大草蛉对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能评价

曹雯星 张 韬 杨 欢 徐自强 顾俊杰 陈红星*

（四川农业大学农学院，成都 611130）

摘要：为评价大草蛉*Chrysopa pallens*对草地贪夜蛾*Spodoptera frugiperda*低龄幼虫的捕食功能，在室内条件下观察大草蛉对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为，并设置不同密度的草地贪夜蛾1~3龄幼虫供大草蛉成虫取食，测定其对草地贪夜蛾1~3龄幼虫的捕食效能。结果表明，大草蛉成虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能反应符合Holling II模型，对草地贪夜蛾1、2和3龄幼虫的瞬时攻击率分别为1.023、0.618、0.313，处理时间分别为0.070、0.097、0.305 d，日最大捕食量分别为14.37、10.31、3.28头；大草蛉成虫的搜寻效应随着草地贪夜蛾幼虫密度的增加而降低，干扰作用随着大草蛉自身密度的增加而加强，且在草地贪夜蛾幼虫不同龄期，大草蛉自身密度对其捕食能力的干扰作用不同，幼虫为1龄时，大草蛉自身密度对其捕食能力的干扰作用最大，幼虫为2、3龄时的干扰作用次之。表明大草蛉成虫对草地贪夜蛾低龄幼虫具有较好的捕食作用，可作为有效防控草地贪夜蛾的备选天敌资源。

关键词：草地贪夜蛾；大草蛉；捕食行为；功能反应

Evaluation of predatory function of *Chrysopa pallens* to larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*

CAO Wenxing ZHANG Tao YANG Huan XU Ziqing GU Junjie CHEN Hongxing*

（College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan Province, China）

Abstract: In order to evaluate the predatory function of *Chrysopa pallens* against young larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, the predation behavior of *C. pallens* on *S. frugiperda* larvae in the laboratory was observed. Different densities of the 1st−3rd-instar larvae of *S. frugiperda* were set for lacewing adults, and the predatory function of *C. pallens* adults against *S. frugiperda* larvae was measured. The results showed that the predatory response of *C. pallens* adults to the larvae of *S. frugiperda* was fitted the Holling II model; the instantaneous attack rates of *C. pallens* to the 1st-, 2nd- and 3rd-instar larvae of *S. frugiperda* were 1.023, 0.618 and 0.313, respectively; the handling times were 0.070, 0.097 and 0.305 d, respectively, and the maximum daily predation amounts were 14.37, 10.31 and 3.28, respectively. The searching efficiency of *C. pallens* adults decreased with increasing density of *S. frugiperda* larvae, and the interference effect increased with increasing density of *C. pallens*; the density of *C. pallens* had different interference effects on its predatory ability for different instars of prey: the density of *C. pallens* showed the greatest interference effect on its predatory ability against the 1st-instar preys, followed by the 2nd-instars and 3rd-instars. It indicated that *C. pallens* adults had a good predatory effect on young larvae of *S. frugiperda* and can be used as an alternative natural enemy resource for controlling *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; *Chrysopa pallens*; predation behavior; predatory function

---

基金项目：四川省特别人才支持计划

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：15600660156@163.com

收稿日期：2020-07-18

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科灰翅夜蛾属，原产于美洲热带和亚热带，是农业上的一种重大迁飞性害虫，其具有迁飞能力强、食性广、繁殖能力强等特点（Pair et al.，1986；FAO，2018；Montezano et al.，2018）。草地贪夜蛾每头雌成虫一生可以产卵1 283~1 342粒，幼虫密度达1 000头/m^2时可导致寄主植株叶面积大量损失，严重时可导致作物绝收（Marenco et al.，1992；Rose et al.，2000；Muruá & Virla，2004）。2019年1月在云南省普洱市首次发现草地贪夜蛾入侵我国，5月后随着西南季风的加强，草地贪夜蛾迅速侵入我国西南部，截止5月30日，已在华东、华南、华中、西南16个省市监测到草地贪夜蛾的活动轨迹，并有蔓延至华北及东北玉米产区的趋势（姜玉英等，2019；吴秋琳等，2019；杨学礼等，2019）。2019年全年，我国在22个省（自治区、直辖市）监测到草地贪夜蛾为害作物，发生面积达到112.5万hm^2，其中玉米种植区占98.1%（全国农业技术推广服务中心，2020a）。2020年1—3月观测到草地贪夜蛾成虫的境外迁入量较2019年同期激增近20倍，截至4月，在华南和西南地区多个省市监测到草地贪夜蛾幼虫为害作物，且总体发生时间较2019年早2个月左右（全国农业技术推广服务中心，2020b）。总体形势显示，2020年草地贪夜蛾的防控将更加严峻。

