特 约 稿 件

Invited Paper

中国草地贪夜蛾的防控策略

吴孔明*

(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 2019 年已经在中国南方和周边国家的热带、南亚热带地区完成定殖过程。自 2020 年起,将在春、夏两季随季风向北逐代迁移进入中国长江流域、黄河流域和东北小麦、玉米等重要农作物主产区发生为害,形成对国家粮食生产安全的长期性威胁。作者基于对草地贪夜蛾生物学习性和发生规律的认识,借鉴中国棉铃虫等重大农业害虫防控的经验教训,提出了中国草地贪夜蛾防控工作“两步走”策略。在近年内,实施以化学防治、物理防治、生物防治和农业防治为主的综合防治技术体系,旨在解决短期内生产上草地贪夜蛾为害的应急管控问题。然后通过现代农业信息技术和生物技术的创新与应用,力争在 3~5 年的时间内构建和实施以精准监测预警、迁飞高效阻截和种植 Bt 玉米为核心的综合防治技术体系,实现低成本、绿色可持续控制目标,满足中国农业生产高质量发展和生态文明建设战略性需求。

关键词 草地贪夜蛾; 区域性暴发; 化学防治; Bt 玉米; 可持续控制

中图分类号: S 435.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020088

Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China

WU Kongming*

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

Abstract In 2019, the fall armyworm has completed its colonization in the tropical and southern subtropical regions of China and neighboring countries. Beginning from 2020, it will move northward with the monsoon in spring and summer to enter the wheat, corn and other major crop production areas in the Yangtze River Basin, the Yellow River Basin, the Northeast region of China, which will pose a long-term threat to the national food production security. Based on the understanding of the biological behaviors and occurrence principle of fall armyworm and the practice experiences of the control of major agricultural pests such as cotton bollworm *Helicoverpa armigera*, the author puts forward the “two-step” strategy for the pest control in China. In recent years, the IPM strategy, mainly including chemical control, physical control, biological control and agricultural control, should be implemented in order to solve the problem of emergency management and reduce crop yield losses caused by the pest in the short term. Then, through the innovation and application of modern agricultural information technology and biotechnology, an IPM strategy based on accurate monitoring and early warning, high-efficient interception of moth migration and planting of Bt maize will be developed and deployed in 3–5 years, to achieve the goal of low-cost, green and sustainable control, and to meet the strategic needs of China’s high-quality development of agricultural production and the construction of social ecological civilization.

Key words fall armyworm; regional outbreak; chemical control; Bt maize; sustainable control

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 原生于美洲热带和亚热带地区^[1], 2016 年 1 月入侵西

非地区后,很快蔓延到撒哈拉以南的 44 个国家^[2]。2018 年 5 月草地贪夜蛾侵入印度^[3], 2018 年 12 月

收稿日期: 2020-02-23 修订日期: 2020-02-24

基金项目: 国家自然科学基金创新群体项目(31621064)

* 通信作者 E-mail: wukongming@caas.cn

11日从缅甸迁入中国^[4],到2019年10月已扩散至26个省(市、自治区)^[5]。草地贪夜蛾入侵后很快进入严重发生阶段,对非洲和亚洲许多国家的玉米等农作物生产造成了重大影响。联合国粮农组织(FAO)对12个非洲国家评估表明,草地贪夜蛾2018年为害玉米损失达1 770万t,相当于数千万人一年的口粮。基于草地贪夜蛾对全球粮食安全的威胁,FAO于2019年12月发起全球草地贪夜蛾防控行动,旨在动员组织各方力量,建立全球合作机制,有效控制草地贪夜蛾的发生为害和降低向新地区的扩散风险^[6]。

