

任雪敏,徐志文,赵 斌,等. 草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫研究进展[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):15-22.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.004

草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫研究进展

任雪敏¹, 徐志文², 赵 斌¹, 路纪芳¹, 孙亚茹¹

(1. 贵州省遵义市林业科学研究所, 贵州遵义 563000; 2. 贵州省遵义市林业局, 贵州遵义 563000)

摘要:草地贪夜蛾是一种杂食性农业害虫,具有适应性强、繁殖力迅猛、危害严重等特点。自 2019 年 1 月侵入我国云南以来,快速在云南省、贵州省等省(区、市)传播,对我国农业生产和粮食安全构成严重威胁。汇总了草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫,涉及蜻、瓢虫、草蛉、螳螂等 5 目 12 科 58 种,而不同目的捕食天敌对草地贪夜蛾的捕食行为存在一定差异。归纳不同虫态的捕食者对草地贪夜蛾幼虫和卵的捕食功能反应,均为 Holling II 模型。通过日最大捕食量、瞬时攻击率、处理时间、捕食行为等捕食功能指标,分析成虫和幼虫(若虫)时的捕食天敌猎食草地贪夜蛾卵和不同龄期幼虫的捕食能力。可知半翅目的天敌对草地贪夜蛾的中高龄幼虫具有较好捕食效果,鞘翅目、脉翅目和革翅目的天敌对其卵和低龄幼虫的捕食能力强。同时概述当前防治研究存在的不足,并提出防治建议和研究方向。本文将作为筛选出优势捕食天敌昆虫及合理制定草地贪夜蛾防控技术体系提供参考。

关键词:草地贪夜蛾;天敌昆虫;捕食;综述

中图分类号:S433.4;S476.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)08-0015-08

草地贪夜蛾 [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)], 别称草地夜蛾、秋黏虫、秋行军虫、伪黏虫, 属鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae)^[1]。它是一种起源美洲的外来入侵害虫,其成虫迁飞能力

强,传播距离能超过 100 km/d^[2];繁殖迅速,雌虫一生产卵量最高可达 2 000 粒^[3];幼虫食性广泛,可取食 76 科 353 种植物^[4],低龄幼虫取食叶片会使叶脉呈半透明窗纱状,高龄幼虫取食可将幼苗基部切断,对玉米、高粱、小麦、大豆、马铃薯和甘蔗等多种农作物造成严重危害。2019 年 1 月该虫入侵我国云南^[1],目前已扩散至多个省(直辖市、自治区)。为掌握草地贪夜蛾生物学等习性,有效控制其在我国进一步扩散威胁粮食安全,众多学者对其做了大量研究。在中国知网中以“草地贪夜蛾”进行主题搜索,在 1984—2018 年期间国内对该虫的研究仅有 45 篇文献,年均仅为 1 篇,2019—2021 年下半年有

收稿日期:2021-11-14

基金项目:中央引导地方科技发展资金(编号:黔科中引地[2019]4004号);贵州省遵义市科技计划(编号:遵市科合支撑 NS[2020]2号)。

作者简介:任雪敏(1994—),女,云南祥云人,硕士,工程师,主要从事有害生物防治研究。E-mail:1685800140@qq.com。

通信作者:徐志文,硕士,工程师,主要从事农林资源保护与利用。E-mail:978115111@qq.com。

[14]黄敏燕,李雪峰. 植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响[J]. 基因组学与应用生物学,2018,37(8):3495-3502.

[15]Zou X P, Xu Z B, Zou H W, et al. Glutathione S-transferase SIGSTE1 in *Spodoptera litura* may be associated with feeding adaptation of host plants[J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2016, 70:32-43.

[16]Yu S J. Interactions of allelochemicals with detoxication enzymes of insecticide-susceptible and resistant fall armyworms[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1984, 22(1):60-68.

[17]王瑞龙,孙玉林,梁笑婷,等. 6种植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响[J]. 生态学报,2012,32(16):5191-5198.

[18]刘佳妮,黄鹤平,黄金珠,等. 烟碱对马铃薯块茎蛾幼虫保护酶和解毒酶的影响[J]. 贵州农业科学,2015,43(3):78-81.

[19]李易芯,万 群,徐文君,等. 代谢抑制剂与 P450s 抑制剂对上海青

吸收噻虫嗪的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(4):172-176.

[20]Fleming I. The cytochrome P450 pathway in angiogenesis and endothelial cell biology[J]. Cancer Metastasis Reviews, 2011, 30(3/4):541-555.

