

叉角厉螳对斜纹夜蛾幼虫的捕食能力评价*

管 云^{1**} 钱凌寒^{1,2**} 崔 灿¹ 刁碧群¹ 林小军¹ 李慎磊^{1,2***}

(1. 广州瑞丰生物科技有限公司, 广州 510530; 2. 中科绿控科技有限公司, 广州 511365)

摘 要 【目的】 探明叉角厉螳 *Eocanthecona furcellata* 对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 的捕食能力, 为叉角厉螳应用于田间防治能达到理想防治效果提供理论依据。【方法】 以养虫盒为测试容器, 在室内设叉角厉螳不同虫龄 (1 头/盒) 捕食不同密度的斜纹夜蛾低龄 (2 龄)、中龄 (4 龄) 和高龄 (6 龄) 幼虫, 统计叉角厉螳不同组合的捕食量并进行相关分析。采用捕食功能反应的方法评估叉角厉螳 3 龄、4 龄、5 龄若虫和雌成虫对斜纹夜蛾低龄、中龄和高龄幼虫的捕食能力、捕食效能和搜寻效应。【结果】 所有虫龄叉角厉螳对斜纹夜蛾各龄期幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 型方程。在低龄幼虫捕食中, 各虫龄叉角厉螳日均捕食量最高为 5.6-7.0 头, 捕食率随密度升高下降幅度为 45.00%-58.33%, 5 龄若虫在高密度下捕食率显著高于 3 龄若虫 ($P<0.05$)。在中龄幼虫捕食中, 各虫龄叉角厉螳日均捕食量最高为 4.6-6.6 头, 捕食率随密度升高下降幅度为 48.33%-65.00%, 5 龄若虫和雌成虫的捕食率显著高于 3 龄若虫 ($P<0.05$)。在高龄幼虫捕食中, 各虫龄叉角厉螳日均捕食量最高为 4.0-5.4 头, 捕食率随密度升高下降幅度为 50.00%-58.33%, 5 龄若虫和雌成虫的捕食率显著高于 3 龄若虫 ($P<0.05$)。针对低龄和中龄幼虫, 反映捕食效能的综合指标 (a/T_h) 和日最大捕食量 ($1/T_h$) 呈现叉角厉螳龄期递增规律, 而针对高龄幼虫, 捕食效能强弱顺序为 5 龄若虫 > 雌成虫 > 4 龄若虫 > 3 龄若虫。叉角厉螳对斜纹夜蛾幼虫的搜寻效应随幼虫密度的增加而降低, 在同一猎物密度下叉角厉螳的搜寻效应表现为雌成虫和 5 龄若虫最为突出, 但各虫龄叉角厉螳随着斜纹夜蛾幼虫虫龄增长, 搜寻效应逐渐下降。【结论】 在田间应用时, 优先选择在斜纹夜蛾种群处于幼虫早期阶段进行释放, 并考虑田间应用的长效防控, 建议选择叉角厉螳 5 龄若虫。

关键词 叉角厉螳; 斜纹夜蛾; 捕食能力; 捕食功能反应; 搜寻效应; 田间防控

Predatory efficiency of *Eocanthecona furcellata* on *Spodoptera litura* larvae

GUAN Yun^{1**} QIAN Ling-Han^{1,2**} CUI Can¹ DIAO Bi-Qun¹
LIN Xiao-Jun¹ LI Shen-Lei^{1,2***}

(1. Guangzhou Ruifeng Biotechnology Co., LTD., Guangzhou 510530, China;

2. Zhongke Green Control Technology Co., LTD., Guangzhou 511365, China)

Abstract [Aim] To evaluate the predatory efficiency of *Eocanthecona furcellata* on *Spodoptera litura* larvae, thereby determining the potential for using *E. furcellata* for sustainable pest management in the field. [Methods] Laboratory experiments were conducted using insect-rearing chambers, where individual *E. furcellata* of different developmental stages (3rd, 4th, and 5th instar nymphs, and adult females; 1 individual per chamber) were exposed to different densities of early, middle, and late-instar *S. litura* larvae. Predation rates across each predator-prey combination were quantified and correlated. The Holling II functional response model was employed to evaluate predatory capacity, efficiency metrics (attack rate, handling time, a/T_h , and $1/T_h$), and the search efficiency of *E. furcellata* instars for each larval stage of *S. litura*. [Results] The functional responses of all *E. furcellata* developmental stages to all *S. litura* instars were of the Holling type II model. Daily predation maxima on early instar prey ranged from 5.6-7.0 individuals per predator, with predation rates declining by

*资助项目 Supported project: 国家重点研发计划项目 (2022YFC2601500)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 278679535@qq.com; 1135007125@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: 1525995247@qq.com

收稿日期 Received: 2024-04-03; 接受日期 Accepted: 2025-04-08

45.00%-58.33% at elevated densities. 5th instar nymphs had significantly higher predation rates than 3rd instar nymphs under high-density conditions ($P<0.05$). Maximum daily consumption of middle-instar larvae reached 4.6-6.6 individuals, declining by 48.33%-65.00% at elevated prey densities. 5th instar nymphs and adult females outperformed 3rd instar nymphs ($P<0.05$). For late instar prey, maximum predation rates were 4.0-5.4 individuals/d, declining by 50.00%-58.33% at elevated prey densities. 5th instar nymphs and adults outperformed other age classes ($P<0.05$). Composite predatory efficiency indices (a/T_h) and daily maximum consumption rates ($1/T_h$) increased progressively with predator age-class when preying on early and mid-instar prey, whereas for late-instar prey, predatory efficiency could be ranked as follows: 5th instar nymphs > adult females > 4th instar nymphs > 3rd instar nymphs. Search efficiency declined significantly with increasing prey density ($P<0.01$), with adults and 5th instar nymphs exhibiting optimal foraging capacity at equivalent densities. However, the search efficiency of all predator instars declined against older *S. litura* larval instars. **[Conclusion]** Releases of *E. furcellata* should be synchronous, targeting the early larval stages of *S. litura* populations, with the strategic deployment of 5th instar nymphs to ensure sustained control.

