



徐庆宣, 王松, 田仁斌, 王甦, 张帆, 马娇, 李姝, 邸宁. 大草蛉对草地贪夜蛾捕食潜能研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 754–759.

大草蛉对草地贪夜蛾捕食潜能研究

徐庆宣¹, 王松¹, 田仁斌¹, 王甦¹, 张帆¹,
马娇², 李姝¹, 邸宁^{1*}

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北方果树病虫害绿色防控北京市重点实验室, 北京 100097;

2. 开远市植保植检站, 云南开远 661699)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* JE Smith 于 2018 年底至 2019 年初入侵我国后, 迅速扩散, 并在半年内对西南地区的玉米生产造成危害。田间调查和观测研究表明, 田间虽然可见该害虫的天敌, 但由于天敌种群数量低, 无法形成有效控害的模式。为研究大草蛉对草地贪夜蛾的控害潜能, 本研究进行了捕食功能反应试验。结果表明, 大草蛉成虫对草地贪夜蛾卵以及大草蛉 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食效应均能够很好的拟合 Holling II 功能反应模型。其中, 大草蛉成虫对贪夜蛾卵的理论日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 1115.56 头、1.004 和 0.0009 d。大草蛉幼虫对贪夜蛾低龄幼虫的理论日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 358 头、1.074 和 0.003 d。结果表明大草蛉具备对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫进行有效控害的潜力, 为应用天敌昆虫防治草地贪夜蛾提供了理论依据。

关键词: 大草蛉; 草地贪夜蛾; 捕食功能反应; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S476; S433.4

文献标识码: A **文章编号:** 1674-0858 (2019) 04-0754-06

Study on the predation potential of *Chrysopa pallens* on *Spodoptera frugiperda*

XU Qing-Xuan¹, WANG Song¹, TIAN Ren-Bin¹, WANG Su¹, ZHANG Fan¹, MA Jiao², LI Shu¹, DI Ning^{1*} (1. Beijing Key Laboratory of Environment Friendly Management on Fruit Diseases and Pests in North China, Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Kaiyuan Plant and Quarantine Station, Kaiyuan 661699, Yunnan Province, China)

Abstract: *Spodoptera frugiperda* quickly spread after invading China from the end of 2018 to the beginning of 2019, and caused damage to maize production in Southwest China within half a year. Field investigation and observation showed that although the natural enemies of this pest were visible in the field, due to the low population of natural enemies, it could not form an effective control mode. In order to study the potential of *Chrysopa pallens* to control *S. frugiperda*, we conducted a predation functional response test. Results showed that the predatory effect of *C. pallens* adults predating on *S. frugiperda* eggs, and *C. pallens* larva predating on *S. frugiperda* larva could well fit Holling II functional response model. The theoretical daily maximum predation amount, instantaneous attack rate and processing time of

基金项目: 国家桃产业技术体系 (CARS-30); 国家重点研发计划 (2018YFD0200402, 2017YFD0201000)

作者简介: 徐庆宣, 男, 助理研究员, 研究方向为害虫的生物防治

* 通讯作者 Author for correspondence: 邸宁, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为昆虫生态与害虫综合防控, E-mail: dining@ipepbaafs.cn

收稿日期 Received: 2019-06-25; 接受日期 Accepted: 2019-07-15

C. pallens adult to the eggs *S. frugiperda* were 1115.56, 1.004 and 0.0009 d, respectively. The maximum daily predation, instantaneous attack rate and treatment time of *Chrysopa* larva to *S. frugiperda* small larva were 358, 1.074 and 0.003 d, respectively. Based on the results of this study, *C. pallens* has the potential to effectively control *S. frugiperda*. Our study provides baseline data for utilizing natural enemies to manage and control *S. frugiperda*.

