

异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用

赵英杰^{1#}, 符成悦^{1#}, 李维薇¹, 张立敏^{1,2}, 杜广祖¹, 陈斌^{1*}, 李正跃^{1*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201;

2. 云南农业大学国际合作交流处, 昆明 650201)

摘要 为明确天敌昆虫异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的捕食能力, 在室内光照培养箱中, 于(25±1)℃、L//D=16 h//8 h条件下, 研究了异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食功能反应与寻找效应。结果表明: 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食功能反应符合 Holling II 模型。异色瓢虫 1 龄幼虫对草地贪夜蛾卵的日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 25.6 粒、1.035 和 0.039 d; 异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 33.3 头、0.736 和 0.03 d。异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的寻找效应随猎物密度的增加而下降。异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫具有较好的控制效果, 可用于对草地贪夜蛾的防控实践。

关键词 异色瓢虫; 草地贪夜蛾; 功能反应; 寻找效应

中图分类号: S476.2, S433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019500

Predation functional response of *Harmonia axyridis* larvae to the eggs and low instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

ZHAO Yingjie^{1#}, FU Chengyue^{1#}, LI Weiwei¹, ZHANG Limin^{1,2}, DU Guangzu¹, CHEN Bin^{1*}, LI Zhengyue^{1*}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. International Cooperation and Exchange Department, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract To clarify the predation and control ability of *Harmonia axyridis* on *Spodoptera frugiperda*. The predation function and searching efficiency of *H. axyridis* larvae on eggs and low instar larvae of *S. frugiperda* were studied in an indoor light incubator at (25±1)℃ and L//D=16 h//8 h. The functional responses of *H. axyridis* larvae to eggs and low instar larvae of *S. frugiperda* fitted well with Holling II model. Daily maximum predation, instantaneous attack rate and handling time of the 1st instar larvae of *H. axyridis* to eggs of *S. frugiperda* were 25.6 individuals, 1.035 and 0.039 d, respectively. Daily maximum predation, instantaneous attack rate and handling time of the 4th instar larvae of *H. axyridis* to 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were 33.3 individuals, 0.736 and 0.03 d, respectively. The search effect of the larvae of *H. axyridis* on the eggs and low instars of *S. frugiperda* decreased with the increase of the prey density. *H. axyridis* larvae showed a good control efficacy on *S. frugiperda* eggs and low instar larvae, and can be used in the control of *S. frugiperda*.

Key words *Harmonia axyridis*; *Spodoptera frugiperda*; functional response; searching efficiency

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 属于鳞翅目 Lepidoptera, 夜蛾科 Noctuidae, 为一种迁飞性害虫, 原产于美洲热带和亚热带地区, 已给世界玉米生产造成了巨大的经济损失^[1-3]。自从草地贪夜蛾侵入我国以来, 喷施化学农药始终是控制其为害的主要措施^[4]。据报道, 草地贪夜蛾已对多种有机磷类、拟除虫菊酯类和氨基甲酸酯类等传统化学农药产生抗性, 表现出广谱的抗药性^[5-6],

这对我国绿色防控该虫提出了考验。当前, 有许多学者在进行利用天敌防治草地贪夜蛾的研究。其中, 关于寄生蜂对草地贪夜蛾的种群控制作用已有较多报道^[7-9]。除了天敌昆虫以外, 昆虫病原微生物也得到较多的关注, 如昆虫病原线虫^[10], 莱氏绿僵菌 *Metarhizium rileyi* 和球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 等昆虫病原真菌^[11-12]。但是, 关于天敌昆虫防治草地贪夜蛾的报道还较少, 仅有部分关于半

收稿日期: 2019-09-18

修订日期: 2019-09-27

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200703); 国家自然科学基金(31660537, 31760519)

* 通信作者 E-mail: 陈斌 chbins@163.com; 李正跃 lizhengyuekm@163.com

为并列第一作者

翅目昆虫如东亚小花蝽 *Orius sauteri*、蝟蝽 *Arma chinensis*^[13-14], 脉翅目的大草蛉 *Chrysopa pal-lens*^[15] 和部分鞘翅目瓢甲科等的研究。

