

捕食性蝽防治草地贪夜蛾的研究进展

唐艺婷, 王孟卿*, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生*

(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: 捕食性蝽是重要的天敌昆虫类群, 可用于农林害虫的生物防治, 具有广阔的应用前景。本文汇总了国内外利用捕食性蝽防治草地贪夜蛾的相关报道, 概括了捕食性蝽对草地贪夜蛾的捕食能力、取食草地贪夜蛾后捕食性蝽的生命参数、植物及化学农药对捕食性蝽防控草地贪夜蛾的影响, 归纳了捕食性蝽规模化饲养工艺, 分析了当前利用捕食性蝽防治草地贪夜蛾存在的问题, 并提出了相应的改进建议。

关键词: 捕食性蝽; 生物防治; 草地贪夜蛾

中图分类号: S476.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2019)05-0682-09

Research Advances of Predatory Bugs to *Spodoptera frugiperda*

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

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

Abstract: Predatory bugs are important natural enemy insects, many of them can be used in pest biological control. In this paper, we summarized the related researches on the application of predatory bugs to control *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in worldwide range. We reviewed the predation ability, life parameters of predatory bugs, effects of host plants and pesticides on the development of predatory bugs. And large-scale breeding of predatory bugs were also summarized in this paper. Finally, we analyzed some problems on the application of predatory bugs to control *S. frugiperda* and proposed suggestions for improvements.

Key words: predatory bugs; biological control; *Spodoptera frugiperda*

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 原产于美洲热带区和亚热带区, 是联合国粮农组织 (FAO) 全球预警的重大农业害虫^[1-8]。草地贪夜蛾为害作物多, 其幼虫可取食 76 科 353 种植物^[4], 成灾损失重, 幼虫在 6 个龄期均可为害植物叶片和其他幼嫩部位; 迁飞扩散快, 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^[9-14]; 适生范围广, 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; 繁殖能力强, 成虫产卵量较高, 平均产卵量在 1500 粒左右, 最高时可产 2000 粒卵^[3]。

自 2019 年 1 月入侵我国后迅速蔓延, 目前已在 23 省 (自治区) 的 1300 多个县 (市、区) 发生, 严重为害玉米、高粱、甘蔗等农作物, 对我国粮食生产和农业发展构成巨大威胁。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, 能够有效降低草地贪夜蛾的种群数量^[15-18], 唐璞等^[18]和本团队曾将草地贪夜蛾的寄生性天敌资源进行了总结, 整理出草地贪夜蛾的寄生性天敌 208 种, 捕食性天敌昆虫共 46 种。捕食性天敌昆虫的应用效果明显: 巴西利用黑刺益蝽 *Podisus nigrispinus*

收稿日期: 2019-08-15

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201000); 中国农业科学院基本科研业务费重大项目 (Y2019YJ06)

作者简介: 唐艺婷, 硕士, E-mail: tyt0417@163.com; *通信作者, 王孟卿, 副研究员, E-mail: mengqingsw@163.com; 张礼生, 研究员, E-mail: zhangleesheng@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.014

(Dallas) 防治农田草地贪夜蛾取得理想的效果^[19]。美国利用斑腹刺益蝽 *Podisus maculiventris* (Say)、佛州优捕蝽 *Euthyrhynchus floridanus* (L.)^[20]、狡诈小花蝽 *Orius insidiosus* Say、斑足大眼长蝽 *Geocoris punctipes* (Say) 和沼泽大眼长蝽 *Geocoris uliginosus* (Say) 防控农田和草坪上的草地贪夜蛾取得明显成效^[21]。我国使用蝽蝽 *Arma chinensis* (Fallou)、益蝽 *Picromerus lewisi* Scott 和东亚小花蝽 *Orius sauteri* (Poppius) 在云南的草地贪夜蛾发生区进行初步试验, 捕食作用明显^[22-27]。

本文将集中总结草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫利用情况, 综述取食草地贪夜蛾的捕食蝽种类、捕食蝽对草地贪夜蛾的捕食能力、取食草地贪夜蛾后捕食蝽的生命参数、植物和化学农药对捕食蝽防控草地贪夜蛾的影响及捕食蝽的规模化扩繁。

1 草地贪夜蛾的捕食性天敌

结合文献和最近的调查结果发现, 草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫有 46 种: 主要集中在半翅目捕食蝽 19 种、鞘翅目 12 种、脉翅目 4 种、革翅目 7 种和膜翅目 4 种^[28-33]。其中捕食性蝽占目前发现草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫总数的 41%, 其中, 蝽科 Pentatomidae: 蝽蝽、益蝽、合刺益蝽 *Podisus connexivus* (Bergroth)、斑腹刺益蝽、黑刺益蝽 *Podisus nigrispinus* (Dallas)、佛州优捕蝽、纹头肃蝽 *Supputius cincticeps* (Stål); 猎蝽科 Reduviidae: *Sycanus indagator* (Stål)、黑斑猎蝽 *Zelus armillatus* (Lepeletier et Serville)、长足猎蝽 *Zelus longipes* (L.)、长角猎蝽 *Zelus leucogrammus* (Perty) 和任氏猎蝽 *Zelus renardi*; 长蝽科 Lygaeidae: 斑足大眼长蝽、沼泽大眼长蝽; 花蝽科 Anthocoridae: 狡诈小花蝽、浅白翅小花蝽 *Orius albidipennis* (Reuter)、东亚小花蝽 *Orius sauteri* (Poppius); 姬蝽科 Nabidae: 皱姬蝽 *Nabis rugosus* (L.)、方形姬蝽 *Nabis capsiformis* (Germar)。

