



胡军,魏开锋,刘万,等.玉米植株数量性状配合力及其利用价值分析[J].黑龙江农业科学,2020(1):1-8.

玉米植株数量性状配合力及其利用价值分析

胡 军,魏开锋,刘 万,郭鹏程,徐风雨,潘洪玉,张鑫生

(吉林大学 植物科学学院,吉林 长春 130062)

摘要:为促进自交系的利用与改良,选取综合性状优良的 20 个玉米自交系进行配合力测定,按照不完全双列杂交设计,9 个母本和 11 个父本组配 99 个杂交组合,以平安 194 为对照,对亲本和杂交组合的株高、穗位高等 7 个数量性状进行统计分析。结果表明:杂交组合的 7 个性状在一般配合力、特殊配合力上差异极显著。JZF4 等 3 个自交系可以显著降低杂交种株高,JZM8 等 3 个自交系可以显著降低杂交种穗位高,母本自交系 JZF9 和父本自交系 JZM11 雄穗分支数一般配合力为显著负值和显著正值,它们是减少雄穗养分竞争,保证完全授粉的较好育种材料。在抽丝期与开花期两个性状上,自交系 JZM2 与 JZM4 一般配合力是极显著正值和极显著负值,可以用来改良品种的生育期,以适应当地的生态气候条件。JZF5 等 3 个自交系单株穗重的一般配合力是极显著的正值,平均可以增加杂交种单株穗重 20 g 以上,育种潜力较大。单株穗重对照优势大于 5% 的两个组合 JZF5×JZM4 和 JZF8×JZM5 株高、穗位高等植株综合性状较好,无明显的缺点,可作为优势杂交组合进一步研究利用。

关键词:玉米;不完全双列杂交;数量性状;一般配合力;特殊配合力

玉米是全球范围内重要的农作物之一,具有广泛的经济利用价值^[1]。玉米还是一种具有丰富遗传多样性、高度杂种优势的遗传模式植物,最大限度的利用杂种优势是提高玉米品种产量的有效途径^[2]。玉米育种相关科技工作者一直在探索杂种优势的预测方法,作为选择种质组配强优势杂交组合的依据^[3]。目前为止,不同领域的科学家对杂种优势遗传机理的持续研究并没有达成一致的结论,对杂种优势遗传基础的解释主要有三大假说,即基于单个基因位点效应的显性假说、超显性假说,以及基于不同基因相互作用的上位性效应^[4]。

目前,虽然玉米杂种优势的分子机制尚不清楚,但人们在长期的玉米育种实践过程中,已经认识到自交系本身表现与杂交种的产量没有必然的关系,自身表现优良的品种不一定是优良的亲本,实际杂交组配中表现优良的亲本其自身表现也不一定优良^[5]。玉米自交系的配合力问题是优良品

种选育的关键问题,配合力是决定自交系优劣的一个重要标准,它可以减少杂交组合组配的盲目性并提高育种工作的效率^[6]。本研究选用综合性状较好的 20 个玉米自交系为杂交亲本,按照不完全双列杂交的方式进行组配,以研究玉米植株数量性状的配合力表现,为自交系的组配及高产育种提供参考,同时为自交系的利用与改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料由综合农艺性状较好的 20 份自交系构成,其中 JZF1~JZF9 为母本,JZM1~JZM11 为父本。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 2016 年两组亲本按 NC II (不完全双列杂交)方法进行组配,2017 年 4 月下旬将所有的试验材料按随机区组设计,种植于长春市绿园区植物科学学院教学与科研实习基地。区组 3 次重复,单行小区,行长 3 m,行距 65 cm,株距 25 cm,对照品种为平安 194,田间管理措施与大田相同。

1.2.2 性状调查与统计分析 每个小区取有代表性的 5 株进行调查,收集株高、穗位高、雄穗主轴长、雄穗分支数、穗重等植株性状数据,抽丝期与开花期按播种到小区半数植株吐丝与散粉的天数进行统计。

收稿日期:2019-08-13

基金项目:吉林省省校共建计划专项(SXGJQY2017-08);“十三五”国家重点研发计划(2017YFD0201802);吉林省重点科技研发项目(20180201012NY);吉林大学科研启动基金(4305 05010227);吉林大学博士启动基金(4305050102U8)。

第一作者:胡军(1979-),男,博士,讲师,从事玉米遗传育种研究。E-mail:hu_jun@jlu.edu.cn。

通信作者:张鑫生(1968-),男,学士,高级工程师,从事玉米遗传育种研究。E-mail:xsh-zhang@163.com。

1.2.3 数据分析 各性状的区组方差分析及配合力估算采用小区平均值进行计算,参考黄远樟等^[7]、孔繁玲^[5]、唐燕琼^[8]的配合力估算方法,对一般配合力(GCA)、特殊配合力(SCA)效应值进行估算和显著性检验,本试验所有的数据整理和统计分析均采用 Excel 2010 和 SAS 9.4 软件进行。

