

◆ 综述与专论 ◆

国内草地贪夜蛾发生、为害及防治现状

谭心阳,赵海婷,曹美伦,徐刚,冯建国*,杨国庆*

(扬州大学 植物保护学院,江苏扬州 225009)

摘要:草地贪夜蛾原发生于美洲地区,具有迁飞性、适生性和繁殖力强等特点。其近两年来入侵我国,在部分地区发生量大,发生面积广,危害性大,给我国维持正常的农业生产活动带来了极大挑战。目前,国内对草地贪夜蛾防控技术的研究和应用尚不成熟,仍采用以化学农药为主的防治思路。然而,随着化学农药的大规模使用,草地贪夜蛾的抗药性有所增加,防控难度逐步加大,因此开展高效、安全的绿色防控十分必要。鉴于国内草地贪夜蛾发生危害情况多变以及防控政策、体系及措施尚不完整,本文从草地贪夜蛾生物学特性和国内发生与为害现状入手,总结了目前使用的监测预防、理化诱控、农业防治、生物防治和化学防治等措施,重点综述了草地贪夜蛾防治药剂和抗性发展现状,最后从化学防治、抗性治理和分子生物学方面给出了一定的绿色防控建议,为我国更好地进行草地贪夜蛾综合防控提供参考。

关键词:草地贪夜蛾;发生与为害;防控措施;玉米

中图分类号:S 433 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2022.05.003

The Occurrence, Damage and Control Status of *Spodoptera frugiperda* in China

TAN Xinyang, ZHAO Haiting, CAO Meilun, XU Gang, FENG Jianguo*, YANG Guoqing*

(College of Plant Protection, Yangzhou University, Jiangsu Yangzhou 225009, China)

Abstract: *Spodoptera frugiperda* originates from the Americas with migratory ability, high adaptability and fecundity. Over the past two years, it has invaded China and shown high occurrence in some regions, wide coverage and large damage, which in turn causes great challenges to maintain normal agricultural production activities in China. At present, the research and application of the prevention and control technology for *S. frugiperda* in China is still underdeveloped, and the control measures still depend on chemical pesticides. However, with the massive use of chemical pesticides, the resistance of *S. frugiperda* has increased, and the difficulty of prevention has gradually increased as well. Therefore, it is necessary to carry out efficient and safe green prevention and control. In view of the changing situation of the *S. frugiperda* occurrence in China and the incomplete prevention and control policies, systems and measures, this paper summarized the monitoring and prevention measures, physical and chemical control measures, agricultural control, biological control and chemical control measures, and focused on the development status of the control agents and resistance of the *S. frugiperda*. Finally, some suggestions on green prevention and control from the aspects of chemical control, resistance management and molecular biology were given to provide reference for the comprehensive prevention and control of the *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; occurrence and damage; control measures; corn

草地贪夜蛾 [*Spodoptera frugiperda* (J.E.smith)]
属鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae), 又称草

地夜蛾、秋黏虫和伪黏虫等。草地贪夜蛾为完全变态发育,生活史可分为卵、幼虫、蛹和成虫4个阶段。

收稿日期:2022-04-18

基金项目:江苏省科技计划项目 (BE2020349)

作者简介:谭心阳 (2001—),男,江苏南京人,本科,研究方向为农药剂型加工原理与使用技术。E-mail:1319545593@qq.com

通信作者:冯建国 (1983—),男,山西大同人,博士,副教授,主要从事农药纳米剂型的研究与开发。E-mail:jgfeng@yzu.edu.cn

共同通信作者:杨国庆 (1978—),男,江苏南京人,博士,教授,主要从事外来生物入侵研究。E-mail:gqyang@yzu.edu.cn

其卵多在叶片表面聚集成卵块;幼虫最明显的识别特征为其腹末端有呈正方形排列的4个黑斑;蛹呈椭圆形和红棕色;成虫雌雄外观不一,区别在于雌虫前翅呈环状和肾状条纹,雄虫前翅具有白色大斑点。

草地贪夜蛾于2019年初入侵云南,在我国西南部形成了高风险入侵地区。2021年草地贪夜蛾已在全国多个省份均有发生,西南和华南地区受虫害严重,全国见虫面积达266.7万 hm^2 ^[1]。草地贪夜蛾幼虫取食为害农作物的叶鞘、心叶等生长点,对玉米和水稻产生的危害非常明显,若不采取防控措施,玉米平均减产率可达20%~40%,虫量大的地区甚至可减产70%以上^[2]。近年来,植保工作者对该物种的发生与防治进行了大量研究,在化学防治和生物防治等方面取得了重大进展。本文先就草地贪夜蛾的生物学特性和发生与为害进行叙述,继而对监测预防、理化诱控、农业防治、生物防治和化学防治方面进行综述,再而论述了草地贪夜蛾防治药剂、抗性发展现状以及可参考的施药技术,最后从化学防治、抗性治理和分子生物学方面给出一些绿色防控的建议。

1 生物学特性

1.1 食性广泛和生态多型

草地贪夜蛾为多食性害虫,喜玉米、水稻、大麦和高粱等禾本科植物,主要为害玉米和水稻。其具有生态多型性,目前正在发生同域种化,逐渐分化为玉米品系和水稻品系。前者主要为害玉米、高粱和棉花,后者主要为害水稻和牧草。2种品系在外部形态方面基本相同,但基因组成存在差异,可以通过线粒体细胞色素氧化酶 I 基因中的多态性区分^[3]。

