

七星瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价

孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生*

(中国农业科学院植物保护研究所/中美合作生物防治实验室, 北京 100193)

摘要: 为了评估七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 对重大入侵害虫草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 的防控效果, 本试验在室内条件下开展了七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的捕食功能反应和种内干扰研究。结果表明: 七星瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型, 七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 233.100 头、1.204 和 0.103 h; 对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 41.220 头、1.075 和 0.582 h。七星瓢虫的搜寻效应随猎物密度的增加而逐渐降低。七星瓢虫对草地贪夜蛾的捕食作用受到较强的种内干扰。试验证明七星瓢虫对草地贪夜蛾具有较好的控害效果, 可用于对草地贪夜蛾的防控实践。

关键词: 七星瓢虫; 草地贪夜蛾; 捕食作用; 干扰作用

中图分类号: S476.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2019)05-0715-06

Predation of *Coccinella septempunctata* on Young Larvae of *Spodoptera frugiperda*

KONG Lin, LI Yuyan, WANG Mengqing, LIU Chenxi, MAO Jianjun, CHEN Hongyin, ZHANG Lisheng*

(USDA-ARS Sino-American Biological Control Laboratory/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: To evaluate the control potential of *Coccinella septempunctata* adults on the 1st instar and 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), the functional responses and mutual interference of *C. septempunctata* were studied in laboratory. The results showed that the maximum daily predation amount, the sequence of attacking efficiency and the handling time *C. septempunctata* adults on the 1st instars of *S. frugiperda* were 233.1, 1.204 and 0.103 h, respectively; and the values on the 2nd instars of *S. frugiperda* were 41.2, 1.075 and 0.582 h, respectively. The *C. septempunctata* adults gradually reduced their search activities as the density of prey increases. The predation of *C. septempunctata* was strongly affected by intraspecific interference. This study proves that *C. septempunctata* adults are efficient for the control of *S. frugiperda* and can be used in biological control of *S. frugiperda* in field.

Key words: *Coccinella septempunctata*; *Spodoptera frugiperda*; predation; mutual interference

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 又称行军虫、秋粘虫、草地夜蛾, 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 在 2017 年世界植物现状报告中被国际农业和生物科学中心 CABI 评为世界十大植物害虫之一^[1-3]。草地贪夜蛾原产于美洲热带和亚热带地区, 2016 年 1 月首次入侵非洲尼日利亚和加纳, 至 2018 年, 迅速蔓延至撒哈拉以南的 44 个非洲国家造成玉米严重减产^[4-6]。同年 7 月, 草地贪夜蛾入侵印度, 随后迅速扩散至也门、泰国、缅甸、尼泊尔、孟加拉等亚洲国家^[7-9], 并在缅甸形成虫源基地。2019 年 1 月草地贪夜蛾传入我国云南省普洱市江城, 截至 2019 年 8 月, 草地贪夜蛾已扩散至全国 21 个省(市、区) 1246 个县, 且呈继续北迁之势, 对我国农业生产构成严重威胁^[10]。

收稿日期: 2019-09-02

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201000); 国家自然科学基金(31972339); 中国农业科学院基本科研业务费重大项目(Y2019YJ06)

作者简介: 孔琳, 硕士研究生, E-mail: konglin1995@163.com; *通信作者, 博士, 研究员, E-mail: zhangleesheng@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.032

草地贪夜蛾具有以下特点：寄主范围广泛，包括玉米、小麦、水稻、甘蔗等 76 科 353 种寄主植物^[11]；迁飞能力强，成虫借助气流进行远距离扩散，每晚可迁飞 100 多公里^[12]；繁殖能力强，雌虫可多次交配产卵，平均产卵量 1000 粒左右，最高时可达 2000 粒^[13]；适生区域广，目前全球已有 100 多个国家受到草地贪夜蛾的为害^[14]；为害程度重，草地贪夜蛾幼虫聚集具有暴食性，高龄幼虫（4~6 龄）可取食整株叶片或玉米雄穗和果穗，造成玉米减产、严重时甚至毁种绝收^[15]。

