

双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力

黄潮龙^{1,2}, 汤 印^{2,3}, 何康来², 王振营^{2*}

(1. 吉林农业大学生物防治研究所/天敌昆虫应用技术工程研究中心, 长春 130118; 2. 中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 3. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000)

摘要: 在云南德宏州芒市玉米田调查发现一种草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 的捕食性天敌昆虫双斑青步甲 *Chlaenius bioculatus* Chaudoi, 为探究其对草地贪夜蛾的生物防治潜能, 在室内条件下测定了双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 6 个龄期幼虫的捕食能力。试验结果表明: 双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 6 个龄期幼虫的瞬时攻击率分别为 1.1478、1.3386、1.3949、1.2745、1.3599 和 1.4227。处置时间分别为 0.0036、0.0068、0.0137、0.0554、0.2895、0.4356 d。日最大捕食量分别为 278.39、146.30、73.26、18.06、3.45 和 2.29 头。试验表明, 双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾具有良好的捕食作用, 有应用于生物防治的潜力。

关键词: 双斑青步甲; 草地贪夜蛾; 捕食性天敌; 生物防治

中图分类号: S476.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261 (2020) 04-0507-06

Predation of *Chlaenius bioculatus* Larvae to Larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

HUANG Chaolong^{1,2}, TANG Yin^{2,3}, HE Kanglai², WANG Zhenying^{2*}

(1. Engineering Research Center of Natural Enemy Insects/Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. State Key Laboratory of Biology of Plant Diseases and Insect Pests/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: A predator *Chlaenius bioculatus* Chaudoi of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, was found in the corn fields in Mangshi, Dehong Prefecture, Yunan. The biological control potential of *C. bioculatus* on *S. frugiperda* was assessed in laboratory using the 3rd instar larvae of *C. bioculatus* against the six instar larvae of *S. frugiperda*. Results show that the instantaneous attack rates were 1.1478, 1.3386, 1.3949, 1.2745, 1.3599, and 1.4227 for the 1st to 6th instar larvae of *S. frugiperda*, respectively. The handling time was 0.003592, 0.006836, 0.01365, 0.05536, 0.2895, and 0.4356 d, respectively. The maximum daily predation amount was 278.39, 146.30, 73.26, 18.06, 3.45, and 2.29, respectively. The results show that *C. bioculatus* larvae have a good control effect on *S. frugiperda* and have the potential to be used in biological control.

Key words: *Chlaenius bioculatus*; *Spodoptera frugiperda*; predation; biological control

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 隶属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 又名秋黏虫, 原产于美洲热带和亚热带地区, 为联合国粮农组织全球预警的重大农业害虫^[1]。该虫极强的迁飞能力和适生能力是其在全球加速扩散蔓延的主要因素之一。草地贪夜蛾于 2016 年入侵非洲地区^[2], 2018 年 7 月传入

收稿日期: 2020-06-19

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (Y2019YJ06); 中国农业科学院重大科研任务 (CAAS-ZDRW202007); 现代农业产业技术体系 (CARS-02)

作者简介: 黄潮龙, 硕士研究生, E-mail: huangcl46@163.com; *通信作者, 研究员, E-mail: zywang@ippcaas.cn。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.04.012

印度^[3],随后在缅甸、斯里兰卡、泰国等亚洲国家陆续发现有草地贪夜蛾为害^[4]。2019年1月在云南江城县确认了草地贪夜蛾入侵中国^[5],之后9个月内相继蔓延至我国的26个省份,发生面积超过了100多万 hm^2 ^[6]。该虫寄主范围广,可为害玉米、水稻、甘蔗、棉花等300余种植物^[7],一般为害可造成20%的产量损失,严重为害时甚至绝收。鉴于草地贪夜蛾已对我国的粮食生产造成了严重威胁^[8],研究合理有效的综合防治手段刻不容缓。

