

梁晋刚,谢悦,肖冰,等. 应用转基因玉米防治草地贪夜蛾[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):23-26.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.005

# 应用转基因玉米防治草地贪夜蛾

梁晋刚<sup>1</sup>, 谢悦<sup>3</sup>, 肖冰<sup>4</sup>, 毕研哲<sup>5</sup>, 李东阳<sup>6</sup>, 张秀杰<sup>1</sup>, 萧玉涛<sup>2</sup>

(1. 农业农村部科技发展中心, 北京 100176; 2. 中国农业科学院深圳农业基因组研究所, 广东深圳 518120; 3. 全国畜牧总站, 北京 100125;

4. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 5. 山东省农业科学院植物保护研究所, 山东济南 250100;

6. 中国农业科学院棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室, 河南安阳 455000)

**摘要:**草地贪夜蛾入侵我国后,对玉米、高粱、水稻、甘蔗等多种主要禾本科作物的生产构成了重大威胁。转基因抗虫玉米作为防治农业害虫的一种有效手段,在防治草地贪夜蛾的过程中,也发挥了重要的作用。但随着转基因抗虫玉米在国外的大规模应用,靶标害虫的抗性也日益凸显,已有研究报道草地贪夜蛾对其的田间敏感性降低。重点分析并描述转基因抗虫玉米在防治草地贪夜蛾中的应用,并探讨防治过程中产生的靶标害虫抗性,针对转基因抗虫玉米在防控草地贪夜蛾中出现的抗虫性等问题提出了相关对策与建议。

**关键词:**转基因抗虫玉米;禾本科作物;草地贪夜蛾;防控

**中图分类号:**S433.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)08-0023-03

## 1 草地贪夜蛾的发生和危害

草地贪夜蛾 [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] 属鳞翅目夜蛾科, 依赖其较强的适应性和迁移能力, 成为了一种威胁全球农作物生产的农业害虫<sup>[1]</sup>。2018 年 12 月, 草地贪夜蛾入侵我国。截至 2019 年 10 月, 草地贪夜蛾威胁到了长江、黄河、淮河流域的 26 个省、市、自治区的玉米、水稻等农作物生产, 对我国粮食作物的生产造成了严重的影响, 威胁到了我国的粮食安全, 并给我国的环境生态保护和可持续发展带来了挑战<sup>[2-3]</sup>。根据全国农技中心报道, 2021 年草地贪夜蛾发生区主要集中在黄淮海及以南地区, 预计见虫面积达 266.67 万  $\text{hm}^2$ 。

由于草地贪夜蛾取食的多样性, 会对重要的粮食作物的生产造成严重的威胁, 特别是玉米和水稻

的生产, 基于此特点, 研究人员将草地贪夜蛾分为水稻型和玉米型等 2 种类型: 玉米型草地贪夜蛾主要影响玉米和棉花等作物的生产; 水稻型草地贪夜蛾主要影响水稻等作物的生产。据专家对非洲国家玉米生产的统计, 草地贪夜蛾每年最高可造成 2 060 万 t 玉米的损失, 经济方面每年可造成高达 62 亿美元的损失<sup>[4]</sup>。据统计, 自草地贪夜蛾开始入侵我国以来, 严重威胁我国玉米生产<sup>[1-2]</sup>。2019 年, 草地贪夜蛾危害了我国 16 万  $\text{hm}^2$  左右的农作物生产, 造成了 5% 以内的地区产量损失<sup>[5]</sup>。专家通过对入侵我国的草地贪夜蛾进行基因水平的鉴定, 确定其种群最初来源可能为美国的佛罗里达州, 是比较特殊的一种玉米型草地贪夜蛾<sup>[6-8]</sup>。

## 2 转基因抗虫玉米在防治草地贪夜蛾中的应用

种植转基因抗性品种是农作物害虫综合防治的有效途径之一, 并可降低农药化肥的使用及环境污染。玉米螟等鳞翅目害虫每年都会对美国的农业生产造成巨大损失, 自 20 世纪 90 年代, 美国为防治包括草地贪夜蛾在内的鳞翅目害虫, 开始加强对转 *Bt* 基因在内的抗虫转基因玉米的研发, 并广泛推广种植, 初期防治效果良好, 初步实现了可持续发展的目的<sup>[9-10]</sup>。自 1996 年以来, 迄今已有 200 余个带有抗虫性状的转基因玉米转化事件被批准商业化应用, 其中表达 *cry1Ab*、*cry1F*、*cry2Ab2*、*cry1A.105* 和 *vip3Aa20* 基因的转基因抗虫玉米在防治草地贪