2 结果与分析

2.1 供试自交系 7 个植株数量性状的表型分布

由表 1 可知,供试的 20 个自交系株高平均

195.5 cm,JZF8 最高,为 248.3 cm,JZF4 最矮,为 161.0 cm。穗位高平均 67.6 cm,JZF5 最高,为 96.0 cm,JZF4 最矮,为 44.0 cm。雄穗主轴长平均 42.0 cm,JZM9 最长,为 57.7 cm,JZF3 最短,为 32.0 cm。雄穗分支数平均 9.4 个,JZM11 最多,为 27.7 个,JZF9 最少,为 2.0 个。抽丝期平均为 89.9 d,JZF2 最迟是 95 d,JZM2 最早,为 83 d。开花期平均为 88.8 d,JZF9 最迟,为 95 d,JZM2 最早,为 84 d。穗重平均 149.9 g,JZF6 最重,为 238.7 g,JZM10 最轻,为 65.5 g。

表 1 20 个自交系的植株性状表现

Table 1 Plant characters performance of 20 inbred lines

序号 No.	自交系 Inbredlines	株高 Plant height/cm	穗位高 Ear height/cm	雄穗主轴长 Tassel spindle length/cm	雄穗分支数 Tassel branch number	抽丝期 Planting to silking/d	开花期 Planting to anthesis/d	单株穗重 Ear weight per plant/g
1	JZF1	176.8	48.0	42.3	8.7	93	88	147.3
2	JZF2	228.3	95.3	47.7	6.7	95	93	155.6
3	JZF3	169.3	69.0	32.0	13.7	94	93	184.4
4	JZF4	161.0	44.0	47.0	2.3	91	89	131.2
5	JZF5	227.3	96.0	32.0	12.7	87	89	157.6
6	JZF6	226.0	95.0	45.3	6.7	87	88	238.7
7	JZF7	210.7	73.3	43.7	8.3	91	88	230.3
8	JZF8	248.3	80.0	49.7	4.0	93	88	138.8
9	JZF9	231.7	62.7	49.0	2.0	95	95	136.6
10	JZM1	202.0	55.7	39.0	7.0	86	87	131.9
11	JZM2	163.0	63.3	34.3	8.0	83	84	144.1
12	JZM3	167.3	58.3	38.0	6.0	87	87	132.6
13	JZM4	181.3	66.0	36.3	7.7	90	87	156.1
14	JZM5	175.7	55.0	32.7	18.7	93	89	144.1
15	JZM6	183.7	47.0	41.7	6.7	90	89	184.1
16	JZM7	192.3	66.0	36.0	5.7	89	91	131.4
17	JZM8	183.3	47.7	53.3	10.0	90	88	127.7
18	JZM9	217.3	69.7	57.7	3.3	88	88	161.7
19	JZM10	172.7	71.0	39.3	22.3	88	88	65.5
20	JZM11	192.3	88.0	42.7	27.7	88	86	97.3
平均 Mean		195.5	67.6	42.0	9.4	89.9	88.8	149.9

2.2 杂交种植株数量性状平均表现

供试的 20 个自交系按 NC II 方式进行组配,9 个母本和 11 个父本配制 99 个组合,每个自交系配制的杂交种 7 个植株性状结果列于表 2,表中数据直接的体现了某个自交系与另一组所有自交系杂交所获得的杂交种性状的平均表现和变异程度。JZF2 株高最高为 289.8±10.9 cm,JZF4

最矮,为 262.9±14.3 cm。JZF2 穗位最高,为 115.0±8.6 cm,JZF4 最矮,为 104.6±6.5 cm。雄穗主轴长 JZM8 最长,为 37.1±5 cm,JZM2 最短,为 33.4±3.2 cm。雄穗分支数 JZM10 最多,为 11.0±2.1 个,JZF9 最少,为 8.7±2.3 个。抽丝期 JZM2 最迟,为 87.8±2.8 d,JZM4 最早,为 82.0±4.8 d。开花期 JZM2 最迟,为 86±2.5 d,

