



# 大豆骨干亲本中豆 32 主要农艺性状的配合力分析

孙 帅<sup>1</sup>, 易志杰<sup>2</sup>, 袁松丽<sup>2</sup>, 郝青南<sup>2</sup>, 陈水莲<sup>2</sup>, 陈海峰<sup>2</sup>, 王贤智<sup>1</sup>, 周新安<sup>2</sup>

(1. 云南大学 农学院, 云南 昆明 650504; 2. 中国农业科学院 油料作物研究所/农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 湖北 武汉 430062)

**摘 要:** 为了明确大豆骨干亲本中豆 32 主要农艺性状的配合力特点, 以中豆 32 及 9 个大豆品种(种质)为亲本, 采用不完全双列杂交法组配 30 个杂交组合, 分析比较各杂交组合 10 个产量和品质相关性状的配合力及遗传参数。配合力分析表明: 骨干亲本中豆 32 具有较高的一般配合(GCA), 除百粒重和蛋白含量 GCA 为负值外, 其余 8 个性状 GCA 均为正值, 尤其在有效分枝数、单株荚数、单株粒数和单株产量 4 个性状上表现突出。中豆 32 组配的杂交组合大部分表现优异, 具有较高的特殊配合力(SCA), 30 个杂交组合中, 中豆 32 × 郑 8516、中豆 32 × 中黄 13、中豆 32 × 新四粒黄、中豆 32 × 宁豆 5 号和中豆 32 × 中黄 319 产量相关性状的 SCA 均较高。遗传分析表明, 各组合的株高、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重、单株产量、蛋白含量和脂肪含量主要受基因加性效应影响, 底荚高度则受基因加性效应和非加性效应共同影响。研究表明, 中豆 32 具有较好的配合力, 育种中根据其农艺性状的配合力特点加以利用, 易获得强优势组合。

**关键词:** 骨干亲本; 中豆 32; 农艺性状; 配合力

## Combining Ability Analysis of Main Agronomic Traits of Soybean Backbone Parent Zhongdou 32

SUN Shuai<sup>1</sup>, YI Zhi-jie<sup>2</sup>, YUAN Song-li<sup>2</sup>, HAO Qing-nan<sup>2</sup>, CHEN Shui-lian<sup>2</sup>, CHEN Hai-feng<sup>2</sup>, WANG Xian-zhi<sup>1</sup>, ZHOU Xin-an<sup>2</sup>

(1. School of Agriculture, Yunnan University, Kunming 650504, China; 2. Oil Crops Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China)

**Abstract:** In order to dissect the combining ability of main agronomic traits of backbone parent Zhongdou 32, nine soybean cultivars (germplasm resources) and Zhongdou 32 were selected to make 30 crosses by incomplete diallel crossing design, and ten yield and quality related traits were evaluated to assess the combining ability and genetic parameters. Combining ability analysis indicated that Zhongdou 32 showed high general combination ability (GCA) effects for main agronomic traits except for 100-seed weight and protein content, and had the highest GCA effects for number of effective branches, number of pods per plant, number of seeds per plant and yield per plant among all parents. Zhongdou 32 showed high specific combining abilities (SCA), Zhongdou 32 × Zheng 8516, Zhongdou 32 × Zhonghuang 13, Zhongdou 32 × Xinsilihuang, Zhongdou 32 × Ningdou 5 and Zhongdou 32 × Zhonghuang 319 had high SCA for yield related traits among 30 combinations. Genetic analysis showed that plant height, number of main stem nodes, number of effective branches, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-seed weight, yield per plant, protein content and oil content were dominated mainly by additive effect. However, the bottom pod height was controlled by additive and non-additive effects. These results indicated Zhongdou 32 had high combining abilities, and superiority combinations could be achieved in breeding.

**Keywords:** backbone parent; Zhongdou 32; agronomic traits; combining ability

大豆是全球重要的油料作物, 含有丰富的植物蛋白、多种人体所需氨基酸和不饱和脂肪酸等营养物质<sup>[1]</sup>。我国虽然是大豆的起源地, 但是目前国产大豆无法满足市场需求, 每年需进口大豆约 1 亿 t<sup>[2-4]</sup>。受耕地面积限制, 提高大豆单产已成为目前我国大豆生产最迫切的任务之一, 选育高产优质新品种是保障我国大豆种植业持续发展、降低油用和饲用大豆对外依存度和维护国家粮食安全的根本途径<sup>[5]</sup>。

在育种中发掘和利用优异种质, 尤其是骨干亲本材料是选育突破性新品种的关键<sup>[6]</sup>。骨干亲本是在杂交育种中起骨干作用、衍生的推广品种数量较多。对生产贡献较大的亲本材料<sup>[7]</sup>。骨干亲本不仅综合性状优良, 还应具有较高的配合力, 与其他材料杂交形成强优势组合<sup>[8]</sup>。育种实践表明, 农作物品种更新换代与骨干亲本的发掘和利用密不可分<sup>[9-10]</sup>。水稻地方品种矮仔占携带矮秆基因, 作为亲本先后培育了 400 余个水稻品种, 是我国 20

收稿日期: 2022-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(32172099); 湖北省重点研发计划(2020BBB057); 云南省重大科技专项计划(202202AE090014)。

第一作者: 孙帅(1998—), 女, 硕士研究生, 主要从事大豆分子育种研究。E-mail: sunshuai142@163.com。

通讯作者: 陈海峰(1978—), 男, 博士, 研究员, 主要从事大豆分子育种研究。E-mail: chenhaiheng@caas.cn;

