

侧刺蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力评价*

覃江梅** 黄 芊 蔡晓燕 张 桦 潘启寿 陈红松*** 覃 武***

(广西农业科学院植物保护研究所, 农业农村部华南果蔬绿色防控重点实验室,
广西作物病虫害生物学重点实验室, 南宁 530007)

摘 要 【目的】评价侧刺蝽 *Andrallus spinidens* 对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 3 龄幼虫的捕食功能, 以明确侧刺蝽对草地贪夜蛾的控害能力。【方法】在室内条件下设置不同密度的草地贪夜蛾 3 龄幼虫供侧刺蝽捕食, 统计侧刺蝽 3-5 龄若虫及成虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食量, 研究侧刺蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食功能反应、搜寻效应及自身密度干扰作用。【结果】在设定条件下, 不同龄期侧刺蝽的日平均捕食量随猎物密度增加总体上呈上升趋势, 5 龄若虫的捕食量最大, 不同龄期侧刺蝽的捕食功能反应均表现为 Holling II 功能反应。功能反应参数表明, 5 龄若虫的捕食能力最强, 雄成虫的捕食能力最弱, a/T_h 值分别为 41.241 和 14.519, 4 龄若虫的处理时间为 0.010 d, 明显短于其他龄期。随着猎物密度增加, 侧刺蝽的搜寻效应总体上呈下降趋势, 干扰作用与侧刺蝽自身密度呈正相关。【结论】侧刺蝽 5 龄若虫和成虫 (雌) 食量大、捕食能力强, 可作为有效防控草地贪夜蛾种群暴发的备选天敌。

关键词 侧刺蝽; 草地贪夜蛾; 捕食功能; 搜寻效应

Predation by *Andrallus spinidens* on 3rd instar *Spodoptera frugiperda* larvae

QIN Jiang-Mei** HUANG Qian CAI Xiao-Yan ZHANG Hua
PAN Qi-Shou CHEN Hong-Song*** QIN Wu***

(Plant Protection Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Science, Key Laboratory of Green Prevention and Control on Fruits and Vegetables in South China Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangxi Key Laboratory of Biology for Crop Diseases and Insect Pests, Nanning 530007, China)

Abstract 【Objectives】To investigate predation by *Andrallus spinidens* on 3rd instar *Spodoptera frugiperda* larvae and thereby determine the potential of using *A. spinidens* as a biological control for *S. frugiperda*. 【Methods】Third instar *S. frugiperda* larvae were randomly assigned to different density treatment groups in the laboratory and the number of larvae consumed by 3rd to 5th instar *A. spinidens* nymphs and adults was measured and compared. The functional response, search effect and the interference effect of *A. spinidens* density were also estimated. 【Results】Under the set conditions, the daily average predation of *A. spinidens* at different instars showed an overall increasing trend with the increase of prey density, and the predation amount of 5th instar nymphs was the largest, and the predation functional response of *A. spinidens* at different instars showed a Holling II functional response. The functional response parameters showed that the predatory ability of the 5th instar nymphs was the strongest, and the predatory ability of the male adults was the weakest, with a/T_h values of 41.241 and 14.519, respectively. The handling time of the 4th instar nymphs was 0.010 d, which was obviously shorter than that of other instars. With the increase of prey density, the search efficiency of decreased in general, and intraspecific interference was positively correlated with the density of *A. spinidens*. 【Conclusion】The 5th instar nymphs and adults (female) of *A. spinidens* have large food intake and strong predation ability, and can be used as alternative natural enemies to effectively control outbreaks of *S. frugiperda*.

Key words *Andrallus spinidens*; *Spodoptera frugiperda*; predation function; searching effect

*资助项目 Supported projects: 广西自然科学基金 (2021GXNSFBA196013; 2020GXNSFAA159063); 广西农业科学院基本科研业务专项 (桂农科 2021YT076); 广西作物病虫害生物学重点实验室系统课题 (17-259-47-ST-4)

**第一作者 First author, E-mail: 1216841114@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: chenhongsong2061@163.com; 2298500290@qq.com

