

转基因抗虫棉种子品质性状的遗传效应及相关性分析

秦利, 沈晓佳, 陈进红, 徐海明, 祝水金*

(浙江大学农业与生物技术学院农学系, 杭州 310029)

摘要:采用二倍体种子数量性状遗传模型和统计分析方法,分析了陆地棉9个亲本和30个杂交组合的子指、种仁率、仁壳比、蛋白质含量、油分含量和棉酚含量等种子物理性状和营养品质性状的遗传效应、遗传率和遗传相关性。结果表明,所有棉子品质性状均受种子直接遗传效应和母体遗传效应的共同控制,种仁率还受到细胞质效应的影响。子指和仁壳比以母体显性效应为主,蛋白质含量以显性效应为主,油分含量和棉酚含量以母体加性效应为主。遗传相关性分析表明,棉子物理性状和营养品质性状间的显性遗传相关均达到极显著水平,其中子指与蛋白质含量呈极显著显性正相关,子指与油分含量和棉酚含量呈显性负相关。种仁率和仁壳比与3个棉子营养品质性状间的母体遗传相关均达到了极显著水平。

关键词:陆地棉;种子品质性状;遗传效应;遗传率;遗传相关分析

中图分类号:S562.033 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2009)06-0442-06

Analysis of Genetic Effect and Correlation for Seed Quality Traits in Transgenic Bt Insect-resistant Cotton

QIN Li, SHEN Xiao-jia, CHEN Jin-hong, XU Hai-ming, ZHU Shui-jin*

(Agronomy Department, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: With genetic models for diploid plant seed, data for 9 upland cotton parents and 30 hybrid combinations were analyzed for three seed physical traits (seed index, kernel percentage, kernel/hull) and three kernel nutrient quality traits (protein content, oil content, gossypol content). The results indicated that the embryo effects and maternal effects for seed quality traits were more important than that of cytoplasmic effects. In addition, kernel percentage was controlled by cytoplasmic effects. Seed index and kernel/hull were mainly controlled by the maternal dominant effects. Protein content was controlled by the dominant effects. The maternal additive effects were the mainly effects for gossypol content and oil content. Maternal correlations were chief between the kernel percentage and kernel/hull, as well as that with three nutrient quality traits. Correlation components were estimated among six seed or kernel quality traits. The positive dominant correlation was obtained between seed index and protein content. Significant negative dominant correlations were found between seed index and gossypol content, as well as seed index and oil content.

Key words: upland cotton; seed quality trait; genetic effect; heritability; correlation

纤维是棉花生产的主产品,而棉花种子仅作为一种副产品未能被充分利用。棉子具有极高的营养价值,陆地棉棉仁中含有30%~45%的蛋白质和25%~40%的油分,是一种宝贵的优质食用

收稿日期:2009-02-12 **作者简介:**秦利(1979-),女,博士研究生;*通讯作者,shjzhu@zju.edu.cn

基金项目:国家973计划项目(2004CB117305),转基因生物新品种培育重大专项(2008ZX08005-005),公益性行业(农业)科研专项经费项目(nyhyzx07-052)和国家自然科学基金(30471108、30671325)

油和蛋白质资源。棉花种子品质包括棉子的物理性状和营养性状,其中棉子的物理性状包括子指、种仁率和仁壳比等,与棉子播种品质有关;棉子的营养品质则与棉子的营养价值有关,主要包括蛋白质含量、脂肪含量和棉酚含量等。研究棉子品质性状的遗传效应及其遗传相关对于棉子品质的改良和利用具有重要的意义。

有关棉子营养品质的遗传已有一些报道^[1-15],但有关棉子物理性状的遗传研究甚少,而有关转基因抗虫棉的棉子物理性状和营养品质性状的遗传研究还未见报道。本研究采用二倍体种子数量性状遗传模型及其统计分析方法^[16-17],以转 Bt 基因陆地棉品种及其配制的杂交组合为材料,分析棉子主要物理和营养品质性状的遗传效应及其遗传相关性,为棉子品质的遗传改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验的材料为陆地棉 (*Gossypium hirsutum* L.) 9 个亲本,即 sGK3、126 系 9、中棉所 49、中棉所 44、AY-4、浙 905、浙 1793、R808 和鲁 2015,其中中棉所 49 和 AY-4 为非转基因常规棉品种,其余为转 Bt 基因抗虫棉品种。