当前，我国草地贪夜蛾的防控仍以化学防治为主，2019年6月农业农村部推荐了25种防控草地贪夜蛾的应急药剂，其中包含拟除虫菊酯类、阿维菌素和茚虫威等。王芹芹等（2019）研究了20种杀虫剂对草地贪夜蛾卵的杀虫活性，结果表明，低浓度下新烟酰类的噻虫胺和噻虫啉以及乙基多杀菌素的杀卵活性均在70%以上。但有报道表明，草地贪夜蛾幼虫对有机磷类、拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯等多种传统化学药剂已经产生了抗性（Yu，1991），加之农药对环境及人畜存在潜在危害，因此草地贪夜蛾的生物防控显得尤为重要，其中利用天敌昆虫防治草地贪夜蛾是生物防治的重要手段。

目前，已报道的草地贪夜蛾寄生性天敌有206种，捕食性天敌有46种（唐艺婷等，2019），如叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellata*（范悦莉等，2019）、东亚小花蝽 *Orius sauteri*（代晓彦等，2019）、黄带犀猎蝽 *Sycanus croceouittatus*（王亚楠等，2020）、益蝽 *Picromerus lewisi* 和蹋蝽 *Arma chinensis*（王燕等，2019a，b）等捕食性蝽类对草地贪夜蛾有明显的捕食反应，其中叉角厉蝽、益蝽和蹋蝽对草地贪夜蛾3龄幼虫有较好的捕食能力，最大捕食量能达到50头以上，但其饲养要求较高，难以规模化生产。大草蛉 *Chrysopa pallens* 属脉翅目草蛉科，是一类重要的天敌昆虫（Jonsson et al.，2008；Wyckhuys et al.，2013）。由于该虫分布广，成虫寿命长，繁殖能力强，幼虫和成虫均能捕食多种害虫，且容易规模化饲养，所以在害虫综合防治中的应用潜力巨大（赵敬钊，1988；Lee et al.，2000），而其对草地贪夜蛾捕食作用的报道较少。本研究拟开展大草蛉对草地贪夜蛾的捕食功能反应试验，评估大草蛉的捕食能力，以期为草地贪夜蛾的生物防治提供备选资源。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫：草地贪夜蛾于四川农业大学植物保护系昆虫实验室，用人工饲料（王世英等，2019）在温度（28±1）℃、相对湿度（70±5）%、光周期16 L∶8 D的条件下饲养多代，选择发育良好的幼虫供试。大草蛉采自距四川农业大学2 km的小麦试验田，带回实验室，在温度（25±1）℃、相对湿度（65±5）%、光周期16 L∶8 D的条件下用蚕豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 连续多代饲养。蚕豆蚜从野外采集后带回实验室，用蚕豆苗连续饲养12代并建立种群供饲。

供试植物：玉米品种为东单4243，种子购于当地农资商店，种植于装满营养土的高14 cm×直径11 cm花盆中，每盆5株，在温度（26±1）℃、相对湿度（65±5）%、光周期14 L∶10 D的条件下培养至3~5叶期供试。蚕豆种子购自当地市场，在上述条件下培养至6叶期供饲。

1.2 方法

1.2.1 大草蛉成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为观察

选取草地贪夜蛾1~5龄幼虫各1头，置于直径为9 cm的培养皿中，提供足够新鲜玉米叶片，接入1头经24 h饥饿处理的大草蛉成虫，观察大草蛉对草地贪夜蛾幼虫的搜寻和捕食行为特点，每隔30 min观察1次，每次持续观察2 h，共观察6次合计12 h。每个龄期重复5次。

