

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.00620

## 黄淮地区大豆重要亲本间产量的杂种优势、配合力及其遗传基础

杨加银<sup>1,2</sup> 盖钧铭<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>南京农业大学大豆研究所 / 国家大豆改良中心 / 作物遗传与种质创新国家重点实验室, 江苏南京 210095; <sup>2</sup>江苏徐淮地区淮阴农科所, 江苏淮安 223001

**摘要:** 2003—2005 年以选自黄淮地区及美国的 8 个大豆重要亲本品种(系)及其组配的 28 个双列杂交组合为材料, 分析大豆亲本间的产量杂种优势及其配合力, 探讨高优势组合的遗传基础, 包括杂种优势与亲本系数、SSR 标记遗传距离的相关。结果表明: (1) 黄淮地区大豆亲本间存在产量超亲优势, 平均 20.39%, 组合间差异甚大, 变幅为 -5.34%~76.88%, 优选出豫豆 22×晋豆 27、淮豆 4 号×晋豆 27、诱变 30×蒙 90-24, 超亲优势分别为 76.88%、29.90% 和 34.42%, 超标率均在 25.00% 以上, 晋豆 27 和诱变 30 为优秀亲本材料。单株荚数及单株粒数的优势和产量优势相对一致。(2) 大豆亲本间产量杂种优势既与双亲一般配合力之和及特殊配合力有关, 又不完全相关。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, 兼有较高的特殊配合力。单株荚数和单株粒数的情况和产量一致。(3) 按亲本系数聚类 and 按 SSR 标记遗传相似系数聚类揭示的 8 个亲本间的遗传关系相对一致, 均分为两组, 一组包含 6 个黄淮中、南部品种(系), 另一组包含 1 个山西和 1 个美国品种。要获得高优势高产组合, 亲本间必须具有一定的遗传距离, 但遗传距离大并不一定都高产高优势, 还有其他因素决定杂种优势。

**关键词:** 大豆; 产量; 杂种优势; 一般配合力; 特殊配合力; 亲本系数; SSR 标记

## Heterosis, Combining Ability and Their Genetic Basis of Yield among Key Parental Materials of Soybean in Huang-Huai Valleys

YANG Jia-Yin<sup>1,2</sup> and GAI Jun-Yi<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Soybean Research Institute, Nanjing Agricultural University / National Center for Soybean Improvement / National Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup> Huaiyin Institute of Agricultural Sciences of Xuhuai Region, Huaian 223001, China

**Abstract:** In recent years, breeding for hybrid cultivars of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] for utilization of heterosis has been paid great attention, but there are few reports on the fundamental aspects regarding the heterosis in soybeans. In fact, for a real utilization of hybrid soybean, the important prerequisite is high heterosis. Therefore, a fundamental effort in hybrid breeding is the choice of parents and identification of superior hybrid combinations. In this paper, heterosis and combining ability were determined using eight key parental materials, including seven from Huang-Huai region and one from US as well as their 28  $F_1$  diallel crosses in Huai'an, Jiangsu, China from 2003 to 2005, and relationships between  $F_1$  performance and its pedigree-based and SSR-based genetic distances were investigated. The results showed that there were heterobeltiosis in yield among parents in Huang-Huai region with the average heterobeltiosis of 20.39%, and a large difference among hybridized combinations with a range from -5.34% to 76.88%. We screened combinations, among them, Yudou 22 × Jindou 27, Huaidou 4 × Jindou 27, and Youbian 30 × Meng 9024 had the heterobeltiosis in yield of 76.88%, 29.90%, and 34.42%, respectively. Among these parents used above, Youbian 30 and Jindou 27 were the elite. Heterosis of pods per plant and seeds per plant were relatively in accord with yield heterosis. Yield heterosis in parents was related to general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA). One of parents has high GCA or both have high GCA and high SCA in high-yield combinations. Parents-based cluster and SSR-based cluster analysis revealed that genetic relationships for eight parents were basically consistent, and eight parents were classified into two groups, one including six varieties from middle and south of Huang-Huai region, the other

