◆ 综述与专论 ◆

转基因玉米防治草地贪夜蛾应用进展

任 龙[1,2],沈明鹤[2],王溪竹[2],芮昌辉[1*]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所,北京 100193;2. 中化化肥有限公司,北京 100001)

摘要:草地贪夜蛾自2019年1月入侵中国,迅速蔓延至全国26个省区市,严重危害玉米、甘蔗等作物,引起行业高度重视。针对草地贪夜蛾的发生危害,我国及时采取了应急化学防治措施,有效控制其危害。但国内外的防治经验表明,依赖化学农药防治草地贪夜蛾容易导致其产生抗药性。有关该害虫的化学防治和抗药性已有大量综述报道,本文重点从转基因抗虫作物角度对草地贪夜蛾的防治研究进行综述,展望其在草地贪夜蛾防治中的应用。

关键词:草地贪夜蛾;转基因抗虫玉米;化学防治;抗性风险

中图分类号:S 188 **文献标志码**:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2020.02.003

Advance of Control *Spodoptera frugiperda* with Transgenic Insect-resistant Corn

REN Long[1,2], SHEN Minghe[2], WANG Xizhu[2], RUI Changhui[1*]

(1. Institute of Plant Protection,Chinese Academy of Agricultural Sciences,Beijing 100193, China; 2. Sinochem Fertilizer Co., Ltd., Beijing 100001, China)

Abstract: The *Spodoptera frugiperda* invaded China in January 2019, quickly spread to 26 provinces and municipalities, seriously harming corn, sugar cane and other crops. In order to effectively control the insect, Chinese government has taken emergency chemical control measures in time. However the experience in control the insect at domestic and foreign that chemical pesticides can easily lead to pesticide resistance. Recently, reviews on chemical control and insecticide resistance of this pest have been extensively summarized. This paper review on the control of *Spodoptera frugiperda* from the perspective of transgenic insect resistant crops, and prospect of its role in the control of *Spodoptera frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; transgenic insect-resistant corn; chemical control; resistance risk

1 草地贪夜蛾发生与危害

草地贪夜蛾,属于鳞翅目夜蛾科,包括卵、幼虫、蛹、成虫4个虫态,主要在幼虫期危害农作物,低龄幼虫取食玉米叶片、心叶,3龄后进入暴食期,还可取食叶鞘、果穗等,严重时导致玉米出现枯心、秃杆症状,严重影响玉米产量[1-3]。草地贪夜蛾具有繁殖力强、迁飞距离远、食性杂、危害重等特点,给防治带来很大困难。据统计,在南美的巴西、阿根廷和非洲地区草地贪夜蛾危害减产率达30%～70%,推测每年全球经济损失达到十几亿美元[4-5]。

草地贪夜蛾原产于美洲的热带和亚热带地区,2018年首次传入亚洲地区,2019年1月在我国云南首次监测到草地贪夜蛾入侵[6],目前已经在26个省区市监测到草地贪夜蛾的发生和危害。根据寄主差异,草地贪夜蛾被分为玉米型和水稻型,两者形态上相同,但基因型有差异,对杀虫剂也表现出不同的敏感性。我国监测到的草地贪夜蛾以玉米型为主,水稻型也有报道[7]。

2 化学防治与抗性问题

目前,国内针对草地贪夜蛾的发生危害,采取

收稿日期:2019-12-28
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0200500,2017YFD0200304);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2019YJ06)
作者简介:任龙(1988—),男,山东费县人,农艺师,主要从事杀虫剂毒理与害虫抗药性研究。E-mail:leonrenjob@126.com
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:huirch@163.com

的主要措施是应急化学农药防治，充分发挥了化学农药杀虫速度快、易操作、可选药剂品种多的优势，快速有效地控制了该害虫的危害。2019年农业农村部推荐应急防治农药名单涵盖了有机磷类、菊酯类、苯甲酰脲类、双酰胺类杀虫剂品种及农药混剂共25种。国内一些研究机构也广泛开展对于草地贪夜蛾的防治药剂的测试[8-9]。

