

转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对棉铃虫的 抗虫性及对二种地老虎幼虫生长发育的影响^{*}

李海强^{**} 李号宾 王冬梅 丁瑞丰 汪 飞 阿克旦·吾外士 徐 遥 刘 建^{***}

(农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室 农业部库尔勒作物有害生物综合治理

野外科学试验站 新疆农业科学院植物保护研究所 乌鲁木齐 830091)

摘 要 为了明确转 Bt *CryIA* + *CP₄ EPSPS* 基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 的抗性水平及对八字地老虎 *Amathes c-nigrum* 和黄地老虎 *Agrotis segetum* 的影响, 作者用转基因棉花和非转基因棉花叶片对棉铃虫、八字地老虎和黄地老虎幼虫进行了室内饲养观察。结果表明, 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对新疆南部第 2 代棉铃虫表现为中抗, 幼虫校正死亡率为 70.4%; 棉花叶片在整个生育期均能表达 Bt 毒蛋白, 整个生育期 Bt 毒蛋白含量呈逐渐降低的趋势。转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对八字地老虎幼虫有强烈的毒杀作用, 可以引起幼虫大量死亡, 对存活幼虫的生长发育也有明显的抑制作用, 幼虫发育迟缓, 不能顺利化蛹; 但对黄地老虎幼虫没有明显的影响, 幼虫可以正常生长。

关键词 抗棉铃虫抗草甘膦转基因棉花, 棉铃虫, 黄地老虎, 八字地老虎, 生长发育

Resistance of transgenic cotton to cotton bollworm and cutworms

LI Hai-Qiang^{**} LI Hao-Bin WANG Dong-Mei DING Rui-Feng WANG Fei

Ahtam · Uwayis XU Yao LIU Jian^{***}

(Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crop in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture

P. R. China/Scientific Observing Experimental Station of Crop Pest in Korla, Ministry of Agriculture

P. R. China/The Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract The purpose of this study was to assay the resistance of transgenic cotton expressing Bt *CryIA* and *CP₄ EPSPS* genes to the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) and the cutworms *Amathes c-nigrum* and *Agrotis segetum*. Results show that transgenic cotton had moderate resistance to early instar second generation cotton bollworm larvae in southern Xinjiang with a corrected mortality of 70.4%. Bt *CryIA* toxin protein was present in leaves throughout the entire developmental period of cotton plants but the amounts of this toxin peaked during the cotyledon period and decreased gradually over time. Transgenic cotton was very toxic to *A. c-nigrum* larvae; feeding on transgenic cotton leaves led to death of most larvae and the growth of surviving larvae was retarded. However, transgenic cotton had no adverse effect on *A. segetum* larvae which developed normally.

Key words transgenic cotton bollworm-and glyphosate-resisitant cotton, *Helicoverpa armigera*, *Agrotis segetum*, *Amathes c-nigrum*, development

自 1987 年首次利用 Bt (*Bacillus thuringiensis*) 杀虫蛋白基因导入人获得抗虫植物至今, 转基因植物的发展日新月异。不少转抗虫基因作物已获准进入田间试验和大规模商业化应用。目前, 转 Bt

基因作物是种植面积最大的转基因抗虫作物, 其中转 Bt 基因棉是我国商品化种植面积最大的转 Bt 基因作物。随着转基因作物的开发和利用, 转抗虫基因作物的生态安全性, 尤其是对非靶标生

