

蠋蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察

唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生*, 王孟卿*

(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 为了探究蠋蝽对草地贪夜蛾的捕食潜力, 本试验在室内条件下评价了蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的捕食能力, 结合田间观察总结了蠋蝽捕食行为特点。结果表明: 蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的捕食功能反应符合 Holling II 模型, 对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的日最大捕食量、瞬时攻击率和处理时间分别为 3.175 头、1.344 和 0.315 d; 蠋蝽锁定猎物后, 其口针可从草地贪夜蛾的头部、胸部或腹部各节刺入, 当猎物尝试摆脱时蠋蝽随其移动, 维持口针伸展刺入猎物体内的状态, 直至猎物被征服失去活力; 蠋蝽对草地贪夜蛾幼虫吮吸持续时间较长, 直至草地贪夜蛾幼虫体躯干瘪后, 蠋蝽才收回口针, 继续搜索并攻击下一头猎物。试验证实蠋蝽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 蠋蝽; 草地贪夜蛾; 捕食; 生物防治

中图分类号: S 476 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019264

Predation and behavior of *Arma chinensis* to *Spodoptera frugiperda*

TANG Yiting, LI Yuyan, LIU Chenxi, MAO Jianjun, CHEN Hongyin, ZHANG Lisheng, WANG Mengqing

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

Abstract In order to investigate the predation potential of *Arma chinensis* (Fallou) 5th instar nymph to 6th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), the functional responses and predation behavior of *A. chinensis* were studied in laboratory. The results show that predator exhibited Holling II functional response, with the maximum daily predation number, the sequence of attacking efficiency and handling time were 3.175 individuals, 1.344 and 0.315 d respectively. After locking the prey, *A. chinensis* could pierce its stylet into the head, chest or abdomen of *S. frugiperda*. If the prey tried to get rid of the predator, *A. chinensis* moved with the prey, maintaining the state of the stylet stretching into the prey until *S. frugiperda* was conquered and lost its vitality. The sucking time lasted for a long time, until the body of *S. frugiperda* was empty and dry. Then *A. chinensis* withdrew the stylet, moved to search and attack the next prey. The study proved that *A. chinensis* is efficient for the control of *S. frugiperda*, and can be used in field.

Key words *Arma chinensis*; *Spodoptera frugiperda*; predatory; biological control

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 又称秋黏虫, 英文名 fall armyworm, 属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 原产于美洲^[1-4], 其幼虫可取食 76 科 353 种植物^[4], 成虫具有远距离迁飞的习性, 随同大气环流一天飞行距离超过 100 km^[5], 且成虫产卵量较高, 平均产卵量在 1 500 粒左右, 最高时可产 2 000 粒卵^[3]。幼虫有 6 个龄期, 各龄均可为

害, 取食玉米的叶片、穗轴、籽粒, 所到之处肆虐暴食, 轻则导致田块斑驳、茎叶残缺, 重则毁种。种群数量大时, 幼虫聚集成群爬行扩散, 环境不利时常留在杂草中。

目前草地贪夜蛾已迁飞入侵我国^[6-7], 各地在确认虫情后迅速进行应急防治, 取得了一定的效果。除使用化学农药外, 生产上还可采用生物防治、理化

诱控、生态调控等综合措施,实现对草地贪夜蛾的有效控制。利用天敌昆虫防治草地贪夜蛾,是生物防治的重要措施,例如美国和巴西分别利用斑腹刺益蝽 *Podisus maculiventris* (Say)^[10] 和防治草地贪夜蛾,巴西利用黑刺益蝽 *P. nigrispinus* (Dallas)^[11-13] 防治草地贪夜蛾。