由于草地贪夜蛾具有传播速度快、发生危害重以及适生能力强,因此应急化学防治是阻止其在入侵地短时间内暴发成灾的主要手段。然而,草地贪夜蛾常在心叶丛内和钻蛀果穗为害,所以防治难度大,药剂防治效率低。长期使用农药产生的抗性问题是另一不可忽略的严重问题^[9]。由于不规范使用或长期连续使用同种或同类药剂使得草地贪夜蛾对有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类等农药产生了不同程度的抗药性^[10,11]。因此,寻找并合理利用天敌进行生物防治可有效降低或避免抗性、环境以及人畜安全等问题,是草地贪夜蛾可持续控制的重要途径。本实验室在云南田间开展草地贪夜蛾发生规律研究中,观察到双斑青步甲 *Chlaenius bioculatus* Chaudoi 幼虫对草地贪夜蛾的卵和幼虫具有捕食作用,有作为草地贪夜蛾的天敌种群使用的利用价值。

双斑青步甲,属鞘翅目 Coleoptera 步甲科 Carabidae,广泛分布于我国湖北、四川、福建、云南等地。幼虫和成虫均为肉食性,幼虫期捕食量较大,对鳞翅目害虫具有明显的捕食作用^[12,13]。有研究表明双斑青步甲能够捕食斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius)、甘薯麦蛾 *Brachmia macroscopa* (Meyrick)、菜青虫 *Pieris rapae* (Linne)、甘薯卷叶螟 *Dichocrocis diminutiva* (Warren)、稻螟蛉 *Naranga aenescens* (Moore)等害虫,并对其捕食量有了初步的探究^[14,15],但并未进行基于拟合 Holling II 功能反应模型来评估其对猎物的捕食能力。因此,本文对双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾6个龄期幼虫进行捕食功能反应的试验,来评估其控害能力,为保护利用双斑青步甲防治农业害虫提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

草地贪夜蛾采集自云南德宏傣族景颇族自治州芒市风平镇芒波村(24°23'48" N, 98°27'52" E),在田间采集其卵、幼虫,带回实验室用人工饲料饲养多代。饲养条件为温度(26±1)℃、相对湿度(65±5)%、光周期16L:8D。

双斑青步甲采集自云南德宏傣族景颇族自治州芒市风平镇芒波村的大豆田,在室内使用斜纹夜蛾及草地贪夜蛾的卵和幼虫饲养。试验所用的双斑青步甲均为3龄幼虫,试验前进行24h的饥饿处理。

1.2 试验方法

1.2.1 双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾1~6龄幼虫的捕食作用 试验在室温条件下,在直径为15 cm、高1.5 cm的培养皿内进行,铺上3片大豆叶片以保持草地贪夜蛾幼虫有足够食物,放入一头经过24h饥饿处理的3龄双斑青步甲幼虫,并分别放入不同虫龄的草地贪夜蛾若干。对草地贪夜蛾不同虫龄的捕食密度为:草地贪夜蛾1龄幼虫密度设置50、100、150及200头/皿,草地贪夜蛾2龄幼虫密度设置40、60、80、100及120头/皿,草地贪夜蛾3龄幼虫密度设置5、10、20、40及60头/皿,草地贪夜蛾4龄幼虫密度设置5、10、15、20及25头/皿,草地贪夜蛾5龄幼虫密度设置1、3、5及7头/皿,草地贪夜蛾6龄幼虫密度设置1、3、5及7头/皿。每个处理设置对照,记录自然死亡率。每个处理重复5次,24h后观察记录各个猎物密度下剩余草地贪夜蛾幼虫的数量,并以自然死亡率校正。