2 捕食蝽对草地贪夜蛾的控害能力

捕食性蝽捕食能力强, 成虫和若虫均为捕食性, 能捕食大部分的鳞翅目昆虫、粉虱、叶蝉和蚜虫等农业害虫。

2.1 捕食蝽的取食范围

大型捕食蝽种类, 如蝽科中的捕食性种类和猎蝽科, 主要捕食鳞翅目各龄期的幼虫、也能刺吸鳞翅目成虫; 长蝽科、姬蝽科和小花蝽科则捕食鳞翅目低龄幼虫及卵, 也取食粉虱、叶蝉和蚜虫等农业害虫。

我国广泛分布的蝽蝽的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。文献记载蝽蝽对草地贪夜蛾、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius、小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)、菜粉蝶 *Pieris rapae* Linne、烟青虫 *Helicoverpa assulta* (Guenée)、大造桥虫 *Ascotis selenaria* Schiffermuller et Denis、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner、二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)、美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury)、米蛾 *Corcyra cephalonica* (Stainton) 均具捕食能力, 对侧柏毒蛾 *Parocneria furva* (Leech)、松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker、杨毒蛾 *Stilpnotia candida* Staudinger、杨扇舟蛾 *Clostera anachoreta* (Denis et Schiffermüller) 和黄刺蛾 *Cnidocampa flavescens* (Walker) 都具有良好防效, 对马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say)、黄粉虫 *Tenebrio molitor* L.、双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) 和榆紫叶甲 *Ambrostoma quadriimpressum* (Motschulsky) 等具有一定的捕食潜力^[34-42]。

已有记录益蝽的取食范围包括: 草地贪夜蛾、菜粉蝶、粘虫 *Mythimna separate* (Walker)、黄地老虎 *Agrotis segetum* Schiffermtiller、棉铃虫、二化螟、大蜡螟 *Galleria mellonella* L.、小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner、杨小舟蛾 *Micromelalopha troglodyte* (Staudinger) 和两色绿刺蛾 *Latoria bicolor* Walker、米蛾、麻蝇 *Sarcophaga naemorrhoidalis* Fallen 等害虫^[24]。

2.2 捕食蝽的控害能力

草地贪夜蛾发生以来, 其天敌昆虫的控害能力已经有不少的研究, 其中捕食蝽有: 黑刺益蝽、佛州优捕蝽、益蝽、蝽蝽、狡诈小花蝽、斑足大眼长蝽、沼泽大眼长蝽^[19-28]。其捕食信息统计如表 1。

根据国外文献记载: 黑刺益蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的日最大捕食量、瞬时攻击率、处理时间分别为

3.8 头、0.67、6.72 h^[19]；佛州优捕蝽对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日捕食量可达 100 头^[20]；狡诈小花蝽对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量达 90 头；两种大眼长蝽，斑足大眼长蝽和沼泽大眼长蝽，对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量分别达 85 头和 53 头^[21]。

本团队的研究表明：蝽蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的日最大捕食量 60 头，对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的日最大捕食量 4 头^[22-24]。

表 1 捕食蝽对草地贪夜蛾的捕食信息表

Table 1 The information of predatory bugs preyed on *S. frugiperda*

捕食蝽种类 Species	捕食蝽虫态 Stage of predatory bugs	草地贪夜蛾虫态 Stage of <i>S. frugiperda</i>	日捕食量 Daily predation number	防治区域 Control region	参考文献 Reference
蝽蝽 <i>A. chinensis</i>	5 龄若虫	6 龄幼虫	2~4 头	中国， 农业生态	[22,23]
	雌成虫	3 龄幼虫	60 头		
		4 龄幼虫	23 头		
		5 龄幼虫	9 头		
	雄成虫	3 龄幼虫	58 头		
		4 龄幼虫	22 头		
		5 龄幼虫	8.3 头		
益蝽 <i>P. lewisi</i>	5 龄若虫	6 龄幼虫	3~5 头	中国， 农业生态	[24,25]
	雌成虫	3 龄幼虫	61 头		
		4 龄幼虫	30 头		
		5 龄幼虫	10 头		
	雄成虫	3 龄幼虫	59 头		
		4 龄幼虫	24 头		
		5 龄幼虫	9 头		
东亚小花蝽 <i>O. sauteri</i>	3 龄若虫	1 龄幼虫	7 头	中国， 农业生态	[26,27]
	4 龄若虫	1 龄幼虫	9 头		
	5 龄若虫	1 龄幼虫	9 头		
	雌成虫	1 龄幼虫	9 头		
	5 龄若虫	2 龄幼虫	4 头		
佛州优捕蝽 <i>E. floridanus</i>	3~4 龄若虫	2 龄幼虫	80~100 头	美国 佛罗里州， 农业生态	[20]
	雌成虫	2 龄幼虫	60~70 头		
	雄成虫	2 龄幼虫	40~50 头		
黑刺益蝽 <i>P. nigrispinus</i>	雌成虫	3 龄幼虫	3~4 头	南美洲， 农业生态	[19]
	2 龄若虫	3 龄幼虫	1~2 头		
	3 龄若虫	3 龄幼虫	1~2 头		
	4 龄若虫	3 龄幼虫	2~3 头		
	5 龄若虫	3 龄幼虫	3~4 头		
狡诈小花蝽 <i>O. insidious</i>	成虫	1 龄幼虫	40~90 头	美国， 农业生态	[21]
斑足大眼长蝽 <i>G. punctipes</i>	成虫	1 龄幼虫	51~85 头	美国南部， 草坪	[21]
	3~5 龄若虫	1 龄幼虫	36~72 头		
沼泽大眼长蝽 <i>G. uliginosus</i>	成虫	1 龄幼虫	25~53 头	美国南部， 草坪	[21]