* 资助项目: 国家转基因生物新品种培育重大专项 (2011ZX08012-004)、新疆农业科学院优秀青年科技人才基金 (Xjnkj-2012-040)。

* E-mail: jacky81611@163.com

** 通讯作者: E-mail: xjliujian1965@sina.com

收稿日期: 2012-02-17, 接受日期: 2012-04-13

物的安全性也深受人们的关注。

转基因植物对于非靶标生物的影响目前仍然存在一些争论,一些研究结果甚至互相矛盾。Losey 等(1999)在室内马利筋植物叶片上撒上转 Bt 玉米花粉后,观察到大斑蝶 *Danaus plexippus* 取食 Bt 玉米花粉后死亡率明显增高。Hansen 和 Obrycki(2000)观察了转 Bt *CryIAb* 玉米田间和田外 10 m 范围内马利筋植物叶片上玉米花粉的沉积数量及对大斑蝶幼虫的作用,发现在转基因玉米田内和田外 3 m 之内,转基因玉米花粉对大斑蝶幼虫的毒杀作用最高。王忠华等(2001)发现转 *CryIAb* 基因水稻花粉对家蚕 *Bombyx mori* 幼虫影响除导致 3 龄期体重轻重分布不均外,而无明显致死作用。李文东等(2002)研究发现转 *CryIAc* 基因棉花、转 *CryIA + CpTI* 双价抗虫棉花以及转 *CryIAb* 基因玉米花粉对家蚕的历期和体重亦无多大影响,没有负面作用。Sims(1995)以 Bt *CryIA* 纯化蛋白对 14 种昆虫进行喂饲研究表明,只有 4 种鳞翅目昆虫欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis*、烟草天蛾 *Manduca sexta*、烟芽夜蛾 *Heliothis virescens*、玉米穗虫 *Helicoverpa zea* 死亡率明显上升,而非鳞翅目昆虫棉铃象甲 *Anthonomus grandis*、瓜十一星叶甲 *Diabrotica undecimpunctata howardi*、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata*、锚斑长足瓢虫 *Hippodamia convergens*、桃蚜 *Myzus persicae*、西方蜜蜂 *Apis mellifera*、丽蝇蛹金小蜂 *Nasonia vitripennis*、普通草蛉 *Chrysoperla carnea*、德国小蠊 *Blattella germanica*、埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 的死亡率不受影响。Arpaia(1996)将 *Cry1B* 毒素混在补饲糖浆中饲喂蜜蜂,浓度是 Bt 转基因植物在花粉中表达量的 400 和 1 000 倍,发现 *Cry1B* 对蜜蜂幼虫没有毒性效应,对蛹重也没有显著影响。Hilbeck 等(1998a, 1998b, 1999)在普通草蛉—欧洲玉米螟/海灰翅蛾—转 Bt *CryIAb* 玉米三级营养关系上研究了 Bt *CryIAb* 对普通草蛉的影响作用,发现草蛉幼虫不论是捕食转基因玉米上的猎物,还是捕食用含有 Bt *CryIAb* 的全纯人工饲料饲养的猎物,或者用含有 Bt *CryIAb* 毒素草蛉人工饲料饲养草蛉幼虫,草蛉幼虫的死亡率都明显上升,说明转 Bt 基因玉米对普通草蛉有一定的负面作用。

新疆棉区是我国重要的棉花生产基地,随着转基因棉花的引进和大面积种植,对其生态安全性的影响研究也显得非常迫切。本文对新型转 Bt

CryIA + CP₄ EPSPS 双价基因棉花对南疆棉铃虫的抗性水平和对 2 种非靶害虫八字地老虎和黄地老虎的生长发育的影响进行了研究,旨在为转基因棉花害虫综合治理提供理论基础及指导依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2011 年 6 月下旬到 7 月上旬在新疆喀什莎城县用杨树枝把诱集棉铃虫成虫,带回新疆农业科学院库尔勒市包头湖基地实验室,用 10% 蜂蜜水饲养,让其产卵,卵孵化后用初孵幼虫作为试验用虫。

2011 年 5—6 月用黑光灯在新疆农业科学院库尔勒市包头湖基地棉田诱集八字地老虎和黄地老虎成虫,室内用 10% 蜂蜜水饲养让其产卵,用初孵幼虫作为试验用虫。

1.2 棉花材料和种植方法

棉花品种包括常规非转基因棉花中棉所 49 (CCRI49)、转(Bt *CryIA + CpTI*)基因抗棉铃虫棉花中棉所 41 (CCRI41),由喀什中棉公司提供;转(Bt *CryIA + CP₄ EPSPS*)基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花 639017,由中国农业科学院棉花研究所提供。按目前常规的“矮、密、早”和膜下滴灌技术种植于新疆农业科学院库尔勒市包头湖基地,种植密度为 19.5 万株/hm²,种植时间为 2001 年 4 月 21 日,每个品种的种植面积为 534 m²。棉花整个生长期不用任何农药,不摘边心,不打顶,其他为常规管理。