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 属鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae, 又称亚洲多色瓢虫, 是一种重要的捕食性天敌昆虫, 目前已有许多关于异色瓢虫捕食功能的报道^[16-17], 但关于异色瓢虫对草地贪夜蛾捕食作用的研究报道还较少。本课题组前期研究发现, 异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫具有较强的捕食作用^[18]。为系统探究异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食作用和防控潜力, 本试验进一步研究了异色瓢虫幼虫在室内对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食功能反应及捕食效率, 从而为田间应用异色瓢虫防治草地贪夜蛾提供一定的理论依据。

1 材料与与方法

1.1 供试昆虫

异色瓢虫和草地贪夜蛾均采自云南省曲靖市陆良县板桥镇玉米田 (25°4'57.32"N, 103°42'5.4"E), 并于室内智能人工培养箱 (RG-300) 中连续饲养超过 3 代。饲养条件为温度 (25±1)°C, 相对湿度 (RH) 60%±5%, 光周期 L//D=16 h//8 h。草地贪夜蛾幼虫用新鲜的玉米籽粒及叶片饲养, 成虫以 10% 蜂蜜水喂养。异色瓢虫成虫及幼虫均以实验室内繁育的玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* 饲养, 试验前 3 天, 随机挑选个体大小一致的 1 日龄异色瓢虫 4 龄幼虫, 以草地贪夜蛾 2 龄幼虫饲养, 以供试验。

1.2 试验方法

试验前将异色瓢虫 1 日龄幼虫分头置于培养皿 (直径 9 cm、高 1.5 cm) 内饥饿 24 h, 然后分别将不同密度的草地贪夜蛾 1 日龄新鲜卵放入上述培养皿中, 每皿放一小块浸湿的脱脂棉。以同样的方法将异色瓢虫 4 龄幼虫在培养皿中饥饿处理 24 h, 随后分别将不同密度的草地贪夜蛾 2 龄幼虫放入培养皿中。草地贪夜蛾卵密度梯度分别为 5、10、15、20、25 粒/皿, 草地贪夜蛾 2 龄幼虫的密度分别为 10、15、20、30、40 头/皿, 每处理均重复 5 次。

观察异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和幼虫的捕食行为。24 h 后计数剩余草地贪夜蛾卵和幼虫的数量, 计算被捕食的草地贪夜蛾卵和幼虫数量, 用 Holling II 方程对试验数据进行拟合。试验在 RG-300 智能人工气候箱中进行, 温度 (25±1)°C, 相对湿度 60%±5%, L//D=16 h//8 h, 光强 11 000 lx。

1.3 数据分析

将试验数据进行 Holling II 模型拟合, 得到捕食

功能反应方程: $N_a = aNT_r / (1 + aT_h N)$ ^[19], 寻找效应方程: $S = a / (1 + aT_h N)$ ^[20], 式中 N_a 为捕食猎物的数量, N 是猎物的密度, a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率, T_r 是本试验的总时间 (本试验的总时间设为 24 h, 故 T_r 为 1 d), T_h 是处理时间 (即捕食者捕食 1 头猎物所用的时间), S 为寻找效应。先用 Excel 2016 和 Rstudio^[21] 进行数据处理, 再使用 Graphpad Prism 6.01 分析并作图。

2 结果与分析

2.1 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵的捕食行为观察

通过观察, 异色瓢虫 1 龄幼虫捕食草地贪夜蛾卵的行为与之前试验^[18] 中异色瓢虫成虫捕食草地贪夜蛾幼虫的行为基本相似, 主要分为静止、爬行、搜寻、试探、取食等 5 个行为。



图 1 室内异色瓢虫幼虫取食草地贪夜蛾卵 (左) 和 2 龄幼虫 (右)

Fig. 1 *Harmonia axyridis* attack egg (left) and 2nd instar larvae (right) of *Spodoptera frugiperda* indoors

将饥饿处理过的异色瓢虫 1 龄幼虫放入培养皿后, 瓢虫幼虫首先会保持 1~2 min 的静止, 然后会爬行、搜寻, 搜寻时间一般为 3~5 min, 搜寻时颚部和腹部末端贴近叶面且不断触及叶面前行, 当搜寻到草地贪夜蛾卵后, 会用其 1 对颚管进行触碰, 之后夹住并刺入卵粒进行取食, 取食完 1 粒卵后, 迅速将颚管抽出再刺入另 1 粒卵进行取食。观察发现, 异色瓢虫 1 龄幼虫经常只咬食卵的一部分而不吃完, 并且会连同草地贪夜蛾卵壳一块取食, 这也与异色瓢虫取食美国白蛾卵的研究结果一致^[22]。异色瓢虫 1 龄幼虫从刺破猎物卵壳开始取食, 到取食结束开始搜寻下一个猎物, 最长用时 14 min, 最短用时仅 8 min, 取食结束后会剩余部分卵壳。

