

玉米叶宽的遗传效应分析

李丽华¹ 魏昕¹ 孟鑫² 林海建² 樊庆琦³
鲁晓民¹ 曹丽茹¹ 张前进¹ 张新¹ 王振华¹

(¹河南省农业科学院粮食作物研究所, 450002, 河南郑州; ²四川农业大学玉米研究所, 611130, 四川成都; ³山东省农业科学院作物研究所, 250100, 山东济南)

摘要 叶片是玉米植株进行光合作用最主要的器官, 对玉米产量贡献巨大。利用 1 份玉米穗三叶窄叶和 2 份穗三叶宽叶自交系为材料, 构建 2 套 6 世代分离群体 (群体 1 和群体 2), 利用经典植物数量性状混合遗传模型主基因+多基因多世代联合分析方法, 对玉米穗三叶叶片宽度的遗传效应进行分析。结果表明, 2 套群体穗三叶叶宽遗传均受不同的基因数量控制, 属于不同的多基因遗传模型。在群体 1 中, 穗上叶叶宽符合 1 对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因模型 (D-0), 穗位叶叶宽符合 2 对基因加性-显性-上位性模型 (B-1), 穗下叶叶宽符合 2 对基因加性-显性模型 (B-2)。在群体 2 中, 穗上叶叶宽符合 2 对加性主基因+加性-显性多基因模型 (E-3), 穗位叶和穗下叶叶宽符合 1 对加性主基因+加性-显性多基因模型 (D-2)。综上可知, 玉米叶宽主要受主效基因控制, 且在不同的遗传背景下, 玉米穗三叶的遗传模式存在差异, 穗位叶、穗上叶及穗下叶的遗传模式均受遗传背景的影响。

关键词 玉米; 穗三叶; 叶片宽度; 遗传效应

叶片是玉米植株进行光合作用最主要的器官, 同时也是影响植株构型的重要因素。合理的叶片结构有利于植株叶片的合理分布, 从而影响植株的株型结构以及光合效率^[1-3]。叶宽是影响叶片形态的主要因素, 合理的叶片宽度和长度对玉米光合效率、收获指数及最终产量有促进作用^[4-5]。王元东等^[6]研究发现, 较窄的叶片有利于透光, 但会影响自身对光的吸收。而叶片较宽又会影响到下层叶对光的吸收, 从而降低整体的光合效率^[7]。因此对玉米植株叶片宽度进行深入研究, 了解叶宽的分子机理对提高植株光合效率、改良株型和提高产量有重要的意义。

关于玉米叶宽的遗传研究报道较多, 研究对象主要是穗位三叶。玉米叶宽相关基因的加性效应、显性效应和上位性效应均有检测发现, 但结果却不尽一致^[8]。有研究^[9-10]认为, 玉米叶宽的遗传除加性基因效应起主导作用外, 显性基因效应也很重要。也有研究^[11-12]认为, 控制叶宽的基因效应以加性效应为主, 同时还与非加性效应有关。王雅萍^[13]研究表明, 叶宽加性效应方差比显性效应方差大, 广义和狭义遗传力均较低。霍仕平等^[14]研究认

为, 加性效应是穗上叶叶宽遗传的主导因素, 显性效应对叶宽遗传的贡献率次之, 上位性作用的效应值也是显著的。温海霞等^[15]和陈岭等^[16]研究认为, 叶宽遗传以显性基因效应为主, 广义遗传力低, 并且容易受环境影响。综上可知, 玉米叶宽的遗传是典型的数量遗传特征, 受加性效应及显性效应的影响, 上位性效应在特殊背景的遗传材料中才能显现出来。同时, 不同叶片宽度的遗传可能还存在细微的差别, 上述研究仅对叶片的遗传进行了简单的探讨, 对于主效基因及遗传模式的研究并不多, 因此本研究利用 1 个窄叶材料与 2 个宽叶材料构建了 2 套 6 世代分离群体, 探讨在不同背景下穗三叶叶宽遗传模型, 为解析玉米穗三叶叶宽的遗传机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以卷曲窄长叶玉米自交系 R61 (R61 来源于郑 58/郑 29, 郑 58 系玉米杂交种郑单 958 的母本, 郑 29 为自选系, 属于母本群改良瑞德类)、正常宽短

