

异色瓢虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应

赵英杰[#], 郑亚强[#], 符成悦, 陈 斌^{*}, 李正跃^{*}

(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)

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 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、L//D=16 h//8 h 条件下, 研究了异色瓢虫雌雄成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应与搜寻效应。异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫具有捕食作用, 其捕食功能反应符合 Holling II 模型, 其雄成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 62.8 头、0.796 和 0.016 d; 雌成虫对 2 龄幼虫的日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 70.4 头、0.979 和 0.014 d。异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应随瓢虫密度的增加而下降。异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾幼虫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 异色瓢虫; 草地贪夜蛾; 功能反应; 搜寻效应

中图分类号: S 476 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2019370

The predation functional response of *Harmonia axyridis* to the 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

ZHAO Yingjie, ZHENG Yaqiang, FU Chengyue, CHEN Bin, LI Zhengyue

(College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources in Yunnan, Kunming 650201, China)

Abstract To clarify the predation and control ability of *Harmonia axyridis* on *Spodoptera frugiperda*, the predation function and searching efficiency of both male and female adults of *H. axyridis* on the 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were studied in an indoor light incubator at (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ and L//D=16 h//8 h. The functional responses of *H. axyridis* adults to the density of 2nd instar larvae of *S. frugiperda* fitted well with Holling II model. Daily maximum predation, instantaneous attack rate and handling time of male adult *H. axyridis* to 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were 62.8 individuals, 0.796 and 0.016 d, respectively. The daily maximum predation, instantaneous attack rate and handling time of female adult *H. axyridis* to 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were 70.4 individuals, 0.979 and 0.014 d, respectively. *H. axyridis* showed a good control effect on *S. frugiperda* larvae, which 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), 又称秋黏虫, 属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 是原分布于美洲热带和亚热带地区的杂食性害虫^[1-2]。其寄主植物广泛, 包括玉米、高粱、甘蔗、苕蓐、大麦、棉花、荞麦、水稻、甜菜、大豆、烟草、小麦等 76 属 353 种植物^[3], 严重影响作物的产量与质量。我国自 2019 年 1 月在云南省江城县首次发现草地贪夜蛾入侵以来^[4], 截至 6 月, 已在全国

19 个省 1 000 余个县发现草地贪夜蛾。在美国和巴西, 喷施杀虫药剂和种植转 Bt 基因玉米是控制玉米田草地贪夜蛾的主要手段^[5], 由于化学防治在玉米种植区时空上的连续性, 草地贪夜蛾种群显示出了多种抗性机制, 表现出广谱的抗性, 并且对转 Bt 玉米也产生了较高的抗性, 这为草地贪夜蛾的防治带来了新的考验^[6]。当前, 我国防治草地贪夜蛾的常用方法是喷施化学农药, 虽然一些学者也提

收稿日期: 2019-07-21

修订日期: 2019-07-26

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: chbins@163.com, lizhengyuekm@163.com

为并列第一作者

出了化学防治草地贪夜蛾的策略,但使用农药不可避免会造成环境污染、农药残留、害虫抗药性上升等问题,因而迫切需要开展草地贪夜蛾的生物防治研究。

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 属鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae, 是一种杂食性捕食者, 对蚜虫、介壳虫等半翅目昆虫以及鳞翅目、鞘翅目、膜翅目、双翅目昆虫的幼虫和蛹等具有较强的捕食能力^[7], 是一种重要的捕食性天敌昆虫。异色瓢虫具有作为生防因子控制害虫种群密度的潜力, 已经广泛应用于全世界的农业生产中^[8]。

目前利用天敌昆虫对草地贪夜蛾进行控害已有相关研究报道, 如蠋蝽、益蝽、大草蛉对草地贪夜蛾捕食功能的研究^[9-11], 但有关异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食作用研究尚未见报道。本试验主要研究异色瓢虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的控害作用, 研究其在草地贪夜蛾 2 龄幼虫不同密度下的捕食作用, 对于探究异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食潜力, 以及在虫害发生早期通过田间释放异色瓢虫成虫控制草地贪夜蛾的种群密度具有重要意义。