1.2 试验方法

2006 年在海南三亚市,将上述亲本按双列杂交的组合进行田间试验并配制双列杂交组合。田间试验采用随机区组设计,2 次重复。盛花期按双列杂交方式进行杂交,并对亲本进行自交,获得亲本自交种和杂交 F₁ 种子。每小区取自交和杂交种子,分别测定亲本和杂种的子指(100 粒种子

重)、种仁率(种仁重/未剥壳种子重)和仁壳比等种子物理性状,并利用美国马里兰州生产的 NIR System 5000 型近红外分析仪分析亲本和杂种的蛋白质含量、油分含量和棉酚含量。定标方程中的回归统计方法采用改良最小二乘法(MPLS)。

1.3 统计分析

采用包括胚(子叶)、细胞质和母体植株三套遗传体系的种子数量性状遗传模型和统计分析方法,分析了亲本和杂交组合 6 个种子品质性状的数据。利用世代平均数估算各性状的遗传主效应方差和机误方差分量。采用调整无偏预测法预测种子直接加性效应(V_A)、种子直接显性效应(V_D)、细胞质效应(V_C)、母体加性效应(V_{Am})、母体显性效应(V_{Dm})等,采用 Jackknife 重复抽样技术估算各估算值的标准误^[16-17],对参数作显著性测验。运用 SAS 和 QGA Station 软件分析遗传群体的各项遗传参数。

2 结果与分析

2.1 转基因抗虫棉品种及其不同世代的种子品质性状表现

由表 1 可以看出,品种间的棉子物理性状和营养品质性状各值间存在显著差异。9 个品种的子指为 9.2~12.6 g,其中转基因抗虫棉品种的子指为 9.2~10.6 g,显著低于 2 个非转基因棉品种(中棉所 49 和 AY-4)。转基因抗虫棉品种的种仁率为 58.9%~62.6%,非转基因对照品种的种仁率分别为 60.4%和 61.5%,其中转基因抗虫棉品种 126 系 9、R808 和 sGK3 的种仁率低于对照,其余转基因品质高于对照。除 sGK3 外,转基因抗虫棉品种的仁壳比为 1.5~1.7,与对照无显著差异。

表 1 转基因抗虫棉品种及其杂交后代的棉子品质性状的平均表现

Table 1 Mean values of seed quality traits among the transgenic insect-resistant cotton cultivars and their hybrids

材料	子指/g	种仁率/%	仁壳比	蛋白质含量/%	油分含量/%	棉酚含量/%
126 系 9	9.2±0.062f	59.4±0.471c	1.5±0.017 d	34.1±0.007 d	35.9±0.128 bc	0.9±0.023 b
浙 1793	9.9±0.057e	62.6±0.388a	1.7±0.028 a	30.5±0.040 f	39.2±0.148 a	1.1±0.009 a
浙 905	10.1±0.028de	61.4±0.239ab	1.6±0.018 ab	34.7±0.040cd	35.0±0.384 cd	0.9±0.004 b
R808	10.0±0.010de	60.3±0.192bc	1.5±0.018 cd	35.4±0.156bc	34.0±0.050 de	0.9±0.028 b
sGK3	10.0±0.117e	58.9±0.030 c	1.4±0.018 d	34.1±0.221 d	35.1±0.286bcd	0.8±0.010bc
鲁 2015	10.6±0.151c	61.6±0.456 ab	1.7±0.006 a	33.1±0.424 e	36.2±0.127 bc	1.1±0.036 a
中棉所 44	10.3±0.090cd	61.5±0.625 ab	1.6±0.052 abc	35.6±0.308 b	33.0±0.221 e	0.8±0.017bc
中棉所 49	12.6±0.151 a	60.4±0.626 bc	1.5±0.021 bcd	33.0±0.044 e	36.3±0.098 b	0.8±0.037bc
AY-4	11.7±0.019 b	61.5±0.395 ab	1.7±0.006 a	36.5±0.132 a	33.1±0.674 e	0.8±0.035 c
亲本平均值(P)	10.5±0.237a	60.8±0.278a	1.6±0.020a	34.1±0.409b	35.3±0.436a	0.9±0.026b
F ₁ 平均值	10.5±0.085a	61.3±0.247a	1.6±0.014a	40.5±0.310a	29.0±0.323b	0.7±0.012c
F ₂ 平均值	10.0±0.063b	59.8±0.261a	1.5±0.009a	32.9±0.269c	35.9±0.369a	10.0±0.012a

