

BT799 玉米对亚洲玉米螟抗性研究*

王月琴** 何康来*** 江帆 王依冬 张天涛 王振营 白树雄

(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 【目的】抗螟性鉴定是转基因抗虫玉米研发的重要一环。本文主要就转基因玉米 BT799 对亚洲玉米螟的抗性展开评价,同时测定了 BT799 植株组织中 Cry1Ac 蛋白的表达量。【方法】采用了酶联免疫吸附测定法(ELISA)、室内生测和田间人工接虫鉴定 3 种方法。【结果】转基因抗虫玉米 BT799 组织中 Cry1Ac 蛋白含量分别为 768.0 ng/g (蛋白/鲜叶重)和 1 452.8~2 978.5 ng/g (蛋白/花丝、苞叶或幼嫩籽粒干重)。田间心叶期接虫条件下转基因抗虫玉米 BT799 和 CC-2XBT799 表现高抗亚洲玉米螟。室内取食转 Cry1Ac 基因玉米不同组织的亚洲玉米螟敏感幼虫 7 d 后的存活率为 0~37.5%,取食非转基因对照的存活率为 89.9%~100.0%。亚洲玉米螟不同抗性品系取食郑单 958K 组织的存活率以 Cry1Ie 抗性品系最低,其次是 Cry1F 抗性品系,均显著低于取食对照郑单 958, Cry1Ac 抗性品系最高,与对照差异不显著。【结论】转 Cry1Ac 基因玉米 BT799 对亚洲玉米螟有很高的杀虫作用和良好的田间抗螟性。

关键词 转化事件 BT799, Cry1Ac 基因玉米, 亚洲玉米螟, 寄主植物抗性

Resistance of transgenic Bt corn variety BT799 to the Asian corn borer

WANG Yue-Qin** HE Kang-Lai*** JIANG Fan WANG Yi-Dong ZHANG Tian-Tao
WANG Zhen-Ying BAI Shu-Xiong

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

Abstract [Objectives] To review the resistance of transgenic Bt corn to target pests which is one of the primarily steps for research and development of insect-resistant, transgenic corn. This review mainly evaluates the resistance of transgenic Cry1Ac gene corn variety BT799 to the Asian corn borer (ACB), *Ostrinia furnacalis* (Guenée), and measured the quantity of Cry1Ac protein expressed in corn plant tissues. [Methods] Enzyme-linked immunosorbent assays, laboratory bioassay and field studies with artificial infestation were employed in this study. [Results] The expression levels of Cry1Ac protein were 768.0 ng/g (protein/fresh leaves), 1452.8-2978.5 ng/g (protein/dry mass of silk, husk and young kernels). Leaf-feeding rates in field trials indicated that BT799 and CC-2XBT799 were highly resistant to ACB. The survival of ACB larvae feeding on Zhengdan 958K, a single cross hybrid containing BT799, was significantly lower (0-37.5%) than that of larvae that fed on non-Bt Zhengdan 958 (89.9%-100.0%). In addition, larval survival of Cry1Ac-, Cry1Ie-, and Cry1F-selected ACB strains (ACB-AcR, ACB-IeR and ACB-FR) were significantly different when fed on Zhengdan 958K. ACB-IeR had the lowest survival followed by ACB-FR, both of them had significantly lower survival than those that fed on the control Zhengdan 958. However, the survival of ACB-AcR was not significantly different from larvae feeding on the control Zhengdan 958. [Conclusion] These results suggests that the transgenic Bt corn variety BT799 is highly toxic to the ACB and can provide effective control for ACB in the field.

