

◆ 综述与专论 ◆

草地贪夜蛾防控技术进展及我国对策建议

王芹芹, 崔 丽, 王 立, 杨代斌, 闫晓静, 袁会珠, 董丰收, 郑永权*, 芮昌辉*

(中国农业科学院植物保护研究所, 农业农村部作物有害生物综合治理重点实验室, 北京 100193)

摘要:草地贪夜蛾是一种具有很强迁飞扩散和取食为害能力的鳞翅目夜蛾科害虫,其源于美洲,现已扩散至非洲、亚洲及澳大利亚等世界主要大陆。草地贪夜蛾在美洲的研究防控距今已有超过100年的历史。国外长期主要依赖化学农药开展草地贪夜蛾的防治,但随着科学技术的发展,逐步开发应用了多种防治技术,如草地贪夜蛾成虫诱杀技术、转基因抗虫作物的推广应用和其他综合防治技术。2019年初草地贪夜蛾迁飞入侵我国扩散至26个省市发生为害。为应对这一暴发性害虫,我国充分发挥了制度、科技和资源优势,迅速制定和发布了草地贪夜蛾应急化学防控对策,并进行了快速部署和实施,使草地贪夜蛾的为害得到了有效控制,特别是保证了我国玉米主产区没有受灾。鉴于草地贪夜蛾在南方多数省份具有定殖的生态条件,国外虫源地亦有不断地迁飞入侵虫源,草地贪夜蛾很可能将成为我国常发害虫。因此,在草地贪夜蛾的防治策略上应及时开发应用持续有效的防控措施,特别是在化学防治技术上,应持续筛选和储备有效防控药剂,开展科学用药技术和害虫抗药性风险评估及治理技术研究,以实现草地贪夜蛾的长期有效防控。

关键词:草地贪夜蛾;防治技术;农药;建议

中图分类号:S 48 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2020.03.001

Prevention and Control of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*: Experience in Foreign Countries and Suggestion in China

WANG Qinqin, CUI Li, WANG Li, YANG Daibin, YAN Xiaojing, YUAN Huizhu, DONG Fengshou, ZHENG Yongquan*, RUI Changhui*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)

Abstract: Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* is a kind of Lepidoptera Noctuidae pest with strong ability of migration, diffusion and feeding. Fall Armyworm originated in America and has now spread to Africa, Asia, Australia and other major continents in the world. The research and control of *S. frugiperda* has a long history of more than 100 years in America. For a long time, chemical pesticides have been mainly used in the control of *S. frugiperda* in foreign countries. However, with the development of science and technology, a variety of control technologies have been gradually developed and applied, such as the adult trapping, the popularization and application of transgenic insect resistant crops and other technologies. At the beginning of 2019, fall armyworm invaded into China by migrating, and then it spread in 26 provinces and cities. In order to control this outbreak pest, China has given full play to the advantages of system, science technology, and resources, formulated and issued the emergency chemical prevention and control measures for *S. frugiperda*, and carried out rapid deployment and implementation, so that the damage of *S. frugiperda* has been effectively controlled, especially that there is

收稿日期:2020-04-15

基金项目:中国农业科学院重大科研项目(CAAS-ZDRW202007);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2019YJ06);国家重点研发计划项目(2016YFD0200504)

作者简介:王芹芹(1991—),女,河南项城人,博士研究生,主要从事农药毒理学研究。E-mail:13552316561@163.com

通信作者:郑永权(1962—),男,广东高州人,博士,研究员,主要从事农药应用和环境毒理研究。E-mail:yqzheng@ippcaas.cn

共同通信作者:芮昌辉(1964—),男,湖南永州人,博士,研究员,主要从事农药毒理学研究。E-mail:chrui@ippcaas.cn

no disaster in the main corn production areas of China. In view of the ecological conditions of colonization in several southern provinces, the constant migratory and invasive insect sources in foreign countries, it is very likely that fall armyworm will become a frequent pest in China. So, it is necessary to develop and apply effective prevention and control measures in time, especially in chemical prevention and control technology. To continuously select and store effective agents, research on pesticides application technology, assess pest resistance risk and integrate pest management technology, in order to realize the long-term effective control of FAW in China.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; control; pesticide; strategy in China