3 取食草地贪夜蛾对捕食螭生长发育的影响

释放天敌昆虫应使其在目标区域定殖,保持活力持续控制害虫,因此需了解目标猎物能否满足天敌昆虫的发育需求^[43-47]。为确保在草地贪夜蛾发生区释放捕食螭的稳定效果,多项研究涉及到了取食草地贪夜蛾对捕食螭的生长发育的影响,证明草地贪夜蛾能满足捕食螭世代的生长发育需要。

3.1 取食草地贪夜蛾对捕食螭产卵的影响

Legaspio^[43]比较了取食草地贪夜蛾、甜菜夜蛾、小菜蛾、大蜡螟、黄粉虫对斑腹刺益螭雌成虫生殖能力的影响。结果表明,取食该5种猎物的斑腹刺益螭均能产卵,并且所产卵大多能成功孵化,其中取食小菜蛾的雌螭所产卵的孵化率最高,达81.7%;取食草地贪夜蛾、甜菜夜蛾、大蜡螟和黄粉虫的孵化率分别为72.8%、72.9%、63.8%和77.8%。Shapiro和Legaspio^[44]进一步分析了取食这几种猎物的斑腹刺益螭雌成虫体内的营养储存,比较了斑腹刺益螭体内蛋白质、脂质、卵黄蛋白等物质。结果表明取食前4种猎物的斑腹刺益螭雌成虫体内脂质存储量明显低于取食黄粉虫的斑腹刺益螭雌成虫,取食草地贪夜蛾、甜菜夜蛾、小菜蛾、大蜡螟和黄粉虫的斑腹刺益螭,其卵黄原蛋白含量分别为190.4、167.1、170.4、170.4和141.1 μg/mg,这个数据表明草地贪夜蛾更适合斑腹刺益螭雌成虫的产卵。

2014年,Denez等^[47]报道取食草地贪夜蛾的黑刺益螭能成功产卵,但取食褐螭 *Euschistus heros* (F.) 卵的黑刺益螭不产卵。2004年,Oliveira等^[46]报道取食草地贪夜蛾的黑刺益螭产卵量和产卵次数均高于取食黄粉虫的黑刺益螭。

3.2 取食草地贪夜蛾对捕食螭发育的影响

Oliveira等^[46]报道并对比了取食草地贪夜蛾和黄粉虫后的黑刺益螭发育上的区别。研究结果发现,取食草地贪夜蛾的黑刺益螭从2龄若虫到成虫只需19~20 d,其发育历期短于取食黄粉虫的黑刺益螭的21~22 d。2016年,Morales-ramos等^[45]利用黄粉虫幼虫和蛹饲养斑腹刺益螭,结果表明黄粉虫蛹和黄粉虫幼虫饲养斑腹刺益螭的发育历期分别为23.22和24.50 d,虽然二者差异不显著,但用黄粉虫蛹饲养斑腹刺益螭成虫体重更大,若虫存活率更高。

Denez等^[47]对比了取食豆科不同植物的害虫,草地贪夜蛾、序灰翅夜蛾 *Spodoptera cosmioides* (Walker)、大豆干煞夜蛾 *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) 和褐螭 *Euschistus heros* (F.) 对黑刺益螭的发育的影响。结果表明,取食以草地贪夜蛾为首的3种鳞翅目幼虫,黑刺益螭若虫发育历期12 d、成虫体重及性比均无显著差异;但取食褐螭卵的黑刺益螭的若虫发育历期达20 d、存活率低、成虫体重低,与取食以上3种鳞翅目幼虫的黑刺益螭差异显著。

草地贪夜蛾是捕食螭类昆虫的天然猎物,通过取食草地贪夜蛾,捕食螭类昆虫都能完成生长发育,并且产卵。以上研究结果均表明,在草地贪夜蛾发生时,通过释放捕食螭防控草地贪夜蛾,捕食螭可以在草地贪夜蛾的发生区完成发育并定殖。