Key words event BT799, transgenic Cry1Ac gene corn, *Ostrinia furnacalis*, host plant resistance

*资助项目: 转基因作物新品种培育重大专项(2014ZX08003-001)

**E-mail: wangyueqin_fly@126.com

***通讯作者, E-mail: klhe@ippcaas.cn

收稿日期: 2014-03-15, 接受日期: 2014-04-01

玉米是世界第一大粮食作物,我国第三大粮食作物,其种植面积和产量均居秋粮作物之首。玉米作为优质的粮食作物、经济作物和饲料作物,在我国国民经济中占有举足轻重的地位。亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 是我国玉米生产上的重要害虫,常年为害致玉米减产 10% 左右,大发生年份可致玉米损失 30% 以上甚至绝收(周大荣, 1996; 王振营等, 2000)。自 Koziel 等(1993)首次报道能成功表达 Cry1Ab 杀虫蛋白的 Bt 玉米以来,先后已有 10 多个不同转化系分别表达 Cry1Ab、Cry1Ac、Cry9C 及 Cry1Fa2 蛋白的转基因抗虫玉米在美国、加拿大、西班牙等国商业化种植(Anderson, 1999)。截止 2013 年,全球种植转基因作物的国家为 27 个,种植总面积达到 1.75 亿 hm^2 ,且在发展中国家转基因作物种植面积的增长速率比发达国家高出 2 倍以上(James, 2014)。另外,转 Bt 基因玉米能大大减少人们对传统化学农药的使用(Shelton *et al.*, 2002; Carrière *et al.*, 2003)。转 Bt 作物在控制自身靶标害虫的同时,也会让附近种植的非 Bt 作物受益(Wu *et al.*, 2008; Hutchison *et al.*, 2010; Tabashnik, 2010)。研究表明 MON810 和 BT11 这两个表达 Cry1Ab 毒素的玉米品种可对亚洲玉米螟幼虫具有全生育期的防治效果(He *et al.*, 2003; 王冬妍等, 2004)。抗性鉴定与评价是转基因玉米研发重要的一环。本研究就转 Cry1Ac 基因抗虫玉米 BT799 对不同亚洲玉米螟抗性进行了田间及室内评价。

1 材料与方法

1.1 供试玉米

实验所用玉米品系包括转 Cry1Ac 基因抗虫玉米 BT799 和将两个抗虫和抗除草剂单基因转化事件通过传统回交转育方法获得的复合性状抗虫耐除草剂玉米 CC-2XBT799, 抗除草剂玉米 CC-2, 以及受体对照玉米品系 Z58, 以及郑单 958 和郑单 958K, 均由中国农业大学玉米中心提供。BT799, CC-2XBT799, CC-2 和 Z58 分别种植在河北省廊坊市中国农业科学院植物保护

研究所科研中试基地和吉林省公主岭市吉林省农业科学院果树研究所试验基地,郑单 958 和 958K 种植在中国农业大学北京上庄实验站。

1.2 供试昆虫

亚洲玉米螟敏感品系(ACB-BtS)原始种群采自陕西省,在室内无琼脂半人工饲料上连续饲养多代,未接触任何 Bt 制剂或蛋白。亚洲玉米螟 Cry1Ac 抗性品系 ACB-AcR, Cry1Ie 抗性品系 ACB-IeR, Cry1F 抗性品系 ACB-FR 为以 ACB-BtS 为起始虫源,在无琼脂半人工饲料中加入一定量的 Cry1Ac, Cry1Ie 或 Cry1F 蛋白进行幼虫全生育期汰选所得的室内抗性品系。

1.3 转基因玉米抗虫性鉴定

1.3.1 室内抗螟性鉴定 苞叶:在玉米吐丝期,从田间采回新鲜的玉米,剥取幼嫩的苞叶(白色),用消过毒的剪刀剪成 $2\sim 3\text{ cm}^2$ 大小,放在 24 孔细胞培养板中,每板为 1 个处理,每个处理重复 6 次。每孔接 1 头待测试品系的初孵幼虫(孵化时间为 $2\sim 12\text{ h}$),放置在温度 $(27\pm 1)^\circ\text{C}$,光周期 16 L: 8 D,相对湿度 70%~80%的人工气候培养箱中培养。每 2 d 调查一次幼虫存活数,根据组织被取食消耗情况更换相同来源的新组织,直至对照组幼虫全部死亡,否则,直至化蛹结束,记录化蛹时间和蛹重。

