

外源抗虫基因对棉花杂种优势的影响

张永山¹ 吕友军² 郭红祥^{3*}

(¹ 中国农业科学院棉花研究所, 河南安阳 455112; ² 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江杭州 310029; ³ 河南农业大学, 河南郑州 450002)

摘要 利用 3 种不同外源抗虫基因棉及其受体和同一常规棉杂交, 研究外源抗虫基因对棉花杂交 F_1 的抗虫性和主要农艺性状的影响。结果表明, 3 种外源基因对杂交 F_1 的优势影响较一致。杂交 F_1 的抗虫性没有杂种优势, 不同发育阶段叶片的抗虫性均不高于其抗虫亲本, 但和其抗虫亲本有相似的时间变化规律。在花铃期杂交 F_1 的不同器官的抗虫性差异较大, 杂交 F_1 叶片的抗虫性低于抗虫亲本, 花蕊、幼蕾、幼铃等生殖器官的抗虫性好于其抗虫亲本。Bt 毒蛋白含量测定结果和室内抗虫性鉴定表现基本一致。外源抗虫基因对杂交 F_1 的产量性状和纤维品质性状总体上无影响。外源抗虫基因可提高早熟性, 第一果枝节位的中亲优势和竞争优势有显著差异。

关键词 外源基因; 抗虫性; Bt 毒蛋白; 杂种优势; 农艺性状

中图分类号: S562

Effect of Different Foreign Genes on the Heterosis in Upland Cotton

ZHANG Yong-Shan¹, LU You-Jun², GUO Hong-Xiang³

(¹ Cotton Research Institute, CAAS; Anyang 455112, Henan; ² Dept of Agriculture, Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang; ³ Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract In order to study the effect of foreign genes on the main agronomic traits and insect-resistance in hybrid F_1 , the crosses were made by using three different foreign gene cotton and their receptors with the same conventional female. The results showed that, there were relatively similar changes affected by different gene in hybrid F_1 . There was no advantage in hybrid F_1 . At different stage, the insect resistance in leaves was no higher in hybrid than that in its insect-resistant parent, but they had the similar spatio-temporal distribution compared with insect-resistant parent. During the flowering-boll stage, the insect resistance of small squares, small bud and stamen in hybrid F_1 was apparently higher than that in the parents. The measurement results of Bt toxin protein were familiar with the identification result of insect-resistance in laboratory. Foreign genes have no effect on yield traits and fiber traits on the whole.

Key words Foreign gene; Insect-resistance; Bt toxin protein; Heterosis; Agronomic traits

采用基因工程手段培育抗虫作物品种是农业的发展方向^[1]。转基因抗虫棉是治理棉铃虫等鳞翅目害虫的最有效的新技术之一^[2]。美国 Agracetus 公司于 1987 年首次报道育成转基因棉^[3]。美国 Monsanto 公司和中国农业科学院先后获得转 Bt 基因株, 并育成了系列转 Bt 基因抗虫棉品种, 在生产上推广应用。2001 年中国农业科学院棉花研究所利用中国农业科学生物技术中心构建的双价抗虫基因 ($Bt + CpTI$) 育成了双价转基因抗虫棉中棉所 41。

利用杂种优势可有效地提高棉花产量、改进纤维品质、增加特异性状。转基因抗虫棉育成后, 培育

转基因抗虫杂交棉成为棉花杂种优势利用的趋势^[4], 国、内外已利用多种转基因材料育成了高优势的杂交棉, 如中棉所 29、中棉所 38 和冀杂 66 等, 在生产上发挥了较大的作用。国内外对转 Bt 基因棉的杂种优势利用研究较多, 主要在高优势组合的选配及预测等方面。大多数认为利用转 Bt 基因抗虫棉和常规棉杂交容易产生较高的杂种优势^[5~7]。目前, 尚未见外源基因对杂种优势影响的系统研究。本试验利用 3 类不同的抗虫基因棉与同一常规亲本材料杂交, 研究外源基因在杂交 F_1 中 Bt 毒蛋白含量及对棉铃虫抗性的差异, 以同一常规亲本材料和

*基金项目: 国家“九五”攻关计划(96-002-02-01-02), 河南省科技攻关项目。

作者简介: 张永山(1971-), 男, 助研, 从事棉花遗传育种研究。

Received (收稿日期): 2002-09-18, Accepted (接受日期): 2003-01-27.