作者简介: 李丽华, 主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: llhtg1997@163.com

魏昕为通信作者, 主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: weixin04@163.com

基金项目: 河南省基础前沿项目 (No.162300410139); 河南省农业科学院自主创新专项 (No.2020ZC06); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-02-05)

收稿日期: 2021-06-24; 修回日期: 2021-10-18; 网络出版日期: 2022-08-05

叶片玉米自交系 W75 (系国外杂交种的母本自交系) 和正常宽短叶片玉米自交系 W45 (系国外杂交种通过单倍体诱导获得的双单倍体自交系) 为材料, 于 2016 年冬季在海南三亚杂交获得 F₁, 2017 年 6 月在河南郑州分别自交和利用双亲回交获得 F₂、B_{1:2} 和 B_{2:2}。

1.2 试验方法

2018 年 6 月将 2 套 P₁、P₂、F₁、F₂、B_{1:2} 和 B_{2:2} 在河南郑州种植, 其中亲本 P₁、P₂ 和 F₁ 各种植 20 株; F₂、B_{1:2} 和 B_{2:2} 单穗籽粒全部种植。田间管理与大田管理一致。在玉米抽雄期调查各群叶宽, 利用直尺依次测定穗下叶、穗位叶和穗上叶最宽处宽度。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据前处理。采用植物数量性状混合遗传模型主基因+多基因多

世代联合分析方法进行基因效应分析, 利用极大似然法和 IECM 算法估算各有关成分分布参数。通过 AIC 值的判别和一组适合性测验选择最优遗传模型, 并估算主基因和多基因效应值、方差和遗传率等遗传参数。适合性检验包括均匀性检验 (U_1^2 、 U_2^2 、 U_3^2)、Smirnov 检验 (nW^2) 和 Kolmogorov 检验 (D_n) 结果。

2 结果与分析

2.1 R61×W75 组合 6 个家系世代穗三叶叶宽的次数分布

由表 1 可知, 变异系数波动不大, 表明没有极端值出现, 偶然误差小, B₁、B₂ 和 F₂ 分离世代穗上、穗位和穗下叶宽情况多表现偏态分布, 但接近正态分布, 除 B₂ 世代的穗位叶宽有多峰出现外, 其他世代没有多峰, 多表现出微效多基因数量遗传

表 1 R61×W75 组合 6 个家系世代叶宽的次数分布
Table 1 Frequency distribution of leaf widths in six families of R61×W75 combination

指标 Index	世代 Generation	叶宽 Leaf width (cm)										平均数 Mean	变异系数 Coefficient of variation (%)
		4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13			
穗上叶宽 The width of leaf above ear	P ₁				1	1	3	5	1			9.64	10.02
	P ₂	4	9	4								5.44	12.73
	F ₁					1	2	8	5			10.44	7.28
	B ₁		4	7	35	56	90	43	8			8.81	13.84
	B ₂		3	9	8	6	15	8	1			8.20	19.48
	F ₂	10	19	30	45	62	58	20	4			8.00	19.55
穗位叶宽 The width of ear leaf	P ₁						4	5				9.72	5.21
	P ₂		11	6								5.76	8.12
	F ₁						7	6	2			9.91	7.61
	B ₁			8	21	58	76	56	13	2		9.11	12.50
	B ₂		1	7	11	10	6	10	4			8.34	19.36
	F ₂	9	19	32	44	45	60	28	4			8.07	20.46
穗下叶宽 The width of leaf under ear	P ₁					4	4	2				8.90	7.86
	P ₂		5	11	1							6.08	8.55
	F ₁					5	5	6				9.33	9.81
	B ₁			4	15	57	82	62	21	2		9.29	12.00
	B ₂		3	5	13	11	11	4	2	1		8.21	18.71
	F ₂	4	11	35	45	58	56	28	10	1		8.33	18.91

的特征。

2.2 R61×W45 组合 6 个家系世代叶宽的次数分布

由表 2 可知, 叶宽变异系数波动不大, 表明没有极端值出现, 偶然误差小, B₁、B₂ 和 F₂ 分离世代穗上、穗位和穗下叶宽情况多表现偏态分布, 没有多峰呈现, 表现出主基因+微效多基因数量遗传的特征。

