

草地贪夜蛾综合防控技术研究进展

丁奎婷, 杜素洁, 杨念婉, 刘万学, 郭建洋

中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193

摘要: 草地贪夜蛾是世界重大入侵性害虫, 我国于 2019 年初发现草地贪夜蛾大面积危害西南地区玉米、高粱、甘蔗等多种作物, 随后迅速扩散至主要玉米产区, 严重威胁和影响我国粮食安全。国内研究人员已开展了大量关于草地贪夜蛾监测预警与防控技术的研究, 在其种群发生规律监测、迁飞路径研判、化学防治、生物防治、物理防治等方面取得了系列进展, 基本明确了草地贪夜蛾在我国西南、江南江淮、北方各地区的发生与危害规律, 建立了一套草地贪夜蛾综合防控技术体系, 有效阻断了其大面积扩散危害。本文综述了 2019—2022 年间国内草地贪夜蛾防控技术的研究进展, 以为开发草地贪夜蛾综合防控技术提供参考。

关键词: 草地贪夜蛾; 化学防治; 生物防治; 种群监测



开放科学标识码
(OSID 码)

Research progress on comprehensive control techniques of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China

DING Kuiting, DU Sujie, YANG Nianwan, LIU Wanxue, GUO Jianyang

State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

Abstract: The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), is a highly invasive species of global concern. In early 2019, it affected and caused extensive damage to a large area of corn, sorghum, sugarcane, and other crops in southwest China. It has since quickly spread to major corn-producing regions, posing a serious threat to China's food security. Domestic researchers have extensively monitored the spread, and developed warning and prevention strategies. Substantial progress has been made in tracking *S. frugiperda* population patterns, tracking migration routes, and implementing chemical, biological, and physical control measures. This extensive research effort effectively outlined the occurrence and damage patterns of *S. frugiperda* in the southwest, south of the Yangtze River, Yangze river and Huai river, and regions of northern China. The established comprehensive control system for *S. frugiperda* has effectively blocking its widespread infestation. In this review, we discuss the research progress on prevention and control for *S. frugiperda* in China from 2019 to 2022. Our objective is to provide a valuable reference for further improving the biological control of *S. frugiperda* in China.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; chemical control; biological control; population monitoring

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 隶属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 是一种危害农作物的重大迁飞性入侵害虫, 原产于美洲热带和亚热带地区, 据记载, 草地贪夜蛾寄主植物高达 76 科 353 种, 包括玉米 *Zea mays* L.、水稻 *Oryza sativa* L.、高粱 *Sorghum bicolor* (L.) Moench、小麦 *Triti-*

cum aestivum Linn.、马铃薯 *Solanum tuberosum* L. 等农作物 (Montezano *et al.*, 2018)。根据对寄主植物的偏好性, 草地贪夜蛾分为“玉米型”和“水稻型”, 玉米型主要寄主为玉米、棉花 *Gossypium herbaceum* L.、高粱, 幼虫均偏好取食幼嫩的叶片, 水稻型主要寄主为水稻和多种杂草。2016 年草地贪夜蛾首次

收稿日期 (Received): 2022-11-18 接受日期 (Accepted): 2023-01-15

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1400700)

作者简介: 丁奎婷, 女, 硕士研究生。研究方向: 植物保护。E-mail: 1281588759@qq.com

* 通信作者 (Author for correspondence), 郭建洋, E-mail: guojianyang@caas.cn

大面积侵入非洲,被确定为主要危害玉米的入侵害虫,2年间迅速蔓延至44个非洲国家(Goergen *et al.*, 2022; Gui *et al.*, 2022),对入侵地的玉米产业造成毁灭性打击(Wan *et al.*, 2021)。据报道,草地贪夜蛾在非洲各国造成每年8.3万t~2060万t玉米的损失(Day *et al.*, 2017)。2018年7月起在也门、印度、孟加拉、缅甸等亚洲国家也相继被发现(FAO, 2019)。在我国,草地贪夜蛾于2019年从云南省西部地区入侵,并迅速扩散至国内27个省(自治区、直辖市),现已在西南、华南地区定殖并终年为害。入侵我国的草地贪夜蛾种群是一种杂交型的“玉米型”,亲本可能来自母本“水稻型”和父本“玉米型”,在定殖、扩散的过程中,父本的核基因组占主导地位(张磊等, 2019)。农业农村部2020年将草地贪夜蛾列为《一类农作物病虫害名录》之一(郭井菲, 2022)。截至2022年9月1日,草地贪夜蛾在全国累计发生236万hm²,同比增长122万hm²(http://www.agri.cn/kj/zwbch/202210/t20221011_7903973.htm),已经成为威胁我国玉米生产的重大迁飞性害虫之一,对国家粮食安全生产构成极大威胁(李强等, 2021)。我国高度重视草地贪夜蛾防控技术产品的研发与推广应用,国内植保科研工作者已对草地贪夜蛾开展了系列综合防控技术的研究(李强等, 2021)。本文拟通过对我国2019—2022年间已公开的草地贪夜蛾化学防治、生物防治、理化诱控等防控技术方面的文献与报道进行梳理,总结国内相关防控技术的主要研究进展,对未来草地贪夜蛾综合防控技术提出展望,以期为该虫的综合治理提供参考。

1 药剂防治

2019年草地贪夜蛾入侵我国时,化学防治是应急防控草地贪夜蛾暴发危害的主要手段,农业农村部推荐用于应急防控的用药清单中,包括11种单剂、6种生物制剂、8种复配剂。2020年,农业农村部根据2019年全国各地喷洒防治草地贪夜蛾用药情况,重新调整为28种用药清单,包括8种单剂、6种生物制剂、14种复配剂(农业农村部, 2020)。其中,茚虫威、氯虫苯甲酰胺等药剂低毒、高效、安全,已经成功控制了该虫的危害(李富根等, 2013; Li *et al.*, 2011)。

通过总结梳理近几年国内在实验室环境下毒力测定和田间喷施化学农药对草地贪夜蛾的防治效果(表1),发现卵和低龄幼虫是施药的关键期(王芹芹等, 2019)。室内测定常用化学试剂对草地贪夜蛾的毒杀效果显示,乙酰甲胺磷、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素、甲氰菊酯、氯虫苯甲酰胺、四氯虫酰胺对草地贪夜蛾的卵和低龄幼虫具有较好的毒杀效果,防治效果达到90%以上(欧阳传禄, 2021; 王宁等, 2021; 王芹芹等, 2020; 赵胜园等, 2019)。田间评价拟除虫菊酯类农药对草地贪夜蛾3龄幼虫防效发现,氟氯氰菊酯乳油毒性最强(马千里等, 2020)。10%硫虫酰胺SC在田间可以有效控制草地贪夜蛾初孵化幼虫和3龄幼虫,与速效性好的药剂混用,可延缓草地贪夜蛾产生抗药性(卞康亚等, 2022)。化学农药复配剂对草地贪夜蛾卵和幼虫也具有良好的药效。在田间测定常用复配剂对草地贪夜蛾卵和幼虫的毒杀效果表明,甲维盐·虫酰肼、甲维盐·虫螨腈和氟铃脲·茚虫威的防效均在80%以上(陈利民等, 2019; 范俊珺等, 2020; 范晓培等, 2020; 林少源等, 2020)。同时,昆虫激素类农药灭幼脲和活体微生物农药短稳杆菌是低毒、易降解的新型绿色杀虫剂,对卵和幼虫毒杀效果最佳,校正死亡率达到80%以上,可代替传统农药来防治草地贪夜蛾(陈利民等, 2019)。

此外,优化和创新施药技术是应急防控草地贪夜蛾的重要手段。低容量连杆多喷头喷雾、植保无人机、喇叭口点施提高了药效,节约了成本(王磊等, 2019; 朱峰等, 2019)。同时,在草地贪夜蛾的防治中要注意轮换用药,避免出现抗药性,高龄幼虫期可降低传统化学农药施用量,或选择生物型药剂,避免农药污染农业环境。然而,梳理已发表的文献也发现,同一种药剂在不同地区防治草地贪夜蛾有明显的地域差异,如甲维盐在江苏省句容市防治草地贪夜蛾的效果差,药效低于39.65%(王宁等, 2021),而在云南、广东、广西、湖南等地区田间药效均高于80%(蔡理文, 2021; 范俊珺等, 2020; 殷智力等, 2021)。因此,如何因地制宜选择适合发生地区的药剂和施药技术,对当地草地贪夜蛾的防治将起到积极作用。