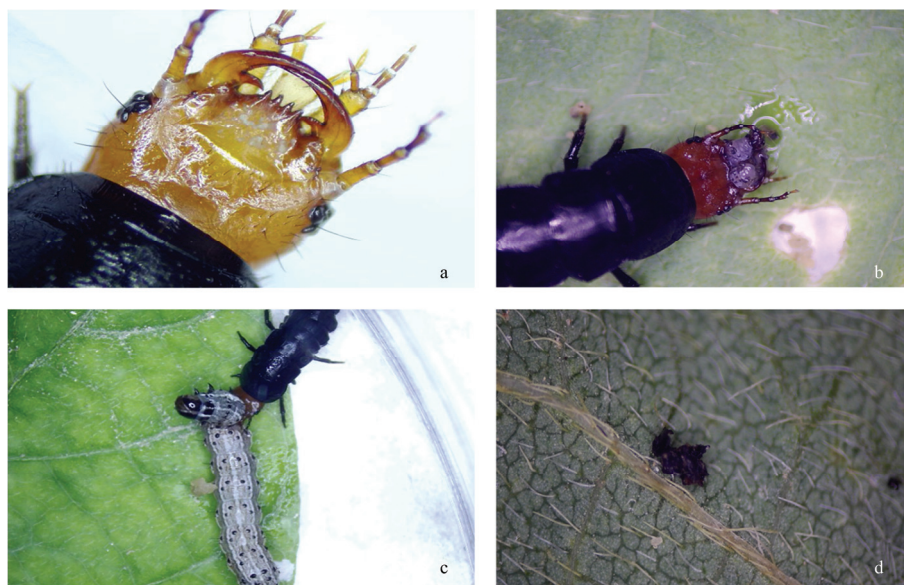
使用SN108060SDW全高清摄像机(深圳市叁诺西努科技有限公司)观察和拍摄双斑青步甲幼虫取食草地贪夜蛾幼虫全过程。

1.2.2 数据统计与分析 用Holling II型圆盘方程来拟合不同猎物密度下双斑青步甲对草地贪夜蛾不同龄期幼虫捕食的观察值。Holling II型圆盘方程如下: $N_a = aNT_r / (1 + aT_h N)$ ^[16],其中 N_a 表示被捕食的草地贪夜蛾幼虫数量, N 表示供试的猎物数量, a 表示瞬时攻击率, T_r 和 T_h 分别代表试验总用时和处理一头猎物所需时间。试验总时间设置为1 d。用Excel进行数据统计及简单处理,用Origin 2017进行方程的拟合并作图。

2 结果与分析

2.1 双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾的捕食行为

双斑青步甲幼虫为捕吸式口器，头上两端的两个上颚呈镰刀状，下颚扁平，带有4个均匀分布的刺状突起（图1a）。经试验观察，双斑青步甲3龄幼虫对草地贪夜蛾的捕食分为3个阶段：依次为搜寻、攻击和取食。该虫能够取食草地贪夜蛾各个龄期的幼虫，尤其是能制服体型比自身大的高龄幼虫（图1b, 1c）。该虫具有搜寻猎物速度快的特点，在饥饿情况下通常会在试验开始后30 s之内搜寻到猎物并进行攻击。双斑青步甲攻击草地贪夜蛾时大多从幼虫体的中部开始，用口器钳将幼虫钳住。草地贪夜蛾的低龄幼虫因体型较小，一般无法反抗，高龄幼虫则会迅速反抗。遭受反抗时，双斑青步甲3龄幼虫会将猎物钳住数秒，并拖行一段距离，直到猎物不再挣扎。取食阶段从猎物不再挣扎后开始，双斑青步甲3龄幼虫用镰刀状的上颚将猎物钳住、撕裂，同时用下颚吸食猎物的体液，最终使猎物只剩下干瘪的表皮（图1d），随后搜寻下一个猎物。



a: 双斑青步甲幼虫口器 The mouthparts of *C. bioculatus*; b: 双斑青步甲幼虫攻击草地贪夜蛾2龄幼虫 The larvae of *C. bioculatus* attack 2nd larvae of *S. frugiperda*; c: 双斑青步甲幼虫攻击草地贪夜蛾5龄幼虫 The larvae of *C. bioculatus* attack 5th larvae of *S. frugiperda*; d: 取食结束后草地贪夜蛾干瘪的表皮 The dried epidermis of *S. frugiperda* at the end of feeding