王贤智(1979—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: xianzhi.wang@ynu.edu.cn。

世纪 60—80 年代水稻矮化育种的重要骨干亲本<sup>[11]</sup>。小麦骨干亲本南大 2419、北京 8 号、阿勃、阿夫等的利用解决了小麦生产中的抗锈病问题,促使我国 20 世纪 50—60 年代小麦平均产量增加了 1 倍<sup>[12]</sup>。中豆 32 是中国农业科学院油料作物研究所利用湘春豆 10 号与北方骨干亲本铁丰 18 杂交选育而成,2002 年通过湖北省审定,2006 年通过国家审定。该品种聚合了双亲的优点,遗传基础丰富、品质优、抗性强、单株产量高。目前以中豆 32 及其衍生材料为亲本已审定大豆品种 12 个,选育新品系 20 余个,适宜种植区域包括长江中下游、西南山区及黄淮海,为我国南方大豆产区重要的骨干亲本,但其主要农艺性状的配合力不清。本研究以中豆 32 和其他 9 个品种(种质)为亲本,采用不完全双列

杂交的方法组配 30 个杂交组合,分析比较各杂交组合 10 个产量和品质相关性状的配合力和遗传参数,以期明确中豆 32 主要农艺性状的配合力特点,为育种中高效利用中豆 32 提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

以中豆 32、中豆 29、中黄 13、中黄 319、油春 1204、郑 196、郑 8516、新四粒黄、皖豆 28、宁豆 5 号为试验材料,其中以中豆 32、中豆 29、中黄 13、油春 1204 为母本,以中豆 29、中黄 13、中黄 319、郑 196、郑 8516、新四粒黄、皖豆 28、宁豆 5 号作为父本,按照 NC II 不完全双列杂交设计组配 30 个杂交组合。亲本材料信息详见表 1。

表 1 亲本材料信息

Table 1 Information of parental materials

品种 Cultivar	育成单位 Breeding institute	审定时间 Registered year	组合 Cross combination
中豆 29 Zhongdou29	中国农业科学院油料作物研究所	2000	湘春 78-141/Merit
中豆 32 Zhongdou32	中国农业科学院油料作物研究所	2006	湘春豆 10 号/铁丰 18
油春 1204 Youchun1204	中国农业科学院油料作物研究所	2017	Q1259/( Q1140/Q1295 F1)
中黄 13 Zhonghuang13	中国农业科学院作物科学研究所	2001	豫豆 8 号/中 90052-76
郑 196 Zheng196	河南省农业科学院经济作物研究所	2008	郑 100/郑 93048
郑 8516 Zhneg8516	河南省农业科学院经济作物研究所	-	地方资源
新四粒黄 Xinsilihuang	-	-	地方资源
宁豆 5 号 Ningdou5	宁夏平罗县种子公司	1995	DB64/T372-2004
中黄 319 Zhonghuang319	中国农业科学院作物科学研究所	2019	中作 X08110/中作 X12644
皖豆 28 Wandou28	安徽省农业科学院作物研究所	2008	濮 90-1/宝 92-1

注:“-”表示该品种为地方资源,尚未审定。

Note:“-” indicates that the variety was local germplasm resources and has not been approved for registration.

#### 1.2 试验设计

各杂交组合的 F<sub>1</sub> 种子及其亲本共 40 份材料,于 2020 年 6 月 17 日播种于中国农业科学院油料作物研究所武昌试验基地,小区行长 3.0 m,行距 0.40 m,株距 0.13 m,随机区组设计,3 行区,3 次重复,按照大田生产种植管理。考查株高、单株产量、蛋白质含量等重要农艺性状的一般配合力(General Combining Ability, GCA)和特殊配合力(Specific Combining Ability, SCA),计算公式如下<sup>[13]</sup>。

一般配合力效应值(GCA):

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

式中: $n_1$ 代表亲本  $P_1$  的亲本个数; $n_2$ 代表亲本  $P_2$  的亲本个数; $\bar{x}$ 代表总平均值; $x_{ij}$ 代表第  $i$  个  $P_1$  和第  $j$  个  $P_2$  组合的平均值; $\hat{g}'_i$ 代表亲本  $P_1$  里第  $i$  个亲本的一般配合力相对效应值; $\hat{g}'_j$ 代表亲本  $P_2$

里第  $j$  个亲本的一般配合力相对效应值。

特殊配合力效应值(SCA):

$$\hat{s}'_{ij}(\%) = \frac{x_{ij} - \bar{x} - \hat{g}'_i - \hat{g}'_j}{\bar{x}} \times 100$$

式中: $\hat{s}'_{ij}$ 代表亲本  $i$  和亲本  $j$  组合的特殊配合力相对效应值。

#### 1.3 农艺性状测定方法

大豆成熟后,在各小区中随机取样 5 株,进行农艺性状及品质测定。

株高(cm):从大豆成熟植株子叶节部位到主茎顶端之间的高度。

分枝数(个):计算大豆主茎上具有两节以上的分枝,分枝上至少有 1 个节有豆荚为有效分枝数,分枝上的次生分枝不计数。

底荚高度(cm):从大豆最底部豆荚着生处到子叶节之间的距离。

主茎节数(个):从大豆子叶节(零)至成熟植株主茎顶端的节数。

单株荚数(个):1 株大豆植株上所有有效荚的

总数。

单株粒数(粒):1 株大豆植株上所有籽粒的总数。

单株产量(g):1 株大豆植株上所有籽粒的重量,电子天平称量。

百粒重(g):随机抽取 100 粒完整的正常大豆籽粒的重量,电子天平称量。

蛋白质及脂肪含量(%):随机抽取籽粒,采用 infratec1255 型近红外光谱透射仪扫描样品,波长为 850~1 050 nm,测定大豆蛋白质及脂肪含量。

### 1.4 数据分析

采用黄远樟等<sup>[14]</sup>的不完全双列杂交法,计算一般配合力和特殊配合力相对效应,采用 Excel 2010

和 IBM SPSS 17.0 软件对各农艺性状结果进行方差分析、配合力分析和遗传参数分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 中豆 32 及其杂交组合农艺性状表现

