

黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应

赵英杰[#], 符成悦[#], 徐天梅, 郑亚强, 王文倩, 孔德鸿, 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 为明确黄足肥螋 *Eurellia pallipes* 对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的捕食能力, 在室内于 $(28 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, L//D=16 h//8 h 条件下, 研究了黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能与搜寻效应。结果表明: 黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫具有较强的捕食作用, 捕食时, 黄足肥螋先用尾铗夹伤草地贪夜蛾幼虫或造成其死亡后再取食, 持续取食时间最长达 22 min, 最短 6 min, 平均取食时间为 (10.3 ± 3.3) min。通过 Holling II 模型对捕食作用数据进行拟合, 发现其对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应属于 Holling II 模型, 日最大捕食量为 62.5 头, 瞬时攻击率和处理时间分别为 0.951 和 0.016 d。黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫表现出一定的搜寻效应, 但在一定的空间内随着猎物密度的增加其搜寻效应逐渐降低。由此表明, 黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾低龄幼虫具有较好的防控潜力。

关键词 黄足肥螋; 草地贪夜蛾; 功能反应; 搜寻效应

中图分类号: S 476.2, S 433.4 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2019468

Predation functional response of *Eurellia pallipes* to the 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

ZHAO Yingjie, FU Chengyue, XU Tianmei, ZHENG Yaqiang,
WANG Wenqian, KONG Dehong, 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 *Eurellia pallipes* on *Spodoptera frugiperda*, the predation function and searching efficiency of both male and female adults of *E. pallipes* on the 2nd instar of *S. frugiperda* were studied in an light incubator at $(28 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ and L//D=16 h//8 h. The results showed that *E. pallipes* adults have a strong predation effect on the 2nd instar larvae of *S. frugiperda*. When hunting, they often clip the *S. frugiperda* larvae with forceps first, causing prey injury or death, and then feed. The longest feeding time was 22 min, and the shortest was 6 min, with an average feeding time of (10.3 ± 3.3) min. The data fitting results showed that the functional responses of *E. pallipes* adults to the density of the 2nd instar larvae of *S. frugiperda* fitted well with Holling II model. Daily maximum predation, instantaneous attack rate and treatment time of *E. pallipes* adults to 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were 62.5 individuals, 0.951 and 0.016 d, respectively. *E. pallipes* adults showed the certain searching efficiency on the 2nd instar larvae of *S. frugiperda*, but the searching efficiency decrease gradually with the increase of prey density in a certain space. *E. pallipes* adults showed a good control effect on *S. frugiperda* larvae, and have good control potential on *S. frugiperda*.

Key words *Eurellia pallipes*; *Spodoptera frugiperda*; functional response; searching efficiency

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. 鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae。成虫具有远
Smith), 又称秋黏虫, 英文名 fall armyworm, 隶属于 距离迁飞能力, 寄主广泛, 能够取食玉米和多种经济

收稿日期: 2019-09-08

修订日期: 2019-09-12

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

作物^[1-2]。据报道,在巴西和其他南美洲国家,草地贪夜蛾的为害使玉米减产最高达 57%^[3]。该虫自 2019 年侵入我国以来已成为严重影响我国玉米生产的重要害虫^[4]。由于草地贪夜蛾已对多种化学农药具有抗药性^[5],防治困难,因此生物防治受到越来越多的关注。我国学者研究了多种天敌昆虫对草地贪夜蛾的寄生、捕食作用,如夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* 对草地贪夜蛾卵,螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis*、短管赤眼蜂 *T. pretiosum* 等^[6-7]对草地贪夜蛾幼虫的寄生作用,半翅目的蝽蟓 *Arma chinensis*、东亚小花蝽 *Orius sauteri*^[8-9],脉翅目的大草蛉 *Chrysopa pallens*^[10]以及鞘翅目的异色瓢虫 *Harmonia axyridis*^[11]等对草地贪夜蛾的捕食作用等。