1.2 适生性和繁殖力强

草地贪夜蛾对温度变化的适应能力较强,气候小幅或中幅变化对其生存率影响较小,适宜的生长发育温度范围为11~30℃,无滞育,在最适温度(约28℃)和湿度条件下,约30 d即可完成一个世代^[4]。雌成虫一生中可多次交配,寿命可维持2~3周,能产下约1 500颗卵。在最适发育温度下,卵在3 d左右就能够孵化出幼虫,发育速度会随温度升高而明显加快,一年可繁殖数代。

1.3 生境广泛和扩散力强

草地贪夜蛾原产于美洲热带地区^[5],其成虫可借助顺风在几百米高空进行远距离定向迁飞,每晚

可飞行约100 km^[6]。资料显示,2019年1月,我国云南省首次发现草地贪夜蛾入侵^[7],广东、湖南、贵州、广西等地于3月陆续发现该物种。4月下旬至5月初,在江苏、福建、四川、重庆、湖北、河南、陕西和江西等省份均发现该物种为害^[8],可见其迁飞能力较强。草地贪夜蛾在我国适生生境广泛,由于我国玉米种植布局由南向北随季节和纬度变化,在时间和空间上互补,导致草地贪夜蛾在我国拥有充足的食物资源和广泛的生境^[9]。

1.4 其他

草地贪夜蛾幼虫还存在同类相食的行为,造成其适生广泛性降低,表现为发育速度减缓、蛹的质量下降,个体生存率降低^[10]。

2 发生与为害

草地贪夜蛾于2019年1月入侵云南,经过一年就已扩散蔓延到我国西南、华南、江南、长江中下游、黄淮、西北和华北地区,2020年在玉米上发生面积为134.6万 hm^2 ,同2019年相比增加11.6%^[11]。当前入侵我国的草地贪夜蛾为“玉米型”,而我国为玉米生产大国,包括华北平原地区、东北三省和西南地区等三大玉米种植区,因此,玉米的密集种植区完全被草地贪夜蛾的潜在分布所覆盖^[12]。其中,黄淮海平原夏播玉米区和华北平原春玉米区属于草地贪夜蛾的高风险区,其次为西南密集种植区和东北三省,以上地区需要重点防范;西北灌溉玉米区和南方丘陵玉米区受草地贪夜蛾的影响相对较小。“玉米型”草地贪夜蛾在玉米苗期、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、开花抽丝期以及成熟期各个阶段均可受害,尤其喜爱取食大喇叭口期玉米^[13]。其幼虫聚集取食叶片,并留有大量孔,叶片形成半透明薄膜“窗孔”;幼虫还钻蛀为害心叶、茎秆、雄蕊、花丝、果穗,取食花蕾和生长点;幼虫聚集以切根、切茎方式钻蛀为害,从而导致植株死亡。此外,应当关注草地贪夜蛾对非玉米类农作物的影响。草地贪夜蛾为害水稻,表现为幼虫在秧苗中、下部取食叶片,造成叶片缺刻或落叶,受害严重的秧苗出现断秆现象。草地贪夜蛾为害甘蔗,表现为取食甘蔗苗的叶片、生长点和茎基部,低龄幼虫在小苗心叶中取食叶肉,高龄幼虫咬断甘蔗苗生长点形成断苗,啃食甘蔗叶形成缺刻或孔洞。草地贪夜蛾为害小麦,表现为低龄幼虫取食为害叶片和心叶,高龄幼虫向下移动至中部叶片、叶鞘和近地表面的分蘖着生处,与地下害虫的为害特征相似。

3 防治措施

3.1 监测预防

监测预防是防治害虫的重要手段之一。在当前我国虫情灾害频发的环境下,传统测报手段已经很难适应病虫害防控工作要求。吴孔明院士团队^[14]指出,我国应当构建一个现代化的迁移性昆虫监测预警体系。该体系中需要3类设备:一是到达500 m 高度的高空灯,用于高空诱集迁飞昆虫;二是垂直的高精准雷达和扫描雷达,获取昆虫活动参数,如迁移速度和高度,用于建立迁飞模型;三是构建迁徙轨迹预测模型,用于预警迁飞昆虫降落区域。做好源头管控是监测预防的核心,首先应当在源头使用一些绿色防控技术将虫源数量控制到最低,如雷达监测、灯诱测报、性诱测报、卵巢解剖和田间调查等;其次,成虫起飞后实行空中监测和高空拦截,使其到达目的地后数量减少,从而形成虫源地-迁飞路径-目的地和地面-空中的综合防控体系。

3.2 农业防治

农业防治是通过改变耕作栽培方式、选用抗虫品种和加强栽培管理等措施来减轻害虫发生的防治手段。

栽培方式。选择合理的栽培方式,如将禾本科作物和非禾本科作物套种等。研究表明^[15],将玉米和豆科作物套种,同时田边种植有益杂草,草地贪夜蛾幼虫口密度可下降82.7%,玉米产量可提高2.7倍,且这种模式在整个玉米生长阶段均可以减少草地贪夜蛾幼虫的危害。