本研究由国家重点基础研究发展规划(973 计划)项目(2006CB101708, 2009CB118404), 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA100104, 2009AA101106), 国家自然科学基金项目(30671266), 国家科技支撑计划项目(2006BAD13B05-7), 高等学校创新引智计划项目(B08025)资助。

\* 通讯作者(Corresponding author): 盖钧铭, E-mail: sri@njau.edu.cn; Tel: 025-84395405

第一作者联系方式: E-mail: yjysoy@yahoo.com.cn

Received(收稿日期): 2008-09-26; Accepted(接受日期): 2008-12-13.

consisting of one from Shanxi and one from America. Therefore, certain genetic distance is require for a cross with high heterosis and high yield, but genetic distance is not an only determinant factor for high-yield heterosis.

**Keywords:** Soybean; Yield; Heterosis; General combining ability; Specific combining ability; Coefficient of parentage; SSR marker

Wentz等<sup>[1]</sup>最早在 1924 年就报道了大豆产量的杂种优势超亲现象。Veatch<sup>[2]</sup>研究表明, 产量高亲优势率达 19.6%; 东北农学院大豆课题组 1977 年报道大豆产量中亲优势为 11.2%<sup>[3]</sup>; Palmer等<sup>[4]</sup>统计 5 个多年多点重复试验的 73 个组合中, 有 36 个 $F_1$ 值超过高亲值, 超亲优势最高达 20%。Leffel等<sup>[5]</sup>最早在 1958 年就报道大豆配合力分析结果, 得出单株粒重和百粒重有显著的一般配合力, 百粒重还有显著的特殊配合力, 一般配合力比其特殊配合力大很多。20 世纪 80 年代, 国内开展了对大豆亲本配合力的分析<sup>[6-7]</sup>。前人对于大豆配合力的研究, 侧重分析不同性状的配合力特点, 或估计有关遗传参数。

近年来, 国内已有选育成功大豆杂种品种的报告, 吉林省农业科学院已审定的杂交豆 1 号在两年区域试验中平均产量 3 265.5 kg hm<sup>-2</sup>, 比对照吉林 30 增产 21.9%<sup>[8]</sup>。随着大豆杂交种选育成功, 从杂种优势利用角度, 分析大豆重要亲本产量性状的配合力显得十分迫切。但由于人工杂交的困难(费时、费工), 有关多环境(多年、多点)下大豆产量性状的杂种优势和配合力, 特别是相关的遗传基础研究甚为鲜见。选育高优势大豆杂交种的关键是选配亲本, 因为亲本间的遗传差异反映了 $F_1$ 可能的杂合程度。遗传距离作为一种对生物遗传差异的定量描述, 人们不断探寻测度遗传距离的有效指标和方法, 并揭示其与杂种优势的内在联系, 以有效地选择杂交亲本, 提高杂交种选育效率。 $F_1$ 杂种优势是亲本间遗传多样性利用的一个特例, 根据系谱信息计算出的亲本系数(coefficient of parentage, COP)也是遗传距离评价的常用方法之一。亲本系数是指一个体任意位点上来自双亲的两个等位基因属于后裔相同的概率。对于已知系谱信息的自花受粉作物, COP分析是一种简便的评价遗传距离的方法, 大豆上已有报道主要从家系品种选育出发通过亲本系数探讨亲本选配<sup>[9-11]</sup>, 但对亲本系数与杂种优势关系的研究还鲜有报道。

利用分子标记可以准确地估计亲本遗传多样性和遗传距离。分子标记已应用于玉米、水稻等作物遗传距离与杂种优势的相关研究, 但迄今尚未见明确的结论, 有的研究发现遗传距离与杂种优势存在高度相关性<sup>[12-13]</sup>, 也有研究表明遗传距离与杂种优

势表现的相关性较低<sup>[14-16]</sup>。大豆是由古四倍体演变而来的二倍体自花受粉作物<sup>[17]</sup>, 遗传距离与杂种优势的关系可能与其他作物, 如玉米、水稻等有所不同, 但目前还鲜见关于遗传距离与大豆杂种优势关系的报道。

