能是雌成虫在产卵繁殖后代时需要消耗更多能量来补充营养。由研究结果初步推断甜菜夜蛾幼虫发育到 2 龄阶段是蠋蝽田间应用的最佳释放期, 且释放雌蠋蝽效果优于雄虫。

搜寻效应表征了天敌定位和攻击猎物的效率, 反映其寻找猎物的能力。本研究显示, 蠋蝽的搜寻效应随着甜菜夜蛾幼虫密度的增加而逐渐降低; 在甜菜夜蛾密度最高时, 雌成虫的搜寻效率最大, 表现出更强的搜寻能力。雌成虫搜寻效率总体高于雄成虫, 处理时间短于雄成虫, 并且雌、雄成虫对 2 龄甜菜夜蛾幼虫的处理时间均

最短, 这一关于性别差异的发现, 与符成悦等 (2021) 在益蝽 *Picromerus lewisi* 捕食亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的研究中观察到的趋势一致。此外, 杨灿等 (2023) 在研究不同龄期蠋蝽对黏虫 *Mythimna seperata* 的捕食试验中发现, 蠋蝽的捕食量随着黏虫密度的升高而增加, 最后趋于稳定, 这也与本研究结果相符合。

本试验采用 Holling II 功能反应模型分析, 初步预测了蠋蝽成虫对不同龄期甜菜夜蛾幼虫捕食潜能, 证实了其在防控该害虫方面的应用价值, 对利用蠋蝽降低甜菜夜蛾对农业的危害具有重要意义。然而, 将实验室潜力转化为田间有效防控的关键在于制定科学、高效的蠋蝽释放策略, 以最大化其控害效能。鉴于本研究结果, 雌蠋蝽对甜菜夜蛾幼虫的控害效能优于雄虫, 且对 2 龄幼虫的捕食作用最为显著, 因此在释放策略中可适当提高蠋蝽雌成虫的释放比例或数量, 并选择在甜菜夜蛾幼虫 1 龄末至 2 龄初释放, 以实现更持久、经济的控害效果。此外, 由于自然环境中存在其他捕食者、竞争者、天气情况等较多

不可控因素, 在野外应用蠋蝽防控甜菜夜蛾时, 需结合蠋蝽的生物学与生态学特性营造适宜的栖身生态环境, 促进其在田间释放区的定殖和扩散, 从而实现对害虫种群的持续控制。因此, 蠋蝽在田间防控甜菜夜蛾的最佳释放模式仍需通过进一步试验加以探索和验证。

参考文献 (References)

- Chen R, Liang GW, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD, 2015. The functional response of *Cahtheconidea furcellata* (Hemiptera: Asopinae) to *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 401–406. [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功能反应. 环境昆虫学报, 37(2): 401–406.]
- dos Santos BDB, Ramalho FS, Malaquias JB, Lira ACS, Pach ú JKS, Fernandes FS, Zanuncio JC, 2016. How predation by *Podisus nigrispinus* influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 158(2): 142–151.
- Farrokhi S, Ashouri A, Shirazi J, Allahvari H, Huigens ME, 2010. A comparative study on the functional response of *Wolbachia*-infected and uninfected forms of the parasitoid wasp *Trichogramma brassicae*. *Journal of Insect Science*, 10: 167.
- Fu CY, Xu TM, Wen SH, Zhang S, Liu F, Du GZ, Chen B, Zhang LM, 2021. Predation behaviors and functional responses of *Picromerus lewisi* to the larvae of *Ostrinia furnacalis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(5): 956–962. [符成悦, 徐天梅, 温绍海, 张帅, 刘飞, 杜广祖, 陈斌, 张立敏, 2021. 益蝽对亚洲玉米螟幼虫的捕食行为及捕食功能反应. 中国生物防治学报, 37(5): 956–962.]
- Gao Q, Wang D, Zhang WH, Liu YD, Meng FC, Wu B, Wang ZG, Liu L, Zong H, Tan XL, Xu R, Zhang WN, 2019. Study on predatory function of *Arma chinensis* on *Spodoptera litura* (Fabricius). *Chinese Tobacco Science*, 40(6): 55–59. [高强, 王迪, 张文慧, 刘元德, 孟凡超, 武博, 王志刚, 刘莉, 宗浩, 谭效磊, 徐蕊, 张伟娜, 2019. 蠋蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用研究. 中国烟草科学, 40(6): 55–59.]
- Gao Z, Zhang LX, Wang GQ, 2009. *Arma chinensis* Fallou protection and utilization as a control agent of sugar beet insect-pests. *Sugar Crops of China*, 31(1): 70–72. [高卓, 张李香, 王贵强, 2009. 保护利用蠋蝽防治甜菜害虫. 中国糖料, 31(1): 70–72.]
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385–398.
- Ji XY, Yin YY, Wan NF, Jiang JX, 2017. The effect of parasitization by *Microplitis pallidipes* Szepilgeti (Hymenoptera: Braconidae) on the activities of protective and immune enzymes in the hemolymph of larval *Spodoptera exigua* (Hübner). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(2): 214–220. [季香云, 印杨毅, 万年峰, 蒋杰贤, 2017. 淡足侧沟茧蜂寄生对甜菜夜蛾幼虫血淋巴保护酶和免疫酶的影响. 应用昆虫学报, 54(2): 214–220.]
- Jiang JX, Zeng AP, Ji XY, Jiang ZR, 2005. Vertical transmission of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus in the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Entomologica Sinica*, 48(6): 922–927. [蒋杰贤, 曾爱平, 季香云, 蒋祝瑞, 2005. 甜菜夜蛾核型多角体病毒在宿主种群中的垂直传播研究. 昆虫学报, 48(6): 922–927.]
- Liu J, Liao JH, Li C, Hu HZ, Han LL, Liu X, Niu P, 2021. Preliminary study on adult *Arma chinensis* (Fallou) preying on *Leptinotarsa decemlineata* (Say) eggs and young instar larvae. *Journal of Biosafety*, 30(4): 282–286. [刘娟, 廖江花, 李超, 胡恒志, 韩露露, 刘霞, 牛平, 2021. 蠋蝽成虫对马铃薯甲虫卵和低龄幼虫的捕食能力. 生物安全学报, 30(4): 282–286.]
- Mohaghegh J, Clercq PD, Tirry L, 2001. Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het. Pentatomidae) to the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lep. Noctuidae): Effect of temperature. *Journal of Application Entomology*, 125(3): 131–134.
- Pan MZ, Zhang HP, Zhang CH, Yi ZJ, Chen HY, 2018. Effects of rearing density and sex ratio of adult *Arma chinensis* (Hemiptera: Pentatomidae) on their survival, fecundity and offspring's suitability. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(1): 52–58. [潘明真, 张海平, 张长华, 易忠经, 陈红印, 2018. 饲养密度和性比对蠋蝽存活和繁殖生物学特性的影响. 中国生物防治学报, 34(1): 52–58.]
- Ren CY, Liu J, Luo MH, Nie ZY, Huang N, Zhao HY, Tang LD, 2022. A review on *Arma chinensis* Fallou (Hemiptera: Pentatomidae): A natural enemy insect. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 38(12): 100–109. [任春燕, 刘杰, 罗明华, 聂忠扬, 黄宁, 赵海燕, 唐良德, 2022. 天敌昆虫——蠋蝽的研究进展. 中国农学通报, 38(12): 100–109.]
- Shangguan B, 2009. Preliminary report on the study of *Arma custos*. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 34(4): 27–30. [上官斌, 2009. 蠋敌研究初报. 甘肃林业科技, 34(4): 27–30.]
- Wan NF, Yang JH, Zhang H, Wang JY, Chen YJ, Ji XY, Jiang JX, 2019. Prior experiences of endoparasitoids affect their ability to discriminate NPV-infected from non-infested caterpillars.