选种育种。选种育种和培育抗性品种,以提高作物本身的抗虫、抗病能力。张丹丹等^[16]测定了Bt-Cry1Ab和Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa) 2种转基因玉米对草地贪夜蛾的抗虫效果。结果表明,Bt玉米具有很高的抗虫水平,对草地贪夜蛾幼虫的控制率高达90%,且存活幼虫的生长也受到了明显抑制。

田间管理。加强田间管理,合理施肥。草地贪夜蛾喜氮肥,过量施用氮肥则有利于草地贪夜蛾取食为害作物,且该物种在发育速度、发育质量、蛹重和产卵量等方面均有不同程度的提升^[17],因此要遵循科学的配方施肥,不要过量施用氮肥。

3.3 理化诱控

理化诱控是在害虫成虫集中迁入和大量发生期,利用成虫的趋化性和趋光性,使用性引诱剂、杀虫灯以及食物引诱剂等进行诱杀和虫情监测。通过结合灯引诱和性引诱,我们可以在短时间内预测草

地贪夜蛾的发生情况,及时采取应对措施,适时有药。研究表明^[18-19],草地贪夜蛾的趋光性远差于其他夜蛾科害虫,因此灯光诱杀方法效果不强,但测报灯可有效用于具有一定种群密度害虫的发生监测,正确使用高空杀虫灯也可有效减少田间产卵量^[20]。

性诱是利用雌成虫释放的性信息素对雄成虫的发生动态进行监测。草地贪夜蛾的性信息素主要由(Z)-9-十四碳烯-1-醇乙酸酯(Z9-14:OAc)、(Z)-11-十六碳烯-1-醇乙酸酯(Z11-16:OAc)、(Z)-7-十二碳烯-1-醇乙酸酯(Z7-12:OAc)和(Z)-9-十二碳烯-1-醇乙酸酯(Z9-12:OAc)等构成^[21-23]。由于灵敏度高,性诱可用于早期低虫口密度下的预测预报。当种群密度增大时,在田边、地脚、杂草分布处放置性诱捕器,可诱杀成虫、干扰成虫交配。张景欣等^[24]研究了性信息素诱捕对玉米草地贪夜蛾的实际田间控害效果。结果表明,性信息素诱捕处理后,3个调查时段内相对虫口减退率分别为42.86%、88.24%和73.08%。此外,杨凌翔林农业生物科技有限公司在国内登记了第1个生物化学类草地贪夜蛾信息素产品,有效成分包括顺-7-十二碳烯乙酸酯,顺-9-十四碳烯乙酸酯和顺-11-十六碳烯乙酸酯等,主要通过挥散芯和诱捕器配套使用,可诱捕其雄虫。该产品采用1~3个/667 m²制剂量悬挂防治玉米型草地贪夜蛾,一般在成虫扬飞前使用^[25]。

3.4 生物防治

生物防治是指使用特殊的生物及其代谢产物来控制害虫,分为天敌昆虫防治和生物农药防治,其中天敌防治包括捕食性天敌和寄生性天敌。害虫生物防治对人畜安全,对环境友好,但速效性差,易受地域和气候条件的影响。

3.4.1 引入天敌昆虫

草地贪夜蛾的天敌分为寄生性和捕食性天敌,寄生性天敌又包括寄生蜂和寄生蝇,我国已鉴定并记录的草地贪夜蛾寄生蜂有16种,寄生蝇有66种^[26],详见表1。

表1 我国已记录的草地贪夜蛾的寄生蜂和寄生蝇

寄生蜂		寄生蝇	
所属科	种数	所属科	种数
姬蜂科	4	寄蝇科	58
姬小蜂科	2	麻蝇科	6
茧蜂科	7	蜂虻科	1
赤眼蜂科	2	蚤蝇科	1
广腹细蜂科	1		

草地贪夜蛾的捕食性天敌有44种,12科。其中,瓢甲科、步甲科、螋科对草地贪夜蛾的应用较多,详见表2。

表 2 草地贪夜蛾的捕食性天敌

目	科	种数
半翅目	螋科	7
	猎螋科	5
	花螋科	2
	长螋科	2
	姬螋科	2
鞘翅目	瓢甲科	7
	步甲科	5
革翅目	蠼螋科	6
	肥蠼螋科	1
脉翅目	草蛉科	4
膜翅目	蚁科	2
	胡蜂科	1

3.4.2 使用生物源杀虫剂

防治害虫的生物源杀虫剂包括微生物源杀虫

剂和植物源杀虫剂。农业农村部在《2021年草地贪夜蛾防控技术方案》中发布了防治草地贪夜蛾的生物农药,其中包括金龟子绿僵菌、苏云金杆菌、球孢白僵菌和甘蓝夜蛾核型多角体病毒等。此外,中国农药信息网也登记了用于草地贪夜蛾防治的生物源杀虫剂,详见表3。

微生物源杀虫剂。微生物源杀虫剂是指以细菌、真菌、病毒和原生动物或基因修饰过的微生物为有效成分的杀虫剂。刘华梅等^[27]选取了9种Bt菌株对草地贪夜蛾进行室内毒力测定,结果发现毒力最高的3个菌株为KN50、KN11和KNR8,LC₅₀值分别为0.07、0.23和0.43 μg/g,表现出显著的致死效果。汤云霞等^[28]测定了7种生物源农药对玉米田草地贪夜蛾的防效,其中,60 g/L乙基多杀菌素悬浮剂处理组药后1 d的虫口减退率为93.1%,药后14 d的虫口减退率为86.3%;30亿PIB/mL甘蓝夜蛾NPV悬浮剂处理组药后1 d的虫口减退率为84.6%,药后14 d的虫口减退率为78.9%,2种药剂对玉米田草地贪夜蛾均具有较好的速效性和持效性。