1.3 转基因棉花叶片中 Bt 毒蛋白表达量检测

从子叶期开始每隔 10 d 采一次样,每次采集各品种不同植株顶部完全展开的第一片叶,并且每个小区分别采集后装袋,然后每个品种统一装入一个塑封袋,每个品种共计 20 片叶。随后立即将样品置于 -20℃ 的冰箱中冷冻保存。Bt 毒蛋白检测在中国农业科学院植物保护研究所棉花害虫组实验室进行,用 Envirologix 公司 ELISA 定量检测试剂盒(检测极限为 0.1 ng/g)进行检测,每个样品重复 3 次。

1.4 对棉铃虫的抗性水平测定

6 月下旬到 7 月上旬(为当地第 2 代棉铃虫发生时期)分别用转基因棉花 639017 和非转基因棉

花中棉所 49 顶部嫩叶对棉铃虫初孵幼虫进行饲养。养虫盒为直径 9 cm 的一次性塑料培养皿。每个培养皿中放一张叶片,叶柄用湿润的脱脂棉包裹,以保持叶片新鲜。每个培养皿接 5 头幼虫。每品种 60 片叶,分为 3 次重复,每重复 20 片叶共 100 头幼虫。第 5 天观察死亡率、龄期及叶片受害级别。叶片受害级别和抗性级别参照“中华人民共和国国家标准农业部 953 号公告《转基因植物及其产品环境安全检测 抗虫棉花》”。

1.5 对地老虎的影响观察试验

5—6 月从田间采集 639017 和中棉所 49 的嫩叶,从初孵幼虫开始对八字地老虎及黄地老虎分别进行了饲养。每个品种每种地老虎幼虫各喂饲 180 头,分为 3 次重复,每个重复 60 头幼虫。养虫盒为直径 9 cm 的一次性塑料培养皿。每个培养皿中放一张叶片,接一头初孵幼虫。叶柄用湿润的脱脂棉包裹,以保持叶片新鲜,叶片开始萎蔫时及时更换新鲜叶片。接虫后每天观察并记载幼虫存活情况和发育虫龄,化蛹后称量蛹重。

养虫的温度和湿度条件为实验室内的自然温度和湿度,室内温湿度均采用干湿球温度计进行测量。经测定实验期间实验室温度范围为 21 ~ 30℃,相对湿度为 37% ~ 75%。

1.6 数据处理

试验数据处理均采用 DPS 数据处理系统进行分析。对取食不同棉花品种的棉铃虫和地老虎龄期,体重以及相关发育参数进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 转基因棉花叶片中 Bt 毒蛋白含量及其变化趋势

如图 1 所示,中棉所 41 和 639017 叶片在当地可以表达 Bt Cry1A 毒蛋白,整个生育期叶片毒蛋白表达量逐渐降低,都呈现前高后低的趋势。2 个品种子叶期(5 月 7 日)叶片中 Bt 毒蛋白的表达量都最高,639017 达 1 032.52 ng/g,中棉所 41 达 667.21 ng/g。6 月下旬以后,2 个品种叶片中毒蛋白含量都保持在较低的水平。

