

杂交大豆配合力及杂种优势分析

韩亚丽^{1,2,3}, 林春晶^{2,3}, 丁孝羊^{2,3}, 彭 宝^{2,3}, 李文跃^{1,2,3}, 张春宝^{2,3*}, 赵丽梅^{2,3*}

(1. 吉林农业大学农学院, 吉林 长春, 130018; 2. 吉林省农业科学院大豆研究所, 吉林 长春, 130033;
3. 大豆国家工程研究中心, 吉林 长春, 130033)

摘要:为了提高杂交大豆育种效率,进一步提高杂交大豆产量,以5份大豆细胞质雄性不育系为母本,12份恢复系为父本,采用NCⅡ设计方法组配60个杂交组合,对产量、单株荚数、单株粒数和每荚粒数分别进行杂种优势、配合力效应、及其与F₁性状的相关性分析。结果表明,F₁产量性状中亲优势组合占全部组合的55%,超高亲优势组合占30%,中亲和超高亲优势均≥20%的占15%。单株荚数、单株粒数、每荚粒数等产量相关性状的中亲优势组合分别占55%、56.67%和23.33%,超高亲优势率均为负值。17份亲本材料的一般配合力(general combining ability, GCA)变化范围为-27.94%~56.62%,其中6份材料表现为正效应;30个杂交组合的特殊配合力(special combining ability, SCA)为正值,占总体的50%。此外,SCA与F₁籽粒产量和单株荚数的杂种优势及其性状值均相关;GCA与产量性状值和单株粒数的中亲优势呈极显著相关,与单株荚数的中亲优势、单株粒数、每荚粒数的超高亲优势及性状值呈显著相关;各性状SCA与GCA之间不相关。单株荚数和单株粒数对产量的贡献较大。产量杂种优势强的组合双亲具有高的一般配合力,而且兼具有较高的特殊配合力。

关键词:大豆;杂种优势;一般配合力;特殊配合力;产量;单株荚数;单株粒数;每荚粒数
中图分类号:S565.103 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 – 9084(2018)06 – 0755 – 07

Analysis of combining ability and heterosis of hybrid soybean

HAN Ya – li^{1,2,3}, LIN Chun – jing^{2,3}, DING Xiao – yang^{2,3}, PENG Bao^{2,3},
LI Wen – yue^{1,2,3}, ZHANG Chun – bao^{2,3*}, ZHAO Li – mei^{2,3*}

(1. College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130018, China;
2. Soybean Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China;
3. National Soybean Engineering Technology Research Center, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to improve the breeding efficiency and predictability on hybrid soybean, and finally realize the the aim of higher soybean yields, 5 soybean cytoplasmic male sterile lines as the mother lines and 12 restoration lines as the father lines were used to developed 60 combinations according to NCII method. Combining ability of yield – related traits, heterosis of yields, pods and seeds per plant, and seeds per pod were evaluated. Among the hybridized combinations, the positive mid – parent yield heterosis combinations accounted for 55%, heterobeltiosis combinations accounted for 30%, and more than 20% of mid – parent and over – high parent heterosis accounted for 15%. The mid – parent heterosis of pods and seeds per plant, and seeds per pod accounted for 55%, 56.67% and 23.33% respectively, and the over – high parent heterosis rate was negative. The yield of general combining ability (GCA) of 17 parent materials varied from – 27.94% ~ 56.62%, only 6 parental lines showed a positive effect. In addition, special combining ability (SCA) of 30 combinations all showed a positive effect. Heterosis of yields and seeds per plant were related to SCA; GCA was significantly correlated to yield traits. The seed number of mid – parent heterosis was significantly related to the pod number of mid – parent heterosis, the heterosis yield of

收稿日期:2018-05-21
基金项目:吉林省科技厅重大科技攻关项目(20170201001NY);吉林省农业科技创新工程项目(创新团队 – CXGC2017TD002;人才基金 – 研究生基金 – C7208000403)
作者简介:韩亚丽(1992 –),女,硕士,E – mail:1173391271@qq.com
* 通讯作者:赵丽梅(1964 –),女,研究员,E – mail:l_mzhao@126.com
张春宝(1980 –),男,副研究员,E – mail:cbzhang@126.com

over – high parent heterosis, pods and seeds per plant, seeds per pod. SCA had no correlation with GCA in the 4 yield – related traits. The higher yield heterosis combination parents had a higher general combining ability and a higher special combining ability.