Key words *Eocanthecona furcellata*; *Spodoptera litura*; predation ability; predation functional response; search efficiency; field control

斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 是一种农作物重要害虫,具有较强的迁飞能力(郭森等, 2023), 分布广泛, 主要以黄河和长江流域发生严重, 尤其是长江中下游及华南地区。据统计其取食 109 科 389 种寄主植物(罗凯等, 2015)。斜纹夜蛾的天敌昆虫种类丰富, 包括 7 纲 11 目 52 科 169 种, 其中捕食性天敌 85 种, 寄生性天敌 40 种(谢建军等, 1999; 杜浩等, 2021)。目前, 斜纹夜蛾天敌昆虫防治的应用研究较多, 如耶屁步甲 *Pheropsophus jessoensis* (王玉雪等, 2023)、东亚小花蝽 *Orius sauteri* (朱正阳等, 2022)、益蝽 *Picromerus lewisi* (唐艺婷, 2020; 肖峰等, 2021; 杨青青等, 2022)、蠊蝽 *Arma custos* (舒芳靖等, 2020; 任春燕等, 2022)、丽草蛉 *Chrysopa formosa* (王亚南等, 2022)、夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* (陈万斌等, 2021) 和斯氏侧沟茧蜂 *Microplitis similis* (赵琳超, 2021) 等。

叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 属半翅目 Hemiptera 蝽科 Pentatomidae 益蝽亚科 Asopinae 厉蝽属 *Cantheconidea*, 是一种捕食性陆生蝽类昆虫, 是生物防治中重要的天敌昆虫, 喜好取食鳞翅目和鞘翅目的幼虫, 如草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (陈祯等, 2021; 陈岗等, 2022b)、斜纹夜蛾 (陈雪梅等, 2021; 陈岗等, 2022a)、烟青虫 *Helicoverpa assulta* (方亮等, 2022; 游梓翊等, 2023)、东方粘虫 *Mythimna separata* (廖贤斌等, 2020) 等。目前, 我国多

数地区对斜纹夜蛾的防治仍以化学防治为主, 导致斜纹夜蛾对多种药剂具有不同程度的抗药性(刘佳等, 2016), 而叉角厉蝽是夜蛾防治的优势捕食蝽类, 且广泛分布于我国南方地区, 可作为斜纹夜蛾生物防治的推广应用。近年来关于叉角厉蝽防治斜纹夜蛾的研究多为烟草防治应用的探索, 但关于该虫对斜纹夜蛾的捕食能力少有报道, 陈然等(2015)仅研究了叉角厉蝽成虫对斜纹夜蛾 2 龄和 3 龄幼虫的捕食能力, 因而本试验通过系统测定不同发育阶段的叉角厉蝽对斜纹夜蛾 3 个龄期幼虫的捕食效能参数, 旨在明确室内条件下叉角厉蝽不同虫龄对斜纹夜蛾幼虫的功能反应特征及捕食潜能, 为田间防治应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试叉角厉蝽由广州瑞丰生物科技有限公司提供, 在养虫室内[温度 (26.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 70 % $\pm$ 5 %, 光周期 16 L : 8 D]用黄粉虫 *Tenebrio molitor* 进行多代饲养繁殖备用。

供试斜纹夜蛾由广州瑞丰生物科技有限公司提供, 采自室外莧菜 *Amaranthus tricolor* 种植地, 带回实验室后用莧菜饲养多代, 饲养条件与叉角厉蝽一致, 选取健康虫体用于试验。

供试养虫盒由广州瑞丰生物科技有限公司

提供, 规格长 22 cm, 宽 15 cm, 高 8.5 cm。

试验在室内试验室开展, 环境条件: 温度 (26.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期 16L : 8 D。

1.2 试验方法

供试叉角厉蝽设置 3、4 和 5 龄若虫和雌成虫 (羽化后 2 d) 4 个虫龄, 供试斜纹夜蛾幼虫设置低龄 (2 龄)、中龄 (4 龄) 和高龄 (6 龄) 3 个龄期, 并以自然环境下的密度关系设置 6 个梯度, 密度设置 2、4、6、8、10 和 12 头/盒。斜纹夜蛾幼虫与叉角厉蝽各虫龄的每个密度处理组合, 试验共设 42 个组合, 各组合重复 5 次, 且各组试验设置一个同等条件的斜纹夜蛾幼虫的空白对照 (未放入叉角厉蝽, 其余条件相同), 检验斜纹夜蛾幼虫自相残杀或饥饿死亡的情况。

在试验前选取状态良好的 4 个虫龄叉角厉蝽分别单头放置在养虫盒中, 供给足量的斜纹夜蛾幼虫使其饱食后再饥饿处理 24 h, 饥饿处理期间仅放置 1 块吸满水的脱脂棉球供叉角厉蝽补充水分, 使供试叉角厉蝽处于同等饥饿水平。供试斜纹夜蛾各龄幼虫正常喂食。

饥饿处理后, 将 1 头供试叉角厉蝽分别与不同密度、不同虫龄的斜纹夜蛾幼虫放置于洁净的养虫盒中, 养虫盒内放入浸湿的脱脂棉提供水分, 同时提供足量的新鲜苋菜叶供其取食, 防止斜纹夜蛾幼虫自相残杀或饥饿死亡。

24 h 后记录各组合斜纹夜蛾幼虫的存活量, 计算单头叉角厉蝽的日捕食量和捕食率。同时记录单头 4 个虫龄叉角厉蝽捕食完 1 头 3 个虫龄斜纹夜蛾幼虫所需的时间 T_h 。

1.3 数据分析

所有数据均采用 Excel 2020 进行记录统计, 采用 SAS 9.0 软件进行 Holling II 圆盘方程的拟合, 采用 SPSS 26 软件的 Duncan 氏新复极差法对试验数据进行差异显著性分析检验。采用 GraphPad Prism 8.0 软件制图。

捕食率 = (斜纹夜蛾幼虫总数 - 斜纹夜蛾幼虫存活量) / 斜纹夜蛾幼虫总数 $\times 100\%$ 。

试验数据采用 Holling II 圆盘方程: $N_a = aNT / (1 + aT_h N)$ (Holling, 1959) 和搜寻效应方程: $S = a / (1 + aT_h N)$ (丁岩钦, 1994)。

式中 N 为初始斜纹夜蛾幼虫的密度, N_a 为被捕食斜纹夜蛾幼虫的数量, a 为叉角厉蝽对斜纹夜蛾幼虫的瞬时攻击率, T 为试验的总时间, 本试验中 T 设为 1 d, T_h 是叉角厉蝽捕食 1 头斜纹夜蛾幼虫所用的时间, S 为搜寻效应。当斜纹夜蛾幼虫的密度 N 趋近于无穷时, $1/N$ 趋近于 0, 从而得到理论最大日捕食量 $N_{\max} = 1/T_h$ 。