Keywords: *Chrysopa pallens*; *Spodoptera frugiperda*; functional response; biological control

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Spodoptera), 又称秋粘虫, 原产于美洲热带及亚热带地区 (Boaventura *et al.*, 2019)。由于其迁飞扩散能力强, 近年在全世界扩散为害 (张丹丹和吴孔明, 2019)。目前共有96个国家或地区正在或曾经遭受其危害, 是联合国粮农组织全球预警的重大迁飞性害虫 (Early *et al.*, 2018)。草地贪夜蛾为多食性害虫, 寄主包括玉米、棉花、水稻、花生、高粱、甜菜、大豆、烟草、番茄、马铃薯、洋葱、小麦等300余种植物 (<https://www.cabi.org/ISC/datasheet/29810>), 对重要农作物生产构成了严重威胁。2018年12月26日, 云南省普洱市江城县首次报道了草地贪夜蛾在我国入侵。其后该虫于短短5个月内, 相继从境外迁入我国西南、华南地区, 并快速向北迁飞扩散, 目前发生区域涉及14省区市的385个县(市、区), 发生面积达138.4万亩 (廖永林等, 2019)。近期有关其潜在危害的研究表明, 我国海南等13省需对草地贪夜蛾进行全年监测及防控, 而山东等13省需在春、夏、秋季对其进行监测预警 (秦誉嘉等, 2019)。

由于草地贪夜蛾发生快危害重, 亟需研究能够有效控害的方法。常用的防治方法为化学防治 (Kansime *et al.*, 2019), 但由于其常于叶片背面或者心叶取食, 且可钻蛀到植株和果内, 造成药剂防治效率下降。更为严重的是, 由于农药的长期使用, 导致草地贪夜蛾产生了对包括氨基甲酸酯类、有机磷酸酯类和拟除虫菊酯类等农药的抗性 (赵胜园等, 2019)。因而, 亟需研究能够有效替代或辅助化学防治的方法以实现草地贪夜蛾的高效绿色防控 (Rhett *et al.*, 2019)。其中, 保护利用和释放天敌为当前国内外较为关注的焦点。田间调查发现, 为害地块大草蛉 *Chrysopa pallens* Rambur 种群数量较大, 且观察到其对贪夜蛾卵和幼虫的取食, 推测大草蛉为能够有效控制其为害的天敌。

大草蛉属脉翅目 Neuroptera 草蛉科 Chrysopidae

草蛉亚科 Chrysopinae 大草蛉属 *Chrysopa*, 是分布很广的捕食性天敌昆虫, 在我国除西藏外各省均有分布 (赵敬钊, 1988; 李姝等, 2019)。大草蛉食谱广泛, 能捕食多种蚜虫、叶螨、叶蝉、鳞翅目昆虫卵及低龄幼虫等, 在田间害虫防控中具有重要作用。在常规天敌昆虫控害应用中, 基于拟合 Holling 功能反应模型来评价天敌昆虫对靶标猎物的捕食适合度, 是非常有效的技术方法。而在前期研究中, 研究人员通过比较大草蛉在不同密度猎物下的取食量, 深入比较了大草蛉对夹竹桃蚜 *Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe (Liu *et al.*, 2011) 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius (王然等, 2016) 等害虫的取食潜能, 为系统应用大草蛉开展生物防治工作提供了重要依据。因此, 开发大草蛉作为草地贪夜蛾天敌从而开展生物防治应用, 需要我们在田间实测的基础上, 开展取食功能反应的拟合评价, 从而为利用大草蛉防治草地贪夜蛾奠定理论基础。

本研究基于田间调查和观测试验结果, 确定了大草蛉为最具田间控害潜力的草地贪夜蛾的天敌之一, 并进一步进行了大草蛉幼虫和成虫对该害虫的捕食功能反应试验, 以期在田间应用打下基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

草地贪夜蛾采自云南省开远市植保植检站玉米中试基地。于实验站昆虫饲养室内, 将成虫放入80目养虫笼 (60 cm × 60 cm × 60 cm), 并放入新鲜玉米叶作为食物, 收集1日龄卵和1龄幼虫备用 (饲养温度为白天 23℃ ± 2℃, 夜晚 18℃ ± 2℃, 光周期为 16 L:8 D)。草地贪夜蛾种类以及各龄期的鉴定方法参考赵胜园等 (2019)。