表 3 中国农药信息网登记的防治草地贪夜蛾的生物源杀虫剂

有效成分	剂型	有效成分含量	登记证持有人
球孢白僵菌	可分散油悬浮剂	100亿孢子/g	山西绿海农药科技有限公司
球孢白僵菌	可分散油悬浮剂	200亿孢子/g	云南绿戎生物产业开发股份有限公司
球孢白僵菌	可分散油悬浮剂	200亿孢子/g	山东惠民中联生物科技有限公司
球孢白僵菌	悬浮剂	150亿孢子/g	广西宾德利生物科技有限公司
球孢白僵菌	可湿性粉剂	300亿孢子/g	山西绿海农药科技有限公司
球孢白僵菌	可湿性粉剂	400亿孢子/g	吉林省八达农药有限公司
苏云金杆菌	悬浮剂	8 000 IU/μL	武汉科诺生物科技股份有限公司
苏云金杆菌	可湿性粉剂	32 000 IU/mg	武汉科诺生物科技股份有限公司
苏云金杆菌G033A	可湿性粉剂	32 000 IU/mg	武汉科诺生物科技股份有限公司
苏云金杆菌	可湿性粉剂	32 000 IU/mg	山东鲁抗生物农药有限责任公司
金龟子绿僵菌	油悬浮剂	100亿孢子/mL	重庆重大生物科技发展有限公司
金龟子绿僵菌CQMa421	可分散油悬浮剂	80亿孢子/mL	重庆聚立信生物工程有限公司
乙基多杀菌素	水分散粒剂	25%	科迪华农业科技有限责任公司
甘蓝夜蛾核型多角体病毒	悬浮剂	20亿PIB/mL	江西新龙生物科技股份有限公司
斜纹夜蛾核型多角体病毒	悬浮剂	10亿PIB/mL	湖南泽丰农化有限公司
苦参·印楝素	乳油	1%	云南绿戎生物产业开发股份有限公司

核型多角体病毒对草地贪夜蛾也具有较好的防效。病毒多角体通过害虫取食而进入中肠,在碱性环境中溶解释放感染性病毒粒子,并迅速复制,导致幼虫死亡^[29]。苏湘宁等^[30]试验表明,螟黄赤眼蜂+蠼螋+甘蓝夜蛾核型多角体病毒和螟黄赤眼蜂+甘蓝夜蛾核型多角体病毒的防效较好,14 d的虫口减退率高达83.35%和81.31%,防效不仅高于单一释放螟黄赤眼蜂,持效性也高于氯虫苯甲酰胺

(处理后14 d虫口减退率为78.51%)。李永平等^[31]在筛选草地贪夜蛾防治药剂时,发现甘蓝夜蛾核多角体病毒在3~14 d的防效在79.93%~87.89%。张海波等^[32]研究发现甘蓝夜蛾和甜菜夜蛾核多角体病毒对草地贪夜蛾有很好的防效。金龟子绿僵菌是广谱性的杀虫真菌剂,通过粘附在昆虫体表,产生附着孢穿透虫体,并在昆虫体内发育导致昆虫死亡。耿协洲等^[33]试验发现每667 m²施用4.0 g氯虫苯甲酰胺+30

mL绿僵菌或5.5 g氯虫苯甲酰胺+15 mL绿僵菌与单独施用6.0 g氯虫苯甲酰胺的速效性和持效性相当。结果表明,两者搭配施用可减少化学农药使用量的同时,增强了药剂对环境的安全性。

植物源杀虫剂。植物源杀虫剂是指来源于楝科、卫矛科、柏科、瑞香科、豆科、菊科等植物中的有机物质,主要包括生物碱、糖苷、有机酸、酯、酮、萜等物质。赵胜园等^[34]研究表明,0.5%苦参碱水剂、6%鱼藤酮微乳剂和0.3%印楝素乳油对草地贪夜蛾的防效不明显,但苦楝油对4日龄到6日龄草地贪夜蛾幼虫致死率可分别达到80%^[35]。目前,针对草地贪夜蛾防治的植物源药剂主要涉及除虫菊素、鱼藤酮等,详见表4^[36]。然而,中国农药信息网登记的防治草地贪夜蛾的植物源杀虫剂有0.3%、0.5%印楝素乳油、1%苦参·印楝素乳油。

表 4 常见防治草地贪夜蛾的植物源药剂

有效成分	剂型	有效成分含量
印楝素	乳油	0.3%
苦参碱	水剂	0.5%
苦皮藤素	乳油	1%
鱼藤酮	微乳剂	6%
藜芦碱	乳油	0.5%
除虫菊素	水乳剂	1.5%

3.5 化学防治

尽管监测预防、农业防治和生物防治等措施对控制草地贪夜蛾的虫口密度起到了一定作用,但是当虫口密度较大,虫害大面积发生时,不得不使用化学防治。化学防治是利用化学杀虫剂控制或杀灭害虫,具有杀虫谱广,作用快,效果明显,使用方便以及不受地区和季节性局限等优点。