Key words:soybean; heterosis; general combining ability; special combining ability; yield; pods per plant; seeds per plant; seeds per pod

杂种优势利用是大幅度提高农作物单产的有效途径,已在禾本科、十字花科和茄科等作物中广泛应用,并产生了巨大的经济效益和社会效益^[1]。尽管人们很早就注意到大豆的杂种优势现象^[2],发现了一系列核雄性不育系^[3],也有 Davis 的细胞质雄性不育系专利公诸于世,但是这些专利均没有达到应用程度。直到 20 世纪 90 年代,孙寰等选育了大豆质 – 核互作雄性不育系,实现了“三系”配套,才使得大豆杂种优势的利用成为可能^[4]。

利用杂种优势的主要前提是大豆杂交种在籽粒产量上表现出足够的杂种优势。王曙明等^[5]从 1996 至 2000 年,开展了全国 6 省 7 个单位大规模杂种优势的测定研究,结果认为大豆有较强的杂种优势,且地理远缘优势强,国外与国内品种杂交优势最强。黄承运等^[6]对 15 个组合的研究结果表明,平均中亲优势率为 18.7%,亲本的选用和杂种优势密切相关。孙寰^[7]总结了国内外 402 个组合超高亲优势率平均为 19.4%,一些高优势组合超高亲优势率达 50% 以上,说明不同亲本组合间的杂种优势差异较大。有关大豆杂种优势的研究,国外也有相关报道,Metha 等^[8]以 11 个亲本配制 12 个组合,超高亲优

势从 3.64% 至 249%;Raut 等^[9]对 8 个组合的研究结果表明平均超高亲优势率为 25.11%;Burton^[10]曾对 35 个组合进行了小区测产,结果表明 85% 的组合有中亲优势。基于以上对大豆 F₁ 产量的杂种优势研究,本研究增加了对单株荚数、单株粒数和每荚粒数等产量相关性状的杂种优势、配合力效应及其相互之间的相关关系的分析。

本试验以吉林省农业科学院杂交大豆课题组选育的不同地理来源的优良不育系和恢复系为亲本,按 NC II 设计配制杂交组合,对产量及产量相关性状,即单株荚数、单株粒数和每荚粒数进行杂种优势、配合力效应分析,以及各性状之间的相关性分析,为提高杂交大豆育种的可预见性和育种效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

选用 5 份大豆细胞质雄性不育系做母本(A1 – A5),12 份恢复系做父本(R1 – R12),其中国内血缘材料 6 份,国外引入材料 11 份,具体见表 1。

表 1 17 份大豆亲本的来源
Table 1 Origins of 17 soybean parents

代号 Code	品种名称 Variety	来源 Origin	代号 Code	品种名称 Variety	来源 Origin	代号 Code	品种名称 Variety	来源 Origin
A1	JLCMS14A	黑龙江 Heilongjiang	R1	JLR1	美国 USA	R7	JLR124	美国 USA
A2	JLCMS91A	黑龙江 Heilongjiang	R2	JLR2	美国 USA	R8	JLR119	美国 USA
A3	JLCMS247A	黑龙江 Heilongjiang	R3	JLR9	美国 USA	R9	JLR86	美国 USA
A4	JLCMS127A	吉林 Jilin	R4	JLR100	美国 USA	R10	JLR4	日本 Japan
A5	JLCMS232A	吉林 Jilin	R4	JLR98	美国 USA	R11	JLR316	美国 USA
			R6	JLR97	美国 USA	R12	JLR258	黑龙江 Heilongjiang

1.2 方法

1.2.1 杂交组合的配制和田间鉴定 将试验材料分为两组,第一组为母本不育系:A1、A2、A3、A4 和 A5;第二组为父本恢复系:R1、R2、R3、R4、R5、R6、R7、R8、R9、R10、R11 和 R12。2016 年在吉林省农业科学院范家屯杂交大豆育种基地试验田,采用 NC II 遗传交配设计组配 60 个杂交组合,2017 年种植 17 个亲本和 60 个 F₁,随机区组设计,3 次重复。行长 3m,行距 50cm,株距 20cm,2 行区,试验区四周设

置保护行和保护区。大豆成熟后每小区除去两边行头各 2 株,选取中间单株进行产量测定。

1.2.2 数据分析方法 中亲优势和超高亲优势的

计算方法:

中亲优势 (mid – parent heterosis) HM (%) = (F₁ – MP)/MP × 100

超高亲优势 (over – high parent heterosis) HP (%) = (F₁ – HP)/HP × 100

一般配合力 (general combining ability, GCA):

$$\hat{g}'_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{ij} - \bar{x})}{n_1} \times \frac{1}{\bar{x}} \times 100$$
$$\hat{g}'_j = \frac{\sum_{j=1}^{n_2} (x_{ij} - \bar{x})}{n_2} \times \frac{1}{\bar{x}} \times 100$$

特殊配合力 (special combining ability, SCA) :

$$\hat{S}'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x} - \hat{g}'_i - \hat{g}'_j}{\bar{x}} \times 100$$

其中: F_1 、 MP 和 HP 分别代表 F_1 各性状平均值、两个亲本各性状平均值和高值亲本各性状平均值。 $\hat{g}'_i$ 代表 P_1 中第 i 个亲本的一般配合力相对效应值; $\hat{g}'_j$ 代表 P_2 中第 j 个亲本的一般配合力相对效应值; $\hat{S}'_{ij}$ 代表亲本 i 和亲本 j 组合的特殊配合力相对效应值; n_1 代表 P_1 中亲本个数; n_2 代表 P_2 中亲本个数; x_{ij} 代表亲本 i 和亲本 j 组合的平均值; $\bar{x}$ 代表总平均值。

配合力效应分析采用刘来福^[11] 针对不完全双列杂交设计的方法,计算一般配合力和特殊配合力的相对效应; F_1 各性状的方差和配合力效应分析以及配合力效应和杂种优势相关性分析采用SPSS20.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 籽粒产量的杂种优势分析

杂交组合 F_1 产量相关性状的中亲和超亲优势率列于表 2。表中可见,大豆产量杂种优势普遍存

在,不同杂交组合表现出的杂种优势程度也各不相同。因此对 60 个组合的产量、单株荚数、单株粒数和每荚粒数作进一步分析(表 3)。可以得出:(1) F_1 籽粒产量中亲优势率平均为 5.77%,变幅 -48.62% ~ 60.05%,有 33 个正优势组合,占 55%。中亲优势突出的组合为 $A3 \times R11$ 、 $A3 \times R2$ 、 $A4 \times R10$ 、 $A5 \times R11$ 、 $A2 \times R9$ 、 $A5 \times R2$ 、 $A1 \times R11$ 、 $A2 \times R5$ 、 $A2 \times R2$ 和 $A1 \times R6$,分别为:60.05%、55.31%、55.16%、54.62%、51.28%、46.14%、43.06%、42.61%、36.78% 和 35.46%。超高亲优势率平均为 -10.19%,变幅 -62.67% ~ 51.69%,优势率在 0 ~ 30% 之间的有 14 个组合,占 23.33%;大于 30% 的组合占 10%。中亲优势和超高亲优势均大于 20% 的有 9 个组合,占 15%,其中 $A3 \times R11$ 的中亲优势率和超高亲优势率都为最大值,分别为 60.05% 和 51.69%,说明该组合杂种优势最强。(2)单株荚数、单株粒数、每荚粒数等产量相关性状的中亲优势正向组合依次有 33、34 和 14 个,分别占 55%、56.67% 和 23.33%;平均中亲优势率分别为 12.18%、8.89% 和 -4.07%;平均超高亲优势分别为 -5.01%、-8.37% 和 -9.05%,都为负向优势,且每荚粒数的负向优势最大。(3)单株荚数和单株粒数杂种优势突出的组合: $A3 \times R11$ 、 $A3 \times R2$ 、 $A4 \times R10$ 、 $A5 \times R11$ 、 $A2 \times R9$ 、 $A2 \times R2$ 和 $A1 \times R6$,这些组合的每荚粒数中亲优势或超高亲优势都为负值,可见产量相关性状之间是相互制约,相互联系的。

表 2 60 个杂交组合 F_1 籽粒产量的杂种优势
Table 2 Heterosis of F_1 yield-related traits of 60 combinations/%