农业农村部高度重视草地贪夜蛾的防治，防控总目标为防治处置率达到 90% 以上，绿色防控技术应用比例达到 30% 以上，综合防治效果达到 85% 以上，为害损失率控制在 8% 以内。目前防治草地贪夜蛾的方法主要包括农业防治、化学防治、生物防治等，其中化学防治是目前控制草地贪夜蛾的主要手段^[16,17]，但由于化学药剂的长期频繁使用，目前许多国家的草地贪夜蛾种群对传统邻酰胺基苯甲酰胺类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类等多种化学农药产生了抗性^[18,19]。此外，因为草地贪夜蛾高龄幼虫会钻入玉米心叶、叶鞘和雄穗，化学药剂接触不到虫体，达不到良好的防治效果^[20]。为了达到草地贪夜蛾总体防控目标，需尽快寻找新的防控方法。生物防治是防控草地贪夜蛾的有效途径，利用天敌昆虫是生物防治的核心手段。草地贪夜蛾天敌种类繁多，我国利用益蝽 *Picromerus lewisi* Scott、蠊蝽 *Arma chinensis* Fallou、东亚小花蝽 *Orius sauteri*、大草蛉 *Chrysopa pallens* Rambur、多异瓢虫 *Hippodamia variegata*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 等捕食性昆虫和赤眼蜂 *Trichogramma* sp. nr. *mwanzai* Schulten et Feijen、夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* Nixon、甲腹茧蜂 *Chelonus* sp.、斯氏侧沟茧蜂 *Microplitis similis* 等寄生蜂防治草地贪夜蛾均已有关报道^[21-27]。

七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 属鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae，具有分布广泛、存活时间长、适应性强、发生量大、产卵量高等优点，是我国的优势捕食性天敌，其成虫和幼虫均能捕食多种蚜虫、叶蝉、木虱和粉虱^[28-37]。本试验对七星瓢虫成虫对草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫的捕食功能反应、搜寻效应以及干扰作用进行了探索，以期科学评价七星瓢虫对草地贪夜蛾的防控效果，为应用七星瓢虫防治草地贪夜蛾提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾由云南省农业科学院提供，室内采用新鲜玉米苗饲养 1 代以上。七星瓢虫饲养于中国农业科学院植物保护研究所廊坊基地。

试验在室内自然温度下，于直径 15 cm，高 1.5 cm 的培养皿内进行。

1.2 七星瓢虫成虫对草地贪夜蛾的捕食功能反应

试验在直径为 15 cm 培养皿中进行，分别将一头饥饿处理 24 h 的七星瓢虫与不同龄期的草地贪夜蛾幼虫组合。1 龄草地贪夜蛾幼虫密度梯度设置为 50、100、150、200、300 头/皿，2 龄草地贪夜蛾幼虫密度梯度设置为 5、10、20、30、40、60 头/皿，同时在培养皿中放入新鲜玉米叶细条，以防止草地贪夜蛾幼虫自残，共 10 个处理，每个处理 10 次重复。将培养皿置于室内自然温度下，各密度分别设置相应的草地贪夜蛾密度作为空白对照，得到草地贪夜蛾的自残及自然死亡数，以校正各处理瓢虫捕食量，24 h 后观察被捕食量。

1.3 干扰效应对七星瓢虫捕食草地贪夜蛾幼虫的影响

试验在直径为 15 cm 培养皿中进行，草地贪夜蛾 1 龄幼虫与饥饿处理 24 h 的七星瓢虫成虫分别以 150:1、300:2、450:3、600:4、750:5 的比例组合，草地贪夜蛾 2 龄幼虫与饥饿处理 24 h 的七星瓢虫成虫分别以 30:1、60:2、90:3、120:4、150:5 的比例组合，共 15 个处理，每个处理重复 10 次。将培养皿置于室内自然温度下，24 h 后观察被捕食量。

1.4 数据统计与分析

Holling II 型圆盘方程： $N_a = aNT_r / (1 + aT_h N)$ ^[38]。式中 N_a 为草地贪夜蛾幼虫被取食数量； a 为捕食者对猎物的瞬间攻击率； N 为草地贪夜蛾幼虫密度； T_r 为总的试验时间（本试验中 $T_r = 1$ ）； T_h 为处理 1 头猎物所用的时间。