1.2.2 大草蛉成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应

将草地贪夜蛾1龄幼虫密度设置为10、20、30、40、50、60、70头/皿，2龄幼虫密度设置为10、15、20、25、30、35、40头/皿，3龄幼虫密度设置为5、10、15、20、25、30、35头/皿，按设置密度分别将各龄幼虫放入直径为9 cm的培养皿中，在培养皿中放入新鲜玉米叶和润湿的脱脂棉，然后每皿分别接入1头经24 h饥饿处理的大草蛉成虫，用保鲜膜覆盖培养皿并用昆虫针扎孔，以防止逃逸。每个密度处理3次重复，24 h后观察并记录草地贪夜蛾各龄期幼虫的存活

数，拟合捕食功能反应方程和搜寻效应方程，统计大草蛉成虫捕食能力的相关参数，以评价其对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力。

捕食功能反应（吴坤君等，2004）Holling II圆盘方程为 $Na=\frac{T\cdot a\cdot N}{1+a\cdot Th\cdot N}$，然后将方程变形为 $\frac{1}{Na}=\frac{1}{a\cdot T}\cdot\frac{1}{N}+\frac{Th}{T}$，令 $y=\frac{1}{Na}$，$A=\frac{1}{a\cdot T}$，$x=\frac{1}{N}$，$B=\frac{Th}{T}$，式中，Na 为草地贪夜蛾幼虫数；a 为捕食者的瞬时攻击率；N 是草地贪夜蛾幼虫密度；T 是大草蛉搜寻猎物的总时间（本试验中 T 为 1 d）；Th 是处理时间，即捕食者捕食 1 头猎物所用的时间）。当 $N\to\infty$ 时，$1/N\to0$，理论日最大捕食量 $Na_{max}=1/Th$。搜寻效应方程为 $S=\frac{a}{1+a\cdot Th\cdot N}$，其中 S 为搜寻效应，其它参数同上。

1.2.3　大草蛉成虫密度对其捕食的干扰效应

取 5 个直径 9 cm 的培养皿，每个培养皿中接入草地贪夜蛾 1 龄幼虫 20 头，分别放入经 24 h 饥饿处理的大草蛉成虫 1、2、3、4 和 5 头，24 h 后观察并记录草地贪夜蛾幼虫的存活数。每个密度处理 3 次重复。草蛉成虫捕食草地贪夜蛾 2 龄和 3 龄幼虫时其自身密度干扰试验设置均与 1 龄幼虫相同。利用干扰反应方程 $E=\frac{Ne}{N\cdot P}$，先计算大草蛉的捕食作用率 E，其中 Ne 为捕食的猎物总数；N 为猎物密度；P 为捕食者密度。然后再通过干扰反应方程 $E=QP^{-m}$，反推获得搜寻常数 Q 和干扰常数 m，明确大草蛉成虫密度对其捕食的干扰效应。

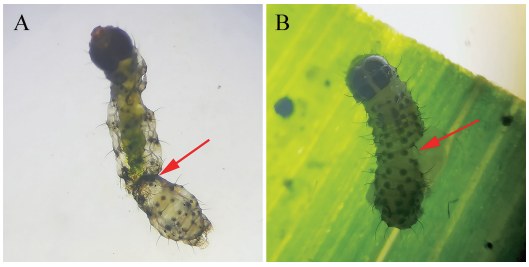
1.3　数据分析

试验数据均采用 SPSS 23.0 和 Origin 9.0 进行分析并作图。捕食功能反应方程相关系数和干扰反应方程的拟合采用卡方适合性检验。

2　结果与分析

2.1　大草蛉对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为特点

刚接入培养皿的大草蛉成虫先沿着皿壁无规律爬行，爬行一会儿停下休息，休息时会用前足梳理颚须和触角，然后处于静止状态。当开始搜寻猎物时，其触角会前后迅速摆动，发现猎物后不会立即取食，而是试探性攻击猎物腹部位置，咬伤猎物后再进行取食（图 1）。观察发现，大草蛉成虫对草地贪夜蛾 1~3 龄幼虫具有致死作用，对 4、5 龄幼虫并无致死作用。同时还观察发现，大草蛉成虫有时会取食草地贪夜蛾幼虫排泄物。



A：2 龄幼虫；B：被咬伤的 3 龄幼虫。 A：2nd-instar larva；B：3rd-instar larva hurt by *Chrysopa pallens*.