草地贪夜蛾 (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) 属鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae) 灰翅夜蛾属 (*Spodoptera*)，英文名 fall armyworm (FAW)。源于美洲热带和亚热带地区，无滞育现象，是迁飞性害虫^[1-2]。其寄主达42科186种植物^[3]。根据寄主差异，被分为玉米型和水稻型。玉米型主要为害玉米等禾谷类作物，严重为害时可造成玉米减产70%以上，平均减产可达20%~40%^[4]。水稻型为害造成水稻约20%左右的减产^[5]。2019年6月，我国揭示入侵草地贪夜蛾群体来源于美国佛罗里达地理种群，这是一种玉米型核基因组占主导地位的特殊玉米型，但存在遗传分化出水稻型的风险^[6-7]。

据联合国粮农组织 (FAO) 发布的草地贪夜蛾全球扩散为害信息，自2016年初发现草贪夜蛾已迁飞至中非和西非地区，现已扩散至非洲、亚洲及澳大利亚等世界主要大陆。草地贪夜蛾以其强大的迁飞、繁殖和取食为害能力，被列为世界十大植物害虫之一。一旦未能采取有效防控措施，往往对当地农作物特别是玉米生产造成严重的经济损失^[8]。草地贪夜蛾发源于美洲大陆，其防控历史在美洲也最悠久，至今已有超过100年的历史。长期以来主要依赖化学农药开展草地贪夜蛾的防治，但随着科学技术的发展，逐步开发应用了多种防治技术，如草地贪夜蛾成虫诱杀技术、转基因抗虫作物的推广应用和其他综合防治技术。随着草地贪夜蛾在世界范围的迁飞扩散，化学防治一再被证明是首选的关键防控措施。2019年初草地贪夜蛾迁飞入侵我国后，因及时实施了应急化学防控措施，有效地控制了当年的发生为害。

1 国外防治草地贪夜蛾的经验

1.1 田间农药使用

1.1.1 农药使用品种变化及害虫抗药性发展对化学防治技术的影响

20世纪20年代初，美国已经有草地贪夜蛾为害玉米及防治技术的研究报道^[9-12]。滴滴涕 (DDT)、氯

单、对硫磷和天然除虫菊素等都曾是早期防治的主要杀虫剂品种^[13]。到20世纪60年代以后，主要使用有机磷类、氨基甲酸酯类杀虫剂，如广泛使用马拉硫磷、溴苯磷、灭多威、久效磷和乙酰甲胺磷等品种^[14]。毒死蜱、硫丙磷和硫双威作为当时比较新的杀虫剂产品，在许多地区能非常有效地控制草地贪夜蛾对玉米等作物的危害。除虫菊酯对草地贪夜蛾幼虫防治效果不稳定，单剂使用相对较少，常与毒死蜱组合使用，在低于推荐剂量下即能有效控制草地贪夜蛾^[15]。20世纪80年代以后，甲萘威、灭多威、毒死蜱和甲基对硫磷在美国佛罗里达州等地出现防治失败事例，但在洪都拉斯、牙买加和美国密西西比州防治效果仍很好^[16]。与此同时拟除虫菊酯类杀虫剂凭借其杀虫谱广、防效高及毒性低等特点替代了田间抗性较高的有机磷类和氨基甲酸酯类杀虫剂，迅速成为草地贪夜蛾首选防治药剂^[17]。1996年以后，国外开始推广种植转基因玉米，杀虫剂的使用量大为减少^[18]。加之农药创制不断发展，新型杀虫剂对草地贪夜蛾的防治效果与传统杀虫剂的防治效果相比或更有效，逐渐替代了传统农药中效果较差的药剂，如甲基对硫磷、灭多威、甲萘威等。转基因玉米的推广应用一定程度上降低了田间化学药剂对草地贪夜蛾的选择压力，而新农药的不断创制使得草地贪夜蛾的防控得到了有力的支持。2002年，对采自佛罗里达州盖恩斯维尔和斯特拉两个地区的草地贪夜蛾种群进行室内药剂敏感性测定，发现两个地区的草地贪夜蛾对氯菊酯和新型药剂茚虫威的敏感性很高，LD₅₀值介于0.117~0.870 mg/kg^[19]。2011年，新开发的4种杀虫剂氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、氟苯虫酰胺、乙基多杀菌素和5种商业标准杀虫剂茚虫威、高效氯氟氰菊酯、甲氧虫酰胺、氟啶脲、多杀菌素在室内和田间均对草地贪夜蛾表现出优良的效果，尤其是氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺在药后28 d仍对草地贪夜蛾幼虫达到40%以上的防治效果^[20]。2019年，乙基多杀菌素悬浮剂、多杀菌素悬浮剂、高效氯氟氰菊酯乳油、氯虫苯甲酰胺高效氯氟氰菊酯