JZM4 最早,为 80.9 ± 4.6 d。穗重 JZF5 最重,为 278.8 ± 33.6 g,JZM6 最轻,为 232.4 ± 33.1 g。

表 2 NC II 组配杂交种植株性状平均表现与变异程度

Table 2 Average performance and variability of plant characters in NC II hybrids

序号 No.	自交系 Inbred lines	株高 Plant height cm	穗位高 Ear height/cm	雄穗主轴长 Tassel spindle length/cm	雄穗分支数 Tassel branch number	抽丝期 Planting to silking/d	开花期 Planting to anthesis/d	单株穗重 Ear weight per plant/g
1	JZF1	267.2±14.2	106.0±7.4	35.9±4.4	10.5±1.6	84.7±3.0	82.3±2.7	247.3±43.4
2	JZF2	289.8±10.9	115.0±8.6	34.6±4.1	9.7±2.2	86.3±3.1	84.7±2.8	269.8±44.4
3	JZF3	273.8±15.0	109.2±9.6	33.5±3.8	10.0±1.9	84.8±3.1	84.0±2.3	246.2±37.1
4	JZF4	262.9±14.3	104.6±6.5	34.0±3.9	10.4±1.7	83.0±4.7	81.9±4.3	245.6±32.0
5	JZF5	284.2±8.9	113.1±7.3	34.8±3.5	10.2±1.6	85.4±3.1	83.4±2.3	278.8±33.6
6	JZF6	282.3±12.9	108.2±9.0	35.6±4.3	10.3±1.5	84.4±5.1	83.2±4.6	252.1±37.0
7	JZF7	274.6±14.6	110.5±7.7	35.3±3.5	10.0±2.2	85.2±2.7	83.3±2.3	238.7±40.9
8	JZF8	274.4±11.1	105.2±8.1	35.7±4.2	10.3±1.6	85.1±3.6	83.8±2.9	249.5±44.0
9	JZF9	283.7±9.0	105.8±8.1	35.5±5.1	8.7±2.3	85.7±3.0	84.7±2.7	263.8±35.0
10	JZM1	277.2±13.4	109.1±10.0	35.6±2.5	9.8±1.6	84.5±2.5	83.5±2.3	241.3±47.9
11	JZM2	277.0±16.8	110.8±8.0	33.4±3.2	9.6±2.3	87.8±2.8	86.0±2.5	236.2±40.7
12	JZM3	277.9±15.5	107.1±7.9	35.6±3.8	10.0±1.6	85.3±3.1	83.6±3.0	276.9±44.3
13	JZM4	267.4±12.2	108.3±6.1	34.7±4.1	10.1±2.0	82.0±4.8	80.9±4.6	258.5±42.2
14	JZM5	274.6±13.4	110.3±10.0	34.7±4.7	10.9±1.8	84.4±5.1	82.5±4.7	264.1±39.9
15	JZM6	280.0±12.8	105.2±5.7	34.1±3.7	9.0±2.1	85.0±2.3	83.8±2.4	232.4±33.1
16	JZM7	272.7±14.8	106.7±8.6	33.7±4.5	9.9±2.0	86.4±2.9	84.6±1.9	255.9±35.5
17	JZM8	273.9±13.7	104.7±6.9	37.1±5.0	10.3±1.5	84.4±3.4	82.9±2.7	255.4±30.0
18	JZM9	288.7±11.0	114.4±9.7	36.2±4.8	9.8±1.8	84.0±3.0	83.4±2.2	249.6±34.6
19	JZM10	277.3±14.6	111.0±9.3	34.3±4.0	11.0±2.1	85.4±3.5	83.7±3.0	275.9±33.5
20	JZM11	280.2±16.7	107.2±8.6	35.4±3.8	9.8±1.8	85.2±3.0	83.4±2.4	255.1±38.4

2.3 杂交种植株数量性状配合力方差分析

由表 3 可知,99 个供试杂交种 7 个植株数量性状配合力的方差分析中组合间自由度为 98,母本一般配合力自由度为 8,父本一般配合力自由度为 10,特殊配合力自由度为 80。表 3 列出了各变异来源的均方比值(*F* 值),组合间 7 个性状差异均达极显著水平,说明参试组合性状表型间存

在真实的差异,主要由基因型不同所致。母本与父本的 7 个性状的一般配合力 *F* 测验表明它们之间存在极显著差异,有必要进行一般配合力效应的分析。雄穗主轴长和雄穗分支数两个性状的特殊配合力在不同组合间差异显著,其他的 5 个性状特殊配合力组合间差异极显著,也应该进一步对特殊配合力效应值进行估算。

表 3 植株数量性状配合力方差分析/*F* 值

Table 3 Analysis of variance on combining ability for plant quantitative characters/*F* value

变异来源 Source of variation	自由度 <i>df</i>	株高 Plant height	穗位高 Ear height	雄穗主轴长 Tassel spindle length	雄穗分支数 Tassel branch number	抽丝期 Planting to silking	开花期 Planting to anthesis	单株穗重 Ear weight per plant
F ₁	98	4.28**	2.52**	2.47**	4.03**	2.34**	2.22**	2.37**
GCA P ₁	8	22.51**	8.65**	3.17**	8.46**	2.61**	4.06**	5.13**
GCA P ₂	10	6.91**	4.37**	2.44**	6.08**	7.34**	6.36**	5.03**
SCA P ₁ ×P ₂	80	1.76**	1.58**	1.37*	1.4*	1.68**	1.52**	1.75**

注:*,** 分别表示在 5%和 1%水平上显著。下同。
Note:*,** indicate significant difference at the 5% and 1% probability levels,respectively. The same below.