黄淮地区是我国大豆主要产区, 常年大豆种植面积为 241.5 万公顷。20 世纪 80—90 年代黄淮地区育成一批优良夏大豆品种, 包括新审定的特点鲜明的大豆品种以及过去的一些主栽品种。本研究以连续 3 年田间产量试验, 预测大豆 $F_1$ 杂种优势的可能性, 从而为大豆杂交亲本选配与杂种优势利用提供依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2002—2004 年每年以国内黄淮地区 7 个省(市)育成的 7 个重要夏大豆品种(系)(6 个来自黄淮中、南部, 1 个来自黄淮北部)和 1 个美国优良品种为材料, 按Griffing双列杂交设计IV, 配成 28 个 $F_1$ 杂种组合(表 1), 为来年田间试验提供种子。

### 1.2 试验设计

2003—2005 年在江苏淮阴农科所(N33°38', E119°09')大豆试验田, 亲本为 3 行区, 杂种(组合)为 1 行区, 每个亲本或组合两侧种植中豆 20, 作为保护行, 行长 2.5 m, 行距 0.5 m, 随机区组设计, 3 次重复。播种期为 6 月中旬。田间管理按常规生产技术。成熟后, 从小区中间取 10 株考种, 其余全部收获混脱晒干, 测定籽粒产量。除小区籽粒产量与百粒重为每重复每小区 1 个观察值外, 其余性状都是每重复每小区 10 个观察值。

### 1.3 基因组 DNA 提取与纯化

采集 8 个亲本材料的嫩叶片, 立即用液氮研磨处理并置-70℃冰箱备用, 参照Doyle等<sup>[18]</sup>的CTAB法提取与纯化总DNA。

### 1.4 引物筛选与合成

选取均匀分布于大豆 20 个连锁群上的 300 对 SSR 引物, 每个连锁群平均 15 对, 按照 Soybase 网址(<http://soybase.agron.iastate.edu/ssr.html>)上提供的大豆微卫星序列合成引物。