收稿日期 Received: 2022-01-04; 接受日期 Accepted: 2022-08-22

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 是一种极具破坏性的入侵害虫。草地贪夜蛾无滞育现象,在条件适宜的地区可周年繁殖(谢殿杰等, 2021)。根据常年监测数据推测,草地贪夜蛾在周年繁殖区每年可发生 11 代(覃武等, 2021),且食性杂,可为害包括水稻、玉米、小麦及高粱等重要粮食作物在内的 300 余种植物,喜食作物幼嫩部位,造成作物断苗、缺苗、品质下降、产量降低甚至绝产(吴孔明, 2020)。草地贪夜蛾入侵我国后,各级农业部门对该害虫高度重视,立即开展了针对该害虫的应急防控,并取得一定成效,但该虫已在我国定殖,且对多种化学农药产生了不同程度的抗性(秦梦真等, 2020),因此,采用生物防治等绿色防控措施,对于草地贪夜蛾的持续防控具有重要意义。

草地贪夜蛾天敌种类丰富,据陈万斌等(2019)统计,目前已报道的草地贪夜蛾寄生性天敌共 206 种,捕食性天敌共 44 种。目前国内外对该虫寄生性天敌的应用研究较多,如夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* (Salazar-Mendoza *et al.*, 2020; 谢丽玲等, 2022)、短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* (Figueiredo *et al.*, 2015) 和 *Trichogramma atopovirilia* (Jaraleño-Teniente *et al.*, 2021) 等寄生蜂的应用。捕食性天敌昆虫在草地贪夜蛾的防治中也起着不可忽视的作用,特别是捕食性蝽类,其捕食能力强、猎物范围广、食量大,可用于生物防治的前景广阔(唐璞等, 2019; 唐艺婷等, 2019)。侧刺蝽 *Andrallus spinidens* (半翅目 Hemiptera: 蝽科 Pentatomidae),是多种鳞翅目、鞘翅目和膜翅目害虫幼虫的捕食性天敌(Shintani *et al.*, 2010),在水稻等多种作物中广泛分布(Shanker *et al.*, 2017)。该蝽发育历期短、繁殖能力强,从卵到成虫的平均发育历期为 21 d,单雌产卵量在 259 粒左右(Shanker *et al.*, 2017)。因此,侧刺蝽是极具大规模开发利用的潜在生物防治资源(Manley, 1982)。

Shylesha 和 Sravika (2018) 在印度有机玉米田中观察到不同发育阶段侧刺蝽捕食草地贪夜

蛾幼虫。笔者在广西进行草地贪夜蛾大田防控试验时,也发现侧刺蝽捕食不同虫态的草地贪夜蛾。目前,国内对叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata* 等捕食蝽的研究相对较多(范悦莉等, 2019; 唐敏等, 2019),而关于侧刺蝽的研究尚少,为了量化侧刺蝽对草地贪夜蛾的控制效果,有必要评估不同虫态侧刺蝽对草地贪夜蛾幼虫不同密度的捕食功能反应,探明室内条件下不同虫态侧刺蝽对草地贪夜蛾幼虫的控害能力,为侧刺蝽的人工饲养及田间应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试昆虫:草地贪夜蛾来自广西农业科学院植物保护研究所入侵物种防控团队养虫室,饲喂植物为玉米苗,饲养温度(26 ± 1)℃、相对湿度($70\pm 5\%$)、光周期 14 L:10 D,选择发育良好的幼虫供试。侧刺蝽采自广西南宁市武鸣区广西农业科学院里建科研基地玉米试验田,带回试验室后用草地贪夜蛾幼虫饲养多代,饲养条件同草地贪夜蛾。

供试植物:玉米,品种为桂单 162,种子购于广西兆和种业有限公司,播种于上口口径 14.5 cm、底径 10 cm、高 12.5 cm 的育苗盆中,每盆 40-50 粒,待苗长至 3-5 叶时取出供试。

供试养虫盒:上口口径 15 cm,底径 9 cm,高 10 cm 的透明塑料盒,盒盖开洞(直径 5 cm),并用 120 目尼龙纱网胶封,自制成供试养虫盒。

1.2 侧刺蝽对草地贪夜蛾的捕食功能反应

按 10、20、30、40、50 和 60 头/盒密度设置草地贪夜蛾 3 龄幼虫。试验前将侧刺蝽放置在养虫盒内饥饿处理 24 h,期间放入一小块蘸满水的棉球供侧刺蝽补充水分。按设计密度将草地贪夜蛾 3 龄幼虫、经 24 h 后饥饿处理的单头侧刺蝽及玉米叶一起放入养虫盒内。每个养虫盒为 1 个处理,每处理 10 次重复,24 h 后记录各养虫盒内草地贪夜蛾幼虫的存活数量。