2.4 一般配合力(GCA)效应值估算及显著性检验

两组亲本的 7 个性状的一般配合力估算值列于表 4,并对各性状一般配合力估算值进行了显著性检验。

株高 GCA 效应:母本组 JZF1、JZF2、JZF4、JZF5、JZF6、JZF9 GCA 效应极显著,JZF4 和 JZF1 对降低杂交种株高效果最为显著;父本组 JZM4、JZM9 株高 GCA 效应极显著,JZM4 组配的杂交种株高平均可以降低 10.07 cm。穗位高 GCA 效应:母本组 JZF2、JZF4、JZF5 穗位高 GCA 效应极显著,JZF1 和 JZF8 穗位高 GCA 效应显著,JZF4 可以平均降低杂交种穗位高 4.22 cm;父本组 JZM8、JZM9 穗位高 GCA 效应

极显著,JZM6 穗位高 GCA 效应显著,JZM8 可以平均降低杂交种穗位高 4.11 cm。

雄穗主轴长 GCA 效应:母本组 JZF3、JZF4、JZF9 雄穗主轴长 GCA 效应极显著,JZF3 平均可以降低杂交种雄穗主轴长 1.8 cm;父本组 JZM2、JZM8、JZM9 雄穗主轴长 GCA 效应极显著,JZM8 可以平均增加杂交种雄穗主轴长 2.38 cm。雄穗分支数 GCA 效应:母本组 JZF1、JZF9 雄穗分支数 GCA 效应极显著,JZF2、JZF4、JZF6 雄穗分支数 GCA 效应显著,JZF9 平均可以减少雄穗分支数 1.79 个;父本组 JZM6、JZM7、JZM11 雄穗分支数 GCA 效应极显著,JZM1 雄穗分支数 GCA 效应显著,JZM11 平均可以增加雄穗分支数 1.28 个。

表 4 玉米自交系植株数量性状 GCA 效应估算值

Table 4 Estimates of GCA effects for plant quantitative characters of maize inbred lines								
序号 No.	自交系 Inbred lines	株高 Plant height	穗位高 Ear height	雄穗主轴长 Tassel spindle length	雄穗分支数 Tassel branch number	抽丝期 Planting to silking	开花期 Planting to anthesis	单株穗重 Ear weight per plant
1	JZF1	-10.30**	-2.72*	0.90	0.60**	-0.22	-0.98*	-7.31
2	JZF2	12.33**	6.25**	-0.78	-0.46*	1.24**	1.05*	15.13*
3	JZF3	-2.47	0.44	-1.80**	0.24	-0.07	0.45	-8.42
4	JZF4	-14.57**	-4.22**	-1.29**	0.53*	-1.46**	-1.13**	-9.08
5	JZF5	6.72**	4.28**	-0.55	0.27	0.05	-0.31	24.18**
6	JZF6	5.75**	-0.43	0.26	0.43*	-0.22	0.02	-2.55
7	JZF7	-0.57	1.69	0.56	-0.19	0.05	-0.31	-15.94**
8	JZF8	-3.05	-2.93*	0.65	0.37	0.02	0.14	-5.20
9	JZF9	6.16**	-2.35	2.05**	-1.79**	0.60	1.05*	9.19
10	JZM1	-0.25	0.35	0.21	0.60*	-0.47	-0.05	-13.33*
11	JZM2	1.00	2.04	-1.66**	-0.14	2.68**	2.32**	-18.47**
12	JZM3	1.15	-1.48	0.28	-0.34	0.20	-0.05	22.20**
13	JZM4	-10.07**	-0.48	-0.54	0.10	-2.43**	-2.09**	3.83
14	JZM5	-2.89	1.87	-0.22	-0.22	0.24	-0.20	9.47
15	JZM6	2.50	-3.71*	-0.88	1.02**	0.01	0.39	-22.21**
16	JZM7	-1.52	-1.30	-0.93	-1.38**	1.31*	0.95*	1.26
17	JZM8	-3.63	-4.11**	2.38**	-0.13	-0.65	-0.79	0.72
18	JZM9	11.24**	6.15**	1.61**	0.26	-1.43**	-0.31	-5.07
19	JZM10	-0.19	2.28	-0.64	-0.30	0.31	0.10	21.20**
20	JZM11	2.68	-1.61	0.39	1.28**	0.24	-0.27	0.41

