

## 玉米叶夹角、叶向值主基因十多基因遗传模型分析

马娟, 王铁固, 张怀胜, 陈士林\*

(河南科技学院 生命科技学院, 河南 新乡 453003)

**摘要:** 为探讨玉米叶夹角、叶向值的遗传规律, 以 7873/PH6WC 的六世代  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $F_2$  为材料, 在春播和夏播环境下, 田间分穗上、穗下调查叶夹角和叶向值, 对其主基因十多基因遗传模型进行分析。结果表明, 在春播和夏播环境下, 穗上叶夹角和穗上叶向值最适模型均为 E-1 模型, 存在 2 对主基因。穗下叶向值在春播和夏播环境中都符合 D-2 模型, 存在 1 对主基因。穗下叶夹角在春播环境中符合 D-2 模型, 但在夏播环境中没有检测到主基因, 属于多基因遗传模型(即 C-0 模型)。夏播环境中, 穗上叶夹角、叶向值、穗下叶夹角均检测到较高的主基因贡献率。夏播环境中, 穗上叶夹角  $F_2$  世代的主基因遗传率为 85.60%, 穗上叶向值主基因遗传率在  $B_2$  和  $F_2$  世代分别为 88.92%、88.69%, 穗下叶向值在  $B_2$  世代的主基因遗传率为 82.43%。但春播环境中, 只有穗上叶向值在  $F_2$  世代有较高的主基因遗传率(90.27%)。玉米叶夹角和叶向值存在较大的主基因遗传率, 可以采用单交重组或简单回交转育的方法进行遗传改良。

**关键词:** 玉米; 叶夹角; 叶向值; 主基因十多基因

**中图分类号:** S513      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2012)05-0015-05

## The Major Genes Plus Polygenes Genetic Analysis on Leaf Angle and Leaf Orientation Value in Maize

MA Juan, WANG Tie-gu, ZHANG Huai-sheng, CHEN Shi-lin\*

(School of Life Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Henan Xinxiang, 453003)

**Abstract:** The major genes plus polygenes genetic rules of leaf angle and leaf orientation value in maize were studied to provide some theoretical references for improving maize yield through density-tolerance plant type breeding. The leaf angle and leaf orientation value above the upmost ear and below the upmost ear of six generations ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $F_1$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $F_2$ ) of cross 7873/PH6WC were recorded and analyzed by major genes plus polygenes joint analysis of multiple generations method in spring and summer sowing environments. Results showed that the optimum models of leaf angle and leaf orientation value above the upmost ear in the two environments were E-1 model, and 2 pairs of major genes were detected. One pair of major genes was detected for leaf orientation value below the upmost ear in both environments and the most fitting model was D-2 model. Leaf angle below the upmost ear was controlled by model D-2 in spring sowing environment, while its optimum model in summer sowing environment was C-0 model without any major gene detected. High heritability of major genes was detected for leaf angle and leaf orientation value above the upmost

收稿日期: 2012-03-05

基金项目: 河南省科技攻关项目(102102110165)

作者简介: 马娟(1985-), 女, 河南宁陵人, 在读硕士研究生, 研究方向: 玉米遗传育种研究。E-mail: majuanjuan85@126.com

\* 通讯作者: 陈士林(1963-), 男, 河南辉县人, 教授, 主要从事玉米遗传育种和种子工程研究。E-mail: chenshilin63@126.com

ear and leaf angle below the upmost ear in summer sowing environment. Under summer sowing condition, the heritability of major genes of leaf angle above the upmost ear in  $F_2$  generation was 85.6%, those of leaf orientation value above the upmost ear in  $B_2$  and  $F_2$  generation were 88.92%, 88.69%, respectively, while that of leaf orientation value below the upmost ear in  $B_2$  generation was 82.43%. However, only leaf orientation value above the upmost ear had high heritability of major genes (90.27%) under spring sowing condition. Accordingly, single cross recombination and simple backcross could be applied to cumulate positive major genes of leaf angle and leaf orientation value, to achieve genetic improvement of maize.