蝽蝽 *Arma chinensis* (Fallou) 属于半翅目 Hemiptera, 蝽科 Pentatomidae, 益蝽亚科 Asopinae, 是我国广泛分布的捕食性天敌昆虫,其成虫和若虫均能捕食,猎物范围包括鳞翅目、鞘翅目、双翅目等多种害虫的成虫和幼虫^[14-23]。本实验室的研究表明,蝽蝽对小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)、二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)、斜纹夜蛾 *S. litura* Fabricius、美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury、米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say)、黄粉虫 *Tenebrio molitor* L. 等均具捕食能力^[14-21]。其他研究表明,蝽蝽还对双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky)^[22] 和榆紫叶甲 *Ambrostoma quadriimpressum* (Motschulsky)^[23] 等具有一定的捕食潜力。

前期,本实验室在云南进行了蝽蝽对草地贪夜蛾的适合性测验,田间调查和室内测试都证明蝽蝽可取食草地贪夜蛾幼虫。为评估蝽蝽对草地贪夜蛾的控害能力,采取田间调查结合室内观察的方式,总结蝽蝽捕食草地贪夜蛾幼虫的行为学特点;并在室内开展了蝽蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的捕食功能反应试验。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾于 2019 年 5 月采自云南省寻甸回族彝族自治县玉米田。蝽蝽由中国农业科学院植物保护研究所天敌昆虫实验室饲养,并携带到云南省继续饲养。

1.2 试验条件

在上口直径为 15 cm、下口直径为 9 cm、高度为 10 cm 的养虫盒内进行蝽蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的捕食功能反应试验。养虫盒置于温度 (25±1)℃,光周期 L//D=16 h//8 h 条件下。

1.3 试验方法

试验前将蝽蝽置于培养皿(直径 9 cm、高 1.5 cm)内饥饿,每皿放置 1 头蝽蝽 5 龄若虫和一块浸湿脱脂棉,24 h 后将草地贪夜蛾 6 龄幼虫和饥饿的蝽蝽 5 龄若虫一起放入养虫盒内。草地贪夜蛾幼虫密度梯度为 1、2、4、6、8 头/盒,每个处理 10 个重复。观察蝽蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为,24 h 后检查草地贪夜蛾幼虫的存活数量。同时在养虫盒内放入玉米叶,避免草地贪夜蛾幼虫发生自残行为。

1.4 数据分析

功能反应方程: $N_a = aNT_r / (1 + aT_h N)$ ^[24], 搜寻效应方程: $S = a / (1 + aT_h N)$ ^[25], 式中 N_a 为捕食草地贪夜蛾幼虫的数量, a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率, N 是草地贪夜蛾幼虫的密度, T_r 是试验的总时间,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 Excel 2010 处理数据,再使用 GraphPad Prism 6.01 分析并作图。

2 结果与分析

2.1 蝽蝽对草地贪夜蛾的捕食行为观察

2.1.1 搜寻时间

蝽蝽 5 龄若虫在取食草地贪夜蛾幼虫之前需要对猎物进行搜索,每头蝽蝽 5 龄若虫搜寻时间不等。通过实验室观察:单头蝽蝽 5 龄若虫对单头高龄草地贪夜蛾幼虫,从搜寻到开始攻击最少用时 2 min,从寻找到猎物后伸出口针并刺入猎物体体内最长用时达 45 min。蝽蝽 5 龄若虫搜寻到草地贪夜蛾幼虫时并不迅速进行攻击,而是经过长时间缓慢移动接触到草地贪夜蛾幼虫时,慢慢地将口针刺入猎物的体内。

2.1.2 攻击行为

攻击行为一旦开始,蝽蝽 5 龄若虫就将口针刺入草地贪夜蛾幼虫体内,草地贪夜蛾幼虫迅速抵抗,快速爬行挣脱,蝽蝽 5 龄若虫则会一直将口针保持在猎物体体内,直至草地贪夜蛾幼虫不再挣扎。观察发现,所有供试蝽蝽 5 龄若虫都能成功制服猎物并吸取草地贪夜蛾幼虫的体液。