不同的基因棉及其受体杂交,研究外源基因对杂交 F_1 主要性状的影响,以期对转基因棉的杂种优势利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料分3类:第1类为常规棉:9409、DP5415、泗棉3号、中棉所23、中棉所19(对照);第2类为抗虫棉亲本:33B、GK12、中棉所41;第3类为杂交 F_1 :9409×33B(杂抗1)、9409×DP5415(杂1)、9409×GK12(杂抗2)、9409×泗棉3号(杂2)、9409×中棉所41(杂抗3)、9409×中棉所23(杂3)。

33B是美国岱字棉公司DP5415的转 Bt 基因棉,GK12是中国农业科学院生物技术中心泗棉3号转 Bt 基因棉,中棉所41是中国农业科学院棉花研究所中棉所23转双价($Bt + CpII$)基因棉。

上述材料分两组种植于河南安阳农场试验地,第一组种植抗虫棉亲本和杂交 F_1 ,用于抗性鉴定,随机区组排列,3行区,3重复,不防治棉铃虫,不打顶,其他为常规管理;第二组种植全部材料,随机区组排列,3行区,3重复,正常管理,调查农艺性状和产量。

1.2 试验方法

1.2.1 抗性鉴定 在苗期、蕾期、盛花期、花铃期、铃期和吐絮初期分别取第一组材料的顶部倒3叶,并在花铃期取各材料的棉株倒4叶、倒6叶、幼蕾、花蕊和幼铃,每重复取5片叶,放入-70℃冰箱中,样品全部取完后,用王保民的酶联免疫法^[8]统一测

定 Bt 毒蛋白的含量。

在蕾期、盛花期、花铃期、铃期、吐絮初期采用马丽华^[9]的方法取棉株倒3叶进行室内抗虫性鉴定,每取样1次,测定1次,以中棉所19为对照。

1.2.2 性状调查 第二组材料于2000年9月15日调查每小区中间2行的株高、果枝数、第一果枝节位、单株铃数等。9月30日每小区收摘中部正常吐絮铃25个,进行室内考种,考查铃重、衣分、子指和衣指,在农业部棉花品质检测中心测定棉纤维上半部平均长度、比强度、麦克隆值、整齐度和伸长率。每小区分两次(9月30日和10月26日)收花,青铃折合,小区实收,计算籽棉产量和皮棉产量。

1.3 分析方法

统计分析以小区平均值为单位进行,

$$\text{中亲优势(MH\%)} = (F_1 - MP) / MP \times 100\%$$

$$\text{竞争优势(CH\%)} = (F_1 - CK) / CK \times 100\%$$

其中, F_1 、CK分别为杂交种和对照品种,MP为双亲平均值。对照为中棉所19。

数据处理和差异显著性测验,用SAS统计分析软件在计算机上完成。

2 结果与分析

2.1 外源基因对杂交 F_1 室内生测抗虫性的影响

2.1.1 抗性时间表达的差异 各抗虫亲本及相应的杂交 F_1 代不同生育期叶片抗虫性的室内生测结果(图1)表明,杂交 F_1 的抗虫性并不存在杂种优势。在同一阶段,杂交 F_1 的抗虫性低于或相当于其抗虫亲本。不同转基因棉杂交 F_1 在不同的发育阶