表 1 亲本品种(系)名称及其系谱  
Table 1 Parental cultivars (lines) and their pedigrees

品种 Cultivar	代号 Code	系谱 Pedigree	来源 Origin	熟期组 MG	产量 Yield (kg hm <sup>-2</sup> )
淮豆 4 号 Huaidou 4	P <sub>1</sub>	灌豆 1 号×诱变 30 Guandou 1×Youbian 30 灌豆 1 号 (苏豆 1 号×徐豆 1 号) Guandou 1 (Sudou 1×Xudou 1) 徐豆 1 号 (铜山天鹅蛋选系 126×Mamotan) Xudou 1 (Tongshantianedan line 126×Mamotan) 苏豆 1 号 (南农 493-1×58-161) Sudou 1 (Nannong 493-1×58-161)	中国江苏 Jiangsu, China	MG III2	2116.6
中豆 19 Zhongdou 19	P <sub>2</sub>	(暂编 20×南农 1138-2)F <sub>5</sub> ×(南农 493-1×徐豆 1 号) F <sub>5</sub> (Zanbian 20×Nannong 1138-2)F <sub>5</sub> ×(Nannong 493-1×Xudou 1) F <sub>5</sub>	中国湖北 Hubei, China	MG IV	1727.4
诱变 30 Youbian 30	P <sub>3</sub>	(58-161×徐豆 1 号)F <sub>3</sub> 的辐射选系 (58-161×Xudou 1) F <sub>3</sub> irradiation line 58-161(滨海大白花选系) 58-161 (Binhaidabaihua line)	中国北京 Beijing, China	MG III2	1991.3
荷豆 12 Hedou 12	P <sub>4</sub>	跃进 5 号×荷 7513-1-3 Yuejin 5×He 7513-1-3 跃进 5 号 (定陶平顶大黄豆选系 62-156 变异株) Yuejin 5 (Dingtaopingdingdahuangdou line 62-156 Variant) 荷 7513-1-3 (科系 5 号×SRF) He 7513-1-3 (Kexi 5×SRF) 科系 5 号 (58-161×徐豆 1 号) Kexi 5 (58-161×Xudou 1)	中国山东 Shandong, China	MG III2	1763.7
蒙 90-24 Meng 90-24	P <sub>5</sub>	蒙 84-5×中品 661 Meng 84-5×Zhongpin 661 蒙 84-5 (徐豆 1 号×海白花) Meng 84-5 (Xudou 1×Haibaihua)	中国安徽 Anhui, China	MG III2	1560.2
豫豆 22 Yudou 22	P <sub>6</sub>	郑 87174×郑 84240 Zheng 87174×Zheng 84240 郑 87174 (郑 85349×郑 86263) Zheng 87174 (Zheng 85349×Zheng 86263) 郑 85349 (郑 80086×郑 74046) Zheng 85349 (Zheng 80086×Zheng 74046) 郑 80086 (郑 76064×四角齐) Zheng 80086 (Zheng 76064×Sijiaoqi) 郑 76064 (郑 7104×滑绿豆) Zheng 76064 (Zheng 7104×Hualüdou) 郑 86263 (郑长叶 18×美-2) Zheng 86263 (Zhengchangye 18×Mei-2) 郑 84240 (郑 80224×油 83-19) Zheng 84240 (Zheng 80224×You 83-19) 郑 80224 (跃进 5×郑 77249) Zheng 80224 (Yuejin 5×Zheng 77249) 郑 77249 (郑 74046×郑 76066) Zheng 77249 (Zheng 74046×Zheng 76066) 郑 74046 (郑 135×泗豆 2 号) Zheng 74046 (Zheng 135×Sidou 2) 郑 135 (四角齐×早丰 1 号) Zheng 135 (Sijiaoqi×Zaofeng 1) 早丰 1 号 (莒选 23×5905) Zaofeng 1 (Juxuan 23×5905) 郑 76066 (郑 7104×徐豆 1 号) Zheng 76066 (Zheng 7104×Xudou 1) 郑 7104 (沁阳水白豆×齐黄 13) Zheng 7104 (Qinyangshuibaidou×Qihuang 13)	中国河南 Henan, China	MG III2	1615.3
晋豆 27 Jindou 27	P <sub>7</sub>	371×(晋豆 2 号×晋豆 4 号) 371×(Jindou 2×Jindou 4) 371 (通州小黄豆×荆山扑大豆) 371 (Tongzhouxiaohuangdou×Jingshanpudadou) 晋豆 2 号 (榆次黄×丰地黄) Jindou 2 (Yucihuang×Fengdihuang) 晋豆 4 号 (晋豆 202×极早黄) Jindou 4 (Jindou 202×Jizaohuang)	中国山西 Shanxi, China	MG III1	1534.7
Pella	P <sub>8</sub>	L66L-137×Calland L66L-137 (Wayne×L57-0034) Wayne (L49-4091×Clark) L57-0034 (Clark×Adams) L49-4091 [(Lincoln (2)×Richland)F <sub>3</sub> ×(Lincoln×CNS)F <sub>1</sub> ] Adams (Illini×Dunfield) Calland (C1253×Kent) C1253 (Blackhawk×Harosoy) Clark [Lincoln (2)×Richland] Harosoy [Mandarin (Ottawa)(2)×A.K. (Harrow)] Kent (Lincoln×Ogden) Blackhawk (Mukden×Richland)	美国 USA	MG II2	1267.1

MG: maturity group. The yields of the parental materials were obtained from the present study.

## 1.5 PCR 扩增与检测

PCR扩增体系含基因组DNA (50 ng) 3.0 μL, 引物(5'端和 3'端) 3.0 μL, 10 mol L<sup>-1</sup> dNTP 0.24 μL, 10×PCR buffer 1.5 μL, 25 mol L<sup>-1</sup> Mg<sup>2+</sup> 0.8 μL, 0.5 U Taq DNA聚合酶 0.1 μL, 以超纯水补齐 10 μL。整个反应于PTC-225 型PCR仪上进行, 其程序为 94 预变性 3 min; 95 变性 1 min, 55 退火 110 s, 72 延伸 60 s; 30 个循环, 72 延伸 8 min, 4 保存。PCR产物加Loading buffer 2 μL, 在 8.0%聚丙烯酰胺凝胶上电泳, 以银染显色, 凝胶成像系统(BIO-RAD

visadoc 3.0)观察、照相。

## 1.6 杂种优势分析

中亲优势  $MPH = (F_1 - MP) / MP \times 100\%$ , MP为中亲值,  $t = (F_1 - MP) / (1.225 \times SE)$  (SE为标准误)。超亲优势  $HPH = (F_1 - HP) / HP \times 100\%$ , HP为优亲或高亲值,  $t = (F_1 - HP) / (1.414 \times SE)$ 。超标率  $OSR = (F_1 - CK) / CK \times 100\%$ , CK为对照值。