供试大草蛉由北京市农林科学院植物保护环境保护研究所应用昆虫研究室提供。所用草蛉均来自实验室内定殖饲养种群, 替代饲喂猎物为豌

豆修尾蚜 *Megoura japonica* Matsumura, 饲养基质为 10 ~ 15 cm 带有 4 ~ 6 片真叶的蚕豆苗。在光周期为 16 L:8 D, 温度 25℃ ± 2℃ 的环境中饲养多代。试验所用大草蛉为随机选择的羽化 10 ~ 15 日龄成虫, 试验前饥饿 24 h。本试验在云南省开远市农业局农村内完成。

1.2 试验方法

1.2.1 大草蛉对不同密度草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食能力

试验在室内自然温度下进行, 在培养皿中放入新鲜玉米叶, 用脱脂棉球保湿, 接入草地贪夜蛾 1 龄幼虫, 幼虫密度设置为 10、20、40、60 头/皿, 每皿分别引入 1 头大草蛉成虫, 皿上覆盖 1 层透气纱布, 24 h 后观察记录各培养皿中剩余的幼虫量和自然死亡的幼虫数 (对照组: 幼虫 10、20、40、60 头/皿, 不放天敌昆虫, 记录自然死亡率), 每个处理设 5 次重复, 测定天敌的日捕食量, 并以自然死亡率校正。

1.2.2 大草蛉对不同密度草地贪夜蛾卵的捕食能力

设置 10、20、40、80 粒共 4 个草地贪夜蛾卵密度, 每处理接入 1 头饥饿 24 h 的大草蛉成虫或大草蛉 3 龄幼虫进行捕食试验, 试验方法同上, 每个处理重复 5 次。24 h 后观察并记录不同猎物密度下天敌对草地贪夜蛾卵的捕食量。

1.2.3 天敌密度对捕食功能反应的影响

在室内自然温度下, 开展大草蛉成虫密度梯度捕食能力试验。天敌密度为 1、2、3 头/皿, 草地贪夜蛾 1 龄幼虫密度为 20 头/皿, 设 5 次重复, 24 h 后观察记录各培养皿中剩余的幼虫量, 分析天敌密度对捕食率的影响。

1.3 数据统计与分析

将害虫密度和天敌取食量进行倒数转换, 拟合功能反应方程, 计算各参数理论值, 并利用卡方检验对拟合度进行比较。同时采用 Duncan 氏新复极差法 ($P < 0.05$) 对捕食量进行差异显著性分析。

Holling II 功能反应模型 (Wang *et al.*, 2018):

$$N_a = \frac{a'NT}{1 + a'T_hN}$$

其中, N_a 为被捕食的草地贪夜蛾卵或幼虫数量; a' 为大草蛉搜寻效率; N 为卵或幼虫密度; T 为大草蛉捕食时间 (在此为 1 d); T_h 为捕食 1 头幼虫或卵所需时间 (平均处理时间)。

2 结果与分析

2.1 大草蛉对不同密度草地贪夜蛾幼虫或卵的捕食量

在本研究测试的猎物密度梯度范围内, 大草蛉成虫对草地贪夜蛾卵的捕食量随害虫卵密度的增加而显著增加 ($P < 0.05$; 图 1)。大草蛉 3 龄幼虫和成虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫均具有很好的捕食能力, 其中, 大草蛉 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫捕食量在猎物密度为 10、20 和 40 头时差异显著 ($P < 0.05$; 图 2), 而猎物密度超过 40 头则捕食量差异不显著 ($P = 0.13$)。大草蛉成虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫捕食量在猎物密度为 10 头和 20 头以及 40 头和 60 头时差异不显著 ($P = 0.85$ 和 $P = 0.11$), 猎物密度为 20 和 40 头时捕食量差异显著 ($P < 0.05$; 图 3)。