序号 No.	杂交组合 Testing combinations	产量 Yield		单株荚数 Pods per plant		单株粒数 Seeds per plant		每荚粒数 seeds per pod	
		HM	HP	HM	HP	HM	HP	HM	HP
1	A1 × R1	-32.50	-38.48	-4.73	-22.23	1.12	-15.24	5.74	4.75
2	A2 × R1	-15.03	-20.49	-1.34	-2.83	-2.97	-7.72	-6.56	-8.44
3	A3 × R1	-12.64	-12.86	-8.30	-14.61	-14.80	-15.55	-0.95	-6.36
4	A4 × R1	32.95	3.72	1.06	-20.46	27.81	1.46	6.98	6.55
5	A5 × R1	-32.08	-48.55	102.07	42.80	111.27	54.59	11.02	6.49
6	A1 × R2	16.71	9.95	14.48	-3.61	2.34	-2.65	-1.42	-11.20
7	A2 × R2	36.78	11.75	11.63	5.87	29.55	8.57	8.22	-3.47
8	A3 × R2	55.31	33.86	49.07	44.02	50.81	32.94	2.48	-11.48
9	A4 × R2	2.34	-9.43	-10.58	-27.54	-7.57	-17.55	15.28	4.34
10	A5 × R2	46.14	24.79	9.20	-20.99	56.97	27.02	13.07	-1.06
11	A1 × R3	-9.62	-33.01	-20.20	-43.24	-18.25	-44.01	-2.60	-10.41
12	A2 × R3	18.73	-0.71	6.19	-10.32	-10.80	-28.37	-17.77	-23.59
13	A3 × R3	-26.21	-41.37	-4.07	-24.41	-33.98	-49.26	-15.24	-18.42
14	A4 × R3	-11.04	-40.91	-29.23	-51.05	-49.20	-66.44	-15.61	-22.76
15	A5 × R3	-42.65	-62.67	-15.63	-46.16	-19.13	-49.32	-10.07	-14.70
16	A1 × R4	-25.12	-40.56	-13.84	-32.52	-15.87	-35.77	-12.50	-16.33
17	A2 × R4	-9.17	-17.37	-8.26	-11.78	-41.19	-45.20	-16.63	-19.43