收稿日期: 2021-06-21

基金项目: 农业科研杰出人才培养计划 (2021 年); 转基因生物新品种培育重大专项 (编号: 2021ZX08013001、2019ZX08012-004、2016ZX08012003)。

作者简介: 梁晋刚 (1987—), 男, 山西阳泉人, 博士, 高级农艺师, 从事农业转基因生物安全检测研究, E-mail: liangjingang@agri.gov.cn; 共同第一作者: 谢悦 (1987—), 女, 黑龙江绥化人, 硕士, 畜牧师, 从事植物病原真菌鉴定和农业转基因检测研究, E-mail: xieyue\_10@163.com。

通信作者: 张秀杰, 博士, 高级农艺师, 从事农业转基因生物安全检测研究。E-mail: zhxj7410@sina.com。

夜蛾的过程中效果较好<sup>[11-12]</sup>。2019 年,全世界用来种植转基因抗虫玉米的土地面积超 1 亿  $\text{hm}^2$ <sup>[12]</sup>。同时,为增强防治效果,研究人员在研发过程中也开始尝试为玉米导入多种抗性基因;在抗虫性状的表达上也从单一性状逐渐转变为多性状复合,从而实现了抗虫谱的不断扩大。

前期,对抗虫耐除草剂玉米 DBN9936 在防控草地贪夜蛾上的效果评价工作已经完成,结果证明 DBN9936 具有良好的抗虫性能<sup>[5]</sup>。2019 年以来,农业农村部向包括 DBN9936 在内的 3 个国产转基因抗虫玉米转化事件颁发了转基因生物生产应用安全证书,为我国能够有效防控草地贪夜蛾提供了新的工具,同时为转基因抗虫玉米的应用和研究积累了宝贵的经验。中国农业科学院吴孔明院士提出我国草地贪夜蛾的防控工作应采取应急防控和绿色可持续控制两步走的阶段性策略。因此,应立足于现今处于防治窗口期的有利条件,在制定防治草地贪夜蛾的策略时以抗虫玉米等生物育种农作物为中心,以实现可持续发展的目的<sup>[9]</sup>。

### 3 草地贪夜蛾防治过程中的抗性问题的

在以美国为代表的美洲国家,为了有效防治草地贪夜蛾等害虫,纷纷大规模种植转基因抗虫玉米<sup>[11]</sup>。在最初的种植阶段,防治取得了良好的效果,但随着种植规模的不断扩大,加之管理不善等问题,草地贪夜蛾开始对 Bt 蛋白出现抗性<sup>[13-14]</sup>。转 *cry1F* 基因抗虫玉米 TC1507 在波多黎各种植 3 年、在阿根廷种植 8 年后,草地贪夜蛾对其产生了显著抗性<sup>[15-16]</sup>。在巴西,转 *cry1Ab* 基因抗虫玉米 MON810 和 Bt11、转 *cry1A. 105/cry2Ab2* 基因抗虫玉米 MON89034、转 *cry1F* 基因抗虫玉米 TC1507 和 TC1507 × NK603、转 *cry1A. 105/cry2Ab2/cry1F* 基因抗虫玉米 MON89034 × TC1507 × NK603、转 *cry1F/cry1Ab* 基因抗虫玉米 TC1507 × MON810 × NK603 种植 1~4 年后,研究人员便发现以上品种的玉米抗虫效果下降,通过进一步的试验研究,证明了草地贪夜蛾对以上抗虫基因产生了抗性<sup>[17-18]</sup>。在美国, Huang 等对美国东南部的草地贪夜蛾种群进行了研究,发现其对 *cry1F* 和 *cry1A. 105* 等 2 种抗虫基因产生了抗性<sup>[19-20]</sup>。目前,据研究和统计,草地贪夜蛾对转 *vip3Aa20* 基因的抗虫玉米还具有较高的敏感性,未发现抗性种群的产生<sup>[21]</sup>。