图 1　被大草蛉取食的草地贪夜蛾幼虫

Fig. 1　*Spodoptera frugiperda* larvae preyed by *Chrysopa pallens*

2.2　大草蛉成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应

大草蛉成虫对草地贪夜蛾 1、2 和 3 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型，大草蛉成虫对草地贪夜蛾 1、2 和 3 龄幼虫的捕食功能反应方程分别为 $Na=1.023N/(1+0.0712N)$、$Na=0.618N/(1+0.060N)$、$Na=0.313N/(1+0.095N)$（表 1、图 2）。在大草蛉对草地贪夜幼虫不同龄期的捕食功能反应中，$1/N$ 与 $1/Na$ 的相关系数 r 均大于 0.951，$df=5$ 时，$r_{0.01}=0.874$，$r>r_{0.01}$，表明大草蛉成虫的捕食量与猎物密度显著相关。大草蛉成虫对 1 龄幼虫的瞬时攻击率最大，为 1.023，处理时间最短，为 0.070 d，日最大捕食量为 14.37 头，其对 2 龄和 3 龄幼虫的瞬时攻击率分别为 0.618 和 0.313，处理时间分别为 0.097 和 0.305，日最大捕食量分别为 10.31 头和 3.28 头（表 1）。表明随着猎物龄期的增加，大草蛉的瞬时攻击率降低，处理时间增加。

表 1　大草蛉成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应

Table 1　Functional responses of *Chrysopa pallens* adults to *Spodoptera frugiperda* larvae

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*	瞬时攻击率 Rate of instantaneous attack	处理时间 Handling time	功能反应方程 Functional response equation	日最大捕食量 The maximum predation per day	相关系数 r Correlation coefficient r
1 龄幼虫 1st-instar larva	1.023	0.070	$Na=1.023N/(1+0.071N)$	14.37	0.951
2 龄幼虫 2nd-instar larva	0.618	0.097	$Na=0.618N/(1+0.060N)$	10.31	0.960
3 龄幼虫 3rd-instar larva	0.313	0.305	$Na=0.313N/(1+0.095N)$	3.28	0.975

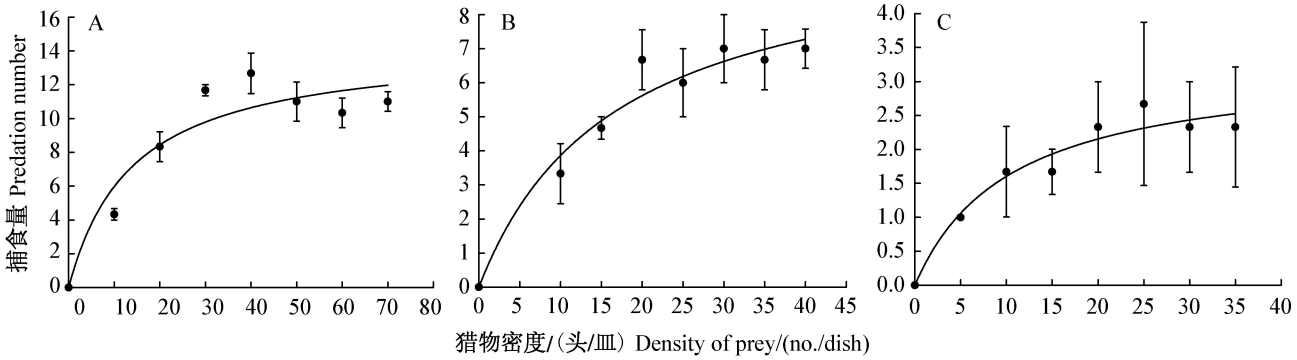


图2 大草蛉成虫对草地贪夜蛾1龄(A)、2龄(B)和3龄(C)幼虫的捕食量

Fig. 2 Predation numbers of *Chrysopa pallens* adults to *Spodoptera frugiperda* 1st-instar (A), 2nd-instar (B) and 3rd-instar (C) larvae