注:品种间或世代间相同字母表示差异不显著,不同的字母表示 0.05 水平差异显著。

棉子营养品质性状分析结果表明,9个品种的蛋白质含量为30.5%~36.5%,品种间存在显著差异。其中7个转基因抗虫棉品种的蛋白质含量为30.5%~35.6%,低于非转基因对照品种AY-4。7个转基因抗虫棉品种的油分含量为33.0%~39.2%,其中浙1793的油分含量最高,为39.2%,两个非转基因对照品种(中棉所49和AY-4)的油分含量分别为36.3%和33.1%。此外,转基因抗虫棉品种的棉仁棉酚含量为0.8%~1.1%,高于两个对照品种。

转基因抗虫棉品种各世代种子物理性状平均值计算结果表明, F_2 的子指较亲本和 F_1 明显下降,种仁率在各个世代间无显著差异,但 F_1 有正向杂种优势、 F_2 有衰退现象。仁壳比世代间差异不明显,但具有负向杂种优势。种子营养品质性状中, F_1 的平均蛋白质含量达40.5%,显著高于亲本的平均值,具有正向杂种优势,而 F_2 的蛋白质含量仅有32.9%,显著低于亲本和 F_1 的平均

值。 F_1 的平均油分含量显著低于亲本,具有明显的负向优势, F_2 的平均油分含量显著高于 F_1 。世代间种仁棉酚含量存在着显著差异, F_1 有更加明显的负向杂种优势。由于 F_2 种仁中的平均棉酚含量显著高于亲本和 F_1 ,不利于杂交棉种子的综合利用。

2.2 转基因抗虫棉种子品质性状的方差分量估算

棉子品质性状的各项遗传方差分量的估计值(表2)表明,所有转基因抗虫棉种子品质性状均受到种子直接遗传效应和母体遗传效应的共同控制,除种仁率受到了细胞质效应影响外,其它性状均无细胞质效应。

方差分量分析表明,转基因抗虫棉种子品质性状均以母体效应(V_m)为主,子指、种仁率、仁壳比、蛋白质含量、油分含量和棉酚含量的母体效应方差(V_m)分别占表现型方差的60.61%、18.51%、50%、82.30%、74.87%和88.24%。

表2 转基因抗虫棉种子品质性状的遗传方差分量及遗传率估计值

Table 2 Estimates of genetic variance components and heritability for seed quality traits of the transgenic insect resistant cotton cultivars

参数	子指	种仁率	仁壳比	蛋白质含量	油分含量	棉酚含量
V_A	0.004**	0.000	0.000	3.041**	2.883**	0.004**
V_D	0.073**	0.254 ⁺	0.002**	3.192	2.921 ⁺	0.003
V_C	0.000	0.330**	0.000	0.000	0.000	0.000
V_{Am}	0.000	0.277*	0.001**	7.915**	6.602**	0.012**
V_{Dm}	0.217**	0.354 ⁺	0.003*	8.253**	6.940 ⁺	0.018*
V_e	0.064	2.448 ⁺	0.002*	0.284**	1.623**	0.001
h_0^2	0.011	0.000	0.000	0.134 ⁺	0.137	0.111
H_0^2	0.215**	0.069	0.269*	0.275**	0.277**	0.179
h_c^2	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000
h_m^2	0.000	0.076	0.101	0.349**	0.315*	0.320
H_M^2	0.607	0.172	0.462**	0.713**	0.646**	0.783**