黄足肥螋 *Eurellia pallipes* Shliraki 属革翅目 Dermaptera 肥螋科 Anisolabididae,广泛分布于云南各地的玉米田中,具有生长周期长,环境适应性强,取食害虫种类多等特点^[12],是玉米田里一种重要的捕食性天敌昆虫。近年来的研究发现,黄足肥螋对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum*、甘蔗扁飞虱 *Eoerysa flavo-capitata*、甘蓝薄翅螟 *Crocidolomia pavonana*^[13-16]等害虫有较强的捕食作用,对害虫表现出一定的生防潜力。在田间调查时发现黄足肥螋在玉米植株上捕食草地贪夜蛾卵和幼虫,但有关黄足肥螋对草地贪夜蛾的捕食作用尚未见相关报道。因此,为系统探究黄足肥螋对草地贪夜蛾的生防潜力,本研究测定了黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食量、瞬时攻击率和处理时间,以期为田间应用该种天敌防治草地贪夜蛾提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

草地贪夜蛾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),并于室内人工智能培养箱(RG-300)中连续饲养超过 3 代,饲养条件为(25±1)℃,RH 60%±5%,光周期 L//D=16 h//8 h。试验前随机挑选个体大小、生长状况相似的草地贪夜蛾 2 龄幼虫作为猎物。黄足肥螋采自云南省大理州弥渡县新街镇玉米田,在室内光照培养箱内于(28±1)℃,RH 60%±5%,光周期 L//D=16 h//8 h 条件下,用新鲜的玉米籽粒和草地贪夜蛾幼虫饲养。试验前随机挑选大小一致的 2 周龄的黄足肥螋成

虫,以足量的草地贪夜蛾 2 龄幼虫喂养 3 d,然后将其饥饿处理 24 h,待用。

1.2 试验方法

将上述饥饿处理后的黄足肥螋成虫单头放入培养皿(直径 9 cm、高 1.5 cm)中,然后将草地贪夜蛾 2 龄幼虫按不同密度放入上述培养皿内,同时在每个皿内放入少许新鲜玉米叶片。草地贪夜蛾 2 龄幼虫的密度梯度设为 3、6、9、12、15、18、20 和 25 头/皿,共设 8 个处理,5 次重复。置于 RG-300 智能人工气候箱,于(28±1)℃,RH 60%±5%,光周期 L//D=16 h//8 h,光强 11 000 lx 条件下饲养。每天定时观察黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食行为。处理 24 h 后统计剩余草地贪夜蛾幼虫的数量,计算被捕食的草地贪夜蛾幼虫数量,用 Holling II 方程对试验数据进行模拟。

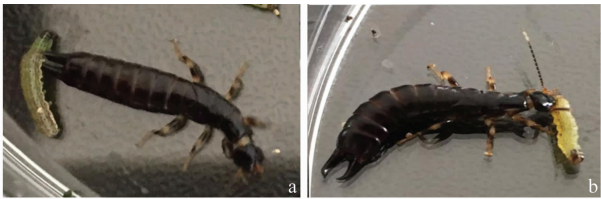
1.3 数据分析

对试验所得数据用 Holling II 模型进行拟合,得到捕食功能反应方程: $N_a = aNT_r / (1 + aT_h N)$ ^[17],搜寻效应方程: $S = a / (1 + aT_h N)$ ^[18],式中 N 是猎物的密度, N_a 为捕食猎物的数量, a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率, T_r 是本试验的总时间,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 2016 和 RStudio 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 黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食行为观察

将饥饿处理后的黄足肥螋成虫放入培养皿内,黄足肥螋在经过短暂适应后会四处游走,判断周围环境,当发现草地贪夜蛾幼虫后,先用触角及前足试探,再使用腹部末端的尾铗夹住草地贪夜蛾幼虫的胸部或腹部,这时猎物通常会剧烈扭曲挣扎,然后黄足肥螋会拖动挣扎的幼虫不断爬行,直至草地贪夜蛾幼虫失去活力,然后开始取食。观察发现,黄足肥螋往往会先用尾铗夹食草地贪夜蛾幼虫造成损伤或死亡,之后再慢慢取食,且不会将草地贪夜蛾幼虫完全吃掉,而是留下一部分残体。从黄足肥螋开始取食草地贪夜蛾幼虫,到取食结束开始搜寻下一头草地贪夜蛾幼虫,持续取食最长时间达 22 min,最短仅 6 min,平均取食时间为(10.3±3.3)min。



a: 黄足肥螋使用尾铗夹住草地贪夜蛾2龄幼虫; b: 黄足肥螋取食草地贪夜蛾2龄幼虫
a: *Eurellia pallipes* is holding the 2nd instar larva of *Spodoptera frugiperda* by forceps; b: *E. pallipes* attack 2nd instar larva of *S. frugiperda*