2.3 大草蛉成虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的搜寻效应

当草地贪夜蛾1龄幼虫密度为10~70头/皿时,大草蛉成虫的搜寻效应下降了29.37%~71.38%;当2龄幼虫密度为10~40头/皿时,大草蛉成虫的搜寻效应下降了15.79%~52.95%;当3龄幼虫密度为5~35头/皿,大草蛉成虫的搜寻效应下降了24.43%~65.94%(图3)。表明大草蛉成虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的搜寻效应随着猎物密度的增加而降低。

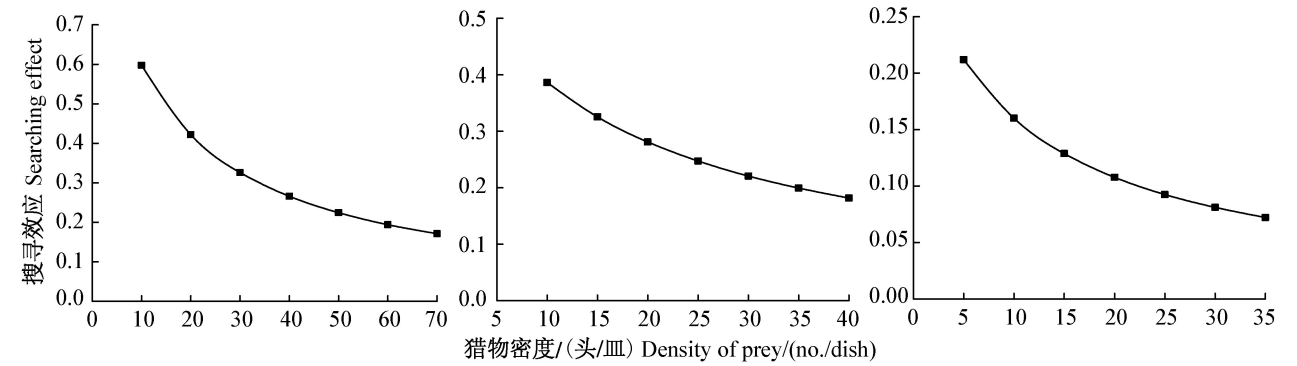


图3 大草蛉成虫对草地贪夜蛾1龄(A)、2龄(B)和3龄(C)幼虫的搜寻效应

Fig. 3 Searching efficiencies of *Chrysopa pallens* adults to *Spodoptera frugiperda* 1st-instar (A), 2nd-instar (B) and 3rd-instar (C) larvae

2.4 种群自身密度对大草蛉成虫捕食能力的影响

随着大草蛉成虫自身密度的增加,其对草地贪夜蛾低龄幼虫的总捕食量呈上升趋势,但是平均捕食量和捕食作用率随着捕食者密度的增加而显著降低(表2),表明大草蛉个体间存在明显的干扰效应。通过干扰反应方程对试验数据进行拟合,发现大草蛉成虫对草地贪夜蛾1、2和3龄幼虫的搜寻常数分别是0.348、0.320和0.118;干扰系数分别为0.759、0.944和0.918;干扰反应方程分别为$E=0.348P^{-0.759}$、$E=0.320P^{-0.944}$和$E=0.118P^{-0.918}$,经卡方适合性检验,$\chi_1^2=2.872\times10^{-4}$, $\chi_2^2=1.046\times10^{-4}$, $\chi_3^2=3.228\times10^{-5}$;均小于$\chi^2_{(0.05,4)}=9.49$,差异不显著,说明拟合方程能较好地反应大草蛉自身密度对捕食能力的干扰。当草地贪夜蛾幼虫为1龄时,大草蛉自身密度对其捕食能力的干扰作用最大,幼虫为2、3龄时的干扰作用次之。