注: +、* 和 ** 分别代表 0.1、0.05 和 0.01 显著水平; V_A = 直接加性方差, V_D = 直接显性方差, V_C = 细胞质方差, V_{Am} = 母体加性方差, V_{Dm} = 母体显性方差, V_e = 机误方差, h_0^2 = 种子狭义遗传率, H_0^2 = 种子广义遗传率, h_c^2 = 细胞质狭义遗传率, h_m^2 = 母体狭义遗传率, H_M^2 = 母体广义遗传率。

方差分量进一步分析表明,子指的种子直接效应($V_A + V_D$)和母体显性效应(V_{Dm})均达到了极显著水平,其中母体显性效应占总方差的60.61%;种仁率的细胞质效应(V_C)也达到极显著水平,该性状通过母体影响其表现;仁壳比种子直接显性效应(V_D)占总方差的25%,母体加性效应(V_{Am})对其表现也有一定的影响。3个棉子营养品质性状中,蛋白质含量主要受到显性效应和加性效应共同控制,其中母体显性方差(V_{Dm})占总方差的42.01%;油分含量的种子直接效应和母体效应均达到了显著水平,其中直接加性方差

(V_A)占总方差的52.44%,母体加性方差(V_{Am})占表现型方差的36.50%;棉酚含量的直接加性方差(V_A)也达到了极显著水平,其中种子直接加性方差占总方差的47.06%,母体加性方差(V_{Am})占表现型方差的35.29%。

由于种子物理性状和营养品质性状的机误方差(V_e)几乎都达到了显著水平,说明转基因抗虫棉种子品质性状易受环境的影响。然而,种仁率、油分含量和棉酚含量性状主要受加性效应控制,且其值较大,早代选择可取得较好的效果。

遗传率估计结果(表2)表明,转基因抗虫棉

的子指、蛋白质含量和棉酚含量的胚遗传率(H_D^2)均达到了极显著水平,分别为 21.50%、27.50% 和 27.70%;仁壳比、蛋白质含量、含油量和棉酚含量的母体遗传率(H_M^2)也达到了极显著水平,分别为 46.20%、71.30%、64.60%和 78.3%。遗传率分析结果与遗传方差分析结果相一致。

2.3 转基因抗虫棉种子品质性状的遗传相关性分析

种子物理性状之间的遗传相关性分析结果

表 3 转基因抗虫棉种子性状间的遗传相关系数估计值

Table 3 Estimates of genetic correlation coefficients among seed traits in transgenic insect-resistant cotton

性状	r_A	r_D	r_C	r_{Am}	r_{Dm}	r_P	r_G	r_e
子指/种仁率	0.000	0.874**	0.000	0.000	1.000**	-0.112	0.043	0.156
子指/仁壳比	0.000	0.519**	0.000	0.000	0.587 ⁺	0.058	-0.045	-0.075
种仁率/仁壳比	0.000	1.000**	0.000	1.000**	0.972	0.529 ⁺	0.541**	0.643**
蛋白质含量/油分含量	-0.985**	-1.000**	0.000	-1.000**	-1.000*	-0.937	-0.812**	-0.820**
蛋白质含量/棉酚含量	-0.954**	-0.993**	0.000	-0.983**	-0.990	-0.564	-0.765**	-0.772**
油分含量/棉酚含量	0.903**	1.000**	0.000	1.000**	1.000	0.352 ⁺	0.753**	0.780**
子指/蛋白质含量	1.000	-0.190**	0.000	0.000	0.620*	0.223 ⁺	0.271	-0.443
子指/油分含量	-0.744	0.210**	0.000	0.000	-0.565 ⁺	-0.156	-0.205	0.197
子指/棉酚含量	-1.000	0.315**	0.000	0.000	-0.628	-0.260**	-0.333*	0.438
种仁率/蛋白质含量	0.000	-0.136**	0.000	1.000**	0.695**	0.357**	0.604**	0.116**
种仁率/油分含量	0.000	0.229**	0.000	-1.000**	-0.466**	-0.309**	-0.559**	0.002
种仁率/棉酚含量	0.000	0.236**	0.000	-1.000**	-0.640**	-0.344**	-0.573**	-0.129**
仁壳比/蛋白质含量	0.000	-0.197**	0.000	0.594**	0.437**	0.170**	0.208**	-0.116**
仁壳比/油分含量	0.000	0.272**	0.000	-0.711**	-0.320**	-0.113**	-0.180**	0.234
仁壳比/棉酚含量	0.000	0.215**	0.000	-0.248**	-0.433**	-0.146**	-0.170**	-0.029**