乳油72 h室内活性显示高达90%以上,且以上药剂在使用第二和第三次后,对草地贪夜蛾的田间防效表现优异^[21]。

长期使用化学农药造成不同地区草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性越来越突出。早在20世纪80年代,相关研究开始陆续报道了草地贪夜蛾对有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类杀虫剂产生了较高水平的抗性^[17]。如1986年有报道表明,美国东南部地区的草地贪夜蛾对甲萘威、甲基对硫磷、敌百虫和二嗪农产生了高水平抗药性^[15]。1991年,Yu等^[22]报道了佛罗里达州北部玉米田间草地贪夜蛾对8种常用拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性监测,结果表明草地贪夜蛾对联苯菊酯、四溴菊酯和氟胺氰菊酯产生了中高等水平的抗性。1996年以后,转基因玉米在国外的推广应用暂时解决了草地贪夜蛾对杀虫剂产生抗药性的防治难题,但草地贪夜蛾对Bt玉米的抗性问题日渐显现出来。同时,在美国波多黎各部分地区已监测到草地贪夜蛾对新型药剂氯虫苯甲酰胺(160倍)和氟苯虫酰胺(500倍)的高水平抗性,且二者具有较强的交互抗性^[17]。显然,草地贪夜蛾抗药性能力迅速增强,既快速淘汰了很多常规杀虫剂,也对新型杀虫剂的使用寿命和转基因作物推广应用提出了重大挑战。

1.1.2 农药使用时间、使用方式及与其他技术的协同作用

玉米田施药时间和施药方式的选择往往对能否有效控制草地贪夜蛾有较大的影响。据Foster^[16]报道,对玉米施药后能够在玉米苗期保护其不受草地贪夜蛾幼虫的侵害,减少玉米吐丝期所需的喷雾次数,若种植者在玉米吐丝期再开始集中喷洒农药,这种做法往往收效甚微。因为杀虫剂的田间防效与雾滴覆盖度有关,若喷雾施药能全面覆盖整个作物乃至地面,则能够有效防治草地贪夜蛾,反之防治效果有限。例如在用水量充足的情况下,以喷雾方式向玉米喷施甲萘威、甲基对硫磷和氯氰菊酯,结果发现该方法对取食顶端玉米种子穗的草地贪夜蛾幼虫的防效相比取食玉米心叶处的幼虫更强。在玉米心叶期,使用颗粒剂防治草地贪夜蛾也是有效的施药方式,甚至比推荐的喷雾施药方式更有效^[15]。在玉米早期播种时利用种子处理的方式能减少草地贪夜蛾对玉米幼苗的损害,同时也减少喷施杀虫剂对非靶标有益昆虫的影响^[23-24]。

在田间施药时以多杀霉素策略对草地贪夜蛾的防治效果和玉米产量的影响为例^[25],在不使用任

何杀虫剂的情况下,草地贪夜蛾幼虫可造成玉米减产39%。基于草地贪夜蛾性信息素诱捕虫口数量,以每个诱捕器诱捕到3头以上成虫后开展药剂防治。这种以性诱剂诱捕虫量变化指导用药决策比以为害情况指导施药决策更有效,在草地贪夜蛾的防治和玉米的产量方面更能体现优异的防治效果。前者比后者的玉米产量提高18.4%,比不施药空白对照产量提高62.6%。

因此,化学防治与成虫诱捕技术的协同使用,一方面可测报和诱杀草地贪夜蛾,减少地块成虫数量;另一方面可基于诱捕到的成虫数量指导化学用药防治决策,既能大大减少施药次数,又可提供有效的保护,做到科学防治草地贪夜蛾。