表1 防治草地贪夜蛾化学杀虫剂
Table 1 Chemical insecticides for controlling *S. frugiperda*

类别 Category	杀虫剂 Pesticide	防效 Control effect/%	靶标虫态 Target insect state
有机磷类 Organophosphate group	敌敌畏 Dichlorvos	3.30	卵-幼虫 Egg-larva
	氧乐果 Omethoate	85.89	卵-幼虫 Egg-larva
	乙酰甲胺磷 Acephate	66.20~92.50	卵-幼虫 Egg-larva
	毒死蜱 Chlorpyrifos	8.38	卵-幼虫 Egg-larva
	辛硫磷 Phoxim	29.48	卵-幼虫 Egg-larva
拟除虫菊酯类 Pyrethroids	高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	37.90~86.40	卵-幼虫 Egg-larva
	高效氯氟菊酯 Cypermethrin	28.00	卵-幼虫 Egg-larva
	甲氰菊酯 Fenpropathrin	66.67	卵-幼虫 Egg-larva
	溴氰菊酯 Deltamethrin	10.00~79.50	卵-幼虫 Egg-larva
	联苯菊酯 Bifenthrin	11.67~66.00	卵-幼虫 Egg-larva
氨基甲酸酯类 Carbamates	苯氧威 Ethyl 2-(4-phenoxyphenoxy) ethylcarbamate	100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	灭多威 Methomyl	100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	硫双威 Thiodicarb	78.94	卵-幼虫 Egg-larva
	丁硫克百威 Carbosulfan	40.00	卵-幼虫 Egg-larva
	茚虫威 Indoxacarb	13.33~90.70	卵-幼虫 Egg-larva
抗生素类 Antibiotics	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	39.67~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	乙基多杀菌素 Spinetoram	71.46~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	多杀霉素 Spinosad	50.64~100	卵-幼虫 Egg-larva
新烟碱类 Neonicotinoids	吡虫啉 Imidacloprid	3.30~80.00	卵-幼虫 Egg-larva
	啉虫脒 Acetamiprid	11.67~42.19	卵-幼虫 Egg-larva
	呋虫胺 Dinotefuran	3.33~13.33	卵-幼虫 Egg-larva
	烯啶虫胺 Nitenpyram	6.92	卵-幼虫 Egg-larva
	噻虫嗪 Thiamethoxam	8.75~76.91	卵-幼虫 Egg-larva
二酰胺类 Diamides	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	15.00~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	四氯虫酰胺 Tetrachlorantraniliprole	76.54~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	啉虫酰胺 Tolfenpyrad	0.00~92.31	卵-幼虫 Egg-larva
	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	55.11~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	硫虫酰胺 Thiorantraniliprole	61.56~76.75	卵-幼虫 Egg-larva
双酰胺类 Dihydrazides	甲氧虫酰胺 Methoxyfenozide	59.10~87.40	卵-幼虫 Egg-larva
沙蚕毒素类 Neurotoxins	杀虫单 Monosultap	24.07	卵-幼虫 Egg-larva
	杀虫双 Bisultap	7.62~80.95	卵-幼虫 Egg-larva
苯醚类 Phenylethers	吡丙醚 Pyriproxyfen	100.00	卵-幼虫 Egg-larva
苯甲酰脲类 Benzoylureas	虱螨脲 Lufenuron	47.75~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	灭幼脲 Chlorbenzuron	76.70	卵-幼虫 Egg-larva
	氟铃脲 Hexaflumuron	62.77~83.70	卵-幼虫 Egg-larva
	丁醚脲 Diafenthiuron	59.81	卵-幼虫 Egg-larva
	除虫脲 Hexaflumuron	90.00	卵-幼虫 Egg-larva
	氟虫脲 Flufenoxuron	73.00	卵-幼虫 Egg-larva
	氟酰脲 Znovaluron	42.12	卵-幼虫 Egg-larva
	双三氟虫脲 Bistrifluron	50.00	卵-幼虫 Egg-larva
植物源类 Botanical	苦参碱 Matrine	10.90~76.70	卵-幼虫 Egg-larva
	印楝素 Azadirachtin	1.29	卵-幼虫 Egg-larva
	藜芦碱 Veratrine	9.48~81.60	卵-幼虫 Egg-larva
	鱼藤酮 Rotenone	0.43~2.36	卵-幼虫 Egg-larva
	茶皂素 Tea saponin	4.31~26.42	卵-幼虫 Egg-larva
生物制剂 Biological agents	核型多角体病毒 Nuclear polyhedrosis viruses	0.00~82.54	卵-幼虫 Egg-larva
	金龟子绿僵菌 <i>Metarhizium anisopliae</i>	0.78~77.46	卵-幼虫 Egg-larva
	苏云金杆菌 <i>Bacillus thuringiensis</i>	14.09~52.36	卵-幼虫 Egg-larva
	球孢白僵菌 <i>Beauveria bassiana</i>	0.26~11.00	卵-幼虫 Egg-larva
	短隐杆菌 <i>Lactobacillus brevis</i>	59.64~80.38	卵-幼虫 Egg-larva
	甘蓝夜蛾核型多角体病毒 <i>Mamestra brassicae Multiple nucleopolyhedrovirus</i>	33.73~88.12	卵-幼虫 Egg-larva

续表 1

类别 Category	杀虫剂 Pesticide	防效 Control effect/%	靶标虫态 Target insect state
混剂 Mixtures	甲维·虫酰肼 Emamectin benzoate·tebufenozide	82.03~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·虫满脞 Emamectin benzoate·chlorfenitrile	65.52~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·虱螨脲 Emamectin benzoate·lufenuron	61.90~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·茚虫威 Emamectin benzoate·indoxacarb	12.50~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·有机硅 Emamectin benzoate·organosilicone	76.67	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·金龟子绿僵菌 Emamectin benzoate· <i>Metarhizium anisopliae</i>	80.70~93.90	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·甲氧虫酰肼 Emamectin benzoate·methoxyfenozide	72.52	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·氟铃脲 Emamectin benzoate·hexaflumuron	70.33~95.13	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·甲虫肼 Emamectin benzoate·chlorazide	51.25~100.00	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·苏云金杆菌 Emamectin benzoate· <i>Bacillus thuringiensis</i>	30.80~84.20	卵-幼虫 Egg-larva
	甲维·氯氟 Emamectin benzoate·chlorofluoride	60.90~86.60	卵-幼虫 Egg-larva
	氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯 Chlorfenamide·cyhalothrin	90.82	卵-幼虫 Egg-larva
	氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪 Chlorfenamide·thiamethoxam	37.50~90.82	卵-幼虫 Egg-larva
	氯虫苯甲酰胺·有机硅 Chlorfenamide·organosilicone	60.67	卵-幼虫 Egg-larva
	氯虫苯甲酰胺·阿维菌素 Chlorfenamide·abamectin	88.25	卵-幼虫 Egg-larva
	甲氧·单甲脞 Fenpropathrin·semiamitraz	59.24	卵-幼虫 Egg-larva
	虫肼·茚虫威 Fenazide·indoxacarb	86.67~97.21	卵-幼虫 Egg-larva
	氟铃·茚虫威 Hexaflumuron·indoxacarb	82.78~97.03	卵-幼虫 Egg-larva
	金龟子·绿僵菌虫螨脞 <i>Metarhizium anisopliae</i> <i>Metarhizium</i> nitrile	76.87~96.83	卵-幼虫 Egg-larva
	虱螨脲·茚虫威 Lufenuron·indoxacarb	92.00	卵-幼虫 Egg-larva