外来有害生物的发生发展过程包括入侵、定殖和暴发三个阶段。2019年草地贪夜蛾完成了在中国的入侵和定殖过程,2020年始将进入暴发为害阶段。就外来有害生物发生动态的一般规律而言,当摆脱原产地自然生态控制效应进入一个新的适宜栖息地后,其种群的发生量是原生境的5~10倍。因此,中国草地贪夜蛾的防控工作形势十分严峻,面临重大挑战。基于对草地贪夜蛾生物学和发生规律的理解,结合中国棉铃虫等重大农业害虫的防治实践经验,谈谈个人对草地贪夜蛾问题的认识和中国应该采取的防控策略的观点。

1 草地贪夜蛾对中国农业生产危害性的研判

农业害虫始终是影响农业生产的重要因素。害虫的种类繁多,生物学习性和发生规律不一,一种农业害虫的发生程度是该害虫的生物学习性在适宜的生态环境下与农业生产模式契合的结果。由于农业生产模式的演化和社会经济的发展过程密切相关,这就导致害虫种群发生随社会经济的发展不断演替^[7]。中国的农业害虫种类繁多,不同发展阶段的优势害虫种类不同。历史上,东亚飞蝗曾是长期制约中国农业发展的重大害虫,但建国后水利工程对河床的固化和河湖地带的垦荒消灭了蝗虫的栖息地。总体上,以棉铃虫为代表的鳞翅目害虫演化成为中国现代农业生产模式下的最重要类群。

棉铃虫原是中国农业生产的传统次要害虫。新中国成立以后,农业生产快速发展,在黄河流域等农业主产区形成了小麦、玉米和棉花为核心的作物生产模式。棉铃虫食性生物学的特征是嗜好取食农作物的繁殖器官和幼嫩的生长点,这种生产模式给棉铃虫提供了一代幼虫取食小麦幼穗、二代至三代幼虫取食棉花蕾铃、三至四代幼虫取食玉米雌雄穗的季节性食物链。随着高产品种的推广和水肥管理水

平的提高,棉铃虫的食物资源愈加丰富,种群发生量不断上升,发展成为农业生态系统的优势害虫^[8]。

草地贪夜蛾和棉铃虫的生物学习性高度相似,都具有寄主作物种类多、繁殖力强、迁飞行为和对作物危害性强的特点。相比而言,草地贪夜蛾对中国农业生态系统的适应性在一些方面还要强于棉铃虫。一是具有更大的发生区域。棉铃虫适宜发生在年降雨量400~800mm下的以黄河流域为核心的半干旱地区。由于过高的降雨量会导致土壤中蛹的死亡,长江流域的适宜发生时间窗口局限在雨季结束后的作物生长晚期,而草地贪夜蛾的适宜发生区则覆盖中国南方到北方的广大区域。二是具有更强的迁移为害特性。与棉铃虫的兼性迁飞不同,草地贪夜蛾有专性迁飞生物学特征,成虫羽化后需要通过迁飞促进生殖系统的发育,这使得其具有比棉铃虫更大的迁移为害突发性。三是具有更强的物种竞争力^[9]。草地贪夜蛾大龄幼虫具有捕食习性,可攻击取食其他害虫和部分天敌,在生态位竞争中占据较大的优势。

草地贪夜蛾在美洲分化出玉米型和水稻型,前者嗜好玉米,后者喜食水稻^[10]。入侵中国各地的种群经分子鉴定已证实为玉米型^[11],实验室食性生物学的研究也显示幼虫取食水稻只能发育至高龄阶段而不能完成生活史^[12]。另一方面,草地贪夜蛾主要在土壤中化蛹,只有极少的个体在植物茎秆中化蛹。在美洲巴西等国家种植早稻的生产模式下,草地贪夜蛾可以在稻田完成生活史循环^[13]。因此,草地贪夜蛾对中国水稻构成危害的风险很小。国内的调查研究已表明草地贪夜蛾可以取食为害玉米、高粱、甘蔗、小麦、大麦、大豆、花生、油菜、向日葵、香蕉、蔬菜等多种农作物^[14-18]。其冬季主要在中国南方和东南亚邻国热带、南亚热带地区的玉米、甘蔗等作物田发生为害。春季后随东亚季风和印度季风逐步迁入中国西南、华中、华北、西北和东北地区为害水稻以外的其他多种农作物^[19-23]。因此,草地贪夜蛾具有比20世纪90年代棉铃虫发生程度更严重、涉及区域更广和为害作物种类更多的灾变风险。