**Key words:** maize; leaf angle; leaf orientation value; major genes plus polygenes

随着郑单 958 紧凑型玉米的推广, 实现了大面积利用紧凑型理想株型育种提高产量的跨越, 玉米的耐密性日益受到玉米育种工作者的关注。玉米叶夹角是决定群体叶片空间分布状态的重要指标, 是玉米耐密株型育种的重要形态指标。Duncan 等<sup>[1]</sup>研究认为, 茎叶夹角越小, 群体中、下部光照越强, 可以容纳更大群体, 因而可进一步提高群体密度。缩小叶片与主茎的夹角有利于改善与产量相关的一些性状, 这也是选育紧凑型玉米提高密度促进产量提高的主要原因<sup>[2]</sup>。叶向值是影响叶片直立上冲的主要因素, 它是玉米株型紧凑程度的综合体现。张泽民等<sup>[3]</sup>研究认为, 控制叶向值可显著提高玉米的耐密、耐肥和抗倒伏等群体适应性。对于玉米叶夹角和叶向值多采用经典的加一显模型<sup>[4-8]</sup>, 而且采用分子标记 QTL 定位已有报道<sup>[9-10]</sup>, 但利用主基因—多基因遗传体系对这 2 个性状的研究尚未见报道。鉴于此, 采用主基因—多基因六世代联合分离分析方法对玉米的叶夹角和叶向值进行遗传分析, 旨在为玉米耐密性株型育种提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料与田间设计

2010 年 4 月在河南科技学院玉米育种试验田春播种植 7873/PH6WC 的亲本  $P_1$ 、 $P_2$ , 并组配  $F_1$ 。2010 年冬在海南三亚播种其  $F_1$  及亲本并组配  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 。2011 年 4 月 20 日(春播)和 6 月 15 日(夏播)在河南科技学院试验田播种 7873/PH6WC 的  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $F_2$  6 个世代。春播和夏播条件下均采用随机区组试验设计, 行长 6 m, 行距 0.60 m, 株距 0.33 m, 3 次重复。 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$  每小区种植 4 行,  $B_1$ 、 $B_2$  和  $F_2$  每小区分别种植 6 行、6 行和 8 行。

### 1.2 性状调查

春播和夏播条件下, 分别调查 7873/PH6WC 的  $P_1$ 、 $P_2$  和  $F_1$  各 20、20、25 株, 春播环境下,  $B_1$ 、 $B_2$ 、

$F_2$  世代分别调查 195、195、295 株, 夏播环境下,  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $F_2$  世代分别调查 180、180、270 株。春播和夏播环境下, 叶向值和叶夹角的测定均在盛花期进行。叶向值为叶夹角的余角和叶片伸展最高点叶环的长度与叶长比值的乘积, 计算采用 Pepper 等<sup>[11]</sup> 的公式:

$$LO = \sum_{i=1}^n (90 - \theta_i) (L_f / L)_i / n,$$

式中,  $\theta_i$  为第  $i$  叶片与茎秆垂直方向的夹角(度),  $L_f$  为叶片伸展最高点叶环的长度(cm),  $L$  为叶片的总长(cm),  $n$  为所测叶片的数目。穗上叶夹角和穗上叶向值测量穗上所有叶。穗下叶夹角和穗下叶向值测量穗下第 1、2、3 片叶。

### 1.3 数据分析

利用盖钧镒等<sup>[12-14]</sup>提出的  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 、 $B_1$ 、 $B_2$  和  $F_2$  六世代联合分析方法, 研究春播和夏播条件中玉米叶夹角和叶向值的主基因—多基因遗传规律, 通过比较 1 对主基因(A 类模型)、2 对主基因(B 类模型)、无主基因(C 类模型)、1 对主基因+多基因(D 类模型)和 2 对主基因+多基因(E 类模型)共 24 个遗传模型的 AIC 值(Akaike's information criterion)以及适合性测验, 包括均匀性检验( $U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$ )、Smirnov 检验( $nW^2$ )和 Kolmogorov 检验( $Dn$ )结果, 确定性状的最适模型, 然后根据最适模型的分析结果, 估计相应的主基因和多基因效应值、方差等遗传参数。

主基因遗传率:  $h_{mg}^2 = \sigma_{mg}^2 / \sigma_p^2$ ,

多基因遗传率:  $h_{pg}^2 = \sigma_{pg}^2 / \sigma_p^2$ ,

其中,  $\sigma_p^2$  为群体的表型方差;  $\sigma_{mg}^2$  为群体主基因遗传方差;  $h_{mg}^2$  为群体主基因遗传率;  $\sigma_{pg}^2$  为群体多基因遗传方差;  $h_{pg}^2$  为群体多基因遗传率。