利用 Holling II 圆盘方程对试验统计得到的

不同密度下草地贪夜蛾 3 龄幼虫的被捕食量进行拟合, 方程为 $N_e = aNT / (1 + aT_h N)$ (Holling, 1959), N_e 表示被捕食的草地贪夜蛾幼虫数量, a 表示瞬时攻击率, N 表示草地贪夜蛾幼虫密度, T 表示侧刺蝽搜寻猎物的总时间 ($T=1$ d), T_h 为侧刺蝽捕食单头草地贪夜蛾幼虫所用的时间。 a/T_h 是一个综合指标, 值越大, 代表侧刺蝽控害能力越强。搜寻效应方程为 $S = a / (1 + aT_h N)$ (丁岩钦, 1994), 式中 S 是搜寻效应, 其它参数与圆盘方程相同。

1.3 干扰反应

侧刺蝽成虫和若虫经 24 h 饥饿处理后, 按 1、2、3、4 和 5 头/盒各分成 5 组, 然后将 50 头草地贪夜蛾 3 龄幼虫连同新鲜玉米叶分别放入不同密度侧刺蝽养虫盒中。每组侧刺蝽视为 1 个处理, 每个处理 5 次重复, 24 h 后记录每组草地贪夜蛾幼虫被捕食数量, 计算侧刺蝽的捕食效果。侧刺蝽的捕食作用率通过方程 $E = N_e / NP$ 计算, N_e 代表被捕食的草地贪夜蛾幼虫总数, N 为草地贪夜蛾幼虫密度, P 为侧刺蝽密度。由上述方程计算出 E 后, 代入干扰反应 Hassell 模型方程

$E = QP^{-m}$ (Hassell and Varley, 1969), 计算出搜寻常数 Q 和干扰常数 m 。

1.4 数据处理

利用 Excel 2010 和 SPSS 21.0 软件对试验数据进行整理、分析及作图, 运用 Duncan's 新复极差法进行方差分析及差异显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同龄期侧刺蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食量

在较低猎物密度范围内 (10-30 头/盒), 总体上不同龄期侧刺蝽的日均捕食量呈上升趋势, 当猎物密度达到 40 头/盒后, 侧刺蝽的日均捕食量趋于饱和 (表 1)。3 龄若虫和 4 龄若虫的捕食量介于 14.4-17.4 头之间; 5 龄若虫及雌成虫捕食量介于 18.6-21.5 头之间; 雄成虫捕食量介于 10.6-11.4 头之间。在猎物充足的情况下, 侧刺蝽 5 龄若虫的日均捕食量最高, 其次为雌成虫, 雄成虫的捕食量最低 (表 1)。

表 1 侧刺蝽的日均捕食量
Table 1 Average daily predation of *Andrallus spinidens*

侧刺蝽 <i>A. spinidens</i>	草地贪夜蛾 3 龄幼虫密度 (头/盒) Density of the 3rd instar larvae of <i>S. frugiperda</i> (individual per box)					
	10	20	30	40	50	60
3 龄 3rd instar	4.30±0.37 c	4.50±0.50 c	10.10±0.89 b	14.70±1.19 a	15.30±1.2 6a	14.40±1.30 a
4 龄 4th instar	5.30±0.58 c	5.70±0.30 c	7.70±1.14 c	14.40±1.30 b	17.40±1.89 a	16.60±1.21 ab
5 龄 5th instar	5.20±0.49 c	7.40±0.98 c	11.70±0.88 b	21.50±1.81 a	20.90±1.43 a	20.80±1.21 a
雌成虫 Female adult	8.70±0.52 b	11.10±0.88 b	11.80±0.61 b	18.60±1.08 a	20.90±1.43 a	18.70±1.77 a
雄成虫 Male adult	6.20±0.42 c	7.90±0.66 bc	9.70±1.37 ab	10.60±1.03 a	11.40±0.84 a	11.10±0.57 a

表中数据为平均值 ± 标准误, 同行数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著 (Duncan's 新复极差法检验)。
Data are mean ± SE, and followed by different letters within the same row are significantly different at $P < 0.05$ level by Duncan's multiple range test.