2 中国草地贪夜蛾防控工作应采取的阶段性和策略

害虫的防治策略源于对害虫生物学习性与发生规律的认识、可使用的防治技术和经济社会的接受性。中国棉铃虫的防控策略经历了化学防治、以化

学防治为主的综合防治和以转基因抗虫棉花(Bt 棉花)为主的综合防治三个阶段。20 世纪 70 年代后,中国的农药工业体系趋于完善,有机氯、有机磷、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯等类别的农药生产实现了国产化。化学防治的低成本和高效率受到了农民的普遍欢迎,生产上主要通过喷施农药防治棉铃虫。进入 80 年代后期,棉铃虫对多种类型的化学农药产生了抗性,农药防效的降低致使农民增加使用剂量和次数,农药使用的高选择压力又加速了抗药性的发展。过多的喷施农药杀死天敌昆虫降低了生防服务功能,生态的失衡又引起棉铃虫种群的再猖獗。这种恶性循环最终导致 90 年代早期棉铃虫种群的失控,并由此带来生产成本快速上升、大量人畜农药中毒和生态环境恶化等一系列问题。在此背景下,灯光诱杀、人工捕杀、寄生蜂释放和 Bt 生物农药等手段纷纷用于棉铃虫的防治,形成了以化学农药为主的综合防治模式。

1997 年河北省开始应用转基因抗虫棉花防治棉铃虫,到 2000 年其在黄河流域的种植比例超过棉花总面积的 80%,并很快在长江流域等棉区推广应用。转基因抗虫棉花的种植切断了棉铃虫取食小麦、棉花和玉米的季节性食物链条,不仅高效控制了棉铃虫对棉花的危害,也大大降低了对玉米和小麦等其他作物的危害。农业生态系统天敌数量持续增加,生防服务功能得到恢复,棉铃虫区域性灾变问题得到了有效解决^[25]。

靶害虫的抗性治理是转基因作物生产应用的重要环境安全问题。在转基因抗虫棉花的生产实践中,中国采用了两种抗性治理措施,一是在黄河流域利用玉米、小麦、大豆、花生等普通作物提供天然庇护所延缓棉铃虫对 Bt 棉花的抗性发展^[26],二是在长江流域等地区采用 Bt 棉花与普通棉花杂交 F₂ 代分离 25% 普通棉花形成的种子混合庇护所治理抗性^[27]。二十多年的生产实践证明,中国棉铃虫的抗性治理策略是十分成功的,已成为世界转基因抗虫作物可持续利用的经典案例。

前事不忘,后事之师。草地贪夜蛾的防控无疑要吸取棉铃虫防控过程中的经验与教训。现阶段要通过实施以化学防治为主的综合防治策略解决应急防控问题,防止出现因严重为害玉米和小麦等作物而产生粮食安全问题。这样的技术路线防治投入成本高并存在一定的食品安全风险与较高的环境安全

风险。由于入侵定殖的草地贪夜蛾已经对有机磷、拟除虫菊酯、氨基甲酸酯和烟碱类化学杀虫剂产生了很高的抗性^[28-29],大面积使用酰胺类等为数不多的高防效杀虫剂将很快引起抗药性的产生。一旦草地贪夜蛾对目前防效尚高的几类农药产生抗性,生产上将出现缺乏有效控制措施的被动局面,这将很可能重现 20 世纪 90 年代棉铃虫失控的严重后果。