2.3 叶宽的最适遗传模型估算

采用盖均镒等^[17]和章元明等^[18]介绍的植物数量性状主基因+多基因的多世代混合遗传模型分析方法, 估算了 1 对主基因 (A)、2 对主基因 (B)、多基因 (C)、1 对主基因+多基因 (D) 以及 2 对主基因+多基因 (E) 共 5 大类 23 种遗传模型的最大对数似然值和 AIC 值。针对 AIC 值相对较小的

表 2 R61×W45 组合 6 个家系世代叶宽的次数分布
Table 2 Frequency distribution of leaf widths in six families of R61×W45 combination

指标 Index	世代 Generation	叶宽 Leaf width (cm)									平均数 Mean	变异系数 Coefficient of variation (%)	
		4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13			
穗上叶宽 The width of leaf above ear	P ₁	4	9	4							5.44	12.73	
	P ₂				2	6	0	1			7.37	10.29	
	F ₁						2	7	7		9.75	6.96	
	B ₁			20	39	40	31	11	1		7.14	15.89	
	B ₂			1	9	34	51	38	6	5	8.31	13.29	
	F ₂			5	31	40	41	35	14	2	1	7.95	16.88
穗位叶宽 The width of ear leaf	P ₁		11	6							5.76	8.12	
	P ₂				1	7	1				7.28	5.82	
	F ₁						2	6	6	2	9.79	10.01	
	B ₁			9	29	47	35	19	2		7.50	14.87	
	B ₂				3	27	39	54	12	1	8.59	11.77	
	F ₂		1	2	22	42	34	46	19	2	1	8.25	16.45
穗下叶宽 The width of leaf under ear	P ₁			5	11	1					6.08	8.55	
	P ₂				1	7	1				7.37	5.43	
	F ₁						2	7	6	3	9.78	9.65	
	B ₁			3	33	43	38	22	2	1	7.65	14.20	
	B ₂				2	17	56	49	18	2	1	8.77	10.49
	F ₂			1	24	36	48	33	24	2	1	8.27	16.18

模型对模型进行适合性检验，最后确定各性状最优 F₂、B₁ 和 B₂ 6 个世代群体穗三叶的叶宽进行分析，遗传模型。对杂交组合 R61×W75 的 P₁、P₂、F₁、结果（表 3）表明，穗三叶的叶宽遗传受不同的基

表 3 R61×W75 组合叶宽遗传模型的 AIC 值
Table 3 AIC values estimated by IECM of leaf width in cross of R61×W75

穗上叶宽 The width of leaf above ear			穗位叶宽 The width of ear leaf			穗下叶宽 The width of leaf under ear		
模型 Model	极大似然数值 Max-likelihood-value	AIC	模型 Model	极大似然数值 Max-likelihood-value	AIC	模型 Model	极大似然数值 Max-likelihood-value	AIC
A-1	-1017.72	2043.44	A-1	-967.41	1942.81	A-1	-984.92	1977.84
A-2	-1054.83	2115.66	A-2	-1001.32	2008.64	A-2	-1003.36	2012.72
A-3	-1019.18	2044.36	A-3	-967.48	1940.95	A-3	-985.22	1976.45
A-4	-1083.32	2172.65	A-4	-1044.64	2095.29	A-4	-1048.38	2102.77
B-1-1	-991.27	2002.55	B-1-1	-940.32	1900.64	B-1-1	-969.71	1959.42
B-1-2	-1012.66	2037.31	B-1-2	-954.87	1921.74	B-1-2	-970.23	1952.46
B-1-3	-1075.27	2158.53	B-1-3	-1043.92	2095.84	B-1-3	-1064.76	2137.52
B-1-4	-1053.29	2112.59	B-1-4	-1003.15	2012.31	B-1-4	-1005.87	2017.74
B-1-5	-1016.94	2041.88	B-1-5	-964.62	1937.23	B-1-5	-979.74	1967.49
B-1-6	-1019.29	2044.57	B-1-6	-965.93	1937.86	B-1-6	-980.03	1966.07
C-0	-999.25	2018.50	C-0	-952.14	1924.29	C-0	-972.65	1965.29
C-1	-1024.98	2063.95	C-1	-972.19	1958.37	C-1	1965.29	1967.72
D-0	-982.92	1989.84	D-0	-941.68	1907.36	D-0	-968.99	1961.99
D-1	-1013.05	2044.09	D-1	-953.45	1924.91	D-1	-968.47	1954.94
D-2	-1013.04	2042.09	D-2	-953.45	1922.91	D-2	-968.47	1952.94
D-3	-1016.16	2048.33	D-3	-958.00	1932.00	D-3	-973.32	1962.64
D-4	-1026.75	2069.50	D-4	-964.63	1945.25	D-4	-973.32	1962.65
E-1-0	-978.77	1993.53	E-1-0	-935.31	1906.61	E-1-0	-966.60	1969.19
E-1-1	-988.45	2006.90	E-1-1	-941.16	1912.32	E-1-1	-967.66	1965.32
E-1-2	-1008.85	2039.70	E-1-2	-957.97	1937.94	E-1-2	-971.00	1964.00
E-1-3	-993.10	2004.20	E-1-3	-943.87	1905.73	E-1-3	-969.48	1956.95
E-1-4	-1024.02	2064.03	E-1-4	-965.46	1946.92	E-1-4	-971.93	1959.86
E-1-5	-1008.90	2035.81	E-1-5	-955.43	1928.85	E-1-5	-973.52	1965.03