1.2 成虫诱捕技术

许多昆虫,尤其是夜行性昆虫,在夜间会飞向或爬向室外的人造光,这种现象被称为“正向趋光性”,相反远离光源的现象称为“负趋光性”^[26]。对于迁飞而来的草地贪夜蛾成虫来说,利用其对特定波长光源的趋光性进行诱杀,杀死一头未产卵的成虫,相当于间接杀死1 500左右粒卵,可保护667 m²的作物^[27],可见能否有效诱杀到草地贪夜蛾成虫是最快速地降低草地贪夜蛾虫口基数的关键。

利用特定波长的灯光诱捕成虫主要有两个作用:一是用于虫情发生测报;二是直接捕杀害虫。田间诱捕研究表明,草地贪夜蛾成虫对紫外线的响应最大^[28],利用现有的技术手段可以制造出具有不同波长的LED灯捕虫器,因此在害虫综合治理中利用光捕虫器进行物理害虫防治正受到全世界的关注^[29]。

为了提高对害虫捕杀效率,光诱捕器可与其他诱捕手段,如昆虫性信息素等结合使用。国外研究表明利用信息素诱捕比黑光诱捕的效率更高。信息素诱捕器应悬挂在冠层高度,在玉米心叶期最好悬挂在玉米上。草地贪夜蛾性信息素商品在巴西等很多国家都可以买到。利用性信息素监测草地贪夜蛾发生动态,可以减少不必要的农药使用和提高药剂的防治效果,如利用性信息素诱捕指导多杀霉素用药,杀虫效果高达90%以上^[25]。

1.3 转基因玉米的应用及潜力

自20世纪90年代,美国、加拿大、阿根廷、巴西已经大面积种植转基因玉米用于防治玉米螟、草地贪夜蛾等鳞翅目害虫^[8],至今已有24年的历史。转基因玉米防治草地贪夜蛾早已成为一项重要的害虫综合防治策略^[30-32],主要类型包括Cry1F、Cry1Ab、Cry2A和Vip3A,且草地贪夜蛾对转基因玉米已产生

抗药性^[17,33]。有科学家认为转基因作物相比转基因杀虫剂对人和动物更安全,同时也能减少化学农药使用对环境和生态的影响,是一项值得推广的防治技术^[18,27]。

美国、巴西和阿根廷种植经验表明转基因玉米可以减少草地贪夜蛾的危害,但是美洲的草地贪夜蛾种群已经进化出了对一些转基因玉米品种的抗性。基于此,转基因玉米品种的能否在中国推广还需要开展相关的评价以慎重选择。

草地贪夜蛾繁殖力强、危害重,苏云金杆菌的天然菌株的抗虫效果甚微,而转基因菌株可以提高抗虫性能^[34]。如利用重组DNA技术开发出更有效的转苏云金芽孢杆菌玉米植株,改进后的产品可以用于控制害虫草地贪夜蛾,而传统的基于转基因的产品很难控制这些害虫。

1.4 其他防治措施

同一地区的种植者还应注意避免晚种和连续播种玉米等同一种草地贪夜蛾喜爱的作物。保持田间作物多样性,既能避免造成草地贪夜蛾的连续危害,又有利于天敌昆虫的生存^[35]。相对于化学农药而言,天敌昆虫是自然界广泛存在的有益生物,能通过捕食或寄生的方式对害虫进行持续有效地控制。据统计,自然界存在对草地贪夜蛾有着丰富的寄生性天敌昆虫和捕食性天敌昆虫资源,共计250种^[36]。如蠋蝽(*Arma chinensis*)和益蝽(*Picromerus lewisii*)均属于半翅目、蝽科、益蝽亚科昆虫,其对草地贪夜蛾等鳞翅目农业害虫有着天然的控制力^[37]。在寄生性天敌昆虫方面,对于夜蛾黑卵蜂(*Telenomus remus*)应用最为广泛^[36]。其次,良好的水肥环境是植物健康生长所必需的基础,能更好地抵御草地贪夜蛾等害虫的破坏。相反,不平衡施肥(特别是氮肥的过量施用)则会增加草地贪夜蛾成虫的产卵量,提升草地贪夜蛾暴发危害的概率^[38]。

2 我国草地贪夜蛾防治研究进展

我国针对草地贪夜蛾的发生危害,主要采取的措施是应急化学防治。面对2019年入侵我国的草地贪夜蛾防控需求,我国充分发挥了制度、科技和资源优势,国家决策部门根据我国农药管理条例精神,在没有登记药剂的紧急情况下,会同管理、科研、生产应用部门,公布了25种草地贪夜蛾应急防治用药推荐名单,在当年的草地贪夜蛾防控中,充分发挥了化学农药杀虫速度快、使用简便、适用范围广等优势。尽管草地贪夜蛾迅速扩散到全国26个