花丝:在玉米吐丝期,从田间采回玉米,轻取花丝,花丝则是整根缠绕几次,以环状形式放入 24 孔板中,每板为 1 个处理,每个处理重复 6 次。每孔接 1 头待测试品系的初孵幼虫(孵化时间为 $2\sim 12\text{ h}$),培养和调查方法同苞叶。

籽粒:在玉米灌浆期,从田间采回新鲜玉米,用消过毒的镊子将整个籽粒剥出来,放入 24 孔板中,每孔 1 粒,每板为 1 个处理,每个处理重复 6 次。每孔接 1 头待测试品系的初孵幼虫(孵化时间为 $2\sim 12\text{ h}$),培养和调查方法同苞叶。

1.3.2 田间抗螟性鉴定 分别在玉米生长至心叶中期和吐丝期进行田间人工接虫。接虫方法采用管接法(何康来等, 2000),即将发育至黑头的玉米螟卵块 2 块卵放入 1.5 mL 的离心管中,待

幼虫孵出后分别在心叶中期接入玉米心叶丛中或在吐丝期接于雌穗新鲜的花丝上, 每株接 1 管, 约 60 头幼虫。每个供鉴定品系接虫 30 株, 3 次重复。心叶期接虫 14 d 后, 逐株调查植株被害情况, 按照 9 级标准 (何康来等, 2000) 记录食叶级别, 根据食叶级别确定各品系的心叶期抗螟性。花丝期接虫后, 待收获时逐株剖杆调查茎秆蛀孔数、隧道长度等。

1.4 转抗虫基因玉米 Cry1Ac 蛋白表达量测定

转 Cry1Ac 基因玉米组织杀虫蛋白含量的测定采用酶联免疫吸附测定 (Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) 法测定, 试剂盒为 Agdia 公司生产。

1.5 数据处理

转 Bt 基因抗虫玉米对不同品系亚洲玉米螟幼虫死亡率的影响、田间心叶期和穗期待鉴定品系的食叶级别、玉米茎秆蛀孔数、隧道长度和活虫数等数据采用 SAS 程序的 One-way ANOVA

进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 转基因玉米 Cry1Ac 蛋白表达量

转抗虫基因玉米 BT799 不同组织 Cry1Ac 蛋白表达量有一定差异, 以叶片最高, 其次是苞叶、花丝和幼嫩籽粒 (表 1)。

2.2 转 Cry1Ac 基因玉米田间抗螟性

田间心叶期接虫鉴定结果表明, 转抗虫基因玉米与非转抗除草剂基因玉米及普通玉米之间被害级别有显著差异 (廊坊: $F=45.12$; $df=3,8$; $P<0.0001$; 公主岭 $F=587.22$; $df=2,114$; $P<0.0001$)。转基因玉米 BT799 和 CC-2XBT799 植株叶片上有针孔状花叶, 廊坊和公主岭两地平均食叶级别均 <2 级, 即心叶期高抗亚洲玉米螟。与之相比, 非转基因对照玉米 Z58 和转抗除草剂基因玉米 CC-2 叶片上有大的虫孔、长条孔花叶和枯心症状, 平均食叶级别 3~7.7 级 (表 2)。

表 1 BT799 玉米组织 Cry1Ac 蛋白表达量
Table 1 Expression levels of Cry1Ac protein in BT799 tissues

植株组织 Plant tissues	Cry1Ac 含量 Quantity of Cry1Ac protein in corn tissues (ng/g)	
叶 Leaf	768.0 $\pm$ 5.9	组织鲜重 Fresh tissues mass
花丝 Silk	2 312.9 $\pm$ 106.8	组织干重 Dry tissues mass
苞叶 Husk	2 978.5 $\pm$ 55.1	组织干重 Dry tissues mass
籽粒 Young kernel	1 452.8 $\pm$ 62.8	组织干重 Dry tissues mass