4 取食不同植物的草地贪夜蛾对捕食螭的影响

在“植物-植食性昆虫-天敌昆虫”这一营养关系链中,天敌昆虫的行为受植食性昆虫的直接影响,植物作为这种关系的存在背景,在一定程度上也影响天敌昆虫的捕食作用。实践证明,在“植物-草地贪夜蛾-捕食螭”的关系链中,捕食螭对草地贪夜蛾的捕食行为会受到取食环境的影响,并且在不同作物上其捕食能力也有差异^[48-50]。

4.1 不同种作物对捕食螭取食草地贪夜蛾的影响

比利时根特大学 Clercq 等^[49]比较了在甜椒、茄子、西红柿上黑刺益螭对甜菜夜蛾的捕食功能反应。结果显示,在甜椒和茄子上的黑刺益螭捕食功能反应是 Holling II 模型,在西红柿上为 Holling III 模型,作者认为西红柿叶片表面上具有纤毛,干扰了捕食者,导致捕食者的搜寻效率和捕食能力下降。Lemos 等^[50]研究表明,带汁液的新鲜植物叶片为黑刺益螭提供了更舒适的环境。实验室条件下,提供棉花的黑刺益螭1龄若虫发育历期为2.67 d 显著短于只提供水分的1龄若虫(3 d),提供棉花的黑刺益螭成虫体重为49.72 mg 大于只提供水的黑刺益螭成虫体重(42.36 mg),雌虫产卵量为134.92 粒显著高于只提供

水分的雌虫产卵量 (53.88 粒)。

4.2 转基因作物对捕食蝽取食草地贪夜蛾的影响

利用转基因作物是防治草地贪夜蛾的一项重要措施。在转基因作物田, 捕食蝽可以通过捕食取食过转基因抗虫作物的害虫而受到影响^[51,52]。

目前, 草地贪夜蛾在大宗作物上的发生记录主要在玉米和棉花上, 所以相关研究主要体现在用转基因玉米和转基因棉花饲养的草地贪夜蛾对捕食蝽的影响, 涉及到的捕食蝽有: 黑刺益蝽、任氏择猎蝽和狡诈小花蝽^[53-59]。

Flávio 等^[55]报道取食转 Bt 基因玉米和非转基因玉米的草地贪夜蛾的黑刺益蝽, 2 龄若虫到成虫的发育历期分别为 33.57 d 和 25.96 d, 二者差异显著, 前者导致捕食者的发育历期明显延长。作者认为可能是因为取食转基因的草地贪夜蛾的质量较差, 从而导致黑刺益蝽的发育缓慢, 不过, 在此研究中两种猎物来源的捕食者对猎物 (草地贪夜蛾幼虫) 的搜寻时间和捕食量并没有显著性差异。

巴西的 Mendes 等^[59]研究记录了取食转 Bt 基因和非转基因玉米的草地贪夜蛾对狡诈小花蝽的影响, 发现食物来源不同的猎物对天敌狡诈小花蝽的发育历期没有显著影响。但是, 取食转基因玉米饲养的草地贪夜蛾卵的狡诈小花蝽 1 龄若虫存活率较低, 明显低于取食用非转基因玉米饲养的草地贪夜蛾卵的狡诈小花蝽。Su 等^[58]报道证明, 取食转 Bt 基因玉米的草地贪夜蛾幼虫对任氏择猎蝽的发育历期、体重、生殖力等生物学参数没有影响。

Cunha 等^[57]解剖取食用转 Bt 基因棉花饲养的草地贪夜蛾的黑刺益蝽中肠时, 发现 Bt 中的 Cry 蛋白可以通过草地贪夜蛾到达捕食者体内, 从而可能影响捕食者的捕食能力。而 Malaquia 等^[56]报道证明, 取食转 Bt 基因棉花与取食非转基因棉花的草地贪夜蛾对黑刺益蝽的捕食功能反应没有显著差异, 其对草地贪夜蛾 3 幼虫的捕食量在 3~4 头之间。

综上, 利用转基因作物防治草地贪夜蛾对捕食蝽并没有太大的影响, 且对其捕食能力的影响也较小, 因此转基因作物和捕食蝽可联合共同用于控制草地贪夜蛾种群的增长。

5 化学防治对捕食蝽的影响

如前所述, 草地贪夜蛾属于快速繁殖的暴发性害虫, 在其防治过程中, 化学农药是不可避免的工具^[60-62]。如何实现化学农药和天敌昆虫之间的兼容, 是目前利用捕食蝽等天敌昆虫防治草地贪夜蛾急需解决的问题。为此展开的研究主要是化学农药对捕食蝽的影响。目前关于化学农药对捕食蝽的影响研究主要体现在几种农药对斑腹刺益蝽、黑刺益蝽、纹头肃蝽和小花蝽的影响^[63-71]。