科研人员对草地贪夜蛾抗性产生的机制进行

了广泛的研究,其抗性产生的原因总结起来可以归为以下几个方面:(1)基于草地贪夜蛾寄主多样性的原因,其在表达相同抗虫蛋白的不同作物之间具有较强的适应能力,导致某种抗虫基因的防治效果下降进而失效。(2)由于草地贪夜蛾繁殖能力较强,其在温度较高的地区每年可迭代 10 次以上,加之玉米每年均有种植,草地贪夜蛾在较强的自然选择压力下,其种群的抗性会不断的加强。(3)草地贪夜蛾世代间较短,若种群中出现 1 个抗性个体,通过较强的繁殖能力会产生大量的抗性后代,进而导致抗性基因的基因频率在种群中快速升高。(4)草地贪夜蛾的迁徙能力较强,可以在地区之间、各洲之间进行广泛的迁移,这导致了草地贪夜蛾一旦产生抗性基因,会在不同的地区扩散。(5)基于种植方式、管理等问题,转基因抗虫玉米在种植过程中没有达到高剂量表达的性能要求,且没有种植足够的庇护所<sup>[22-23]</sup>。

### 4 我国应用转基因抗虫玉米防治草地贪夜蛾的对策和建议

由于草地贪夜蛾具有很强的迁徙能力,其危害地区和范围广泛,而且玉米作为我国主要的粮食作物之一,种植面积较广,所以我国的大部分地区均为草地贪夜蛾的适宜生长区域<sup>[24]</sup>。由于我国玉米种植格局在南北方的季节差异,使得草地贪夜蛾能通过不断迁飞获得源源不断的食物,在我国终年繁殖危害<sup>[25]</sup>。专家研究了入侵我国的草地贪夜蛾,其对有机磷等农药具有很强的抗性,但是对转 *cry1Ab* 基因的抗虫玉米具有较高的敏感度<sup>[26-28]</sup>。最近的一份报告也指出,在我国大面积种植转 *Bt* 基因玉米将有助于控制草地贪夜蛾的危害<sup>[29]</sup>。随着 3 个国产转基因抗虫耐除草剂玉米获得了生产应用安全证书,表明我国转 *Bt* 基因玉米的应用技术开始走向成熟。通过总结全球转基因玉米的种植经验和对抗性问题的研究,我们有必要注意抗性问题的。

#### 4.1 转基因抗虫玉米整体种植方面的策略

在种植方面应按照整体布局,源头治理的原则。首先,应该根据地区的特点和草地贪夜蛾的习性做好种植上的地区布局,并加强对相应地区的管理和指导。其次,对虫源区域做好管理工作,防止抗性的产生。在南方冬玉米种植区种植与其他种植区没有交互抗性的转 *Bt* 基因玉米品种<sup>[23]</sup>。

#### 4.2 切实应用高剂量/庇护所策略

目前,国外的经验表明,配合有效管理的前提

下,高剂量/庇护所策略依然是针对草地贪夜蛾的有效抗性治理策略<sup>[30]</sup>。在我国,由于没有草地贪夜蛾的有效自然庇护所,且以家庭为生产单位的小农户生产方式决定了只能使用种子混合法(refuge-in-a-bag)策略来延缓靶标害虫的抗性<sup>[31-33]</sup>。对于申请生产应用安全证书的转基因抗虫玉米转化事件及其衍生品系,要确保其表达足够的杀虫蛋白量,减伤相应害虫后代的存活能力,减缓抗性传播和产生的过程,为新品种的研发和虫害的防治打出时间差。

#### 4.3 研发具有不同作用机制的转双价或多价基因抗虫玉米

在利用现有的抗虫蛋白的基础上对其进行改造或者继续发现和利用新的抗虫蛋白,同时广泛采用没有交叉抗性的多基因策略,在玉米中导入不同抗性基因,有效防治草地贪夜蛾的同时也延缓了其抗性的产生和发展<sup>[34]</sup>。另外,要避免种植区域重叠的不同转基因作物使用相同基因,比如转 *cry1Ab* 基因抗虫玉米和抗虫棉花<sup>[35]</sup>。