[21]张继红,董钧锋,王琛柱,等. 棉酚和烟碱对棉铃虫的生长和细胞色素 P-450 单加氧酶活性的影响[J]. 昆虫知识,2001,38(4):276-278.

[22]Snyder M J, Glendinning J I. Causal connection between detoxification enzyme activity and consumption of a toxic plant compound[J]. Journal of Comparative Physiology A, 1996, 179(2):255-261.

[23]薛 明,董 杰,张成省. 取食转 Bt 基因棉等植物对甜菜夜蛾生长发育和药剂敏感性的影响[J]. 植物保护学报,2002,29(1):13-18.

984 篇文献,对该虫的报道迅速增加,这与该虫在我国快速扩散造成的严重经济损失密不可分。

目前,防治草地贪夜蛾最便捷、最有效的常用方法是化学防治,相关学者针对农药化防也提出了相关策略,但长期使用农药会造成“3R”问题。进而,开展草地贪夜蛾生物防治研究也越来越受到人们的重视。利用捕食性天敌昆虫防治草地贪夜蛾,是生物防治的重要措施之一,却鲜有学者对其进行系统研究和全面整理。因此,本文主要从草地贪夜蛾捕食性天敌昆虫种类、捕食功能及行为对其综述,以期为“以虫治虫”开展草地贪夜蛾生物防治提供理论依据。

1 捕食性天敌昆虫种类

捕食草地贪夜蛾的天敌种类繁多,据目前的研

究统计,全世界共计 5 目 12 科 58 种,其中半翅目(Hemiptera)猎蝽科(Reduviidae)8 种、长蝽科(Lygaeidae)2 种、花蝽科(Anthocoridae)3 种、姬蝽科(Nabidae)2 种、蝽科(Pentatomidae)8 种,鞘翅目(Coleoptera)瓢甲科(Coccinellidae)12 种、步甲科(Carabidae)6 种,革翅目(Dermaptera)肥螳螂科(Anisolabididae)2 种、螳螂科(Forficulidae)6 种,脉翅目(Neuroptera)草蛉科(Chrysopidae)6 种,膜翅目(Hymenoptera)胡蜂科(Vespidae)1 种、蚁科(Formicidae)2 种。主要以半翅目和鞘翅目为主,占比为 70.69%(表 1)。

2 天敌昆虫对草地贪夜蛾的捕食功能

通过对捕食功能反应的研究,可以明确捕食者

表 1 草地贪夜蛾的捕食性天敌目录^[5]