抽丝期 GCA 效应:母本组 JZF2、JZF4 抽丝期 GCA 效应极显著;父本组 JZM2、JZM4、JZM9 抽丝期 GCA 效应极显著,JZM7 抽丝期 GCA 效应显著。开花期 GCA 效应:母本组 JZF4 开花期 GCA 效应极显著,JZF1、JZF2、JZF9 开花期 GCA

效应显著;父本组 JZM2、JZM4 开花期效应极显著,JZM7 开花期 GCA 效应显著。

单株穗重 GCA 效应:母本组 JZF5、JZF7 单株穗重 GCA 效应极显著,JZF2 单株穗重 GCA 效应显著,JZF5 可以平均增加杂交种单株穗重

24.18 g;父本组 JZM2、JZM3、JZM6、JZM10 单株穗重 GCA 效应极显著,JZM1 单株穗重 GCA 效应显著,JZM3 和 JZM10 可以平均增加杂交种单株穗重 22.2 和 21.2 g。

2.5 特殊配合力(SCA)效应值估算及显著性检验

对所有供试的 99 个杂交种 7 个植株数量性状的 SCA 效应值进行了估算,并对各性状 SCA 效应值进行了显著性检验(表 5)。株高 SCA 效应值达到显著或极显著水平的有 JZF7×JZM11、JZF8×JZM3、JZF8×JZM11、JZF3×JZM2 等

7 个组合,其中组合 JZF3×JZM2 SCA 效应可降低株高 15.62 cm。穗位高 SCA 效应值达显著或极显著水平的有 JZF3×JZM5、JZF3×JZM10、JZF2×JZM6、JZF3×JZM1 等 8 个组合,其中组合 JZF3×JZM1 SCA 效应可降低穗位高 9.97 cm。雄穗主轴长 SCA 效应值达显著或极显著水平的有 JZF7×JZM7、JZF9×JZM9、JZF4×JZM5、JZF9×JZM5 等 9 个组合,其中组合 JZF7×JZM7 和 JZF9×JZM5 SCA 效应可增加和减少雄穗主轴长 4.36 和 5.11 cm。

表 5 植株数量性状 SCA 效应显著的组合及其估算值
Table 5 Combinations with significant SCA effect on quantitative traits of plants and their estimated value

株高 Plant height		穗位高 Ear height		雄穗主轴长 Tassel spindle length		雄穗分支数 Tassel branch number	
组合 Combinations	效应值 Value	组合 Combinations	效应值 Value	组合 Combinations	效应值 Value	组合 Combinations	效应值 Value
JZF7×JZM11	15.41**	JZF3×JZM5	11.58**	JZF7×JZM7	4.36**	JZF7×JZM2	3.16**
JZF8×JZM3	12.87*	JZF3×JZM10	9.71*	JZF9×JZM9	3.46*	JZF9×JZM9	2.17**
JZF1×JZM9	11.64*	JZF6×JZM11	8.33*	JZF1×JZM5	3.41*	JZF1×JZM7	1.98**
JZF8×JZM10	11.22	JZF6×JZM2	7.82	JZF5×JZM10	3.24*	JZF3×JZM4	1.53*
JZF7×JZM1	11.00	JZF9×JZM8	7.22	JZF7×JZM2	2.82	JZF9×JZM5	1.52*
JZF6×JZM9	-10.81	JZF4×JZM4	-8.43*	JZF6×JZM10	-3.14*	JZF7×JZM1	-1.58*
JZF8×JZM6	-12.61*	JZF7×JZM7	-8.50*	JZF9×JZM1	-3.14*	JZF9×JZM11	-1.64*
JZF6×JZM3	-13.53*	JZF6×JZM3	-8.66*	JZF5×JZM7	-3.34*	JZF4×JZM3	-1.74*
JZF8×JZM11	-13.58*	JZF2×JZM6	-8.78*	JZF4×JZM5	-3.70*	JZF9×JZM2	-1.98**
JZF3×JZM2	-15.62**	JZF3×JZM1	-9.97*	JZF9×JZM5	-5.11**	JZF3×JZM5	-2.18**

抽丝期 Planting to silking		开花期 Planting to anthesis		单株穗重 Ear weight per plant	
组合 Combinations	效应值 Value	组合 Combinations	效应值 Value	组合 Combinations	效应值 Value
JZF5×JZM8	4.50**	JZF4×JZM4	3.24*	JZF2×JZM1	52.10**
JZF9×JZM4	4.40**	JZF9×JZM4	3.06*	JZF8×JZM5	51.42**
JZF7×JZM10	3.54*	JZF1×JZM6	2.94*	JZF5×JZM4	48.98*
JZF4×JZM4	3.46*	JZF1×JZM9	2.64*	JZF3×JZM6	41.42*
JZF6×JZM2	3.11*	JZF7×JZM10	2.57*	JZF7×JZM5	35.70
JZF2×JZM1	-2.87	JZF1×JZM2	-2.32	JZF9×JZM11	-41.64*
JZF4×JZM10	-2.95*	JZF8×JZM6	-2.52	JZF4×JZM4	-41.99*
JZF8×JZM4	-3.36*	JZF7×JZM3	-2.95*	JZF8×JZM1	-45.62*
JZF9×JZM3	-3.56*	JZF8×JZM4	-3.37**	JZF3×JZM3	-47.67*
JZF1×JZM10	-4.19**	JZF1×JZM10	-3.43**	JZF2×JZM5	-57.49**