续表 2

序号 No.	杂交组合 Testing combinations	产量 Yield		单株荚数 Pods per plant		单株粒数 Seeds per plant		每荚粒数 seeds per pod	
		HM	HP	HM	HP	HM	HP	HM	HP
18	A3 × R4	-48.62	-55.87	-34.39	-41.87	-34.59	-42.28	-14.91	-15.13
19	A4 × R4	-36.88	-55.81	-31.11	-47.85	-52.70	-65.53	-14.63	-18.79
20	A5 × R4	-8.46	-37.40	-1.23	-32.34	-9.92	-38.70	-2.53	-3.75
21	A1 × R5	7.22	-10.15	67.14	54.46	76.85	62.65	-7.16	-7.78
22	A2 × R5	42.61	5.87	-4.13	-27.13	2.74	-22.32	-30.27	-30.57
23	A3 × R5	24.94	-2.96	43.58	16.46	24.58	-1.70	-2.22	-6.13
24	A4 × R5	34.47	34.00	14.29	10.55	9.49	7.64	-8.23	-9.33
25	A5 × R5	33.15	28.21	121.54	96.11	108.50	89.34	-7.40	-9.78
26	A1 × R6	35.46	3.75	32.41	10.56	39.24	18.83	-0.29	-5.04
27	A2 × R6	18.89	-17.89	23.39	-12.96	16.45	-16.67	-2.67	-6.33
28	A3 × R6	5.06	-24.60	1.95	-23.97	6.22	-21.04	-5.43	-5.60
29	A4 × R6	32.99	18.43	46.03	26.91	23.41	11.90	-3.63	-8.70
30	A5 × R6	-2.91	-10.21	31.17	29.56	56.10	53.71	-1.35	-3.00
31	A1 × R7	-17.77	-20.38	-7.94	-18.21	1.63	-9.02	37.80	35.80
32	A2 × R7	-27.85	-36.31	-33.94	-40.89	-37.19	-44.35	-12.79	-13.12
33	A3 × R7	-28.44	-32.95	-32.50	-34.38	-50.03	-53.24	-8.48	-11.46
34	A4 × R7	-34.47	-46.34	-47.37	-55.13	-35.07	-45.24	11.93	9.72
35	A5 × R7	-8.45	-27.39	14.63	-13.59	32.91	2.44	4.69	2.80
36	A1 × R8	-36.74	-38.12	-13.50	-19.20	-16.73	-26.02	-0.47	-6.78
37	A2 × R8	-0.19	-12.67	2.25	-12.75	-20.36	-28.91	-19.74	-24.04
38	A3 × R8	-8.11	-14.73	-18.37	-24.70	-21.01	-25.50	-11.12	-12.80
39	A4 × R8	24.43	2.73	3.53	-7.45	0.21	-16.07	-14.39	-20.22
40	A5 × R8	12.51	-10.07	29.80	1.72	7.51	-17.63	-0.75	-4.07
41	A1 × R9	-18.67	-19.17	-16.11	-18.83	-21.22	-29.56	4.70	-5.47
42	A2 × R9	51.28	30.55	39.61	15.59	45.33	28.91	-8.16	-16.26
43	A3 × R9	-19.28	-26.20	32.97	18.64	-3.69	-9.78	-13.65	-18.51
44	A4 × R9	17.63	-1.63	5.51	-2.47	0.65	-15.21	-5.03	-14.67
45	A5 × R9	26.75	2.55	21.46	-2.16	1.90	-21.53	-0.35	-7.29
46	A1 × R10	25.57	18.64	-3.68	-21.81	3.57	-17.43	-7.67	-13.42
47	A2 × R10	-18.54	-33.29	-3.47	-4.25	-7.34	-8.53	-10.98	-15.66
48	A3 × R10	12.05	-3.18	-5.45	-12.55	-8.52	-14.77	-7.05	-8.70
49	A4 × R10	55.16	36.96	54.53	20.99	50.39	14.04	3.83	-3.13
50	A5 × R10	-11.74	-24.82	-18.13	-42.39	11.21	-21.74	8.43	4.93
51	A1 × R11	43.06	23.96	57.31	27.89	29.94	1.84	-6.09	-10.85
52	A2 × R11	31.90	30.46	11.66	10.53	12.79	8.84	-3.86	-7.78
53	A3 × R11	60.05	51.69	54.07	42.77	40.18	27.85	-1.81	-2.31
54	A4 × R11	34.09	0.51	5.40	-17.36	-14.13	-35.90	-6.42	-11.62
55	A5 × R11	54.62	12.78	42.23	0.21	51.48	5.19	-4.94	-6.84
56	A1 × R12	1.02	-7.00	-12.45	-19.97	-23.07	-25.04	-3.86	-15.65
57	A2 × R12	4.30	-16.40	4.16	-21.46	-10.83	-26.74	-18.48	-27.80
58	A3 × R12	-19.50	-32.04	-19.28	-35.11	8.25	-6.59	-10.97	-18.48
59	A4 × R12	9.58	-0.86	97.72	89.09	90.81	74.05	9.73	-4.18
60	A5 × R12	0.92	-12.00	98.22	77.29	81.60	49.83	-11.04	-19.66

注/Note: HM:中亲优势 mid – parent heterosis;HP:超高亲优势 over – high parent heterosis

表 3 60 个杂交组合产量相关性状的平均杂种优势
Table 3 Average heterosis of 4 yield – related traits of 60 combinations

性状 Trait	中亲优势率/% Mid – parent heterosis				超亲优势率/% Over – high parent heterosis			
	平均 Mean	范围 Range	正向组合 HM > 0	比例/% Proportion	平均 Mean	范围 Range	正向组合 HP > 0	比例/% Proportion
产量 Yield	5.77	-48.62 ~ 60.05	33	55.00	-10.19	-62.67 ~ 51.69	20	33.33
单株荚数 Pods per plant	12.18	-47.37 ~ 121.54	33	55.00	-5.01	-55.13 ~ 96.11	20	33.33
单株粒数 Seeds per plant	8.89	-52.70 ~ 111.27	34	56.67	-8.37	-66.44 ~ 89.34	20	33.33
每荚粒数 Seeds per pod	-4.07	-30.27 ~ 37.80	14	23.33	-9.05	-30.57 ~ 35.80	8	13.33