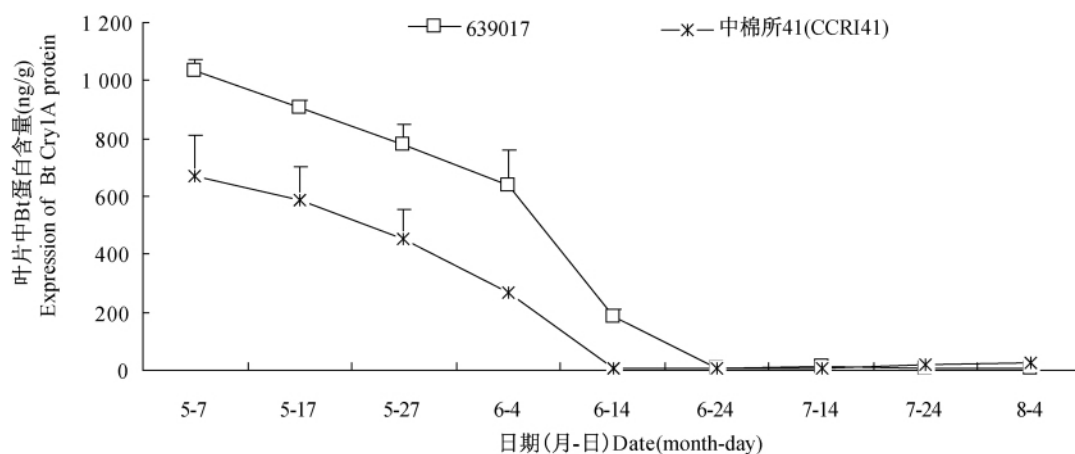


图 1 不同时期 2 种棉花叶片中 Bt 毒蛋白表达量

Fig. 1 Expression of Bt Cry1A protein in young leaves at different time

2.2 抗虫抗除草剂棉花对第 2 代棉铃虫的抗性水平

抗虫抗除草剂棉花 639017 对第 2 代棉铃虫幼虫的抗性表现见表 1。639017 上棉铃虫幼虫的校正死亡率为 70.4%,叶片受害程度降低了 37.04%。对第 2 代棉铃虫的抗性水平为中抗。用 639017 叶片喂饲,存活幼虫发育龄期大多为 2 龄;用常规棉中棉所 49 叶片喂饲,存活幼虫发育

龄期大多为 3 龄。

2.3 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对八字地老虎幼虫生长发育的影响

2.3.1 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对八字地老虎幼虫存活率的影响 试验发现,以转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花叶片喂饲八字地老虎初孵幼虫,幼虫从 1 龄就开始大量死亡,5 龄末幼虫就全部死亡(图 2)。1 ~ 6 龄的校正死亡率分别为

91.11%、92.22%、91.66%、91.11%、91.11% 和 91.67%。

表 1 639017 对棉铃虫抗虫性生物测定结果
Table 1 The bioassay result of resistance of 639017 against cotton bollworm

棉花品种 Cotton line	死亡率 (%) Mortality	校正死亡率 (%) Corrected mortality	叶片受害级别 Injured level of leaves
639017	74.7 ± 2.96a	70.4	1.7 ± 0.11b
中棉所 49 (CCRI49)	14.3 ± 0.88b	—	2.7 ± 0.14a

注:表中数据表示 3 个重复的平均值 ± 标准误,同一列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平差异显著。— 表示没有统计
学意义。下表同。
Data in the table are mean ± SE of three replications. Data in the same column followed by different letters indicate significantly
different at 0.05 level. — indicates that data have no statistically significant. The same below.

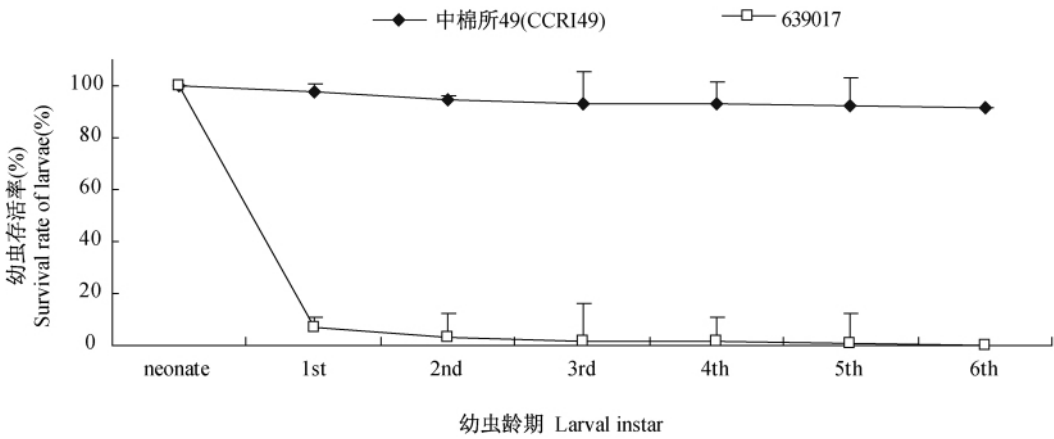


图 2 八字地老虎幼虫在 639017 与中棉所 49 上的存活率
Fig. 2 The survival of *Amathess c-nigrum* larvae fed on cotton leaves of 639017 and CCRI49

2.3.2 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对八字地老虎幼虫发育历期的影响 用 2 种棉花的叶片分别饲养八字地老虎初孵幼虫,各龄幼虫发育历期见表 2。以转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花 639017 的叶片饲喂的八字地老虎幼虫,存活幼虫各龄历期明显延长,1 龄、2 龄、3 龄、4 龄、5 龄分别延长