3.5.1 国内应用的主要防治药剂

农业农村部在《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》中发布了草地贪夜蛾防治的推荐药剂(单剂),详见表5。其中,复配药剂则是以甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和高效氯氟氰菊酯为主,详见表6。

3.5.2 常见化学杀虫剂的室内杀卵、杀幼虫活性

赵胜园等^[37]在室内采用浸叶法和浸卵法测定了21种常用商品化学杀虫剂对草地贪夜蛾的防效。结果表明,20%甲氰菊酯乳油、15%唑虫酰胺悬浮剂、25 g/L溴氰菊酯乳油、25 g/L高效氯氟氰菊酯乳油和20%呋虫胺悬浮剂对草地贪夜蛾卵具有较高的毒杀活性,校正孵化抑制率可达80%以上。1%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油、5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐

微乳剂、75%乙酰甲胺磷可溶性粉剂、6%乙基多杀菌素悬浮剂和20%甲氰菊酯乳油对草地贪夜蛾2龄幼虫具有较强的毒杀作用,校正死亡率超过90%。该研究结果可为生产上制定草地贪夜蛾化学防治用药方案提供技术指导。

表 5 推荐用于草地贪夜蛾防治的单剂

类型	药剂
有机磷类	敌百虫、毒死蜱、辛硫磷、乙酰甲胺磷
拟除虫菊酯类	氟氯氰菊酯、高效氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、甲氧菊酯
双酰胺类	四氯虫酰胺、氯虫苯甲酰胺
氨基甲酸酯类	硫双灭多威
氨基甲酸酯类	甲萘威、茚虫威
苯甲酰胺类	虱螨脲

表 6 推荐用于草地贪夜蛾防治的复配药剂

药剂名称	复配药剂名称
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	茚虫威、氟铃脲、高效氯氟氰菊酯、虱螨脲、虫酰肼
高效氯氟氰菊酯	氯虫苯甲酰胺、除虫脲、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐

3.5.3 复配药剂的防效

胡飞等^[38]室内毒力测定试验发现甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和氯虫苯甲酰胺按照质量比3:7进行复配具有明显的增效作用,药后3、14 d对草地贪夜蛾的防效分别达到88%和84%以上,速效性和持效性均较好。高庆远等^[39]室内毒力测定试验发现甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和四氯虫酰胺按照质量比7:3进行复配防治草地贪夜蛾2龄幼虫有增效作用。商瞰等^[40]室内毒力测定试验发现虱螨脲与茚虫威按照质量比1:5、2:5、1:10、1:15复配效果好,虱螨脲速效性好、持效性差,茚虫威速效性差,持效性好,二者复配优势互补,对草地贪夜蛾3龄幼虫均表现有明显的增效作用。宋洁蕾等^[41]采用浸叶法测定了10%甲维·茚虫威悬浮剂、12%甲维·氟酰胺微乳剂、34%乙多·甲氧虫悬浮剂、40%氯虫·噻虫嗪水分散粒剂、25%氯氟·噻虫胺悬浮剂、30%氟铃·茚虫威悬浮剂、33 g/L阿维·联苯菊乳油、40%联苯·噻虫啉悬浮剂和8%阿维·茚虫威水分散粒剂等9种复配药剂对草地贪夜蛾的室内毒杀效果。结果表明,10%甲维·茚虫威悬浮剂、12%甲维·氟酰胺微乳剂、34%乙多·甲氧虫悬浮剂和40%氯虫·噻虫嗪水分散粒剂毒力较高。

3.6 国外防治经验

3.6.1 防治药剂选择

20世纪80年代以前,美洲地区防治草地贪夜蛾

以有机磷类和氨基甲酸酯类杀虫剂为主^[42],随后拟除虫菊酯类杀虫剂得到广泛使用。20世纪90年代中后期,美洲地区使用苏云金杆菌杀虫蛋白的转基因玉米后,化学杀虫剂用量下降47.8%^[43]。近年来,除虫脲、虱螨脲、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素、茚虫威和氯虫苯甲酰胺等成为草地贪夜蛾防治的重要杀虫剂品种^[44]。

3.6.2 抗性治理

20世纪80年代中期,中、南美洲已发现草地贪夜蛾对辛硫磷、甲基对硫磷、敌百虫、灭多威和甲萘威等产生不同程度的抗性^[45]。2017年,Mota-sanchez等^[46]检测到了美洲地区草地贪夜蛾对拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯类、有机磷类及苏云金芽孢杆菌等29种杀虫剂产生抗性。此外,草地贪夜蛾对抗虫作物转基因Bt蛋白如Cry1A.105、Cry1F、Cry1Ab等也产生了不同程度的抗性^[47-49]。因此,参考国外相关文献报道,并结合国内抗性监测,开展抗性治理研究,这对我国草地贪夜蛾的防治具有重大意义。

3.6.3 施药技术创新

种子处理技术省时省力,可在作物苗期达到持续控制效果。20世纪60年代,美国即开始通过种子包衣防治大豆上的草地贪夜蛾。Thrash等^[42]研究发现,氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、克百威和硫双威对玉米种子进行包衣防治草地贪夜蛾具有较好效果。其中,氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺属于鱼尼丁受体抑制剂,发挥效果较慢。改善喷雾技术也有助于达到更好的防效。由于玉米冠层茂密,通过无人机飞防与地面施药机械相结合可以有效控制草地贪夜蛾的为害^[50]。此外,使用静电喷雾在施药量为常规喷雾一半时就可以达到相同防效^[51]。