如表 2 所示,在 10 个亲本材料中,中豆 32 的有效分枝数、单株荚数、单株粒数和单株产量均为最高,产量相关性状表现优异。在 30 个杂交组合中,中豆 32×中黄 319、中豆 32×宁豆 5 号、中豆 32×郑 8516、中豆 32×中黄 13 和中豆 32×新四粒黄的单株产量居前 5 位,中豆 32×中黄 319 的主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、单株产量最高,利用中豆 32 作杂交亲本易获得强优势组合。

表 2 供试大豆亲本及其杂交组合的性状值

Table 2 Trait value of parents and the cross combinations

亲本及组合 Parents and cross combinations	株高 Plant height/ cm	底荚高度 Bottom pod height/ cm	主茎节数 Number of main stem nodes	有效分枝数 Number of effective branches	单株荚数 Number of pods per plant	单株粒数 Number of seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g	单株产量 Yield per plant/g	蛋白质含量 Protein content/%	脂肪含量 Oil content/%
中豆 32	48.1	17.3	13.9	4.3	55.3	78.1	17.1	13.4	41.7	20.0
中豆 29	30.0	16.4	10.1	0.1	11.1	13.3	15.2	2.0	42.6	17.1
油春 1204	42.1	13.4	12.9	3.6	40.5	27.0	19.9	5.4	45.2	18.3
中黄 13	43.5	16.3	14.0	1.9	27.9	45.5	25.0	11.4	43.7	21.4
郑 196	52.5	22.0	14.1	2.9	40.5	55.1	21.1	11.6	43.9	20.9
郑 8516	51.4	22.6	13.5	1.0	29.3	46.6	23.6	11.0	45.2	19.3
新四粒黄	34.6	14.7	13.0	1.5	20.9	30.7	26.4	8.1	43.9	20.9
宁豆 5 号	47.1	19.0	11.3	2.0	26.7	29.8	30.3	9.0	44.5	20.7
中黄 319	39.4	13.6	13.2	2.5	30.9	58.4	18.5	10.8	42.2	21.9
皖豆 28	45.7	21.0	14.6	1.2	31.7	49.3	23.1	11.4	46.6	19.1
中豆 29×郑 196	36.4	15.5	11.3	0.9	20.5	29.7	17.6	5.2	43.8	18.4
中豆 29×郑 8516	36.9	15.3	11.6	0.7	20.5	31.9	19.6	6.3	43.0	19.7
中豆 29×中黄 13	33.5	14.9	12.0	0.9	16.9	27.2	18.9	5.1	41.9	17.5
中豆 29×新四粒黄	33.2	10.9	11.7	1.1	18.9	30.1	19.1	5.7	42.8	19.7
中豆 29×宁豆 5 号	41.5	16.6	11.3	1.5	27.1	46.1	18.3	8.4	42.9	19.2
中豆 29×中黄 319	42.5	12.0	12.8	2.1	31.4	50.9	18.0	9.2	43.5	19.5
中豆 29×皖豆 28	45.8	11.8	13.1	2.7	39.7	64.9	19.3	12.5	45.9	19.8
中豆 32×中豆 29	42.6	15.0	12.7	2.8	37.1	57.9	16.9	9.8	42.2	19.8
中豆 32×郑 196	43.5	16.5	12.9	3.1	54.9	77.1	19.3	14.9	43.2	19.1
中豆 32×郑 8516	43.7	14.5	13.1	3.6	54.3	84.6	21.2	17.9	44.4	19.5
中豆 32×中黄 13	38.2	14.1	13.9	3.3	45.6	82.1	21.4	17.6	43.0	20.9
中豆 32×新四粒黄	39.2	15.0	13.4	3.4	43.8	85.1	19.7	16.8	42.2	20.1
中豆 32×宁豆 5 号	45.0	16.3	12.9	2.9	44.5	81.3	22.1	18.0	43.0	21.0
中豆 32×中黄 319	46.9	13.6	14.9	4.1	60.4	109.7	17.3	19.0	42.7	21.4
中豆 32×皖豆 28	43.1	14.8	14.1	3.1	47.7	79.0	19.2	15.2	44.8	18.8
油春 1204×中豆 29	43.7	13.0	13.2	2.9	43.3	40.9	16.7	6.8	42.0	18.5

表 2(续)