历史上,草地贪夜蛾一直是美国玉米和棉花等作物的重要害虫。20 世纪 90 年代以来,美国通过采用转基因抗虫玉米(Bt 玉米)为主的防治技术实现了绿色可持续控制。入侵草地贪夜蛾来源于美国,抗性测定表明其对 Bt 玉米没有产生明显的抗性。中国 Bt 玉米对草地贪夜蛾的抗性评价工作已经完成,结果显示具有很高的抗性水平^[30]。农业农村部 2019 年对 2 个转化事件颁发了安全证书^[31],表明 Bt 玉米的应用技术已经趋于成熟。因此,要充分利用应急防控阶段所能提供的 3~5 年窗口期,尽快制定实施以 Bt 玉米等高新技术为核心的草地贪夜蛾可持续治理策略。

3 草地贪夜蛾应急防控阶段的关键技术措施

草地贪夜蛾入侵以来,中国科学家已开展了大量的研究工作,基本明确了其生物学习性和发生规律^[32]。草地贪夜蛾在中国的周年发生区主要在 1 月份日均温度 10℃ 等温线以南的区域,包括海南、广东、广西、云南和福建等省的热带、亚热带地区。此外,缅甸、老挝、越南和孟加拉国等南亚、东南亚国家亦是草地贪夜蛾的周年发生区,这些国家产生的草地贪夜蛾种群春季以后可随东亚和印度季风迁入中国的南部地区。因此,控制南方周年发生区的繁衍种群和国外迁入种群是全国草地贪夜蛾防控工作的关键着力点,要通过春季成虫迁飞的源头管控,最大限度地减少向长江流域及其以北地区的迁飞数量。由于 3 龄以后的幼虫进入暴食阶段且抗药性显著增强,卵期和 1~2 龄幼虫期是施药防治的最佳时间。

种群监测预警是应急防控工作的基础,可采用性诱捕、灯光诱捕和田间调查 3 种方法。性诱捕具有很强的灵敏性,适合种群发生早期低密度下的监测工作,也可通过测量雄蛾精巢长轴长度推断雌蛾的生殖发育和产卵动态^[33]。由于草地贪夜蛾的趋光性明显低于棉铃虫等其他夜蛾类害虫,灯光诱捕

的方法不够灵敏,但可用于高密度下的种群监测,其优点是可以通​​过解剖雌虫卵巢判断虫源迁入迁出性质和产卵动态^[34-36]。草地贪夜蛾具有较强的迁飞能力,飞行活动多是在作物冠层以上的空中进行。因此,与诱捕其他害虫时灯光发射到作物冠层高度不同,草地贪夜蛾的灯诱装备要把灯光发射到作物冠层以上的空中。通过成虫性诱和灯诱的方法可以对田间种群发生进行短期预测,生产上依据短期预测结果及时启动田间实际发生情况的调查工作,并基于调查数据指导防控实践。

田间应急防控工作可采用灯光诱杀、化学防治、生物防治和嗜好作物诱杀防治等手段。灯光诱杀成虫可降低产卵量,1头雌虫的产卵量大约500~1000粒,杀死1头未产卵的成虫,相当于保护了667 m²的作物。如果田间作物上的种群数量显著超过防治指标,就要尽快喷施氯虫苯甲酰胺、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)或乙基多杀菌素等高效化学农药^[37]。为延缓草地贪夜蛾的抗性发展,不要连续施用相同杀虫机制的化学农药。Bt和白僵菌、绿僵菌等微生物农药具有保护生态环境的优点^[38],但防效较低、速效性差,适用于种群密度低或者高湿等利于疾病流行的环境。天敌昆虫对草地贪夜蛾种群有很大的调控功能,需要加以保护利用。人工繁殖和释放本土天敌昆虫在小规模试验环境下可能会取得成功,但难以用于大面积大田作物的防控工作。由于入侵定殖的草地贪夜蛾为玉米型,其主要选择玉米产卵^[39],可在小麦等其他作物田的周边种植玉米诱集带吸引成虫产卵,然后喷施化学农药集中消灭。