主基因+多基因六世代联合分析软件由南京农业大学章元明教授提供。当多基因模型存在上位性效应时, 其一阶遗传参数采用 Gamble<sup>[15]</sup> 提出的六参数模式计算。

2 结果与分析

2.1 玉米各世代叶夹角和叶向值的表现

由表 1、表 2 知,春播和夏播环境下,亲本的叶夹角和叶向值均存在较大差异,F<sub>1</sub> 均表现出负向超亲优势。春播环境下,穗上叶夹角的分离世代呈现单峰偏态分布,穗上叶向值和穗下叶向值的分离世

代表现为单峰偏态或双峰分布,说明可能存在主基因,穗下叶夹角分离世代多为单峰正态分布。

夏播环境下,穗上叶夹角的分离世代表现出双峰分布,分离世代的穗下叶夹角和穗上叶向值次数分布为双峰分布或单峰偏态,说明可能存在主基因,穗下叶向值的分离世代均表现为单峰正态分布。

表 1 春播环境下各世代叶夹角和叶向值的表现

世代		穗上叶夹角均值			穗下叶夹角均值			穗上叶向值均值			穗下叶向值均值				
P1		40.52			39.38			47.08			50.15				
P2		16.30			24.47			72.79			61.87				
P3		28.32			27.71			58.67			54.93				
穗上叶夹角 组中点	次数			穗下叶夹角 组中点	次数			穗上叶向值 组中点	次数			穗下叶向值 组中点	次数		
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
12	4	0	0	18	0	7	1	32	3	0	5	34	3	2	2
16	23		7	21	0	17	5	36	7	0	10	38	3	3	15
20	3	4	31	24	15	33	24	40	14	0	5	42	19	12	31
24	4	23	56	27	23	48	47	44	19	0	14	46	25	26	33
28	19	66	72	30	33	41	68	48	48	5	31	50	40	31	52
32	32	62	56	33	34	31	58	52	47	8	38	54	34	39	68
36	56	27	31	36	35	9	48	56	33	20	57	58	27	37	46
40	40	8	23	39	31	6	28	60	14	36	56	62	30	25	36
44	25	2	10	42	16	3	13	64	6	58	47	66	14	14	9
48	8	1	5	45	6	0	1	68	4	43	24	70	0	6	3
52	5	1	2	48	2	0	2	72	0	19	8				
56	3	1	2	0	0	0	0	76	0	5	0				
								80	0	1	0				

表 2 夏播环境下各世代叶夹角和叶向值表现

世代		穗上叶夹角均值			穗下叶夹角均值			穗上叶向值均值			穗下叶向值均值				
P1		48.55			41.56			38.83			44.34				
P2		20.07			28.20			67.92			61.58				
F <sub>1</sub>		31.05			31.05			39.03			49.62				
穗上叶夹角 组中点	次数			穗下叶夹角 组中点	次数			穗上叶向值 组中点	次数			穗下叶向值 组中点	次数		
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
15	0	9	0	16.5	0	1	0	24	1	0	0	30	3	0	2
18	0	22	3	19.5	0	6	3	28	3	0	0	34	2	0	6
21	0	21	7	22.5	1	23	11	32	9	0	2	38	12	2	10
24	0	42	22	25.5	14	38	20	36	32	0	13	42	30	1	35
27	1	36	19	28.5	25	58	61	40	40	2	29	46	46	13	67
30	2	26	42	31.5	45	35	50	44	44	4	34	50	47	22	79
33	13	8	58	34.5	40	14	42	48	31	13	50	54	29	54	40
36	19	12	36	37.5	31	3	46	52	14	24	55	58	9	41	18
39	31	4	24	40.5	14	1	23	56	5	39	42	62	1	34	9
42	39	0	22	43.5	5	1	6	60	1	48	25	66	1	11	4
45	27	0	20	46.5	2	0	5	64	0	28	16	70	0	2	0
48	26	0	8	49.5	2	0	2	68	0	19	14				
51	12	0	7	52.5	1	0	1	72	0	3	0				
54	6	0	2												
57	4	0	0												