搜寻效应方程： $S = aT_r / (1 + aT_h N)$ ^[39]，式中 S 为搜寻效应， a 为瞬时攻击率， T_h 为处理 1 头猎物所用的时间， N 为草地贪夜蛾幼虫密度。

Hassell 干扰反应模型： $E=QP^{-m}$ ^[40]，式中，E 为平均捕食作用率，Q 为天敌的搜索常数，P 为七星瓢虫密度，m 为种内干扰系数。

利用 Excel 2010 对所有试验数据进行相关统计处理，使用 SigmaPlot 19.0 拟合方程，并用 Graphpad Prism 6.01 作图。

2 结果与分析

2.1 七星瓢虫成虫对草地贪夜蛾的捕食功能反应

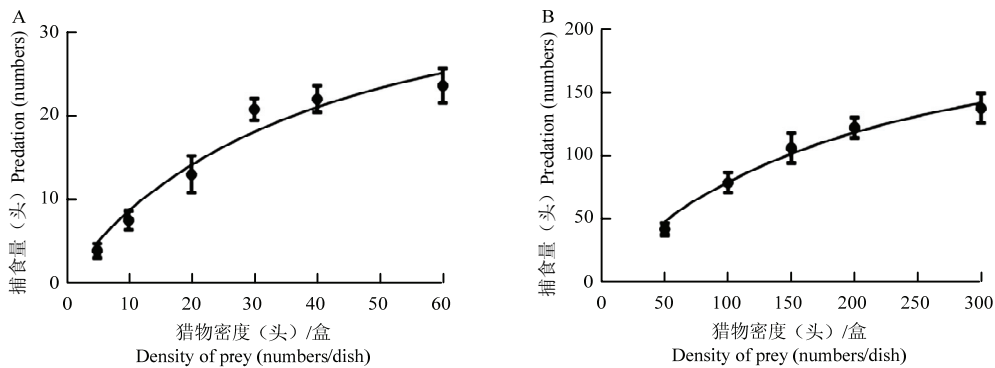
七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的日捕食量随草地贪夜蛾幼虫密度的升高而逐渐增加，当猎物密度增加一定水平时，七星瓢虫的日捕食量趋于平稳，捕食功能反应符合 Holling II 型圆盘方程（图 1）。七星瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应方程与 Holling II 型圆盘方程模型拟合度较高， R^2 均在 0.9 以上（表 1）。

七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间依次为 1.204、0.103 h；对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间依次为 1.075、0.582 h。在捕食功能反应中，常用 a/T_h 值来描述天敌对害虫的控害能力， a/T_h 值越大，表明天敌对该种害虫控害能力越强，七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫 a/T_h 值（280.653）高于对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的（44.312），说明七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫控害能力更强。七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量（233.100）高于 2 龄幼虫（41.220），进一步证明了这个观点。

表 1 七星瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应

Table 1 Functional responses of *C. septempunctata* to larvae of *S. frugiperda*

猎物虫态 Stage	R^2	捕食功能方程 Functional response equation	F	P	瞬时攻击率 Attacking efficiency (a)	处理时间 Handling time (T_h , h)	日最大捕食量 Predation number ($24/T_h$)	控害效能 Predation capacity (a/T_h)
1 龄 1 st instar	0.9292	$Na=1.204N/(1+0.005N)$	301.851	<0.0001	1.204	0.103	233.100	280.653
2 龄 2 nd instar	0.9256	$Na=1.075N/(1+0.026N)$	348.443	<0.0001	1.075	0.582	41.220	44.312



A: 1 龄 1st instar; B: 2 龄 2nd instar

图 1 七星瓢虫对草地贪夜蛾的捕食功能反应

Fig. 1 Functional responses of *C. septempunctata* to larvae of *S. frugiperda*

2.2 七星瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的搜寻效应

七星瓢虫对草地贪夜蛾幼虫的搜寻效应随着幼虫密度的增加而降低，当草地贪夜蛾 1 龄幼虫的猎物密度为 50、100、150、200、300 头/皿时，七星瓢虫搜寻效应依次为 0.963、0.803、0.688、0.602、0.482，当草地贪夜蛾 2 龄幼虫的猎物密度为 5、10、20、30、40、60 头/皿时，七星瓢虫搜寻效应依次为 0.951、0.853、0.707、0.604、0.527、0.420（图 2）。