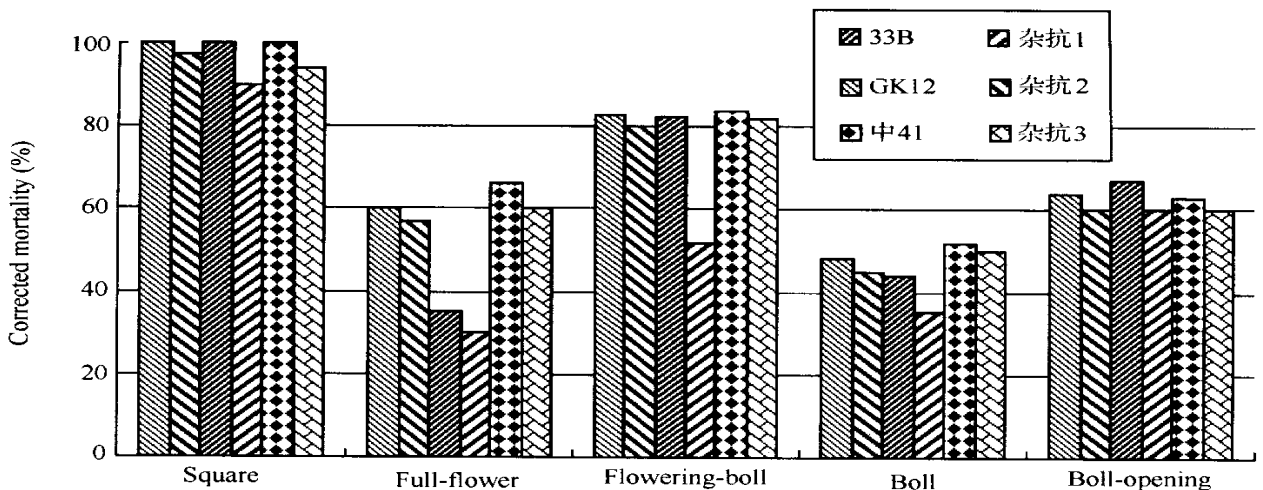


图1 不同发育阶段抗虫性室内生测结果

Fig. 1 Changes of insect-resistance in various stages in laboratory

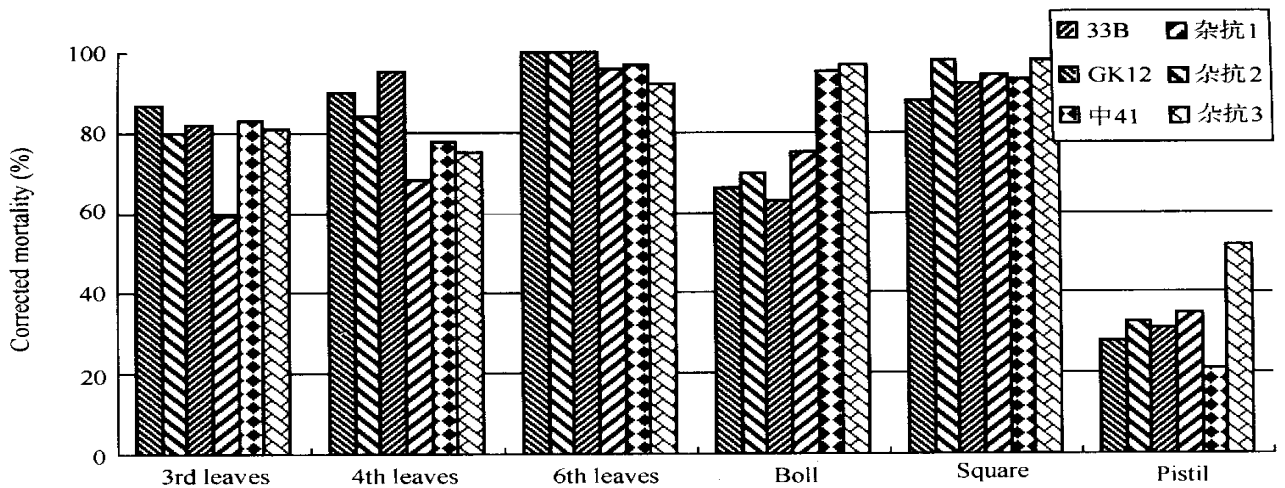


图2 花铃期棉株各器官抗虫性室内生测结果

Fig. 2 Changes of corrected mortality of each organ at flowering-boll stage in laboratory

段均能有效地杀死棉铃虫和阻止其取食,表现出较高的抗虫性(杂抗1、杂抗2、杂抗3的校正死亡率分别为67.3%、53.9%和69.7%)。杂交 F_1 和其抗虫亲本的抗虫性在表达上有相似动态变化,表现为蕾期>花铃期>吐絮初期>盛花期、铃期。不同的杂交 F_1 在盛花期和铃期的抗虫性不同,杂抗1和杂抗3的盛花期抗性好于铃期,杂抗2则相反,但分别和其抗虫亲本表现一致。具不同外源基因的抗虫亲本和其杂交 F_1 代相比,杂抗1(杂抗1为69.4%,33B为71%)、杂抗3(杂抗3为66.2%,中棉所41为65.5%)各个生育期的平均校正死亡率和各自的抗虫亲本相当。杂抗2的抗虫性在各个生育期均不如其抗虫亲本GK12,其平均校正死亡率为56.7%,而GK12为64.8%。