2.2 玉米叶夹角和叶向值的主基因十多基因遗传分析

2.2.1 春播环境下玉米叶夹角和叶向值的遗传分析 春播环境下,玉米叶夹角和叶向值的最适遗传模型及遗传参数的估计值见表 3。在春播环境下,叶夹角和叶向值均检测到主基因。穗上叶夹角存在

2 对主基因,符合 2 对加性—显性—上位性主基因+加性—显性多基因混合遗传模型(E-1),2 对主基因的加性效应和显性效应均为正向,显性效应大于加性效应,1 对主基因的显性度大于 1,表现为正向超显性,另 1 对主基因表现为部分显性。多基因的加性效应大于显性效应,表现为正向。加

性效应间的互作最大,表现为负向,基因间的互作效应累计为负值。主基因的遗传率在  $F_2$  世代最大,为 47.71%,多基因的遗传率在  $B_2$  世代最大,为 83.46%。

表 3 春播环境下玉米叶夹角和叶向值的遗传模型和参数估算

性状	模型	一阶参数	估计值	一阶参数	估计值	二阶参数	估计值		
							$B_1$	$B_2$	$F_2$
穗上叶夹角	E-1	$m$	26.92	$j_{ab}$	5.19	$h_{pg}^2 \%$	46.51	83.46	45.72
		$d_a$	2.00	$j_{ba}$	0.26	$h_{mg}^2 \%$	45.14	2.68	47.71
		$d_b$	2.00	$l$	-8.21	$\sigma^2 \%$	17.95	16.61	14.37
		$h_a$	1.79	$[d]$	8.29				
		$h_b$	6.02	$[h]$	1.83				
		$i$	1.50						
穗下叶夹角	D-2	$m$	32.77	$[d]$	1.85	$h_{pg}^2 \%$	29.21	82.50	37.16
		$d$	4.95	$[h]$	-3.41	$h_{mg}^2 \%$	59.35	3.06	49.28
						$\sigma^2 \%$	11.43	14.44	13.56
穗上叶向值	E-1	$m$	61.71	$j_{ab}$	3.21	$h_{pg}^2 \%$	49.36	39.29	2.93
		$d_a$	-11.45	$j_{ba}$	-4.09	$h_{mg}^2 \%$	40.47	46.68	90.27
		$d_b$	4.76	$l$	5.68	$\sigma^2 \%$	10.17	14.04	6.80
		$h_a$	-0.95	$[d]$	-6.06				
		$h_b$	-0.23	$[h]$	-3.05				
		$i$	2.79						
穗下叶向值	D-2	$m$	54.77	$[d]$	3.76	$h_{pg}^2 \%$	19.24	72.02	0.27
		$d$	-8.11	$[h]$	-2.36	$h_{mg}^2 \%$	55.73	3.58	73.81
						$\sigma^2 \%$	25.03	24.40	25.92

穗下叶夹角符合 1 对加性主基因+加性-显性多基因模型(D-2),1 对主基因的加性效应表现为正向效应,势能比小于 1。 $B_1$  世代主基因的遗传率最大为 59.35%,多基因的遗传率在  $B_2$  世代最高。穗上叶向值检测到存在 2 对主基因,符合 E-1 模型。2 对主基因的加性效应一正一负,负向效应较大。显性效应均较小,且为负值。1 对主基因的显性度表现为正向超显性,另 1 对表现为负向超显性。基因间的互作效应累计为正向效应;多基因的加性效应和显性效应均为负值。主

基因的遗传率在  $F_2$  世代高达 90.27%。穗下叶向值符合 D-2 模型,1 对主基因的加性效应较大,为负值,多基因的加性效应为正,显性效应表现为正向。 $F_2$  世代的主基因的遗传率最高(73.81%),在该世代选择具有较高的选择效率,多基因遗传率在  $B_2$  世代最大,环境对于该性状的影响较大。