2.2 产量相关性状方差和配合力分析

亲本间产量相关性状的方差分析列于表 4,可见产量、单株荚数、单株粒数和每荚粒数的组合及两亲本间的 P 值均小于 0.01,表明不同亲本间的产量存在真正的遗传差异。因此,进一步分析了 17 个亲本产量的配合力效应值(表 5)。该表列出了 17 个亲本籽粒产量的 GCA 相对效应值(relative effect of GCA, RGCA)和各组合的 SCA 相对效应值 RSCA (relative effect of SCA)。从表中可知,恢复系 RGCA 的变化范围为 -27.94% ~ 56.62%,不育系 RGCA 的变化范围为 -17.76% ~ 27.58%。亲本中表现为

正效应的共有 6 个,分别为恢复系 R11 (56.62%)、R3(22.91%)、R2(14.34%)和 R9 (2.85%),不育系 A2(27.58%)和 A3(4.69%)。一般认为,GCA 高,则表明有利基因频率高,用其作基础材料可组配出高产杂交组合。RSCA 为正值有 30 个组合,占 50%。RSCA 值较高的组合分别是 A2 × R3、A2 × R9、A4 × R1、A3 × R2 和 A3 × R11,分别为 39.42%、37.52%、36.71%、31.83%和29.57%。从表 1 可知这些 SCA 高的组合亲本分别来自国内和国外,亲本间遗传关系较远,因此有较大的几率组配出高产组合。

表 4 60 个杂交组合产量相关性状的方差分析
Table 4 Analysis of variance of yield-related traits of 60 combinations

变异来源 Source of variation	自由度 df	产量 Yield			单株荚数 Pods per plant			单株粒数 Seeds per plant			每荚粒数 seeds per pod		
		均方 MS	F	P	均方 MS	F	P	均方 MS	F	P	均方 MS	F	P
区组 Block	2	16.32	0.47	0.62	1 292.61	3.67	0.03	6 1496.67	75.56	0.00	0.46	49.67	0.00
组合 Combination	59	266.62	7.73	0.00	1 665.29	4.72	0.00	6 888.73	8.46	0.00	0.10	10.60	0.00
不育系(A) Sterile lines	4	700.39	2.50	0.06	5 336.34	3.67	0.01	26 382.08	4.30	0.01	0.34	3.84	0.01
恢复系(B) Restoration lines	11	53.76	0.19	1.00	1 181.74	0.81	0.63	2 837.64	0.46	0.92	0.05	0.53	0.88
不育系×恢复系 (A × B)	44	280.41	8.13	0.00	1 452.45	4.12	0.00	6 129.38	7.53	0.00	0.09	9.60	0.00
误差 Error	118	34.47			352.59			813.88			0.01		

表 5 60 个杂交组合产量一般配合力和特殊配合力的相对效应值
Table 5 Relative effect of GCA and SCA of 60 combinations'yield

选系 Lines	RSCA/%				
	A1(-5.40%)	A2(27.58%)	A3(4.69%)	A4(-9.11%)	A5(-17.76%)
R1(-11.31%)	-14.32	-13.98	4.83	36.71	-13.24
R2(14.34%)	-7.52	1.84	31.83	-31.35	5.21
R3(22.91%)	10.59	39.42	-15.46	-0.79	-33.76
R4(-8.01%)	6.72	10.15	-27.40	-13.51	24.04
R5(-1.49%)	-10.23	10.11	6.17	-5.26	-0.80
R6(-17.50%)	18.59	-4.45	-2.23	0.99	-12.90
R7(-27.94%)	11.77	-17.70	-1.18	-10.10	17.22
R8(-9.20%)	-25.70	-6.04	0.63	17.40	13.71
R9(2.85%)	-21.96	37.52	-24.36	-1.87	10.68
R10(-4.31%)	19.14	-37.45	8.72	25.82	-16.23
R11(56.62%)	4.77	-16.36	29.57	-21.03	3.06
R12(-16.97%)	8.15	-3.06	-11.12	3.00	3.02

注:括号中的数值为亲本的一般配合力相对效应值 Note:The value in brackets is the relative effect value of the parent's GCA

2.3 产量相关性状、配合力效应与杂种优势的相关分析

将配合力效应、杂种优势和产量相关性状的系数列于表 6。结果表明:(1)在产量性状中,SCA 与 HM、HP 和性状值的相关系数分别为 0.598,0.531 和 0.553,呈极显著相关;GCAs 与性状值极显著相关,与 HM 和 HP 均不具有相关性。(2)单株荚