- Biological Control*, 128: 64–75.
- Wang JY, Wan NF, Fan NN, Jiang JX, 2020. Functional response of *Microplitis pallidipes* parasitizing *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(6): 1319–1325. [王金彦, 万年峰, 范能能, 蒋杰贤, 2020. 淡足侧沟茧蜂对草地贪夜蛾的寄生功能反应. 应用昆虫学报, 57(6): 1319–1325.]
- Wang JY, Zhang H, Guo L, Wan NF, Jiang JX, 2018. The effects of host plants on the activities of the key enzymes involved in melanization in nucleopolyhedrovirus-infected beet armyworm larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 882–888. [王金彦, 张浩, 郭玲, 万年峰, 蒋杰贤, 2018. 寄主植物对甜菜夜蛾感染核型多角体病毒后黑化反应关键酶活性的影响. 应用昆虫学报, 55(5): 882–888.]
- Wang JY, Zhang H, Ji XY, 2023. Functional response of three *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to parasitizing *Spodoptera exigua* and *Plutella xylostella* eggs. *Journal of Environmental Entomology*, 45(4): 1046–1053. [王金彦, 张浩, 季香云, 2023. 3种赤眼蜂对甜菜夜蛾和小菜蛾卵的寄生功能反应. 环境昆虫学报, 45(4): 1046–1053.]
- Wang Y, Zhang HM, Yin YQ, Li XY, Zhao XQ, Tang YT, Wang MQ, Chen AD, Chen FS, Zhang LS, 2019. Predation of adult of *Arma chinensis* to larvae of *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(5): 42–46. [王燕, 张红梅, 尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 唐艺婷, 王孟卿, 湛爱东, 陈福寿, 张礼生, 2019. 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力. 植物保护, 45(5): 42–46.]
- Yang C, Mu YL, Wang J, Li ZM, Jia FZ, Yu HP, Chen XS, 2023. Functional responses of *Arma chinensis* (Fallou) to *Mythimna separate* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 39(2): 487–492. [杨灿, 母银林, 汪洁, 李治模, 贾芳翌, 喻会平, 陈祥盛, 2023. 不同龄期蠋蝽对黏虫的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 39(2): 487–492.]
- Zhang JJ, Li MJ, Wei RJ, Zhang YQ, 2001. Isolation, identification, and determination of virulence of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus Chinese strain. *Virologica Sinica*, 16(4): 73–75. [张俊杰, 李茂俭, 未荣杰, 张友清, 2001. 甜菜夜蛾核型多角体病毒中国分离株的分离鉴定及毒力测定. 中国病毒学, 16(4): 73–75.]
- Zou DY, Xu WH, Liu BM, Bai YC, Liu XL, Xu JY, Hu X, Gu XS, 2016. Research progress and prospects of *Arma chinensis* Fallou (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(4): 857–865. [邹德玉, 徐维红, 刘佰明, 白义川, 刘晓琳, 许静杨, 胡霞, 谷希树, 2016. 天敌昆虫蠋蝽的研究进展与展望. 环境昆虫学报, 38(4): 857–865.]