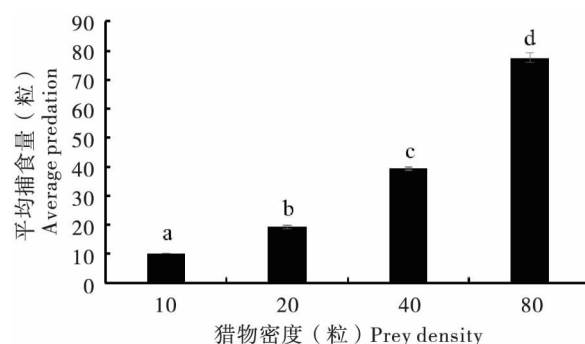


图 1 大草蛉成虫对不同猎物密度下草地贪夜蛾卵的平均捕食量 ($\pm$ SE) ($P < 0.05$)

Fig. 1 The average predation amount of the adult of *Chrysopa pallens* to the egg of *Spodoptera frugiperda* under different prey densities ($\pm$ SE) ($P < 0.05$)

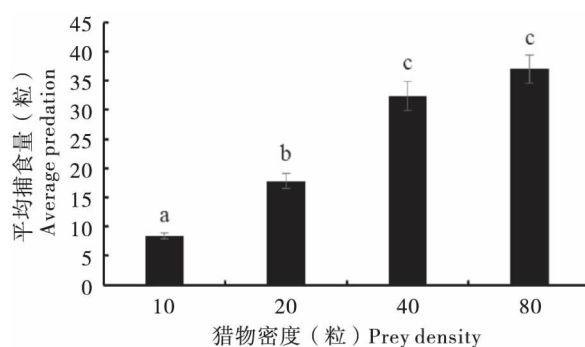


图 2 大草蛉 3 龄幼虫对不同猎物密度下草地贪夜蛾 1 龄幼虫的平均捕食量 ($\pm$ SE) ($P < 0.05$)

Fig. 2 The average predation amount of *Chrysopa pallens* 3rd instar larvae to *Spodoptera frugiperda* 1st instar larvae under different prey densities ($\pm$ SE) ($P < 0.05$)

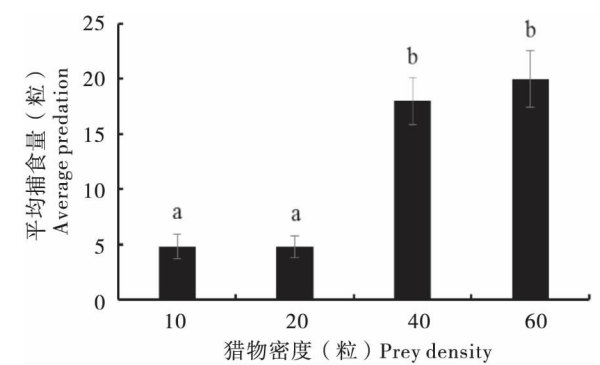


图3 大草蛉成虫对不同猎物密度下草地贪夜蛾1龄幼虫的平均捕食量 (±SE) ($P < 0.05$)

Fig. 3 The average predation amount of *Chrysopa pallens* adult to *Spodoptera frugiperda* 1st instar larvae under different prey densities (±SE) ($P < 0.05$)

2.2 不同密度的大草蛉对草地贪夜蛾幼虫的捕食量

当猎物密度为20头时,大草蛉成虫对草地贪夜蛾1龄幼虫的捕食量随着天敌密度的增加而增加,捕食量在不同数量大草蛉处理之间差异显著 ($P < 0.05$; 图4)。

2.3 大草蛉对草地贪夜蛾幼虫或卵的捕食功能反应

大草蛉成虫对草地贪夜蛾卵及大草蛉幼虫对贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力均拟合为Holling II功能反应 ($R^2 > 0.9$, $P > 0.05$)。其中,大草蛉成虫对贪夜蛾卵的处理时间为0.0009 d,理论日最大取食量为1115.56头。大草蛉幼虫对该害虫低龄幼虫的处理时间为0.003 d,理论日最大取食量为358头。虽然大草蛉成虫对该害虫幼虫的模型拟合度不高,拟合Holling II型模型时,拟合度为0.667,但卡方检验结果显示该模型均可信模型 (表1)。