2 生物防治

2.1 寄生性天敌

世界范围内草地贪夜蛾的寄生性天敌主要包括寄生蜂和寄生蝇 2 类:寄生蜂有 10 科 121 种,包括姬蜂科 40 种、茧蜂科 39 种、姬小蜂科 14 种、赤眼蜂科 11 种、小蜂科 10 种、金小蜂科 3 种、肿腿蜂科 1 种、旋小蜂科 1 种、广腹细蜂科 1 种和巨胸小蜂科 1 种;寄生蝇 4 科 66 种,包括蜂虻科 1 种、蚤蝇科 1 种、麻蝇科 6 种、寄蝇科 58 种 (Molina-Ochoa *et al.*, 2003; Shylesha *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2014)。我国已发现的草地贪夜蛾寄生蜂有茧蜂科 16 种、姬蜂科 4 种、姬小蜂科 3 种、赤眼蜂科 8 种、广腹细蜂科 1 种 (唐璞等, 2019) (表 2)。国内用于防控草地贪夜蛾的寄生蝇较少,已有在贵州、广西玉米地采集到日本追寄蝇 *Exorista japonica* (Townsend)、厉寄蝇属寄生蝇 *Lydella* sp. 寄生草地贪夜蛾幼虫的报道 (高祖鹏等, 2021; 宁素芳, 2019), 但寄生蝇对草地贪夜蛾防控效果的研究仍有待加强。

据报道,广腹细蜂科夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* (Nixon) 和赤眼蜂科的短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* (Riley) 是草地贪夜蛾的优势寄生蜂 (Dequech *et al.*, 2013; Pomari *et al.*, 2013)。据统计,草地贪夜蛾卵寄生蜂主要也是赤眼蜂科和广腹细蜂科寄生蜂。我国于 2019 在云南、广东、广西、

贵州、福建等地的玉米田中发现夜蛾黑卵蜂和螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 可寄生草地贪夜蛾卵 (宁素芳等, 2019; 汤印等, 2020; 王竹红等, 2020; 谢丽玲等, 2022)。研究夜蛾黑卵蜂、松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura、玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen、黏虫赤眼蜂 *Trichogramma leucaniae* Pang et Chen、碧岭赤眼蜂 *Trichogramma bilingensis* sp. nov、稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead 在室内对草地贪夜蛾卵寄生能力的影响,发现赤眼蜂科寄生率均高于 80%,夜蛾黑卵蜂寄生率均达 95% 以上,其中松毛虫赤眼蜂和碧岭赤眼蜂的寄生能力最强,分别单头可寄生 20 和 13.4 粒卵 (霍梁霄等, 2019; 孙加伟等, 2020; 田俊策等, 2020)。田间调查发现,夜蛾黑卵蜂对草地贪夜蛾卵自然寄生率最高为 28.9% (唐继洪等, 2020)。研究人员田间释放夜蛾黑卵蜂,评价该蜂对草地贪夜蛾卵的田间防效,发现其对卵块的寄生率达到 100% (赵旭等, 2020); 田间释放螟黄赤眼蜂和短管赤眼蜂,对草地贪夜蛾卵寄生率分别达到 83.7%、50.33% (杨建国等, 2019; 朱凯辉等, 2020)。因此,赤眼蜂科和广腹细蜂科防控草地贪夜蛾卵有巨大的潜力和价值,可根据草地贪夜蛾危害情况、当地气候等因素选择最优的寄生蜂进行防治。

据统计,草地贪夜蛾幼虫寄生蜂主要为茧蜂科和姬蜂科寄生蜂。2019年我国首次在云南省德宏州玉米田野外调查时发现了斯氏侧沟茧蜂 *Microplitis similis* Lyle、半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* Hellen、斜纹夜蛾长距姬小蜂 *Euplectrus laphygmae* Ferrière 等草地贪夜蛾幼虫寄生蜂,其中,半闭弯尾姬蜂自然寄生率最高,为 22.30% (汤印等, 2020)。宁素芳等 (2019) 在贵州采集到寄生草地贪夜蛾幼虫的菜粉蝶盘绒茧蜂 *Cotesia glomerata* (Linnaeus) 和半闭弯尾姬蜂。覃江梅等 (2021) 在广西发现棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chloridae* Uchida 和斜纹夜蛾侧沟茧蜂 *Microplitis praedeniae* Rao and Chandry 对草地贪夜蛾幼虫有寄生现象,且首次报道棉铃虫齿唇姬蜂 *C. chloridae* Uchida 成功寄生草地贪夜蛾 1~3 龄幼虫。唐继宏等 (2020) 首次在海南野外发现草地贪夜蛾的幼虫寄生蜂淡足侧沟茧蜂 *Mi-*

croplitis palidpes Szépligeti, 自然寄生率为 12.3%, 评估淡足侧沟茧蜂对草地贪夜蛾的寄生功能反应,发现淡足侧沟茧蜂对草地贪夜蛾 3 日龄幼虫寄生率高达 53.3%。陈壮美等 (2019) 用长沙本地天敌斯氏侧沟茧蜂 *M. similis* Lyle 寄生草地贪夜蛾幼虫,发现寄生蜂寄生抑制了宿主幼虫的进食量,宿主幼虫体质量增量无明显变化,并最终死亡。室内饲养条件下发现,缘腹茧蜂 *Cotesia marginiventris* (Cresson)、中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* (Haliday) 和管侧沟茧蜂 *Microplitis tuberculifer* (Wesmael) 均能成功寄生草地贪夜蛾幼虫,但管侧沟茧蜂的寄生效果优于中红侧沟茧蜂 (苏豪等, 2021; 唐继洪等, 2020)。目前,田间释放幼虫寄生蜂防治草地贪夜蛾的文献较少,幼虫寄生蜂在田间的寄生效能有待进一步深入分析。

表 2 草地贪夜蛾的寄生蜂
Table 2 Parasitoid wasps of *S. frugiperda*

科 Family	种 Species	靶标虫态 Target insect state
茧蜂科 Braconidae	半闭弯尾姬蜂 <i>Diadegma semiclausum</i>	幼虫 Larva
	斯氏侧沟茧蜂 <i>Microplitis similis</i>	幼虫 Larva
	缘腹茧蜂 <i>Cotesia marginiventris</i>	幼虫 Larva
	台湾甲腹茧蜂 <i>Chelonus formosanus</i>	卵-幼虫 Egg-larva
	菜粉蝶盘绒茧蜂 <i>Cotesia glomerata</i>	幼虫 Larva
	螟蛉盘绒茧蜂 <i>Cotesia ruficrus</i>	幼虫 Larva
	马尼拉侧沟茧蜂 <i>Microplitis manilae</i>	幼虫 Larva
	淡足侧沟茧蜂 <i>Microplitis palidpes</i>	幼虫 Larva
	红腹侧沟茧蜂 <i>Microplitis rufiventris</i>	幼虫 Larva
	灰灯蛾原绒茧蜂 <i>Protapanteles creatonoti</i>	幼虫 Larva
	斜纹夜蛾侧沟茧蜂 <i>Microplitis praedeniae</i>	幼虫 Larva
	中红侧沟茧蜂 <i>Microplitis mediator</i>	幼虫 Larva
	管侧沟茧蜂 <i>Microplitis tuberculifer</i>	幼虫 Larva
台湾甲腹茧蜂 <i>Chelonus formosanus</i>	幼虫 Larva	
截距滑茧蜂 <i>Homolobus truncator</i>	幼虫 Larva	
姬蜂科 Ichneumonidae	棉铃虫齿唇姬蜂 <i>Campoletis chloridae</i>	幼虫 Larva
	细颚姬蜂 <i>Enicospilus merdarius</i>	幼虫 Larva
	盘背菱室姬蜂 <i>Mesochorus disceitergus</i>	幼虫 Larva
	红足黑瘤姬蜂 <i>Pimpla rufipes</i>	幼虫 Larva
姬小蜂科 Eulophidae	长距姬小蜂 <i>Euplectrus platyhyphenae</i>	幼虫 Larva
	斜纹夜蛾长距姬小蜂 <i>Euplectrus laphygmae</i>	幼虫 Larva
	霍氏嗜小蜂 <i>Tetrastich howardi</i>	蛹 Pupal
	突额姬小蜂 <i>Trichospilus diatraeae</i>	幼虫 Larva
赤眼蜂科 Trichogrammatidae	碧岭赤眼蜂 <i>Trichogramma bilinegensis</i>	卵 Egg
	松毛虫赤眼蜂 <i>Trichogramma dendrolimi</i>	卵 Egg
	微小赤眼蜂 <i>Trichogramma minutum</i>	卵 Egg
	玉米螟赤眼蜂 <i>Trichogramma ostriniae</i>	卵 Egg
	黏虫赤眼蜂 <i>Trichogramma leucaniae</i>	卵 Egg
	螟黄赤眼蜂 <i>Trichogramma chilonis</i>	卵 Egg
	稻螟赤眼蜂 <i>Trichogramma japonicum</i>	卵 Egg
	短管赤眼蜂 <i>Trichogramma pretiosum</i>	卵 Egg
广腹细蜂科 Platygasteridae	夜蛾黑卵蜂 <i>Telenomus remus</i>	卵 Egg