因数控制,属于不同的多基因遗传模型,其中,穗上叶叶宽符合1对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因模型(D-0);穗位叶叶宽符合2对基因加性-显性-上位性模型(B-1);穗下叶叶宽符合2对基因加性-显性模型(B-2)。对杂交组合

R61×W45的P₁、P₂、F₁、F₂、B₁和B₂6个世代群体穗三叶的叶宽进行分析,结果(表4)表明,穗三叶叶宽遗传受不同基因数控制,属于不同的多基因遗传模型,穗位和穗下叶叶宽符合1对加性主基因+加性-显性多基因模型(D-2),穗上叶叶宽符

表4 R61×W45组合叶宽遗传模型的AIC值
Table 4 AIC values estimated by IECM of leaf width in cross of R61×W45

穗上叶宽 The width of leaf above ear			穗位叶宽 The width of ear leaf			穗下叶宽 The width of leaf under ear		
模型 Model	极大似然数值 Max-likelihood-value	AIC	模型 Model	极大似然数值 Max-likelihood-value	AIC	模型 Model	极大似然数值 Max-likelihood-value	AIC
A-1	-806.90	1621.80	A-1	-777.37	1562.74	A-1	-769.81	1547.63
A-2	-828.29	1662.59	A-2	-801.26	1608.52	A-2	-797.96	1601.93
A-3	-853.43	1712.86	A-3	-824.59	1655.17	A-3	-822.87	1651.74
A-4	1712.86	1623.29	A-4	-785.23	1576.45	A-4	-780.64	1567.29
B-1-1	-782.34	1584.68	B-1-1	-751.97	1523.93	B-1-1	-748.41	1516.83
B-1-2	-784.65	1581.29	B-1-2	-754.06	1520.11	B-1-2	-748.83	1509.67
B-1-3	-850.41	1708.81	B-1-3	-821.15	1650.30	B-1-3	-821.48	1650.96
B-1-4	-825.62	1657.23	B-1-4	-799.57	1605.14	B-1-4	-796.31	1598.62
B-1-5	-851.39	1710.77	B-1-5	-823.08	1654.16	B-1-5	-821.33	1650.66
B-1-6	-851.39	1708.77	B-1-6	-823.08	1652.16	B-1-6	-821.33	1648.66
C-0	-771.25	1562.49	C-0	-744.56	1509.11	C-0	-740.25	1500.50
C-1	-776.50	1567.00	C-1	-747.56	1509.11	C-1	-743.71	1501.42
D-0	-771.24	1566.48	D-0	-743.19	1510.39	D-0	-740.25	1504.49
D-1	-772.61	1563.21	D-1	-744.28	1506.56	D-1	-734.48	1486.95
D-2	-772.61	1561.21	D-2	-744.28	1504.56	D-2	-734.48	1484.95
D-3	-776.07	1568.13	D-3	-746.34	1508.68	D-3	-742.21	1500.42
D-4	-776.30	1568.61	D-4	-746.33	1508.65	D-4	-742.22	1500.43
E-1-0	-766.21	1568.42	E-1-0	-740.75	1517.51	E-1-0	-733.47	1502.94
E-1-1	-768.67	1567.34	E-1-1	-742.80	1515.61	E-1-1	-733.63	1497.27
E-1-2	-773.48	1568.96	E-1-2	-743.41	1508.83	E-1-2	-739.57	1501.14
E-1-3	-771.29	1560.59	E-1-3	-744.60	1507.20	E-1-3	-739.23	1496.47
E-1-4	-776.40	1568.80	E-1-4	-747.51	1511.01	E-1-4	-743.68	1503.35
E-1-5	-776.37	1570.74	E-1-5	-747.51	1513.02	E-1-5	-743.68	1505.36