2.2 不同龄期侧刺蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力

从表 2 可看出, 侧刺蝽 3-5 龄若虫和成虫对草地贪夜蛾幼虫具有很强的捕食能力, 捕食功能

反应均表现为 Holling II 功能反应。侧刺蝽 4 龄若虫所需处理时间最短, 为 0.010 d, 其日最大捕食量 (96.154 头) 较侧刺蝽其他龄期若虫以及雌、雄成虫高。从综合指标 a/T_h 值看, 侧刺蝽 3-5 龄若虫和成虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食

表 2 侧刺蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食功能反应参数
Table 2 Functional response parameters of *Andrallus spinidens* to the 3rd larvae of *Spodoptera frugiperda*

侧刺蝽 <i>A. spinidens</i>	功能反应方程 Functional response equation	决定系数 R^2 Coefficient of determination	瞬时攻击率 a Instant attack rate	处理时间 T_h Handling time	日最大捕食量	捕食能力 a/T_h Predation ability
					$1/T_h$ Daily maximum predation amount	
3 龄 3rd instar	$N_a=0.428N/1+0.010N$	0.869	0.428	0.023	43.478	18.617
4 龄 4th instar	$N_a=0.370N/1+0.004N$	0.887	0.370	0.010	96.154	35.548
5 龄 5th instar	$N_a=0.549N/1+0.007N$	0.878	0.549	0.013	75.188	41.241
雌成虫 Female adult	$N_a=0.917N/1+0.029N$	0.838	0.917	0.032	31.746	29.111
雄成虫 Male adult	$N_a=1.039N/1+0.072N$	0.974	1.039	0.074	13.986	14.519

能力大小依次为：5 龄若虫（41.241）> 4 龄若虫（35.548）> 雌成虫（29.111）> 3 龄若虫（18.617）> 雄成虫（14.519）。

2.3 侧刺蝽对草地贪夜蛾幼虫的搜寻效应

所有处理的猎物密度与搜寻效应之间的关系如图 1 所示。在图中，侧刺蝽的搜寻效应随着猎物密度的增加总体上呈下降趋势，侧刺蝽雌、雄成虫搜寻效应降低的幅度较若虫大，在若虫中，4 龄若虫捕食草地贪夜蛾 3 龄幼虫时搜寻效应降低的幅度最小。当草地贪夜蛾 3 龄幼虫的密度为 10 头/盒时，侧刺蝽 3-5 龄若虫及雌、雄成虫的搜寻效应最高，分别为 0.390、0.356、0.511、0.712 和 0.596；当草地贪夜蛾 3 龄幼虫的密度为 60 头/盒时，侧刺蝽 3-5 龄若虫、雌成虫、雄成

虫的搜寻效应最低，分别为 0.269、0.300、0.382、0.336 和 0.190。

2.4 侧刺蝽自身密度的干扰反应

草地贪夜蛾 3 龄幼虫密度固定为 50 头/盒时，侧刺蝽个体密度与草地贪夜蛾 3 龄幼虫的被捕食量正相关，而平均捕食量和捕食作用率随着捕食者自身密度的增加呈下降趋势（表 3）。根据 Hassell 方程，拟合结果如表 3 所示，侧刺蝽虫龄越大干扰系数越小，雌成虫的干扰系数最小，为 1.031。

3 讨论

侧刺蝽广泛分布于世界各地的多种作物上，为田间鳞翅目害虫潜在的生防天敌（Manley，1982）。本文评价了侧刺蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食能力，对开发利用本土捕食性天敌资源控制草地贪夜蛾种群数量，科学指导草地贪夜蛾的持续防控具有重要意义。

本文研究结果表明侧刺蝽 3-5 龄若虫和成虫控制草地贪夜蛾 3 龄幼虫的能力均较强，5 龄若虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的日均捕食量最大，为 21.5 头，高于其他龄期及成虫的捕食量。Shanker 等（2017）研究侧刺蝽捕食禾灰翅夜蛾 *Spodoptera mauritia* 3 龄幼虫的结果也显示侧刺蝽 5 龄若虫的捕食量最大，与叉角厉蝽、益蝽 *Picromerus lewisi* 5 龄若虫对猎物的捕食量最高的结果相似，这可能与 5 龄若虫羽化前的营养物