2.2.2 夏播环境下玉米叶夹角和叶向值的遗传分析 夏播环境下,玉米叶夹角和叶向值的最适遗传模型及遗传参数的估计值列于表 4。

表 4 夏播环境下玉米叶夹角和叶向值遗传模型和参数估算

性状	模型	一阶参数	估计值	一阶参数	估计值	二阶参数	估计值		
							$B_1$	$B_2$	$F_2$
穗上叶夹角	E-1	$m$	38.49	$j_{ab}$	-4.85	$h_{pg}^2 \%$	41.63	51.54	8.58
		$d_a$	7.71	$j_{ba}$	3.61	$h_{mg}^2 \%$	49.13	38.31	85.60
		$d_b$	-0.61	$l$	0.37	$\sigma^2 \%$	9.25	10.15	5.82
		$h_a$	-1.96	$[d]$	7.12				
		$h_b$	-2.27	$[h]$	-3.49				
		$i$	-4.11						
穗下叶夹角	C-0	$m$	32.75	$[i]$	-8.22	$h_{pg}^2 \%$	88.01	81.50	90.39
		$[d]$	5.75	$[j]$	-0.93	$\sigma^2 \%$	11.99	18.50	9.61
		$[h]$	-12.05	$[l]$	17.29				
穗上叶向值	E-1	$m$	53.90	$j_{ab}$	3.16	$h_{pg}^2 \%$	36.45	21.30	0.05
		$d_a$	-7.53	$j_{ba}$	-4.79	$h_{mg}^2 \%$	46.72	82.92	88.69
		$d_b$	6.35	$l$	-14.33	$\sigma^2 \%$	16.83	15.78	11.26
		$h_a$	3.34	$[d]$	-13.45				
		$h_b$	3.43	$[h]$	-7.17				
		$i$	-0.44						
穗下叶向值	D-2	$m$	52.64	$[d]$	-8.01	$h_{pg}^2 \%$	80.02	0.00	84.19
		$d$	-0.43	$[h]$	-4.16	$h_{mg}^2 \%$	3.04	82.43	1.41
						$\sigma^2 \%$	16.94	17.57	14.41

夏播环境下,穗上叶夹角符合 E-1 模型,2 对主基因的加性效应一正一负,显性效应均为负值,1 对主基因的显性度大于 1,表现为正向超显性,1 对为部分显性。加性和加性互作以及加性和显性的互作均为

负值,上位性效应累计表现为负向效应。多基因的加性效应为正,显性为负。 $F_2$  世代的主基因遗传率最高,为 85.60%, $B_2$  世代的多基因遗传率最大(51.54%)。

穗下叶夹角并没有检测到主基因的存在,多基因的加性效应为正值,显性效应为负值,多基因间累计互作效应为正向。多基因的遗传率在分离世代  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $F_2$  分别为 88.01%、81.50%、90.39%。

穗上叶向值的最优模型为 E-1 模型,2 对主基因的加性效应一正一负,显性效应均为正值,1 对主基因表现为正向超显性,1 对为负向超显性。主基因的显性和显性的互作效应较大,为负值,主基因间的累计互作效应为负向。多基因的加性和显性效应均为负向。主基因的遗传率在  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $F_2$  世代分别为 46.72%、82.92%、88.69%,在  $B_1$  和  $F_2$  世代都有较高的选择效率。

穗下叶向值符合 D-2 模型,1 对主基因的加性效应较小,为负值,多基因的加性和显性效应均为负值。主基因的遗传率在  $B_1$  和  $F_2$  世代较小,分别为 3.04%、1.41%, $B_2$  世代的主基因遗传率较高,为 82.43%。多基因遗传率在  $B_1$  和  $F_2$  世代均较高。

### 3 讨论

传统的加一显模型方法,只能检测到性状的加性和显性以及上位性效应,不能检测主基因的存在,也无法区别不同基因在效应上有何差异以及主基因和多基因的遗传率的大小。采用主基因—多基因遗传体系较传统的分析方法更能为育种提供更为丰富的遗传信息。