2.1.2 抗虫性空间表达的差异 在花铃期对杂抗1、杂抗2、杂抗3及其抗虫亲本棉株不同器官的室内生测结果(图2)表明,不同外源基因的杂交 F_1 代和其抗虫亲本在空间表达上有相似的特点,各材料倒6叶的抗虫性效果最好,花蕊的抗虫效果最差。和抗虫亲本不同的是,杂交 F_1 叶片的抗虫性比亲本差,幼铃、幼蕾及花蕊的抗性好于其抗虫亲本。杂抗1、杂抗2、杂抗3的花蕊的校正死亡率分别比其抗虫亲本增加17.8%、12.9%、120%,幼蕾分别增加11.2%、2.2%和5.4%,幼铃分别增加6.0%、19.0%和2.1%。

2.2 Bt 毒蛋白表达量的差异

2.2.1 Bt 毒蛋白表达时间差异 对杂抗1、杂抗2、杂抗3及其抗虫亲本各生育期的毒蛋白含量进行测

定(图3)表明,外源基因在杂交 F_1 代中的表达不存在杂种优势,相应地低于其抗虫亲本。具不同外源基因的杂种一代的Bt毒蛋白含量在不同的发育阶段变化很大,在蕾期表达量最高,苗期和吐絮初期最低。以杂抗3为例,在蕾期含量最高,盛花期和花铃期含量略有下降,铃期后显著下降,和其抗虫亲本的Bt毒蛋白表达有相似的时间动态,表现为蕾期>花铃期>吐絮初期>盛花期、铃期。和室内生测抗虫性时间动态变化基本吻合,但吐絮初期毒蛋白含量低而校正死亡率较高,这可能和叶片组织的老化、棉铃虫的取食习性有关。

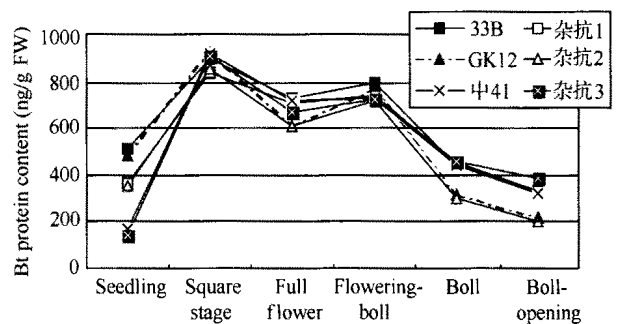


图3 不同生育阶段倒3叶Bt毒蛋白含量变化

Fig. 3 Changes of Bt insecticidal protein contents in different stages

2.2.2 Bt 毒蛋白空间表达差异 具对不同外源基因的杂交 F_1 及其相应抗虫亲本倒3叶、倒4叶、倒6叶在幼蕾、幼铃和花蕊中的Bt毒蛋白含量测定结果(图4)表明,杂交 F_1 不同器官的Bt毒蛋白含量有明显差异,空间表达上叶片的含量低于其抗虫亲本,而