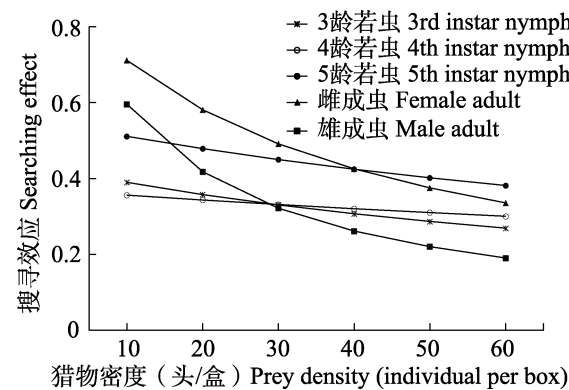


图 1 不同龄期侧刺蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的搜寻效应

Fig. 1 The searching efficiency of different ages of *Andrallus spinidens* on the 3rd larvae of *Spodoptera frugiperda*

表 3 侧刺蝽自身密度对捕食草地贪夜蛾 3 龄幼虫的干扰反应参数
Table 3 Interfere response parameters of *Andrallus spinidens* density to the 3rd larvae of *Spodoptera frugiperda*

侧刺蝽 <i>A. spinidens</i>	Hassell 模型方程 Hassell equation	决定系数 R^2 Coefficient of determination	搜寻常数 Q Search constant	干扰系数 m Interference factor
3 龄 3rd instar	$E=0.078P^{-1.751}$	0.972	0.078	1.751
4 龄 4th instar	$E=0.099P^{-1.689}$	0.978	0.099	1.689
5 龄 5th instar	$E=0.111P^{-1.471}$	0.973	0.111	1.471
雌成虫 Female adult	$E=0.163P^{-1.031}$	0.910	0.163	1.031
雄成虫 Male adult	$E=0.105P^{-1.459}$	0.942	0.105	1.459

质和能量需求有关（唐敏等，2019；王燕等，2020）。侧刺蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食量高于成虫，且捕食期更长，释放后能够控制的害虫量更多，因此在田间应用侧刺蝽时，应优先选择释放其 5 龄若虫。本研究发现，在猎物充足的情况下，性别影响侧刺蝽对猎物的平均捕食量，雌虫优势显著，这可能是受到捕食者自身体型的影响（李少卡等，2022），雄虫体型小于雌虫，因而营养和能量需求也相对较小，且雄虫搜索雌虫交尾需耗费大量时间，用于搜索猎物的时间较雌虫少（孙丽娟等，2017），因此捕食到的猎物数量也相对较少。

天敌昆虫对猎物捕食能力的强弱决定着生物防治的成败（李善光等，2020），而捕食功能反应是用于评价天敌捕食能力的重要途径（孙丽娟等，2013）。Holling II 捕食功能反应模型是许多捕食天敌最典型的模型，多种捕食蝽对害虫的捕食功能反应均为该模型（唐敏等，2019；王燕等，2019；孙贝贝等，2020）。本研究中，侧刺蝽 3-5 龄若虫及成虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食功能反应与其他捕食蝽一致，表现为 Holling II 功能反应。比较侧刺蝽若虫的捕食能力，发现随着龄期的增大若虫的捕食能力增强，3 龄若虫捕食能力最弱（ a/T_h 为 18.617），5 龄若虫最强（ a/T_h 为 41.241）。李少卡等（2022）及黄海艺等（2020）研究发现天敌的控害能力随着龄期的增长而增强，成虫的捕食能力强于若虫。但在本研究中，侧刺蝽成虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食能力较侧刺蝽高龄若虫弱。出现这种现象的原因可能有以下两点：一是侧刺蝽成虫

对猎物的处置时间长；二是侧刺蝽成虫的移动速度比高龄若虫慢，这两种因素影响了成虫的捕食效率，因而计算得到成虫的捕食能力弱于高龄若虫。本研究中，不管是侧刺蝽若虫还是成虫，均对草地贪夜蛾 3 龄幼虫有较高的致死率，这对于草地贪夜蛾的防控非常有利。

本研究结果中，草地贪夜蛾幼虫密度增加，不同虫态侧刺蝽的搜寻效应总体上呈下降趋势，这与普通草蛉 *Chrysoperla carnea* 幼虫捕食麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* 和麦长管蚜 *Sitobion avenae*（白微微等，2021）、蠋蝽捕食棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 3 龄幼虫（孙婧婧等，2021）、六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* 捕食黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 若虫（李善光等，2020）等研究中表现出的规律相同。比较不同龄期侧刺蝽的搜寻效应发现，猎物密度为 10 头/盒时，不同龄期侧刺蝽的搜寻效应值最高，随着猎物的增多搜寻效应呈下降趋势，其中成虫搜寻效应下降的幅度较若虫大，说明成虫受猎物密度的影响较若虫大。因此，在田间防控时还应选择害虫密度较低时释放天敌，以充分发挥其搜寻能力。