3 讨论

本研究结果显示,大草蛉成虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食行为总体上表现为搜寻—攻击—梳理—取食—静息,这个过程不是连续的,这与其捕食烟粉虱*Bemisia tabaci*的行为类似(刘爽等,2011)。试验还观察到大草蛉成虫会攻击4、5龄草地贪夜蛾幼虫,但对其无致死作用,可能高龄幼虫活动能力较强,反抗较为激烈,加之体壁较厚,大草蛉不易对其造成严重伤害。

大草蛉成虫对草地贪夜蛾1、2、3龄低龄幼虫的捕食功能反应均符合Holling II模型,对1龄幼虫的瞬时攻击率最大,为1.023,处理时间最短,为0.070 d,日最大捕食量最高,达到14.37头,对2龄和3龄幼虫的日最大捕食量均低于对1龄幼虫的最大捕食量。徐庆宣等(2019)利用大草蛉成虫和3龄幼虫对草地

贪夜蛾1龄幼虫和卵的捕食功能进行研究，发现大草蛉成虫对草地贪夜蛾1龄幼虫的捕食量为20头，略高于本研究结果。其原因可能是本研究在培养皿中放入了玉米叶片供草地贪夜蛾取食，其幼虫会爬行到玉米叶片背面，这增加了大草蛉成虫对草地贪夜蛾幼虫的搜寻和捕食难度，进而导致捕食量减少，但本结果更符合田间环境下捕食性天敌对害虫的捕食效果。大草蛉成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力略高于东亚小花蝽（代晓彦等，2019），略低于体型较大的益蝽和蠋蝽（王燕等，2019a，b），但大草蛉在自然条件下种群数量较大，其对害虫的自然控制作用相对较大，而且大草蛉成虫具有繁殖力强、捕食范围广、寿命长、规模化饲养较容易等特点（赵敬钊，1988），使其在草地贪夜蛾生物防治上具有较好的应用前景。种内干扰反应试验发现，随着大草蛉成虫密度的增加其捕食作用率明显降低，这与多种天敌的捕食性干扰反应研究结果一致（孔琳等，2019；赵雪晴等，2019）。这表明在一定的空间范围，同一物种间存在种内竞争，所以在田间释放天敌昆虫时，还需综合考虑天敌昆虫自身密度对捕食能力的影响。

表2 大草蛉成虫自身密度对捕食的干扰效应

Table 2 Interference effect of the density of *Chrysopa pallens* on its predatory capacity

大草蛉成虫密度（头/皿）Density of *C. pallens* adults per dish	1龄 1st-instar		2龄 2nd-instar		3龄 3rd-instar	
	平均捕食量 Average predation amount	捕食作用率 Predation rate	平均捕食量 Average predation amount	捕食作用率 Predation rate	平均捕食量 Average predation amount	捕食作用率 Predation rate
1	7.00	0.350	6.33	0.317	2.33	0.317
2	4.17	0.208	3.50	0.175	1.33	0.088
3	2.56	0.128	2.44	0.122	0.89	0.041
4	2.50	0.125	1.58	0.079	0.50	0.020
5	2.40	0.120	1.20	0.060	0.60	0.012

目前，关于大草蛉捕食功能的研究大多在室内条件下进行，但大草蛉的捕食能力受气候条件、猎物密度、自身密度等因素的影响较大。室内试验具有一定的局限性，无法充分体现大草蛉在农业生态系统中对害虫的防控作用，因此，还需进一步通过田间释放大草蛉来评估其对草地贪夜蛾的防控效果。

参 考 文 献（References）

DAI XY, ZHAI YF, CHEN FS, ZHANG HM, WANG Y, ZHENG L, CHEN H. 2019. Predation of *Orius sauteri* on *Spodoptera frugiperda* larva. Chinese Journal of Biological Control, 35(5): 704−708 (in Chinese) [代晓彦, 翟一凡, 陈福寿, 张红梅, 王瑜, 郑礼, 陈浩. 2019. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力评价. 中国生物防治学报, 35(5): 704−708]