表 2 心叶期人工接虫条件下转基因玉米田间抗螟性
Table 2 Resistance levels of transgenic Cry1Ac gene corn in the field with artificial infestation in whorl stage

地点 Location	玉米品系 Corn variety	食叶级别 Leaf feeding ratings
廊坊 Langfang	BT799	1.1 $\pm$ 0.0 c
	CC-2XBT799	1.1 $\pm$ 0.0 c
	CC-2	5.6 $\pm$ 0.5 b
	Z58	3.0 $\pm$ 0.4 a
公主岭 Gongzhuling	BT799	1.2 $\pm$ 0.1 b
	CC-2XBT799	1.5 $\pm$ 0.1 b
	Z58	7.7 $\pm$ 0.2 a

表中同列数据后有相同字母者表示平均数差异不显著 (LSD 测验, $P\geq 0.05$), 下表同。

Data in the same column followed by same letters are not significantly different (LSD test, $P\geq 0.05$), the same below.

穗期接虫后不同玉米品系被害程度间存在显著差异（表 3）。转基因玉米 BT799 和 CC-2XBT799 植株上的残存虫量、隧道长度显著低于对照（残存虫数： $F=9.53$ ， $df=3, 8$ ； $P=0.0051$ ；隧道长度： $F=4.11$ ； $df=3, 8$ ； $P=0.0489$ ），单株蛀孔数明显低于对照（ $F=3.57$ ， $df=3, 8$ ； $P=0.0667$ ）。

应当指出的是穗期廊坊地区桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 发生危害较重，其生态位与亚洲玉米螟重叠，植株被害程度区分产生困难，因此评价玉米螟的危害的准确性受到一定影响。

2.3 转 Cry1Ac 基因玉米雌穗组织对亚洲玉米螟敏感品系的杀虫效果

亚洲玉米螟敏感品系 ACB-BtS 初孵幼虫取食转基因和非转基因玉米品系雌穗不同组织的存活率有显著差异（图 1）。取食郑单 958K 心叶的初孵幼虫，7 d 没有存活，而对照郑单 958 的存活率为 89.9%。取食郑单 958K 花丝、苞叶和幼嫩籽粒 7 d 后的幼虫存活率分别为 16.7%，2.8%和 37.5%。与之相比，取食郑单 958 花丝和幼嫩籽粒 7 d 后的幼虫全部存活，取食苞叶存活率 92.4%。由此可知，郑单 958K 植株组织对亚洲玉米螟具有很高的杀虫效果。

2.4 转 Cry1Ac 基因玉米雌穗组织对亚洲玉米螟不同抗性品系的杀虫效果

亚洲玉米螟 3 个抗性品系初孵幼虫取食转基因玉米品系郑单 958K 的花丝、苞叶和幼嫩籽粒 7 d 后的幼虫存活率均显著低于各自在非转

基因对照郑单 958 上的存活率（图 1）。其中以 ACB-IeR 的存活率最低，为 29.2%~70.8%，其次是 ACB-FR，而 ACB-AcR 最高，为 81.3%~97.2%。同时，以各品系取食郑单 958K 苞叶的存活率显著低于取食花丝和幼嫩籽粒。说明郑单 958K 对亚洲玉米螟 ACB-IeR 品系有良好的杀虫效果，其次是 ACB-FR，而 ACB-AcR 具有较高的抗性。

3 讨论

尽管亚洲玉米螟在我国由北方温带到南方亚热带热带地区 1 年可发生 1~7 代，但一般在玉米整个生育期发生 1~2 代，玉米抗螟性评价主要看其心叶期和穗期抗螟性。玉米品种的抗螟性主要看其在人工接虫情况下的被害状，即食叶级别或雌穗被害和蛀孔情况等。本研究结果表明，转 Cry1Ac 基因抗虫玉米 BT799 及转抗虫和耐除草剂复合性状玉米 CC-2XBT799 心叶期高抗亚洲玉米螟，与已报道的转 Cry1Ac 基因玉米 BT-X 结果一致（王培等，2012），说明可有效控制心叶期亚洲玉米螟的危害。