早在 1995 年, Clercq 等^[63]就研究了斑腹刺益蝽对二氟脲和蚊蝇醚的敏感程度, 结果表明: 二氟脲直接接触体表对斑腹刺益蝽没有毒害作用, 而通过取食含有药液的水分摄取到体内的二氟脲对斑腹刺益蝽有毒杀作用; 蚊蝇醚会导致斑腹刺益蝽蜕皮失败、发育停滞, 只有在 LC₁₀ 浓度下蚊蝇醚, 斑腹刺益蝽能完成蜕皮。Martinou 等^[68]研究报道, 噻虫啉对短小长颈盲蝽 *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) 的伤害较大, 造成 100% 的死亡率, 茚虫威和多杀菌素对该盲蝽的杀伤较小。Tillman 和 Mullinix^[64]研究几种杀虫剂, 百治磷、草氨酰、氟氯氰菊酯、噻虫啉、啉虫脒和茚虫威对斑腹刺益蝽的毒性。结果显示, 百治磷对成虫和若虫均造成 100% 死亡率, 茚虫威对斑腹刺益蝽没有明显伤害。Azevedo 等^[65]测试了精高效氯氟氰菊酯对黑刺益蝽的毒性, 结果显示, 药剂浓度越高作用越强, 当药剂浓度为 23.4375 mg/L 时黑刺益蝽的存活率只有 28.12%。Angeli 等^[66]测试了 29 种农药对无毛小花蝽 *Orius laevigatus* Fieber 的毒害作用, 包括 24 种杀虫剂, 2 种杀螨剂和 3 种杀菌剂。其中有机磷和有机硫类对无毛小花蝽造成 100% 的死亡率。杀螨剂、杀菌剂以及杀虫剂中的 Bt、病毒和植物源农药 (印楝素) 对无毛小花蝽的伤害较小, 其中杀菌剂和杀螨剂对小花蝽的致死率在 1.8%~28%; 杀虫病毒对小花蝽的致死率为 0; 在生殖力方面, 病毒和杀螨剂处理过的雌蝽均可以继续繁殖; 而杀菌剂处理后, 只有 61%~91% 的雌蝽可以继续产卵。Lemos 等^[67]研究苯氯菊酯对纹头肃蝽卵巢的影响时发现药剂浓度越高, 卵巢越小, 并且卵母细胞的数量在减少。当药剂浓度为 10⁻⁴ mg/mL 时, 卵巢的长度为 5.7 mm, 而当药剂浓度为 10⁻⁷ mg/mL 时, 卵巢长度为 6.4 mm; 同样, 当药剂浓度达 10⁻³ mg/mL 时, 卵巢中卵子的数量平均只有 13.5 个, 而未经处理的雌蝽卵巢中有 29.2 个卵子。

以上研究结果表明化学药剂浓度越高，对捕食蝽的伤害越大；有机磷，有机氯，以及氨基酸甲酯类农药对捕食蝽伤害最大，其次是菊酯类杀虫剂，阿维菌素和甲维盐对捕食蝽的伤害较小；同时研究表明杀虫剂对捕食蝽若虫的伤害大于成虫。

6 蝽蝽规模化饲养探索

目前，一些半翅目捕食性天敌昆虫的无昆虫成分的人工饲料的研究已经取得很大进展^[31]。Clercq 和 Degheele^[72-73]曾经应用牛肝、牛肉等成功饲养斑腹刺益蝽和 *Podisus sagitta*，并于 1993 年对用饲料饲养的第 15 代斑腹刺益蝽和 *P. sagitta* 进行捕食能力评价，表明与活猎物大蜡螟饲养的两种捕食蝽相比对甜菜夜蛾的捕食能力没有差异。Clercq 等^[74]用以肉类为主的人工饲料饲喂斑腹刺益蝽，其雌成虫体积小于黄粉虫蛹饲养的斑腹刺益蝽雌成虫体积。Coudron 等^[75]研究发现，用无昆虫成分的动物源人工饲料连续饲养斑腹刺益蝽 11 代后，室内种群的发育历期、产卵前期、产卵量和若虫存活率得到了改善。邹德玉^[36]利用无昆虫成分的人工饲料饲养蝽蝽，已成功饲养至 12 代，其发育历期长于柞蚕蛹饲养的蝽蝽，产卵量少于柞蚕蛹饲养的蝽蝽，卵孵化率低于柞蚕蛹饲养的蝽蝽，费用是柞蚕蛹饲养的 1.7 倍。周正^[76]利用匀浆液成功饲养 3 代大眼长蝽，其饲料的主要成分是柞蚕匀浆液，鸡蛋黄等，通过捕食能力评价，发现捕食量低于使用天然猎物饲养的大眼长蝽。