目	科	种	参考文献
半翅目 (Hemiptera)	猎蝽科 (Reduviidae)	<i>Sycanus indagator</i> (Stal)、大红犀猎蝽[<i>S. falleni</i> (Stal)]、黑斑择猎蝽[<i>Zelus armillatus</i> (Lepeletier and Serville)]、长角择猎蝽[<i>Z. leucogrammus</i> (Perty)]、长足择猎蝽[<i>Z. longipes</i> (L.)]、任氏择猎蝽[<i>Z. renardii</i> (Kolenati)]、黄带犀猎蝽[<i>Sycanus croceouittatus</i> (Dohrn)]、红彩真猎蝽[<i>Harpactor fuscipes</i> (Fabricius)]	[6-12]
	长蝽科(Lygaeidae)	斑足大眼长蝽[<i>Geocoris punctipes</i> (Say)]、沼泽大眼长蝽[<i>G. uliginosus</i> (Say)]	[13]
	花蝽科(Anthocoridae)	狡诈小花蝽[<i>Orius insidiosus</i> (Say)]、浅白翅小花蝽[<i>O. albidipennis</i> (Reuter)]、东亚小花蝽[<i>O. sauteri</i> (Poppius)]	[13-15]
	姬蝽科(Nabidae)	方形姬蝽[<i>Nabis capsiformis</i> (Germar)]、皱姬蝽[<i>N. rugosus</i> (L.)]	[7,16]
	蝽科 (Pentatomidae)	蝽蝽[<i>Arma chinensis</i> (Fallou)]、佛州优捕蝽[<i>Euthyrhynchus floridanus</i> (L.)]、益蝽[<i>Picromerus lewisi</i> (Scott)]、合刺益蝽[<i>Podisus connexivus</i> (Bergroth)]、斑腹刺益蝽[<i>P. maculiventris</i> (Say)]、黑刺益蝽[<i>P. nigrispinus</i> (Dallas)]、纹头肃蝽[<i>Suppitiuss cincticeps</i> (Stal)]、叉角厉蝽[<i>Eocanthecona furcellate</i> (Wolff)]	[15,17-20]
鞘翅目 (Coleoptera)	瓢甲科 (Coccinellidae)	大斑长足瓢虫[<i>Coleomegilla maculate</i> (De Geer)]、血环红瓢虫[<i>Cycloneda sanguinea</i> (L.)]、 <i>Eriopis connexa</i> (Mulsant)、异色瓢虫[<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas)]、集栖瓢虫[<i>Hippodamia convergens</i> (Guerin - Meneville)]、 <i>Neda conjugate</i> (Mulsant)、楔斑溜瓢虫[<i>Olla v - nigrum</i> (Mulsant)]、狭臀瓢虫[<i>Coccinella transversalis</i> (Fabricius)]、八斑和瓢虫[<i>Harmonia octomaculata</i> (Fabricius)]、七星瓢虫[<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus)]、龟纹瓢虫[<i>Propylaea japonica</i> (Thunberg)]、多异瓢虫[<i>Hippodamia variegata</i> (Goeze)]	[7,21-25]
	步甲科(Carabidae)	<i>Calleida decora</i> (Fabricius)、 <i>Calosoma alternans granulatatum</i> (Perty)、 <i>C. granulatatum</i> (Perty)、 <i>C. sayi</i> (Fabricius)、 <i>Megacephala carolina carolina</i> (L.)、双斑青步甲[<i>Chlaenius bioculatus</i> (Chaudoi)]	[7,26-30]
革翅目 (Dermaptera)	球螳螂科(Forficulidae)	<i>Diaperasticus erythrocephalus</i> (Olivier)、 <i>Doru lineare</i> (Eschscholtz)、 <i>D. luteipes</i> (Scudder)、 <i>D. taeniatum</i> (Dorhn)、 <i>Forficula</i> sp.、 <i>Labidura riparia</i> (Pallias)	[7,8,31-34]
	肥螳螂科 (Anisolabididae)	<i>Euborellia annulipes</i> (Lucas)、黄足肥螳[<i>E. pallipes</i> (Shliraki)]	[24,35]
脉翅目 (Neuroptera)	草蛉科(Chrysopidae)	丽草蛉[<i>Chrysopa formosa</i> (Brauer)]、中华通草蛉[<i>C. sinica</i> (Tjeder)]、 <i>Ceraeochrysa cubana</i> (Hagen)、大草蛉[<i>C. pallens</i> (Rambur)]、普通草蛉[<i>C. carnea</i> (Stephens)]、 <i>C. externa</i> (Hagen)	[22,36-40]
膜翅目 (Hymenoptera)	蚁科(Formicidae)	<i>Ectatomma ruidum</i> (Roger)、红火蚁[<i>Solenopsis invicta</i> (Buren)]	[41-42]
	胡蜂科(Vespidae)	<i>Stelopolybia pallipes</i> (Oliver)	[33]

对猎物种群的控制效能,也可预测捕食者进行生物防治的有效性^[43]。草地贪夜蛾天敌昆虫的捕食强弱、作用机制等,一定程度决定了对草地贪夜蛾的控制和扑杀能力,可筛选出优势捕食天敌昆虫。捕食者与其猎物之间的捕食功能反应有 4 种模型(Holling I、Holling II、Holling III、Holling IV)^[44],笔者所归纳的捕食天敌昆虫对草地贪夜蛾的捕食功能反应均符合 Holling II 模型。

2.1 捕食者对草地贪夜蛾的捕食情况

通过对相关文献的整理和分析表明,不完全变态和完全变态天敌的捕食功能反应研究主要集中在

在半翅目、鞘翅目、脉翅目和革翅目,且天敌对草地贪夜蛾幼虫和卵都具有较好的捕食能力。其中,半翅目的蝽类主要包括蝟蝽、益蝽、黄带犀猎蝽、大红犀猎蝽、叉角厉蝽和东亚小花蝽,且这些天敌的捕食功能研究都集中在 3、4、5 龄若虫和成虫,其捕食的猎物龄期基本为 3、4、5 龄等高龄幼虫,除个别以外;鞘翅目、脉翅目和革翅目主要包括异色瓢虫、七星瓢虫、多异瓢虫、龟纹瓢虫、双斑青步甲、中华通草蛉、丽草蛉、大草蛉、黄足肥螋等 9 种天敌,捕食者都为 4 龄及以下的幼虫和成虫,猎物基本都为卵、1 龄、2 龄的小型幼虫(表 2、表 3)。