转基因抗虫作物的应用实践表明，一般 Bt 毒素的表达量在植株营养生长期相对较高，生殖生长期尤其是繁殖器官如花等组织表达量较低（Archer *et al.*, 2001；张永军和吴孔明，2001；王冬妍等，2004；王培等，2012），防治效果下降。本试验结果表明 BT799 和 CC-2XBT799 玉米花丝和苞叶有非常高的杀虫效果，幼嫩籽粒杀虫效果略低。田间整体表现出良好的防治效果。

表 3 穗期接虫鉴定植株被害程度
Table 3 Damage scale of plants under artificial infestation at silk stage

玉米品系 Corn variety	单株残存虫数 Survivors	单株蛀孔数 No. of tunnels/plant	单株隧道长度 (cm) Mean tunnel length/plant
BT799	0.03±0.01b	0.53±0.21b	0.41±0.01c

*资助项目：转基因作物新品种培育重大专项(2014ZX08003-001)

**E-mail: wangyueqin_fly@126.com

***通讯作者，E-mail: klhe@ippcaas.cn

收稿日期：2014-03-15，接受日期：2014-04-01

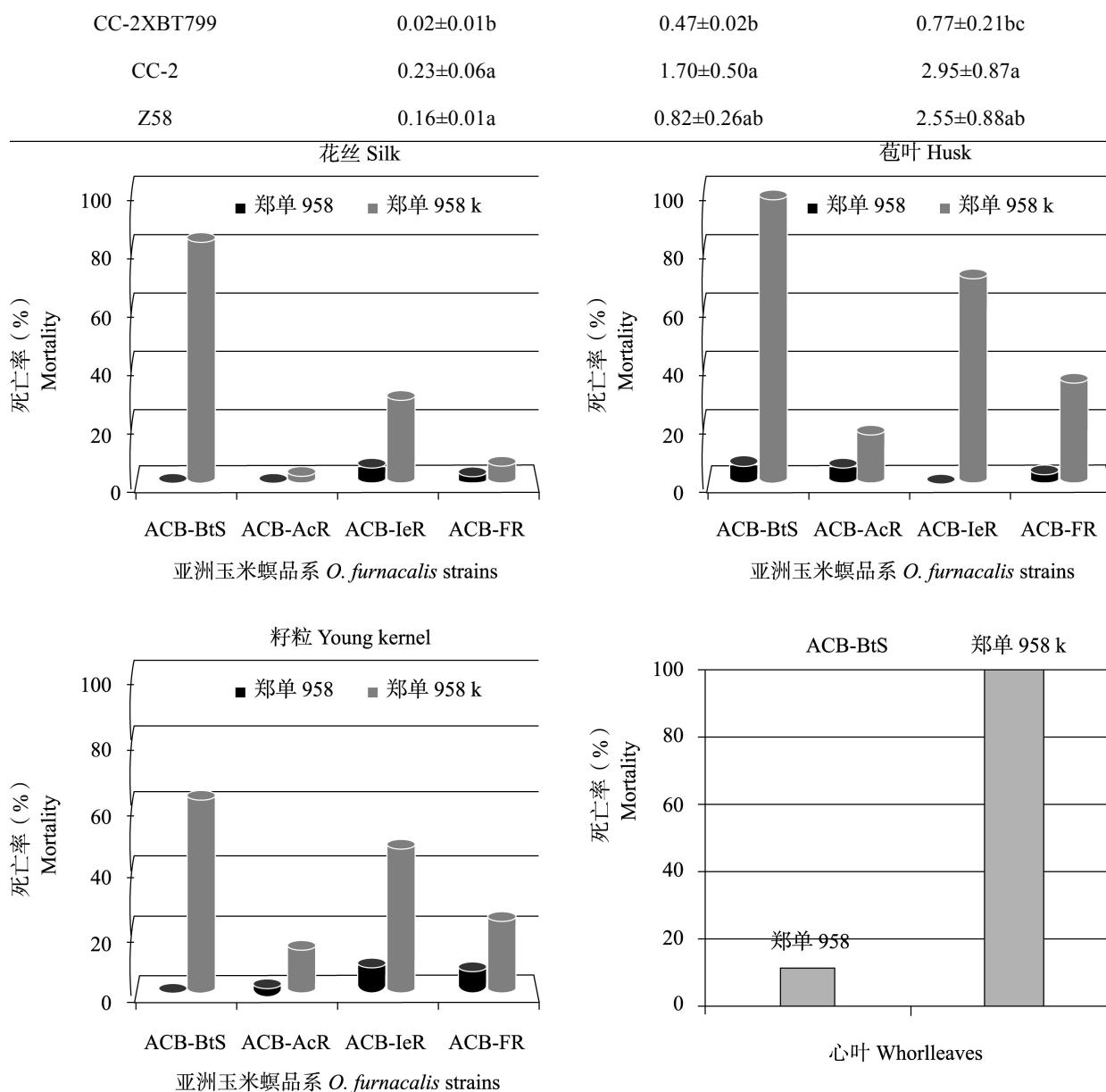


图 1 亚洲玉米螟不同品系初孵幼虫取食不同玉米组织的死亡率
Fig. 1 Mortality of neonates of different *Ostrinia furnacalis* strains feeding on maize tissues

转 Bt 基因抗虫玉米可在全生育期表达 Bt 毒素，用于防治亚洲玉米螟等虫害（何康来等，2004）。然而，大面积的种植转 Bt 作物，将靶标害虫置于一定的毒素选择压下，不可避免的引发靶标害虫抗性种群的产生（McGaughey, 1985；Tabashnik, 1994）。如 2007 年，在南非调查到玉米楷夜蛾 *Busseola fusca*（Fuller）对表达 Cry1Ab 毒素的 Mon810 玉米产生一定的抗性