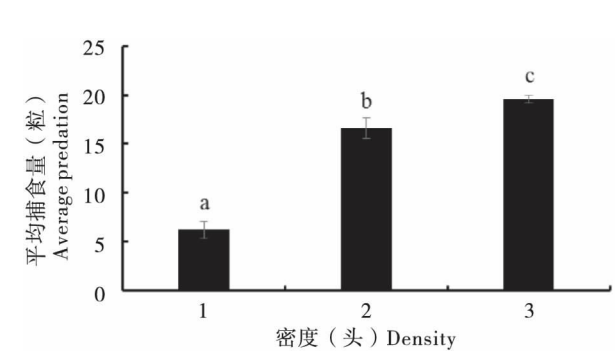


图4 不同数量下大草蛉成虫对草地贪夜蛾1龄幼虫的平均捕食量 (±SE) ($P < 0.05$)

Fig. 4 The average predation amount of *Chrysopa pallens* Adult to *Spodoptera frugiperda* 1st instar larvae under different predator densities (±SE) ($P < 0.05$)

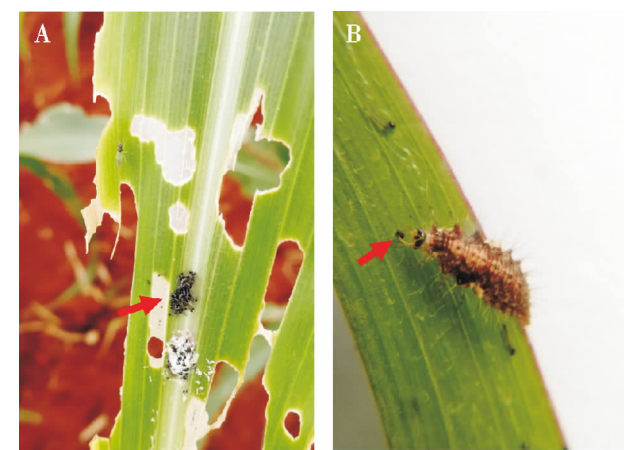


图5 田间草地贪夜蛾1龄幼虫 (A) 以及室内大草蛉3龄幼虫捕食草地贪夜蛾1龄幼虫 (B)

Fig. 5 The 1st instar larvae of *Spodoptera frugiperda* in the field (A) and the 3rd instar larvae of *Chrysopa pallens* prey on the newly hatched 1st instar larvae in the laboratory (B)

表1 大草蛉对草地贪夜蛾捕食功能反应参数

Table 1 Parameters of functional response of *Chrysopa pallens* preying on *Spodoptera frugiperda*

大草蛉 <i>C. pallens</i>	猎物 <i>S. frugiperda</i>	Fitted formula	R^2	a'	T_h	N_{a-max}^*	χ^2, P
成虫 Adult	卵 Egg	$N_a = 1.004N / (1 + 0.0009N)$	0.996	1.004	0.0009	1115.56	12.833, 0.381
	1龄幼虫 1 st instar larvae	$N_a = 0.519N / (1 + 0.0725N)$	0.667	0.519	0.073	7.156	5.941, 0.746
	3龄幼虫 3 rd instar larvae	$N_a = 1.074N / (1 + 0.0042N)$	0.931	1.074	0.003	358	2.545, 1.000