亲本及组合 Parents and cross combinations	株高 Plant height/ cm	底荚高度 Bottom pod height/ cm	主茎节数 Number of main stem nodes	有效分枝数 Number of effective branches	单株荚数 Number of pods per plant	单株粒数 Number of seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g	单株产量 Yield per plant/g	蛋白质含量 Protein content/%	脂肪含量 Oil content/%
油春 1204 × 郑 196	45.6	14.7	13.9	3.3	46.7	59.2	21.4	12.7	44.4	16.7
油春 1204 × 郑 8516	47.1	12.6	14.0	3.8	56.2	66.6	21.8	14.5	45.0	15.6
油春 1204 × 中黄 13	39.9	12.0	14.1	3.0	45.2	68.8	23.1	15.9	44.2	19.4
油春 1204 × 新四粒黄	41.8	11.5	13.4	3.1	42.7	62.5	20.2	12.6	43.2	16.0
油春 1204 × 宁豆 5 号	45.1	12.3	13.1	3.2	43.9	53.9	26.1	14.1	44.8	19.4
油春 1204 × 中黄 319	46.6	15.0	13.8	3.6	39.8	61.9	20.9	12.9	44.6	20.0
油春 1204 × 皖豆 28	46.6	14.4	14.1	3.0	47.3	73.1	21.3	15.6	44.5	16.9
中黄 13 × 中豆 29	43.0	12.6	13.5	2.5	30.6	28.2	23.0	6.5	44.1	20.4
中黄 13 × 郑 196	48.7	17.5	14.5	2.7	37.7	49.4	25.8	12.7	43.9	21.7
中黄 13 × 郑 8516	45.0	15.7	14.3	2.5	38.4	56.9	25.6	14.6	44.4	19.8
中黄 13 × 新四粒黄	39.3	16.3	13.9	1.7	25.5	36.6	25.5	9.3	43.9	20.6
中黄 13 × 宁豆 5 号	46.4	15.6	13.5	2.3	34.5	52.5	29.3	15.4	44.5	19.3
中黄 13 × 中黄 319	46.6	14.4	14.7	2.5	37.6	63.7	23.8	15.2	44.1	21.0
中黄 13 × 皖豆 28	45.1	15.9	14.8	2.8	43.4	67.9	24.6	16.7	45.3	20.1

2.2 各组合农艺性状的方差分析

对 30 个杂交组合的 10 个农艺性状进行方差分析可知,供试组合间各性状均达到了极显著水平,母本均方和父本均方也都达到了显著或极显著水平。除了株高、主茎节数、单株粒数、单株产量和蛋

白质含量 5 个性状差异不显著外,母本 × 父本互作的另外 5 个性状差异均达到显著或极显著水平,说明不同的杂交组合在不同的农艺性状上存在明显的遗传差异,可以进行配合力方差分析(表 3)。

表 3 各组合农艺性状的方差分析

Table 3 Variance analysis of agronomic traits for different cross combinations

变异来源 Sources of variation	株高 Plant height	底荚高度 Bottom pod height	主茎节数 Number of main stem nodes	有效分枝数 Number of effective branches	单株荚数 Number of pods per plant	单株粒数 Number of seeds per plant	百粒重 100-seed weight	单株产量 Yield per plant	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Oil content
组合 Combination	49.4 **	8.3 **	3.0 **	2.4 **	383.1 **	1220.2 **	29.7 **	54.9 **	3.5 **	6.8 **
母本 Female line	162.8 **	22.8 **	20.6 **	17.5 **	2677.5 **	8053.8 **	206.2 **	346.0 **	6.8 **	31.9 **
父本 Male line	96.2 **	8.8 *	3.2 **	0.9 **	240.7 **	1316.2 **	32.8 **	81.2 **	7.1 **	4.0 *
母本 × 父本 Female line × Male line	11.5	5.8 *	0.4	0.6 *	95.6 **	229.4	4.0 **	8.8	1.6	3.9 **
误差 Error	11.1	3.0	0.3	0.3	37.9	137.7	1.5	8.5	0.9	1.7

注:“\*”表示在  $P < 0.01$  水平上差异显著;“\*\*”表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。  
Note:“\*” indicates significant difference at  $P < 0.01$  level; “\*\*” indicates significant difference at  $P < 0.05$  level.

2.3 杂交亲本一般配合力(GCA)效应分析

对杂交亲本各性状的一般配合力进行分析表明,中豆 32 的株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、单株产量和脂肪含量配合力为正向效应,百粒重和蛋白质含量则为负向效应。10 个性状中,中黄 319 的株高(6.8)和脂肪含量(5.8) GCA 效应值最高,郑 196 的底荚高度

(11.9) GCA 效应值最高,中黄 13 的主茎节数(6.1)和百粒重(19.5) GCA 效应值最高,皖豆 28 的蛋白质含量(3.2) GCA 效应值最高。中豆 32 的有效分枝数(25.1)、单株荚数(23.8)、单株粒数(38.4)和单株产量(28.4) GCA 效应值最高,说明中豆 32 在产量性状方面具有较高的一般配合力(表 4)。