表 2 若虫/幼虫捕食者对草地贪夜蛾幼虫/卵的捕食功能反应

捕食者	捕食者 若虫/幼虫龄期	草地贪夜蛾 幼虫龄期/卵	日最大捕食量 (头/粒)	瞬时攻击率	处理时间 (d)	参考文献
蝟蝽	5	6	3.175	1.344	0.315	[17]
益蝽			4.671	1.512	0.215	[1]
益蝽	3	3	55.556	0.819	0.018	[45]
		4	8.019	1.826	0.125	[45]
		5	5.666	1.503	0.177	[45]
	4	3	60.753	0.993	0.017	[45]
		4	19.924	1.664	0.050	[45]
		5	10.325	0.968	0.097	[45]
	5	3	65.789	1.021	0.015	[45]
		4	23.635	1.307	0.042	[45]
		5	12.331	0.863	0.081	[45]
黄带犀猎蝽	4	3	3.906	1.159	0.297	[11]
	5		3.831	2.913	0.261	[11]
大红犀猎蝽	3	3	4.049	1.198	0.247	[10]
叉角厉蝽	3	3	6.600	2.276	0.132	[20]
		5	4.600	1.305	0.175	[20]
	5	3	32.200	1.406	0.017	[20]
		5	7.800	1.093	0.096	[20]
	3	3	50.250	0.670	0.020	[46]
东亚小花蝽	5	1	20.833	0.747	0.048	[47]
	3		12.500	0.912	0.080	[48]
	4		14.490	0.749	0.069	[48]
	5		14.930	0.902	0.067	[48]
异色瓢虫	1	卵	25.600	1.035	0.039	[49]
	4	2	33.300	0.736	0.030	[49]
		1	161.290	1.451	0.006	[50]
	2	卵	85.985	1.585	0.012	[51]
		1	29.771	1.511	0.034	[51]
	3	卵	297.974	1.500	0.003	[51]
		1	100.878	1.669	0.010	[51]
		2	47.801	1.442	0.021	[51]
	4	卵	535.332	1.520	0.002	[51]
		1	323.625	1.522	0.003	[51]
		2	68.918	1.509	0.015	[51]

表 2(续)

捕食者	捕食者 若虫/幼虫龄期	草地贪夜蛾 幼虫龄期/卵	日最大捕食量 (头/粒)	瞬时攻击率	处理时间	参考文献
七星瓢虫	2	卵	36.850	1.409	0.027 d	[51]
		1	23.759	1.492	0.042 d	[51]
	3	卵	101.051	1.482	0.010 d	[51]
		1	88.028	1.698	0.011 d	[51]
	4	2	28.058	1.322	0.036 d	[51]
		卵	445.434	1.420	0.002 d	[51]
		1	240.964	1.536	0.004 d	[51]
		2	41.271	1.360	0.024 d	[51]
多异瓢虫	2	卵	23.256	1.362	0.043 d	[51]
		1	21.231	1.417	0.047 d	[51]
	3	卵	77.220	1.416	0.013 d	[51]
		1	77.882	1.433	0.013 d	[51]
	4	2	18.109	1.502	0.055 d	[51]
		卵	176.491	1.643	0.006 d	[51]
		1	212.404	1.479	0.005 d	[51]
		2	40.420	1.510	0.025 d	[51]
龟纹瓢虫	2	卵	17.705	1.174	0.056 d	[51]
		1	19.547	1.191	0.051 d	[51]
	3	卵	34.686	1.371	0.029 d	[51]
		1	61.050	1.515	0.016 d	[51]
	4	2	9.372	1.319	0.107 d	[51]
		卵	133.209	1.507	0.008 d	[51]
		1	132.135	1.513	0.008 d	[51]
		2	22.512	1.400	0.044 d	[51]
		卵	124.700	1.429	0.008 d	[24]
		1	109.400	1.411	0.009 d	[24]
双斑青步甲	3	2	27.600	1.685	0.036 d	[24]
		1	278.390	1.148	0.004 d	[30]
		2	146.300	1.339	0.007 d	[30]
		3	73.260	1.395	0.014 d	[30]
		4	18.060	1.275	0.055 d	[30]
		5	3.450	1.360	0.290 d	[30]
中华通草蛉	3	6	2.290	1.423	0.436 d	[30]
		卵	192.000	1.060	0.005 d	[22]
		1	166.700	0.889	0.006 d	[22]
丽草蛉	2	卵	31.700	1.744 ± 0.132	(0.756 ± 0.120) h	[40]
		1	20.700	1.731 ± 0.092	(1.159 ± 0.120) h	[40]
	3	卵	50.200	1.579 ± 0.111	(0.478 ± 0.072) h	[40]
		1	90.900	1.032 ± 0.152	(0.264 ± 0.072) h	[40]
		2	25.600	1.111 ± 0.039	(0.938 ± 0.120) h	[40]
大草蛉	2	1	125.000	1.222	0.008 d	[52]
		2	21.700	0.870	0.046 d	[52]
	3	1	166.700	1.148	0.006 d	[52]
		2	32.300	1.305	0.031 d	[52]
		1	358.000	1.074	0.003 d	[37]