捕食者的寻找效应与其种群密度关系密切，研究捕食者自身密度干扰效应可为天敌在田间的最佳释放量提供参考（侯峥嵘等，2020）。报道表明，同一空间内，同一物种间存在种内竞争，天敌的捕食作用率会随着自身密度的增加而降低（曹雯星等，2020）。本研究也发现了这一现象，即随着侧刺蝽个体密度增加，捕食作用率逐渐降低，这说明自身密度的增加使得干扰作用随

之上升。Hassell 模型方程拟合得到的结果显示,侧刺蝽虫龄越高干扰系数越小,雌成虫的干扰系数最小,这可能与成虫单独捕食的习性相关。

本文通过评估,明确了侧刺蝽 3-5 龄若虫及成虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食能力及自身密度对其捕食作用率的影响,为今后田间释放侧刺蝽生物防治草地贪夜蛾提供了科学参考。侧刺蝽除对草地贪夜蛾具有很强的捕食能力,对二化螟 *Chilo suppressalis*、稻螟蛉 *Naranga aeneas*、棉铃虫、禾灰翅夜蛾及斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 等鳞翅目害虫也有很好的控制作用 (Mohaghegh and Najafi, 2003; Shanker *et al.*, 2017; Shylesha and Sravika, 2018), 其不仅具有宽广的取食范围,还具有对害虫连续捕食的能力和易饲养等特点,规模化人工繁殖和野外释放的潜力巨大。天敌对猎物的捕食效率和寻找效应不仅与害虫和天敌的种群密度相关,还与周围环境及气候因素密切相关,而本研究是在室内限定条件下完成,与田间复杂环境下得到的结果可能存在差异,因此还需要进一步探究侧刺蝽在田间对草地贪夜蛾的实际控制能力。

参考文献 (References)

- Bai WW, Gao HF, Zhang H, Yang AP, Ahtam U, Ding RF, Li GK, 2021. Predatory functional response and search efficiency of *Chrysoperla carnea* (Stephens) larvae with respect to the aphids *Schizaphis graminum* (Rondani) and *Sitobion avenae* (Fabricius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(2): 408–414. [白微微, 高海峰, 张航, 杨安沛, 阿克旦·吾外士, 丁瑞丰, 李广阔, 2021. 普通草蛉幼虫对麦二叉蚜和麦长管蚜的捕食功能反应与搜寻效应. *应用昆虫学报*, 58(2): 408–414.]
- Cao WX, Zhang T, Yang H, Xu ZQ, Gu JJ, Chen HX, 2020. Evaluation of predatory function of *Chrysopa pallens* to larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 839–844. [曹雯星, 张韬, 杨欢, 徐自强, 顾俊杰, 陈红星, 2020. 大草蛉对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能评价. *植物保护学报*, 47(4): 839–844.]
- Chen WB, Li YY, Wang MQ, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, 2019. Natural enemy insect resources of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, their application status, and existing problems and suggestions. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(5): 658–673. [陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 2019. 草地贪夜蛾的天敌昆虫资源、应用现状及存在的问题与建议. *中国生物防治学报*, 35(5): 658–673.]
- Ding YQ, 1994. *Insect Mathematical Ecology*. Beijing: Science Press. 303–304. [丁岩钦, 1994. *昆虫数学生态学*. 北京: 科学出版社. 303–304.]
- Fan YL, Gu XH, Xian JD, Chen XM, Lu YY, Zhang LM, Zhou WB, 2019. Functional response of *Eocanthecona furcellata* (Hemiptera: Pentatomidae) to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 41(6): 1175–1180. [范悦莉, 谷星慧, 洗继东, 陈雪梅, 陆永跃, 张立猛, 周文兵, 2019. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾的捕食功能反应. *环境昆虫学报*, 41(6): 1175–1180.]
- Figueiredo MLC, Cruz I, Silva RB, Foster JE, 2015. Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19.4%. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3): 1175–1183.
- Hassell MP, Varley GC, 1969. New inductive population model for insect parasite and its bearing on biological control. *Nature*, 223(5211): 1113–1117.
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385–389.
- 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. [侯峥嵘, 孙贝贝, 刘先建, 尹哲, 李金萍, 郭喜红, 2020. 大红犀猎蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫捕食功能反应. *植物保护学报*, 47(4): 852–858.]
- Huang HY, Liu YN, Qi YF, Xu YY, Chen ZZ, 2020. Predatory responses of *Chrysoperla sinica* (Tjeder) larvae to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) eggs and larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(6): 1333–1340. [黄海艺, 刘亚男, 亓永凤, 许永玉, 陈珍珍, 2020. 中华通草蛉幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用. *应用昆虫学报*, 57(6): 1333–1340.]
- Jaraleño-Teniente J, Lomeli-Flores JR, Rodríguez-Leyva E, Bujanos-Muñiz R, Rodríguez-Rodríguez SE, 2021. Efficiency of three egg parasitoid species on fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in laboratory and field cages. *Journal of Entomological Science*, 56(4): 519–526.
- Li SK, Wu MY, Lin JX, Li QS, Fu ZS, Lin MZ, Kong XY, Zhang YJ, Xie W, 2022. Predatory function of *Geocoris ochropterus* and *Geocoris xishaensis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*,