2 结果与分析

2.1 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力

2.1.1 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾低龄幼虫的捕食能力 在试验设定的斜纹夜蛾低龄幼虫密度梯度中, 叉角厉蝽 3、4 和 5 龄若虫和雌成虫均表现出日均捕食量随斜纹夜蛾幼虫密度的升高而增加, 每跨越一级均出现显著的捕食量提升, 直至达到日均捕食量的饱和状态后, 开始随着猎物密度增加而缓慢减少。其中, 叉角厉蝽 3 龄若虫日均捕食量最高为 (5.60 ± 0.25) 头 (8 头/盒), 叉角厉蝽 4 龄若虫日均捕食量最高为 (5.80 ± 0.49) 头 (10 头/盒), 叉角厉蝽 5 龄若虫日均捕食量最高为 (7.00 ± 0.45) 头 (10 头/盒), 叉角厉蝽雌成虫日均捕食量最高为 (6.80 ± 0.58) 头 (8-10 头/盒)。随着斜纹夜蛾幼虫密度的升高, 捕食率下降幅度大小依次为叉角厉蝽 3 龄若虫 (58.33%) > 叉角厉蝽 4 龄若虫 (51.67%) > 叉角厉蝽 5 龄若虫 (46.67%) > 叉角厉蝽雌成虫 (45.00%)。在斜纹夜蛾低龄幼虫密度梯度中, 4 个虫龄的叉角厉蝽捕食率的整体差异并不明显, 在 6-10 头/盒的密度梯度下叉角厉蝽 5 龄若虫的捕食率显著高于 3 龄若虫 ($P < 0.05$) (表 1)。

2.1.2 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾中龄幼虫的捕食能力 在试验设定的斜纹夜蛾中龄幼虫密度梯度中, 叉角厉蝽 3、4 和 5 龄若虫和雌成虫均表现出日均捕食量随斜纹夜蛾幼虫密度的升高而增加, 每跨越一级均出现显著的捕食量

表 1 叉角厉螳对斜纹夜蛾低龄幼虫的捕食能力
Table 1 Predation ability of *Eocanthecona furcellata* on early-instar larvae of *Spodoptera litura*

		幼虫密度 (头/盒) Density of larvae (ind./ chamber)											
发育阶段 Develop- mental stage	亚阶段/ 性别 Sub-stage/ Sex	2			4			6			8		
		日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	捕食率 (%) Predation rate (%)
若虫 Nymph	3 龄 3rd instar	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	3.60±0.25 a	90.00±6.12 a	4.80±0.37 b	80.00±6.20 b	5.60±0.51 a	67.50±5.00 b	5.40±0.40 b	5.00±0.32 a	41.67±2.64 a	
	4 龄 4th instar	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	3.80±0.20 a	95.00±5.00 a	5.20±0.37 ab	86.67±6.24 ab	5.60±0.25 a	70.00±3.06 ab	5.80±0.49 ab	5.80±0.37 a	48.33±4.08 a	
成虫 Adult	5 龄 5th instar	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	4.00±0.00 a	100.00±0.00 a	5.80±0.20 a	96.67±3.33 a	7.00±0.32 a	82.50±3.06 a	7.00±0.45 a	6.40±0.60 a	53.33±5.00 a	
	雌性 Female	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	4.00±0.00 a	100.00±0.00 a	6.00±0.00 a	100.00±0.00 a	6.80±0.58 a	80.00±6.37 ab	6.80±0.58 ab	6.60±0.75 a	55.00±6.24 a	

表中数据为平均值±标准误, 同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan 氏新复极差法检验)。下表同。Data in the table are mean±SE, and followed by the different lowercase letters within a column indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

提升, 直至达到日均捕食量的饱和状态后, 开始随着猎物密度增加而缓慢减少。其中, 叉角厉蝽 3 龄若虫日均捕食量最高为 (4.60 ± 0.51) 头 (8 头/盒), 叉角厉蝽 4 龄若虫日均捕食量最高为 (5.40 ± 0.51) 头 (8 头/盒), 叉角厉蝽 5 龄若虫日均捕食量最高为 (6.60 ± 0.51) 头 (10 头/盒), 叉角厉蝽雌成虫日均捕食量最高为 (6.20 ± 0.37 头) (8-10 头/盒)。随着斜纹夜蛾幼虫密度的升高, 捕食率下降幅度大小依次为叉角厉蝽 3 龄若虫 (65.00%) > 叉角厉蝽 4 龄若虫 (60.00%) > 叉角厉蝽雌成虫 (50.00%) > 叉角厉蝽 5 龄若虫 (48.33%)。在斜纹夜蛾中龄幼虫密度梯度中, 叉角厉蝽 5 龄若虫和雌成虫在 4-12 头/盒的密度梯度中日捕食量和捕食率均显著高于 3 龄若虫 ($P < 0.05$), 叉角厉蝽 4 龄若虫的捕食率与其它 3 个虫龄均没有显著性差异 ($P > 0.05$) (表 2)。

2.1.3 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾高龄幼虫的捕食能力 在试验设定的斜纹夜蛾高龄幼虫密度梯度中, 叉角厉蝽 3、4 和 5 龄若虫和雌成虫均表现出日均捕食量随斜纹夜蛾幼虫密度的升高而增加, 每跨越一级均出现显著的捕食量提升, 直至达到日均捕食量的饱和状态后, 开始随着猎物密度增加而缓慢减少。其中, 叉角厉蝽 3 龄若虫日均捕食量最高为 (4.00 ± 0.45) 头 (8 头/盒), 叉角厉蝽 4 龄若虫日均捕食量最高为 (4.60 ± 0.24) 头 (8 头/盒), 叉角厉蝽 5 龄若虫日均捕食量最高为 (5.40 ± 0.40) 头 (8-10 头/盒), 叉角厉蝽雌成虫日均捕食量最高为 (5.20 ± 0.37) 头 (10 头/盒)。随着斜纹夜蛾幼虫密度的升高, 捕食率下降幅度大小依次为叉角厉蝽雌成虫 (58.33%) > 叉角厉蝽 5 龄若虫 (56.67%) > 叉角厉蝽 4 龄若虫 (55.00%) > 叉角厉蝽 3 龄若虫 (50.00%), 由于叉角厉蝽 3 龄和 4 龄若虫在斜纹夜蛾幼虫密度为 2 头/盒时并未达到 100% 的捕食率, 因此捕食率下降幅度较小。在斜纹夜蛾高龄幼虫密度梯度中, 叉角厉蝽 5 龄若虫和雌成虫在 4-12 头/盒的密度梯度中日捕

食量和捕食率均显著高于 3 龄若虫 ($P < 0.05$), 而叉角厉蝽 4 龄若虫的捕食率与其它 3 个虫龄均没有显著性差异 ($P > 0.05$) (表 3)。