## 1.7 方差分析与配合力分析

将 3 年作为 3 个不同的环境进行统计分析。根据 Griffing 方法 IV 固定模型 I<sup>[19]</sup>, 采用 DIALLEL-

SAS05<sup>[20]</sup>软件进行3年数据的联合方差与配合力分析。模型为 $Y_{ijkl} = \mu + c_k + b_l + g_i + g_j + s_{ij} + (gc)_{ik} + (gc)_{jk} + (sc)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$ 。

式中,  $Y_{ijkl}$  = 每年试验性状观察值(亲本*i*、亲本*j*、年份*k*和区组*l*),  $\mu$  = 群体平均值,  $c_k$  = 年份*k*的效应,  $b_l$  = 区组*l*的效应,  $g_i$  = 亲本*i*的一般配合力,  $g_j$  = 亲本*j*的一般配合力,  $s_{ij}$  = 亲本*i*和亲本*j*杂种的特殊配合力,  $(gc)_{ik}$  = 亲本*i*的一般配合力与年份*k*的互作,  $(gc)_{jk}$  = 亲本*j*的一般配合力与年份*k*的互作,  $(sc)_{ijk}$  = 亲本*i*和亲本*j*的特殊配合力与年份*k*的互作,  $\varepsilon_{ijkl}$  = 剩余效应。

### 1.8 相关分析和亲本系数

进行亲本与杂种产量性状之间、亲本配合力、遗传距离与杂种产量性状表现及杂种优势之间的简单相关分析。

对8个亲本品种(系)系谱追踪, 直到无法查询。按Cox等<sup>[9]</sup>方法计算8个亲本成对组合的亲本系数COP。采用类平均法(UPGMA)对COP矩阵(8×8)进行聚类分析, 用(1 - COP)矩阵表示系谱遗传距离矩阵。

### 1.9 分子标记遗传距离

根据SSR引物在8个亲本品种(系)中PCR扩增结果, 在相同迁移位置上有带的量化为1, 无带的量化

为0。成对品种相似系数( $GS_{ij}$ )用Nei和Li算法<sup>[21]</sup>,  $GS_{ij} = 2N_{ij} / (N_i + N_j)$ , 其中 $N_{ij}$ 为两个品种共有的条带数,  $N_i$ 和 $N_j$ 分别为第*i*和第*j*个品种各自的条带数。遗传距离 $GD_{SSR} = 1 - GS_{ij}$ 。采用类平均法对相似系数矩阵进行聚类分析, 对聚类分析的结果计算共表型相关系数(co-phenotypic correlation coefficient)矩阵, 两个矩阵之间的相似性采用相关分析, 应用Mantel *t* 测验进行统计学检验。采用NTSYS-pc软件<sup>[22]</sup>完成统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂种组合的产量比较和杂种优势分析

2.1.1 杂种组合产量方差 对各年份杂种组合产量进行误差均方同质性测验, 样本卡方值=4.562 ( $P > 0.05$ ), 各年份间差异不显著, 可进行联合方差分析。方差分析结果表明(表2), 产量性状在基因型(杂种组合)间存在极显著差异; 基因型(组合)与环境(年份)间互作的差异亦达到极显著水平, 不同年份有不同的产量表现, 多年试验有利于提高试验的精确度。对各组合逐个分析表明, 高产组合在年份间产量相对较稳定。

表2 3年试验的产量性状方差分析  
Table 2 Analysis of variance of yield-related traits performance in three years