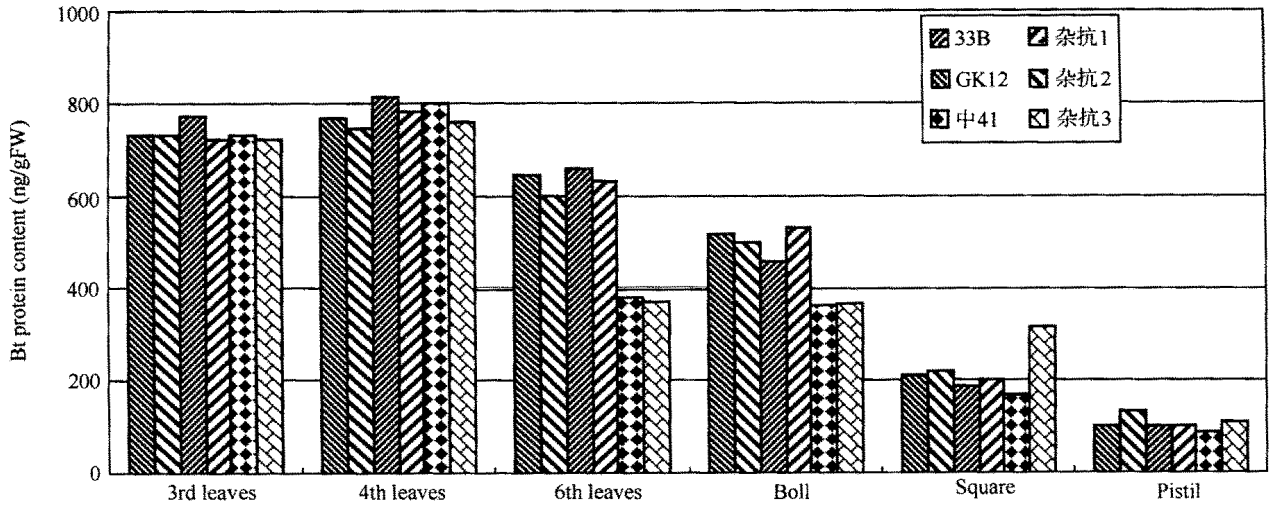


图4 花铃期棉株各器官 Bt 毒蛋白含量变化

Fig. 4 Changes of Bt insecticidal protein contents in each organ during flowering-boll stage

幼蕾、花蕊等生殖器官中的含量高于其抗虫亲本。杂抗1的幼蕾、花蕊含量比其抗虫亲本分别增加了6.7%和10.2%；杂抗2的该生育期幼蕾、花蕊含量比其抗虫亲本增加了15.1%和2.1%；杂抗3则比其抗虫亲本分别增加了83.5%和40.1%。

2.3 外源基因对产量性状的影响

对杂交 F₁ 代的单株结铃数、铃重、衣分、衣指、子指、籽棉产量和皮棉产量等产量性状的分析结果(表1)表明,外源抗虫基因对杂交 F₁ 代的铃重、单株结铃数、籽棉产量、皮棉产量等产量性状没有一致的变化规律,杂抗1 F₁ 的籽棉产量、皮棉产量的中亲优势和竞争优势均超过杂 F₁, 具有正向优势。单价 Bt 基因使杂交 F₁ 代衣分的中亲优势差异达显著水平,竞争优势达到极显著水平。双价基因可使杂交 F₁ 的籽棉产量和皮棉产量的中亲优势和竞争优势均显著增加。

2.4 外源抗虫基因对纤维品质的影响

F₁ 代的纤维长度、整齐度、比强度、麦克隆值的差异比较表明,3种外源基因抗虫棉及对应的受体与同一常规材料(9409)杂交,对其杂交 F₁ 的纤维品质性状总体无影响,双价基因使比强度的中亲优势有显著增加,不同类型 Bt 基因对纤维品质性状没有影响。