2.2 捕食性天敌

据统计,目前全世界草地贪夜蛾捕食性天敌共计 5 目 12 科 58 种,猎蝽科 8 种、长蝽科 2 种、花蝽科 3 种、姬蝽科 2 种、蝽科 8 种、瓢甲科 12 种、步甲科 6 种、肥螋科 2 种、螋科 6 种、草蛉科 6 种、胡

蜂科 1 种、蚁科 2 种(Prasanna *et al.*, 2018);国内草地贪夜蛾捕食性天敌共计 9 科 19 种,其中瓢甲科 4 种、蝽科 4 种、猎蝽科 3 种、花蝽科 1 种、草蛉科 3 种、螋科 1 种、肥螋科 1 种、步甲科 1 种、蒲螋科 1 种(任雪敏等, 2022)(表 3)。

表 3 草地贪夜蛾的捕食性天敌

Table 3 Predatory natural enemies of *S. frugiperda*

科 Family	种 Species	靶标虫态 Target insect state
瓢甲科 Ladybirds	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	卵-幼虫 Egg-larva
	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	卵-幼虫 Egg-larva
	七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	卵-幼虫 Egg-larva
	多异瓢虫 <i>Adonia variegata</i>	卵-幼虫 Egg-larva
猎蝽科 Reduviidae	大红犀猎蝽 <i>Sycanus falleni</i>	幼虫 Larva
	环斑猛猎蝽 <i>Sphedanolestes impressicollis</i>	幼虫 Larva
	黄带犀猎蝽 <i>Sycanus croceouittatus</i>	幼虫 Larva
蝽科 Pentatomidae	叉角厉蝽 <i>Cantheconidae furcellata</i>	幼虫 Larva
	侧刺蝽 <i>Andrallus spinidens</i>	幼虫 Larva
	益蝽 <i>Picromerus lewisi</i>	幼虫 Larva
	蝟蝽 <i>Arma chinensis</i>	幼虫 Larva
花蝽科 Anthoridae	东亚小花蝽 <i>Orius sauteri</i>	幼虫 Larva
草蛉科 Chrysopidae	丽草蛉 <i>Chrysopa formosa</i>	卵-幼虫 Egg-larva
	中华通草蛉 <i>Chrysopa sinica</i>	幼虫 Larva
	大草蛉 <i>Chrysopa pallens</i>	幼虫 Larva
螋科 Labiduridae	螋 <i>Labidura riparia</i>	卵-幼虫 Egg-larva
肥螋科 Anisolabididae	黄足肥螋 <i>Eurellia pallipes</i>	幼虫 Larva
步甲科 Carabidae	双斑步甲 <i>Chlaenius bioculatus</i>	幼虫 Larva
蒲螋科 Pyemotidae	中华甲虫蒲螋 <i>Pyemotes zhonghuajia</i>	幼虫 Larva

猎蝽科、蝽科对草地贪夜蛾幼虫具有较强捕食性(唐艺婷等, 2019)。研究发现,不同虫态蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食量差异显著,对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的捕食量最优,如益蝽 *Picromerus lewisi* (Scott)、大红犀猎蝽 *Sycanus falleni* Stal 雌成虫、黄带犀猎蝽 *Sycanus croceouittatus* (Dohrn)、环斑猛猎蝽 *Sphedanolestes impressicollis* (Stal) 等(侯峥嵘等, 2020; 胡宗伟等, 2022; 王亚楠等, 2020; 王燕等, 2020)。但目前国际上未见利用环斑猛猎蝽防治草地贪夜蛾的先例,国内也仅用它来防控烟蚜 *Myzus persicae* Sulzer 和玉米螟 *Ostrinia furnacalis* Hubern (胡宗伟等, 2022)。我国学者首次报道在室内条件下环斑猛猎蝽 4 龄若虫对草地贪夜蛾 1~3 龄幼虫的捕食功能,且取得良好的防治效果,为下一步田间释放应用提供了依据(胡宗伟等, 2022)。猎蝽科、蝽科对草地贪夜蛾的捕食特点是用口针快速刺入其身体,口针里毒液有麻痹作用,汲取内含物,只剩干瘪的表皮才搜寻下一个猎物;其捕食量与草地贪夜蛾密度呈正相关,搜寻效应与草地贪夜蛾密度呈负相关,如捕食量随着草地贪夜蛾密度的增加而

增加;但草地贪夜蛾密度越高,叉角厉蝽 *Cantheconidae furcellata* (Walf) 的搜寻力越差;低龄捕食性天敌,如益蝽,会以群体的方式攻击草地贪夜蛾高龄幼虫,以提高攻击率(范悦莉等, 2022; 唐敏等, 2019; 王亚楠等, 2020; 王燕等, 2020, 2019)。目前,国内用蝟蝽 *Arma chinensis* Fallou 和益蝽防治草地贪夜蛾已取得良好的效果,今后低成本产业化扩繁蝟蝽和益蝽并于田间释放是研究的重点。

瓢甲科偏好草地贪夜蛾卵和幼虫,龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg 成虫对草地贪夜蛾卵的日最大捕食量为 204.6 粒(蒋骏等, 2020)。高龄瓢甲科幼虫对草地贪夜蛾的捕食量高于低龄瓢甲科幼虫,如异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 成虫(65.36 头)对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力强于 4 龄幼虫(41.84 头)(刘本菊等, 2020; 赵英杰等, 2020)。此外,田间常见的草蛉类对其卵和幼虫也具有较强的防控潜力。丽草蛉 *Chrysopa formosa* Brauer 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的捕食量最高为 66.8 头,对卵捕食量最高为 46.2 粒(李玉艳等, 2020),中华通草蛉 *Chrysopa sinica* (Tjeder) 幼

虫对草地贪夜蛾卵日捕食量最大为 192 粒(黄海艺等,2020)。其他捕食天敌中,螻蛄 *Labidura riparia* Pallas 5 龄若虫对草地贪夜蛾卵和幼虫均有捕食功能,但螻蛄控害能力较差,对草地贪夜蛾 6 龄幼虫日均捕食量仅为 2.85 头(田彩红等,2021)。

3 监测预警

3.1 灯诱监测

灯诱是监测迁飞性害虫的有效工具,如高空预测灯、地面测报灯、高空探照灯等,监测效率高、时效性强,能预测草地贪夜蛾迁飞路径、监测其种群数量与组成,更进一步揭示区域间虫源交流规律(姜玉英,2018;刘杰等,2019)。2018 年 Sun *et al.* (2021)首次用高空诱虫灯监测到草地贪夜蛾成虫,此后,姜玉英等(2020)利用高空预报灯预测广西、湖南、河南、山西、陕西、宁夏、天津的草地贪夜蛾发生动态。唐继洪等(2020)利用高空诱虫灯监测海南草地贪夜蛾的迁飞规律,陈琦等(2021)利用高空探照灯监测漯河市的草地贪夜蛾。近年来陆续有国内其他省份利用高空诱虫灯对迁飞性害虫进行监测预警(田太安等,2020)。可见,灯诱对草地贪夜蛾区域发生规律有较好的监测效果,为虫情监测提供了重要信息。