2.2 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食行为观察

异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕

食行为跟捕食卵的行为基本一致,同样分为静止、爬行、搜寻、试探、取食等 5 个阶段。将异色瓢虫 4 龄幼虫放入培养皿中,其经历片刻的静止后,进行约 2~3 min 的爬行与搜寻。当搜寻到猎物后,其先用下颚进行试探,然后用一对前足将猎物固定,并从腹部柔软处开始取食,直到将整头幼虫完全吃掉,只剩下头壳。

对比之前的试验^[18]发现,异色瓢虫 4 龄幼虫与成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食行为基本一致。在取食时间上,异色瓢虫成虫完全取食一头草地贪夜蛾 2 龄幼虫需 15~20 min,而异色瓢虫 4 龄幼虫取食完一头草地贪夜蛾 2 龄幼虫需 30~40 min。其次,与之前异色瓢虫成虫捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫得到的结果^[18]相比,异色瓢虫 4 龄幼虫与成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食能力有显著差异,异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量(70.4 头)远高于异色瓢虫 4 龄幼虫的日最大捕食量(33.3 头)。

2.3 异色瓢虫幼虫对卵和低龄幼虫的捕食功能反应

功能反应是指单个捕食者在单位时间内在给定的不同猎物密度下所能捕食的猎物数量。由图 2 可知,异色瓢虫的捕食量(N_a)随着草地贪夜蛾卵和低龄幼虫密度(N)的增加而增多,当 N 达到一定密度后,捕食量增速放缓,呈逆密度制约关系,为负加速曲线,故异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食功能反应符合 Holling II 模型,可用 Holling 圆盘方程来拟合(图 2)。

异色瓢虫 1 龄幼虫对草地贪夜蛾卵的捕食功能反应方程为 $N_a = 1.035N / (1 + 0.04N)$ ($R^2 = 0.935$, $F = 42.99$, $P < 0.01$)。其中,异色瓢虫 1 龄幼虫捕食 1 粒草地贪夜蛾卵所需时间(T_h)为 0.039 d,瞬时攻击率(a)为 1.035;瞬时攻击率(a)与处理时间(T_h)的比值可以更全面地表现出天敌对害虫的控制能力, a/T_h 值(捕食能力)越大,表示天敌对害虫的控制能力越强^[23],异色瓢虫 1 龄幼虫对草地贪夜蛾卵的 a/T_h 为 26.5,说明异色瓢虫低龄幼虫对草地贪夜蛾卵有较强的防控能力;理论日最大捕食量($N_{\max} = 1/T_h$)能够更直观地表现出异色瓢虫对猎物日最大捕食量,当猎物密度足够大,即 $N \rightarrow \infty$ 时,异色瓢虫 1 龄幼虫的理论日最大捕食量($1/T_h$)为 25.6 粒。

异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应方程为 $N_a = 0.736N / (1 + 0.022N)$ ($R^2 =$

0.984, $F = 189.5$, $P < 0.001$)。其中,异色瓢虫 4 龄幼虫捕食 1 头草地贪夜蛾 2 龄幼虫的处理时间(T_h)为 0.03 d,即 43.2 min,瞬时攻击率(a)为 0.736, a/T_h 为 24.5,理论日最大捕食量($1/T_h$)为 33.3 头。