2.5 外源抗虫基因对农艺性状的影响

F₁ 代的株高、第一果枝节位、果枝数的差异比较(表2)表明,3种外源基因抗虫棉及对应的受体与同一常规材料(9409)杂交,可提高杂交 F₁ 的早熟性,

表1 外源基因对 F₁ 产量性状的影响

Table 1 The effect of foreign gene on the yield traits in F₁

| 性状 Trait | | 杂抗1 (RH1) | 杂1 (H1) | 杂抗2 (RH2) | 杂2 (H2) | 杂抗3 (RH3) | 杂3 (H3) |
|---|-------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| 铃重(g) Boll weight | 铃重(g) | 5.8 | 6.2 | 6.5 | 7.0 | 6.5 | 6.7 |
| | MH % | 6.4 | 4.7 | 9.6 | 5.6 | 8.5 | 8.9 |
| | CH % | 18.9 | 16.7 | 20.7 | 12.9 | 17.8 | 15.2 |
| 铃数(个) Boll number per plant | 铃数(个) | 18.6 | 17.7 | 18 | 16.1 | 19.2 | 18.4 |
| | MH % | 7.8 | 5.9 | 9.1 | 5.7 | 8.5 | 9.0 |
| | CH % | -17.9 | -20.1 | -21.7 | -20.7 | -17.0 | -13.0 |
| 衣分(%) Lint percent | 衣分(%) | 38.7 | 39.2 | 38.1 | 40.5 | 38.8 | 40.1 |
| | MH % | 1.2 | -1.4 | 2.4a | -1.7b | 0.3 | -3 |
| | CH % | -0.2B | 3.6A | -0.3 | 6.1 | -0.5 | -0.6 |
| 衣指(g) Lint index | 衣指(g) | 7.2 | 7.5 | 7.6 | 7.9 | 6.8 | 7.7 |
| | MH % | 3.9 | -0.5 | 0.7 | 3.4 | -0.4 | -1.6 |
| | CH % | 0.8 | 4.3 | 5.3 | 8.9 | 7.0 | -5.1 |
| 籽指(g) Seed index | 籽指(g) | 12.0 | 11.0 | 12.6 | 11.3 | 12.5 | 12.0 |
| | MH % | 3.2 | 1.8 | -2.8 | 4.9 | -2.0 | 3.1 |
| | CH % | 3.3 | -0.8 | 5.3a | -0.6b | 7.4 | 2.9 |
| 籽棉产量 (kg/hm ²) Unginned cotton yield | 籽棉产量 | 3982.7 | 3818.2 | 4010.5 | 3824.7 | 4123.8 | 3923.6 |
| | MH % | 22.3 | 10.1 | 14.2 | 4.4 | 19.2 a | 5.5 b |
| | CH % | 30.1 | 22.1 | 21.3 | 20.7 | 33.9 a | 26.9 b |
| 皮棉产量 (kg/hm ²) Ginned cotton yield | 皮棉产量 | 1541.3 | 1496.7 | 1566.9 | 1549.0 | 1600.0 | 1573.4 |
| | MH % | 12.9 | 5.7 | 16.1 | 2.0 | 10.5a | 3.2b |
| | CH % | 31.1 a | 20.3 b | 30.4 | 27.0 | 34.9 a | 20.1 b |

注:数字后标不同的小写字母表示差异达显著水平,标不同的大写字母表示差异达极显著水平;MH%为中亲优势,CH%为竞争优势;对照为中棉所19。

Notes: Figures with different letters indicates significant difference at 1% (capital letter) and 5% (small letter). MH % stands for the middle parent heterosis, CH % stands for the check heterosis. CCRI19 is used as check.

可使杂交 F₁ 的第一果枝节位的竞争优势和中亲优势低于其常规 F₁。双价基因使杂交 F₁ 的果枝数增

加,差异达到显著水平,具有正向的中亲优势和竞争优势,均达到了显著水平。

表2 外源基因对 F_1 农艺性状的影响

Table 2 The effect of foreign gene on the agronomic traits in F_1

| 性状 Trait | 杂抗 1 (RH1) | 杂 1 (H1) | 杂抗 2 (RH2) | 杂 2 (H2) | 杂抗 3 (RH3) | 杂 3 (H3) |
|---------------------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| 株高 (cm) Plant height | 株高 91.2 | 94.6 | 92.3 | 95.8 | 97 | 99.2 |
| | MH % - 2.6 | - 3.2 | - 2.0 | - 3.0 | 0.8 | - 1.4 |
| | CH % - 2.9b | 2.4a | - 2.5 | 2.3 | 3.0 | 5.3 |
| 第一果枝节位 First fruit branch location | 节位 6.3 | 6.7 | 6.5 | 6.8 | 5.8 | 6.5 |
| | MH % - 6.7 | 3.4 | 6.2 | 2.1 | - 10.2 | - 4.6 |
| | CH % - 10.9 | - 6.7 | - 18.2 | - 12.3 | - 26.7b | - 16.8a |
| 果枝数 Number of fruit branch | 果枝数 12.2 | 13.2 | 11.8 | 12.4 | 13 a | 12.2 b |
| | MH % - 2.2 | 0.5 | 4.2 | 0.7 | 5.8 a | - 7.0 b |
| | CH % 5.6 | 7.5 | 8.4 | 12.9 | 18.4 a | 6.9 b |

注:数字后标不同的小写字母的表示差异达显著水平,标不同的大写字母的表示差异达极显著水平;MH%为中亲优势,CH%为竞争优势;对照为中棉所 19。

Notes: Figures with different letters indicate significant difference at 1% (capital letter) and 5% (small letter). MH% stands for the middle parent heterosis, CH% stands for the check heterosis. CCR119 is used as check.