2.2 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾不同虫龄幼虫的捕食功能反应

2.2.1 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾低龄幼虫的捕食功能反应 各龄期叉角厉蝽对斜纹夜蛾低龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 型方程 (表 4)。从反映捕食效能的综合指标 a/T_h 值分析, 叉角厉蝽 3、4 和 5 龄若虫及雌成虫的 a/T_h 值依次为 26.807 6、29.408 2、35.783 7 和 38.475 3, 捕食能力强弱顺序为雌成虫 > 5 龄若虫 > 4 龄若虫 > 3 龄若虫。日最大捕食量 ($1/T_h$) 同样呈现龄期递增规律, 3 龄若虫为 27.100 3 头, 4 龄若虫为 29.154 5 头, 5 龄若虫为 35.461 0 头, 雌成虫为 38.022 8 头。

2.2.2 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾中龄幼虫的捕食功能反应 各龄期叉角厉蝽对斜纹夜蛾中龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 型方程 (表 5)。从反映捕食效能的综合指标 a/T_h 值分析, 叉角厉蝽 3、4 和 5 龄若虫及雌成虫的 a/T_h 值依次为 10.133 4、11.702 0、15.655 3 和 16.151 3, 捕食能力强弱顺序为雌成虫 > 5 龄若虫 > 4 龄若虫 > 3 龄若虫。日最大捕食量 ($1/T_h$) 同样呈现龄期递增规律, 3 龄若虫为 13.477 1 头, 4 龄若虫为 14.326 6 头, 5 龄若虫为 16.977 9 头, 雌成虫为 18.450 2 头。

2.2.3 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾高龄幼虫的捕食功能反应 各龄期叉角厉蝽对斜纹夜蛾高龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 型方程 (表 6)。从反映捕食效能的综合指标 a/T_h 值分析, 叉角厉蝽 3、4 和 5 龄若虫及雌成虫的 a/T_h 值依次为 6.657 1、7.205 1、11.590 7 和 10.950 1, 捕食能力强弱顺序为 5 龄若虫 > 雌成虫 > 4 龄若虫 > 3 龄若虫。日最大捕食量 ($1/T_h$) 的大小顺序为 5 龄若虫 (14.513 8 头) > 雌成虫 (14.245 0 头) > 4 龄若虫 (11.520 7 头) > 3 龄若虫 (9.881 4 头)。

表 2 叉角厉螳对斜纹夜蛾中龄幼虫的捕食能力
Table 2 Predation ability of *Eocanthecona furcellata* on mid-instar larvae of *Spodoptera litura*

发育阶段 Developmental stage	亚阶段/性别 Sub-stage/Sex	幼虫密度 (头/盒) Density of larvae (ind./chamber)											
		2			4			6			8		
		日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	捕食率 (%) Predation rate (%)
若虫 Nymph	3 龄 3rd instar	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	2.60±0.24 b	65.00±6.12 b	4.00±0.32 b	66.67±5.27 b	4.60±0.51 b	57.50±6.37 b	4.20±0.37 c	4.20±0.20 b	35.00±1.67 b	
	4 龄 4th instar	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	3.20±0.37 ab	80.00±9.35 ab	4.60±0.24 ab	76.67±4.08 ab	5.40±0.51 ab	67.50±6.37 ab	5.20±0.37 bc	4.80±0.20 b	40.00±1.67 b	
成虫 Adult	5 龄 5th instar	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	3.80±0.20 a	95.00±5.00 a	5.00±0.32 a	83.33±5.27 a	6.40±0.51 a	80.00±6.37 a	6.60±0.51 a	6.20±0.37 a	51.67±3.12 a	
	雌性 Female	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	3.60±0.24 a	90.00±6.12 a	5.00±0.32 a	83.33±5.27 a	6.20±0.37 a	77.50±4.68 a	6.20±0.37 ab	6.00±0.45 a	50.00±3.73 a	

表 3 叉角厉蝽对斜纹夜蛾高龄幼虫的捕食能力
Table 3 Predation ability of *Eocanthecona furcellata* on late-instar larvae of *Spodoptera litura*

发育阶段 Develop- mental stage	亚阶段/ 性别 Sub-stage/ Sex	幼虫密度 (头/盒) Density of larvae (ind./ chamber)											
		2			4			6			8		
		日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)	捕食率 (%) Predation rate (%)	日捕食量 (头) Daily predation (ind.)
若虫 Nymph	3 龄 3rd instar	1.60±0.24 a	80.00±12.25 a	2.20±0.20 b	55.00±5.00 b	3.60±0.24 b	60.00±4.08 b	4.00±0.45 b	47.50±4.68 b	3.80±0.20 b	38.00±2.00 b	3.60±0.24 b	30.00±2.04 b
	4 龄 4th instar	1.80±0.20 a	90.00±10.00 a	3.00±0.32 ab	75.00±7.91 ab	4.00±0.32 ab	66.67±5.27 ab	4.60±0.24 ab	57.50±3.06 ab	4.40±0.40 ab	44.00±4.00 ab	4.20±0.37 ab	35.00±3.12 ab
成虫 Adult	5 龄 5th instar	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	3.80±0.20 a	95.00±5.00 a	4.60±0.24 a	76.67±4.08 a	5.40±0.40 a	67.50±5.00 a	5.40±0.40 a	54.00±4.00 a	5.20±0.37 a	43.33±3.12 a
	雌性 Female	2.00±0.00 a	100.00±0.00 a	3.40±0.40 a	85.00±10.00 a	4.60±0.24 a	76.67±4.08 a	5.20±0.20 a	65.00±2.50 a	5.20±0.37 a	52.00±3.74 a	5.00±0.45 a	41.67±3.73 a

表 4 叉角厉螳对斜纹夜蛾低龄幼虫的捕食功能反应

Table 4 Predatory functional response of *Eocanthecona furcellata* on early-instar larvae of *Spodoptera litura*

发育阶段 Developmental stage	功能反应方程 Functional response equation	瞬间攻击率 a Instantaneous attack rate	处理时间 T_h (d) Processing time (d)	捕食效能 a/T_h Predation efficiency	日最大捕食量 $1/T_h$ (头) Maximum daily predation (ind.)	R^2	P
3 龄若虫 3rd instar nymph	$N_a=0.989\ 2N/(1+0.036\ 5N)$	0.989 2	0.036 9	26.807 6	27.100 3	0.979 8	<0.000 1
4 龄若虫 4th instar nymph	$N_a=1.008\ 7N/(1+0.034\ 6N)$	1.008 7	0.034 3	29.408 2	29.154 5	0.983 6	<0.000 1
5 龄若虫 5th instar nymph	$N_a=1.009\ 1N/(1+0.028\ 5N)$	1.009 1	0.028 2	35.783 7	35.461 0	0.985 1	<0.000 1
雌成虫 Female adult	$N_a=1.011\ 9N/(1+0.026\ 6N)$	1.011 9	0.026 3	38.475 3	38.022 8	0.986 9	<0.000 1