本研究结果表明,春播和夏播环境下,穗上叶夹角和穗上叶向值均存在 2 对主基因,符合 E-1 模型。这与路明等<sup>[16]</sup>的研究结果一致。路明等<sup>[16]</sup>利用分子标记和 QTL 定位的方法检测到穗上叶夹角和穗上叶向值均存在 2 对主基因。而 Mickelson 等<sup>[17]</sup>利用分子标记和 QTL 定位的方法检测到穗上叶夹角(麦迪逊西部)存在 1 对主基因。Ku 等<sup>[18]</sup>对穗三叶叶夹角和叶向值进行 QTL 定位,发现叶夹角和叶向值均检测到 1 对主基因。穗下叶向值在春播和夏播环境中都符合 D-2 模型,检测到 1 对主基因。虽然在不同的环境中检测到相同的模型,但主基因和多基因的遗传贡献率存在较大差异,这说明基因位点可能存在差异,需要进行分子标记 QTL 的验证。穗下叶夹角在不同的播种季节表现不一致,在春播环境中,穗下叶夹角符合 D-2 模型,存在 1 对主基因,在夏播环境中并没有检测到主基因的存在,属于典型的多基因遗传模型(即 C-0 模型)。春播环境中穗上叶向值在  $F_2$  世代检测较高的主基因遗传率(90.27%)。夏播环境中也检测到较高的主基因遗传率,穗上叶夹角  $F_2$  世代的主基因遗传率为 85.60%,穗上叶向值主基因遗传率在  $B_2$  和  $F_2$  世代分别为 88.92%、88.69%,穗下叶

向值在  $B_2$  世代的主基因遗传率为 82.43%。由此可见,玉米叶夹角和叶向值存在较大的主基因遗传率,可以采用单交重组或简单回交转育的方法进行遗传改良。

### 参考文献:

- [1] Duncan W G, Hesketh J D. Net photosynthetic rate, relative, leaf growth rate and leaf numbers of 22 races of maize grown eight temperature[J]. Crop Sci, 1968, 8:670-674.
- [2] 李妍妍, 景希强, 丰光, 等. 我国不同时期玉米主要农艺性状与产量变化分析[J]. 玉米科学, 2010, 18(3):37-42.
- [3] 张泽民, 贾长柱. 玉米株型对遗传增益的影响[J]. 遗传, 1997, 19(2):31-34.
- [4] 蔡一林, 王久光, 孙海燕, 等. 玉米几个株型性状的遗传模型及其与穗粒性状的典型相关分析[J]. 作物学报, 2002, 28(6):829-834.
- [5] 李玉玲, 张长江, 杨铁柱, 等. 玉米株型性状的基因效应研究[J]. 河南农业大学学报, 1996, 30(1):41-44.
- [6] 王秀全, 陈光明, 刘昌明. 玉米株型育种亲本选配的遗传规律研究[J]. 西南农业学报, 2000, 13(1):50-54.
- [7] 王国强, 蔡一林, 王久光, 等. 10 个玉米自交系株型性状的配合力分析[J]. 西南农业大学学报:自然科学版, 2005, 27(3):374-377.
- [8] 霍仕平, 晏庆九, 许明陆. 玉米主要株型数量性状的基因效应分析[J]. 玉米科学, 2001, 9(1):12-15.
- [9] 徐德林, 蔡一林, 吕学高, 等. 玉米株型性状的 QTL 定位[J]. 玉米科学, 2009, 17(6):27-31.
- [10] 于永涛, 张吉民, 石云素, 等. 利用不同群体对玉米株高和叶片夹角的 QTL 分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(2):88-92.
- [11] Pepper G Z, Pearce R B, Mock J J. Leaf orientation and yield of maize[J]. Crop Science, 1977, 17(6):883-886.
- [12] 盖钧镒, 章元明, 王建康. 植物数量性状遗传体系[M]. 北京:科学出版社, 2003.
- [13] 盖钧镒. 植物数量性状遗传体系的分离分析方法研究[J]. 遗传, 2005, 27(1):130-136.
- [14] Gai J Y, Wang J K. Identification and estimation of QTL model and effects[J]. Theor Appl Genet, 1998, 97:1162-1168.
- [15] Gamble E E. Gene effects in corn(*Zea mays* L.) 1. Separation and relative importance of gene effects for yield[J]. Plant Sci, 1962, 42:339-348.
- [16] 路明, 周芳, 谢传晓, 等. 玉米杂交种掖单 13 号的 SSR 连锁图谱构建与叶夹角和叶向值的 QTL 定位与分析[J]. 遗传, 2007, 29(9):1131-1138.
- [17] Mickelson S M, Stuber C S, Senior L, et al. Quantitative trait loci controlling leaf and tassel traits in a B73×Mo17 population of maize[J]. Crop Sci, 2002, 42(6):1902-1909.
- [18] Ku L X, Zhao W M, Zhang J, et al. Quantitative trait loci mapping of leaf angle and leaf orientation value in maize(*Zea mays* L.) [J]. Theor Appl Genet, 2010, 121:951-959.