3 结果与讨论

3.1 外源抗虫基因对杂交 F_1 抗虫性时间表达的影响

不同外源抗虫基因使杂交 F_1 对棉铃虫的抗性均呈一定的时空动态变化,和其抗虫亲本有相似的表达规律,蕾期抗性最好,以后折线下降,表现为蕾期 > 花铃期 > 吐絮初期 > 盛花期 > 铃期,但在各个阶段,杂交 F_1 的抗性相当于或低于其抗虫亲本。与崔金杰对转基因棉的抗虫性研究结果一致^[10]。杂交 F_1 的抗性相当于或低于其抗虫亲本,与刘海涛等的研究结果一致^[11]。

邢朝柱^[12]等对转 *Bt* 棉毒蛋白含量测定结果为抛物线型,Sachs^[13]等研究认为,转 *Bt* 基因棉在不同生育期其 *Bt* 毒蛋白含量从苗期到吐絮期呈 M 型变化,本试验对 *Bt* 毒蛋白的含量变化研究表明,杂交 F_1 在蕾期的含量最高,在苗期和吐絮初期较低,从苗期到吐絮初期呈 M 型变化,但在各阶段,杂交 F_1 相当或低于其抗虫亲本。

不同发育阶段的转 *Bt* 棉毒蛋白含量测定结果和抗性室内生测结果有较一致的变化规律,杂交 F_1 对棉铃虫的抗性主要源于 *Bt* 毒蛋白的表达,两者的变化在蕾期、盛花期、花铃期和铃期都相吻合,在吐絮初期,叶片的 *Bt* 毒蛋白含量较低,而室内生测

结果却表现为比较抗虫。这可能与吐絮初期,叶片叶肉较少,木栓化和角质化程度高,棉铃虫不喜取食有关。

3.2 外源抗虫基因对杂交 F_1 代的抗虫性空间表达影响

在空间表达上,室内抗性生测结果表明,在花铃期杂交 F_1 棉株不同器官对棉铃虫初孵幼虫的抗性表现为倒 6 叶 > 幼蕾、倒 4 叶、倒 3 叶 > 幼铃、花蕊,和其抗虫亲本相比,杂交 F_1 叶片等器官的抗性较差,幼铃花蕊等生殖器官的抗性较好。

花铃期杂交 F_1 棉株不同器官的 *Bt* 毒蛋白的含量测定表明,倒 4 叶 > 倒 3 叶 > 倒 6 叶 > 幼铃 > 幼蕾、花蕊。杂交 F_1 叶片中的毒蛋白含量低于其抗虫亲本,而幼蕾、花蕊等生殖器官中的含量高于其抗虫亲本。

花铃期棉株不同器官的 *Bt* 毒蛋白含量测定结果和室内抗性生测结果表明,杂交 F_1 由于幼蕾、花蕊等生殖器官中 *Bt* 毒蛋白含量高于其抗虫亲本而表现出相应的高于抗虫亲本的室内生测抗性。这说明棉花从营养生长转入生殖生长后,叶片的营养物质向蕾铃等生殖器官中转移,叶片中的 *Bt* 毒蛋白更多的进入生殖器官中,使生殖器官表现出相对高的抗性。在不同叶龄的叶片中,*Bt* 毒蛋白的含量和室内生测的抗性不一致。*Bt* 毒蛋白的含量倒 4 叶、倒 3 叶高于倒 6 叶,而室内生测结果为倒 6 叶的抗性好于倒 3 叶、倒 4 叶。这可能与叶片结构及棉铃虫的取食习惯有关。

3.3 外源抗虫基因对杂交 F_1 主要性状的影响

杂种优势是提高棉花产量、改进品质的有效手段。靖深蓉^[14]等研究表明,以丰产、抗病、优质、综合性状好的品种为母本,以抗棉铃虫的转基因棉为父本的抗虫杂交棉,杂种优势明显,Jenkins^[15]等认为转基因棉的培育应把基因转化株与优异种质杂交,然后进行综合选择。关于外源基因对杂交 F_1 的影响的研究较少,本试验所用的 3 种外源抗虫基因在总体上对杂交 F_1 的产量性状和纤维品质性状没有影响;双价基因 (*Bt* + *CpTI*) 对籽棉产量和皮棉产量的中亲优势和竞争优势均达到显著水平,具有正向优势差异,主要原因可能在于其果枝数的显著增加;外源基因可提高杂交 F_1 的早熟性,第一果枝节位的竞争优势或中亲优势达到显著水平。综上所述,在选择杂交亲本时,应以优质农艺性状的中熟常规棉为母本,抗性好的抗虫棉为父本,选配中早熟高