2.3 干扰效应对七星瓢虫捕食草地贪夜蛾幼虫的影响

生存空间一定时，当七星瓢虫密度和草地贪夜蛾幼虫密度同比例增加时，总捕食量增加，但平均捕食率却降低，说明七星瓢虫在捕食猎物时存在着种内干扰作用，且相互干扰作用随总体密度增加而增加。七星瓢虫捕食 1 龄草地贪夜蛾的种内干扰系数为 0.768；捕食 2 龄草地贪夜蛾的种内干扰系数为 0.396。比较七星瓢虫捕食不同虫态草地贪夜蛾幼虫受到的种内干扰程度不同，种内干扰程度随草地贪夜蛾幼虫龄期的增加而降低。

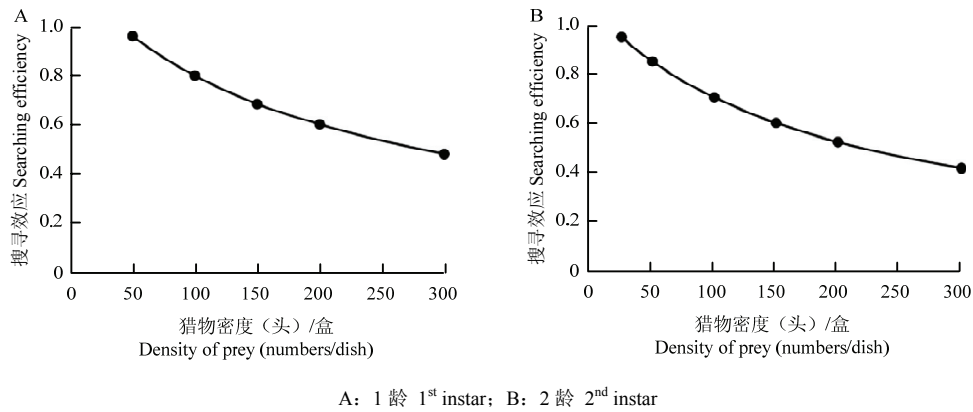


图 2 七星瓢虫对草地贪夜蛾的搜寻效应

Fig. 2 Searching efficiency of *C. septempunctata* to larvae of *S. frugiperda*

表 2 七星瓢虫捕食草地贪夜蛾受到的种内干扰系数

Table 2 The coefficient of mutual interference impacting the predation of *C. septempunctata* adults on *S. frugiperda*

龄期 Instar	R ²	Hassell 模型方程 Hassell model equation	Q	m	F	P
1 龄 1 st instar	0.920	E=0.695P ^{-0.768}	0.695	0.768	263.121	<0.0001
2 龄 2 nd instar	0.890	E=0.742P ^{-0.396}	0.742	0.396	189.652	<0.0001

3 讨论

七星瓢虫是重要的捕食性天敌，在亚洲、欧洲和非洲北部均有分布，因其具有分布广泛、存活时间长、适应性强、发生量大、产卵量高等优点，在全球生防研究中受到广泛关注。本试验研究了七星瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食潜能，对充分发挥七星瓢虫捕食能力，防控重大入侵性害虫草地贪夜蛾具有重要意义。

试验结果表明，七星瓢虫取食草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食模型符合 Holling II 模型，这与七星瓢虫取食甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*、萝卜蚜 *Lipaphis erysimi*、烟蚜 *Myzus persicae*、茶蚜 *Toxoptera aurantii*、月季长管蚜 *Macrosiphum rosirvorum*、麦长管蚜 *Sitobion avenae* Fabricius、大豆蚜 *Aphis glycines*、豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum*、苜蓿斑蚜 *Therioaphis trifolii* 和其他昆虫如枸杞木虱 *Poratrioza sinica*、蠕须盾蚧 *Kuwanaspis vermiformis*、狭冠网蝽 *Stephanitis anagustata* 若虫的捕食功能反应模型一致^[28-37]。数据表明七星瓢虫取食草地贪夜蛾 1 龄幼虫只需 0.103 h，日最大捕食量为 233.1 头，控害效能高达 280.653，高于七星瓢虫对 2 龄幼虫的防控效果，这与孔琳等^[26]研究多异瓢虫、异色瓢虫捕食草地贪夜蛾的结果类似。捕食性天敌多异瓢虫、异色瓢虫、大草蛉对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量分别为 210.4、249.0、358.0 头，而七星瓢虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量为 233.1 头，说明七星瓢虫也是控制草地贪夜蛾极有优势的捕食性天敌。