表 4 各亲本 10 个农艺性状的一般配合力效应  
Table 4 GCA of 10 agronomic traits for the parents

性状 Trait	中豆 32 Zhongdou 32	中豆 29 Zhongdou 29	油春 1204 Youchun 1204	中黄 13 Zhonghuang 13	郑 196 Zheng 196	郑 8516 Zheng 8516	新四粒黄 Xinsilihuang	宁豆 5 号 Ningdou 5	中黄 319 Zhonghuang 319	皖豆 28 Wandou 28
株高 Plant height	0.1	-9.8	4.2	5.0	1.9	1.0	-10.3	4.1	6.8	5.6
底荚高度 Bottom pod height	4.4	-3.4	-8.0	7.5	11.9	1.3	-6.4	6.1	-4.1	-0.9
主茎节数 Number of main stem nodes	1.1	-10.4	2.6	6.1	-1.4	-0.8	-1.8	-4.9	5.3	4.9
有效分枝数 Number of effective branches	25.1	-46.7	22.4	-7.6	-5.3	-0.1	-11.6	-5.3	16.8	10.3
单株荚数 Number of pods per plant	23.8	-36.2	16.4	-9.7	1.9	8.0	-16.6	-4.4	7.9	13.6
单株粒数 Number of seeds per plant	38.4	-32.4	2.6	-14.5	-9.2	1.1	-9.7	-1.5	20.6	20.1
百粒重 100-seed weight	-7.5	-12.0	0.9	19.5	-1.0	3.7	-0.5	12.9	-5.7	-0.7
单株产量 Yield per plant	28.4	-40.3	4.5	2.7	-9.5	5.8	-11.5	11.2	12.0	19.2
蛋白质含量 Protein content	-0.4	-1.1	0.5	1.0	0.1	1.1	-1.7	0.2	-0.1	3.2
脂肪含量 Oil content	3.9	-1.1	-7.9	5.7	-1.9	-3.5	-1.1	2.1	5.8	-2.2

2.4 各杂交亲本特殊配合力(SCA)效应分析

对杂交亲本各性状的特殊配合力进行分析表明,中豆 32 组配的各杂交组合中,中豆 32 × 新四粒黄株高、底荚高度和单株产量 SCA 效应值最高,中豆 32 × 中黄 319 的主茎节数、有效分枝数、单株荚数和单株粒数 SCA 效应值最高,中豆 32 × 中黄 13

的百粒重和脂肪含量 SCA 效应值最高,中豆 32 × 郑 8516 的蛋白质含量 SCA 效应值最高(表 5)。以中豆 32 为母本,郑 8516、中黄 13、新四粒黄、宁豆 5 号和中黄 319 为父本的杂交组合在单株产量上均表现出较高的特殊配合力,说明中豆 32 在产量性状上同样具有较高的特殊配合力。

表 5 各亲本 10 个农艺性状的特殊配合力效应  
Table 5 SCA of 10 agronomic traits for different parents

组合 Cross combination	株高 Plant height	底荚高度 Bottom pod height	主茎节数 Number of main stem nodes	有效分枝数 Number of effective branches	单株荚数 Number of pods of pods per plant	单株粒数 Number of seeds per plant	百粒重 100-seed weight	单株产量 Yield per plant	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Oil content
中豆 29 × 郑 196	-8.5	-0.5	-3.4	-15.2	-13.4	-8.3	-4.0	-8.5	0.7	-1.6
中豆 29 × 郑 8516	-15.9	8.6	-2.0	-25.5	-19.4	-15.0	0.4	-15.9	-1.9	6.5
中豆 29 × 中黄 13	-21.2	12.2	0.4	-11.0	-12.2	-21.9	1.3	-21.2	-2.0	-7.9
中豆 29 × 新四粒黄	-2.4	-14.3	0	1.2	0.9	-7.2	2.5	-2.4	0.3	4.3
中豆 29 × 宁豆 5 号	-3.6	13.2	-0.4	10.1	9.7	11.6	-14.5	-3.6	-1.3	-1.7
中豆 29 × 中黄 319	1.4	-8.7	0.9	8.2	8.4	-2.4	2.6	1.4	0.3	-4.1
中豆 29 × 皖豆 28	20.7	-13.4	3.3	37.4	23.9	21.7	3.5	20.7	2.7	5.6
中豆 32 × 中豆 29	-11.6	5.8	-4.2	-22.6	-23.5	-12.1	-1.6	-11.6	-0.1	-2.6
中豆 32 × 郑 196	-0.5	-1.4	-2.9	-1.1	14.2	0.8	-0.6	-0.5	-0.1	-3.3
中豆 32 × 郑 8516	8.5	-4.3	-2.0	11.4	6.6	3.1	3.6	8.5	1.7	0.4
中豆 32 × 中黄 13	8.8	-1.5	3.3	8.8	0.9	-0.1	8.6	8.8	1.2	4.6
中豆 32 × 新四粒黄	16.8	6.6	1.0	15.3	4.5	14.7	0.9	16.8	-0.6	1.2
中豆 32 × 宁豆 5 号	3.7	3.0	0.6	-8.7	-5.9	0.1	-1.1	3.7	-0.6	2.9
中豆 32 × 中黄 319	10.6	-5.4	5.4	14.7	22.4	25.9	-5.3	10.6	-1.1	0.8
中豆 32 × 皖豆 28	-27.2	-0.3	-0.8	-16.2	-15.6	-25.3	-1.6	-27.2	0.5	-4.2



表 5(续)