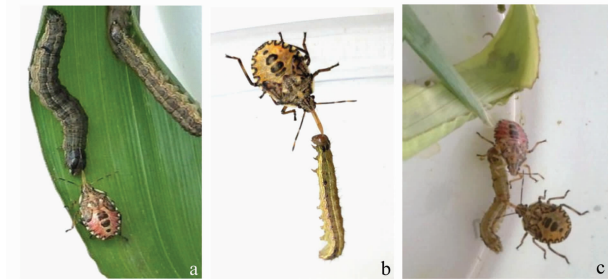
2.1.3 取食特点

蝽蝽 5 龄若虫一旦将口针成功插入草地贪夜蛾幼虫虫体便开始取食,并持续吸食猎物体液,最终使草地贪夜蛾幼虫只剩表皮,呈干瘪状态,随后再开始搜寻下一个猎物。所有观察到的取食行为均表现这一特性,这在一定程度上说明蝽蝽 5 龄若虫嗜食草

地贪夜蛾幼虫, 推测猎物可满足蠋蝽生长发育需求。

2.1.4 取食部位

很多文献显示刺吸式口器的捕食者通常表现为选择猎物躯体上较为柔软的部位(如鳞翅目幼虫背腹相接的侧边)开始取食, 而蠋蝽对草地贪夜蛾的取食未表现出此特征。观察发现, 蠋蝽的口针可从草地贪夜蛾幼虫身体各部位刺入, 包括骨化的头部、相对柔软的腹部背面(并非背腹相接的侧域), 以及体躯末端等(见图 1)。



a-b: 蠋蝽 5 龄若虫刺吸草地贪夜蛾 6 龄幼虫头部; c: 蠋蝽 5 龄若虫刺吸草地贪夜蛾 6 龄幼虫背部
a-b: 5th instar nymph of *A. chinensis* attack the head of 6th instar larvae of *S. frugiperda*; c: 5th instar nymph of *A. chinensis* attack the back of 6th instar larvae of *S. frugiperda*

图 1 蠋蝽取食草地贪夜蛾幼虫

Fig. 1 *Arma chinensis* attack *Spodoptera frugiperda* larva

2.2 蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力

蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的捕食功能反应符合 Holling II 模型(图 2), 方程为 $N_a = 1.344N / (1 + 0.423N)$, $R^2 = 0.703$, $F = 137.038$, $P < 0.0001$ 。对草地贪夜蛾幼虫的瞬时攻击率和处理时间分别为 1.344 和 0.315 d。根据蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的处理时间可计算出蠋蝽的理论日最大捕食量为 3.175 头, 与试验观察得出蠋蝽 5 龄若虫每天可取食 2~3 头草地贪夜蛾 6 龄幼虫的数据一致。

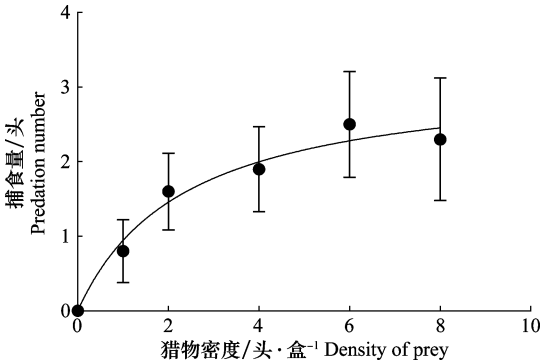


图 2 蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的捕食功能反应
Fig. 2 Functional response of 5th instar nymph of *Arma chinensis* to 6th instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

根据 $S = a / (1 + aT_h N)$ 公式计算出蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的搜寻效应, 由图 3 看出蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的搜寻效应随着草地贪夜蛾幼虫密度的增加而降低。当养虫盒内草地贪夜蛾 6 龄幼虫的密度为 1、2、4、6 和 8 头/盒时, 蠋蝽的搜寻效应分别为 0.944、0.728、0.499、0.379 和 0.307。