注: +、* 和 ** 分别代表 0.1、0.05 和 0.01 显著水平; r_A = 胚直接加性相关, r_D = 胚显性相关, r_C = 细胞质相关, r_{Am} = 母体加性相关, r_{Dm} = 母体显性相关, r_P = 表现型相关, r_G = 基因型相关, r_e = 机误相关。

种子物理性状和营养品质性状间的遗传相关表明,子指与蛋白质含量呈直接显性负相关,而母体显性的正相关对其表现有一定的影响;子指与油分含量、棉酚含量的直接显性正相关达到极显著水平。种仁率与蛋白质含量呈极显著母体遗传正相关,以母体加性相关为主;种仁率与油分含量以及种仁率与棉酚含量之间主要以母体负相关为主,母体加性负相关表现明显,直接显性正相关对其表现起一定的相斥作用。仁壳比与蛋白质含量呈母体正相关,负向胚显性相关对其有一定影响;仁壳比与油分含量表现出负向母体遗传相关和正向胚显性相关,并以胚显性正相关为主;仁壳比与棉酚含量表现出负向母体遗传相关和正向胚显性相关,以胚显性正相关为主。

转基因抗虫棉种子品质性状的相关性分析结果表明,由于种仁率或仁壳比与棉子蛋白质含量、油分含量和棉酚含量之间的基因型相关达到了极显著水平,在棉子品质改良过程中,通过种仁率或仁壳比的间接选择可以有效地改良棉子营养品

(表 3)表明,子指与种仁率呈极显著的正相关,以母体显性相关为主;子指与仁壳比显性遗传相关系数达到显著水平,以直接显性相关为主。种仁率与仁壳比也以显性相关为主。棉子营养品质性状之间,棉子的蛋白质含量与油分含量和棉酚含量之间存在着极显著的负相关,而油分含量与棉酚含量之间却存在着极显著的正相关,且显性、加性、母体、母体加性等遗传相关均达到极显著水平。

质。然而,由于蛋白质含量与油分含量间呈极显著负相关,并受到胚和母体负相关共同影响,在棉子品质改良过程中,同步提高油分和蛋白质的难度较大。

3 讨论

棉花遗传育种已经取得了较大的进展。然而,对于棉子品质性状的遗传研究却少见报道。本研究利用海南岛杂交高成铃率的有利条件,在组合配制前根据双列杂交的组合设计亲本的田间种植,以控制试验误差和进行误差估计,并运用双子叶植物种子数量性状遗传模型分析了转基因抗虫棉种子物理和营养品质性状遗传效应。结果表明,子指和仁壳比的种子直接显性和母体显性效应均达到了极显著水平,其中以母体显性效应为主;种仁率的细胞质效应达到了极显著水平,并通过母体影响其表现。蛋白质含量主要受到显性效应控制,油分含量和棉酚含量的加性效应方差达到了极显著水平,并以母体显性效应为主。研究