4 总结与建议

4.1 化学防治

草地贪夜蛾防治应以监测预防为主,农业防治为根本,化学防治为核心,辅以必要的诱控和生物防治。目前,国内登记用于草地贪夜蛾的化学防治药剂只有200 g/L氯虫苯甲酰胺悬浮剂、5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂、50 g/L虱螨脲乳油、48%溴氰虫酰胺种子处理悬浮剂和40%溴酰·噻虫嗪种子处理悬浮剂,因此,研究开发绿色、高效的防治药剂、剂型和使用技术十分必要。

(1) 创制杀虫剂新品种

通过开展草地贪夜蛾幼虫生理学和生物化学的研究,结合其生长发育规律,在现有杀虫剂结构

的基础上,创制高效、低毒和低残留的杀虫剂新品种。

(2) 改良现有使用剂型

缓控释技术使用物理、化学手段有效保护和缓慢释放农药活性成分,一方面减少了环境中光、空气、水和微生物对活性成分的破坏;另一方面实现活性成分在时间和空间上的可控释放^[52]。纳米农药是通过功能材料和纳米技术,使农药有效成分以纳米尺度状态稳定存在于分散体系中。孟旭^[53]研究了纳米银对草地贪夜蛾的影响。结果表明,添加草地贪夜蛾Sf9细胞中的AgNPs浓度越高,Sf9细胞的死亡情况越严重。孙明明^[54]比较了40%甲氧·茚虫威悬浮剂和10%纳米虫螨脲的田间防效。结果表明,10%纳米虫螨脲(3 d防效91.6%,20 d防效96.8%) 在速效性和持效性方面都优于40%甲氧·茚虫威悬浮剂。

(3) 发展新施药技术

借鉴上述国外防治经验中种子处理、施药技术优化、提高作物抗虫性以及农药的减施增效。其中,植保无人机施药具有高效、精准等优点,可以在害虫爆发初期快速作业,从而弥补劳动力短缺的问题。例如,在海南草地贪夜蛾周年繁殖地区,航空施药防效高于人工喷雾处理,且防控成本较低^[55]。

4.2 抗性治理

草地贪夜蛾对杀虫剂抗性的形成与其解毒酶活性的增强和靶标敏感性降低有关,同时靶标受体突变往往会导致高水平的抗性。长期大量、不合理使用单一杀虫剂会引起草地贪夜蛾的抗药性,必然会导致用药量和用药次数增加以及环境污染加重等问题^[56]。国内研究者发现草地贪夜蛾已对甲维盐和氯虫苯甲酰胺产生了不同程度的抗药性^[57]。因此,延缓草地贪夜蛾抗药性发展需要注意以下问题:(1) 及时进行抗药性监测,基于草地贪夜蛾的抗性遗传机制所决定的等位基因频率变化,探究其抗药性的快速监测方法,如聚合酶链式反应(PCR)的等位基因型和基因频率鉴定方法等^[58]。(2) 注意交替用药和药剂复配,避免连续使用作用机制相同或相似的杀虫剂。

4.3 分子生物学方面

通过分析草地贪夜蛾不同基因的功能,研究其遗传及生理生化调控机理,为草地贪夜蛾的生物技术防治方法的开发应用提供帮助。第一,草地贪夜蛾自身的基因编辑,如通过CRISPR/Cas9或dsRNA递送等方法的基因敲除导致草地贪夜蛾发育异常

或产生胚胎致死效应,为草地贪夜蛾防治筛选潜在的靶标基因^[59]。第二,分析草地贪夜蛾在不同环境(温度、杀虫剂等)胁迫下的敏感性及其规律,进一步对草地贪夜蛾中的差异基因和代谢通路进行研究,探索草地贪夜蛾中应对环境胁迫的关键影响因子。第三,抗草地贪夜蛾转基因作物的开发和应用。转基因Bt玉米虽然在国内已有许多研究报道,但是随着大面积推广种植,抗性也日益凸显。国内研究者可通过基因调控(基因诱变、基因组合等)手段,开发新型杀虫蛋白,提高有效蛋白的表达,避免和延缓害虫抗性发展。第四,效仿橘小实蝇和蚊虫的雄性不育技术,建立遗传雄性不育草地贪夜蛾品系并在田间释放,通过交配不育减少田间草地贪夜蛾的种群数量^[60]。

5 展 望

当前,草地贪夜蛾已在我国多地发生并为害,受到政府和农户的重点关注。今后,草地贪夜蛾的防控政策应当首先以生态文明思想为指导,充分认识防控外来入侵物种对于生态环境的重要性,树立正确的防控指导思想;其次,以生物安全法的立法为契机,明确造成外来物种入侵行为的法律责任条款,建立健全防控法律体系;再者,加强草地贪夜蛾的监测预警,建立发生动态模型,做好提前防范,开展综合治理。防治技术也应当在了解草地贪夜蛾形态特征基础上,以其生物学特性为根据,以“绿色安全,持续发展”为前提,由政府主导,各属地因地制宜管控,做好区域协调、联防联控,坚持“预防为主,综合防控”的理念,贯彻“农药减量化使用”的方针,各种手段多管齐下,优势互补。