了 2.5、3.3、6.0、1.5、3.1 d。用中棉所 49 叶片饲养的幼虫第 6 龄历期为 8.6 d,之后全部化蛹。而用转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花 639017 的叶片饲养的幼虫都没有发育到第 6 龄,到 5 龄末全部死亡(表 2)。

表 2 取食不同棉花品种叶片的八字地老虎各龄幼虫历期
Table 2 Development duration of *Amathes c-nigrum* larvae fed on the leaves of different cotton lines

棉花品种 Cotton line	幼虫龄期 (d) Larval instar					
	1 st instar	2 nd instar	3 rd instar	4 th instar	5 th instar	6 th instar
639017	5.8 ± 0.04a	5.6 ± 0.09a	9.2 ± 0.150a	5.4 ± 0.13a	7.8 ± 0.04a	0
中棉所 49 (CCRI49)	3.3 ± 0.03b	2.3 ± 0.11b	3.2 ± 0.12b	3.9 ± 0.08b	4.7 ± 0.11b	8.6 ± 0.06

2.4 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对黄地老虎 幼虫生长发育的影响

2.4.1 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对黄地老虎幼虫存活率的影响

如图 3 所示,以转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花 639017 和常规非转基因棉花中棉所 49 喂饲黄地老虎后,其 1~6 龄的存活率均在 90% 以上,2 个品种间差别不明显。

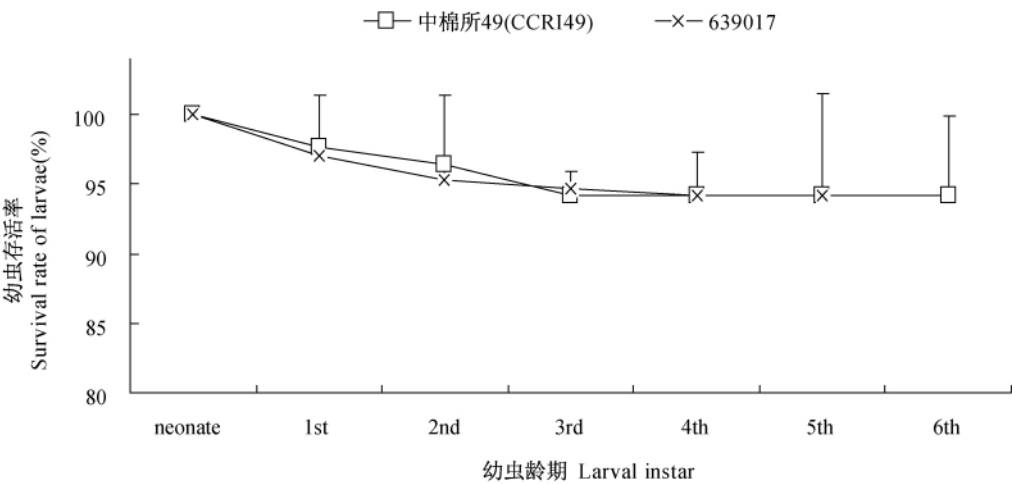


图 3 黄地老虎幼虫在 639017 与中棉所 49 上的存活率

Fig. 3 The survival of *Agrotis segetum* larvae fed on 639017 and CCR149 cotton

2.4.2 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对黄地老虎幼虫发育历期的影响

试验表明,无论是以转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花 639017 还是以常规棉花中棉所 49 的嫩叶喂饲黄地老虎初孵幼虫,幼虫均能完成各个虫龄历期,且各龄发育天数在棉花品种间均没有表现出显著的差异(表 3)。

表 3 取食不同棉花品种叶片的黄地老虎各龄幼虫历期						
Table 3 Development duration of <i>Agrotis segetum</i> larvae fed on the leaves of different cotton lines						
棉花品种 Cotton line	幼虫龄期 (d) Larval instar					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
639017	4.0 ± 0.04a	2.9 ± 0.06a	3.3 ± 0.01a	4.3 ± 0.03a	4.4 ± 0.17a	9.2 ± 0.16a
中棉所 49 (CCR149)	4.2 ± 0.12a	2.7 ± 0.08a	3.9 ± 0.02a	3.6 ± 0.02a	4.1 ± 0.13a	9.2 ± 0.10a