王芹芹等[10]通过对14种农药对草地贪夜蛾杀卵活性室内生测表明，苯氧威、甲维盐、除虫脲等杀虫剂的活性较高，可以作为产卵期、幼虫孵化期的备选药剂。陆道训等[11]测试不同药剂对草地贪夜蛾的防治效果，研究表明甲维茚虫威和虱螨脲对草地贪夜蛾幼虫防效良好。通过对4龄幼虫防效测试，施药后3 d和14 d的杀虫效果均达到100%，保苗防效分别达到68%和95%。吴正伟等[12]研究表明，甲维盐和虫酰肼均可有效控制草地贪夜蛾，两者作用各有特点，可以根据需要联合使用，优势互补。截至目前，从化学药剂对草地贪夜蛾的防治效果来看，还较为理想，并未出现大面积防治失控事件。然而，笔者亲自前往广西、云南实地与种植户交流发现，种植者为了达到防治效果，超量使用农药的现象不在少数。根据已有的害虫抗药性经验推测，随着药剂的过度使用，国内草地贪夜蛾抗药性将会成为突出问题。

国外对草地贪夜蛾抗药性研究报道已经很多。在美洲西部地区，草地贪夜蛾对毒死蜱、丁硫克百威、高效氯氟氰菊酯等农药产生了抗性[13]，导致化学防治效果下降。在中美洲，草地贪夜蛾田间种群对毒死蜱、氯菊酯、氟虫双酰胺、杀铃脲和乙基多杀菌素产生中等水平抗性[14]。巴西中部草地贪夜蛾已经对菊酯类药剂产生中高抗性。进一步抗性机理研究表明，草地贪夜蛾抗药性的产生与靶标基因突变有关，这与其他鳞翅目害虫的抗性机制类似[4]。国内对于草地贪夜蛾抗药性研究报道相对较少，吴益东等[15]研究表明，迁飞至中国的草地贪夜蛾种群对有机磷和菊酯类具备一定抗性，但需要更深一步详细验证。国内大量研究表明，长期大量使用化学药剂防治棉铃虫、小菜蛾等鳞翅目害虫，会产生较严重的抗药性。由此类推，同为鳞翅目害虫的草地贪夜蛾，在国内抗性发展问题，值得高度关注。

3　转基因抗虫玉米在草地贪夜蛾防治上的应用

针对草地贪夜蛾的抗药性问题，采用转基因作物抗击害虫成为一项重要的抗性治理策略，国外已经开展大量此类研究。自20世纪90年代，美国、加拿大、阿根廷已经开始大面积种植转基因抗虫玉米用于防治玉米螟、草地贪夜蛾等鳞翅目害虫。报道显示，美国、加拿大和南非广泛种植BT玉米防治草地贪夜蛾，其类型主要包括Cry1F、Cry1Ab、Cry1A.105和Cry2Ab2[16-20]。Armstrong等[21]研究表明，Cry1Ab玉米对玉米螟和草地贪夜蛾具有良好的抗虫能力，能高效控制害虫在心叶期和穗期的危害。南非亦有类似报道，MON810和MON89034品种对幼虫防治效果较好，其种植面积占该国玉米种植总面积的71%[22]。国内研究方面，岳同卿等[23]研究发现，转Cry1Ah抗虫玉米对亚洲玉米螟具有显著抗性，外源基因可在玉米植株内稳定表达并逐代稳定遗传。王培等[24]通过室内和田间抗虫试验发现，Cry1Ac玉米显著降低亚洲玉米螟的危害，初孵幼虫取食6～7天后，存活率普遍低于15%。张丹丹等[25]研究表明BT-Cry1Ab和BT-(Cry1Ab＋Vip3Aa)玉米对草地贪夜蛾1～4龄幼虫均具有很好的防控效果，其中BT-(Cry1Ab＋Vip3Aa)的效果显著优于BT-Cry1Ab。