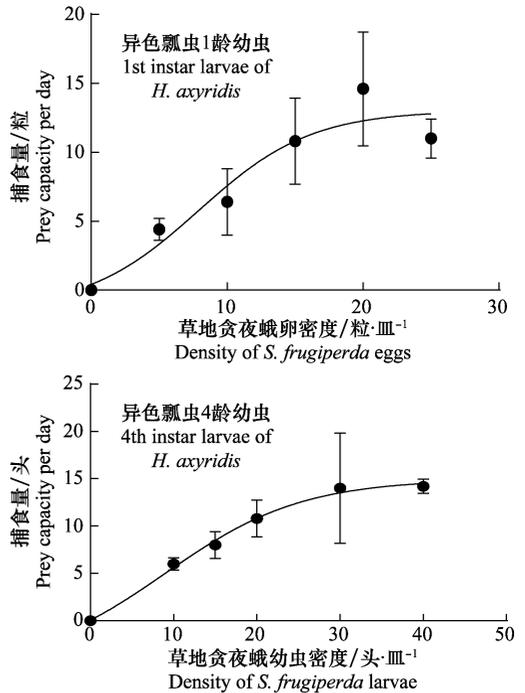


图 2 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 2 Functional responses of *Harmonia axyridis* larvae on eggs and low instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

2.4 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的寻找效应

Holling 认为寻找效应依赖于猎物的种群密度,并随着猎物种群密度的增加而降低^[24]。通过拟合 Holling II 型功能反应模型得到的参数,依公式 $S = a / (1 + aT_h N)$ 估算异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的寻找效应。其中, S 为寻找效应; a , T_h 和 N 的含义同上。

根据上述公式,得出了异色瓢虫幼虫在不同草地贪夜蛾卵和低龄幼虫密度下的寻找效应(图 3),可知,随着猎物密度的增加,异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的寻找效应逐渐降低。当草地贪夜蛾卵的密度分别为 5、10、15、20 和 25 粒/皿时,异色瓢虫 1 龄幼虫的寻找效应分别为 0.863、0.739、0.647、0.575 和 0.518;当草地贪夜蛾 2 龄幼虫的密度分别为 10、15、20、30 和 40 头/皿时,异色瓢虫 4 龄幼虫的寻找效应分别为 0.603、0.553、0.511、0.443 和 0.391。

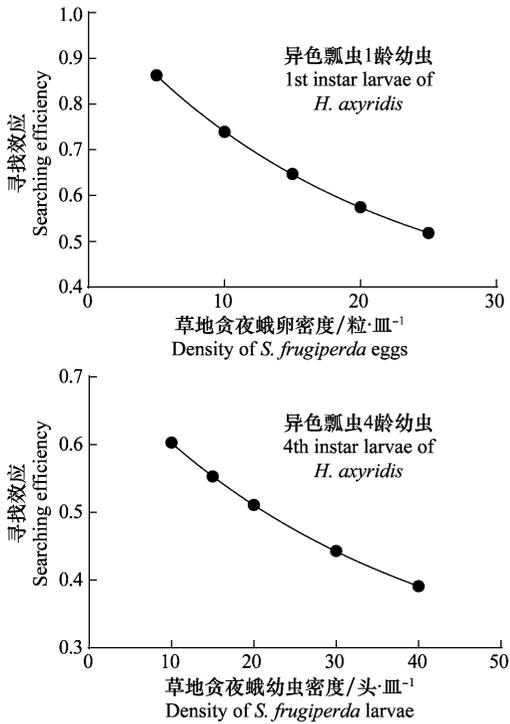


图 3 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的寻找效应
 Fig. 3 Searching efficiency of *Harmonia axyridis* larvae on eggs and low instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

3 结论与讨论

本试验通过研究异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的功能反应模型和寻找效应模型,得出异色瓢虫 1 龄幼虫对草地贪夜蛾卵的捕食功能反应方程为 $N_a = 1.035N / (1 + 0.04N)$, 异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应方程为 $N_a = 0.736N / (1 + 0.022N)$, 符合 Holling II 型功能反应模型, 这与其他天敌昆虫捕食草地贪夜蛾的模型一致^[13-15]。

研究发现, 异色瓢虫 1 龄幼虫和 4 龄幼虫的捕食量均随猎物密度的增加而增多, 当猎物达到一定密度后, 捕食量增速减慢; 另外, 随着猎物密度的增加, 异色瓢虫幼虫的寻找效应逐渐降低。异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵的瞬时攻击率为 1.035, 处理时间为 0.039 d, 日最大捕食量可达 25.6 粒, a/T_h (捕食能力) 为 26.5, 说明其对草地贪夜蛾卵有较强的防控能力, 这一结论与异色瓢虫成虫对榆紫叶甲卵的捕食作用研究结果一致^[25]。异色瓢虫 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的瞬时攻击率、处理时间、日最大捕食量和 a/T_h 分别为 0.736、0.03 d、33.3 头和 24.5, 其中, a/T_h 为 24.5, 表明其对草地贪夜蛾 2 龄幼虫有较强的防控能力, 这可能是因为异色瓢虫 4 龄幼虫与其他龄期相比历期长, 体型较大, 活动能力旺盛^[26], 且需要大量的营养物质为后面的蛹期和羽化做准备。本课题组之前的研究^[18]发现, 异