1 材料与方法

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 3 代, 饲养条件为温度 (25±1)℃, 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人工饲养, 异色瓢虫的食料为草地贪夜蛾低龄幼虫。

1.2 试验方法

试验在 RG-300 智能人工培养箱中进行, 温度 (25±1)℃, 相对湿度 60%±5%, L//D=16 h//8 h, 光强 11 000 lx。试验前将异色瓢虫 1 日龄成虫置于培养皿 (直径 9 cm、高 1.5 cm) 内饥饿 24 h, 每皿 1 头, 然后将草地贪夜蛾 2 龄幼虫放入上述培养皿内。草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度分别设置为 10、15、20、25、30、40、50 头/皿, 5 次重复。观察异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为, 同时在培养皿内放入玉米叶, 以避免草地贪夜蛾幼虫之间相互残杀。24 h 后计数剩余草地贪夜蛾数量, 并计算被捕食的草地贪夜蛾数量。

1.3 数据分析

将试验所得数据进行 Holling II 模型拟合, 得到捕食功能反应方程: $N_a = aNT_r / (1 + aT_h N)$ ^[12], 搜寻效应方程: $S = a / (1 + aT_h N)$ ^[13], 式中 N_a 为捕食草地贪夜蛾幼虫的数量, N 是草地贪夜蛾幼虫的密度, a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率, T_r 是试验的总时间 (本试验设 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 为搜寻效应。先用 RGui 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 异色瓢虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食行为观察

饥饿 24 h 的异色瓢虫成虫放入培养皿后首先会保持 1~2 min 的静止, 然后开始爬行、搜寻, 搜寻时间一般为 1~3 min, 当下颚触碰到草地贪夜蛾幼虫时, 会使用一对前足将草地贪夜蛾幼虫腹部末端固定, 之后用上颚基部夹住并刺入草地贪夜蛾幼虫虫体, 开始取食。异色瓢虫通常首先取食草地贪夜蛾幼虫腹部末端表皮, 期间幼虫头部会不断摆动, 持续挣扎反抗, 但异色瓢虫用前足将幼虫腹部牢牢固定使其难以挣脱, 幼虫体壁被取食露出内部组织后停止挣扎, 然后异色瓢虫继续取食猎物体液和表皮, 最终草地贪夜蛾幼虫只剩下少许头壳。异色瓢虫经过 2~3 min 的休整之后再开始搜寻下一个猎物。从异色瓢虫固定猎物开始取食到取食结束开始搜寻下一个猎物, 最长用时 42 min, 最短用时仅 7 min。试验发现, 异色瓢虫雄虫与雌虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为基本一致。



图 1 室内异色瓢虫取食草地贪夜蛾 2 龄幼虫
Fig. 1 *Harmonia axyridis* attack 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* indoor

2.2 异色瓢虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应

捕食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)随着草地贪夜蛾密度(N)的增加而增多,当猎物达到一定密度后,捕食量增速放缓,呈负密度制约关系,故异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应属于 Holling II 型,可用 Holling 圆盘方程来拟合(图 2)。异色瓢虫雌成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应方程为 $N_a=0.979N/(1+0.014N)$ ($R^2=0.954$, $F=103$, $P<0.001$),雄成虫的捕食功能反应方程为 $N_a=0.796N/(1+0.013N)$ ($R^2=0.882$, $F=37.26$, $P<0.01$)。

表 1 异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应

Table 1 Functional response of *Harmonia axyridis* adult to 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

性别 Sex	功能反应方程 Functional response equation	R^2	瞬时攻击率(a) Instantaneous attack rate	处理时间(T_h)/d Handling time	瞬时攻击率/ 处理时间 a/T_h	日最大捕食量($1/T_h$)/头 Maximum daily predation capacity
雌 Female	$N_a=0.979N/(1+0.014N)$	0.954	0.979	0.014	68.9	70.4
雄 Male	$N_a=0.796N/(1+0.013N)$	0.882	0.796	0.016	50.0	62.8