组合 Cross combination	株高 Plant height	底荚高度 Bottom pod height	主茎节数 Number of main stem nodes	有效分枝数 Number of effective branches	单株荚数 Number of pods per plant	单株粒数 Number of seeds per plant	百粒重 100-seed weight	单株产量 Yield per plant	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Oil content
油春 1204 × 中豆 29	- 11.5	4.6	- 2.3	- 17.4	- 0.4	- 5.0	- 11.2	- 11.5	- 2.6	2.2
油春 1204 × 郑 196	5.7	- 1.3	3.2	6.6	0.9	6.4	0.8	5.7	0.5	- 4.0
油春 1204 × 郑 8516	4.9	- 5.2	2.9	19.7	18.9	8.5	- 2.2	4.9	1.2	- 7.7
油春 1204 × 中黄 13	19.8	- 3.8	2.9	1.3	7.3	13.3	8.6	19.8	1.8	8.4
油春 1204 × 新四粒黄	7.3	- 5.1	- 0.5	7.9	9.0	12.5	- 5.5	7.3	- 0.4	- 8.1
油春 1204 × 宁豆 5 号	- 3.9	- 12.2	0.6	4.1	- 0.1	- 10.3	9.0	- 3.9	1.6	6.0
油春 1204 × 中黄 319	- 13.4	16.6	- 4.6	- 2.9	- 22.7	- 18.9	3.4	- 13.4	1.2	5.5
油春 1204 × 皖豆 28	0.2	9.0	- 1.8	- 17.8	- 9.4	0.6	0.1	0.2	- 2.3	- 2.6
中黄 13 × 中豆 29	- 14.3	1.2	0.3	- 30.0	- 32.7	- 26.4	18.4	- 14.3	2.1	12.3
中黄 13 × 郑 196	8.0	2.8	3.6	16.5	4.0	6.9	2.9	8.0	- 1.1	8.3
中黄 13 × 郑 8516	7.2	0.4	1.5	1.2	- 0.3	9.2	- 2.7	7.2	- 0.9	0.3
中黄 13 × 新四粒黄	- 17.0	12.3	0	- 17.6	- 8.6	- 14.2	1.0	- 17.0	0.7	2.0
中黄 13 × 宁豆 5 号	8.5	- 4.5	- 0.3	1.3	2.0	4.4	5.8	8.5	0.3	- 7.7
中黄 13 × 中黄 319	6.1	- 3.0	- 1.1	- 13.2	- 2.3	1.3	- 1.5	6.1	- 0.4	- 2.9
中黄 13 × 皖豆 28	11.0	4.2	- 0.2	3.4	6.8	8.9	- 2.9	11.0	- 0.8	0.7

2.5 各性状遗传参数估计

为了解各组合 10 个农艺性状的遗传特性,根据方差分析结果估算的各性状遗传参数如表 6 所示:株高、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重、单株产量、蛋白含量和脂肪含量的一般配合力方差均在 60% 以上,高于特殊配合力方差,说明这些性状在杂交后代中的表现主要受加性效应影响;底荚高度的一般配合力方差与特殊配合力方

差相近,说明底荚高度受加性效应和非加性效应共同影响;株高、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重和单株产量的广义遗传力和狭义遗传力均大于 50% ,说明这些性状在后代遗传过程中稳定性较好,宜在早期世代进行选择;底荚高度、蛋白质含量和脂肪含量的狭义遗传力均低于 50% ,说明这些性状受环境因素影响较大,宜在晚世代进行选择。

表 6 10 个性状的遗传参数

Table 6 Genetic parameters of 10 agronomic traits

项目 Item	株高 Plant height	底荚高度 Bottom pod height	主茎节数 Number of main stem nodes	有效分枝数 Number of effective branches	单株荚数 Number of pods per plant	单株粒数 Number of seeds per plant	百粒重 100-seed weight	单株产量 Yield per plant	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Oil content
显性方差 Dominant variances	0.14	0.94	0.03	0.10	19.22	30.57	0.83	0.11	0.22	0.75
环境方差 Environmental variances	11.08	2.99	0.30	0.28	37.93	137.69	1.49	8.48	0.95	1.69
加性方差 Additive variances	13.36	0.96	1.08	0.73	119.67	416.58	10.82	20.08	0.68	1.17
遗传方差 Genetic variances	13.50	1.90	1.11	0.83	138.90	447.16	11.66	20.19	0.90	1.92
表型方差 Phenotypic variances	24.58	4.89	1.40	1.12	176.82	584.85	13.15	28.67	1.84	3.61
一般配合力方差 Variances of GCA/%	98.95	50.49	97.70	87.66	86.16	93.16	92.84	99.46	75.34	61.16
特殊配合力方差 Variances of SCA/%	1.05	49.51	2.30	12.34	13.84	6.84	7.16	0.54	24.66	38.84
广义遗传力 Broad heritability/%	54.93	38.79	78.91	74.57	78.55	76.46	88.69	70.44	48.63	53.14
狭义遗传力 Narrow heritability/%	54.35	19.59	77.09	65.36	67.68	71.23	82.34	70.06	36.64	32.50

3 讨论

在杂交育种过程中,了解亲本主要农艺性状配合力的特点和遗传特性可有效提高育种效率<sup>[15]</sup>。杂交后代的性状表现主要受亲本 GCA 和组合 SCA 的影响,分析亲本和组合的配合力及其遗传特征,有利于针对性选择杂交亲本,组配强优势组合,获得优异后代材料<sup>[16-17]</sup>。研究表明,表现优异的杂交组合里包含至少 1 个 GCA 较高或者 SCA 较高的亲本,在育种中选用 GCA 和 SCA 都较高的亲本,更有可能分离出强优势的后代<sup>[18-22]</sup>。本研究发现,骨干亲本中豆 32 具有较高的 GCA,尤其在有效分枝数、单株荚数、单株粒数和单株产量 4 个性状上表现突出。在 30 个杂交组合中,中豆 32 × 郑 8516、中豆 32 × 中黄 13、中豆 32 × 新四粒黄、中豆 32 × 宁豆 5 号和中豆 32 × 中黄 319 等组合在单株产量及单株产量相关性状上均表现出较高的 SCA,说明利用中豆 32 作亲本容易获得高产后代。虽然中豆 32 的产量相关性状表现优异,但是百粒重和蛋白质含量两个性状还存在不足,两个性状的 GCA 效应值均表现为负值,多个杂交组合的 SCA 效应值也表现为负值,说明中豆 32 存在百粒重偏小,蛋白质含量偏低的问题。因此,在育种中利用中豆 32 配制杂交组合应选择百粒重和蛋白质含量 GCA 表现突出的品种进行杂交,更容易获得强优势组合,选育出优异品种<sup>[23]</sup>。