* $N_{a-max} = a' / T_h$

3 结论与讨论

外来入侵物种往往由于缺乏能够有效控害的天敌而爆发成灾。在农业生产中,如何有效应对外来害虫的为害,是国内外广泛关注的问题。草地贪夜蛾自入侵我国,迅速扩散并危害玉米生产以来,本研究团队针对其田间自然发生的天敌进行了系统的调查。发现田间大草蛉多取食该害虫的卵和低龄幼虫,为本研究的开展提供了有利的实践支撑。

本研究结果表明,大草蛉对草地贪夜蛾幼虫和卵的取食量,在不同猎物密度间有显著差异。大草蛉取食草地贪夜蛾幼虫和卵时,其取食量均随着猎物密度增加而显著上升。常规生物防治天敌选择中,天敌昆虫取食能力的正向密度效应是评价优秀天敌昆虫的基本条件 (Barbosa & Ignacio, 2005)。在已有的报道中,大草蛉在取食烟粉虱、桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer、夹竹桃蚜、豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* Bagnall 及豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 时,其取食靶标猎物不同龄期对象时,均表现出正向的密度效应 (Zhao *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2011; 王然等, 2016; 唐良德等, 2017)。而本研究结果表明,大草蛉在相同虫口密度下,其在 24 h 内对草地贪夜蛾卵的取食量均大于 10 粒,但小于 77.6 粒;而对该害虫幼虫的取食量均大于 4.8 头,小于 38.667 头。

本研究发现大草蛉成虫和幼虫取食草地贪夜蛾卵和幼虫均拟合 Holling II 型功能反应模型,且理论计算取食量与试验中各密度下的实际取食量间未见显著差异。因此,大草蛉对草地贪夜蛾的取食随猎物密度上升而逐步提高,在高密度下取食量达到饱和状态。拟合后所得功能反应模型的各项参数表明,大草蛉成虫取食草地贪夜蛾卵与大草蛉幼虫取食草地贪夜蛾幼虫间的瞬间攻击率极为接近,是大草蛉成虫取食草地贪夜蛾幼虫的一倍。而大草蛉成虫取食单头草地贪夜蛾幼虫的处置时间也显著长于其取食卵,及大草蛉幼虫取食草地贪夜蛾幼虫的处置时间。这一差异可能与大草蛉不同虫期的营养需求不同有关。成虫期大草蛉需要降低因为搜索攻击等造成的消耗,为产卵繁殖做准备 (Thompson, 1999)。而幼虫期大草蛉需要补充大量能量来完成发育,因此其对体型较大的猎物幼虫表现出更强的攻击欲望。而本研

究结果表明,大草蛉成虫适合在草地贪夜蛾危害虫期,田间害虫子代卵密度高时释放;而大草蛉幼虫可以针对草地贪夜蛾幼虫为害进行释放,是防控草地贪夜蛾的主力。

根据本研究结果,大草蛉成虫对草地贪夜蛾卵和 1 龄幼虫的日最大捕食量可达 77.6 粒和 20 头,同时其 3 龄幼虫对该害虫 1 龄幼虫的日最大捕食量可达 37 头。根据研究团队在田间的观测,云南玉米田中可见到大草蛉捕食草地贪夜蛾。可见大草蛉在防控草地贪夜蛾中具有极大的潜力。但由于田间自然发生的大草蛉种群密度较低,无法在短期内形成有效控害的模式。下一步可研究采用保护利用与田间释放结合的模式,探索是否能够在少施甚至不施化学药剂的情况下,利用大草蛉防控玉米上的草地贪夜蛾。

参考文献 (References)