变异来源 Source of variation	df	SS			MS			F		
		产量 Yield	单株粒重 YPP	百粒重 100SW	产量 Yield	单株粒重 YPP	百粒重 100SW	产量 Yield	单株粒重 YPP	百粒重 100SW
基因型 Genotype	27	100972.56	1974.19	704.16	3739.72	73.12	704.16	35.55**	17.77**	81.51**
环境 Environment	2	185368.29	4102.61	881.50	92684.14	2051.31	881.50	881.18**	498.59**	1377.44**
重复 Replication	6	2127.78	120.39	5.28	354.63	20.07	5.28	3.37**	4.88**	2.75*
基因型×环境 Genotype×environment	54	128201.25	408.64	227.04	2374.09	7.57	227.04	22.57**	1.84**	13.14**
误差 Error	162	17039.48	666.50	51.84	105.18	4.11	51.84			

YPP: yield per plant; 100SW: 100-seed-weight. \* and \*\*: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.1.2 杂种组合优势 8个亲本品种(系)的产量见表1。28个杂种组合产量表现及其中亲、超亲优势与超标率见表3。(1) 平均中亲优势为31.57%, 变幅为-0.52%~81.41%。除1个组合为负向优势外, 27个组合具有正向优势。有23个组合达到显著或极显著水平, 占82%。(2) 平均超亲优势为20.39%, 变幅为-5.34%~76.88%。有13个组合达极显著水平, 占46%。其中有以晋豆27为亲本的组合5个, 占18%, 说明亲本晋豆27具有较好的产量配合力。杂种组合豫豆22×晋豆27、蒙90-24×晋豆27、荷豆12×晋豆

27表现尤其突出。(3) 平均超标率为4.72% (与对照中豆20相比), 变幅为-22.48%~35.46%。除9个组合负向超标外, 其余19个组合正向超标, 有13个组合达到显著或极显著水平, 占46%。(4) 在产量构成因素中, 单株荚数平均超亲优势为29.91%, 变幅为-11.53%~63.49%, 26个组合具有正向优势, 占93%; 单株粒数平均超亲优势为34.68%, 变幅为-14.7%~81.65%, 27个组合具有正向优势, 占96%; 百粒重平均超亲优势为-10.4%, 变幅为-21.8%~11.59%, 仅2个组合具有正向优势。说明单株粒数杂种优势

最强, 单株荚数次之, 百粒重最弱。

产量位居前 3 位的杂种组合为豫豆 22×晋豆 27、淮豆 4 号×晋豆 27、诱变 30×蒙 90-24, 其产量分别为 2 857.2、2 749.7 和 2 676.6 kg hm<sup>-2</sup>, 超亲优势分别为 76.88%、29.90%和 34.42%, 超标率均在 25.00% 以上。

上述结果表明黄淮地区大豆亲本间产量超亲优势较为普遍, 且组合间差别较大, 所以需在较多的组合中筛选, 才可能获得优良的杂交种。同时, 也说明产量优势主要来自单株荚数和单株粒数的增加。因此在选配亲本时, 应考虑亲本的单株荚数和粒数, 保证获得足够的产量优势。

表 3 28 个组合产量及产量性状 3 年平均杂种优势表现  
Table 3 Average heterosis of yield and related traits in three years in 28 crosses