本研究发现,亲本的 GCA 和组合的 SCA 是相互独立的,二者表现并不完全一致,亲本的 GCA 效应不足以预测杂交组合的 SCA 效应。例如百粒重,中豆 32 的 GCA 效应值为 -7.5,新四粒黄的 GCA 效应值为 -0.5,中豆 32 × 新四粒黄杂交组合表现出的 SCA 效应值为 0.9。在单株粒数中,中豆 32 的 GCA 效应值为 38.4,皖豆 28 的 GCA 效应值为 20.1,但中豆 32 × 皖豆 28 杂交组合的 SCA 效应值为 -25.3。说明亲本 GCA 高的性状,组合 SCA 并不一定也高,亲本 GCA 低的性状,组合 SCA 也不一定低,亲本的 GCA 与组合的 SCA 之间并无特定关系,这与前人的研究结果一致<sup>[24-30]</sup>,这是由于杂交重组后有利基因相互作用,在分离群体中有选择超越个体的潜力<sup>[31]</sup>。杂交后代的表现是由双亲互作共同影响的,一般情况下,双亲一般配合力的高低对后代的表现影响更大,是主导因素。在部分性状中,组合间的特殊配合力高低也能起到较大的作用,因此,在育种实践中,既要考虑亲本的一般配合力,同时也不能忽视组合的特殊配合力。

4 结论

骨干亲本中豆 32 在有效分枝数、单株荚数、单株粒数和单株产量等产量相关性状上具有较高的 GCA,但是百粒重和蛋白含量 GCA 表现出负效应。利用中豆 32 组配杂交组合时,选择百粒重和蛋白含量 GCA 表现突出的亲本更容易选育出优异品种。中豆 32 的株高、主茎节数、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重和单株产量等性状的遗传力较高,应在早期世代进行单株选择,底荚高度、蛋白质含量和脂肪含量等性状的遗传力较低,不宜在早期世代进行单株选择。

参考文献

[1] 韩立德, 盖钧镒, 张文明. 大豆营养成分研究现状[J]. 种子, 2003(5): 58-60. (HAN L D, GAI J Y, ZHANG W M. Research on nutritional composition of soybean [J]. Seed, 2003 (5): 58-60.)

[2] 师高民. “五谷”起源考之三: 大豆和玉米[J]. 中国粮食经济, 2021(1): 76. (SHI G M. The third study on the origin of grains: Soybean and corn [J]. China Grain Economy, 2021 (1): 76.)

[3] 黄新阳, 赵云, 周静, 等. 黄淮海夏大豆主要农艺性状的杂种优势和配合力分析[J]. 大豆科技, 2015(2): 5-11, 26. (HUANG X Y, ZHAO Y, ZHOU J, et al. Heterosis and combining ability analysis of main agronomic traits in summer soybean varieties from Huanghuaihai valleys[J]. Soybean Science & Technology, 2015(2): 5-11, 26.)

[4] 王永刚, 李豪强, 王妍霏, 等. 贸易争端背景下世界油料、植物油生产和贸易格局变动分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(7): 5-9. (WANG Y G, LI H Q, WANG Y F, et al. Changes in production and trade patterns of global oilseeds and vegetable oils under the background of trade disputes[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(7): 5-9.)

[5] 司伟, 陶畅. 经济发展、城镇化与中国大豆需求增长[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(2): 43-48. (SI W, TAO C. Economic development, urbanization and soybean demand growth in China [J]. Food and Nutrition in China, 2014, 20(2): 43-48.)

[6] SPRAGUE G F, TATUM A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1942, 34: 923-932.

[7] 纪莲莲, 张玉霞, 纪家华, 等. 转基因棉花三系配合力及杂种优势分析[J]. 种子, 2019, 38(2): 108-111. (JI L L, ZHANG Y X, JI J H, et al. Analysis on the heterosis and combining ability among transgenic three series matching of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Seed, 2019, 38(2): 108-111.)

[8] 孟秋成, 王权, 刘建丰, 等. 水稻两用核不育系龙 S 的配合力研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010, 36(3): 250-253. (MENG Q C, WANG Q, LIU J F, et al. Combining ability of the dual-purpose genic male sterile rice Long S [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2010, 36(3): 250-253.)

[9] ZHAO X W, LI B, ZHANG K, et al. Breeding signature of combining ability improvement revealed by a genomic variation map from recurrent selection population in *Brassica napus* [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 29553.