参考文献

- [1] 刘杰,姜玉英,黄冲,等. 2021年全国粮食作物重大病虫害发生趋势预报[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(1): 37-39; 42.
- [2] 王芹芹,崔丽,王立,等. 草地贪夜蛾防控技术进展及我国对策建议[J]. 现代农药, 2020, 19(3): 1-6.
- [3] NAGOSHI R N, PIERRE S, MEAGHER R L, et al. Identification and comparison of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains in Brazil, Texas, and Florida[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2007, 100(3): 394-402.
- [4] 李定银,郭晓关,谈孝凤,等. 草地贪夜蛾在贵州省黔西南州的发生情况以及对不同环境的适应性[J]. 南方农业学报, 2021, 52(3): 611-618.
- [5] 任龙,沈明鹤,王溪竹,等. 转基因玉米防治草地贪夜蛾应用进展[J]. 现代农药, 2020, 19(2): 12-15.
- [6] 王翔. 草地贪夜蛾对我国农业生产潜在影响程度的分析[J]. 中国

- 农业资源与规划, 2021, 42(4): 229-236.
- [7] 陈辉,杨学礼,谌爱东,等. 我国最早发现为害地草地贪夜蛾的入侵时间及其虫源分布[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(6): 1270-1278.
- [8] 陈辉,武明飞,刘杰,等. 我国草地贪夜蛾迁飞路径及其发生区划[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 747-757.
- [9] 吴秋琳. 入侵害虫草地贪夜蛾在中国迁飞路径的模拟分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [10] 杨云,金容,夏清清,等. 草地贪夜蛾同类相食特性研究[J]. 现代农业科技, 2022(8): 85-88.
- [11] 郭井菲,张永军,王振营. 中国应对草地贪夜蛾入侵研究的主要进展[J]. 植物保护, 2022, 48(4): 79-87.
- [12] 韩欣悦,朱耿平,门永亮,等. 基于集合模型的草地贪夜蛾的潜在分布预测[J]. 生物安全学报, 2021, 30(1): 65-71.
- [13] 林丹敏,黄德超,邵屯,等. 不同生育期玉米上草地贪夜蛾的发生为害规律[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(6): 1291-1297.
- [14] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 1-5.
- [15] CHARLES A O M, JIMMY O P, JOHN A P, et al. A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), in maize in East Africa[J]. Crop Protection, 2018, 105: 10-15.
- [16] 张丹丹,吴孔明. 国产Bt-Cry1Ab和Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)玉米对草地贪夜蛾的抗性测定[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 54-60.
- [17] 程丽丽. 草地贪夜蛾生物习性及防控技术[J]. 大田作物, 2021, 5: 58-59.
- [18] LIU Y J, ZHANG D D, YANG L Y, et al. Analysis of phototactic responses in *Spodoptera frugiperda* using *Helicoverpa armigera* as control[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(3): 821-828.
- [19] 姜玉英,刘杰,杨俊杰,等. 2019年草地贪夜蛾灯诱监测应用效果[J]. 植物保护, 2020, 46(3): 118-122.
- [20] 孙明明,吕国强,冯贺奎,等. 河南省不同测报工具对草地贪夜蛾成虫诱集效果初探[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(7): 51-54.
- [21] GROOT A, MARR M, SCHÖFL G, et al. Host strain specific sex pheromone variation in *Spodoptera frugiperda* [J]. Frontiers in Zoology, 2008, 5(1): 20.
- [22] ERALDO R L, JEREMY N M. Female sex pheromones in the host races and hybrids of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Chemoecology, 2009, 19(1): 29-36.
- [23] MELANIE U, SABINE H, ROBERT L M, et al. Pheromonal divergence between two strains of *Spodoptera frugiperda* [J]. Journal of Chemical Ecology, 2013, 39(3): 364-376.
- [24] 张景欣,钟国浩,刘平平,等. 性信息素诱捕对玉米草地贪夜蛾的田间控害效果[J]. 南方农业学报, 2021, 52(3): 596-602.
- [25] 白小宁,王以燕,赵安楠,等. 2021年我国登记的新农药[J]. 农药, 2022, 61(3): 157-162.
- [26] 刘瑞涵. 天敌昆虫防治草地贪夜蛾的研究进展[J]. 农业科学, 2021, 41(8): 33-35.