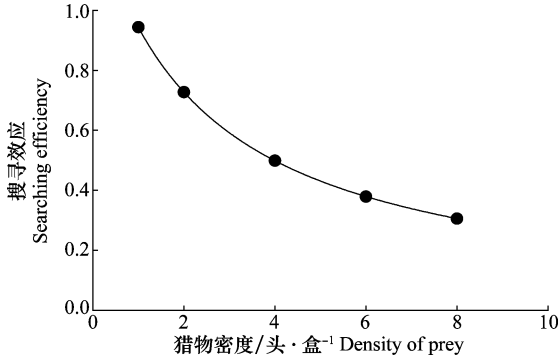


图 3 蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的搜寻效应
Fig. 3 Searching efficiency of 5th instar nymph of *Arma chinensis* to 6th instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

3 讨论

蠋蝽是农林业中重要的捕食性天敌, 其捕食能力强, 捕食范围广, 对草地贪夜蛾等鳞翅目害虫有着天然的控制力, 本试验用到的草地贪夜蛾 6 龄幼虫是最高龄的幼虫, 与前几个龄期的幼虫相比, 其体型更大, 表皮更厚, 且食量更大, 危害性和抗逆性更强。在本试验中, 蠋蝽 5 龄若虫表现出对草地贪夜蛾 6 龄幼虫积极的取食行为和较好的捕食量, 本试验结果对充分了解并运用蠋蝽捕食草地贪夜蛾幼虫的能力控制草地贪夜蛾种群增长和扩散, 科学指导草地贪夜蛾生物防治具有重要意义。

本研究结果表明, 蠋蝽 5 龄若虫的捕食行为总体上表现为: “搜寻—攻击—取食”这一连续的过程, 与其他具有刺吸式口器的捕食蝽例如斑腹刺益蝽、黑刺益蝽的捕食行为类似^[10-13]。同时, 试验发现蠋蝽 5 龄若虫具有独特的捕食行为: 发现草地贪夜蛾幼虫后, 攻击行为一旦开始就能最终制服猎物。此外, 可对猎物身体的多个部位刺吸取食, 而不是如很多文献中描述的仅选择猎物躯体上较为柔软的部位取食。

蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的捕食模型符合 Holling II 模型, 这一模型与其他益蝽亚科捕食蝽的模型一致^[12-13, 26]。其模型方程为 $N_a = 1.344N / (1 + 0.423N)$, 由此可以得出蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的最大捕食量、瞬时攻击率和处理时

间分别为 3.175 头、1.344 和 0.315 d。

蠋蝽 5 龄若虫对小菜蛾 4 龄幼虫的捕食量可达 83.33 头(未发表数据),对榆紫叶甲成虫和幼虫的捕食量可达 47.33 头和 62.74 头^[23],因为上述害虫的体积远远小于草地贪夜蛾 6 龄幼虫,所以蠋蝽对草地贪夜蛾的捕食量与对上述害虫的捕食量相比明显较低,但蠋蝽与黑刺益蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食量表现出了一致性。在巴西,黑刺益蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的最大捕食量是 3.8 头,瞬时攻击率为 0.67,处理时间是 6.72 h=0.28 d^[12]。从数据上看,蠋蝽对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的瞬时攻击率(1.344)明显高于黑刺益蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的瞬时攻击率(0.67)。如果考虑到猎物龄期,蠋蝽表现出比黑刺益蝽更强的取食能力。蠋蝽对草地贪夜蛾幼虫的搜寻效应随着草地贪夜蛾幼虫密度的增加而降低,与黑刺益蝽及其他捕食者搜寻效应一致^[12, 27]。