色瓢虫雌成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的瞬时攻击率、日最大捕食量和 a/T_h 分别为 0.979、70.4 头和 68.9, 明显高于本试验中异色瓢虫 4 龄幼虫捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫的情况, 而对单头草地贪夜蛾捕食处理时间为 0.014 d, 小于 4 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食处理时间, 表明异色瓢虫雌成虫对草地贪夜蛾幼虫具有更强的捕食能力, 由此得出异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食能力随着体型的增大而增强, 这也与 Milona 等研究发现的的天敌对猎物的捕食作用随着其体型的增大而增强的结果相一致^[27], 即较大体型的捕食者通过捕食更多猎物来获得更多的营养和能量来满足交配产卵等的需要^[28]。

本试验中异色瓢虫幼虫取食草地贪夜蛾幼虫的行为与异色瓢虫成虫取食草地贪夜蛾幼虫的行为^[18]基本一致, 都是分为静止、爬行、搜寻、试探、取食等 5 个阶段, 这也与丽草蛉和异色瓢虫对美国白蛾的捕食行为观察结果相一致^[22]。异色瓢虫仅有其高龄幼虫及成虫捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫, 而低龄幼虫不取食草地贪夜蛾 2 龄幼虫, 在田间应用时, 草地贪夜蛾卵可以作为异色瓢虫低龄幼虫的食物来源, 从而降低异色瓢虫低龄幼虫因寄主密度过低而使其幼虫发育、成虫羽化及种群繁殖力受到严重影响的风险。研究发现, 异色瓢虫 1 龄幼虫对于草地贪夜蛾卵有较大的潜在控制作用, 可以在草地贪夜蛾卵发生高峰期有目的地选择释放低龄幼虫进行防治。本文的研究结果为草地贪夜蛾发生为害初期的防控提供了理论依据。

另外, 本研究是在室内条件下研究得到的异色瓢虫对草地贪夜蛾卵的捕食作用, 在室内, 草地贪夜蛾的卵粒部分散乱分布在产卵区且表面没有绒毛覆盖, 这对异色瓢虫低龄幼虫捕食有利。然而, 在田间自然条件下草地贪夜蛾卵块通常层层堆积, 且表面覆盖有绒毛, 这给异色瓢虫低龄幼虫的捕食造成了一定的影响。因此, 在田间自然条件下, 异色瓢虫对草地贪夜蛾卵的捕食作用还值得研究。

参考文献

[1] TODD E L, POOLER W. Keys and illustrations for the army-worm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the Western Hemisphere [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1980, 73(6): 722-738.
 [2] LUGINBILL P. The fall army worm [R]. USDA Technology Bulletin, 1928, 34: 91.
 [3] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82-87.
 [4] 赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8 种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 74-78.

- [R]. The International Maize and Wheat Improvement Center, United States Agency for International Development, and Oak-side Editorial Services, 2018: 109.
- [2] 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/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(10): e0165632.
- [3] DAY R, ABRAHAMS P, BATEMAN M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa[J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28(5): 196-201.
- [4] 王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 683-694.
- [5] 吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 1-9.
- [6] 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): 1-6.
- [7] 金涛, 林玉英, 马光昌, 等. 常规杀虫剂组合对草地贪夜蛾的防治效果及其经济性评价[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 766-774.
- [8] 王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(4): 401-408.
- [9] 赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾效应的室内测定[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 10-14.
- [10] 赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 74-78.
- [11] 金涛, 林玉英, 马光昌, 等. 杀虫剂对新人侵海南草地贪夜蛾种群幼虫的毒力[J]. 热带作物学报, 2019, 40(8): 1571-1576.
- [12] 武海斌, 范昆, 张坤鹏, 等. 13种杀虫剂对小地老虎卵和幼虫的生物活性[J]. 环境昆虫学报, 2013, 35(3): 409-414.
- [13] 范登进, 张弘, 袁静, 等. 几种拟除虫菊酯杀虫剂对粘虫的杀卵活性研究[J]. 农药, 1999, 38(2): 24-25.
- [14] BIONDI A, ZAPPALA L, DESNEUX N, et al. Potential toxicity of *alpha*-cypermethrin-treated nets on *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2015, 108(3): 1191-1197.
- [15] 赵胜园, 杨现明, 和伟, 等. 草地贪夜蛾卵巢发育分级与繁殖潜力预测方法[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 28-34.
- [16] BELAY D K, HUCKABA R M, FOSTER J E. Susceptibility of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), at Santa Isabel, Puerto Rico, to different insecticides [J]. Florida Entomologist, 2012, 95(2): 476-478.
- [17] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1991, 39(1): 84-91.
- [18] 凌炎, 黄芊, 蒋婷, 等. 两个广西草地贪夜蛾种群对常用杀虫剂的敏感性测定[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 954-960.
- [19] 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.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 54 页)