表 5 叉角厉螳对斜纹夜蛾中龄幼虫的捕食功能反应

Table 5 Predatory functional response of *Eocanthecona furcellata* on mid-instar larvae of *Spodoptera litura*

发育阶段 Developmental stage	功能反应方程 Functional response equation	瞬间攻击率 a Instantaneous attack rate	处理时间 T_h (d) Processing time (d)	捕食效能 a/T_h Predation efficiency	日最大捕食量 $1/T_h$ (头) Maximum daily predation (ind.)	R^2	P
3 龄若虫 3rd instar nymph	$N_a=0.751\ 9N/(1+0.055\ 8N)$	0.751 9	0.074 2	10.133 4	13.477 1	0.987 4	<0.000 1
4 龄若虫 4th instar nymph	$N_a=0.816\ 8N/(1+0.057\ 0N)$	0.816 8	0.069 8	11.702 0	14.326 6	0.978 9	<0.000 1
5 龄若虫 5th instar nymph	$N_a=0.922\ 1N/(1+0.054\ 3N)$	0.922 1	0.058 9	15.655 3	16.977 9	0.985 5	<0.000 1
雌成虫 Female adult	$N_a=0.875\ 4N/(1+0.047\ 4N)$	0.875 4	0.054 2	16.151 3	18.450 2	0.983 3	<0.000 1

表 6 叉角厉螳对斜纹夜蛾高龄幼虫的捕食功能反应

Table 6 Predatory functional response of *Eocanthecona furcellata* on late-instar larvae of *Spodoptera litura*

发育阶段 Developmental stage	功能反应方程 Functional response equation	瞬间攻击率 a Instantaneous attack rate	处理时间 T_h (d) Processing time (d)	捕食效能 a/T_h Predation efficiency	日最大捕食量 $1/T_h$ (头) Maximum daily predation (ind.)	R^2	P
3 龄若虫 3rd instar nymph	$N_a=0.673\ 7N/(1+0.068\ 1N)$	0.673 7	0.101 2	6.657 1	9.881 4	0.984 5	<0.000 1
4 龄若虫 4th instar nymph	$N_a=0.625\ 4N/(1+0.054\ 3N)$	0.625 4	0.086 8	7.205 1	11.520 7	0.990 6	<0.000 1
5 龄若虫 5th instar nymph	$N_a=0.798\ 6N/(1+0.055\ 0N)$	0.798 6	0.068 9	11.590 7	14.513 8	0.988 3	<0.000 1
雌成虫 Female adult	$N_a=0.768\ 7N/(1+0.054\ 0N)$	0.768 7	0.070 2	10.950 1	14.245 0	0.987 5	<0.000 1

2.2.4 不同虫龄叉角厉蝽对斜纹夜蛾不同龄期幼虫的搜寻效应 在斜纹夜蛾低龄幼虫搜寻中, 叉角厉蝽 3 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=0.989\ 2/(1+0.034\ 5N)$, 叉角厉蝽 4 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=1.008\ 7/(1+0.034\ 6N)$, 叉角厉蝽 5 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=1.009\ 1/(1+0.028\ 5N)$, 叉角厉蝽雌成虫的搜寻效应方程为 $S=1.011\ 9/(1+0.026\ 6N)$ 。叉角厉蝽随虫龄增加, 对斜纹夜蛾低龄幼虫的搜寻效应逐步增强, 叉角厉蝽雌成虫表现最优。在斜纹夜蛾中龄幼虫搜寻中, 叉角厉蝽 3 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=0.751\ 9/(1+0.055\ 8N)$, 叉角厉蝽 4 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=0.816\ 8/(1+0.057\ 0N)$, 叉角厉蝽 5 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=0.922\ 1/(1+0.054\ 3N)$,

叉角厉蝽雌成虫的搜寻效应方程为 $S=0.875\ 4/(1+0.047\ 4N)$, 其中叉角厉蝽 5 龄若虫对斜纹夜蛾中龄幼虫的搜寻效应较为突出。在斜纹夜蛾高龄幼虫搜寻中, 叉角厉蝽 3 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=0.673\ 7/(1+0.068\ 1N)$, 叉角厉蝽 4 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=0.625\ 4/(1+0.054\ 3N)$, 叉角厉蝽 5 龄若虫的搜寻效应方程为 $S=0.798\ 6/(1+0.055\ 0N)$, 叉角厉蝽雌成虫的搜寻效应方程为 $S=0.768\ 7/(1+0.054\ 0N)$, 仍以叉角厉蝽 5 龄若虫搜寻效应更具优势。叉角厉蝽对斜纹夜蛾低龄幼虫的搜寻效应整体高于中龄、高龄幼虫, 且随着自身虫龄增长 (尤其是 5 龄若虫和雌成虫), 对不同龄期斜纹夜蛾的搜寻能力有较明显地提升 (图 1: A-C)。