目前我国蝽蝽已经能够大规模生产，其人工繁殖技术大体上可分为以下 4 个步骤^[77]：第一、栖息植物（或寄主植物）的获得：栖息植物除了可以供其刺吸，同时可以为其提供休憩场所，更重要的是在群体饲养时可以提供躲避空间，大大减少自残的比率。自然条件下，蝽蝽活跃于榆树和杨树林。因此理论上讲，榆树枝或杨树枝作为其栖息植物最好，但是室内栽培榆树和杨树占用空间太大，大豆苗室内种植成活率高、占用空间少、周期短、成本低，多次的实践证明使用大豆苗作为其栖息植物较合适。第二、蝽蝽卵的收集：蝽蝽喜欢将卵产在叶背面，收集卵时可将带卵的那片叶剪下，放于带有润湿滤纸的培养皿中，每天喷一次蒸馏水保湿。群体饲养时，最好每天收集卵一次，避免时间过长而造成成虫取食卵。第三、蝽蝽 1 龄若虫的饲养：初孵 1 龄若虫与其他龄期若虫及成虫不同，1 龄若虫孵化后聚在一起，只取食水就可发育到 2 龄，因此只提供给 1 龄若虫充足的水即可。将脱脂棉用蒸馏水泡湿放于小容器内（如塑料杯、小塑料盒等），将初孵的 1 龄若虫团放于湿脱脂棉上。第四、蝽蝽 2~5 龄若虫及成虫的饲养：1 龄若虫大多 3 d 后即蜕皮变成 2 龄，2 龄若虫开始分散取食，2~5 龄若虫都可以捕食人工饲料或猎物。养虫笼上可放蒸馏水浸湿的脱脂棉供其取水，每天加水一次。若虫发育至成虫后，将羽化的成虫按 1:1 雌雄配对，放入笼中，笼子底部放入新鲜大豆苗，同时饲喂人工饲料或猎物，人工饲料要每天更换一次。

7 问题和展望

捕食性蝽类昆虫资源丰富，对害虫的控制能力强，具有广阔的开发应用前景。目前利用捕食蝽防治草地贪夜蛾尚需解决以下几个问题：（1）饲养种群的种质资源优化；（2）释放方式的轻量化；（3）与化学农药的配合使用。因此就如何利用捕食蝽防治草地贪夜蛾，应加强以下措施：（1）捕食蝽复壮技术，每年夏季采集野外的捕食蝽与室内饲养进行种群复壮；（2）进一步研究并科普捕食蝽的生态作用及释放方法；（3）积极探索化学农药与捕食蝽的共存模式，以达到二者可以兼容的程度，以便更好地防治草地贪夜蛾。

致谢：中国农业大学彩万志教授、中国科学院动物研究所武春生研究员、北京农学院杜艳丽教授、天津市植物保护研究所邹德玉博士给论文撰写提供了资料和建议，谨此铭谢。

参 考 文 献

- [1] Luginbill P. The fall armyworm[R]. USDA Technology Bulletin 34, 1928, 91.
- [2] Sparks A N. A review of the biology of the fall armyworm[J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82-86.
- [3] Jarrod T H, Gus M L, Leonard B R. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in southeastern cotton[J]. Journal of Integrated Pest Management, 2015, 6(1): 1-8.

- [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): 286-230.
- [5] Abrahams 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] Viana P A, Prates H T. Desenvolvimento e mortalidade larval de *Spodoptera frugiperda* em folhas de milho tratadas com extrato aquoso de folhas de *Azadirachta indica*[J]. Bragantia, 2003, 62: 69-74.
- [7] Feldmann F, Rieckmann U, Winter S. The spread of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Africa—What should be done next?[J]. Journal of Plant Diseases and Protection, 2019, 126: 97-101.
- [8] Prasanna B, Huesing J, Eddy R, *et al.* Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management[M]. CAB International, Wallingford, 2018, 1-109.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 郭井菲, 赵建, 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.
- [13] 孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 等. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 13-18.
- [14] 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.
- [15] Salas Araiza M D. Natural enemies of the fall armyworm and the corn earworm in sorghum and maize in Irapuato, Guanajuato, Mexico[J]. Southwestern Entomologist, 2018, 43(3): 715-722.
- [16] Shylesha A N, Jalali S K, Gupta A, *et al.* Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies[J]. Journal of Biological Control, 2018, 32(3): 145-151.
- [17] Fernando H, Valicentee M R, Barreto E M S, *et al.* Survey of natural enemies of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in cascavel region, PR[J]. Brasil Annals Society Entomology, 1999, 28(2): 333-337.
- [18] 唐璞, 王知知, 吴琼, 等. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 370-381.
- [19] Zanoncio J C, Silva C A 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.
- [20] Medal J, Cruz A S, Smith T. Feeding responses of *Euthyrhynchus floridanus* (Heteroptera: Pentatomidae) to *Megacopta cribraria* (Heteroptera: Plataspidae) with *Spodoptera frugiperda* and *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae as alternative prey[J]. Journal of Entomological Science, 2017, 52(1): 87-91.
- [21] Joseph S V, Braman S K. Predatory potential of *Geocoris* spp. and *Orius insidiosus* on fall armyworm in resistant and susceptible turf[J]. Journal of Economic Entomology, 2009, 102(3): 1151-1156.
- [22] 唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 等. 蠊蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 65-68.
- [23] 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蠊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, DOI: 10.16688/j.zwbh.2019346.
- [24] 唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 等. 益蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J]. 中国生物防治学报, 2019, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.04.005.
- [25] 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, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.006.
- [26] 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, DOI: 10.16688/j.zwbh.2019375.
- [27] 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]. 中国生物防治学报, 2019, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.003.
- [28] Ojeda D, Pena D. Bionomics and habits of *Nabis capsiformis* (Germar) (Hemip.: Nabidae)[C]. Sociedad Entomologica del Peru: Proceedings of the First Latin-American Congress Entomology. Cuzco, Peru, 1971, 14: 297-303.
- [29] Saini E. Host preference of *Podisus connexivus* Bergroth (Heteroptera-Pentatomidae) and the influence of behaviour of lepidopteran pests of soyabeans on predator efficiency[J]. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 1994, 25(2): 151-157.
- [30] Bass J A, Shepard M. Predation by *Sycanus indagator* on larvae of *Galleria mellonella* and *Spodoptera frugiperda*[J]. Entomologia Experimentalis et