图 1 室内黄足肥螋取食草地贪夜蛾 2 龄幼虫
Fig. 1 *Eurellia pallipes* attack 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* indoors

2.2 黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应

黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食量 (N_a)随着供试草地贪夜蛾密度(N)的增加而逐渐增多,但当供试草地贪夜蛾 2 龄幼虫的密度 N 达到一

定数量后,捕食量增势减缓。因此,黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 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)。

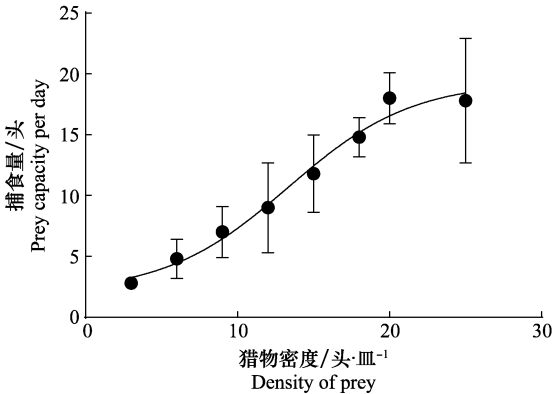


图 2 黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应
Fig. 2 Functional responses of *Eurellia pallipes* on 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

表 1 黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应

Table 1 Functional responses of *Eurellia pallipes* adults on 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

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) Instantaneous attack rate/handling time	日最大捕食量($1/T_h$)/头 Maximum prey consumed daily
$N_a=0.951N/(1+0.015N)$	0.989	0.951	0.016	59.4	62.5

由表 1 可知,黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应方程为 $N_a=0.951N/(1+0.015N)$ ($R^2=0.989, F=588, P<0.001$)。其中,黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的处理时间 (T_h)为 0.016 d,即黄足肥螋取食 1 头草地贪夜蛾 2 龄幼虫的理论时间为 23.04 min;日最大捕食量($1/T_h$)即当猎物密度足够大,即 $N \rightarrow \infty$ 时,黄足肥螋的理论日最大捕食量为 62.5 头,这也直观反映出黄足肥螋对草地贪夜蛾幼虫有较大的捕食量。

2.3 黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应

通过拟合 Holling II 型功能反应模型得到的参数,依公式 $S=a/(1+aT_hN)$ 估算黄足肥螋成虫在不同草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度下的搜寻效应。其中, S 为搜寻效应, a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率, T_h 是处理时间, N 是草地贪夜蛾幼虫的密度。

根据上述公式,得出了黄足肥螋在不同草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度下的搜寻效应(图 3),由图 3 可知,随着猎物密度的增加,黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应逐渐降低。当草地贪夜蛾 2 龄幼虫的密度分别为 3、6、9、12、15、18、20 和 25 头/皿

时,黄足肥螋的搜寻效应分别为 0.910、0.872、0.838、0.806、0.776、0.749、0.732 和 0.692。

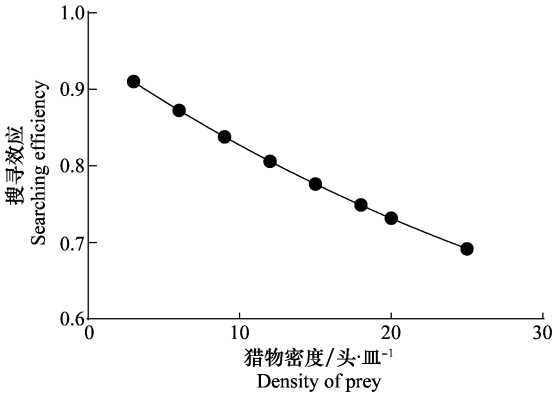


图 3 黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的搜寻效应
Fig. 3 Searching efficiency of *Eurellia pallipes* to 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

3 结论与讨论

本试验研究了黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的功能反应模型和搜寻效应模型,得出其捕食功能反应满足 Holling II 型方程,捕食数量随草地贪夜蛾数量的增加而增加,当猎物达到一定密度后,捕