（Van Rensburg *et al.*, 2007）；在波多黎各各种植转 Bt 玉米 TC1507 品种的田间调查到对 Cry1F 毒素产生抗性的秋粘虫 *Spodoptera frugiperda*（Smith）种群，导致该品种被强制召回（Matten, 2007；Matten *et al.*, 2008；Storer *et al.*, 2010）；以及对转 Bt 基因棉花抗性增加的棉铃虫和美洲棉铃虫（Ali *et al.*, 2006；Li *et al.*, 2007；Matten *et al.*, 2008；Tabashnik *et al.*, 2008）。本研究

表明,表达 Cry1Ac 毒素的 BT799 和 CC-2XBT799 对 Cry1Ac 抗性品系的杀虫效果显著下降,其次是 Cry1F 抗性种群,而对 Cry1Ie 抗性种群表现较高的杀虫效果。这与已报道的室内汰选种群的交互抗性表现形式相一致,即室内汰选的 Cry1Ac 抗性亚洲玉米螟对 Cry1Ab 和 Cry1Ah 毒素有交互抗性,而对 Cry1Ie 没有交互抗性(韩海亮等, 2009); 以及 Cry1Ab 抗性亚洲玉米螟对 Cry1Ac 和 Cry1Ah 毒素有较高的交互抗性,对 Cry1F 交互抗性较低,而对 Cry1Ie 没有交互抗性(Xu *et al.*, 2011)。最近, Zhang 等(2013)报道了转 Cry1Ie 基因玉米自交系对 Cry1Ac 抗性棉铃虫有很好的杀虫效果。多基因策略是延缓靶标害虫对转基因抗虫玉米产生抗性的重要途径。表达 Cry1Ac 和 Cry1Ie 毒素转基因玉米已分别在我国研发成功,本研究结果说明合理利用二者如轮换种植或利用传统的回交转育方法可作为有效的抗性治理策略。

参考文献 (References)