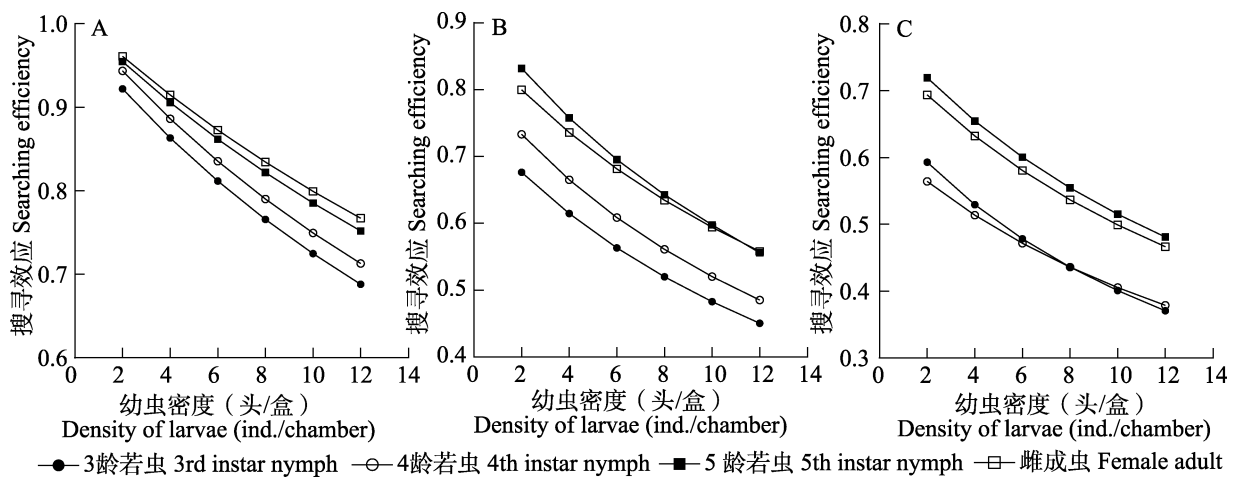


图 1 叉角厉蝽对斜纹夜蛾低龄幼虫 (A)、中龄幼虫 (B) 和高龄幼虫 (C) 的搜寻效应

Fig. 1 Searching efficiency of *Eocanthecona furcellata* on early- (A), mid- (B), and late-instar (C) larvae of *Spodoptera litura*

3 结论与讨论

陈岗等 (2022a) 在大田释放研究中得出叉角厉蝽 3-4 龄若虫对斜纹夜蛾的防治效果最佳, 但本研究结果表明, 叉角厉蝽 3、4 和 5 龄若虫和雌成虫对斜纹夜蛾低龄、中龄、高龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型。在试验设置的密度范围内, 针对低龄幼虫, 叉角厉蝽 5 龄若虫和雌成虫表现出最高捕食效能 (a/T_h 值分别为 35.783 7 和 38.475 3), 日最大捕食量可达 35.461 0-38.022 8 头; 针对中龄幼虫, 叉角厉蝽 5 龄若虫

和雌成虫表现出最高捕食效能 (a/T_h 值分别为 15.655 3 和 16.151 3), 日最大捕食量可达 16.977 9-18.450 2 头; 针对高龄幼虫, 叉角厉蝽 5 龄若虫和雌成虫仍表现出最高捕食效能 (a/T_h 值分别为 11.590 7 和 10.950 1), 日最大捕食量可达 14.245 0-14.513 8 头, 由此可见, 叉角厉蝽 5 龄若虫和雌成虫对斜纹夜蛾有较强的控害能力。搜寻效应是反映捕食者在捕食过程中快速识别、定位猎物的一种特定行为反应 (杜一民等, 2023), 在本试验中, 叉角厉蝽对低龄幼虫的搜寻能力显著高于中高龄幼虫, 且随自身虫龄增长呈递增趋势。因

此,基于叉角厉蝽对低龄幼虫的高效捕食特性及搜寻优势,在田间应用时,建议优先选择在斜纹夜蛾种群处于幼虫早期阶段进行释放。此时害虫体型较小、防御能力较弱,配合叉角厉蝽 5 龄若虫和雌成虫的突出捕食效能和捕食量,可显著提升防控效能,有效抑制害虫种群暴发。考虑田间应用的长效防控,建议选择叉角厉蝽 5 龄若虫,不仅具有较高的防治效率,且后续成虫羽化后依旧具备强效防治能力,若出现虫源距离较远,需 2-3 d 的配送时间的情况,应选择叉角厉蝽 4 龄若虫,避免运输过程中叉角厉蝽 5 龄若虫已羽化为成虫,可延长强效防治的时间。范悦莉(2021)和游梓翊等(2023)的研究表明叉角厉蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾、烟青虫幼虫的捕食效应最强,日最大捕食量最大,陈俊华等(2024)的研究表明叉角厉蝽雌成虫对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的控害能力最强,与本试验得出叉角厉蝽 5 龄若虫和雌成虫具有突出捕食能力的结果一致。

在田间释放天敌昆虫时,自然因素是不可忽视的影响因子,温度和光对天敌昆虫的捕食能力和害虫的生长发育与繁殖有着较显著的影响(郝强等,2016;胡长效等,2019;钟春兰等,2020,2023),进而影响叉角厉蝽搜寻效率等。空间大小和复杂程度也是天敌昆虫捕食效应的重要影响因子(胡长效等,2019)。陈雪梅等(2021)的研究表明,叉角厉蝽释放数量、斜纹夜蛾幼虫密度和寄主植株数量均对叉角厉蝽的搜索效应产生显著的影响。在自然环境中食物链、食物网、生态环境、空间分布等因子之间的相互关系复杂,罗志明等(2014)和马文玲等(2024)在种群竞争研究中可见不同害虫之间存在竞争力的优劣差异,所以多种影响因子的交互搭配会出现不同的数据变化,后续可对寄主植株数量、田间释放面积、害虫分布空间、时间、温度、湿度、多种害虫并存等多因子进行田间捕食效应试验。

参考文献 (References)

Chen G, Cao JD, Fu GR, Ding YS, Hu XD, Ren W, Wu ZY, Dong JC, Xiong YL, Lei Y, Pang D, Wang WL, 2022a. Preliminary study on control effect of different ages and release modes of

Eocanthecona furcellata on *Spodoptera litura* in flue-cured tobacco. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 34(9): 135-139, 145. [陈岗,曹敬东,付国润,丁以纾,胡小东,任伟,吴子云,董继翠,熊轶林,雷杨,庞滇,王文伦, 2022. 叉角厉蝽不同龄期和不同释放方式对烤烟斜纹夜蛾防治效果研究初报. 江西农业学报, 34(9): 135-139, 145.]

Chen G, Cao JD, Fu GR, Fang L, Wu ZY, Wang HG, He WD, Ding YS, Hu XD, Ren W, Xiong YL, Lei Y, 2022b. Preliminary study on control effect of *Eocanthecona furcellata* on *Spodoptera frugiperda* in maize. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 34(7): 82-85. [陈岗,曹敬东,付国润,方亮,吴子云,汪华国,何文德,丁以纾,胡小东,任伟,熊轶林,雷杨, 2022. 叉角厉蝽对玉米草地贪夜蛾防治效果的初报. 江西农业学报, 34(7): 82-85.]

Chen JH, You WC, Xu MF, Chen YY, Lu M, Hou XF, Zhou Z, Liu HM, 2024. Predation ability and efficiency of *Eocanthecona furcellata* against *Helicoverpa armigera* larvae. *Journal of Southern Agriculture*, 55(12): 3507-3516. [陈俊华,尤伟晨,徐孟飞,陈瑶瑶,鲁猛,侯鑫富,周洲,刘红敏, 2024. 叉角厉蝽对棉铃虫幼虫的捕食能力及捕食效率分析. 南方农业学报, 55(12): 3507-3516.]