研究捕食者和猎物的相互作用有利于优化生防策略。本试验通过研究蠋蝽对草地贪夜蛾的功能反应模型和搜寻效应模型,明确了蠋蝽 5 龄若虫对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的日捕食量。但本试验是在室内条件下完成的,而自然条件下存在诸多因素(气候、温湿度、降雨量等)影响捕食者的捕食作用,因此还需要在本研究的基础上,通过释放蠋蝽,在田间条件下进一步研究蠋蝽对草地贪夜蛾控害潜能。

参考文献

- [1] LUGINBILL P. The fall armyworm [M]. 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): 82–86.
- [3] CASMUZ A, JUÁREZ M L, SOCÍAS M G, et al. Revisión de los hospederos del gusanocogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 2010, 69(3/4): 209–231.
- [4] 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.
- [5] ABRAHAM P, BATEMAN M, BEALE T, et al. Fall army-worm: Impacts and implications for Africa [J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 5(28): 196–201.
- [6] 江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 草地贪夜蛾迁飞行为与监测技术研究进展[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 12–18.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] PANNUTI L E R, BALDIN E L L, HUNT T E, et al. On-

plant larval movement and feeding behavior of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on reproductive corn stages [J]. Environmental Entomology, 2016, 45(1): 192–200.

- [10] SHAPIRO J, LEGASPI J C. Assessing biochemical fitness of predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) in relation to food quality: effects of five species of prey [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2006, 99(2): 321–326.
- [11] MALAQUIAS J B, RAMALHO F S, OMOTO C, et al. Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) on Bt cotton [J]. Ecotoxicology, 2014, 23(2): 192–200.
- [12] ZANUNCIO J C, SILVACA D, LIMA E R, et al. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) [J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2008, 51(1): 121–125.
- [13] DOS SANTOS B D B, RAMALHO F S, MALAQUIAS J B, et al. How predation by *Podisus nigrispinus* is influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2016, 158: 142–151.
- [14] 邹德玉. 取食无昆虫成分人工饲料蠋蝽的转录组研究及饲养成本分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [15] 郭义. 取食体内不同甾醇水平的粘虫对蠋蝽营养代谢及生长发育的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [16] 郭义, 王曼姿, 张长华, 等. 几种糖类物质对蠋蝽取食行为选择和繁殖力的影响[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(3): 331–337.
- [17] 潘明真, 张海平, 张长华, 等. 饲养密度和性比对蠋蝽存活和繁殖生物学特性的影响[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 52–58.
- [18] 李娇娇, 张长华, 易忠经, 等. 三种猎物对蠋蝽生长发育和繁殖的影响[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(5): 552–561.
- [19] ZOU Deyu, COUDRON T A, LIU Chenxi, et al. Nutrigenomics in *Arma chinensis*: transcriptome analysis of *Arma chinensis* fed on artificial diet and Chinese oak silk moth *Antheraea pernyi* pupae [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(4): e60881.
- [20] 廖平, 苗少明, 许若男, 等. 新型蠋蝽若虫液体人工饲料效果评价[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(1): 9–14.
- [21] 张海平, 潘明真, 易忠经, 等. 短期饥饿处理对蠋蝽寿命、繁殖力及捕食量的影响[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(2): 159–164.
- [22] 陈静, 张建萍, 张建华, 等. 蠋敌对双斑长跗茎叶甲成虫的捕食功能研究[J]. 昆虫天敌, 2007, 29(4): 149–154.
- [23] 张晓军, 张健, 孙守慧. 蠋蝽对榆紫叶甲的捕食作用[J]. 中国森林病虫, 2016, 35(1): 13–15.
- [24] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385–398.
- [25] 丁岩钦. 昆虫生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 257–258, 303–304.
- [26] 唐艺婷, 郭义, 何国玮, 等. 不同龄期的益蝽对粘虫的捕食功能反应[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(6): 825–830.
- [27] 陈元洲, 张大友, 张亚, 等. 小菜蛾主要捕食性天敌种类及捕食功能研究[J]. 河南职业技术学院学报, 2004, 32(3): 32–34.

(责任编辑: 田 喆)