省市区,仍然有效地控制了该害虫的为害,特别是保证了我国玉米主产区的粮食生产安全。根据2019年各地草地贪夜蛾防治药剂使用及防治效果反馈情况,各地在2020年优化调整为28种农药应急防治推荐名单(表1),其中农药单剂8种,生物制剂6种,复配制剂14种。同时,国内相关科研人员和农药生产企业配合国家对草地贪夜蛾的防治需求,开展了大量的室内活性筛选和主要发生区云南、广西、广东、海南等地的玉米田草地贪夜蛾田间药效试验研究工作,为田间用药提供了依据。

表1 草地贪夜蛾化学防治选择

药剂类型	药剂名单
化学单剂	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)、茚虫威、四氯虫酰胺、氯虫苯甲酰胺、虱螨脲、虫螨腈、乙基多杀菌素、氟苯虫酰胺
生物制剂	甘蓝夜蛾核型多角体病毒、苏云金杆菌、金龟子绿僵菌、球孢白僵菌、短稳杆菌、草地贪夜蛾性引诱剂
复配制剂	甲维盐·茚虫威、甲维盐·氟铃脲、甲维盐·高效氯氟氰菊酯、甲维盐·虫螨腈、甲维盐·虱螨脲、甲维盐·虫酰肼、氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯、除虫脲·高效氯氟氰菊酯、氟铃脲·茚虫威、甲维盐·甲氧虫酰肼、氯虫苯甲酰胺·阿维菌素、甲维盐·杀铃脲、氟苯虫酰胺·甲维盐、甲氧虫酰肼·茚虫威

与国外防治药剂的历史变迁相比,我国在杀虫剂品种的选择上主要存在两个特点,一是草地贪夜蛾属于迁入虫源,本身可能存在对杀虫剂的抗药性问题,限制了常规杀虫剂的选择机会;二是在农药市场上存在多种新型杀虫剂品种可供使用,如表1中的甲维盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、虱螨脲、乙基多杀菌素等。这决定了我国防治草地贪夜蛾的杀虫剂使用起点很高,但也预示一旦草地贪夜蛾对新型杀虫剂产生比较严重的抗性,面临的挑战也将比较棘手,需要及时关注。

国内在2019年实际防治工作中也存在一些问题。由于草地贪夜蛾的暴发为害,许多地方的科技宣传和用药指导不一定及时到位,导致很多生产者存在农药使用不及时,或高频率和超量使用农药现象。

作为防治技术储备,我国也开展了天敌、微生物筛选等生物防治技术探索和转基因抗虫玉米的筛选和评价工作。国产Bt-Cry1Ab玉米(转化体C0030.3.5)和Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)玉米(转化体DBN3601和DBN3608)对草地贪夜蛾1~4龄幼虫的毒力结果显示,两种转基因玉米共6个品种皆可高效表达目标杀虫蛋白,并对草地贪夜蛾具有很强的毒杀作用;对1龄幼虫的致死率达到59%~100%,存

活幼虫的生长发育亦受到显著抑制^[39]。

3 我国在草地贪夜蛾化学防治上的对策和建议

鉴于草地贪夜蛾在我国南方数省具有定殖的生态条件,国外虫源地亦有不断地迁飞入侵虫源,草地贪夜蛾很可能将成为一种我国重要的常发害虫。因此,在草地贪夜蛾的防治策略上应及时开发应用持续有效的防控措施,特别是在化学防治技术上,应持续筛选和储备有效防控药剂,开展科学用药技术和害虫抗药性风险评估及治理技术研究,以实现草地贪夜蛾的长期有效防控。

首先,结合草地贪夜蛾迁飞扩散特点和我国种植结构、施药水平等因素,对于草地贪夜蛾的防治,需要制定战略性的联防联控措施。从化学防治技术上说,采取全国一盘棋的防治策略,不同地区尽量不要选择同一种或少数几种相同药剂防治,尽量做到药剂品种、施药时间和空间的交错使用。同时,加强对农药使用者的技术指导,对具体防治实践尽可能做到及时、准确。