- Ali MI, Luttrell RG, Young SY, 2006. Susceptibilities of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) populations to Cry1Ac insecticidal protein. *J. Econ. Entomol.*, 99(1): 164–175.
- Anderson J, 1999. Proceedings of EPA/USDA Workshop on Bt Crop Resistance Management. Chicago IL, USA.
- Archer T, Patrick C, Schuster G, Cronholm G, Bynum ED, Morrison WP, 2001. Ear and shank damage by corn borers and corn earworms to four events of *Bacillus thuringiensis* transgenic maize. *Crop Prot.*, 20(2): 139–144.
- Carrière Y, Ellers-Kirk C, Sisterson M, Antilla L, Whitlow M, Dennehy TJ, Tabashnik BE, 2003. Long term regional suppression of pink bollworm by *Bacillus thuringiensis* cotton. *PNAS*, 100: 1519–1523.
- He KL, Wang ZY, Zhou DR, Wen LP, Song YY, Yao ZY, 2003. Evaluation of transgenic Bt corn for resistance to the Asian corn borer (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.*, 96(3): 935–940.
- Hutchison WD, Burkness EC, Mitchell PD, Moon RD, Leslie TW, Fleischer SJ, Abrahamson M, Hamilton KL, Steffey KL, Gray ME, Hellmich RL, Kaster LV, Hunt TE, Wright RJ, Pecinovsky K, Rabaey TL, Flood BR, Raun ES, 2010. Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to Non-Bt maize growers. *Science*, 330(6001): 222–225.
- James C, 2014. 2013 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势. *中国生物工程杂志*, 34(1): 1–8.
- Kozziel MG, Beland GL, Brown C, Carozzi NB, Crenshaw R, Crossland L, Dawson J, Desai N, Hill M, Kadwell S, Launis K, Lewis K, Maddox D, McPherson K, Meghji MR, Merlin E, Rhodes R, Warren GW, Wright M, Evola SV, 1993. Field performance of elite transgenic maize plants expressing an insecticidal protein derived from *Bacillus thuringiensis*. *Nature Biotechnology*, 11: 194–200.
- Li GP, Wu KM, Gould F, Wang JK, Miao J, Gao XW, Guo YY, 2007. Increasing tolerance to Cry1Ac cotton from cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, was confirmed in Bt cotton farming area of China. *Ecol. Entomol.*, 32(4): 366–375.
- Matten SR, 2007. Review of Dow AgroSciences (and Pioneer HiBred's) Submission (dated July 12, 2007) Regarding Fall Armyworm Resistance to the Cry1F Protein Expressed in TC1507 Herculex I Insect Protection Maize in Puerto Rico. MRID#: 471760-01.
- Matten SR, Head GP, and Quemada HD, 2008. How governmental regulation can help or hinder the integration of Bt Crops within IPM programs. Integration of insect resistant genetically modified crops within IPM programs, Springer, New York. 27–39.
- McGaughey WH, 1985. Insect resistance to the biological insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science*, 229(4709): 193–195.
- Shelton AM, Zhao JZ, Roush RT, 2002. Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. *Annu. Rev. Entomol.*, 47: 845–881.
- Storer MP, Babcock JM, Schlenz M, Meade T, Thompson GD, Bing JW, Huckaba RM, 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt Maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *J. Econ. Entomol.*, 103(4): 1031–1038.
- Tabashnik BE, 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.*, 39: 47–79.
- Tabashnik BE, 2010. Communal benefits of transgenic corn. *Science*, 330(6001): 189–190.
- Tabashnik BE, Gassmann AJ, Crowder DW, Carrière Y, 2008. Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. *Nature Biotechnology*, 26: 199–202.
- Van Rensburg JBJ, 2007. First report of field resistance by the stem borer, *Busseola fusca* (Fuller) to Bt-transgenic maize. *South African Journal of Plant and Soil*, 24(3): 147–151.