#### 4.4 加强抗性监测

统筹兼顾全国各地的监控网络,制定协调统一的抗性监测策略,在一些主要种植抗虫玉米的地区,应建立长期监测机构,制定长效监测机制,统计并掌握自然种群的草地贪夜蛾的敏感基线及抗性基因频率,及时掌握草地贪夜蛾对转基因抗虫玉米的抗性变化动态,根据情况变化及时调整防控方案、抗性治理对策等,坚决防止草地贪夜蛾的迁移对其他农作物的生产造成不良影响<sup>[32,36]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 秦誉嘉,杨冬才,康德琳,等. 草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失评估[J]. 植物保护,2020,46(1):69-73.
- [2] 吴孔明,杨现明,赵胜园,等. 草地贪夜蛾防控手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2020.
- [3] 周绍群. 不同玉米品种对草地贪夜蛾抗性的评估及其在防治中的应用前景[J]. 植物保护,2019,45(5):8-12.
- [4] Day R, Abrahams P, Bateman M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa[J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28(5):196-201.
- [5] Liang J G, Zhang D D, Li D Y, et al. Expression profiles of Cry1Ab protein and its insecticidal efficacy against the invasive fall armyworm for Chinese domestic GM maize DBN9936[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(3):792-803.
- [6] 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.
- [7] 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):19-24,56.
- [8] Jing D P, Guo J F, Jiang Y Y, et al. Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques[J]. Insect Science, 2020, 27(4):780-790.
- [9] 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.
- [10] 王登杰,任茂琼,姜继红,等. 草地贪夜蛾绿色防控技术研究进展[J]. 植物保护,2020,46(1):1-9.
- [11] 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.
- [12] 国际农业生物技术应用服务组织. 2019 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势[J]. 中国生物工程杂志,2021,41(1):114-119.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Storer N P, Babcock J M, Schlenz M, et al. Discovery and characterization of field resistance to *Bt* maize; *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico[J]. Journal of Economic Entomology, 2010, 103(4):1031-1038.
- [16] Chandrasena D I, Signorini A M, Abratti G, et al. Characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F  $\delta$ -endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina[J]. Pest Management Science, 2018, 74(3):746-754.
- [17] Fatores J C, Michel A P, Silva Filho M C, et al. Adaptive potential of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) limits *Bt* trait durability in Brazil[J]. Journal of Integrated Pest Management, 2017, 8(1):17.
- [18] Farias J R, Andow D A, Horikoshi R J, et al. Field-evolved resistance to *Cry1F* maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil[J]. Crop Protection, 2014, 64, 150-158.
- [19] Huang F N, Qureshi J A, Meagher R L Jr, et al. *Cry1F* resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided *Bt* maize[J]. PLoS One, 2014, 9(11):e112958.
- [20] Huang F N, Qureshi J A, Head G P, et al. Frequency of *Bacillus thuringiensis* *Cry1A*. 105 resistance alleles in field populations of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Louisiana and Florida[J]. Crop Protection, 2016, 83, 83-89.
- [21] 郭井菲,赵建周,何康来,等. 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.
- [22] Li Y H, Wang Z Y, Romeis J. Managing the invasive fall armyworm through biotech crops: a Chinese perspective[J]. Trends in Biotechnology, 2021, 39(2):105-107.
- [23] 何康来,王振营. 草地贪夜蛾对 *Bt* 玉米的抗性与治理对策思考[J]. 植物保护,2020,46(3):1-15.
- [24] 田俊策,鲁艳辉,王国荣,等. 5 种赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生能力研究[J]. 中国生物防治学报,2020,36(4):485-490.
- [25] 杨普云,朱晓明,郭井菲,等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议[J]. 植物保护,2019,45(4):1-6.
- [26] Zhang L, Liu B, Zheng W G, et al. Genetic structure and insecticide resistance characteristics of fall armyworm populations invading China[J]. Molecular Ecology Resources, 2020, 20(6):1682-1696.

王有慧,陈文华,易传辉,等. 草地贪夜蛾对 4 个玉米品种的产卵和取食选择特性[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):26-31.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.006

# 草地贪夜蛾对 4 个玉米品种的产卵和取食选择特性

王有慧<sup>1,2</sup>, 陈文华<sup>2</sup>, 易传辉<sup>1</sup>, 肖文祥<sup>3</sup>, 段修安<sup>4</sup>, 柳青<sup>2</sup>, 张晓明<sup>5</sup>

(1. 西南林业大学生物多样性保护学院/云南省森林灾害与控制重点实验室, 云南昆明 650224;

2. 保山学院资源环境学院/云南省高校滇西昆虫资源保护与利用重点实验室, 云南保山 678000;

3. 云南省保山市植保植检站, 云南保山 678000; 4. 云南省保山市农业环境保护监测站/保山市绿色发展中心, 云南保山 678000;

5. 云南农业大学植物保护学院/云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南昆明 650201)