- Applicata, 1974, 17(2): 143-148.
- [31] 张礼生, 陈红印, 李保平. 天敌昆虫扩繁与应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014.
- [32] 吴炬文, 陈红印. 蔬菜害虫及其天敌昆虫名录[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013.
- [33] 宋焯龙, 任国栋. 京津冀革翅目昆虫资源[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2015, 35(2): 169-176.
- [34] 李娇娇, 张长华, 易忠经, 等. 三种猎物对蝥蟥生长发育和繁殖的影响[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(5): 553-561.
- [35] 张海平. 影响蝥蟥定殖行为的主要生物和生理因子[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [36] 邹德玉. 取食无昆虫成分人工饲料蝥蟥的转录组研究及饲养成本分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [37] 郭义. 取食体内不同甾醇水平的粘虫对蝥蟥营养代谢及生长发育的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [38] 郭义, 王曼姿, 张长华, 等. 几糖类物质对蝥蟥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.
- [39] 潘明真, 张海平, 张长华, 等. 饲养密度和性比对蝥蟥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.
- [40] Zou D Y, Coudron T A, Liu C, *et al.* Nutrigenomics in *Arma chinensis*: transcriptome analysis of *Arma chinensis* fed on artificial diet and chinese oaksilk moth *Antheraea pernyi* pupae[J]. PLoS ONE, 2013, 8(4): e60881.
- [41] 廖平, 苗少明, 许若男, 等. 新型蝥蟥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.
- [42] 高卓, 王哲玮, 张李香, 等. 蝥蟥人工繁殖技术及田间释放控制研究[J]. 黑龙江大学学报, 2012, 3(1): 65-73.
- [43] Legaspi J C, Legaspi B C. Does a polyphagous predator prefer prey species that confer reproductive advantage? Case study of *Podisus maculiventris*[J]. Environmental Entomology, 2004, 33(5): 1041-1049.
- [44] Shapiro J P, Legaspi J C. Assessing biochemical fitness of predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) in relation to food quality: effects of five species of prey[J]. Annual Entomology Society America, 2006, 99(2): 321-326.
- [45] Morales-Ramos J A, Rojas M G, Shelby K S, *et al.* Nutritional value of pupae versus larvae of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as food for rearing *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(2): 564-571.
- [46] Oliveira H N, Pratisoli D, Pedruzzi E P, *et al.* Development of the predator *Podisus nigrispinus* fed on *Spodoptera frugiperda* and *Tenebrio molitor*[J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2004, 39(10): 947-951.
- [47] Denez M D, Bueno A D F, Pasini A, *et al.* Biological parameters of *Podisus nigrispinus* (hemiptera: pentatomidae) fed with different soybean insect pests[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2014, 107(5): 967-974.
- [48] Carl W S, Antonio R P. Heteroptera of Economic Importance[M]. Florida: CRC Press, 2000, 737-769.
- [49] Clercq P D, Mohaghegh J, Tirry L. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae)[J]. Biological Control, 2000, 18(1): 65-70.
- [50] Lemos W P, Medeiros R S, Ramalho F S, *et al.* Effects of plant feeding on the development, survival and reproduction of *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae)[J]. Journal of Pest Management, 2001, 47(2): 89-93.
- [51] Malaquias J B, Godoy W A C, Garcia A G, *et al.* Larval dispersal of *Spodoptera frugiperda* strains on bt cotton: a model for understanding resistance evolution and consequences for its management[J]. Scientific Reports, 2017, 16109: 1-10.
- [52] 李国平, 姬婷婷, 孙小旭, 等. 入侵云南草地贪夜蛾种群对5种常用Bt蛋白的敏感性评价[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 15-20.
- [53] Santana A C, Favila C J, Oliveira H N, *et al.* Direct and indirect effect of Bt cotton and No Bt cotton on the development and reproduction of the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae)[J]. American Journal of Plant Sciences, 2017, 8: 1438-1448.
- [54] Leite N A, Mendes S M, Santos C A, *et al.* Does Cry1Ab maize interfere in the biology and behavioural traits of *Podisus nigrispinus*[J]. Bulletin of Insectology, 2014, 67(2): 265-271.
- [55] Flávio G D J, Arlindo L B J, Gleina C S A, *et al.* Behavior, development, and predation of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed transgenic and conventional cotton cultivars[J]. Annual Entomology Society American, 2014, 107(3): 601-606.
- [56] Mendes S M, Brasil K G B, Waquil M S, *et al.* Biological and behavioral aspects of predator, *Orius insidiosus* (SAY, 1832) in Bt and non-bt maize[J]. Bioscience Journal, 2012, 28(5): 753-761.
- [57] Su H H, Tian J C, Naranjo S E, *et al.* *Bacillus thuringiensis* plants expressing Cry1Ac, Cry2Ab and Cry1F are not toxic to the assassin bug, *Zelus renardii*[J]. Journal of Application Entomology, 2015, 139: 23-30.
- [58] Cunha F M, Caetano F H, Wanderley-Teixeira V, *et al.* Ultra-structure and histochemistry of digestive cells of *Podisus nigrispinus*(Hemiptera: Pentatomidae) fed with prey reared on bt-cotton[J]. Micron, 2012, 43: 245-250.