雄穗分支数 SCA 效应值达显著或极显著水平的有 JZF7 × JZM2、JZF9 × JZM9、JZF9 × JZM2、JZF3 × JZM5 等 10 个组合,其中组合 JZF7×JZM2 和 JZF3×JZM5 SCA 效应可增加和减少雄穗分支数 3.16 和 2.18 个。抽丝期 SCA 效应值达显著或极显著水平的有 JZF5 × JZM8、JZF9 × JZM4、JZF9 × JZM3、JZF1 × JZM10 等 9 个组合,其中组合 JZF1 × JZM10 SCA 效应可让杂交种抽丝提前 4.19 d。开花期 SCA 效应值达显著或极显著水平的有 JZF4 × JZM4、JZF9 × JZM4、JZF8 × JZM4、JZF1 × JZM10 等 8 个组合,其中组合 JZF1 × JZM10 SCA 效应开花期提前 3.43 d。单株穗重 SCA 效应值达显著或极显著水平的有 JZF2 × JZM1、JZF8×JZM5、JZF3×JZM3、JZF2×JZM5 等 9 个组合,其中组合 JZF2×JZM1 和 JZF8×JZM5 由于 SCA 效应可增加单株穗重 52.1 和 51.42 g。

表 6 单株穗重最佳组合植株性状与对照的均值比较

Table 6 Comparison of optimum combination of ear weight per plant and the control on mean value for plant characters

序号 No.	组合 Combinations	单株穗重 Panicle weight/g	株高 Plant height/cm	穗位高 Ear height/cm	雄穗主轴长 Tasselspindle length/cm	雄穗分支数 Tassel branch number	抽丝期 Planting to silking/d	开花期 Planting to anthesis/d
1	JZF5×JZM4	331.6	278.07*	110.5	36.4	9.7	80.7*	79.7**
2	JZF8×JZM5	310.3	276.07*	104.6	37.7	10.9	84.3	82.7
3	JZF2×JZM1	308.6	284.47	121.0**	36.3	9.3	83.0	83.3
4	JZF5×JZM3	302.4	287.47	110.3	35.9	10.7	86.7	84.7
5	JZF8×JZM3	302.3	288.47	103.1	34.1	10.4	88.3*	86.0
6	JZF2×JZM11	302.1	290.40	113.8	33.9	9.1	87.7	85.3
7	JZF9×JZM10	301.1	288.33	107.8	35.5	9.9	85.3	84.3
8	JZF2×JZM4	297.1	282.33	117.8*	34.1	8.7	82.3	80.3**
9	JZF2×JZM9	294.9	298.13	121.1**	35.6	9.9	83.0	83.0
10	JZF6×JZM10	294.5	276.40*	114.1	31.8	10.8	85.0	83.7
11	JZF6×JZM5	294.1	281.87	109.9	37.5	10.9	86.0	83.7
12	JZF5×JZM1	293.4	286.53	115.7*	35.4	9.9	83.0	83.0
13	JZF2×JZM10	291.9	287.13	114.7	35.9	11.0	89.7**	87.0
14	CK	295.1	293.17	105.6	34.9	9.3	84.4	85.0

3 结论与讨论

玉米的株高和穗位高是玉米株型结构的重要因素,玉米株高和产量关系非常密切^[9-10]。有研究表明,生育后期株高每相差 10 cm,平均穗粒数减少 56.7~64.5 粒^[11]。玉米植株越高,果

2.6 单株穗重最佳组合植株性状与对照的均值比较

由表 6 可知,所有供试的 99 个杂交种单株穗重超过 290 g 的有 JZF5×JZM4、JZF8×JZM5、JZF2×JZM1 等 13 个组合。单株穗重最大的组合前 3 位分别是 JZF5 × JZM4、JZF8 × JZM5、JZF2×JZM1,它们的对照优势分别为 12.37%、5.15%和 4.57%,但穗重均值差异不显著(LSD_{0.05} = 50.456)。组合 JZF5×JZM4、JZF8×JZM5、JZF6 × JZM10 株高显著低于对照,JZF2×JZM1、JZF2 × JZM4、JZF2×JZM9、JZF5×JZM1 穗位高显著或极显著高于对照,存在一定的植株倒伏风险。13 个组合的雄穗主轴长和雄穗分支数与对照差异均不显著。组合 JZF8 × JZM3 与 JZF2 × JZM10 抽丝期显著晚于对照,组合 JZF5×JZM4 抽丝期显著早于对照。组合 JZF5 × JZM4 和 JZF2×JZM4 开花期显著早于对照。