其次,持续开展草地贪夜蛾有效防治药剂的筛选。这包括从不同机制和不同杀虫作用方式的药剂、不同虫态对药剂的敏感性、不同生态发生区域(周年繁殖区、越冬区和迁入区)、药剂防治效果评价及药剂有效防治剂量的变化等多方面开展持续的研究。

第三,加强农药使用技术的研究和应用。在防治时期和方法上,充分掌握草地贪夜蛾的生活习性和危害规律,在卵盛期和3龄幼虫前进行集中防治。此时期害虫耐药能力比较差,解毒酶含量相对较低,尚未潜藏到心叶,故农药在较低剂量下就可以达到较高防治效果。分阶段选择适宜药剂类型用于化学防治。如卵高峰期使用具有触杀活性的药剂配合具有杀卵活性的药剂,孵化高峰期使用触杀剂配合胃毒药剂,后期大龄幼虫可以考虑以胃毒药剂为主的化学防治措施。在用药技术上,草地贪夜蛾为害虫态主要是幼虫在玉米心叶隐蔽取食为害,常规的药剂喷雾技术应当从更精细地对心喷雾角度进行改进。利用具有内吸传导作用的药剂进行种子包衣或颗粒剂撒施,有可能取得较好的防治效果。

第四,进入常态化的化学防治时期后,草地贪夜蛾的抗药性将成为影响药剂防治效果和使用寿命的重要因素。因此,草地贪夜蛾的抗药性风险评价和抗性治理是我国今后亟需开展的挑战性工作。

从抗药性治理角度看,一方面,需要开展草地贪夜蛾发生的动态监测和抗药性监测,及时采取有效的药剂替换或轮用措施;另一方面,草地贪夜蛾这类鳞翅目害虫幼虫在3龄前的防御能力较弱,对药剂的敏感度相对较高,化学防治尽可能在3龄前进行,最大限度降低药剂的抗性选择压力。此外,探索从时间和空间交替轮换用药的有效途径和模式,大尺度上从全国进行通盘安排,或小区域化学防治的合理安排,尽可能避免连续地、高强度地使用某一种药剂,从而减缓草地贪夜蛾抗药性的发展。

草地贪夜蛾的防治,既要国家从政策、经济、社会、科学技术等多方面需求考虑,并以发展的眼光看问题,也要统筹考虑应急防治阶段和常规化防治时期的需求差异,化学防治与其他防治措施的协同。无论采取何种防治策略,均需要多种防治技术相互配合才能达到理想的防治效果,实现草地贪夜蛾防治的可持续发展。

参考文献

- [1] NAGOSHI R N, MEAGHER R L, KATHY F, et al. Using haplotypes to monitor the migration of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) corn-strain populations from Texas and Florida[J]. Journal of Economic Entomology, 2008, 101(3): 742-749.
- [2] NAGOSHI R N, MEAGHER R L. Review of fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) genetic complexity and migration[J]. Florida Entomologist, 2008, 91(4): 546-554.
- [3] EARLY R, GONZALEZ-MORENO P, MURPHY S T, et al. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm[J]. Neobiota, 2018, (40): 25-50.
- [4] ARIAS R S, BLANCO C A, PORTILLA M, et al. First microsatellites from *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their potential use for population genetics[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2011, 104 (3): 576-587.
- [5] ALBERTO P, SMITH C M, ROBINSON J F. Effects of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on rice yields[J]. Journal of Economic Entomology, 1986, 79(5): 1324-1329.
- [6] 徐丽娜, 胡本进, 苏贤岩, 等. 入侵安徽省草地贪夜蛾的遗传分析[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 47-53.
- [7] 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(6): 10-19.
- [8] HRUSKA A. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders[J]. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 2019, 14 (43): 1-11.
- [9] LUGIBILL P. Injurious insect pests of cereal and forage crops of