3.2 雷达监测

昆虫雷达可实时监测迁飞性昆虫在自然状态下飞行的速度、种群数量等参数,明确迁飞行为与天气之间的关系,且雷达监测不受外界条件如天气、人为等的干扰(亢菊侠等,2021)。研究人员通过昆虫雷达监测草地贪夜蛾从缅甸迁入我国的路径、降落地区,预测 3—8 月季节性北迁南回的危害规律(吴秋琳等,2018)。同时,基于轨迹分析和气象图形对广东、浙江、四川等省份的迁飞路径进行雷达监测,为草地贪夜蛾迁入种群的监测预警及防控提供了科学依据(罗举等,2019;齐国君等,2019;张雪艳等,2020)。

3.3 田间调查及卵巢解剖

孙小旭等(2019)基于调查玉米地里草地贪夜蛾卵、幼虫、蛹的数量和危害情况,分析其种群的空间分布格局。刘杰等(2019)分别提出草地贪夜蛾卵、幼虫、蛹、成虫的田间调查法。杨现明等(2020)在小麦地调查草地贪夜蛾幼虫的危害情况,认为低龄幼虫呈聚集分布、高龄幼虫为均匀分布,该研究提出了基于幼虫密度及龄期的麦田草地贪夜蛾理

论抽样模型和基于防治指标的序贯抽样技术。

卵巢和精巢的发育对昆虫繁衍后代发挥重要作用,可以短期预报害虫的发生期和发生量(陈大福等,2004;吴秋雁和郭郭,1964)。实验室研究表明,可以通过解剖性诱到的草地贪夜蛾卵巢和精巢发育状况推算田间种群的年龄结构,进而达到预测雌虫产卵与幼虫孵化动态、指导防治的目的(和伟等,2019;赵胜园等,2019)。

4 物理防治

4.1 性信息素诱杀

性信息素诱杀技术是害虫防控的有效手段,利用雌成虫分泌的性信息素组分人工合成性信息素引诱剂,对雄蛾进行诱捕,能够有效减少成虫密度,破坏雌雄交配(常亚军等,2019)。国外早在 1986 年已确认草地贪夜蛾性信息素由顺 9-十四碳烯乙酸酯和顺 7-十二乙酸酯组成,其质量比为 96.6 : 3.4 时引诱活性最强(Tumlinson *et al.*, 1986)。近年来,我国针对草地贪夜蛾开展了基于性信息素的诱剂及产品的研发,深圳百乐宝生物农业科技有限公司(BLB 诱芯)、宁波纽康生物技术有限公司(NL 诱芯)、南京新安中绿生物科技有限公司(XAZL 诱芯)、江苏宁录科技股份有限公司(NK 诱芯)、北京中捷四方生物科技股份有限公司(中捷四方芯片)先后推出了基于性信息素的商业化产品,已有产品评价数据显示,BLB 诱芯和 NL 诱芯在成虫羽化高峰期监测效果最好(车晋英等,2020;宋梁栋等,2020)。

诱捕器和诱芯的配套使用,是诱捕草地贪夜蛾成虫的有效手段。研究人员比较各种不同诱捕器对草地贪夜蛾的诱捕效果,认为草地贪夜蛾专用诱捕器捕、船形诱捕器和桶形诱捕器获效果最佳(卢继英等,2022)。其中,船形诱捕器和桶形诱捕器诱捕效果最佳,但船形诱捕器的捕获效果更明显,与和伟等(2019)研究结果有差异,可能是不同地区的草地贪夜蛾种群对性诱芯敏感性不同,也受当地环境、放置密度等因素的影响。比较船形诱捕器和桶形诱捕器,船形诱捕器通风透气,有利于性诱剂的有效传播,诱芯与粘虫板之间距离小,更容易吸引草地贪夜蛾,但组装繁琐,成本高,需每天更换粘虫板,且遮光挡雨效果差;而桶形诱捕器成本低,安装简单,受环境因素的影响小,只需每天更换水或洗衣粉水即可(黄美玲等,2022;冷春蒙等,2020;尹

炯等,2022; 张晴晴等,2021)。因此,从经济实惠角度考虑,建议大面积推广运用桶形诱捕器。

4.2 灯光诱杀及食诱

灯光诱集的诱杀效果差,因此主要用于监测区域内草地贪夜蛾的发生规律,例如高空预测灯、虫情测报等。成虫发生期,通过对黑光灯、性诱剂、食诱搭配使用,杀死成虫,干扰了交配行为(杨普云等,2019)。不同波长的杀虫灯对草地贪夜蛾田间诱杀效果明显高于黑光灯和频振式杀虫灯,368 nm 单波长杀虫灯对成虫诱杀效果最好(陈昊楠等,2020)。光源的颜色是影响灯诱捕获草地贪夜蛾效果的因素之一,实验表明,紫色、蓝色和绿色光源明显干扰了草地贪夜蛾的交配行为(田太安等,2020)。在田间虫口数量开始上升时,放置糖醋液诱杀盆,能够诱集一定数量的成虫(王丹等,2019)。

5 农业防治

农业防治是通过种植抗虫品种、改进种植模式、加强田间管理、合理施肥来提高农作物的抗虫性、减少草地贪夜蛾发生的防治手段。

在国外,Bt 玉米具有较高水平的抗虫性,用于防治玉米螟、草地贪夜蛾等鳞翅目害虫,有效抑制幼虫的存活率。国内已有研究表明,种植 Bt 玉米能够阻断成虫的迁移(Yang *et al.*,2022)。国内在研发 Bt 玉米品种、筛选区域内最佳 Bt 玉米品种、评估国产 Bt 玉米的抗性风险等方面取得了一系列进展,国产 Bt-Cry1Ab 和 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)对草地贪夜蛾幼虫有很强的毒杀作用(张丹丹和吴孔明,2019),Bt-Cry1AbDBN9936 杀虫蛋白的防治效果最佳,对 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)的抗性时间最长(王文荟等,2023),Bt-Cry1Ab DBN9936 和 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)已颁发安全证书,为国内通过推广种植转 Bt 抗虫玉米防控草地贪夜蛾提供了重要的实验依据(Liang *et al.*,2021; Li *et al.*,2021)。种植 Bt-Cry1Ab DBN9936 和 Bt-Cry1Ab/Cry2Aj 的杂交种,草地贪夜蛾危害数量、玉米产量损失减少(Yang *et al.*,2022)。

在“推拉”伴生种植策略下,因地制宜地选择合适的种植模式:在玉米生长期,选择不同品种玉米-小麦、玉米-大豆等间作或轮作耘耕模式,显著降低幼虫的存活率(郭井菲等,2022);或玉米地周围种植趋避草地贪夜蛾的杂草(孙悦等,2020; Midega *et al.*,2018)。草地贪夜蛾能够在玉米地周围的杂草上完成发育世代,等待下一代作物生长继续为害,

因此,玉米收获要及时清除周围的杂草,减少草地贪夜蛾的种群数量(吴道慧等,2021)。通过调整播种期等田间管理手段,将草地贪夜蛾幼虫与作物幼苗期相错开,可减轻草地贪夜蛾对作物的危害(杨普云等,2019)。氮肥对草地贪夜蛾有吸引力,农作物施肥时避免选择含氮肥的肥料,多施有机肥,提高农作物的自我防御和补偿能力(程丽丽,2021)。

6 讨论与展望

目前,草地贪夜蛾已在我国西南、华南地区定殖并终年为害。近几年,在国家主管部门的高度关注和我国其他重大迁飞性害虫的成功防控经验基础上,草地贪夜蛾的防控工作取得了一系列进展。为实现可持续发展的化学防治、物理防治、生物防治、理化诱导、分子机制为一体的综合防控技术,在未来的防控工作中,建议从以下几方面开展:

(1)按照三区(周年繁殖区、迁飞过渡区和重点防范区)四带(边境监测防控带、长江流域监测防控带、黄河流域阻截攻坚带和长城防控阻击带)进行分区治理。例如我国广东、广西、云南、福建等4个等温线以南地区已经是草地贪夜蛾的周年发生区,而春季周年发生区的草地贪夜蛾会陆续向北迁移,因此,草地贪夜蛾的源头治理措施是控制其向长江流域以北地区迁移。在迁飞路线上设置灯诱、食诱来阻截成虫发生密度,种植 Bt 玉米也能够阻断成虫的迁移。