Chen R, Liang GW, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD, 2015. The functional response of *Catantopidea 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.]

Chen WB, Li YY, Xiang M, Li P, Wang MQ, Zhang LS, 2021. Research progress in mass-rearing and utilization of *Telenomus remus* Nixon. *Plant Protection*, 47(6): 11-20, 48. [陈万斌,李玉艳,向梅,李萍,王孟卿,张礼生, 2021. 夜蛾黑卵蜂人工扩繁及应用研究进展. 植物保护, 47(6): 11-20, 48.]

Chen XM, Gu XH, Xian JD, Zhang LM, Fan YL, Huang ZH, Zhou WB, Zhao JL, Zhang CP, 2021. A study on influence factors of search efficiency of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera) on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in tobacco. *Journal of Environmental Entomology*, 43(1): 224-232. [陈雪梅,谷星慧,洗继东,张立猛,范悦莉,黄智华,周文兵,赵进龙,张翠萍, 2021. 叉角厉蝽对烟草上斜纹夜蛾搜索效率影响因子的研究. 环境昆虫学报, 43(1): 224-232.]

Chen Z, Fu W, Li WB, Fang L, Zhu XS, Li HH, Jiang J, Yu JX, Yang LR, Hu QY, 2021. Predation characteristics of *Eocanthecona furcellata* to *Spodoptera frugiperda*. *China Plant Protection*, 41(5): 5-10, 74. [陈祯,付文,李文标,方亮,朱学松,李海宏,姜静,余菊仙,杨丽蓉,胡乔云, 2021. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾的捕食特性研究. 中国植保导刊, 41(5): 5-10, 74]

Ding YQ, 1994. *Insect Mathematical Ecology*. Beijing: Science Press. 257-264. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 257-264.]

- Du H, Zhao LJ, Zhi JZ, Zhou JS, Liu XM, 2021. Research progress in green control of *Spodoptera litura* based on predation and parasitoidism behaviors in China. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 41(11): 72–78. [杜浩, 赵丽娟, 只佳增, 周劲松, 刘学敏, 2021. 基于捕食和拟寄生现象的国内斜纹夜蛾绿色防控研究进展. 热带农业科学, 41(11): 72–78.]
- Du YM, Chen HX, Cheng GQ, Ouyang ZG, Yu HZ, Lu ZJ, 2023. Functional response and prey preference of beautiful lacewing *Chrysopa formosa* to adult of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*. *Journal of Plant Protection*, 50(4): 1025–1032. [杜一民, 陈哈馨, 程高祺, 欧阳智刚, 余海中, 卢占军, 2023. 丽草蛉对柑橘木虱成虫的捕食功能反应及捕食偏好. 植物保护学报, 50(4): 1025–1032.]
- Fan YL, 2021. The research of the controlling effect on *Spodoptera frugiperda* (Smith) by *Eocanthecona furcellata* (Wolff). Master dissertation. Guangzhou: South China Agricultural University. [范悦莉, 2021. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾的控制作用研究. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学.]
- Fang L, Yuan JG, Fu GR, Chen G, Wu ZY, Chai YX, Li XL, Ren W, Li YY, Liu H, 2022. Control capacity of *Eocanthecona furcellata* to *Helicoverpa assulta* and its colonization preference. *Phytomedicine*, 1(6): 89–96. [方亮, 苑金戈, 付国润, 陈岗, 吴子云, 柴云霞, 李学林, 任伟, 李亚迎, 刘怀, 2022. 叉角厉蝽对烟青虫的控害能力及烟田定殖潜力研究. 植物医学, 1(6): 89–96.]
- Guo S, Li LL, Liu SH, Cui HY, Guo WX, Song YY, Yu Y, Men XY, Yin SY, 2023. Population and migration trajectory of nine Noctuidae species in the transitional period between northward and southward migration. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(6): 1700–1714. [郭森, 李丽莉, 吕素洪, 崔洪莹, 郭文秀, 宋莹莹, 于毅, 门兴元, 尹淑艳, 2023. 在北迁与南迁更替期九种夜蛾的种群结构与迁飞轨迹分析. 应用昆虫学报, 60(6): 1700–1714.]
- Hao Q, Huang Q, Liang WB, Gong CW, Wang XG, 2016. Age-stage two-sex life tables of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 59(6): 654–662. [郝强, 黄倩, 梁炜博, 贡常委, 王学贵, 2016. 不同温度下斜纹夜蛾的两性生命表. 昆虫学报, 59(6): 654–662.]
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385–398.
- Hu CX, Cao D, Xu WT, 2019. Effect of different temperatures and spatial scales on predation of *Coccis hesperidum* by *Propylaea japonica*. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 48(12): 73–78. [胡长效, 曹丹, 徐万泰, 2019. 不同温度和空间对龟纹瓢虫捕食褐软蚧的影响. 河南农业科学, 48(12): 73–78.]
- Liao XB, Gao P, Zhao H, Xie YH, Chen YQ, Wang ZJ, Chen B, Wu GX, Gao X, 2020. Predatory function response of adult of *Eocanthecona furcellata* (Wolff) to the larvae of *Mythimna separata* (Walker). *Journal of Southern Agriculture*, 51(8): 1992–1997. [廖贤斌, 高平, 赵航, 谢永辉, 陈雅琼, 王志江, 陈斌, 吴国星, 高熹, 2020. 叉角厉蝽成虫对粘虫幼虫的捕食功能反应. 南方农业学报, 51(8): 1992–1997.]
- Liu J, Zhou Y, Zhu H, Ma HH, Deng XL, Zhou XM, Bai LY, 2016. Monitoring of insecticide resistance in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) and the effect of indoxacarb on its detoxification enzymes. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1254–1262. [刘佳, 周勇, 朱航, 马海昊, 邓希乐, 周小毛, 柏连阳, 2016. 斜纹夜蛾抗药性监测及茚虫威对其解毒代谢酶的影响. 昆虫学报, 59(11): 1254–1262.]
- Luo K, Li ZS, Gao Y, Li GL, Yin SS, Zhou HG, Luo RS, Yao ZJ, 2015. Advances in biological control research of *Spodoptera litura* Fabricius. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 43(10): 126–129. [罗凯, 李泽生, 高燕, 李桂琳, 殷山山, 周侯光, 罗仁山, 姚志军, 2015. 斜纹夜蛾生物防治研究进展. 安徽农业科学, 43(10): 126–129.]
- Luo ZM, Shen K, Huang YK, Li WF, Yin J, Zhang RY, Wang XY, Dan HL, 2014. The ecological niches of *Sesamia inferens* Walker and *Argyroplote schistaceana* Snellen and their interspecific competition on sugarcane. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 1046–1051. [罗志明, 申科, 黄应昆, 李文凤, 尹炯, 张荣跃, 王晓燕, 单红丽, 2014. 大螟和黄螟在蔗苗上的生态位及其种间竞争. 应用昆虫学报, 51(4): 1046–1051.]
- Ma WL, Yang DH, Fan HZ, Sheng CW, Hu F, Yang B, Cao HQ, Wang GR, Jiang XC, 2024. The difference of intra- and inter-specific agonistic behaviors between *Spodoptera frugiperda* and *Mythimna separata*. *Plant Protection*, 50(5): 158–170. [马文玲, 杨灯海, 范恒喆, 盛成旺, 胡飞, 杨斌, 操海群, 王桂荣, 蒋兴川, 2024. 草地贪夜蛾与东方黏虫的种内及种间斗争行为差异研究. 植物保护, 50(5): 158–170.]
- 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——蝽蟊的研究进展. 中国农学通报, 38(12): 100–109.]
- Shu FJ, Bai JS, Yu JH, Song ZJ, Zhang QZ, 2020. Preliminary investigation on the control of *Spodoptera litura* with stinkbug released in the field. *The Farmers Consultant*, 2020(21): 59–60. [舒芳靖, 白建淞, 余继红, 宋泽军, 张庆珠, 2020. 田间释放蝽蟊防治斜纹夜蛾初勘. 农家参谋, 2020(21): 59–60.]
- Tang YT, 2020. Study on biological control potential of yi stinkbug, a new natural enemy. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [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.]