结果说明转基因抗虫棉种子性状的遗传具有一定的特殊性,但基本结论与前人有关非转基因陆地棉蛋白质含量的遗传结果基本一致^[18-21]。

种子性状间的遗传相关性表明,棉子蛋白质含量与油分含量间存在极显著负相关,同步改良转基因抗虫棉的棉子蛋白质含量和油分含量难度较大;而蛋白质含量与棉酚含量则呈显著负相关,棉酚含量与油分含量呈显著正相关,棉子含油量的提高同时会提高其棉酚含量,不利用棉子的直接利用。同时,由于种子物理性状与营养品质性状的显著相关性,因此对种仁率和仁壳比等种子物理性状的选择,可以间接地改良转基因抗虫棉的种子营养品质。此外,本研究结果还表明,转基因抗虫棉杂交后代(F_1)的子指、种仁率和蛋白质含量等均具有一定的杂种优势, F_2 则出现不同程度的衰退现象。相反,转基因抗虫杂交棉 F_1 的油分含量和棉酚含量虽显著低于亲本,但 F_2 的平均油分含量和棉酚含量却高于亲本平均值。由于杂交棉生产中 F_1 种子均为种用种子,优良的种子物理性状和高的蛋白质含量有利于转基因抗虫杂交棉种子的田间播种出苗;而 F_2 种子的高油分含量则有利用杂交棉种子的综合利用。然而, F_2 的高棉酚含量则可能会影响转基因杂交棉 F_2 种子的直接利用。此外,在本研究中,转基因抗虫棉品种的子指均显著小于非转基因常规棉品种,而棉酚含量则显著高于常规棉品种,这是否是由于外源基因的导入而引起的非目标性状的变化还需深入研究。

参考文献:

- [1] 项时康, 孙善康. 陆地棉种子蛋白质脂肪含量与子指衣分的相关性[J]. 中国棉花, 1982(3): 27-28.
XIANG Shi-kang, Sun Shan-kang. Correlation of protein content, oil content and seed index, lint percentage in upland cottonseed[J]. China Cotton, 1982 (3): 27-28.
- [2] 杨奎华. 陆地棉种仁脂肪含量及蛋白质等几种性状相关性的研究[J]. 棉花学报, 1985(1): 48-53.
YANG Kui-hua. Correlation research for several traits such as fat acid content and protein content in upland cotton [J]. Cotton Science, 1985(1): 48-53.
- [3] 季道藩, 曾广文, 朱 军. 四个栽培棉种的种仁油分和氨基酸成分的分析[J]. 浙江农业大学报, 1985, 11 (3): 257-262.
- JI Dao-fan, Zeng Guang-wen, Zhu Jun. Analysis of oil and amino acid contents in four cultivated species of gossypium[J]. Zhejiang Agricultural University, 1985, 11 (3): 257-262.
- [4] 陈仲方, 张治伟, 承泓良. 陆地棉品种棉子品质分析研究[J]. 作物学报, 1986, 12 (3): 195-199.
CHEN Zhong-fang, Zhang Zhi-wei, Cheng Hong-liang. Analysis of seed quality in upland cotton[J], Acta Agronomica Sinica, 1986, 12 (3): 195-199.
- [5] 王学德, 俞碧霞, 夏如冰, 等. 低酚棉产量、纤维品质和棉仁营养品质的表现及其相关性[J]. 浙江农业科学, 1989 (3) : 118-120.
WANG Xue-de, Yu Bi-xia, Xia Ru-bing, et al. Performance and correlation of yield, fiber property and kernel nutrient quality in low gossypol cotton[J]. Zhejiang Agricultural Science, 1989 (3) : 118-120.
- [6] 周有耀. 棉子营养品质与纤维品质的关系[J]. 中国棉花, 1993, 2: 13-14.
ZHOU You-yao. Relationship of seed nutrient quality and fiber properties in cotton [J]. China Cotton, 1993, 2: 13-14.
- [7] 王国印. 陆地棉数量性状遗传研究与进展[J]. 中国棉花, 1994, 21 (3): 5-7.
WANG Guo-yin. Progress of genetic research for quantitative traits in upland cotton[J]. China Cotton, 1994, 21 (3): 5-7.
- [8] 吴吉祥, 王国建, 朱 军. 陆地棉种子性状直接效应和母体效应的遗传分析[J]. 作物学报, 1995, 21 (6): 659-664.
WU Ji-xiang, Wang Guo-jian, Zhu Jun. Genetic analysis on direct and maternal effects of seed traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21 (6): 659-664.
- [9] 王国建, 朱 军, 臧荣春, 等. 陆地棉棉仁营养品质及种子物理性状的遗传相关分析[J]. 浙江农业大学学报, 1996, 22 (6): 585-590.
WANG Guo-jian, Zhu Jun, Zang Rong-chun, et al. Analysis of genetic correlation among seed nutrient quality traits and seed physical traits in upland cotton [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1996, 22 (6): 585-590.
- [10] Kohel R J. Genetic studies of seed oil in cotton [J]. Crop Sci, 1980, 20: 784-787.
- [11] Shaver T N, Dilday R H. Measurement of and correlations among selected seed quality actors for 36 Texas race stocks of cotton[J]. Crop Sci, 1982, 22: 779-781.
- [12] 叶子弘, 卢正中, 朱 军. 陆地棉种子物理性状的