[10] 李永祥, 王天宇, 黎裕. 主要农作物骨干亲本形成与研究利用[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(5): 1093-1102. (LI Y X, WANG T Y, LI Y. Formation, research and utilization of founder parents in major crops [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(5): 1093-1102. )

[11] 鄂志国, 程本义, 孙红伟, 等. 近40年我国水稻育成品种分析[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(6): 523-531. (E Z G, CHENG B Y, SUN H W, et al. Analysis on Chinese improved rice varieties in recent four decades [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2019, 33(6): 523-531. )

[12] 李振声. 我国小麦育种的回顾与展望[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(2): 1-4. (LI Z S. Retrospect and prospect of wheat breeding in China [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2010, 12(2): 1-4. )

[13] 韩亚丽, 林春晶, 丁孝羊, 等. 杂交大豆配合力及杂种优势分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(6): 755-761. (HAN Y L, LIN C J, DING X Y, et al. Analysis of combining ability and heterosis of hybrid soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(6): 755-761. )

[14] 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. (HUANG Y Z, LIU L F. Quantitative genetics of crops-6. combining ability: Incomplete diallel cross [J]. Hereditas, 1980(2): 43-46. )

[15] 宋旭东, 黄小兰, 张振良, 等. 10个糯玉米自交系穗部性状配合力及其遗传特性分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(10): 2447-2453. (SONG X D, HUANG X L, ZHANG Z L, et al. Combining ability for ear traits of ten waxy maize inbred lines [J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(10): 2447-2453. )

[16] FAN X M, ZHANG Y M, YAO W H, et al. Classifying maize inbred lines into heterotic groups using a factorial mating design [J]. Agronomy Journal, 2009, 101(1): 113-116.

[17] LIU X C, CHEN S C, CHEN J S, et al. Improvement of combining ability for restorer lines with identified SSR marker in hybrid rice [J]. Breeding Science, 2004, 54: 341-346.

[18] 张征, 张雪丽, 莫博程, 等. 籼型杂交水稻农艺性状的配合力研究[J]. 作物学报, 2017, 43(10): 1448-1457. (ZHANG Z, ZHANG X L, MO B C, et al. Combining ability analysis of agronomic trait in *Indica* × *Indica* hybrid rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(10): 1448-1457. )

[19] 高华洋, 姜龙, 李剑明, 等. 16份美系血缘玉米种质自交系的配合力分析[J]. 种子, 2021, 40(4): 124-128, 149. (GAO H Y, JIANG L, LI J M, et al. Combining ability analysis of 16 maize inbred lines from American corn germplasms [J]. Seed, 2021, 40(4): 124-128, 149. )

[20] 潘清洁, 赵福胜, 罗洪发, 等. 5个新选水稻三系不育系主要农艺性状配合力分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(1): 36-41. (PAN Q J, ZHAO F S, LUO H F, et al. Analysis of combining ability of main agronomic traits of five three-line sterile lines of rice bred newly [J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(1): 36-41. )

[21] 赵长云, 石海春, 夏伟, 等. 不同供体及回交次数对玉米自交系配合力和杂种优势的改良效应[J]. 华北农学报, 2020, 35(S1): 56-62. (ZHAO C Y, SHI H C, XIA W, et al. Improvement effects of different donor and back-cross times on combining ability and heterosis of inbred lines in maize [J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 2020, 35(S1): 56-62. )

[22] ANUSHA G, SANJEEVA R D, JALDHANI V, et al. Grain Fe and Zn content, heterosis, combining ability and its association with grain yield in irrigated and aerobic rice [J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 10579.

[23] 周旭梅, 高旭东, 高洪敏, 等. 同一基础材料的玉米DH系主要农艺性状配合力分析及应用潜力评价[J]. 玉米科学, 2020, 28(3): 31-36. (ZHOU X M, GAO X D, GAO H M, et al. Analysis on combining ability and application potential of maize DH lines from the same foundation material [J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(3): 31-36. )

[24] RIEDELSHEIMER C, CZEDIK E A, GRIEDER C, et al. Genomic and metabolic prediction of complex heterotic traits in hybrid maize [J]. Nature Genetics, 2012, 44: 217-220.

[25] SU J S, ZHANG F, YANG X C, et al. Combining ability, heterosis, genetic distance and their intercorrelations for waterlogging tolerance traits in chrysanthemum [J]. Euphytica, 2017, 213(42): 1-15.

[26] WANG Y H, CAI Q H, XIE H G, et al. Determination of heterotic groups and heterosis analysis of yield performance in indica rice [J]. Rice Science, 2018, 25(5): 261-270.

[27] 赵一洲, 王绍林, 张战. 水稻骨干亲本育种价值分析[J]. 垦殖与稻作, 2006(4): 6-9. (ZHAO Y Z, WANG S L, ZHANG Z. Breeding value analysis of rice backbone parents [J]. Reclaiming and Rice Cultivation, 2006(4): 6-9. )

[28] 谭美林, 冯明友, 张家洪, 等. 杂交水稻亲本主要农艺性状配合力及遗传力分析[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(3): 6-8. (TAN M L, FENG M Y, ZHANG J H, et al. Analysis on combining ability and heritability of major agronomic characters in hybrid rice parents [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2009, 37(3): 6-8. )

[29] 刘金波, 宋兆强, 王宝祥, 等. 几个新选杂交水稻不育系和恢复系的主要农艺性状的配合力分析[J]. 西南农业学报, 2016, 29(2): 209-213. (LIU J B, SONG Z Q, WANG B X, et al. Analysis of combining ability of main agronomic characteristics of several new bred male sterile lines and restorer lines in hybrid rice (*Oryza sativa* L. subsp. indica) [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(2): 209-213. )

[30] 肖长春, 程祖铤, 黄昕颖, 等. 功能型红米恢复系主要农艺性状的配合力和遗传力分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(7): 1876-1884. (XIAO C C, CHENG Z X, HUANG X Y, et al. Analysis of combining ability and heritability of main agronomic traits of functional red rice restorer line [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(7): 1876-1884. )

[31] DAUDI H, SHIMELIS H, MATHEW I, et al. Combining ability and gene action controlling rust resistance in ground nut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 16513.