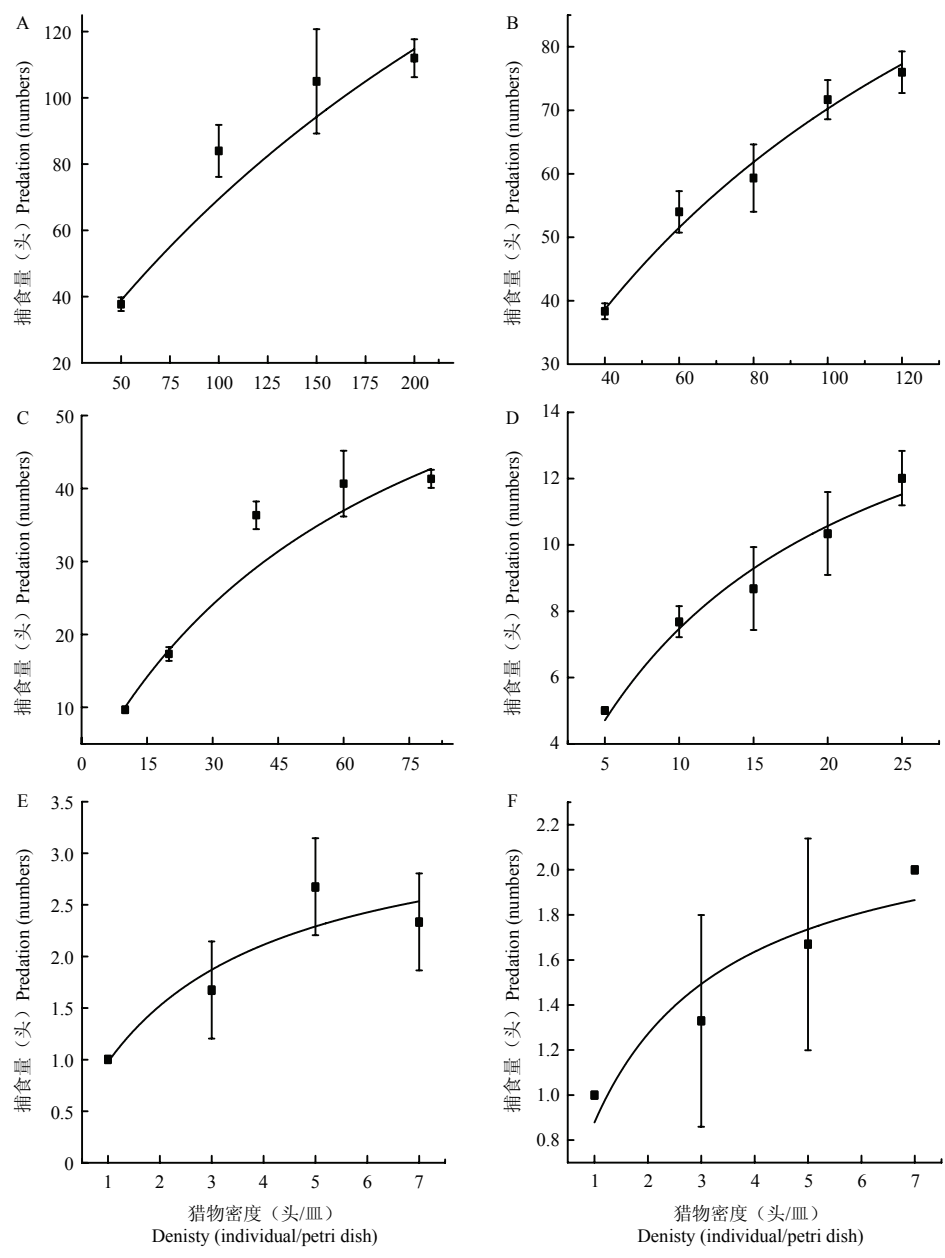
图1 双斑青步甲幼虫捕食草地贪夜蛾幼虫

Fig. 1 The larvae of *C. bioculatus* attack the larvae of *S. frugiperda*

2.2 双斑青步甲对草地贪夜蛾1~6龄幼虫的捕食功能反应

在本试验中，在设定的猎物密度范围内双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食量均随害虫的数量增加而增加，当猎物密度到达一定水平时，其对草地贪夜蛾的捕食量趋于稳定。故双斑青步甲3龄幼虫对草地贪夜蛾1~6龄幼虫的捕食作用均符合Holling II模型（图2）。当草地贪夜蛾1龄幼虫的密度设置为100~150头/皿时，双斑青步甲3龄幼虫的捕食量稳定在84.00~105.00头，在试验设置的最大密度200头/皿时，其捕食量为 (112.00 ± 5.72) 头。其对草地贪夜蛾2龄幼虫的捕食量在密度设置为100~120头/皿时趋于稳定，为71.67~76.00头。对草地贪夜蛾3龄幼虫的捕食量在密度设置为60~80头/皿时趋于稳定，为40.67~41.33头。对草地贪夜蛾4龄幼虫的捕食量在密度设置为20~25头/皿时趋于稳定，为10.33~12.00头。对草地贪夜蛾5龄和6龄幼虫的捕食量在密度设置为5~7头/皿时趋于稳定，分别为2.33~2.67和1.67~2.00头（图2）。

从表1可以看出双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾1~4龄幼虫的捕食功能反应方程的决定系数(R^2)均高于0.9，对5龄和6龄幼虫的捕食功能反应方程的决定系数分别为0.8618和0.8859。因此，可以通过该



A: 1 龄 1st instar larvae; B: 2 龄 2nd instar larvae; C: 3 龄 3rd instar larvae; D: 4 龄 4th instar larvae; E: 5 龄 5th instar larvae; F: 6 龄 6th instar larvae

图 2 双斑青步甲对草地贪夜蛾幼虫捕食功能反应曲线

Fig. 2 Functional responses of *C. bioculatus* to larvae of *S. frugiperda*