表 3 成虫捕食者对草地贪夜蛾幼虫/卵的捕食功能反应

捕食者	捕食者 雌/雄成虫	草地贪夜蛾 幼虫龄期/卵	日最大捕食量 (头/粒)	瞬时攻击率	处理时间	参考文献
螯螳	雌	3	59.700	1.081 ± 0.133	(0.017 ± 0.001) d	[43]
		4	23.400	1.247 ± 0.116	(0.043 ± 0.002) d	[43]
		5	9.000	0.984 ± 0.159	(0.111 ± 0.014) d	[43]
	雄	3	58.900	0.964 ± 0.118	(0.017 ± 0.002) d	[43]
		4	22.500	1.248 ± 0.095	(0.044 ± 0.002) d	[43]
		5	8.300	1.025 ± 0.183	(0.121 ± 0.015) d	[43]
益螳	雌	3	61.013	1.093	0.384 h	[19]
		4	30.057	1.441	0.792 h	[19]
		5	10.251	0.964	2.352 h	[19]
	雄	3	58.824	0.996	0.408 h	[19]
		4	24.522	1.365	0.984 h	[19]
		5	9.302	1.210	3.072 h	[19]
东亚小花螳	成虫	1	11.236	1.355	0.089 d	[47]
	雌	1	23.260	0.682	0.043 d	[48]
大红犀猎螳	雌	3	47.619	0.717	0.021 d	[10]
	雄		43.478	0.650	0.023 d	[10]
叉角厉螳	雌	3	19.400	1.478	0.037 d	[20]
		5	6.400	1.353	0.126 d	[20]
	雄	3	18.200	1.394	0.039 d	[20]
		5	5.500	1.511	0.157 d	[20]
	雌	3	59.880	1.159	0.017 d	[53]
		4	49.260	0.611	0.020 d	[53]
		5	14.640	0.776	0.068 d	[53]
	雄	3	51.280	0.908	0.020 d	[53]
		4	35.710	0.466	0.028 d	[53]
		5	5.280	0.932	0.189 d	[53]
异色瓢虫	成虫	1	196.080	1.391	0.005 d	[50]
		卵	407.997	1.506	0.002 d	[51]
		1	249.004	1.854	0.004 d	[51]
		2	68.259	1.281	0.015 d	[51]
	雌	2	70.400	0.979	0.014 d	[54]
	雄		62.800	0.796	0.016 d	[54]
七星瓢虫	成虫	卵	394.322	1.529	0.003 d	[51]
		1	233.100	1.204	0.004 d	[51]
		2	41.220	1.075	0.024 d	[51]
多异瓢虫	成虫	卵	123.716	1.609	0.008 d	[51]
		1	210.393	1.279	0.005 d	[51]
		2	62.189	1.167	0.016 d	[51]
龟纹瓢虫	成虫	卵	122.835	1.598	0.008 d	[51]
		1	113.237	1.226	0.009 d	[51]
		2	30.285	1.284	0.033 d	[51]
	雌	卵	204.600	1.125	0.005 d	[24]
		1	242.400	1.233	0.004 d	[24]
		2	41.200	1.386	0.024 d	[24]

表 3(续)

捕食者	捕食者雌/雄成虫	草地贪夜蛾幼虫龄期/卵	日最大捕食量(头/粒)	瞬时攻击率	处理时间	参考文献
大草蛉	雄	卵	110. 900	1. 658	0. 009 d	[24]
		1	265. 500	1. 038	0. 004 d	[24]
		2	40. 300	1. 226	0. 025 d	[24]
	成虫	卵	1 115. 560	1. 004	0. 001 d	[37]
		1	14. 370	1. 023	0. 070 d	[55]
		2	10. 310	0. 618	0. 097 d	[55]
黄足肥螋	成虫	3	3. 280	0. 313	0. 305 d	[55]
		2	62. 500	0. 951	0. 016 d	[56]