4 构建草地贪夜蛾绿色可持续控制体系的技术路线

乡村振兴战略的实施,要求农业必须走绿色高质量发展之路。因此,草地贪夜蛾的防控工作必须通过技术创新最大限度地减少化学农药使用量,实现低成本、绿色可持续控制的目标。构建绿色可持续控制技术体系需要沿用先进的种群迁飞监测预测、成虫迁移阻截和幼虫高效控制关键技术。

现代信息技术的发展为害虫监测预警工作提供了前所未有的支持。中国昆虫雷达的应用技术已趋于成熟,已基本具备组建国家昆虫迁飞雷达监测网的条件。雷达网的大尺度监测和高空灯、地面灯、性诱捕器的小尺度监测网的一体化运行,可以精准定

位定量草地贪夜蛾的成虫迁移动态,并通过网络实时发布。草地贪夜蛾成虫在迁飞和繁殖过程中需要寻找取食植物花蜜、花粉^[40]。化学生态学的发展已解析寻找蜜源和寄主植物的原理,这推动了食诱产品的研发和商业化应用^[41-42]。依据迁飞监测结果,可在迁出虫源区和迁飞通道及降落地区建设灯诱食诱的天罗地网,最大限度地降低成虫发生密度。Bt玉米对草地贪夜蛾幼虫的控制效率高于90%,且具有使用成本低和保护利用天敌昆虫的优势,是防控幼虫的最佳措施。在南方周年发生区种植Bt玉米,一方面可以保护玉米免受危害,另一方面可诱集当地和周边国家迁入成虫产卵并杀死孵化的幼虫,形成源头防控阻截带。要借鉴美国草地贪夜蛾对抗虫玉米和中国棉铃虫对Bt棉花的抗性治理经验,制定科学可行的抗性治理技术规程,延缓草地贪夜蛾对Bt玉米抗性的发展。

草地贪夜蛾入侵中国,给我们的农业生产带来了重大挑战,但也是一个推动植物保护工作创新发展的机遇。中国经济和农业发展已与世界深度融合,全球化进程必将促进世界农业生产资源的优化配置与农产品贸易,全球农业生产的一体化发展 and 农产品贸易的增加将会带来越来越多的外来有害生物。中国草地贪夜蛾的防控将凝聚广大植物保护工作者的共识,我们要用最先进的科技服务支撑绿色防控工作,确保国家粮食安全、生态安全和生物安全。

参考文献

- [1] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82-86.
- [2] 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/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(10): e0165632.
- [3] SISODIYA D B, RAGHUNANDAN B L, BHATT N A, et al. The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae): First report of new invasive pest in maize fields of Gujarat, India [J]. Journal of Entomology and Zoology Studies, 2018, 6(5): 2089-2091.
- [4] SUN Xiaoxu, HU Chaoxing, JIA Huiru, et al. Case study on the first immigration of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* invading into China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18: 2-10.
- [5] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019年我国草地贪夜蛾扩散规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10-19.