- Wang YN, Li P, He WW, Zhang MS, Wang MQ, Mao JJ, Zhang LS, Li YY, 2022. Predation of the eggs and young larvae of *Spodoptera litura* by the third instar larvae of *Chrysopa formosa*. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(2): 321–327. [王亚南, 李萍, 贺玮玮, 张茂森, 王孟卿, 毛建军, 张礼生, 李玉艳, 2022. 丽草蛉三龄幼虫对斜纹夜蛾卵及低龄幼虫的捕食作用. 中国生物防治学报, 38(2): 321–327.]
- Wang YX, Zhang HR, Xia PL, Chu LY, Li JP, Zheng HB, Zheng YL, Zhang JM, Yu YH, 2023. Predation function and dispersal ability of *Pheropsophus jessoensis* against *Spodoptera litura*. *Journal of Southern Agriculture*, 54(12): 3610–3618. [王玉雪, 张浩然, 夏鹏亮, 楚龙燕, 李建平, 郑慧彬, 郑玉铃, 张建民, 于永浩, 2023. 耶气步甲对斜纹夜蛾的捕食功能及其扩散能力研究. 南方农业学报, 54(12): 3610–3618.]
- Xiao F, Tian H, Xiao DB, Chen WL, 2021. Predation function of *Picromerus lewisi* (Scott) on the 3rd instar larva of *Spodoptera litura* (Fabricius). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 40(6): 66–70. [肖峰, 田翊, 肖德波, 陈文龙, 2021. 益蝽对斜纹夜蛾 3 龄幼虫的捕食作用研究. 山地农业生物学报, 40(6): 66–70.]
- Xie JJ, Hu MY, Xu ZF, 1999. Matural enemies and biological control of *Spodoptera litura* Fabricius. *Natural Enemies of Insects*, 21(2): 82–92. [谢建军, 胡美英, 许再福, 1999. 斜纹夜蛾的天敌及其生物防治. 昆虫天敌, 21(2): 82–92.]
- Yang QQ, Chen G, Fang L, Wu ZY, Ding YS, Hu XD, Li WB, Kong CX, 2022. Evaluation of predation ability of *Picromerus lewisi* to *Spodoptera litura* larvae. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 50(9): 140–142. [杨青青, 陈岗, 方亮, 吴子云, 丁以纾, 胡小东, 李文标, 孔垂旭, 2022. 益蝽对烟草斜纹夜蛾幼虫的捕食能力评价. 安徽农业科学, 50(9): 140–142.]
- You ZY, Pu XM, Liu PP, Zhou TY, Sun Z, Deng HB, 2023. Analysis of predatory functional responses of different stages of *Eocanthecona furcellata* to *Heliothis assulta*. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 35(2): 110–115. [游梓翊, 蒲小明, 刘平平, 周天宇, 孙郑, 邓海滨, 2023. 不同虫态叉角厉蝽对烟青虫捕食功能反应的分析. 江西农业学报, 35(2): 110–115.]
- Zhao LC, 2021. Selection behavior of *Spodoptera litura* and *Aphis skirjabini* to Chinese cabbage and analysis of volatile components in Chinese cabbage. Master dissertation. Changsha: Hunan Agricultural University. [赵琳超, 2021. 斜纹夜蛾与斯氏侧沟蚱蜂对白菜的选择行为及白菜挥发物成分分析. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.]
- Zhong CL, Chen SH, Zhou XM, Weng RY, Xiao GQ, Zheng HH, Tu XY, 2020. Effects of 5h LED light of different wavelengths in scotophase on the growth, development and reproduction of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(12): 1490–1496. [钟春兰, 陈苏泓, 周小妹, 翁如玉, 肖国权, 郑欢欢, 涂小云, 2020. 暗期 5 h 不同波长 LED 光照对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 63(12): 1490–1496.]
- Zhong CL, Zhu DF, Cheng YM, Gong HR, Cao LZ, Huang SD, Rao JL, Xu HR, Tu XY, 2023. Effects of exposure to different LED lights during the scotophase on the growth, development and reproduction of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(5): 1451–1457. [钟春兰, 朱地福, 程禹滕, 龚慧蓉, 曹玲珍, 黄少迪, 饶嘉玲, 徐鸿儒, 涂小云, 2023. 暗期不同 LED 光转换处理对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的影响. 应用昆虫学报, 60(5): 1451–1457.]
- Zhu ZY, Di N, Zhang F, Xu ZG, Wang S, 2022. Research progress and prospect of minute pirate bug *Orius sauteri*. *Journal of Plant Protection*, 49(6): 1551–1564. [朱正阳, 邸宁, 张帆, 徐志刚, 王甦, 2022. 天敌昆虫东亚小花蝽研究进展与展望. 植物保护学报, 49(6): 1551–1564.]