合2对加性主基因+加性-显性多基因模型(E-3)。

2.4 叶宽遗传参数的估算

根据各模型不同成分的分布参数,计算出极大似然估计值,并由此计算出各相关一阶和二阶遗传参数。从表5和表6可知,2个组合的穗上、穗位和穗下叶宽的最适遗传模型均不一致,在R61×W75中,穗位和穗下叶宽均由2对主基因控制,而在R61×W45组合中穗位和穗下叶宽均由1对加性主基因控制,在R61×W75中穗上叶宽由1对加性-显性主基因控制,而在R61×W45组合中穗上叶宽由2对加性主基因控制。在R61×W75中,穗上叶宽主基因的遗传力在B₂和F₂世代中均较大,分别为75.44%和57.31%,穗位叶宽和穗下叶宽在B₁、B₂和F₂世代中主基因的遗传力均较大,都超过

50%,在R61×W45组合中,穗上叶宽的主基因遗传力在B₁、B₂和F₂世代均较大,而多基因遗传力较小,穗位叶宽主基因遗传力在B₁和F₂世代较大,而多基因遗传力较小,穗下叶宽与穗位叶宽表现基本一致,表明叶宽主要受主效基因控制。

3 讨论

叶片是玉米进行光合作用的主要器官,也是株型构成的重要组成部分,同时对玉米单株产量的形成具有重要作用,提供80%~90%的籽粒干物质产量,尤其是中部叶片^[9]。玉米穗三叶(穗上叶、穗位叶和穗下叶)作为玉米叶片的主要构成部分,总叶面积占全株叶面积的44.92%,对雌穗的生长发育及产量形成起着重要作用,而叶宽又是影响叶片形态

表 5 组合 R61×W75 叶宽的遗传参数估计
Table 5 Genetic parameter estimation of leaf width of combination R61×W75

性状 Trait	模型 Model	一阶参数 1st parameter	估计值 Estimate value	二阶参数 2nd parameter	估计值 Estimated value		
					B ₁	B ₂	F ₂
穗上叶宽 The width of leaf above ear	D-0	<i>m</i>	7.79	σ_p^2	1.49	2.55	2.45
		<i>d</i>	1.28	σ_c^2	0.58	0.58	0.58
		<i>h</i>	1.48	σ_{pg}^2	0.89	0.04	0.46
				σ_{mg}^2	0.02	1.93	1.40
				$h_{pg}^2(\%)$	59.66	1.70	18.83
				$h_{mg}^2(\%)$	1.07	75.44	57.31
穗位叶宽 The width of ear leaf	B-1	<i>m</i>	7.40	σ_p^2	1.30	2.61	2.73
		<i>d_a</i>	1.86	σ_c^2	0.49	0.49	0.49
		<i>d_b</i>	0.10	σ_{pg}^2			
		<i>h_a</i>	0.51	σ_{mg}^2	0.81	2.12	2.24
		<i>h_b</i>	0.40	$h_{pg}^2(\%)$			
		<i>i</i>	0.41	$h_{mg}^2(\%)$	62.34	81.27	82.11
		<i>j_{ab}</i>	-0.91				
		<i>j_{ba}</i>	-0.20				
		<i>l</i>	1.66				
穗下叶宽 The width of leaf under ear	B-2	<i>m</i>	7.47	σ_p^2	1.24	2.36	2.48
		<i>d_a</i>	1.43	σ_c^2	0.57	0.57	0.57
		<i>d_b</i>	0.06	σ_{pg}^2			
		<i>h_a</i>	0.55	σ_{mg}^2	0.67	1.79	1.91
		<i>h_b</i>	1.54	$h_{pg}^2(\%)$			
				$h_{mg}^2(\%)$	54.17	75.81	77.03