- [6] FAO. Global action for fall armyworm control [EB/OL]. 2019, <http://www.fao.org/fall-armyworm/programme-and-partners/zh/>.
- [7] 吴孔明. 我国农业昆虫学的现状及发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(2): 1-4.
- [8] 吴孔明, 郭予元. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律[J]. 植物保护, 2007, 33(5): 6-11.
- [9] BENTIVENHA J P F, BALDIN E L L, HUNT T E, et al. Intraguild competition of three noctuid maize pests [J]. Environmental Entomology, 2016, 45(4): 999-1008.
- [10] 张磊, 柳贝, 姜玉英, 等. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 20-27.
- [11] 张磊, 靳明辉, 张丹丹, 等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 19-24.
- [12] HE Limei, WANG Tengli, CHEN Yuchao, et al. Larval diet affects development and reproduction of East Asian strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(2): 2-10.
- [13] 赵胜园, 罗倩明, 孙小旭, 等. 草地贪夜蛾与斜纹夜蛾的形态特征和生物学习性比较[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(5): 26-35.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 杨现明, 孙小旭, 赵胜园, 等. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布与抽样技术[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 10-16.
- [17] 杨现明, 赵胜园, 姜玉英, 等. 大麦田草地贪夜蛾的发生为害及抽样技术[J/OL]. 植物保护: 1-7 [2020-02-23]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019665>.
- [18] 何莉梅, 赵胜园, 吴孔明, 等. 草地贪夜蛾取食为害花生的研究[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 28-33.
- [19] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明, 等. 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.
- [20] 吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 1-9.
- [21] 谢殿杰, 张蕾, 程云霞, 等. 温度对草地贪夜蛾飞行能力的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 13-17.
- [22] 葛世帅, 何莉梅, 和伟, 等. 草地贪夜蛾的飞行能力测定[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 28-33.
- [23] WU Qiulin, HE Limei, SHEN Xiujing, et al. Estimation of the potential infestation area of newly-invaded fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in the Yangtze River Valley of China [J]. Insects, 2019, 10(9): 298.
- [24] WU Kongming, GUO Yuyuan. The evolution of cotton pest management practices in China [J]. Annual Review of Entomology, 2005, 50: 31-52.
- [25] WU Kongming, LU Yanhui, FENG Hongqiang, et al. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton [J]. Science, 2008, 321(5896): 1676-1678.
- [26] WU Kongming. Monitoring and management strategy for *Helicoverpa armigera* resistance to Bt cotton in China [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2007, 95: 220-223.
- [27] WAN Peng, XU Dong, CONG Shengbo, et al. Hybridizing transgenic Bt cotton with non-Bt cotton counters resistance in pink bollworm [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 114(21): 201700396.
- [28] 吴超, 张磊, 廖重宇, 等. 草地贪夜蛾对化学农药和 Bt 作物的抗性机制及其治理技术研究进展[J]. 植物保护学报, 2019, 46(3): 503-513.
- [29] 吴益东, 沈慧雯, 张正, 等. 草地贪夜蛾抗药性概况及其治理对策[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(4): 599-604.
- [30] 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.
- [31] 农业农村部科技教育司. 关于慈 KJH83 等 192 个转基因植物品种命名的公示[EB/OL]. 2019, http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/spxx/201912/t20191230_6334016.htm.
- [32] 何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 等. 草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 18-26.
- [33] 和伟, 赵胜园, 葛世帅, 等. 草地贪夜蛾种群性诱测报方法研究[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 48-53.
- [34] LIU Yingjie, ZHANG Dandan, YANG Liyu, et al. Analysis of phototactic responses in *Spodoptera frugiperda* using *Helicoverpa armigera* as control [J/OL]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, doi: 10.1016/S2095-3119(19)62863-7.
- [35] 赵胜园, 杨现明, 和伟, 等. 草地贪夜蛾卵巢发育分级与繁殖潜力预测方法[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 28-34.
- [36] 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/OL]. 植物保护: 1-7 [2020-02-23]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2020060>.
- [37] 赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8 种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 74-78.
- [38] 陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 等. 草地贪夜蛾的昆虫病原微生物资源及其应用现状[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 1-9.
- [39] 徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 等. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 61-64.
- [40] 房敏, 姚领, 李晓萌, 等. 成虫期补充不同营养对草地贪夜蛾繁殖力的影响[J/OL]. 植物保护: 1-4 [2020-02-23]. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019610>.
- [41] YU Huilin, ZHANG Yongjun, WU Kongming, et al. Field-testing of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects [J]. Environmental Entomology, 2008, 37(6): 1410-1415.
- [42] 王立颖, 李晶晶. 生物食诱剂对东北大豆田鳞翅目害虫防治效果初探[J]. 中国植保导刊, 2019, 12(3): 59-62.