食量增势减缓,该结果与许多革翅目天敌昆虫捕食鳞翅目幼虫的捕食功能反应模型相同^[13,19-20]。捕食性天敌昆虫对猎物的瞬时攻击率/处理时间(a/T_h)是表示天敌防控猎物作用强弱的重要参数, a/T_h 越大则表示其对猎物的防控作用越强^[21]。本研究发现黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的 a/T_h 值达 59.4,表明黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫具有较强的捕食作用。本研究还发现黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量高达 62.5 头,表明黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫有较强的防控潜能。此外,在阿根廷,Sueldo 等^[20]研究了当地玉米田常见的一种球螋 *Doru lineare* 对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用,发现其对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的瞬时攻击率为 0.374,明显低于本研究中黄足肥螋对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的瞬时攻击率(0.951),这可能是因为 *D. lineare* 体型与本试验中的黄足肥螋相比较小,且猎物被放置在盆栽玉米植株上,*D. lineare* 搜索时间较长,从而使得其捕食能力较黄足肥螋低。由此也表明,我国许多玉米种植区常见的黄足肥螋在草地贪夜蛾生物防治中有良好的应用潜力。

本课题组在试验中发现,黄足肥螋成虫仅对草地贪夜蛾低龄幼虫有较强的捕食能力,而无法捕食草地贪夜蛾的高龄幼虫,反而出现了黄足肥螋被草地贪夜蛾咬死的现象,这可能是由于草地贪夜蛾的高龄幼虫体型过大并且攻击性强,导致黄足肥螋不能取食,这一发现也为在田间科学、合理地利用黄足肥螋防治草地贪夜蛾提供了依据。

试验中还观察到,黄足肥螋与同为咀嚼式口器的异色瓢虫在取食草地贪夜蛾低龄幼虫的行为上大体相似,都可分为静止、爬行、搜寻、试探、取食等五个行为^[11]。但与异色瓢虫不同的是,黄足肥螋表现出极强的攻击性,会用腹部末端坚硬的尾铗攻击猎物,当猎物因受伤而活力下降或死亡后才开始取食,取食的部位通常是草地贪夜蛾幼虫的腹部末端或者背面,取食过程中始终用尾铗固定住猎物,除非黄足肥螋特别饥饿,否则取食过程只持续约 10 min,尚未将猎物完全取食掉便开始搜寻下一个猎物,这也使得试验中猎物的死亡率较高,这一生物学特性对于在田间科学释放黄足肥螋防治草地贪夜蛾有一定的指导意义。但是,该捕食功能试验是在实验室条件下完成的,在自然环境中,还存在许多影响黄足肥螋

对草地贪夜蛾捕食能力的因素,如环境温度、寄主植物、更大的搜寻范围以及其他因素的干扰等。因此,黄足肥螋对田间草地贪夜蛾的生物防治效果还有待进一步探究。

参考文献

- [1] 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.
- [2] SVOBODOVÁ Z, BURKNESS E C, SKOKOVÁ HABUŠTOVÁ O, et al. Predator preference for Bt-fed *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) prey: implications for insect resistance management in Bt maize seed blends [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(3): 1317 - 1325.
- [3] CRUZ I, FIGUEIREDO M L C, OLIVEIRA A C, et al. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation [J]. International Journal of Pest Management, 1999, 45(4): 293 - 296.
- [4] 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.
- [5] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1991, 39(1): 84 - 91.
- [6] 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.
- [7] 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日龄卵的寄生能力及子代蜂适合度[J/OL]. 植物保护: 1 - 9[2019 - 09 - 08]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019401>.
- [8] 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蠋螋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 - 09 - 08]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019346>.
- [9] 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: 1 - 6[2019 - 09 - 10]. <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.003>.
- [10] 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.
- [11] 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/OL]. 植物保护: 1 - 6[2019 - 09 - 08]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019370>.
- [12] 潘雪红, 黄诚华, 商显坤, 等. 广西蔗区蠋螋发生调查初报[J]. 中国植保导刊, 2015, 35(12): 35 - 37.
- [13] 宁格, 张立敏, 杜广祖, 等. 黄足肥螋成虫对亚洲玉米螟的捕食作用研究[J]. 环境昆虫学报, 2013, 35(3): 305 - 310.

66129005. cms.