从表 4 可以看出,转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花 639017 叶片喂饲的黄地老虎预蛹天数为 2.9 d,而用常规棉花中棉所 49 叶片饲喂的为 3.0 d,差异不显著;蛹期饲喂 639017 的为 11.7 d,饲喂中棉所 49 的为 11.8 d,两者也差异不显著。从蛹重量上来看,饲喂 639017 棉花叶片的黄地老虎其蛹重为 0.2983 g,饲喂中棉所 49 棉花叶片的黄地老虎其蛹重为 0.3099 g,两者差异均没达到显著水平。

表 4 取食不同棉花品种叶片的黄地老虎蛹期和蛹重比较			
Table 4 The weight and development duration of <i>Agrotis segetum</i> pupa on different cotton leaves			
棉花品种 Cotton line	历期 (d) Duration		蛹重 (g)
	预蛹 Prepupa	蛹期 Pupa	Pupa weight
639017	2.9 ± 0.08a	11.7 ± 0.03a	0.2983 ± 0.0096a
中棉所 49 (CCR149)	3.0 ± 0.03a	11.8 ± 0.03a	0.3099 ± 0.0056a

3 讨论

转 Bt 基因抗虫棉之所以表现出对棉铃虫的抗性,与抗虫棉植株表达 Bt 毒蛋白密切相关。前人对 Bt 毒蛋白表达的时空动态研究较多,大多数是集中在转 Bt *CryIA* 基因棉花以及转 Bt *CryIA* + *CpTI* 基因棉花表达的毒蛋白上(崔金杰和夏敬源,1999;陈松等,2000;张永军等,2001;李汝忠等,2002;芮昌辉等,2002)。目前对于转 Bt *CryIA* + *CP₄EPSPS* 基因棉花 Bt 毒蛋白的表达量的报道仍然较少。本研究发现,在转 Bt *CryIA* + *CP₄EPSPS* 基因棉花叶片中 Bt 毒蛋白的表达量在子叶期到铃期表达量呈逐渐降低的趋势。这与前人对转 Bt *CryIA* 基因棉花和转 Bt *CryIA* + *CpTI* 基因棉花叶片中 Bt 毒蛋白的表达趋势是一致的(李海强等,2010;王冬梅等,2012)。

Bt 毒蛋白的种类很多,每一种毒蛋白的杀虫谱并不完全相同(Crickmore *et al.*, 1998),已有研究发现小地老虎 *Agrotis ypsilon* 对 *Cry2A* 毒素敏感性较高,而对 *Cry1A* 敏感性较低(束长龙等,2007;陆琼等,2009)。郭小奇等(1999)在室内用转 Bt *CryIaC* 基因棉花 33B、转 Bt *CryIaB* 基因棉花 GK12 和非转基因棉花“春矮早”的叶片分别喂饲小地老虎,结果发现,转 *CryIaC* 基因棉花 33B 对小地老虎生存和发育有不良影响,表现为小地老虎生存数量减少,发育时间延长;而转 Bt *CryIaB* 基因棉花 GK12 对小地老虎的生存和发育没有明显的影响。崔金杰等(2002)研究发现,用转 Bt *CryIaC* 基因棉花中棉所 32 与转双价基因棉花 Bt *CryIaC* + *CpTI* 抗虫棉品系 ZGK9712 叶片喂饲小地老虎后,2 种棉花对小地老虎初孵幼虫均有一定的致死性,但是转 Bt *CryIaC* 基因棉花中棉所 32 的抗虫性要好于双价棉,对小地老虎的致死性高于双价抗虫棉 ZGK9712。罗梅浩等(1999)在室内用转 Bt *CryIA* + *CpTI* 双价基因的烟草 931 叶片,喂饲小地老虎和烟夜蛾,发现这 2 种昆虫虽然同属夜蛾科,但对转双基因抗虫烟草 931 的反应却不一致。抗虫 931 对烟夜蛾幼虫的致死率是 100%,而对小地老虎幼虫的致死率仅为 48%。扫描电镜观察也发现 2 种幼虫取食抗虫烟草 931 叶片后中肠组织结构的破坏不同,对小地老虎的破坏程度不如对烟夜蛾严重。本研究是用新鲜的转

Bt *CryIA* + *CP₄EPSPS* 基因棉花叶片喂饲 2 种地老虎幼虫,结果表明转 *CryIA* + *CP₄EPSPS* 基因棉花对黄地老虎幼虫生长发育没有明显的负面作用,这一结果和前人对小地老虎的研究相似,但对八字地老虎幼虫有明显的致死性和抑制作用,其原因仍有待继续研究。