4　转基因抗虫玉米抗性问题凸显

尽管BT玉米已成为害虫防治的重要途径，但是随着大面积推广种植，抗性问题也日益凸显。国外研究显示，害虫在基因和环境双重选择条件下，几年内就会产生抗性，相关报道屡见不鲜。转基因抗虫玉米推广数年后，在美洲和非洲均已检测到害虫田间抗性种群，且抗性水平呈上升趋势[26-27]。据报道，美洲种植转基因抗虫玉米（表达Cry1F）7年后，在波多黎各监测到草地贪夜蛾对Cry1F产生抗性，导致转基因抗虫玉米防效下降[28]。南非种植转基因抗虫玉米8年后，田间检测到对转基因抗虫玉米产生了中等水平抗性[21]。在巴西也有类似报道，该害虫对Cry1F和Cry1Ab均产生不同程度抗性[29]。

转基因玉米在国内尚未推广种植，但相关研究机构已经开展转基因抗虫玉米对害虫的抗性风险评估。相关研究[30]表明，玉米螟对转基因Cry1Fa玉米产生了低水平抗性，为后续草地贪夜蛾对转基因玉米的抗性研究提供重要的参考价值。

针对转基因抗虫作物的抗性风险问题，研究人员通过基因调控手段，提高有效蛋白表达，延缓害虫抗性发展。Gómez等[31]研究表明，基因诱变可以提升Cry1Ab的杀虫活性，主要因为N514A突变使杀虫蛋白表达量增加。Eghrari等[32]对BT等位基因研究表明，TC1507xMON89034xNK603在纯合BT玉

米中蛋白表达量更高，更适合用于防治草地贪夜蛾。王培等[24]研究结论与之一致，纯合型BT玉米对玉米螟的抗虫能力显著高于分离型。另外，基因组合也被用于提高转基因玉米对草地贪夜蛾防效。国外研究表明，重组基因Cry1A.105抗虫玉米对草地贪夜蛾防效高于Cry1F和Cry1Ab[33]。国内亦有类似研究成果，李国平等[34]研究发现Cry1Ab（或Cry1F）＋Vip3Aa、Cry1Ab（或Cry1F）＋Cry2Ab玉米可有效控制草地贪夜蛾的发生与危害。

5 讨论与展望

本文综述了国内外BT玉米防治草地贪夜蛾的主要研究进展。类比化学防治抗性问题，转基因抗虫玉米可能导致的草地贪夜蛾抗性问题，不容忽视。截至目前，草地贪夜蛾对Cry1F、Cry1A等多种类型产生了抗性，对于其他基因型的研究需要继续探索。在基因研究层面，对于杀虫蛋白表达量和类型的研究还需要进一步深入。一方面，需研究如何通过提高基因诱导有效性，从而高效率提高叶片中杀虫蛋白表达量；另一方面，有效基因组合方式需要继续研究，从而提高对多种害虫的综合防治效果。目前，国内转基因作物对于草地贪夜蛾的研究还相对较少。

结合我国种植结构、施药水平等特点，笔者认为对于草地贪夜蛾防治，需要制定战略性的联防联控措施。首先，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，且尚未潜藏到心叶，施药方便，农药在较低剂量下就可以达到较高防治效果。其次，做好害虫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，从而有效控制害虫，同时延缓其抗药性的发生。我国玉米种植从南到北，为害虫提供了丰富的食源，草地贪夜蛾迁飞转移能力强，一旦监测和防治不及时，很容易导致大面积暴发。参考国外经验，推广种植转基因抗虫玉米可以作为防治草地贪夜蛾重要举措之一，国内采用转基因抗虫玉米这一防治措施是否可行，需要政策、经济、社会、科学技术等多角度慎重考虑。

从科学技术角度看待草地贪夜蛾的防治，无论是采取化学防治，还是利用转基因抗虫作物，均应与多种措施结合进行综合防治。在草地贪夜蛾的抗药性治理上，澳洲、美洲采取庇护所技术，综合防治草地贪夜蛾，值得国内研究借鉴。

参考文献

[1] MONTEZANO D G, SPECHT A. Host plants of *Spodoptera frugiperda* in the Americas[J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-300.