根据表 2、表 3 中捕食功能反应的数据可知,异色瓢虫、七星瓢虫幼虫、大草蛉成虫对草地贪夜蛾卵的日最大捕食量能达到 407 粒以上;异色瓢虫、七星瓢虫、多异瓢虫、龟纹瓢虫、双斑青步甲和中华通草蛉的 3 龄幼虫,大草蛉的 2、3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的日最大捕食量能达到 100 头以上;异色瓢虫、七星瓢虫、多异瓢虫、龟纹瓢虫成虫、黄足肥螋成虫、双斑青步甲的 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的日最大捕食量能达到 40 头以上;益蝽、叉角厉蝽、蠋蝽成虫、双斑青步甲 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的日最大捕食量能达到 50 头以上;益蝽、蠋蝽成虫、叉角厉蝽成虫对草地贪夜蛾 4 龄幼虫的日最大捕食量能达到 22 头以上;益蝽、叉角厉蝽、蠋蝽成虫对草地贪夜蛾 5 龄幼虫的日最大捕食量能达到 7 头以上;5 龄若虫的蠋蝽、益蝽对草地贪夜蛾 6 龄幼虫的日最大捕食量分别为 3. 175、4. 671 头,相比之下,益蝽控害效果更佳。综上,根据不同天敌不同虫态的捕食量,可初步筛选防治草地贪夜蛾卵和幼虫各个龄期的优势天敌昆虫种类和龄期。

2.2 捕食行为及机制

蠋蝽、益蝽、斑腹刺益蝽、黑刺益蝽、黄带犀猎蝽、东亚小花蝽、大红犀猎蝽、双斑青步甲的捕食行为均是搜寻 - 攻击 - 取食这一连续过程^[1,10-11,17,30,57];异色瓢虫、七星瓢虫、多异瓢虫、龟纹瓢虫、丽草蛉、黄足肥螋的捕食行为均包括静止、爬行、搜寻、试探、取食等 5 个阶段^[49,51,56],但存在一些差异;大草蛉捕食包括爬行、静息、搜寻、取食和清理行为等^[52];红彩真猎蝽的捕食包括搜寻、取食、梳理、静止、展翅、排泄 6 种行为^[58]。不同天敌的捕食行为存在异同,主要是根据先天的本能和后天的学习所形成。

昆虫摄取食物及相关的一系列活动称为取食

行为,不同昆虫的取食行为既存在相似性又有特殊的固定模式。蠋蝽、东亚小花蝽、叉角厉蝽、双斑青步甲和大草蛉的取食行为相似^[30,52,57],受猎物密度影响小,总是吸食猎物直到完全干瘪才停止取食,转而搜索第 2 头猎物。益蝽的取食行为受猎物密度影响大,当猎物密度低时,益蝽会吸取猎物体液直至其干瘪后再搜索第 2 头猎物;当猎物密度高时,益蝽将第 1 头猎物致死,不会持续吸取体液而是转向其他猎物^[1,17]。黄带犀猎蝽取食直至猎物干瘪,但有时也不吸取完全就攻击其他猎物^[11],多数大红犀猎蝽会将猎物取食完全^[10]。这些天敌对草地贪夜蛾的捕食机制也是极其复杂、各不相同,黄带犀猎蝽等半翅目天敌昆虫是通过口针注射唾液蛋白将其麻痹后取食,异色瓢虫、双斑青步甲、丽草蛉、黄足肥螋等鞘翅目、脉翅目、革翅目天敌则是直接取食,这可能是由于取食猎物的虫态有所差异所致。

3 结论和展望

随着草地贪夜蛾在我国快速传播,逐渐建立起了属于它的生物链,进而寻找本地捕食性天敌将成为防治草地贪夜蛾工作的重要组成部分。通过对其捕食性天敌进行梳理,共发现 58 种,比陈万斌等整理的^[5]多出 14 种,但还有很多天敌有待在实践研究中挖掘。根据对其捕食功能反应的整理归纳发现,不同学者研究同种虫态的捕食者对同一虫态的草地贪夜蛾控害效能,结果也有所差别。但通过综合分析,笔者认为,异色瓢虫和七星瓢虫可作为防治草地贪夜蛾卵、1 龄、2 龄幼虫的优势天敌昆虫,益蝽、蠋蝽、叉角厉蝽可作为防治草地贪夜蛾 3、4、5、6 龄幼虫的优势天敌昆虫。半翅目的天敌对草地贪夜蛾的低龄和高龄幼虫都有较好的防控效果,而鞘翅目、脉翅目和革翅目的天敌对草地贪夜蛾卵和低

龄幼虫具有明显捕食效果。建议今后在田间防治中,草地贪夜蛾在卵和低龄幼虫期可释放异色瓢虫和七星瓢虫等鞘翅目和脉翅目天敌,幼虫中后期可释放益蝽、蝟蝽、叉角厉蝽等半翅目天敌。其次,通过大量文献查阅,在草地贪夜蛾捕食天敌昆虫种类、捕食功能及捕食行为等方面研究较多,主要为宏观层面的生物学特性等研究。而草地贪夜蛾与捕食天敌昆虫之间的机制研究却很少,特别是基于微观分子学技术的研究几乎未见。天敌昆虫对草地贪夜蛾的捕食机制是极其重要的,捕食机制研究不仅揭示了天敌与猎物之间的互作关系,更有助于利用捕食性天敌昆虫防治草地贪夜蛾。