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 (in Chinese) [范悦莉, 谷星慧, 冼继东, 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]

FAO. 2018. Integrated management of the fall armyworm on maize: a guide for farmer field schools in Africa. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 1−129

JONSSON M, WRATTEN SD, LANDIS DA, GURR GM. 2008. Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. Biological Control, 45(2): 172−175

JIANG YM, LIU J, ZHU XM. 2019. Analysis on the occurrence dynamics and future trends of *Spodoptera frugiperda* invasion in my country. China Plant Protection, 39(2): 33−35 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 2019. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析. 中国植保导刊, 39(2): 33−35]

KONG L, LI YY, WANG MQ, LIU CX, MAO JJ, CHEN HY, ZHANG LS. 2019. Predation of *Coccinella septempunctata* on young larvae of *Spodoptera frugiperda*. Chinese Journal of Biological Control, 35(5): 715−720 (in Chinese) [孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生. 2019. 七星瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价. 中国生物防治学报, 35(5): 715−720]

LEE GH, LEE SC, CHOI MY, KIM DH. 2000. Prey consumption and suppression of vegetable aphids by *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) as a predator. Korean Journal of Applied Entomology, 39(4): 251−258

LIU S, WANG S, LIU BM, ZHOU CQ, ZHANG F. 2011. The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci*. Scientia Agricultura Sinica, 44(6): 1136−1145 (in Chinese) [刘爽, 王甦, 刘佰明, 周长青, 张帆. 2011. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察. 中国农业科学, 44(6): 1136−1145]

MARENCO RJ, FOSTER RE, SANCHEZ CA. 1992. Sweet corn response to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) damage during vegetative growth. Journal of Economic Entomology, 85(4): 1285−1292

MONTEZANO DG, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ DR, ROQUE-SPECHT VF, SOUSA-SILVA JC, PAULA-MORAES SV, PETERSON JA, HUNT TE. 2018. Host plants of *Spodoptera frugi-*

perda (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. African Entomology, 26(2): 286−300

MURUÁ G, VIRLA E. 2004. Population parameters of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) fed on corn and two predominant grasses in Tucuman (Argentina). Acta Zoologica Mexicana, 20(1): 199−210

National Agricultural Technology Extension Service Center. 2020a. *Spodoptera frugiperda* is re-emerging in 2020. Pesticide Market News, (1): 66 (in Chinese) [全国农业技术推广服务中心. 2020a. 2020年草地贪夜蛾呈重发态势. 农药市场信息, (1): 66]

National Agricultural Technology Extension Service Center. 2020b. The occurrence of *Spodoptera frugiperda* in spring. 2020b. Pesticide Market News, (8): 63 (in Chinese) [全国农业技术推广服务中心. 2020b. 今春草地贪夜蛾发生动态. 农药市场信息, (8): 63]

PAIR SD, RAULSTON JR, SPARKS AN, WESTBROOK JK, DOUCE GK. 1986. Fall armyworm distribution and population dynamics in the southeastern states. The Florida Entomologist, 69(3): 468−487

ROSE DJW, DEWHURST CF, PAGE WW. 2000. The African armyworm handbook: the status, biology, ecology, epidemiology and management of *Spodoptera exempta* (Lepidoptera: Noctuidae). 2nd edition. Chatham, UK: Natural Resources Institute

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 (in Chinese) [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 QQ, CUI L, WANG L, HUANG WL, DAI LM, YUAN HZ, RUI CH. 2019. Ovicidal activity of twenty insecticides against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Plant Protection, 45(6): 80−83 (in Chinese) [王芹芹, 崔丽, 王立, 黄伟玲, 代黎明, 袁会珠, 芮昌辉. 2019. 20种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性. 植物保护, 45(6): 80−83]

WANG SY, ZHU QZ, TAN YT, MA QL, WANG YF, ZHANG MF, XU HH, ZHANG ZX. 2019. Artificial diets and rearing technique of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in laboratory. Journal of Environmental Entomology, 41(4): 742−747 (in Chinese) [王世英, 朱启绽, 谭煜婷, 马千里, 王瑞飞, 张美芳, 徐汉虹, 张志祥. 2019. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术. 环境昆虫学报, 41(4): 742−747]