数的 GCAs 与 HM 的相关系数为 0.291,呈显著相关。(3)单株粒数的 SCA 与 HM、HP、性状值均呈显著相关;GCAs 与 HP 显著相关,与 HM 极显著相关。(4)每荚粒数 GCAs 与 HP、性状值显著相关,与其他均不相关。(5)4 个性状的 SCA 与 GCAs 相关系数均接近于 0,说明各性状 GCAs 与 SCA 之间不存在相关性。

表 6 60 个组合产量相关性状、杂种优势和配合力效应的相关系数

Table 6 Correlation coefficient between heterosis and combining ability in yield – related traits of 60 combinations

性状 Trait	SCA – HM	SCA – HP	SCA – F ₁	GCA _s – HM	GCA _s – HP	GCA _s – F ₁	SCA – GCA _s
产量 Yield	0.598 **	0.531 **	0.553 **	0.11	0.04	0.535 * *	0.00
单株荚数 Pods per plant	0.24	0.26	0.23	0.291 *	0.19	–0.07	0.00
单株粒数 Seeds per plant	0.270 *	0.294 *	0.316 *	0.412 **	0.306 *	0.04	0.00
每荚粒数 Seeds per pod	–0.01	–0.03	–0.02	0.22	0.319 *	0.258 *	0.00

注/Note: * * Correlation is significant at the 0.01 level

3 讨论

目前大豆杂种优势的利用和杂交组配模式的建立,一是根据育种实践,通过对大量杂交组合配合力和杂种优势的实际表现来确定;二是根据育种经验,通过分析亲本材料的地理来源和亲缘关系来确定,具有一定的盲目性,而且效率低^[12]。本文采用第一种方法,通过对 60 个组合的杂种优势分析,基本明确了大豆籽粒产量具有较高的杂种优势,但不同组合之间差异较大。因此,通过选择适当的亲本完全有可能选育出高优势组合。该结论与王曙明^[5]等人的研究结果相一致。本研究在此基础上继续分析了单株荚数、单株粒数和每荚粒数等产量相关性状的杂种优势、配合力效应及其相关关系。在对组合特殊配合力分析中,特殊配合力效应值高的组合均是国外与国内品种杂交,说明了大豆亲本间的亲缘关系远,其亲本间杂交获得高优势组合的概率高,在 60 个组合里有 15 个特殊配合力为正效应,其中亲优势和超高亲优势也为正效应,盖钧镒^[13]等人的研究也有类似结论。但大豆亲本的亲缘关系只能作为亲本选配的参考,因为大豆产量性状遗传相当复杂,且受环境条件影响较大。产量相关性状杂种优势分析发现,产量杂种优势高的组合,单株荚数和单株粒数的杂种优势普遍也高,每荚粒数的杂种优势都为负优势,说明单株荚数和单株粒数对产量的贡献较大。从产量杂种优势和配合力效应分析得出,高优势高产组合的亲本产量配合力特点为,亲本之一具有较高的一般配合力,或双亲具有较高的一般配合力之和,兼具有较高的特殊配合力。配合力效应及杂种优势的相关性分析表明,组合的特殊配合力与亲本一般配合力不相关,组合的特殊配合力与杂种优势呈极显著正相关,说明通过选择特定亲本能够获得强优势组合。

虽然目前通过田间鉴定预测杂种优势的方式更为直接和有效,但需配制大量的杂交组合,耗费大量人力、物力,同时结果易受环境影响,育种效率极低。随着生物技术的发展,分子技术可作为杂种优势预测的有力辅助手段。根据分子标记基因型杂合度预

测的杂种优势^[14],基于 QTL 定位分析的杂种优势^[15],通过对大豆亲本全基因组重测序,寻找和性状相关的 SNP 标记^[16]等手段,以及通过遗传学分析杂种优势位点的加性效应、显性效应和上位效应,研究不同位点内和位点间的各种互作方式^[17],均有助于在特定的环境中选育出具有强杂种优势的组合,从而实现大豆高产。

参考文献:

[1] 石 子,宋 伟,赵久然. 雄性不育在作物杂种优势中的应用途径分析[J]. 中国生物工程杂志,2018,38(1):126 – 134.

[2] Woodworth C M. Genetics of the Soybean1[J]. J Am Soc Agron,1933,25(1):36 – 51.

[3] Palmer R G, Winger G L, Albertsen M G. Four independent mutations at the ms1 locus in soybeans[J]. Crop Sci,1978,18(4):727 – 729.