- [27] 刘华梅, 胡斌, 王应龙, 等. 对草地贪夜蛾高毒力的苏云金杆菌菌株筛选[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 721-728.
- [28] 汤云霞, 桑芝萍, 赵健, 等. 沿海地区7种生物农药防治玉米草地贪夜蛾的药效试验[J]. 上海农业科技, 2021(3): 111-112; 114.
- [29] 孟庆峰, 刘晓勇. 杆状病毒与昆虫宿主相互作用的研究进展[J]. 昆虫学报, 2013, 56(8): 925-933.
- [30] 苏湘宁, 章玉苹, 黄少华, 等. 基于性信息素诱捕的广东草地贪夜蛾发生动态及多生物防治因子组合对其控制效果评价[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(6): 1330-1337.
- [31] 李永平, 郭永旺. 24种药剂防治草地贪夜蛾筛选试验[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(9): 85-89.
- [32] 张海波, 王凤良, 陈永明, 等. 核型多角体病毒对玉米草地贪夜蛾的控制作用研究[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 254-260.
- [33] 耿协洲, 许爱琼, 谢龙, 等. 金龟子绿僵菌防治玉米草地贪夜蛾田间药效试验[J]. 湖北植保, 2021(1): 12-13.
- [34] 赵胜园, 杨现明, 孙小旭, 等. 常用生物农药对草地贪夜蛾的室内防效[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 21-26.
- [35] WAGNER S T, MARIANA A C, IVAN C, et al. Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae)[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 2010, 45(6): 557-561.
- [36] 葛阳, 孙嘉惠, 王铁霖, 等. 药源植物在草地贪夜蛾防控中的应用研究进展[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 706-718.
- [37] 赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 10-14.
- [38] 胡飞, 苏贤岩, 胡本进, 等. 甲维盐·氯虫苯甲酰胺组合物对草地贪夜蛾室内毒力测定及田间防治效果[J]. 植物保护, 2020, 46(3): 303-307.
- [39] 高庆远, 杨石有, 张贝贝. 甲维盐与四氯虫酰胺复配剂对草地贪夜蛾的室内生物活性及田间防效[J]. 农药, 2021, 60(4): 306-309.
- [40] 商瞰, 刘英, 杨茂发, 等. 虫螨腈和茚虫威及其混配对草地贪夜蛾的室内毒力测定[J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(3): 69-73.
- [41] 宋洁蕾, 李艳丽, 李亚红, 等. 不同杀虫剂对草地贪夜蛾的室内毒杀效果及毒力测定[J]. 南方农业学报, 2019, 50(7): 1489-1495.
- [42] THRASH B, ADAMCZYK J J, LORENZ G, et al. Laboratory evaluations of lepidopteran-active soybean seed treatments on survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Larvae[J]. Florida Entomologist, 2013, 96(3): 724-728.
- [43] BROOKES G, BARFOOT P. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996—2015: impacts on pesticide use and carbon emissions[J]. GM Crops Food, 2017, 8(2): 117-147.
- [44] GUI F R, LAN T M, ZHAO Y, et al. Genomic and transcriptomic analysis unveils population evolution and development of pesticide resistance in fall armyworm[J]. Protein and Cell, 2020, 13(7): 513-531.
- [45] ARIAS O, CORDEIRO E, CORREA A S, et al. Population genetic structure and demographic history of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): implications for insect resistance management programs[J]. Pest Management Science, 2019, 75(11): 2948-2957.
- [46] YANG F, WILLIAMS J, PORTER P, et al. F-2 screen for resistance to bacillus thuringiensis Vip3Aa51 protein in field populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from Texas, USA [J]. Crop Protection, 2019, 126: 104915.
- [47] HUANG F N, QURESHI J A, MEAGHER R L, et al. Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize[J]. PLoS ONE, 2014, 9(11): e112958.
- [48] HUANG F N, QURESHI J A, HEADG P, et al. Frequency of *Bacillus thuringiensis* Cry1A. 105 resistance alleles in field populations of the fall army worm, *Spodoptera frugiperda*, in Louisiana and Florida[J]. Crop Protection, 2016(83): 83-89.
- [49] OMOTO C, BERNARDI O, SALMERON E, et al. Field evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil [J]. Pest Management Science, 2016, 72: 1727-1736.
- [50] GROSS H R, YOUNG J R, WISEMAN B R. Relative susceptibility of a summer-planted dent and tropical flint corn variety to whorl stage damage by the fall armyworm[J]. Journal of Economic Entomology, 1982, 75(6): 1153-1156.
- [51] HERZOG G A, LAMBERT W R, LAW S E, et al. Evaluation of an electrostatic spray application system for control of insect pests in cotton[J]. Journal of Economic Entomology, 1983, 76(3): 637-640.
- [52] 冯建国, 郁倩瑶, 孙陈铖, 等. 农药控释剂的研究与应用进展[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(8): 67-76.
- [53] 孟旭. 纳米银对草地贪夜蛾Sf9细胞和家蚕生长的影响与组学分析[D]. 镇江: 江苏大学, 2017.
- [54] 孙明明. 纳米虫螨腈和甲氧·茚虫威防治草地贪夜蛾的田间药效试验[J]. 湖北植保, 2020, 179(2): 19-20.
- [55] 卢辉, 符瑞学, 唐继洪, 等. 无人机防控周年繁殖区草地贪夜蛾效果初探[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(2): 83-86.
- [56] 杨晓杰, 高超男, 盛子耀, 等. 玉米草地贪夜蛾防治药剂筛选[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(23): 186-187.
- [57] 张帅. 2020年全国农业有害生物抗性监测结果及科学用药建议[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(2): 71-78.
- [58] BOAVENTURA D, BOLZAN A, PADOVEZ F E, et al. Detection of a ryanodine receptor target-site mutation in diamide insecticide resistant fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*[J]. Pest Management Science, 2020, 76(1): 47-54.
- [59] 晁子健, 闫硕, 沈杰. 草地贪夜蛾潜在RNAi靶标致死基因及纳米载体介导RNAi技术的应用和展望[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 698-705.
- [60] 李清娥, 侯伟荣, 陈家骅. 橘小实蝇遗传性别品系的建立及雄性不育技术[J]. 昆虫学报, 2007(10): 1002-1008.

(责任编辑:徐娟)