(2)以分子生物学手段研究草地贪夜蛾的生物学特性、生理与分子调控机理,如分析影响草地贪夜蛾发育与生殖相关基因的功能;分析不同田间环境(气候、作物种植模式、抗药性等)下草地贪夜蛾危害规律,明确草地贪夜蛾在全国各地的发生动态;从化学生态学方面揭示草地贪夜蛾的性信息素感受机制以及寄主植物识别机制,为研发草地贪夜蛾的性诱剂、食诱剂提供参考。

(3)科研人员已在室内大量筛选对草地贪夜蛾有较好防效的药剂,但其在田间的防效尚不明确,建议在以后筛选化学农药的工作中将室内试验和田间相结合,确保化学农药在田间的防治效果,因地制宜施药,精准明确最佳施药期,如卵期和低龄幼虫抗药性差、解毒酶含量低,但需要及时更换有效药剂,同时,继续研发高效、低毒和低残留的新型绿色杀虫剂至关重要。攻破草地贪夜蛾天敌昆虫

人工饲养产业化扩繁技术,加强生物防治技术与产品的推广应用,在草地贪夜蛾大面积发生的地区,综合利用转基因作物与生物防治技术,提升控害效果;借鉴国外防控草地贪夜蛾种群、国内防控棉铃虫等害虫的综合防治技术。

参考文献

- 卞康亚,陈华,王凤良,赵静,朱凤,张海波,杨荣明,姜春义,张玉,周国妹,陈永明,肖留斌,2022. 10% 硫虫酰胺 SC 对草地贪夜蛾的控制效果. 植物保护, 48(4): 353-357.
- 蔡理文,2021. 几种常见杀虫剂对草地贪夜蛾的田间防控. 南方农业, 15(11): 61-62.
- 常亚军,廖永林,蒋兴川,王桂荣,杨斌,2019. 草地贪夜蛾及其功能基因组学的研究进展. 植物保护, 45(5): 1-7.
- 车晋英,陈华,陈永明,王凤良,卢鹏,朱加萍,张海波,肖留斌,姜春义,金玲,朱展飞,张芳,2020. 4 种不同性诱剂对玉米草地贪夜蛾诱集作用. 植物保护学报, 46(2): 261-266.
- 陈大福,牛宝龙,翁宏飏,孟智启,2004. 棉铃虫(*Helicoverpa armigera*) 幼虫性特征和精子的发生. 浙江农业学报, 16(6): 6-9.
- 陈昊楠,徐翔,邓晓悦,衡晓容,刘勇,宋灿灿,张喆,蒋春先,李庆,2020. 单波长杀虫灯对草地贪夜蛾诱杀效果初步评价. 四川农业科技(2): 41-42.
- 陈利民,黄俊,吴全聪,吴倩倩,潘逸明,吕要斌,2019. 绿色杀虫剂对草地贪夜蛾杀虫活性比较测定. 环境昆虫学报, 41(4): 775-781.
- 陈琦,段云,侯艳红,刘迪,范志业,沈海龙,陈莉,李雷雷,王文豪,段宸宇,黄建荣,李世民,2021. 漯河市高空灯下迁飞性蛾类害虫监测与分析. 植物保护, 47(3): 226-231.
- 陈壮美,赵琳超,刘航,廖用信,王星,2019. 斯氏侧沟茧蜂对草地贪夜蛾幼虫的寄生行为及寄生效应. 植物保护, 45(5): 71-74.
- 程丽丽,2021. 草地贪夜蛾生物习性 & 防控技术. 农业知识(10): 58-59.
- 范俊韬,梁兴格,张全财,李纯,高伟,2020. 5 种杀虫剂对草地贪夜蛾的田间防控效果. 云南农业科技(S1): 5-8.
- 范晓培,余正军,王清文,张勇,2020. 7 种杀虫剂对玉米草地贪夜蛾幼虫的室内毒力测定及田间防控. 陕西农业科学, 66(8): 37-40.
- 范悦莉,张晓滢,陆永跃,洗继东,2022. 不同虫态叉角厉蝽对草地贪夜蛾幼虫的室内捕食作用. 环境昆虫学报, 44(1): 27-34.
- 冯波,郭前爽,毛必鹏,钟玲,宋建辉,肖明徽,杜永均,2020. 不同地区田间草地贪夜蛾卵巢的结构和发育. 昆虫学报, 63(5): 639-648.
- 高祖鹏,唐照磊,郭井菲,何康来,王振营,2021. 广西崇左发现一种草地贪夜蛾幼虫寄生性天敌——日本追寄蝇. 生物防治, 37(6): 1166-1171.
- 郭井菲,2022. 中国应对草地贪夜蛾入侵研究的主要进展. 植物保护, 48(4): 79-87.
- 郭井菲,韩海亮,何康来,白树雄,张天涛,王振营,2022. 草地贪夜蛾在玉米单作及玉米大豆间作田的扩散规律. 植物保护, 48(1): 110-115.
- 和伟,赵胜园,葛世帅,姜玉英,赵新成,吴孔明,2019. 草地贪夜蛾种群性诱测报方法研究. 植物保护, 45(4): 48-53.
- 侯嵘嵘,孙贝贝,刘先建,尹哲,李金萍,郭喜红,2020. 大红犀猎蝽对草地贪夜蛾 3 龄幼虫捕食功能反应. 植物保护, 47(4): 852-858.
- 胡宗伟,冯万祖,张浩然,曾曼,陈黔,李建平,吴雨欣,于永浩,夏鹏亮,张建民,2022. 环斑猛猎蝽对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能分析. 环境昆虫学报, 44(3): 530-537.
- 黄海艺,刘亚男,亓永凤,许永玉,陈珍珍,2020. 中华通草蛉幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用. 应用昆虫学报, 57(6): 1333-1340.
- 黄美玲,王晓晶,金化亮,林永旋,2022. 性引诱剂在草地贪夜蛾监测中的应用研究. 安徽农业科学, 50(2): 151-153.
- 霍梁霄,周金成,宁素芳,赵倩,张龙喜,张柱亭,张礼生,董辉,2019. 夜蛾黑卵蜂寄生草地贪夜蛾和斜纹夜蛾卵的生物学特性. 植物保护, 45(5): 60-64.
- 姜玉英,刘杰,曾娟,2018. 我国粘虫周年区域动态规律的监测. 应用昆虫学报, 55(5): 778-793.
- 姜玉英,刘杰,杨俊杰,赵文新,尹丽,刘媛,叶少锋,覃宝勤,宋梁栋,2020. 2019 年草地贪夜蛾灯诱监测应用效果. 植物保护, 46(3): 118-122.
- 蒋骏,张熠场,王文文,秦慧敏,田密,刘同先,张世泽,2020. 龟纹瓢虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用. 植物保护, 46(3): 188-193.
- 亢菊侠,刘莎,李元喜,时卫东,2021. 草地贪夜蛾监测预警方法及绿色防控技术研究进展. 陕西农业科学, 67(1): 85-89.
- 冷春蒙,袁向群,周靖华,侯伟,郭彦君,时春喜,刘俊松,李怡萍,2020. 3 种绿色防控技术对小菜蛾的防治效果. 西北农业学报, 29(8): 1278-1284.
- 李富根,艾国民,李友顺,朱春雨,高希武,2013. 茼虫威的作用机制与抗性研究进展. 农药, 52(8): 558-560.
- 李强,门兴元,景春,于毅,周仙红,代晓彦,吕素洪,李丽莉,2021. 我国草地贪夜蛾应急防控研究进展. 植物保护, 47(6): 21-27.
- 李玉艳,王孟卿,张莹莹,马梦,李萍,毛建军,陈红印,