**摘要:**选用云南省保山市 3 种类型 4 个常见的玉米品种:甜质型玉米“正甜 99”、糯质型玉米“花糯 168”及饲用型玉米“恩白玉 3 号”和“富玉 6 号”,采用自由选择法测定草地贪夜蛾在不同玉米品种上的产卵量、幼虫生长发育历期和取食选择率。结果表明,草地贪夜蛾在 4 个玉米品种上的产卵量具有显著差异( $P < 0.05$ ),以在正甜 99 上的卵块数和卵粒数最多,分别为 12.67 块和 1 001.67 粒,而在其他 3 个玉米品种间无显著差异( $P > 0.05$ );取食不同玉米品种的草地贪夜蛾幼虫总历期、蛹历期和成虫寿命也有显著差异( $P < 0.05$ ),其中以取食富玉 6 号的幼虫总历期、蛹历期最长,分别为 17.09、10.93 d,成虫寿命则以取食正甜 99 的最长,为 13.89 d;草地贪夜蛾 3~6 龄各龄期幼虫对 4 个玉米品种的取食选择具有明显趋向性,均以对正甜 99 的取食选择率最高,显著高于对其他 3 种玉米品种的取食选择率( $P < 0.05$ )。研究结果可为不同类型玉米上草地贪夜蛾的防控提供参考。

**关键词:**草地贪夜蛾;玉米品种;产卵选择性;生长发育;取食选择

**中图分类号:** S435.132 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)08-0026-06

草地贪夜蛾 [*Spodoptera frugiperda* (Smith)] 隶

属鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae) 灰翅夜蛾属 (*Spodoptera*), 是一种具有很强迁飞能力的重大入侵害虫<sup>[1-4]</sup>。2019 年 1 月草地贪夜蛾首次在我国云南省江城县被发现<sup>[5-6]</sup>, 随后相继在云南德宏、保山、临沧及普洱等地州多个县(市、区)均发现该虫入侵<sup>[7-8]</sup>, 截至 2019 年 10 月已扩散至 26 个省(市、区), 累计发生危害面积达 108 万  $\text{hm}^2$ , 给各地农作物生产造成了严重危害<sup>[9-11]</sup>。

草地贪夜蛾食性非常复杂, 可以取食多达 76 科 353 种寄主植物种类<sup>[12]</sup>, 根据其对不同寄主植物的

收稿日期:2022-03-18

基金项目:云南省重大科技专项计划(编号:202102AA310055);云南省“高层次人才培养支持计划”青年拔尖人才专项(编号:YNWRQNB2020101);云南省高校滇西昆虫资源保护与利用重点实验室建设项目(编号:云教发[2019]57号)。

作者简介:王有慧(1998—),女,云南曲靖人,硕士研究生,主要从事农业害虫研究。E-mail:2890148807@qq.com。

通信作者:柳青,博士,副教授,主要从事农业害虫研究,E-mail:liuqingge065@126.com;张晓明,博士,副教授,主要从事农业害虫研究,E-mail:zxmalex@126.com。

[27] 杨现明, 韩蕾, 赵胜园, 等. 麦田草地贪夜蛾农药防治技术研究[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 281-285, 315.

[28] 吴益东, 沈慧雯, 张正, 等. 草地贪夜蛾抗性概况及其治理对策[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(4): 599-604.

[29] Silver A. China seeks predator to stop voracious caterpillar[J]. Nature, 2019, 570, 286-287.

[30] 王月琴, 何康来, 王振营. 靶标害虫对 Bt 玉米的抗性发展和治理策略[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(1): 12-23.

[31] Li Y H, Hallerman E M, Peng Y F. How can China prepare for the domestic cultivation of Bt maize[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 73: 87-88.

[32] 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.

[33] Li Y H, Hallerman E M, Wu K M, et al. Insect-resistant genetically engineered crops in China: development, application, and prospects for use[J]. Annual Review of Entomology, 2020, 65(1), 273-292.

[34] 农业部农业转基因生物安全管理办公室, 中国科学技术协会科普部. 农业转基因生物知识 100 问[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.

[35] 沈平, 章秋艳, 林友华, 等. 推进我国转基因玉米产业化的思考[J]. 中国生物工程杂志, 2016, 36(4): 24-29.

[36] 农业农村部科技教育司. 农业农村部办公厅关于印发 2021 年农业转基因生物监管工作方案的通知[EB/OL]. (2021-01-28)[2021-05-21]. [http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/zxjz/202101/t20210128\\_6360650.htm](http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/zxjz/202101/t20210128_6360650.htm).