- 59(2): 318–325. [李少卡, 吴明月, 林俊旭, 李启珊, 符振实, 林明智, 孔祥义, 张友军, 谢文, 2022. 南亚大眼长蝽和西沙大眼长蝽的捕食功能研究. 应用昆虫学报, 59(2): 318–325.]
- Li SG, Fu BL, Qiu HY, Yang SY, Ma XT, Zhou SH, Tang LD, Zhang FP, Liu K, 2020. The predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae) in the laboratory. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1173–1180. [李善光, 付步礼, 邱海燕, 杨石有, 马晓彤, 周世豪, 唐良德, 张方平, 刘奎, 2020. 六斑月瓢虫对黄胸蓟马若虫的室内捕食作用研究. 应用昆虫学报, 57(5): 1173–1180.]
- Manley GV, 1982. Biology and life history of the rice field predator *Andrallus spinidens* F. (Hemiptera: Pentatomidae). *Entomological News*, 93(1): 19–24.
- Mohaghegh J, Najafi I, 2003. Predation capacity of *Andrallus spinidens* (F.) (Het.: Pentatomidae) on *Naranga aenescens* Moore (Lep.: Noctuidae) under semi-field and field conditions. *Applied Entomology and Phytopathology*, 71(1): 57–68.
- Qin MZ, Gao ZH, Xu YL, Shi WP, 2020. Research progresses in the resistance mechanisms of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to insecticides. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 692–697. [秦梦真, 高正辉, 徐义流, 石旺鹏, 2020. 草地贪夜蛾对农药主要抗性机制的概述. 植物保护学报, 47(4): 692–697.]
- Qin W, Qin JM, Wei MX, Wei LL, Yu YH, Cai XY, Chen HS, 2021. Investigation on the occurrence and damage of *Spodoptera frugiperda* in the main maize production areas of Guangxi. *Journal of Southern Agriculture*, 52(3): 603–610. [覃武, 覃江梅, 韦敏学, 韦丽龙, 于永浩, 蔡晓燕, 陈红松, 2021. 广西玉米主要种植区草地贪夜蛾发生及为害情况调查. 南方农业学报, 52(3): 603–610.]
- Salazar-Mendoza P, Rodriguez-Saona C, Fernandes OA, 2020. Release density, dispersal capacity, and optimal rearing conditions for *Telenomus remus*, an egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Biocontrol Science and Technology*, 30(10): 1040–1059.
- Shanker C, Sapna P, Shabbir K, Sunil V, Jhansirani B, Katti G, 2017. Biology and functional response of *Andrallus spinidens* (F) to the rice army worm *Spodoptera mauritia* (Boisduval). *Journal of Biological Control*, 31(4): 201–204.
- Shintani Y, Masuzawa Y, Hirose Y, Miyahara R, Watanabe F, Tajima J, 2010. Seasonal occurrence and diapause induction of a predatory bug *Andrallus spinidens* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae). *Entomological Science*, 13(3): 273–279.
- Shylesha AN, Sravika A, 2018. Natural occurrence of predatory bugs, *Eocanthecona furcellata* (Wolff) and *Andrallus spinidens* (Fabr.) on *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Hemiptera: Pentatomidae) in maize and their potential in management of fall army worm. *Journal of Biological Control*, 32(3): 209–211.
- Sun LJ, Yi WX, Zhao CD, Dong XL, 2013. Predatory capacity of *Chrysopa pallens* (Rambur) to three species of aphids. *Plant Protection*, 39(5): 153–157. [孙丽娟, 衣维贤, 赵川德, 董向丽, 2013. 大草蛉对 3 种蚜虫的捕食能力研究. 植物保护, 39(5): 153–157.]
- Sun LJ, Yi WX, Zheng CY, 2017. Predatory and control ability of *Orius minutus* to the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28(10): 3403–3408. [孙丽娟, 衣维贤, 郑长英, 2017. 微小花蝽对小菜蛾捕食控制的能力. 应用生态学报, 28(10): 3403–3408.]
- Sun BB, Hou ZR, Dong M, Li JP, Guo XH, Yin Z, 2020. Functional response of *Orius sauteri* to the 1st-instar larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Plant Protection*, 47(4): 845–851. [孙贝贝, 侯峥嵘, 董民, 李金萍, 郭喜红, 尹哲, 2020. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食作用. 植物保护学报, 47(4): 845–851.]
- Sun JJ, Wang MQ, Tang YT, Li XY, Zhang LS, Li H, 2021. Predatory functional response of *Arma custos* (Hemiptera: Pentatomidae) to the larvae of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Protection*, 48(5): 1081–1087. [孙婧婧, 王孟卿, 唐艺婷, 李心钰, 张礼生, 李虎, 2021. 蝽蝽对棉铃虫幼虫的捕食功能反应. 植物保护学报, 48(5): 1081–1087.]
- Tang M, Kuang ZL, Li ZY, Lu YY, Chen KW, Liu GH, 2019. Functional response of *Eocanthecona furcellata* (Wolff) to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Journal of Environmental Entomology*, 41(5): 979–985. [唐敏, 邝昭琅, 李子园, 陆永跃, 陈科伟, 刘光华, 2019. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应. 环境昆虫学报, 41(5): 979–985.]
- Tang P, Wang ZZ, Wu Q, Liu YQ, Shi M, Huang JH, Chen XX, 2019. The natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and their application in biological control programs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 370–381. [唐璞, 王知知, 吴琼, 刘银泉, 时敏, 黄健华, 陈学新, 2019. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用. 应用昆虫学报,