- 张礼生, 2020. 丽草蛉幼虫对草地贪夜蛾卵及低龄幼虫的捕食能力评价. *植物保护*, 47(5): 178-184.
- 林少源, 陈炳旭, 徐淑, 全林发, 池艳艳, 2020. 8 种杀虫剂对广东草地贪夜蛾的田间防效及其评价. *广东农业科学*, 47(3): 97-102.
- 刘本菊, 秦得强, 周游, 陈孝甜, 马千里, 徐汉虹, 张志祥, 2020. 异色瓢虫对草地贪夜蛾的捕食行为观察与评价. *华南农业大学学报*, 41(1): 28-33.
- 刘杰, 姜玉英, 刘万才, 李亚红, 曾娟, 杨清坡, 2019. 草地贪夜蛾测报调查技术初探. *中国植保导刊*, 39(4): 44-47.
- 卢继英, 党绍东, 孙贵强, 朱豪红, 毛琦, 周萍, 黄翠流, 甘军勇, 邓世辉, 王育荣, 2022. 不同诱捕器对草地贪夜蛾的诱捕效果. *广西植保*, 35(1): 9-12.
- 罗举, 马健, 武明飞, 齐国君, 刘杰, 唐健, 胡高, 2020. 浙江入侵草地贪夜蛾的迁入虫源. *中国水稻科学*, 34(1): 80-87.
- 马千里, 王勇庆, 谭煜婷, 王世英, 郑群, 吕怡颖, 徐汉虹, 张志祥, 2020. 3 种拟除虫菊酯类农药对草地贪夜蛾的毒力测定及田间应用效果评价. *环境昆虫学报*, 42(2): 335-341.
- 宁素芳, 周金成, 张柱亭, 董前进, 白雪萍, 张礼生, 董辉, 2019. 贵州省黔东南地区发现草地贪夜蛾的 5 种寄生性天敌及其两种重寄生蜂. *植物保护*, 45(6): 39-42.
- 农业农村部, 2020. 农业农村部办公厅关于做好草地贪夜蛾应急防治用药有关工作的通知. (2020-01-03)[2022-10-20]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2019/201907/202001/t20200103_6334251.htm.
- 欧阳传禄, 2021. 几种药剂的草地贪夜蛾田间防治效果对比. *农业工程技术*, 41(23): 14-16.
- 齐国君, 马健, 胡高, 于永浩, 谌爱东, 高燕, 吕利华, 2019. 首次入侵广东的草地贪夜蛾迁入路径及天气背景分析. *环境昆虫学报*, 41(3): 488-496.
- 任雪敏, 徐志文, 赵斌, 路纪芳, 孙亚茹, 2022. 草地贪夜蛾的捕食性天敌昆虫研究进展. *江苏农业科学*, 50(8): 15-22.
- 宋梁栋, 许艳妮, 巨进超, 窦晓梅, 2020. 兴平市 2019 年秋季玉米田草地贪夜蛾性诱监测技术研究. *陕西农业科学*, 66(12): 69-70.
- 苏豪, 吕宝乾, 张宝琴, 吴琦琦, 卢辉, 唐继洪, 吴晓霜, 2021. 草地贪夜蛾蛹寄生蜂——霍氏啮小蜂生物学特性. *中国生物防治学报*, 37(3): 406-411.
- 孙加伟, 戴鹏, 徐伟, 马悦, 臧连生, 2020. 东北地区四种本地赤眼蜂对草地贪夜蛾寄生能力及适应性研究. *环境昆虫学报*, 42(1): 36-41.
- 孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 赵慧媛, 李国平, 张浩文, 姜玉英, 杨现明, 吴孔明, 2019. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术. *植物保护*, 45(2): 13-18.
- 孙悦, 刘晓光, 吕国强, 郝学政, 李书华, 李国平, 封洪强, 2020. 草地贪夜蛾在小麦和不同玉米品种上的种群适合度比较. *植物保护*, 46(4): 126-131.
- 覃江梅, 覃武, 陈红松, 蔡晓燕, 于永浩, 陈华燕, 2021. 广西田间发现 2 种草地贪夜蛾幼虫寄生蜂. *植物保护*, 47(5): 292-296.
- 汤印, 郭井菲, 王勤英, 太红坤, 高祖鹏, 何康来, 王振营, 2020. 云南省德宏州发现 3 种草地贪夜蛾幼虫寄生蜂. *植物保护*, 46(3): 254-259.
- 唐继洪, 吕宝乾, 卢辉, 吉训聪, 杨普云, 苏豪, 蔡波, 2020. 海南草地贪夜蛾寄生蜂调查与基础生物学观察. *热带作物学报*, 41(6): 1189-1195.
- 唐敏, 邝昭琅, 李子园, 陆永跃, 陈科伟, 刘光华, 2019. 叉角厉螭对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应. *环境昆虫学报*, 41(5): 979-985.
- 唐璞, 王知知, 吴琼, 刘银泉, 时敏, 黄健华, 陈学新, 2019. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用. *应用昆虫学报*, 56(3): 370-381.
- 唐艺婷, 王孟卿, 李玉艳, 刘晨曦, 毛建军, 陈红印, 张礼生, 2019. 捕食性螭防治草地贪夜蛾的研究进展. *中国生物防治学报*, 35(5): 682-690.
- 田彩虹, 曹华毅, 张俊逸, 刘晓光, 蔡婷, 李国平, 黄建荣, 封洪强, 2021. 螻蛄捕食草地贪夜蛾的行为及功能反应. *中国生物防治学报*, 37(6): 1160-1165.
- 田俊策, 鲁艳辉, 王国荣, 郑许松, 杨亚军, 徐红星, 方琦, 叶恭银, 臧连生, 吕仲贤, 2020. 5 种赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生能力研究. *中国生物防治学报*, 36(4): 485-490.
- 田太安, 刘健锋, 于晓飞, 董祥立, 李治模, 杨茂发, 2020. 不同光源对草地贪夜蛾生殖行为的影响. *植物保护*, 47(4): 822-830.
- 王丹, 张琳丽, 李石力, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性及治理策略. *植物医生*, 32(4): 9-12.
- 王磊, 祝海燕, 谢旭东, 王金方, 李海平, 2019. 植保无人机减量施药雾滴沉积分布及草地贪夜蛾防效评价. *基层农技推广*, 7(11): 29-33.
- 王孟卿, 谌爱东, 陈福寿, 张礼生, 2019. 螻蛄成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力. *植物保护*, 45(5): 42-46.
- 王宁, 潘登, 马甜甜, 许江岩, 潘以楼, 岳明珠, 纪执东, 2021. 10 种杀虫剂对玉米草地贪夜蛾的田间防治效果. *安徽农业科学*, 49(17): 128-129.
- 王芹芹, 崔丽, 王立, 黄伟玲, 代黎明, 袁会珠, 芮昌辉, 2019. 14 种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性. *植物保护*, 45(6): 80-83.
- 王芹芹, 崔丽, 王立, 黄伟玲, 代黎明, 袁会珠, 芮昌辉, 2020. 20 种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性. *植物保护*, 46(4): 264-269.