m: 中亲值, *d_a*: 主基因 *a* 的加性效应值, *d_b*: 主基因 *b* 的加性效应值, *h_a*: 主基因 *a* 的显性效应值, *h_b*: 主基因 *b* 的显性效应值, *j_{ab}*: 主基因 *a* 的加性与主基因 *b* 的显性上位性互作效应值, *j_{ba}*: 主基因 *b* 的加性与主基因 *a* 的显性上位性互作效应值, *d*: 加性效应, *h*: 显性效应, *i*: 加性互作效应, *j*: 加性显性互作效应, *l*: 显性互作效应, σ_p^2 : 表型方差, σ_{mg}^2 : 主基因方差, σ_{pg}^2 : 多基因方差, σ_c^2 : 环境方差, $h_{mg}^2(\%)$: 主基因遗传力, $h_{pg}^2(\%)$: 多基因遗传力, 下同
m: means of populations by different generations, *d_a*: additive effective value of major gene *a*, *d_b*: additive effective value of major gene *b*, *h_a*: dominant effective value of major gene *a*, *h_b*: dominant effective value of major gene *b*, *j_{ab}*: additive×dominant epistasis effective value of major gene *a* and *b*, *j_{ba}*: additive×dominant epistasis effective value of major gene *b* and *a*, *d*: additive effects, *h*: dominance effects, *i*: interactive effects of additive, *j*: interactive effects between additive and dominance, *l*: interactive effects of dominance, σ_p^2 : phenotypic variance, σ_{mg}^2 : major gene variance, σ_{pg}^2 : polygene variance, σ_c^2 : environmental variance, $h_{mg}^2(\%)$: major gene heritability, $h_{pg}^2(\%)$: polygene heritability, the same below

表 6 组合 R61×W45 叶宽的遗传参数估计
Table 6 Genetic parameter estimation of leaf width of combination R61×W45

性状 Trait	模型 Model	一阶参数 1st parameter	估计值 Estimate value	二阶参数 2nd parameter	估计值 Estimated value		
					B ₁	B ₂	F ₂
穗上叶宽 The width of leaf above ear	E-3	<i>m</i>	7.80	σ_p^2	1.29	1.21	1.80
		<i>d_a</i>	-0.68	σ_c^2	0.47	0.47	0.47
		<i>d_b</i>	-0.97	σ_{pg}^2	0.25	0.35	0.59
		<i>h_a</i>	-0.80	σ_{mg}^2	0.57	0.40	0.75
		<i>h_b</i>	0.08	$h_{pg}^2(\%)$	19.51	28.69	32.55
		<i>i</i>	-0.03	$h_{mg}^2(\%)$	44.16	32.83	41.48
		<i>j_{ab}</i>	0.19				
		<i>j_{ba}</i>	-0.02				
		<i>l</i>	0.66				
穗位叶宽 The width of ear leaf	D-2	<i>m</i>	6.48	σ_p^2	1.24	1.02	1.84
		<i>d</i>	-1.15	σ_c^2	0.46	0.46	0.46
		[<i>d</i>]	0.29	σ_{pg}^2	0.23	0.53	0.54
		[<i>h</i>]	3.27	σ_{mg}^2	0.56	0.03	0.84
				$h_{pg}^2(\%)$	18.20	51.99	29.56
				$h_{mg}^2(\%)$	44.79	2.87	45.45
穗下叶宽 The width of leaf under ear	D-2	<i>m</i>	6.69	σ_p^2	1.18	0.85	1.79
		<i>d</i>	-1.37	σ_c^2	0.47	0.47	0.47
		[<i>d</i>]	0.57	σ_{pg}^2	0.00	0.36	0.00
		[<i>h</i>]	3.07	σ_{mg}^2	0.71	0.02	1.33
				$h_{pg}^2(\%)$	0.00	42.94	0.00
				$h_{mg}^2(\%)$	60.55	2.06	74.01