a 、 T_h 、 a/T_h 是确定异色瓢虫对草地贪夜蛾控害能力强弱的依据, a 是瞬时攻击率, T_h 是处理时间,理论日最大捕食量 $N_{amax}=1/T_h$, $1/T_h$ 能够直观地表现出雌雄成虫对草地贪夜蛾日最大捕食量的多少,而 a/T_h 能够更加全面地反映出异色瓢虫对草地贪夜蛾捕食功能作用的大小, a/T_h 越大,表示天敌对害虫的控制能力越强^[14]。由表 1 可知,异色瓢虫雌成虫的 $a/T_h=68.9$,大于雄成虫的 $a/T_h(50.0)$,说明异色瓢虫雌、雄成虫均对草地贪夜蛾 2 龄幼虫有较强的防控能力,且雌成虫的控制能力大于雄成虫。异色瓢虫雌成虫日最大捕食量($1/T_h$)为 70.4 头,略高于雄虫的日最大捕食量(62.8 头),这可能是由于雌性异色瓢虫体型更大,需要更多的能量保障产卵等活动。

2.3 异色瓢虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应

Holling^[15]认为捕食者的搜寻效应依赖于猎物的种群密度,它随着猎物种群密度的增加而降低。通过拟合 Holling II 型功能反应模型得到的参数,依公式 $S=a/(1+aT_hN)$ 估算异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应。根据上述公式,得出了异色瓢虫雌、雄成虫在草地贪夜蛾 2 龄幼虫不同密度下的搜寻效应(图 3),由图 3 可知,随着猎物密度的增加,异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应逐渐降低。而且,在不同猎物密度下雌虫的搜寻效应均大于雄虫;当草地贪夜蛾 2 龄幼虫的密度分别为 10、15、20、25、30、40 和 50 头/皿时,异色瓢虫雄成

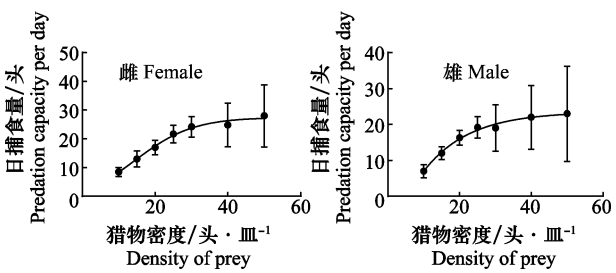


图 2 异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 2 Functional responses of *Harmonia axyridis* adult to 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

虫的搜寻效应分别为 0.707、0.669、0.653、0.605、0.577、0.528 和 0.487,雌成虫的搜寻效应分别为 0.859、0.810、0.766、0.726、0.691、0.629 和 0.577。

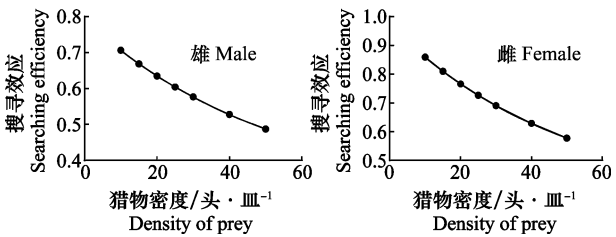


图 3 异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应

Fig. 3 Searching efficiency of *Harmonia axyridis* adult to 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

3 结论与讨论

异色瓢虫是一种重要的杂食性天敌昆虫,食量大,取食范围广,环境适应力强,交配产卵期较长^[16],在我国各地的玉米种植区都有分布,是玉米田中多种蚜虫、叶螨和一些鳞翅目幼虫的主要天敌昆虫。相比于化学防治,利用天敌防治草地贪夜蛾低龄幼虫符合绿色农业的发展方向,能够有效控制草地贪夜蛾的猖獗为害,且不造成农药残留,也不对其他天敌昆虫造成伤害。

笔者在研究过程中发现用新孵化的草地贪夜蛾 1 龄幼虫饲养得到的异色瓢虫成虫的平均产卵量远低于用 2 龄幼虫饲养的成虫的平均产卵量,说明 1 龄幼虫营养价值较低,无法为异色瓢虫雌虫提供足

够的营养物质以满足其后代卵的发育,另外,试验还发现,异色瓢虫成虫完全不取食草地贪夜蛾 3 龄以上的幼虫,可能是因为这个阶段的幼虫体型过大,活动和攻击能力强,导致异色瓢虫不能完成捕食。鉴于以上原因,我们只对草地贪夜蛾 2 龄幼虫做了捕食功能反应的研究。