- [5] Food and Agriculture Organization (FAO). Community-based fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) monitoring, early warning and management [R]. 2019. <http://www.fao.org/3/CA2924EN/ca2924en.pdf>
- [6] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1991, 39(1): 84-91.
- [7] 李志刚, 吕欣, 押玉柯, 等. 粤港两地田间发现夜蛾黑卵蜂与螟黄赤眼蜂寄生草地贪夜蛾[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 760-765.
- [8] 朱凯辉, 周金成, 张柱亭, 等. 短管赤眼蜂对草地贪夜蛾和斜纹夜蛾不同龄卵的寄生能力及子代蜂适合度[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 54-59.
- [9] 霍梁霄, 周金成, 宁素芳, 等. 夜蛾黑卵蜂寄生草地贪夜蛾和斜纹夜蛾卵的生物学特性[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 60-64.
- [10] 颜珣, 谷星慧, 韩日畴. 昆虫病原线虫防治草地贪夜蛾的研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 695-700.
- [11] 郑亚强, 胡惠芬, 付玉飞, 等. 草地贪夜蛾莱氏绿僵菌的分离鉴定[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 65-70.
- [12] 程东美, 洪婉雯, 孙辉, 等. 草地贪夜蛾幼虫僵虫发生率调查及致病菌分离鉴定[J/OL]. 环境昆虫学报: 1-9 [2019-09-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20190717.1722.002.html>.
- [13] 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 42-46.
- [14] 代晓彦, 翟一凡, 陈福寿, 等. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力评价[J/OL]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 704-708.
- [15] 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.
- [16] 可芮, 徐继伟, 肖志新, 等. 瓢虫对烟蚜的控制效能及异色瓢虫与烟蚜茧蜂的取食竞争作用[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(3): 338-344.
- [17] 杜军利, 武德功, 詹秋文, 等. 亚洲多色瓢虫捕食玉米蚜的功能反应及寻找效应研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(6): 1024-1029.
- [18] 赵英杰, 郑亚强, 符成悦, 等. 异色瓢虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 75-78.
- [19] 武德功, 杜军利, 刘长仲, 等. 不同龄期龟纹瓢虫对豌豆蚜的捕食功能反应(英文)[J]. 草地学报, 2012, 12(4): 778.
- [20] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [21] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [EB/OL]. [2019-03-11]. <https://www.r-project.org/>.
- [22] 南俊科, 宋丽文, 左彤彤, 等. 丽草蛉和异色瓢虫对美国白蛾的捕食作用研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(2): 161-166.
- [23] 周集中, 陈常铭. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究 I. 功能反应[J]. 生物防治通报, 1986, 2(1): 2-9.
- [24] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [25] 王秀梅, 臧连生, 邹云伟, 等. 异色瓢虫成虫对榆紫叶甲卵的捕食作用[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(1): 70-72.
- [26] 赵天璇, 袁明龙. 我国异色瓢虫的生物生态学特性[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 614-629.
- [27] MILONAS P G, KONTODIMAS D C, MARTINOU A F. A predator's functional response: influence of prey species and size [J]. Biological Control, 2011, 59(2): 141-146.
- [28] 巫厚长, 程遐年, 邹运鼎. 不同饥饿程度的龟纹瓢虫成虫对烟蚜的捕食作用[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 749-752.

(责任编辑: 杨明丽)