模型来预测双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的最大捕食量和控害效能。根据方程模型，当猎物密度趋向于无穷大时，可以计算出双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 6 个龄期幼虫的理论最大捕食量依次为 278.39，146.30，73.26，18.06，3.45 和 2.29 头。在使用 Holling 方程时，常用系数 a 和 T_h 的比值来衡量天敌对害虫的捕食效能，从表 1 中可以看出双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1~3 龄幼虫具有较强的捕食作用（捕食效能分别为 319.54、195.82 和 102.19），而对草地贪夜蛾高龄幼虫（4~6 龄）的捕食能力相对较弱（捕食效能分别为 16.86、4.70、3.27）。

3 讨论

一个新的外来入侵物种，在其入侵地区往往缺少有效的控害天敌，从而易暴发成灾。草地贪夜蛾入侵我国以来，迅速蔓延至全国大部分地区，如何应用我国本地优势天敌防控草地贪夜蛾成为重要的课题。国

表 1 双斑青步甲对草地贪夜蛾幼虫捕食功能反应
Table 1 Functional responses of *C. bioculatus* to larvae of *S. frugiperda*

草地贪夜蛾幼虫 Larvae of <i>S. frugiperda</i>	捕食功能方程 Function response equation	R ²	瞬时攻击率 Attacking efficiency, a	处理时间 Handling time, Th (d)	日最大捕食量 Predation numbers, 1/Th	捕食效能 Predation capacity, a/Th
1 龄幼虫 1 st instar	$Na=1.1478N/(1+0.0048N)$	0.9507	1.1478	0.0036	278.39	319.54
2 龄幼虫 2 nd instar	$Na=1.3386N/(1+0.00915N)$	0.9832	1.3386	0.0068	146.30	195.82
3 龄幼虫 3 rd instar	$Na=1.3949N/(1+0.01904N)$	0.9471	1.3949	0.0137	73.26	102.19
4 龄幼虫 4 th instar	$Na=1.2745N/(1+0.07056N)$	0.9723	1.2745	0.0554	18.06	16.86
5 龄幼虫 5 th instar	$Na=1.3599N/(1+0.3937N)$	0.8618	1.3599	0.2895	3.45	4.70
6 龄幼虫 6 th instar	$Na=1.4227N/(1+0.6197N)$	0.8859	1.4227	0.4356	2.29	3.27