本文捕食功能研究均为学者在室内条件下完成,天敌和猎物都处于一个简单封闭的系统内,存在一定局限性。当捕食者处于自然环境下时,捕食效率会受许多气候因子(温度、湿度、光照、风、降水量等)的影响。因此,还需把室内和田间试验结合起来,综合考虑田间环境条件、捕食者的密度和取食能力、其他天敌的干扰行为、猎物密度、空间分布。在生产实践中,要采取有效的农业措施,对草地贪夜蛾进行实时监测,制定合理的天敌释放比例、释放方式、释放量、释放时间,进一步优化生防策略,为后期天敌防治应用推广奠定基础。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Day R, Abrahams P, Bateman M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa[J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28(5):196-201.
- [3] Hardke J T, Lorenz G M, Leonard B R. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in southeastern cotton[J]. Journal of Integrated Pest Management, 2015, 6(1):10.
- [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] 陈万斌,李玉艳,王孟卿,等. 草地贪夜蛾的天敌昆虫资源、应用现状及存在的问题与建议[J]. 中国生物防治学报,2019,35(5):658-673.
- [6] 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.
- [7] Prasanna B, Huesing J, Eddy R, et al. Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management[M]. Mexico: CIMMYT, 2018.
- [8] Reis L L, Oliveira L J, Cruz L. Biology and potential of *Doru luteipes* for the control *Spodoptera frugiperda* [J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 1988, 23(4):333-342.
- [9] Cogni R, Freitas A V L, Amaral Filho B F. Influence of prey size on predation success by *Zelus longipes* L. (Het., Reduviidae) [J]. Journal of Applied Entomology, 2002, 126(2/3):74-78.
- [10] 侯峰嵘,孙贝贝,刘先建,等. 大红犀猎蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫捕食功能反应[J]. 植物保护学报,2020,47(4):852-858.
- [11] 王亚楠,赵胜园,何运转,等. 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用[J]. 中国生物防治学报,2020,36(4):525-529.
- [12] 齐国君,苏湘宁,章玉苹,等. 草地贪夜蛾监测预警与防控研究进展[J]. 广东农业科学,2020,47(12):109-121.
- [13] Joseph S V, Brame 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.
- [14] 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.
- [15] 唐艺婷,王孟卿,李玉艳,等. 捕食性蝽防治草地贪夜蛾的研究进展[J]. 中国生物防治学报,2019,35(5):682-690.
- [16] CABI. *Nabis capsiformis* (pale damsel bug) [EB/OL]. (2021-10-10) [2021-11-01]. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/35656>.
- [17] 唐艺婷,李玉艳,刘晨曦,等. 蝟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.
- [18] Medal J, Cruz A S, Smith T. Feeding responses of *euthyrinchus 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.
- [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] 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.
- [21] Silva R B, Cruz I, Figueiredo M L C, et al. Development of *Coleomegilla maculata* de Geer (Coleoptera: Coccinellidae) with prey and artificial diet [J]. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2010, 9(1):13-26.
- [22] 黄海艺,刘亚男,亓永凤,等. 中华通草蛉幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用[J]. 应用昆虫学报,2020,57(6):1333-1340.
- [23] 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.
- [24] 蒋骏,张熠珩,王文文,等. 龟纹瓢虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用[J]. 植物保护,2020,46(3):188-193,219.
- [25] 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.
- [26] Marti O G J, Hamm J J. Effect of *Vairimorpha* sp. on the survival of adult *Calleida decora* in the laboratory [J]. Journal of Agricultural Entomology, 1986, 3(3):242-248.
- [27] Allen R T. *Calosoma* (Castrida) alternans granulatum perty: a predator of cotton leaf worms in Bolivia (Coleoptera: Carabidae;