- South Carolina[J]. Annual Report & South Carolina Commission Agriculture Committee & Ind, 1920: 217-219.
- [10] NICKELS C B. An important outbreak of insects infesting soy beans in Lower South Carolina[J]. Journal of Economic Entomology, 1926, 19(4): 614-618.
- [11] LARRIMER W H. Armyworm control through county organization [J]. Proceedings of the Indiana Academy of Science, 1921: 261-263.
- [12] SMITH R C. Observations on the fall armyworm and some control experiments[J]. Journal of Economic Entomology, 1921, 14(3): 300-305.
- [13] BLANCHARD R A, CHAMBERLIN T R. Tests of insecticides, including DDT, against the corn earworm and the fall armyworm in corn[J]. Journal of Economic Entomology, 1948, 41(6): 928-935.
- [14] JANES J M. Corn earworm and fall armyworm occurrence and control on sweet corn ears in South Florida[J]. Journal of Economic Entomology, 1973, 66(4): 973-974.
- [15] HENRY N P. Chemical control of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): an update[J]. Florida Entomologist, 1986, 69(3): 570-578.
- [16] FOSTER R E. Strategies for protecting sweet corn ears from damage by fall armyworms (Lepidoptera: Noctuidae) in Southern Florida[J]. Florida Entomologist, 1989, 72(1): 146-151.
- [17] 王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展 [J]. 农药学报, 2019, 21(4): 401-408.
- [18] BENBROOK C M. Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the US: the first sixteen years [J]. Environmental Sciences Europe, 2012, 24: 24.
- [19] YU S J, MCCORD E. Lack of cross-resistance to indoxacarb in insecticide-resistant *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae)[J]. Pest Management Science, 2007, 63(1): 63-67.
- [20] HARDKE J T, TEMPLE J H, LEONARD B R, et al. Laboratory toxicity and field efficacy of selected insecticides against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Florida Entomologist, 2011, 94(2): 272-278.
- [21] BIRHANU S, TADELE T, MULATU W, et al. The efficacy of selected synthetic insecticides and botanicals against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize[J]. Insects, 2019, 10(2): 45.
- [22] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)[J]. Pesticide Biochemistry Physiology, 1991, 39(1): 84-91.
- [23] 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.
- [24] GONTIJO P C, ABBADE NETO D O, OLIVEIRA R L, et al. Non-target impacts of soybean insecticidal seed treatments on the life history and behavior of *Podisus nigrispinus*, a predator of fall armyworm[J]. Chemosphere, 2018, 191: 342-349.
- [26] PARK J H, LEE H S. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs)[J]. Applied Biological Chemistry, 2017, 60(2): 137-144.
- [27] 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.
- [28] MITCHELL E R, AGEE H R. Response of beet and fall armyworm moths to different colored lamps in the laboratory and field [J]. Journal of Environmental Science and Health Part A: Environmental Science and Engineering, 1981, 16(4): 387-396.
- [29] KIM K N, HUANG Q Y, LEI C L. Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review [J]. Pest Management Science, 2019, 75(12): 3135-3143.
- [30] BUNTIN G, LEE R, WILSON D, et al. Evaluation of yieldgard transgenic resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) on corn[J]. The Florida Entomologist, 2001, 84(1): 37-42.
- [31] DAVID B G, FLANDERS K L, LYNCH R E. Assessment of experimental Bt events against fall armyworm and corn earworm in field corn[J]. Journal of Economic Entomology, 2004, 97(2): 259-264.
- [32] MURARO D S, GARLET C G, GODOY D N, et al. Laboratory and field survival of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt maize and its susceptibility to insecticides[J]. Pest Manag Sci, 2019, 75(8): 2202-2210.
- [33] BROOKES G, BARFOOT P. GM crops: the global economic and environmental impact: the first nine years 1996-2004 [J]. AgBioForum, 2005, 8(2/3): 187-196.
- [34] ALL J, STANCIL J, JOHNSON T, et al. Controlling fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) infestations in whorl stage corn with genetically modified *Bacillus thuringiensis* formulations[J]. Florida Entomologist, 1996, 79(3): 311-317.
- [35] ASHLEY T R, MITCHELL E R, LEPLA N C, et al. Parasites attacking fall armyworm larvae, *Spodoptera frugiperda*, in late planted field corn[J]. Florida Entomologist, 1980, 63(1): 136-142.
- [36] 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.
- [37] 唐艺婷. 蠋蝽和益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食能力研究[C] //毛建军. 植物保护与脱贫攻坚: 中国植物保护学会2019年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019: 212.
- [38] LYNCH R E, MARTIN P B, GARNER J W. Cultural manipulation of coastal burmudagrass to avoid losses from the fall armyworm[J]. Florida Entomologist, 1980, 63(4): 411-419.
- [39] 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.

(责任编辑:徐娟)