[4] 谢甫绋,丑晓奇,张惠君,等. 大豆品种远缘杂交 F₁ 代的杂种优势分析[J]. 大豆科学,2007(6):857 – 861.

[5] 王曙明,孙 寰,王跃强,等. 大豆杂种优势及其高优势组合选配的研究 I. F₁ 代子粒产量的杂种优势与高优势组合选配[J]. 大豆科学,2002(3):161 – 167.

[6] 黄承运,满为群,陈 怡,等. 东北大豆丰产种质的拓宽与改良—— I. 品种间杂交 F₂ 代杂种优势与配合力分析[J]. 大豆科学,1993(3):190 – 196.

[7] 赵丽梅,孙 寰,彭 宝,等. 国内外大豆杂种优势利用研究概况[J]. 吉林农业大学学报,2008(4):401 – 406.

[8] Metha, S K, Lal M S, Beohar A B L. Heterosis in soybean crosses[J]. Indian J Agr Sci,1984,54(8):682 – 684.

[9] Raut, Halwanker G B, Patil V P. Heterosis in soybean[J]. Soybean Genet Newsl,1988,15:57 – 60.

[10] Burton J. Heterosis. Soybeans: improvement, production and uses (edited by Wilcox, J. R.) [M]. Madison, Wisconsin,1987.

[11] 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(2):43 – 46.

[12] 杨祥波,刘晓丹,刘广娜. SSR 分子标记遗传距离预测大豆亲本杂种优势的研究[J]. 安徽农业科学,2011(33):20 322 – 20 324.

- [13] 盖钧镒. 中美大豆品种间 F_1 和 F_3 杂种优势与配合力分析[M]. 吉林:吉林科学技术出版社, 1986.
- [14] 拉目吉. 分子标记在油菜遗传多样性和杂种优势预测中的应用[J]. 种子世界, 2017(2):26-28.
- [15] 李卓坤, 谢全刚, 朱占玲, 等. 基于 QTL 定位分析小麦株高的杂种优势[J]. 作物学报, 2010(5):771-778.
- [16] 桑世飞, 王 会, 梅德圣, 等. 利用全基因组 SNP 芯片分析油菜遗传距离与杂种优势的关系[J]. 中国农业科学, 2015(12):2 469-2 478.
- [17] 周 钢. 基于超高密度 SNP 连锁图的水稻“永久 F_2 ”群体产量杂种优势遗传机理研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2013.
- [18] Chapman A, Pantalone V R, Ustun A, et al. Quantitative trait loci for agronomic and seed quality traits in an F_2 and $F_{4:6}$ soybean population[J]. Euphytica, 2003, 129(3):387-393.

(责任编辑:王丽芳)

《中国油料作物学报》2019 年征订启事

《中国油料作物学报》是由中国农业科学院油料作物研究所主办,科学出版社出版,全国唯一的一种有关油料作物专业学术期刊。主要刊登油菜、大豆、花生、芝麻、向日葵、胡麻及其它特种油料作物有关品种资源、遗传育种、栽培生理、土肥植保、综合加工利用以及品质测试技术等方面的首创性研究论文、综述专论等。主要供农业科研、教学和农业技术人员查阅和参考。《中国油料作物学报》连续三届被评为中国精品科技期刊,多次被评为全国优秀农业期刊和湖北省精品期刊,被国内外 26 家重要数据库收录,如《CAB Abstract》、《CA》、《WTI》、《Agris Internation》、中国科技论文统计源期刊、CEPS 中文电子期刊(中国台湾)等。载文已受到同行专家的广泛关注,是展示油料作物科研的重要窗口,欢迎国内外油料作物科技工作者踊跃投稿。请登陆本刊网站在线投稿,网址:<http://www.jouroilcrops.cn>。

《中国油料作物学报》双月出版(ISSN1007-9084, CN42-1429/S),邮局订阅,邮发代号:38-13,每册定价 25 元;国外发行:中国国际图书贸易有限公司,国外代号:BM6551,每册定价 20 美元。也可直接向本刊编辑部订阅。

联系方式:E-mail:ylxb@oilcrops.cn

网 址:<http://www.jouroilcrops.cn>

电 话:027-86813823

邮 编:430062

地 址:武昌徐东二路 2 号中国农业科学院油料作物研究所学报编辑部