- Wu KM, LU YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JJ, 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321(5896): 1676–1678.
- Xu LN, Wang ZY, He KL, Ferry N, Gatehouse AMR, 2010. Cross-resistance of Cry1Ab-selected Asian corn borer to other Cry toxins. *J. Econ. Entomol.*, 134: 429–438.
- Zhang YW, Liu YJ, Ren Y, Liu Y, Liang GM, Song FP, Bai SX, Wang JH, Wang GY, 2013. Overexpression of a novel Cry1Ie gene confers resistance to Cry1Ac-resistant cotton bollworm in transgenic lines of maize. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 115: 151–158.
- 韩海亮, 李光涛, 王振营, 张杰, 何康来, 2009. Cry1Ac 抗性亚洲玉米螟对四种 Bt 蛋白的交互抗性. 植物保护学报, 36(4): 329–334. [Han HL, Li GT, Wang ZY, Zhang J, He KL, 2009. Cross-resistance of Cry1Ac-selected Asian corn borer to other Bt toxins. *Acta Phytophylacica Sinica*, 36(4): 329–334.]
- 何康来, 王振营, 文丽萍, 白树雄, 周大荣, 2004. 转 Bt 基因玉米对亚洲玉米螟的抗性评价. 植物保护科学, 20(6): 240–246. [He KL, Wang ZY, Wen LP, Bai SX, Zhou DR, 2004. Transgenic maize evaluated for resistance to the Asian corn borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 20(6): 240–246.]
- 何康来, 王振营, 周大荣, 文丽萍, 宋彦英, 2000. 玉米抗螟性鉴定方法与评价标准. 沈阳农业大学学报, 31(5): 439–443. [He KL, Wang ZY, Zhou DR, Wen LP, Song YY, 2000. Methodologies and criterions for evaluating maize resistance to Asian maize borer. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 31(5): 439–443.]
- 王冬妍, 王振营, 何康来, 从斌, 白树雄, 文丽萍, 2004. Bt 玉米杀虫蛋白含量的时空表达及对亚洲玉米螟的杀虫效果. 中国农业科学, 37(8): 1155–1159. [Wang DY, Wang ZY, He KL, Cong B, Bai SX, Wen LP, 2004. Temporal and spatial expression of Cry1Ab toxin in transgenic Bt corn and its effects on Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *Scientia Agricultura Sinica*, 37(8): 1155–1159.]
- 王培, 何康来, 王振营, 王应伦, 2012. 转 cry1Ac 玉米对亚洲玉米螟的抗性评价. 植物保护学报, 39(5): 395–400. [Wang P, He KL, Wang ZY, Wang YL, 2012. Evaluating transgenic cry1Ac maize for resistance to *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *Acta Phytophylacica Sinica*, 39(5): 395–400.]
- 王振营, 鲁新, 何康来, 周大荣, 2000. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望. 沈阳农业大学学报, 31(5): 402–412. [Wang ZY, Lu X, He KL, Zhou DR, 2000. Review of history, present situation and prospect of the Asian maize borer research in China. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 31(5): 402–412.]
- 张永军, 吴孔明, 2001. 转 Bt 基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及棉铃虫的毒杀效果. 植物保护学报, 28(1): 1–6. [Zhang YJ, Wu KM, 2001. On the spatio-temporal expression of the contents of Bt insecticidal protein and the resistance of Bt transgenic cotton to cotton bollworm. *Acta Phytophylacica Sinica*, 28(1): 1–6.]
- 周大荣, 1996. 我国玉米螟的发生、防治与研究进展. 植保技术与推广, 16(2): 38–40. [Zhou DR, 1996. Research progress of prevention and treatment of corn borer in China. *Plant protection technology and extension*, 16(2): 38–40.]



紫斑谷螟 *Pyralis farinalis* L.

紫斑谷螟为鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae 昆虫, 广布分布于世界各地, 是重要的仓储害虫。成虫体长 12~15 mm, 翅展 23~25 mm, 雄蛾个体略小(封面图片: 左雌右雄)。复眼表面具灰白色网纹, 前翅具 2 个白色波状纹。主要以幼虫危害仓储中的小麦、麦麸、玉米、花生、稻谷、大米、稻糠、干果等, 1 年发生 1~2 代。

(张润志 中国科学院动物研究所)