在国内和国际上,通过生物防治控制害虫是当前比较热门的话题,许多专家学者研究了瓢甲科昆虫对鳞翅目幼虫和卵的控制作用,并取得了相关进展。王敬宇^[17]发现异色瓢虫、龟纹瓢虫 2 种天敌昆虫和 7 种蜘蛛对菜粉蝶(卵和幼虫)有较强的潜在控制能力,是捕食性天敌的主要优势种;南俊科等^[18]发现异色瓢虫成虫对美国白蛾 1~2 龄幼虫捕食效果较好;Silva 等^[19]研究了南美洲特有的 *Eriopis connexa* (Germar)(鞘翅目,瓢甲科)幼虫对草地贪夜蛾新鲜卵的取食,通过评估该幼虫的发育情况,表明其具有防治草地贪夜蛾的能力。本研究关于异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫捕食作用的效果与上述研究基本一致,证明了其防治草地贪夜蛾的生防潜力。

本试验通过研究异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的功能反应模型和搜寻效应明确了异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量,表明异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫具有很强的捕食能力,异色瓢虫雌、雄成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量分别可达 70.4 头和 62.8 头。但本试验是在实验室条件下完成的,自然环境中还存在许多影响异色瓢虫对草地贪夜蛾捕食能力的因素,如环境温度、猎物数量、捕食者饥饿程度、其他捕食者的竞争以及其他因素的干扰等。因此,异色瓢虫对田间草地贪夜蛾的捕食功能反应还有待进一步探究。

本研究发现,异色瓢虫雌、雄成虫的捕食量均随着草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度的增加而增多,当草地贪夜蛾达到一定密度后,捕食量增速减慢;另外,随着猎物密度的增加,异色瓢虫成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应逐渐降低。因此,当在田间人工释放异色瓢虫时,应首先调查该玉米田草地贪夜蛾 2 龄幼虫的密度,再依据室内试验结果进行理论上的推算,按照一定比例释放异色瓢虫成虫,这样既能在害虫发生早期达到最佳的防治效果,使其不能大量繁殖,又避免了因对食物资源的争夺而影响其他瓢虫种群数量,在相近生态位水平内产生直接或者间接的影响^[7]。所以,田间利用异色瓢虫防治草地

贪夜蛾幼虫时,应综合考虑各种因素,通过科学合理地释放来达到最佳的防控效果。

参考文献

- [1] LUGINBILL P. The fall army worm[R]. USDA Technology Bulletin, 1928, 34: 91.
- [2] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82-87.
- [3] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas[J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-300.
- [4] 杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 等. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾[J]. 云南农业, 2019(1): 72.
- [5] 李永平, 张帅, 王晓军, 等. 草地贪夜蛾抗药性现状及化学防治策略[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 14-19.
- [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] 王甦, 张润志, 张帆. 异色瓢虫生物生态学研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2117-2126.
- [8] 王佳佳, 马艳龙, 叶乐夫, 等. 异色瓢虫对玉米田害虫控害功能的研究进展[J]. 中国农学通报, 2018, 34(26): 134-139.
- [9] 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蠋蛾成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力[J/OL]. 植物保护: 1-6. (2019-07-21). <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019346>.
- [10] 唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 等. 益蝽对草地贪夜蛾捕食能力评价和捕食行为观察[J/OL]. 中国生物防治学报: 1-9. [2019-07-09]. <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.04.005>.
- [11] 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/OL]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 754-759.
- [12] 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): 778-783.
- [13] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [14] 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.
- [15] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [16] EVANS E W. Lady beetles as predators of insects other than Hemiptera [J]. Biological Control, 2009, 51(2): 255-267.
- [17] 王敬宇. 菜粉蝶生态控制关键技术研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2006.
- [18] 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.
- [19] SILVA R B, CRUZ I, ZANUNCIO J C, et al. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs as alternative food for rearing of lady beetles *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Biological Control, 2013, 64(2): 101-105.

(责任编辑: 杨明丽)