同时在试验中观察到七星瓢虫与多异瓢虫、异色瓢虫在取食 2 龄幼虫时捕食行为略有不同，3 种瓢虫捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫的行为均包括静息、搜寻、试探、取食、清洁、展翅、排泄 7 种行为。其中取食行为存在差异，七星瓢虫整个取食过程都将 2 龄幼虫全部取食完毕后会继续搜索下一头猎物进行攻击，而多异瓢虫和异色瓢虫只有取食前期会将草地贪夜蛾 2 龄幼虫全部取食完毕，后期则以攻击为主，只取食幼虫身体的一部分。因此在相同时间内，多异瓢虫和异色瓢虫会捕杀更多草地贪夜蛾幼虫，这与七星瓢虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量 (41.220) 低于多异瓢虫 (62.189)、异色瓢虫 (68.260) 的试验结果相一致。

试验结果表明随着草地贪夜蛾密度的增加，七星瓢虫搜寻效应逐渐降低，这种现象在捕食者与猎物系统中是普遍存在的，如七星瓢虫对蠕须盾蚧 *Kuwanaspis vermiformis*、烟蚜 *Myzus persicae*、益蝽 *Picromerus lewisi* 对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 等的搜寻效应均随猎物密度升高而降低^[21,29,36]。

生存空间一定时,捕食者同种个体之间存在着明显的干扰反应,使其捕食效率下降^[41]。当七星瓢虫和草地贪夜蛾密度同比例增加时,七星瓢虫表现出种内干扰,捕食率呈现下降趋势。因此,当人工释放七星瓢虫防治草地贪夜蛾时,应根据自然天敌种群和猎物密度确定七星瓢虫的释放比例,使其得到有效利用,达到最佳防控效果。

本试验通过研究七星瓢虫对草地贪夜蛾的功能反应模型、搜寻效应、种内干扰模型,明确了七星瓢虫对草地贪夜蛾的防控能力。但本试验是在室内条件下进行的,七星瓢虫与草地贪夜蛾均处于一个简单封闭的系统内,而自然条件下存在多种因素(温度、湿度、其他天敌干扰行为等)影响天敌的捕食作用,因此七星瓢虫在田间对草地贪夜蛾的捕食能力还需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Luginbill P. The fall army worm[M]. Washington D.C: US Department of Agriculture, 1928, 2-7.
- [2] Sparksan. A review of the biology of the fall armyworm[J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82-86.
- [3] Casmuz A, Juarez M L, Socias M G, et al. Revision de los hospederos del gusano cogollero del maiz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 2010, 69(3/4): 209-231.
- [4] Goergen G, Kumar P L, Sankung S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa[J]. PLoS ONE, 2016, 11(10): e0165632.
- [5] Cock M J W, Beseh P K, Buddie A G, et al. Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 4103.
- [6] Rwomushana I, Bateman M, Beale T, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa[R]. Wallingford, UK: CAB International, 2018.
- [7] Sharanabasappa D, Kalleshwaraswamy C M, Asokan R, et al. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India[J]. Pest Management, 2018, 24(1): 23-29.
- [8] 吴秋琳,姜玉英,吴孔明.草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J].植物保护,2019,45(2): 1-9.
- [9] 郭井菲,赵建周,何康来,等.警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J].植物保护,2018,44(6): 1-10.
- [10] 陈万斌,李玉艳,王孟卿,等.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[J].中国生物防治学报,2019, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.013.
- [11] Montezano D G, Specht A, Sosa-Gómez, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas[J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-301.
- [12] Abrahams P, Bateman M, Beale T, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Evidence hote (2), September 2017. Report to DFID[R]. Aikesite: CABI, 2017.
- [13] Johnson S J. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 1987, 8(4/5/6): 543-549.
- [14] 王磊,陈科伟,钟国华,等.重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨[J].环境昆虫学报,2019,41(3): 479-487.
- [15] FAO. Integrated management of the fall armyworm on maize[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
- [16] 唐艺婷,王孟卿,李玉艳,等.捕食性螭防治草地贪夜蛾的研究进展[J].中国生物防治学报,2019, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.014.
- [17] Burtet L M, Bernardi O, Melo A A, et al. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in south Brazil[J]. Pest Management Science, 2017, 73(12): 2569-2577.
- [18] Young J R, Mcmillian W W. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces[J]. Journal of Economic Entomology, 1979, 72(2): 202-203.
- [19] Yu S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1991, 39(1): 84-91.
- [20] 姜玉英,刘杰,朱晓明.草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J].中国植保导刊,2019,39(2): 33-35.
- [21] 唐艺婷,王孟卿,陈红印,等.益螭对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J].中国生物防治学报,2019, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.04.005.
- [22] 唐艺婷,李玉艳,刘晨曦,等.螭对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J].植物保护,2019, DOI: 10.16688/j.zwbh.2019264.
- [23] 徐庆宣,王松,田仁斌,等.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.