[*d*]: 加性效应和, [*h*]: 显性效应
[*d*]: additive effect of polygene, [*h*]: dominance effect of polygene

的主要因素^[20]。叶宽影响叶片形态和光合能力,较窄的叶片有利于透光,但会影响自身对于光的吸收,然而较宽的叶片又会影响到下层叶片对于光的吸收,从而降低整体的光合效率^[6],因此,合理的叶片宽度对玉米植株形态和能量获取至关重要,研究穗三叶叶宽的遗传机制可为玉米株型的遗传改良提供理论依据。

目前,大量的研究已证实玉米叶宽属于典型的数量性状,受微效多基因控制。从前人的研究^[11-14]结果来看,玉米叶宽的遗传有加性和显性,甚至上位性效应起作用,但对玉米叶宽遗传模型的研究较少。本研究以2个玉米6世代分离群体研究玉米穗三叶宽度的遗传模型以及遗传参数,在R61×W75中,穗位和穗下叶宽均由2对主基因控制,而在R61×W45组合中穗位和穗下叶宽均由1对加性主基因控制,在R61×W75中穗上叶宽由1对加性-显性主基因控制,而在R61×W45组合中穗上叶宽由2对加性主基因控制,自交系R61遗传背景主要以国内瑞德血缘为主,自交系W45是国外杂交种通过单倍体诱导加倍而成的双单倍体系,自交系W75系国外母本自交系(SS类群),2个组合虽有共用亲本R61,但2个组合不仅穗三叶叶宽的最适遗传模型不一致,而且同一组合穗三叶不同叶位的遗传模型也不一致,赵小强等^[21]研究表明,玉米叶宽的遗传同时受基因的加性、非加性及基因与环境互作效应的调控,其中加性遗传效应占主导地位,在遗传改良中可在早代对其进行选择。玉米叶宽是十分复杂的数量性状,众多定位结果显示,与叶宽相关的数量性状基因座分布在多条染色体上^[22]。由此可见,玉米叶宽的遗传是十分复杂的,R61为国内母本群,W75为国外母本群,W45为偏国外父本群,由于自交系本身遗传背景的复杂性,通过遗传重组后,多基因的互作导致不同的遗传模型。此外,遗传力的表现在不同群体以及同一群体不同叶片位置同样存在差异。因此,在今后的玉米株型改良中,尤其是叶片宽度的改良构成中,应根据材料的遗传背景以及叶片部位采取不同的改良策略。