穗的着生节位越高,玉米的重心也就越高,在不利自然气象条件下,株高过大容易导致群体倒伏和茎秆折断^[12]。在利用中秆或中高秆这一有利性状的前题条件下,降低穗位高可以较好的提高玉米品种的抗倒性。本研究对供试的 20 个玉米自

交系的株高和穗位高配合力研究结果表明,不同的自交系之间上述两个性状的一般配合力及特殊配合力差异极显著,母本组 JZF4 和 JZF1 平均可以降低杂交种株高 14.57 和 10.07 cm, JZF2 平均可以增加杂交种株高 12.33 cm; 父本组 JZM4、JZM9 组配的杂交种株高平均可以降低 10.07 cm 和增加 11.24 cm。因此上述自交系可以作为改良品种株高性状的种质。母本组 JZF4 和父本组 JZM8 都可以平均降低杂交种穗位高 4 cm 以上,此二者是较好的降低品种穗位高,增强品种抗倒伏能力的育种材料。

玉米的雄穗主轴长、分枝数也是玉米株型结构的重要性状。雄穗分支数与产量的关联研究表明,雄穗大小与产量基本不相关或呈显著的负相关^[13]。在保证一定的花粉量满足玉米完全授粉的前提下,雄穗过大,分支数过多不仅对叶片有遮光效应;还会加大植株养分的竞争和消耗,开花期过多的花粉堆积在叶片上霉变,影响叶片的光合作用^[11]。本研究中,母本自交系 JZF3、JZF4 和父本自交系 JZM8、JZM9 的雄穗主轴长一般配合力为显著负值和显著正值,母本自交系 JZF9 和父本自交系 JZM11 雄穗分支数一般配合力为显著负值和显著正值,它们是减少雄穗养分竞争,保证完全授粉的较好育种材料。

玉米的抽丝期和开花期直接决定了玉米的生育期长短,生育期与产量具备一定的相关性,但相关作用并不显著,即生育期的长短不会直接决定产量的高低^[14]。在气候变暖的趋势下,秋季气温升高,晚霜延迟,活动积温的增加会导致我国东北早熟春玉米生育期和花粒期有所延长,使得单位面积的产量有所上升^[15]。这就提示我们在对玉米种质生育期进行选择时,能适应当地的生态气候条件并达到高产目的的种质就是适宜的育种材料,但不能选择生育期太晚的品种。本研究中,自交系 JZF2 与 JZM2 抽丝期与开花期的一般配合力都是显著正值,自交系 JZF4 与 JZM4 抽丝期与开花期的一般配合力都是显著负值,这几个自交系可以用来改良品种的生育期,以适应当地的生态气候条件。

JZF5、JZM3、JZM10 单株穗重的一般配合力为极显著的正值,平均可以增加杂交种单株穗重 20 g 以上,在追求高产为玉米主要育种目标的条

件下,这几个自交系的育种潜力较大。上述自交系在单个植株性状上都具有明显的特点,在生产实践中,可以根据实际情况针对性的利用。研究还表明,亲本的一般配合力与特殊配合力之间关系并不密切,培育强优势的杂交组合需同时兼顾一般配合力和特殊配合力效应^[16-17]。本研究中,单株穗重对照优势大于 5% 的两个组合 JZF5×JZM4 和 JZF8×JZM5 的穗重特殊配合力效应为极显著的正值,亲本的一般配合力如 JZM5 为极显著正值,无显著负值,正是兼顾一般配合力和特殊配合力效应才表现最优。此外,二者的株高与对照相比差异显著,分别降低 15.1 和 17.1 cm,穗位高、雄穗主轴长、雄穗分支数与对照相比差异不显著,组合 JZF5×JZM4 的抽丝期和开花期比对照早 3.7 和 5.3 d。因此,组合 JZF5×JZM4 和 JZF8×JZM5 不仅小区产量较高,且植株综合性状较好,有较明显的优点,无明显的缺点,可以作为优势杂交组合进一步研究利用。

参考文献:

- [1] Li C H, Song W, Luo Y F, et al. The Huangzaosi maize genome provides insights into genomic variation and improvement history of maize [J]. *Molecular Plant*, 2019(3): 402-409.
- [2] Mazaheri M, Heckwolf M, Vaillancourt B, et al. Genome-wide association analysis of stalk biomass and anatomical traits in maize [J]. *BMC Plant Biology*, 2019, 19(1): 45, doi: 10.1186/s12870-019-1653-x.
- [3] Lariépe A, Moreau L, Laborde J, et al. General and specific combining abilities in a maize (*Zea mays* L.) test-cross hybrid panel: relative importance of population structure and genetic divergence between parents [J]. *Theor Appl Genet*, 2017, 130: 403-417.
- [4] Li H J, Yang Q S, Gao L L, et al. Identification of heterosis-associated stable QTLs for ear-weight-related traits in an elite maize hybrid Zhengdan 958 by design III [J]. *Frontiers in Plant Science*, doi: 10.3389/fpls.2017.00561.
- [5] 孔繁玲. 植物数量遗传学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- [6] 张磊, 荆胜利, 周晏秋, 等. 亲本配合力的研究概述 [J]. *植物学研究*, 2013(2): 18-23.
- [7] 黄远樟, 刘来福. 作物数量遗传学基础六. 配合力: 不完全双列杂交 [J]. *遗传*, 1980(2): 43-46.
- [8] 唐燕琼. 双列杂交育种法配合力效应估计及其显著性检验的 SAS 实施 [J]. *热带作物学报*, 2003, 24(2): 69-76.
- [9] 张宁, 张强, 张玉娜, 等. 玉米株高和穗位高遗传基础的 QTL 剖析 [J]. *复旦学报 (自然科学版)*, 2016, 55(5): 605-613.

- [10] Zhou Z Q, Zhang C S, Zhou Y, et al. Genetic dissection of maize plant architecture with an ultra-high density bin map based on recombinant inbred lines[J]. BMC Genomics, 2016, 17: 178.
- [11] 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[J]. 玉米科学, 2008, 16(3): 47-50.
- [12] 唐丽媛, 李从锋, 马玮, 等. 渐密种植条件下玉米植株形态特征及其相关性分析[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1529-1537.
- [13] 王铁固, 马娟, 张怀胜, 等. 玉米雄穗主轴长度和分枝数的主基因+多基因遗传分析[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 280-286.
- [14] 梁晓玲, 阿布来提, 冯国俊, 等. 玉米杂交种的产量比较及主要农艺性状的相关和通径分析[J]. 玉米科学, 2001, 9(1): 16-20.
- [15] 王玉莹, 张正斌, 杨引福, 等. 2002-2009 年东北早熟春玉米生育期及产量变化[J]. 中国农业科学, 2012, 45(24): 4959-4966.
- [16] 朱宇光, 韩托, 豆丹丹, 等. 玉米子粒机收后期脱水速率的配合力分析[J]. 玉米科学, 2017, 25(2): 18-23, 30.
- [17] 金振国, 高利, 孙艳杰, 等. 七个玉米群体主要农艺性状配合力分析[J]. 黑龙江农业科学, 2018(8): 1-7.

Analysis on Combining Ability and Utility Value of Maize Plant Quantitative Characters

HU Jun, WEI Kai-feng, LIU Wan, GUO Peng-cheng, XU Feng-yu, PAN Hong-yu, ZHANG Xin-sheng

(College of Plant Science, Jilin University, Changchun 130062, China)

Abstract: In order to promote the utilization and improvement of inbred lines, in this study, 20 maize inbred lines with better comprehensive traits were selected for combining ability test. According to NCII design, 9 female parents and 11 male parents were paired with 99 crosses. Pingan 194 was used as control. Statistical analysis was carried out on 7 quantitative traits such as plant height and ear height of parents and cross combinations. The results showed that there were significant differences in general combining ability and special combining ability among the seven traits of hybrid combinations. Three inbred lines such as JZF4 could significantly reduce the plant height of hybrid, three inbred lines such as JZM8 could significantly reduce the ear height of hybrid. The general combining ability of male and female inbred lines JZF9 and JZM11 was significantly negative and positive. They were good breeding materials for reducing nutrient competition of tassel and ensuring complete pollination. On the two characters of silking and flowering stage, the general combining ability of inbred lines JZM2 and JZM4 was extremely significant positive and negative, which could be used to improve the growth period of varieties to adapt to local ecological and climatic conditions. The GCA of ear weight per plant of three inbred lines, such as JZF5, was extremely significant positive, which could increase the ear weight per plant of hybrid by more than 20 grams on average, and had great breeding potential. The two combinations' ear weight with control advantage greater than 5% were JZF5 × JZM4 and JZF8 × JZM5. Their comprehensive plant traits, such as plant height and ear height, had no obvious shortcomings and could be used as dominant hybrid for further research and utilization.

Keywords: maize; incomplete diallel crossing; quantitative traits; GCA; SCA

致 读 者

为适应我国信息化建设,扩大本刊及作者知识信息交流渠道,本刊现被《中国学术期刊网出版总库》及 CNKI 等系列数据库收录,其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意文章被收录,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《黑龙江农业科学》编辑部