WANG Y, WANG MQ, ZHANG HM, ZHAO XQ, YIN YQ, LI XY, TANG YT, CHEN B, CHEN FS, ZHANG LS. 2019a. Predation potential of adult of *Picromerus lewisi* (Fallou) on larvae of *Spodoptera frugiperda*. Chinese Journal of Biological Control, 35(5): 691−697 (in Chinese) [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. 2019a. 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, YIN YM, LI XY, ZHAO XQ, TANG YT, WANG MQ, CHEN AD, CHEN FS, ZHANG LS. 2019b. Predation of adult of *Arma chinensis* to larvae of *Spodoptera frugiperda*. Plant Protection, 45(5): 42−46 (in Chinese) [王燕, 张红梅, 尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 唐艺婷, 王孟卿, 谌爱东, 陈福寿, 张礼生. 2019b. 蝽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]

WANG YN, ZHAO SY, HE YZ, WU KM, LI GP, FENG HQ. 2020. Predation of *Sycanus croceovittatus* Dohrn on the larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). Chinese Journal of Biological Control, http: //kns. cnki. net/kcms/detail/11.3515. S. 20200121.1740.004.html (in Chinese) [王亚楠, 赵胜园, 何运转, 吴孔明, 李国平, 封洪强. 2020. 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用. 中国生物防治学报, http://kns. cnki. net/kcms/detail/11.3515.S.20200121.1740.004.html]

WU KJ, SHENG CF, GONG PY. 2004. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it. Entomological Knowledge, 41(3): 267−269 (in Chinese) [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜. 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 昆虫知识, 41(3): 267−269]

WU QL, JIANG YY, WU KM. 2019. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) from Myanmar to China. Plant Protection, 45(2): 1−6, 18 (in Chinese) [吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 2019. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析. 植物保护, 45(2): 1−6, 18]

WYCKHUYS KAG, LU YH, MORALES H, VAZQUEZ LL, LEGASPI JC, ELIOPOULOS PA, HERNANDEZ LM. 2013. Current status and potential of conservation biological control for agriculture in the developing world. Biological Control, 65(1): 152−167

XU QX, WANG S, TIAN RB, WANG S, ZHANG F, MA J, LI S, DI N. 2019. Study on the predation potential of *Chrysopa pallens* on *Spodoptera frugiperda*. Journal of Environmental Entomology, 41(4): 754−759 (in Chinese) [徐庆宣, 王松, 田仁斌, 王甦, 张帆, 马娇, 李姝, 邸宁. 2019. 大草蛉对草地贪夜蛾捕食潜能研究. 环境昆虫学报, 41(4): 754−759]

YANG XL, LIU YC, LUO MZ, LI Y, WANG WH, WAN F, JIANG H. 2019. *Spodoptera frugiperda* moved to southwest for the first time in Jiangcheng County, Yunnan Province. Yunnan Agriculture, (1): 72 (in Chinese) [杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 李依, 王文辉, 万飞, 姜虹. 2019. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾. 云南农业, (1): 72]

YU SJ. 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). Pesticide Biochemistry and Physiology, 39(1): 84−91

ZHAO JZ. 1988. Studies on the bionomics of *Chrysopa septempunctata* Wesmoer. Journal of Plant Protection, 15(2): 123−127 (in Chinese) [赵敬钊. 1988. 大草蛉生物学特性研究. 植物保护学报, 15(2): 123−127]

ZHAO XQ, LIU Y, SHI WP, LI XY, WANG Y, YIN YQ, ZHANG HM, CEHN FS, ZHANG HY, LIU XG, et al. 2019. Predatory effect of *Orius sauteri* on *Spodoptera frugiperda* larvae. Plant Protection, 45(5): 79−83 (in Chinese) [赵雪晴, 刘莹, 石旺鹏, 李向永, 王燕, 尹艳琼, 张红梅, 陈福寿, 张红艳, 刘小钢, 等. 2019. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食效应. 植物保护, 45(5): 79−83]

（责任编辑：李美娟）