- [9] SISAY B, SIMIYU J, MALUSI P, et al. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa [J]. Journal of Applied Entomology, 2018, 142(8): 800–804.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 胡朝兴, 杨茂发, 邹军锐, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾对贵州省农业生产的潜在危害分析及其防控[J]. 山地农业生物学报, 2019, 38(3): 1–5.
- [13] 界面新闻. 草地贪夜蛾入侵中国 21 个省份, 如何快速监测识别仍是防控痛点[EB/OL]. (2019–07–17)[2019–07–23]. <http://baijiahao.baidu.com/s?id=1639275743535174345&wfr=spider&for=pc>.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] KALLESWARASWAMY C M, ASOKAN R, SWAMY H M M, 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 in Horticultural Ecosystems, 2018, 24(1): 23–29.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 张磊, 靳明辉, 张丹丹, 等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 19–24.
- [21] 孔德英, 孙涛, 滕少娜, 等. 草地贪夜蛾及其近似种的鉴定[J]. 植物检疫, 2019, 33(4): 37–40.
- [22] 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]. 植物保护, 2019, 45(5): 42–46.
- [23] 徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 等. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 61–64.
- [24] 王世英, 朱启旋, 谭煜婷, 等. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 742–747.
- [25] 赵雪晴, 屈天尧, 李亚红, 等. 2019 年云南省草地贪夜蛾春夏季发生特征[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 84–90.
- [26] 刘婷. 棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 在多寄主植物气味环境中的寄主选择行为[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [27] 陈玲. 棉大卷叶蛾对棉花和苘麻的偏好性评价[D]. 扬州: 扬州大学, 2014.
- [28] 张文璐, 王文强, 白树雄, 等. 亚洲玉米螟雌蛾产卵偏好寄主植物的筛选及对萜萜挥发性化学成分的电生理反应[J]. 昆虫学报, 2018, 61(2): 224–231.
- [29] 黄芊, 蒋显斌, 凌炎, 等. 黏虫在 4 种寄主植物上的生长发育和繁殖的比较研究[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(9): 5–10.
- [30] 范锦胜, 张李香, 王贵强, 等. 寄主植物对甜菜夜蛾种群动态的影响[J]. 植物保护, 2012, 38(4): 33–37.
- [31] 张娜, 郭建英, 万方浩, 等. 甜菜夜蛾对不同寄主植物的产卵和取食选择[J]. 昆虫学报, 2009, 52(11): 1229–1235.
- [32] 韩慧, 李静雯, 门兴元, 等. 二点委夜蛾对不同植物的产卵和取食选择[J]. 植物保护, 2016, 42(3): 123–127.
- [33] 张岫, 吴明峰, 谷少华, 等. 棉铃虫雌成虫对 16 种植物的产卵偏好性及幼虫取食后的生存表现[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 108–113.
- [34] 马世骏. 谈农业害虫的综合防治[J]. 昆虫学报, 1976(2): 129–141.
- [35] 成卫宁, 作均祥, 李修炼, 等. 美洲斑潜蝇寄主抗虫性与寄主叶片化学物质和物理结构的关系[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2006, 45(5): 71–75.
- [36] 黄保宏, 邹运鼎, 毕守东, 等. 8 种寄主植物对朝鲜球坚蚱 (*Didesmococcus koreanus* Broch) 的适合度及自然种群增长的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3875–3881.
- [37] 李子玲, 韦绥概, 覃爱枝, 等. 寄主营养成分含量与甜菜夜蛾生长繁殖的关系[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006(6): 986–989.
- [38] 余德亿, 姚锦爱, 黄鹏, 等. 榕管蓟马危害与寄主叶片结构及营养物质的关系[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(2): 38–44.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 38 页)

- [14] 李向永, 赵高慧, 石安宪, 等. 黄足肥螋的发生及其对苹果绵蚜的捕食作用[J]. 环境昆虫学报, 2008, 30(3): 273–276.
- [15] 邹贵才, 陆佳乾, 韦玉梅, 等. 螋对甘蔗扁虱的捕食功能反应研究[J]. 现代农业科技, 2008(14): 120–121.
- [16] 高华. 甘蓝薄翅蛾的生物学、生态学特性及其抗药性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2007.
- [17] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385–398.
- [18] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [19] 曾玲, 张志红, 陆永跃, 等. 毛螋对蔗扁蛾幼虫的捕食作用[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(2): 218–221.
- [20] SUELDO M R, BRUZZONE O A, VIRLA E G. Characterization of the earwig, *Doru lineare*, as a predator of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: a functional response study [J]. Journal of Insect Science, 2010, 10(1): 38.
- [21] 牟吉元, 徐洪富, 李火苟. 昆虫生态与农业害虫预测预报[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 56.

(责任编辑: 杨明丽)