4 结论

玉米穗三叶叶宽主要受主效基因控制,主基因的遗传力在分离群体中较大,且以加性效应为主,在玉米育种实践中,通常通过加大密度增加选择压

力,同时增大群体数量从中选择符合目标的单株,加性效应控制的性状是可以遗传的,可在早代进行选择。

参考文献

- [1] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L). *Advances in Agronomy*, 2005, 86(5): 83-145.
- [2] Li Y, Ma X L, Wang T Y, et al. Increasing maize productivity in China by panicking hybrids with germplasm that responds favorably to higher planting density. *Crop Science*, 2011, 51(6): 2391-2400.
- [3] Wang T Y, Ma X L, Li Y, et al. Changes in yield and yield components of single-cross maize hybrids released in China between 1964 and 2001. *Crop Science*, 2011, 51(2): 512-525.
- [4] 唐登国. 玉米叶宽和叶长性状的QTL定位与分析. 成都: 四川农业大学, 2013.
- [5] 郭书磊, 鲁晓民, 齐建双, 等. 利用RNA-Seq发掘玉米叶片形态建成相关的调控基因. *中国农业科学*, 2020, 53(1): 1-17.
- [6] 王元东, 段民孝, 邢锦丰, 等. 玉米理想株型育种的研究进展与展望. *玉米科学*, 2008, 16(3): 47-50.
- [7] 张莹莹, 杨青, 代资举, 等. 玉米穗三叶叶宽QTL定位及Meta分析. *河南农业科学*, 2019, 48(12): 15-22.
- [8] 张旷野. 玉米叶夹角和叶宽的遗传分析及QTL定位. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [9] 赖仲铭, 杨克诚, 雷本鸣, 等. 玉米几个自交系株型数量性状遗传的研究. *中国农业科学*, 1981(4): 28-36.
- [10] 王克胜, 孔繁玲, 杜曼·依马买地. 玉米株型性状的遗传表达和自交系与杂交种的株型的聚类分析. *北京农业大学学报*, 1992, 19(3): 20-28.
- [11] 陈宛秋, 张彪, 康继伟, 等. 几个常用玉米自交系株型性状的遗传及其在株型育种中的利用. *四川农业大学学报*, 1993, 11(4): 563-567.
- [12] 李玉玲, 苏祯祿, 孙书库, 等. 玉米株型性状的配合力及其相关研究. *河南农业大学学报*, 1994, 28(4): 354-359.
- [13] 王雅萍. 玉米自交系株型和产量性状的关系及其利用研究. *玉米科学*, 2004, 12(3): 47-49.
- [14] 霍仕平, 晏庆九, 许明陆, 等. 玉米主要株型数量性状的基因效应分析. *玉米科学*, 2001, 9(1): 12-15.
- [15] 温海霞, 蔡一林, 王久光, 等. 9个玉米自交系主要株型性状的配合力分析. *西南农业大学学报*, 2002, 24(3): 223-225.
- [16] 陈岭, 崔绍平, 徐有, 等. 玉米株型性状的遗传分析. *华北农学报*, 1994 (增1): 11-15.
- [17] 盖钧镒, 章元明, 王健康. 植物数量性状遗传体系. 北京: 科学出版社, 2003.
- [18] 章元明, 盖钧镒. 数量性状分离分析中分布参数估计的IECM算法. *作物学报*, 2000, 26(6): 699-706.
- [19] 赵可夫. 玉米抽雄后不同叶位叶对籽粒产量的影响及其光合性能. *作物学报*, 1981, 7(4): 259-266.
- [20] 许海涛, 许波, 王友华, 等. 棒三叶对夏玉米光合生理特性、籽粒发育和产量性状的影响. *陕西农业科学*, 2018, 64(7): 8-12.
- [21] 赵小强, 姬祥卓, 彭云玲. 花期玉米 (*Zea mays*) 穗三叶叶形结构的遗传效应及配合力分析. *分子植物育种*, 2020, 18(9): 3024-3031.
- [22] Wang B B, Zhu Y B, Zhu J J, et al. Identification and fine-mapping of a major maize leaf width QTL in a resequenced large recombinant inbred lines population. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 1-11.

Analysis of the Genetic Effects of Leaf Width in Maize

Li Lihua¹, Wei Xin¹, Meng Xin², Lin Haijian², Fan Qingqi³, Lu Xiaomin¹,
Cao Liru¹, Zhang Qianjin¹, Zhang Xin¹, Wang Zhenhua¹

¹Institute of Food Crops, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China;

²Maize Research Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China;

³Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan 250100, Shandong, China)

Abstract Leaf is the most crucial component of plant photosynthesis, and it can significantly increase maize yield. In order to create two sets of six-generation segregating populations, one three-ear-leaf narrow-leaf inbred line and two three-ear-leaf wide-leaf inbred lines were crossed and backcrossed, respectively (population 1 and population 2). The genetic influence of the leaf width of the three-ear-leaf of maize on the cob was analysed using the main gene and multi-gene multi-generation combination analysis method of the mixed genetic model of plant quantitative traits. The results showed that the inheritance of the leaf width of the two groups of three-ear-leaf was controlled by different gene numbers and belonged to different polygenic genetic models. In population 1, the width of leaf above ear conformed to a pair of additive-dominant major gene+additive-dominant-epistatic polygene model (D-0), and the width of ear-leaf conformed to the two pairs of gene additive-dominant-epistatic model (B-1), the width of leaf under ear conformed to the two-pair gene additive-dominant model (B-2). In population 2, the width of leaf above ear conformed to the two pairs of additive major genes+ additive-dominant polygene model (E-3), and the widths of ear-leaf and under ear conformed to a pair of additive major genes+ additive-dominant polygene model (D-2). Therefore, we speculate that maize leaf width was mainly controlled by the main effect genes, and the genetic pattern of the three-ear-leaf of maize was different under different genetic backgrounds. The genetic patterns of ear-leaf, leaf above ear and leaf under ear were all affected on major gene control.

Key words Maize; Three-ear-leaf; Leaf width; Genetic effects