内已有诸多有关草地贪夜蛾捕食性天敌种群的报道，如唐敏等^[17]报道了叉角厉蝽 *Eocanthecona furcellate* (Walf) 3 龄、5 龄若虫对草地贪夜蛾 3 龄、5 龄幼虫的捕食作用；徐庆宣等^[18]报道了大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur)对草地贪夜蛾卵及幼虫的捕食作用；王燕等^[19]报道了益蝽 *Picromerus lewisi* (Scott)对草地贪夜蛾 3~5 龄幼虫的捕食作用。还有东亚小花蝽 *Orius sauteri* (Poppius)^[20]，多异瓢虫 *Hippodamia variegata* (Goeze)、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas)^[21]、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* (Linnaeus)^[22]、蠋蝽 *Arma chinensis* (Fallou)^[23]等均具有捕食草地贪夜蛾卵或幼虫的能力。同这些捕食性天敌比较，以对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食量为例，双斑青步甲理论最大捕食量为 78.26 头，优于叉角厉蝽(58.47 头)、蠋蝽(59.70 头)和益蝽(61.01 头)。也有关于寄生性天敌的研究报道，如夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* (Nixon)、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* (Ishii)、管侧沟茧蜂 *Microplitis tuberculifer* (Wesmael)等^[22,23]。捕食性天敌与寄生性天敌在实际应用中各有优劣，其中捕食性天敌的优势主要有以下 3 点：（1）害虫（如幼虫）被寄生性天敌寄生后仍可活动、取食一段时间，而捕食性天敌可以使害虫立即死亡；（2）寄生性天敌往往具有专一性，而捕食性天敌食谱广泛，可同时控制多种害虫；（3）寄生性天敌需要在寄主体内完成发育阶段后方可再次进行寄生活动，而捕食性天敌幼虫和成虫均可取食害虫。故合理有效的利用这些天敌资源有助于在减少化学农药使用的同时将害虫密度控制在经济阈值之下。

Holling 方程是研究捕食者和猎物系统中重要的生态模型，可以反应出天敌对害虫的控制效率，并能够预测天敌物种在理论上是否具有良好的防控作用。本研究中，双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 6 个龄期幼虫的捕食作用均符合 Holling II 方程，说明双斑青步甲取食草地贪夜蛾幼虫的模型符合负加速曲线，即凸型曲线（图 2）。拟合方程各项参数表明，草地贪夜蛾幼虫的龄期越大，双斑青步甲的捕食量就越小，且处置时间也随之增加（表 1）。对草地贪夜蛾 4~6 龄幼虫的处置时间明显延长，这也反映了草地贪夜蛾从 3 龄幼虫之后进入暴食期，体型极速增大，双斑青步甲需要更多的时间进行高龄幼虫的处理。

据报道，益蝽偏好攻击存活的猎物，在猎物密度大时，会大量捕杀草地贪夜蛾而不取食，因此对害虫的致死量较大^[26]。本试验观察到，双斑青步甲幼虫捕食时，会将前一个猎物全部吸食干瘪后才开始搜寻下一个猎物，这一特性与蠋蝽相似^[27]，在一定程度上限制了双斑青步甲在实际应用中的控害效能。