- 56(3): 370–381.]
- Tang YT, Wang MQ, Li YY, Liu CX, Mao JJ, Chen HY, Zhang LS, 2019. Research advances of predatory bugs to *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(5): 682–690. [唐艺婷, 王孟卿, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 2019. 捕食性蝽防治草地贪夜蛾的研究进展. 中国生物防治学报, 35(5): 682–690.]
- Wang Y, Wang MQ, Zhang HM, Zhao XQ, Yin YQ, Li XY, Tang YT, Chen B, Chen FS, Zhang LS, 2019. Predation potential of adult of *Picromerus lewisi* (Fallou) on larvae of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(5): 691–697. [王燕, 王孟卿, 张红梅, 赵雪晴, 尹艳琼, 李向永, 唐艺婷, 陈斌, 陈福寿, 张礼生, 2019. 益蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力. 中国生物防治学报, 35(5): 691–697.]
- Wang Y, Zhang HM, Li XY, Yin YQ, Zhao XQ, Chen FS, Zhang LS, 2020. Predation of *Picromerus lewisi* nymph on larvae of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(4): 520–524. [王燕, 张红梅, 李向永, 尹艳琼, 赵雪晴, 陈福寿, 张礼生, 2020. 益蝽不同龄期若虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力. 中国生物防治学报, 36(4): 520–524.]
- Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5.]
- Xie DJ, Tang JH, Zhang L, Cheng YX, Jiang XF, 2021. Annual generation numbers prediction and division of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Plant Protection*, 47(1): 61–67, 116. [谢殿杰, 唐继洪, 张蕾, 程云霞, 江幸福, 2021. 我国草地贪夜蛾年发生世代区划分. 植物保护, 47(1): 61–67, 116.]
- Xie LL, He Z, Long XZ, Gao XY, Zeng XR, Chen HS, Wei DW, Song YL, Yu YH, 2022. Investigation of two egg parasitoid species of *Spodoptera frugiperda* in fields. *Plant Protection*, 48(1): 265–271. [谢丽玲, 何瞻, 龙秀珍, 高旭渊, 曾宪儒, 陈红松, 韦德卫, 宋一林, 于永浩, 2022. 两种草地贪夜蛾卵寄生蜂的田间寄生作用调查. 植物保护, 48(1): 265–271.]