- [24] 戴鹏, 孙佳伟, 陈永明, 等. 赞比亚发现三种防治草地贪夜蛾的卵寄生蜂简报[J]. 吉林农业大学学报, 2019, DOI: 10.13327/j.jjlau.2019.5310.
- [25] 陈壮美, 赵琳超, 刘航, 等. 斯氏侧沟茧蜂对草地贪夜蛾幼虫的寄生行为及寄生效应[J]. 植物保护, 2019, DOI: 10.16688/j.zwbh.2019341.
- [26] 孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 等. 多异瓢虫和异色瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价[J]. 中国生物防治学报, 2019, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.004.
- [27] 赵雪晴, 刘莹, 石旺鹏, 等. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食效应[J]. 植物保护, 2009, DOI: 10.16688/j.zwbh.2019375.
- [28] 臧建成, 洪大伟, 相栋, 等. 西藏林芝七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 对不同蚜虫的捕食功能反应[J]. 高原农业, 2019, 3(1): 59-64.
- [29] 任向辉, 杨萌, 李鹏, 等. 3种瓢虫对野生型桃蚜和桃粉蚜的捕食功能反应[J]. 中国园艺文摘, 2015, 31(9): 49-50, 53.
- [30] 王庆森, 鞠晓蕾, 黄建. 七星瓢虫对茶蚜的捕食功能反应及生物农药的安全性评价[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(6): 1247-1252.
- [31] 任向辉, 杨萌, 程辉, 等. 3种瓢虫对月季长管蚜与麦长管蚜的捕食功能反应[J]. 农业灾害研究, 2014, 4(7): 16-17, 56.
- [32] 王海建, 蒋春先, 陈瑶, 等. 七星瓢虫对大豆蚜的捕食功能反应研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(3): 389-392.
- [33] 武德功, 王森山, 胡桂馨, 等. 七星瓢虫对豌豆蚜的捕食功能反应[J]. 草原与草坪, 2012, 32(1): 12-17, 23.
- [34] 刘乾, 刘长仲, 孙鹭, 等. 七星瓢虫和多异瓢虫对三叶草彩斑蚜的功能反应研究[J]. 植物保护, 2009, 35(2): 78-81.
- [35] 巫鹏翔, 欧阳浩永, 徐婧, 等. 七星瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用[J]. 应用生态学报, 2016, 27(11): 3712-3718.
- [36] 叶清福. 七星瓢虫成虫对蟠须盾蚧的捕食功能反应[J]. 河北林业科技, 2012(4): 1-3.
- [37] 刘锦乾, 李玉英, 张海江, 等. 七星瓢虫成虫对狭冠网蝽的捕食功能反应研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006(3): 111-114.
- [38] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [39] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994, 257-258, 303-304.
- [40] Hassell M P. A population model for the interaction between *Cyzenis albicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Operophtera brumata* L. (Geometridae) at Wytham, Berkshire[J]. Journal of Animal Ecology, 1969, 38(3): 567-576.
- [41] 王利平, 王永模, 杜进平, 等. 斯氏钝绥螨对朱砂叶螨若螨的捕食作用[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(2): 171-175.