- Carabini[J]. The Coleopterists Bulletin, 1977, 31(1): 73–76.
- [28] Young O P, Hamm J J. Compatibility of two fall armyworm pathogens with the predaceous beetle, *Calosoma sayi* (Coleoptera: Carabidae)[J]. Journal of Entomological Science, 1985, 20(2): 212–218.
- [29] Nachappa P, Braman S K, Guillebeau L P, et al. Functional response of the tiger beetle *Megacephala carolina* Carolina (Coleoptera: Carabidae) on *twolined spittlebug* (Hemiptera: Cercopidae) and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 2006, 99(5): 1583–1589.
- [30] 黄潮龙, 汤 印, 何康来, 等. 双斑青步甲幼虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(4): 507–512.
- [31] 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.
- [32] Wyckhuys K A G, O'Neil R J. Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) and associated arthropod natural enemies in Honduran subsistence maize[J]. Crop Protection, 2006, 25(11): 1180–1190.
- [33] Machado V L L, Gobbi N, Simoes D. Prey items utilized by *Stelopolybia pallipes* (Hym. Vespidae)[J]. Anais da Sociedade Entomologica do Brasil, 1984, 14(1): 73–79.
- [34] Kharboulit M S, Mack T P. Effect of temperature, humidity, and prey density on feeding rate of the striped earwig (Dermaptera: Labiduridae)[J]. Environmental Entomology, 1993, 22(5): 1134–1139.
- [35] Silva A B, Batista J L, Brito C H. Aspectos biológicos de *Euborellia annulipes* sobre ovos de *Spodoptera frugiperda*[J]. Engenharia Ambiental, 2009, 6(3): 482–495.
- [36] Nunes G S, Nascimento I N, Souza G M M, et al. Biological aspects and predation behavior of *Ceraeochrysa cubana* against *Spodoptera frugiperda*[J]. Brazilian Journal of Agricultural Sciences, 2017, 12(1): 20–25.
- [37] 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.
- [38] Morales – Reyes C, Rodriguez – Contreras J, Sanchez – Pedraza F, et al. Activity of entomopathogenic fungi against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: comparison of conidia produced on artificial media and insect hosts[EB/OL]. [2021–11–01]. <https://esa.confex.com/esa/2013/webprogram/Paper77424.html>.
- [39] Tavares W S, Cruz I, Silva R B, et al. Prey consumption and development of *Chrysoperla external* (Neuroptera: Chrysopidae) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs and larvae and *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) eggs[J]. Maydica, 2011, 56(3): 283–289.
- [40] 李玉艳, 王孟卿, 张莹莹, 等. 丽草蛉幼虫对草地贪夜蛾卵及低龄幼虫的捕食能力评价[J]. 植物保护, 2021, 47(5): 178–184, 197.
- [41] Perfecto I. Indirect and direct effects in a tropical agroecosystem: the maize – pest – ant system in Nicaragua[J]. Ecology, 1990, 71(6): 2125–2134.
- [42] Pair S D, Gross H R. Seasonal incidence of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) pupal parasitism in corn by *Diapetimorpha introita* and *Cryptus albitarsis* (Hymenoptera: Ichneumonidae)[J]. Journal of Entomological Science, 1989, 24(3): 339–343.
- [43] 王 燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蠋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(5): 42–46.
- [44] 郭玉杰. 捕食作用中的功能反应模型[J]. 生物防治通报, 1993, 9(1): 40–45.
- [45] 王 燕, 张红梅, 李向永, 等. 益蝽不同龄期若虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(4): 520–524.
- [46] 范悦莉, 谷星慧, 冼继东, 等. 叉角厉蝽对草地贪夜蛾的捕食功能反应[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(6): 1175–1180.
- [47] 孙贝贝, 侯峥嵘, 董 民, 等. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食作用[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 845–851.
- [48] 代晓彦, 王 瑜, 翟一凡, 等. 东亚小花蝽对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食能力[J]. 昆虫学报, 2020, 63(5): 649–654.
- [49] 赵英杰, 符成悦, 李维薇, 等. 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 51–54, 86.
- [50] 刘本菊, 秦得强, 周 游, 等. 异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食行为观察与评价[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(1): 28–33.
- [51] 孔 琳. 四种瓢虫对草地贪夜蛾卵和幼虫的捕食功能研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [52] 李 萍, 李玉艳, 向 梅, 等. 大草蛉幼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, 2020, 36(4): 513–519.
- [53] 潘应拿, 姚明勇, 付 迪, 等. 叉角厉蝽成虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用研究[J]. 山地农业生物学报, 2020, 39(3): 23–27.
- [54] 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]. 植物保护, 2019, 45(5): 75–78.
- [55] 曹雯星, 张 韬, 杨 欢, 等. 大草蛉对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能评价[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 839–844.
- [56] 赵英杰, 符成悦, 徐天梅, 等. 黄足肥螋成虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的捕食功能反应[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 35–38, 54.
- [57] 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, 35(5): 704–708.
- [58] 苏湘宁. 红彩真猎蝽捕食行为及其扩散能力研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.