- [59] Malaquias J B, Omoto C, Ramalho F S, *et al.* Bt cotton and the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) in the management of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to lambda-cyhalothrin[J]. Journal of Pest Science, 2015, 88: 57-63.
- [60] 闫文娟, 杨帅, 谭煜婷, 等. 虫螨脲对草地贪夜蛾幼虫的室内毒力及田间防效[J]. 环境昆虫学报, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.q.20190712.1844.006.html>.
- [61] 杨韵, 卢淼青, 张阳, 等. 高效氯氟菊酯对草地贪夜蛾 Sf9 细胞自噬的诱导作用[J]. 农药学报, 2017, 19(2): 176-181.
- [62] Seal D R. Control of fall armyworm and cucumber beetle in sweet corn[J]. Arthropod Management Tests, 2017, 43(1): 1-2.
- [63] Clercq P D, Cock A D, Tirry L, *et al.* Toxicity of diflubenzuron and pyriproxyfen to the predatory bug *Podisus maculiventris*[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1995, 74: 17-22.
- [64] Tillman P G, Mullinix B G. Comparison of susceptibility of pest *Euschistus servus* and predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) to selected insecticides[J]. Journal of Economic Entomology, 2004, 97(3): 800-806.
- [65] Azevedo P A I, Sousa R F D, Medeiros B C D, *et al.* Age-dependent fecundity of *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) with sublethal doses of gamma-cyhalothrin[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2009, 52(5): 1157-1166.
- [66] Angeli G, Baldessari M, Maines R, *et al.* Side-effects of pesticides on the predatory bug *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthracoridae) in the laboratory[J]. Biocontrol Science and Technology, 2005, 15(7): 745-754.
- [67] Lemos W P, Medeiros R S, Zanoncio J C, *et al.* Effect of sub-lethal concentrations of permethrin on ovary activation in the predator *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae)[J]. Brazilian Journal of Biology, 2005, 65(2): 287-290.
- [68] Martinou A F, Seraphides N, Stavrinides M C. Lethal and behavioral effects of pesticides on the insect predator *Macrolophus pygmaeus*[J]. Chemosphere, 2014, 96: 167-173.
- [69] Zanoncio J C, Mourão S A, Martínez L C. Toxic effects of the neem oil (*Azadirachta indica*) formulation on the stink bug predator, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae)[J]. Scientific Reports, 2016(30261): 1-8.
- [70] Picanço M, Ribeiro J, Leite G L D, *et al.* Selectivity of insecticides to *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) predator of *Asca Monuste orseis* (Godart) (Lepidoptera: Pieridae)[J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 1997, 32(4): 369-372.
- [71] Tedeschi R, Alma A, Tavella L. Side-effects of three neem (*Azadirachta indica* A. Juss) products on the predator *Macrolophus caliginosus* Wagner (Het., Miridae)[J]. Journal of Application Entomology, 2001, 125: 397-402.
- [72] Clercq P D, Degheele D. A meat-based diet for rearing the predatory stinkbugs *Podisus maculiventris* and *Podisus sagitta* (Het.: Pentatomidae)[J]. Entomophaga, 1992, 37(1): 149-157.
- [73] Clercq P D, Degheele D. Quality assessment of the predatory bugs *Podisus maculiventris* and *Podisus sagitta* (Het.: Pentatomidae) after prolonged rearing on a meat-based artificial diet[J]. Biocontrol Science and Technology, 1993, 3: 133-139.
- [74] Clercq P D, Merlevede F, Tirry L. Unnatural prey and artificial diets for rearing *Podisus maculiventris* (Het.: Pentatomidae)[J]. Biological control, 1998, 12: 137-142.
- [75] Coudron T A, Wittmeyer J L, Kim Y. Life history and cost analysis for continuous rearing of *Podisus maculiventris* (Het.: Pentatomidae) on a zoophytophagous artificial diet[J]. Journal of Economic Entomology, 2002, 95(6): 1159-1168.
- [76] 周正. 大眼长蝽人工饲料初步研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [77] 曾凡荣, 陈红印. 天敌昆虫饲养工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.