- 王亚楠, 赵胜园, 何运转, 吴孔明, 李国平, 封洪强, 2020. 黄带犀猎蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食作用. 中国生物防治学报, 36(4): 525-529.
- 王燕, 张红梅, 李向永, 尹艳琼, 赵雪晴, 陈福寿, 张礼生, 2020. 益蝽不同龄期若虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力. 中国生物防治学报, 36(4): 520-524.
- 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 唐艺婷, 王孟卿, 谌爱东, 陈福寿, 张礼生, 2019. 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力. 植物保护, 45(5): 42-46.
- 王文荟, 黄运新, 万鹏, 封洪强, 吴孔明, 2023. 草地贪夜蛾对国产 Bt 玉米的抗性风险评估. 植物保护学报, 50(2): 413-420. DOI: 10.13802/J.CNKI.ZWBHXB.2022.2021140.
- 王竹红, 葛均青, 刘紫晶, 徐腾, 贾启兵, 何玉仙, 黄建, 2020. 草地贪夜蛾两种重要卵寄生蜂的鉴别及寄生行为. 植物保护, 46(2): 172-180.
- 吴道慧, 李宜儒, 王思勤, 陈国华, 齐国君, 陈婷, 柳青, 张晓明, 2021. 玉米及玉米田 3 种杂草对草地贪夜蛾生长发育和产卵的影响. 植物保护, 47(2): 116-121.
- 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析. 植物保护, 45(2): 1-6.
- 吴秋雁, 郭郭, 1964. 粘虫生殖的研究 III 生殖系统的发育. 昆虫学报, 13(6): 795-802.
- 谢丽玲, 何瞻, 龙秀珍, 高旭渊, 曾宪儒, 陈红松, 韦德卫, 宋一林, 于永浩, 2022. 两种草地贪夜蛾卵寄生蜂的田间寄生作用调查. 植物保护, 48(1): 265-271.
- 杨建国, 赵猛, 朱萍, 王振华, 李艳楠, 2019. 螟黄赤眼蜂防治草地贪夜蛾田间试验研究. 中国植保导刊, 39(11): 59-61.
- 杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 王振营, 2019. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议. 植物保护, 45(4): 1-6.
- 杨现明, 孙小旭, 赵胜园, 李加云, 迟旭春, 姜玉英, 吴孔明, 2020. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布与抽样技术. 植物保护, 46(1): 10-16.
- 殷智力, 钟广平, 贺雄, 田家顺, 王昆, 2021. 几种药剂对玉米草地贪夜蛾的田间药效评价. 湖南农业科学 (6): 61-63.
- 尹炯, 罗志明, 旗尔, 纪新时, 伍彩云, 李加群, 杨远江, 李美蓉, 陆美英, 王恒彦, 黄应昆, 谌爱东, 2022. 云南勐海蔗区草地贪夜蛾种群动态与性诱捕器诱集效果评价. 植物保护, 48(2): 237-241.
- 张丹丹, 吴孔明, 2019. 国产 Bt-Cry1Ab 和 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)玉米对草地贪夜蛾的抗性测定. 植物保护, 45(4): 54-60.
- 张磊, 柳贝, 姜玉英, 刘杰, 吴孔明, 萧玉涛, 2019. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析. 植物保护, 45(4): 20-27.
- 张晴晴, 李丽莉, 曲明静, 赵鸣, 王丽丽, 丁荔, 王付彬, 李付军, 李顺, 曲诚怀, 曹洪建, 薛超, 曲在亮, 李超, 卢增斌, 于毅, 门兴元, 2021. 2019 年性诱监测草地贪夜蛾在山东省的分布与发生动态. 植物保护, 47(1): 222-226.
- 张雪艳, 封传红, 万宣伍, 胡高, 李庆, 蒋春先, 2020. 2019 年四川省草地贪夜蛾迁入虫源地分布及迁飞路径. 植物保护学报, 47(4): 770-779.
- 赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 杨现明, 吴孔明, 2019. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定. 植物保护, 45(3): 10-14.
- 赵旭, 朱凯辉, 张柱亭, 何康来, 张礼生, 周金成, 董辉, 2020. 夜蛾黑卵蜂对草地贪夜蛾田间防效的初步评价. 植物保护, 46(1): 74-77.
- 赵英杰, 符成悦, 李维薇, 张立敏, 杜广祖, 陈斌, 李正跃, 2020. 异色瓢虫幼虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用. 植物保护, 46(1): 51-54.
- 朱峰, 胡阳, 龙育堂, 李鸿波, 吴石平, 何永福, 2019. 低容量喷雾器械对草地贪夜蛾防治效果研究. 现代农药, 18(5): 47-52.
- 朱凯辉, 周金成, 张柱亭, 何康来, 张礼生, 董辉, 2020. 短管赤眼蜂和夜蛾黑卵蜂防治草地贪夜蛾田间竞争的初步评价. 植物保护, 46(2): 267-271.
- DAY R, ABRAHAMS P, BATEMAN M, BEALE T, CLOTTEY V, COCK M, COLMENAREZ Y, CORNIANI N, EARLY R, GODWIN J, GOMEZ J, MORENO P G, MURPHY S T, OPPONG-MENSAH B, PHIRI N, PRATT C, 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28: 196-201.
- DEQUECH S T B, CAMERA C, STURZA V S, RIBEIRO L D P, QUERINO R B, PONCIO S, AUTHORS A, 2013. Population fluctuation of *Spodoptera frugiperda* eggs and natural parasitism by *Trichogramma* in maize. *Acta Scientiarum*, 35(3): 296-300.
- FAO, 2019. Briefing note on FAO actions on fall armyworm. Rome, Italy: FAO.
- GOERGEN G, KUMAR P L, SANKUNG S B, TOGOLA A, TAMO M, 2016. 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. *PLoS ONE*, 11(10): e0165632.
- GUI F, LAN T M, ZHAO Y, GUO W, DONG Y, FANG D M, LIU H, LI H M, WANG H L, HAO R S, CHENG X F, LI Y H, YANG P C, SAHU S K, CHEN Y P, CHENG L, HE S Q, LIU P, FAN G Y, LU G H, HU G H, HU G H, DONG W, CHEN B, 2022. Genomic and transcriptomic analysis unveils population evolution and development of

- pesticide resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Protein Cell*, 13(7): 513–531.
- LI G P, FENG H Q, JI T J, HUANG J R, TIAN C H, 2021. What type of Bt corn is suitable for a region with diverse lepidopteran pests: a laboratory evaluation. *GM Crops Food*, 12(1): 115–124.
- LI Y X, MAO M Z, LI Y M, XIONG L X, LI Z M, XU J Y, 2011. Modulations of high-voltage activated Ca²⁺ channels in the central neurones of *Spodoptera exigua* by chlorantraniliprole. *Physiological Entomology*, 36(3): 230–234.
- LIANG J G, ZHANG D D, LI D Y, ZHAO S Y, WANG C Y, XIAO Y T, XU D, YANG Y Z, LI G P, WANG L L, GAO Y, YANG X Q, YUAN H B, LIU J, ZHANG X J, WU K M, 2021. Expression profiles of Cry1Ab protein and its insecticidal efficacy against the invasive fall armyworm for Chinese domestic GM maize DBN9936. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 792–803.
- MIDEGA C A O, PITTCCHAR J O, PICKETT J A, 2018. A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), in maize in East Africa. *Crop Protection*, 105: 10–15.
- MOLINA-OCHOA J, CARPENTER J E, HEINRICHS E A, FOSTER J E, 2003. Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin; an inventory. *An Inventory Florida Entomologist*, 86(3): 254–289.
- MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, ROQUESPECHT V F, SOUSA-SILVA J C, 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300.
- POMARI A F, BUENO A, BUENO R C O, OLIVEIRAS MENEZES JUNIOR A, 2013. Releasing number of *Telenomus remus* (Nixon) (Hymenoptera: Platygasteridae) against *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in corn, cotton and soybean. *Ciencia Rural*, 43(3): 377–383.
- PRASANNA B M, HUESING J E, EDDY R, PESCHKE V M, 2018. Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management. Mexico: International Maize and Wheat Improvement Center.
- SHYLESHA A N, JALALI S K, GUPTA A, VARSHNEY R, VENKATESAN T, SHETTY P, OJHA R, GANIGER P C, NAVIK O, SUBAHARAN K, 2018. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. *Journal of Biological Control*, 32(3): 145–151.
- SILVA R B, CRUZ I, PENTEADO-DIAS A M, 2014. First report of *Dolichozele koebelei* Viereck, 1911 (Hymenoptera: Braconidae) on larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize (*Zea mays* L.) under different cropping systems. *Brazilian Journal of Biology*, 74(3 Suppl 1): S218.
- SUN X X, HU C X, JIA H R, WU Q L, SHEN X J, ZHAO S Y, JIANG Y Y, WU K M, 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 664–672.
- TUMLINSON J H, MITCHELL E R, TEAL P E, HEATH R R, MENGELKOCH L J, 1986. Sex pheromone of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith): identification of components critical to attraction in the field. *Journal of Chemical Ecology*, 12(9): 1909–1926.
- WAN J, HUANG C, LI C Y, ZHOU H X, REN Y L, LI Z Y, XING L S, ZHANG B, QIAO X, LIU B, LIU C H, XI Y, LIU W X, WANG W K, QIAN W Q, WAN F H, 2021. Biology, invasion and management of the agricultural invader: fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 646–663.
- YANG X M, ZHAO S Y, LIU B, GAO Y, HU C X, LI W J, YANG Y Z, LI G P, WANG L L, YANG X Q, YUAN H B, LIU J, LIU D Z, SHEN X J, LU Y H, WU K M, 2022. Bt maize can provide non-chemical pest control and enhance food safety in China. *Plant Biotechnology*; 7. DOI: 10.1111/pbi.13960.

(责任编辑:郭莹)