[2] PASHLEY D P, JOHNSON S J, SPARKS A N. Genetic population structure of migratory moths-the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1995, 78(6): 756-762.

[3] GOERGEN G, KUMAR P L. First report of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), a new alien invasive pest in west and central Africa[J]. PLoS ONE, 2016, 11(10): 1-9.

[4] OMOTO C, FIELD L M, WILLIAMSON M S. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm[J]. PLoS ONE, 2013, 8(4): 1-11.

[5] 郭井菲, 赵建周, 何康来. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 1-10.

[6] 朱峰, 胡阳, 龙育堂. 低容量喷雾器械对草地贪夜蛾防治效果研究[J]. 现代农药, 2019, 18(5): 47-48.

[7] 杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾[J]. 云南农业, 2019(1): 72.

[8] 唐运林, 顾偌铖, 吴燕燕, 等. 入侵重庆地区的草地贪夜蛾种群生物型鉴定[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(7): 1-7.

[9] 赵胜园, 孙小旭, 张浩文. 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; 20.

[10] 王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 14种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 80-83; 113.

[11] 陆道训, 张玉美, 席春虎, 等. 不同药剂对草地贪夜蛾的防治效果[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(17): 132-134.

[12] 吴正伟, 李运, 徐进, 等. 虫酰肼和甲维盐对甜玉米草地贪夜蛾的生物活性及田间防效[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 968-973.

[13] EARLY R. Forecasting the global exent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*[J]. NeoBiota, 2018(40): 25-50

[14] GONZALEZ-MORENO P. Fall armyworm: impacts and implication for Africa. Evidence Note Update[EB/OL]. [2019-12-20]. https://www.invasive-species.org.

[15] 吴益东, 沈慧雯, 张正. 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.

[16] BUNTIN G D. Assessment of experimental Bt events against fall armyworm and corn earworm in field corn[J]. Journal of Economic Entomology, 2004, 97(2): 259-264.

[17] SIEBERT M, LEONARD S, Stewart J. Evaluation of corn hybrids expressing Cry1F, cry1A.105, Cry2Ab2, Cry34Ab1/Cry35Ab1, and Cry3Bb1 against southern United States insect pests[J]. Econ Entomol, 2012, 105(5): 1825-1834.

[18] STORER, N P. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: lessons from Puerto Rico[J]. Invertebr Pathol, 2012, 110 (3): 294-300.

[19] BUNTIN, G D. Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for

fall armyworm and corn earworm management in field corn for grain production[J]. Fla Entomol, 2008, 91(4): 523-530.

[20] BERNARDI D O. Biological activity of Bt proteins expressed in different structures of transgenic corn against *Spodoptera frugiperda* [J]. Ciência Rural, 2016, 46(6): 1019-1024.

[21] ARMSTRONG C L. Field evaluation of European corn borer control in progeny of 173 transgenic corn events expressing an insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis*[J]. Crop Science, 1995, 35(2): 550-557.

[22] International Service for the Acquisition of Agri-bitech Applications. Global status of commercialized biotech[EB/OL]. [2019-12-20]. http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs.

[23] 岳同卿, 郎志宏, 王延锋, 等. 转Bt-cry1Ah基因抗虫玉米的获得及其遗传稳定性分析[J]. 农业生物技术学报, 2010, 18(4): 638-644.

[24] 王培, 何康来, 王振营, 等. 转cry1Ac玉米对亚洲玉米螟的抗性评价[J]. 植物保护学报, 2012, 39(5): 395-400.

[25] 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.

[26] FARIAS J R, ANDOW D, HORIKOSHI R J, et al. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil[J]. Crop Prot, 2014, 64(1): 150-158.

[27] MONNERAT R, MARTINS E, QUEIROZ P, et al. Genetic variability of *Spodoptera frugiperda* smithpopulations from Latin America is associated with variations in susceptibility to *Bacillus thuringiensis* cry toxins[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(11): 7029-7035.