- 发育遗传研究[J]. 棉花学报, 2001, 13 (6): 323-329.
- YE Zi-hong, Lu Zheng-zhong, Zhu Jun. Genetic analysis for developmental behavior of some seed physical traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 2001, 13 (6): 323-329.
- [13] 梅拥军, 郭伟锋, 熊仁次. 陆地棉产量组分对皮棉产量的遗传贡献分析[J]. 棉花学报, 2007, 19 (2): 114-118.
- MEI Yong-jun, Guo Wei-feng, Xiong Ren-ci. Analysis on genetic contribution of yield components to lint yield in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 2007, 19 (2): 114-118.
- [14] 王国建, 朱 军, 藏荣春. 陆地棉种子品质性状与棉花产量性状的遗传相关性分析[J]. 棉花学报, 1996, 8 (6): 295-300.
- WANG Guo-jian, Zhu Jun, Zang Rong-chun. Analysis of covariance components between seeds and agronomy traits in upland cotton [J]. Cotton Science, 1996, 8 (6): 295-300.
- [15] TURNER J H, Ramcy H H, Jr, Worley S, Jr. Relationship of yield, seed quality and fiber properties in upland cotton [J]. Crop Sci, 1976, 16: 578-580.
- [16] ZHU Jun, Weir B S. Analysis of cytoplasmic and maternal effects. I. A genetic model for diploid plant seeds and animals [J]. Theor Appl Genet, 1994, 89 (3): 153-159.
- [17] 朱 军. 广义遗传模型与数量遗传分析新方法[J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20 (6): 551-559.
- ZHU Jun. General genetic models and new analysis methods for quantitative traits [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1994, 20 (6): 551-559.
- [18] 季道藩, 朱 军. 陆地棉品种间杂种的种仁油分和氨基酸成分的遗传分析[J]. 作物学报, 1988, 14 (1): 1-6.
- JI Dao-fan, Zhu Jun. Genetic analysis of oil and amino acid content in shelled seed of upland cotton hybrids [J]. Acta Agronomica Sinica, 1988, 14 (1): 1-6.
- [19] 王国印, 李蒙恩. 棉子品质性状的遗传研究[J]. 华北农学报, 1991, 6 (2): 20-25.
- WANG Guo-yin, Li Meng-en. Genetic studies of seed quality traits in cotton [J]. Acta Agriculturae Boreali sinica, 1991, 6 (2): 20-25.
- [20] 朱乾浩, 俞碧霞, 许馥华. 低酚棉棉子品质性状遗传分析[J]. 棉花学报, 1995, 7 (2): 94-99.
- ZHU Qian-hao, Yu Bi-xia, Xu Fu-hua. Genetic analysis of oil seed quality characters in glandless cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 1995, 7 (2): 94-99.
- [21] 丁锦平, 刘冬梅, 周瑞阳, 等. 2种棉花叶片总蛋白质纯化方法比较研究[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2009, 37(5): 103-107.
- DING Jin-ping, Liu Dong-mei, Zhou Rui-yang, et al. Comparison of two purification methods of cotton leaf total protein [J]. Journal of Henan Normal University: Natural Science, 2009, 37(5): 103-107.
-