草地贪夜蛾的高龄幼虫会钻入心叶，蛀茎、蛀果穗，所以在其低龄幼虫阶段防治具有较好的效果。本研究结果表明，双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾的低龄幼虫具有较好的捕食作用，模型预测对 1~3 龄的幼虫最大捕食量可分别达 278.39、146.30 和 73.26 头，有应用于对草地贪夜蛾生物防治的潜力。但本试验在室内封闭条件下进行，如在自然条件下，环境因素较为复杂，温度、湿度、降雨、其他天敌种群的竞争、种群内竞争等均会影响捕食性天敌对害虫的捕食作用。且双斑青步甲能取食的鳞翅目害虫并非局限于草地贪夜蛾，田间存在的甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)和斜纹夜蛾等害虫也会干扰其对草地贪夜蛾的捕食作用。故下一步需要在室内对双斑青步甲的取食偏好进行试验，以及不同猎物对其自身发育周期、繁殖力等的影响，同时也需要在田间开展试验进一步证明双斑青步甲在自然环境中对草地贪夜蛾的控制作用。另外，双斑青步甲的饲养方法尚不成熟，室内大规模繁殖技术仍需要进一步研究。综上，本研究为利用双斑青步甲来进行草地贪夜蛾的生物防治提供了理论依据，但实践与应用方面需要更多的探索。

参 考 文 献

- [1] Todd E L, Poole R W. Keys and illustrations for the armyworm 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] 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.
- [3] Mallapur C P, Naik A K, Hagari S, *et al.* Status of alien pest fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on maize in Northern Karnataka[J]. Journal of Entomology and Zoology Studies, 2018, 6: 432-436.
- [4] 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): 5-14.
- [5] Jing D P, Guo J F, Jiang Y Y, *et al.* Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques[J]. Insect Science, 2019, 27(4): 1-11.
- [6] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 10-19.
- [7] Montezano D G, Specht A, Sosa-Gomez, *et al.* Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas[J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-301.
- [8] 郭井菲, 何康来, 王振营. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 361-369.
- [9] Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sanchez D, Blanco C A, *et al.* Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico[J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(2): 792-802.
- [10] 赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 10-14.
- [11] 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(1): 74-78.
- [12] 陈元洪, 陈玉妹. 捕食性天敌双斑青步甲的研究[J]. 福建农业科技, 1982, 4: 25-27.
- [13] 翁文荣. 捕食性天敌双斑青步甲的初步观察[C]//全国生物防治学术讨论会论文摘要集. 中国植物保护学会生物入侵分会, 1995, 135.
- [14] 陈元洪, 陈玉妹. 双斑青步甲的生物学特性及捕食作用的研究[C]//全国生物防治学术讨论会论文集. 中国农业科学院生物防治研究所中国植物保护学会生物入侵分会, 1991, 87-88.
- [15] 陈元洪, 陈玉妹. 双斑青步甲生活习性的初步观察[J]. 昆虫知识, 1984(6): 269-271, 259.
- [16] 丁岩钦. 天敌-害虫作用系统中的数学模型及其主要参数的估计: 一、捕食者-猎物系统中的捕食作用模型[J]. 昆虫知识, 1983(4): 187-190, 186.
- [17] 唐敏, 邝昭琅, 李子园, 等. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 979-985.
- [18] 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.
- [19] 王燕, 王孟卿, 张红梅, 等. 益蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 691-697.
- [20] 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, 2019, 45(5): 79-83.
- [21] 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, 35(5): 709-714.
- [22] 孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 等. 七星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, 35(5): 715-720.
- [23] 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 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(1): 42-46.
- [24] 王竹红, 葛均青, 刘紫晶, 等. 草地贪夜蛾两种重要卵寄生蜂的鉴别及寄生行为[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 172-180.
- [25] 路子云, 杨小凡, 马爱红, 等. 管侧沟茧蜂对不同日龄草地贪夜蛾幼虫的寄生效果[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(4): 491-495.
- [26] 唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 等. 益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食能力评价和捕食行为观察[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 698-703.
- [27] 唐艺婷, 王孟卿, 李玉艳, 等. 蝽和益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食能力研究[C]//中国植物保护学会 2019 年学术年会论文集. 中国植物保护学会, 2019, 212.