优势组合。

References

- [1] Zhang T-Z(张天真), Tang C-M(唐灿明). 转 *Bt* 基因抗虫棉品种的推广利用与棉铃虫抗性的治理. *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 45(2): 119—126
- [2] Tang C-M(唐灿明), Sun J(孙敬), Zhu X-F(朱协飞). 我国现有的3类转 *Bt* 基因抗虫棉品系棉铃虫抗性的遗传分析. *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 44(19): 2064—2068
- [3] Xing C-Z(邢朝柱), Jin S-R(靖深蓉), Guo L-P(郭立平). Study on heterosis and combining ability of transgenic *Bt* cotton. *Acta Gossypii Sinica(棉花学报)*, 2000, 12(1): 6—11
- [4] Wang R-H(汪若海), Li X-L(李秀兰). Progresses on hybrid cotton and its further studies. *Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学)*, 2000, 33(6): 111—112
- [5] Wu Y-T(武耀庭), Zhang T-Z(张天真), Zhu X-F(朱协飞). Relationship between F_1 , F_2 yield, heterosis and genetic distance measured by molecular markers and parent performance in cotton. *Scientia Agricultural Sinica(中国农业科学)*, 2002, 35(1): 22—28
- [6] Wang X-D(王学德). Studies on relationship between genetic distance of parents and yield heterosis in hybrid cotton. *Acta Agronomic Sinica(作物学报)*, 1990, 16(1): 32—38
- [7] Zhang G-Y(张桂寅), Liu L-F(刘立峰), Ma Z-Y(马峙英). Study on heterosis utilization of insect-resistant transgenic *Bt* cotton. *Acta Gossypii Sinica(棉花学报)*, 2001, 13(5): 264—267
- [8] Wang B-M(王保民), He Z-P(何钟佩), Zhao J-X(赵继勋). Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) of *Bacillus thuringiensis* insect control protein as expressed in transgenic cotton. *Acta Gossypii Sinica(棉花学报)*, 1998, 10(4): 220—221
- [9] Ma L-H(马丽华), Li C-H(李春花). 棉花抗棉铃虫性室内生物测定新方法. *China Cotton(中国棉花)*, 1998, 25(7): 27
- [10] Cui J-J(崔金杰), Xia J-Y(夏敬源). Studies on the resistance dynamic of the *Bt* transgenic cotton on cotton bollworm. *Acta Gossypii Sinica(棉花学报)*, 1999, 11(3): 141—146
- [11] Liu H-T(刘海涛), Guo X-M(郭香墨), Xia J-Y(夏敬源). Study on the difference of Boll-worm-resistance and *Bt* protein content between transgenic *Bt* cotton F_1 hybrids and insect-resistant parent. *Acta Gossypii Sinica(棉花学报)*, 2000, 12(5): 261—263
- [12] Xing C-Z(邢朝柱), Jin S-R(靖深蓉), Cui X-F(崔学芬). The spatiotemporal distribution of *Bt* insecticidal protein and the effect of transgenic *Bt* cotton on bollworm resistance. *Acta Gossypii Sinica(棉花学报)*, 2001, 13(1): 11—15
- [13] Sachs, Benedict J H. Field performance of cottons expressing transgenic CryIA insecticidal proteins for resistance to *Heliothis virescens* and *Heliconerpa zea*. *J Econ Entomol*, 1996, 89: 230—238
- [14] Jin S-R(靖深蓉), Xing C-Z(邢朝柱), Yuan Y-L(袁有禄). Studies on the breeding and utilization of pest-resistant hybrid cotton. *China Cotton(中国棉花)*, 1997, 24(7): 15—17
- [15] Jenkins J N. Resistance of cotton with Delta-endotoxin genes from *Bacillus thuringiensis* var *Kurstaki* on selected Lepidoteran insects. *Agron J*, 1997, 89: 768—780