致谢: 中国农业科学院植物保护研究所棉花害虫研究组为 Bt 毒蛋白检测提供了良好的实验条件,在此表示衷心感谢。

参考文献(References)

- Arpaia S, 1996. Ecological impact of Bt-transgenic plants: Assessing possible effects of *CryIB* toxin on honey bees. *J. Gen. Breed.*, 50:315—319.
- Crickmore N, Zeigler DR, Feitelson J, Schnepf E, Van Rie J, Lereclus D, Baum J, Dean DH, 1998. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 62(3):807—813.
- Hansen LC, Obrycki JJ, 2000. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*, 125(2):241—248.
- Hilbeck A, Baumgartner M, Padruot M, Fried PM, Bigler F, 1998a. Effects of transgenic Bt corn-fed prey on immature development of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.*, 27(2):480—487.
- Hilbeck A, Moar WJ, Pusztai C, Fried PM, Bigler F, 1998b. Toxicity of the *Bacillus thuringiensis* *CryIaB* toxin on the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) using diet incorporated bioassays. *Environ. Entomol.*, 27(5):1255—1263.
- Hilbeck A, William J, Pusztai C, 1999. Prey-mediated effects of *CryIaB* toxin and protoxin and *Cry2A* protoxin on the predator *Chrysoperla carnea*. *Entomol. Exp. Appl.*, 91(2):305—316.
- Losey JE, Rayor LS, Carter ME, 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399(6733):209—214.
- Sims SR, 1995. *Bacillus thuringiensis* *CryIA* (c) protein expressed in transgenic cotton: Effects on beneficial and other non-target insects. *Southwest. Entomol.*, 20(4):493—500.
- 陈松, 吴敬音, 周宝良, 2000. 转 Bt 基因棉 Bt 毒蛋白表达量时空变化. 棉花学报, (4):189—193.
- 崔金杰, 夏敬源, 马艳, 2002. 转双价基因 (Bt + *CpTI*) 抗虫棉 (ZGK9712) 对小地老虎的抗虫性研究. 棉花学报, 14

- (1):3—7.
- 崔金杰,夏敬源,1999. 转 Bt 基因棉对棉铃虫抗性的时空动态. 棉花学报,11(3):141—146.
- 郭小奇,林松,高宗仁,1999. 转 Bt 基因抗虫棉对小地老虎的抗性研究. 河南农业科学,(1):26.
- 李海强,刘建,汪飞,丁瑞丰,李号宾,张永军,徐遥,2010. 北疆棉区 Bt 棉及土壤中 Bt 毒蛋白的含量测定. 生物技术,20(5):60—62.
- 李汝忠,2002. 转 Bt 基因棉 Bt 基因表达的时空动态. 山东农业科学,2:7—9.
- 李文东,叶恭银,吴孔明,2002. 转抗虫基因棉花和玉米花粉对家蚕的生长发育的影响的评价. 中国农业科学,35(11):1543—1549.
- 陆琼,张永军,于红春,曹广春,陆宴辉,郭予元,2009. *Cry2Ab* 杀虫蛋白对小地老虎幼虫致死效果及体内酶活性的影响. 植物保护学报,36(1):16—20.
- 罗梅浩,韩军霞,1999. 转双基因抗虫烟草对烟夜蛾和小地老虎幼虫的抗性. 植物保护学报,26(3):225—229.
- 芮昌辉,范贤林,董丰收,2002. 不同转基因抗虫棉对棉铃虫抗虫性的时空动态. 昆虫学报,45(2):567—570.
- 束长龙,谷少华,窦黎明,2007. 对小地老虎具有杀虫毒力的苏云金芽孢杆菌菌株的分离及鉴定. 植物保护,33(5):41—44.
- 王冬梅,李海强,丁瑞丰,汪飞,李号宾,徐遥,阿克旦·吾外士,刘建,2012. 新疆北部地区转 Bt 基因棉外源杀虫蛋白表达时空动态研究. 棉花学报,24(1):18—26.
- 王忠华,倪新强,徐孟奎,2001. Bt 水稻“克螟稻”花粉对家蚕生长发育的影响. 遗传,23:463—466.
- 张永军,吴孔明,郭予元,2001. 转 Bt 基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及对棉铃虫的毒杀效果. 植物保护学报,28(1):1—6.