[28] BOTHA A S, ERASMUS A, HANNALENE du P, et al. Efficacy of Bt maize for control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Africa[J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(3): 1260-1266.

[29] 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(9): 1727-1736.

[30] 韩海亮, 李光涛, 王振营. Cry1Ac抗性亚洲玉米螟对四种Bt蛋白的交互抗性[J]. 植物保护学报, 2009, 36(4): 329-334.

[31] GÓMEZ I, OCELOTL J, SÁNCHEZ J, et al. Enhancement of Bacillus thuringiensis Cry1Ab and Cry1Fa Toxicity to *Spodoptera frugiperda* by Domain Ⅲ Mutations indicates there are two limiting steps in toxicity as defined by receptor binding and protein stability[J]. Applied and Environmental microbiology, 2018, 84(20): 34-37.

[32] EGHRARI K, BRITO A H, BALDASSI A, et al. Homozygosis of Bt locus increases Bt protein expression and the control of *Spodoptera frugiperda* in maize hybrids[J]. Crop Protection, 2019, 55(4): 67-73.

[33] HUANG F, QURESHI J A, HEAD G P, et al. Freqyency of bscillus thuringiensis Cry1A.105 resistance alleles in field populations of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Louisiana and Florida[J]. Crop Protection, 2016, 83(7): 83-89.

[34] 李国平, 姬婷婕, 孙小旭, 等. 入侵云南草地贪夜蛾种群对5种常用Bt蛋白的敏感性评价[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 15-20.

（责任编辑：范小燕）

（上接第 11 页）

[57] 周伟峰, 黄旭锋, 郑浩, 等. 全二维气相色谱-飞行时间质谱法分离复杂体系中7种指示剂多氯联苯[J]. 中国环境监测, 2015, 31(1): 113-117.

[58] FOCANT J F, SJODIN A, PATTERSON D G. Improved separation of the 209 polychlorinated biphenyl congeners using comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1040(2): 227-238.

[59] 姜俊, 李培武, 谢立华, 等. 固相萃取-全二维气相色谱/飞行时间质谱同步快速检测蔬菜中64种农药残留[J]. 分析化学, 2011, 39(1): 72-76.

[60] ZROSTLIKOVA J, HAJSLOVA J, CAJKA T. Evaluation of two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry for the determination of multiple pesticide residues in fruit [J]. Journal of Chromatography A, 2003, 1019(1/2): 173-186.

[61] DALLUGE J, VAN RIJN M, BEENS J, et al. Comprehensive two-dimensional gas chromatography with time-of-flight mass spectrometric detection applied to the determination of pesticides in food extracts[J]. Journal of Chromatography A, 2002, 965(1/2): 207-217.

[62] VAN DER LEE M K, VAN DER WEG G, TRAAG W A, et al. Qualitative screening and quantitative determination of pesticides and contaminants in animal feed using comprehensive two-dimensional gas chromatography with time-of-flight mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1186(1/2): 325-339.

[63] SCHUREK J, PORTOLES T, HAJSLOVA J, et al. Application of head-space solid-phase microextraction coupled to comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry for the determination of multiple pesticide residues in tea samples[J]. Analytica Chimica Acta, 2008, 611(2): 163-172.

[64] CORDERO C, GUGLIELMETTI A, BICCHI C, et al. Comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with time of flight mass spectrometry featuring tandem ionization: challenges and opportunities for accurate fingerprinting studies[J]. Journal of Chromatography A, 2019, 1597: 132-141.

[65] 刘朝霞, 周亚楠, 何兰, 等. 二维液相色谱技术在药物分析中的应用[J]. 中国药学杂志, 2019, 54(12): 941-946.

[66] MONTERO L, HERRERO M. Two-dimensional liquid chromatography approaches in foodomics: a review[J]. Analytica Chimica Acta, 2019, 1083: 1-18.

[67] 高雯, 宋慧鹏, 杨华, 等. 在线二维液相色谱技术在中药研究中的应用进展[J]. 色谱, 2017, 35(1): 121-128.

（责任编辑：徐娟）