- Barbosa P, Castellanos I. Ecology of Predator-Prey Interactions [M]. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- Boaventura D, Bolzan A, Padovez FEO, *et al.* Detection of a ryanodine receptor target-site mutation in diamide insecticide resistant fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Pest Management Science*, 2019, doi: 10.1002/ps.5505.
- Early R, González-Moreno P, Murphy ST, *et al.* Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm [J]. *NeoBiota*, 2018, 40: 25–50.
- Harrison RD, Thierfelder C, Frédéric B, *et al.* Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 243: 318–330.
- Kansiime MK, Mugambi I, Rwomushana I, *et al.* Farmer perception of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) and farm-level management practices in Zambia [J]. *Pest Management Science*, 2019, doi: 10.1002/ps.5504.
- Li S, Wang J, Guo XJ, *et al.* Research progress and prospects of *Chrysopa pallens* (Rambur) (Hemiptera: Chrysopidae) [J]. *Journal of Environmental Insects*, 2019, 41 (2): 241–252. [李姝, 王杰, 郭晓军, 等. 天敌昆虫大草蛉的研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 241–252]
- Liao YL, Li CY, Huang SH, *et al.* Survey on the prevalence and damage of *Spodoptera frugiperda* first invasive in Guangdong [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (3): 497–502. [廖永林, 李传瑛, 黄少华, 等. 草地贪夜蛾首次入侵广东地区发生为害调查 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (3): 497–502]
- Liu S, Wang S, Liu BM, *et al.* The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (6): 1136–1145. [刘爽, 王甦, 刘佰明, 等. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食

- 功能反应及捕食行为观察 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (6): 1136 – 1145]
- Qin YJ, Lan S, Zhao ZH, *et al.* Potential geographical distribution of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China [J]. *Plant Protection*, 2019, doi: 10.16688/j.zwbh.2019269. [秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 等. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布 [J]. 植物保护, 2019, doi: 10.16688/j.zwbh.2019269]
- Tang LD, Wang XS, Zhao HY, *et al.* The predation function response and development of *Chrysopa pallens* larva on *Megalurothrips usitatus* and *Aphis craccivora* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (1): 49 – 55. [唐良德, 王晓双, 赵海燕, 等. 大草蛉幼虫捕食豆大蓟马和豆蚜的功能反应及生长发育 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (1): 49 – 55]
- Thompson SN. Nutrition and culture of entomophagous insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 1999, 44 (1): 561 – 592.
- Wang R, Wang S, Qu C, *et al.* The predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (1): 149 – 154. [王然, 王甦, 渠成, 等. 大草蛉幼虫对不同寄主植物上烟粉虱卵的捕食功能反应与搜寻效应 [J]. 植物保护学报, 2016, 43 (1): 149 – 154]
- Zhang DD, Wu KM. The bioassay of Chinese domestic Bt-Cry1Ab and Bt-(Cry1Ab + Vip3Aa) maize against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, doi: 10.16688/j.zwbh.2019251. [张丹丹, 吴孔明. 国产 Bt-Cry1Ab 和 Bt-(Cry1Ab + Vip3Aa) 玉米对草地贪夜蛾的抗性测定 [J]. 植物保护, 2019, doi: 10.16688/j.zwbh.2019251]
- Zhao JZ. Study on the biological characteristics of *Chrysopa pallens* [J]. *Journal of Plant Protection*, 1988, 15 (2): 123 – 127. [赵敬钊. 大草蛉生物学特性研究 [J]. 植物保护学报, 1988, 15 (2): 123 – 127]
- Zhao Q, Chen J, Liu FX, *et al.* Predation of *Chrysopa pallens* on *Myzus persicae* and *Aphis nerii* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (3): 220 – 223. [赵琴, 陈婧, 刘凤想, 等. 大草蛉对桃蚜和夹竹桃蚜的捕食作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30 (3): 220 – 223]
- Zhao SY, Luo QM, Sun XX, *et al.* Comparison of morphological and biological characteristics between *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera litura* [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (5): 26 – 35. [赵胜园, 罗倩明, 孙小旭, 等. 草地贪夜蛾与斜纹夜蛾的形态特征和生物学习性比较 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (5): 26 – 35]
- Zhao SY, Yang XM, Sun XX, *et al.* Laboratory control efficacy of commonly-used bioinsecticides against *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (3): 21 – 26. [赵胜园, 杨现明, 孙小旭, 等. 常用生物农药对草地贪夜蛾的室内防效 [J]. 植物保护, 2019, 45 (3): 21 – 26]