组合 Cross	产量Yield(kg hm <sup>-2</sup> )		产量 Yield			单株荚数 PPP	单株粒数 SPP	百粒重 100SW
	HP	MPV	MPH%	HPH%	OSR%	HPH%	HPH%	HPH%
P <sub>1</sub> ×P <sub>2</sub>	2321.7	1922.1	20.80**	9.69	10.07*	-0.68	10.87	-5.52
P <sub>1</sub> ×P <sub>3</sub>	2269.5	2053.9	10.50*	7.23	7.60	16.51*	29.32**	-3.75
P <sub>1</sub> ×P <sub>4</sub>	2106.9	1940.3	8.60	-0.45	-0.11	3.67	5.80	-9.28
P <sub>1</sub> ×P <sub>5</sub>	2360.7	1838.4	28.41**	11.54*	11.92**	7.15	3.06	-10.10
P <sub>1</sub> ×P <sub>6</sub>	2354.1	1866.0	26.16**	11.23	11.61*	37.79**	50.93**	-9.89
P <sub>1</sub> ×P <sub>7</sub>	2749.7	1825.7	50.61**	29.90**	30.35**	54.37**	77.54**	-17.70
P <sub>1</sub> ×P <sub>8</sub>	2324.9	1691.9	37.42**	9.84	10.22*	26.50**	36.16**	-16.20
P <sub>2</sub> ×P <sub>3</sub>	2248.8	1859.4	20.95**	12.94*	6.62	63.49**	75.73**	-12.60
P <sub>2</sub> ×P <sub>4</sub>	1773.5	1745.6	1.60	0.55	-15.92	2.20	3.05	-13.00
P <sub>2</sub> ×P <sub>5</sub>	1635.2	1643.9	-0.52	-5.34	-22.48	-11.53	-14.70	-3.71
P <sub>2</sub> ×P <sub>6</sub>	1740.0	1671.5	4.11	0.73	-17.51	16.10*	17.61*	-3.47
P <sub>2</sub> ×P <sub>7</sub>	2335.1	1631.1	43.16**	35.17**	10.70*	44.98**	48.82**	-11.10
P <sub>2</sub> ×P <sub>8</sub>	1804.4	1497.3	20.51**	4.45	-14.46	33.02**	38.69**	-14.50
P <sub>3</sub> ×P <sub>4</sub>	2288.1	1877.6	21.87**	14.91*	8.48	20.41*	19.61*	-10.20
P <sub>3</sub> ×P <sub>5</sub>	2676.6	1775.7	50.74**	34.42**	26.90**	8.53	17.72**	-14.60
P <sub>3</sub> ×P <sub>6</sub>	2436.6	1803.3	35.11**	22.36**	15.52**	47.83**	61.98**	-10.90
P <sub>3</sub> ×P <sub>7</sub>	2413.9	1762.9	36.92**	21.23**	14.44**	53.40**	67.12**	-16.70
P <sub>3</sub> ×P <sub>8</sub>	2295.9	1629.2	40.92**	15.30*	8.85*	62.42**	70.44**	-17.00
P <sub>4</sub> ×P <sub>5</sub>	2140.2	1662.0	28.78**	21.35**	1.47	7.60	15.30**	-18.20
P <sub>4</sub> ×P <sub>6</sub>	1822.8	1689.6	7.89	3.35	-13.58	6.65	19.16**	-16.80
P <sub>4</sub> ×P <sub>7</sub>	2524.9	1649.3	53.11**	43.16**	19.71**	56.38**	57.97**	-21.80
P <sub>4</sub> ×P <sub>8</sub>	2131.5	1515.5	40.66**	20.85**	1.05	41.56**	52.18**	-19.90
P <sub>5</sub> ×P <sub>6</sub>	2199.9	1587.8	38.56**	36.19**	4.30	8.13	5.36	-5.64
P <sub>5</sub> ×P <sub>7</sub>	2381.9	1547.4	53.93**	52.67**	12.93**	25.42**	25.01**	11.59**
P <sub>5</sub> ×P <sub>8</sub>	2097.6	1413.6	48.39**	34.45**	-0.55	18.06**	18.91**	3.21
P <sub>6</sub> ×P <sub>7</sub>	2857.2	1575.0	81.41**	76.88**	35.46**	58.43**	81.65**	-7.68
P <sub>6</sub> ×P <sub>8</sub>	2089.1	1441.2	44.95**	29.32**	-0.96	31.26**	46.40**	-11.40
P <sub>7</sub> ×P <sub>8</sub>	1798.5	1400.9	28.39**	17.19*	-14.73	41.78**	29.45**	-4.39
平均 Mean	2220.6	1697.1	31.57	20.39	4.72	29.91**	34.68**	-10.40

HP: hybrid performance; MPV: mid-parental value; MPH: mid-parent heterosis; HPH: high-parent heterosis; OSR: over standard rate; PPP: pods per plant; SPP: seeds per plant; 100SW: 100-seed-weight. \*and\*\*: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.2 杂种优势的亲本配合力基础

2.2.1 配合力方差分析 表 4 表明, 产量一般配合力效应(GCA)、特殊配合力效应(SCA)、GCA

与年份互作效应、SCA 与年份互作效应均达极显著水平。且 GCA 与年份互作大于 SCA 与年份互作。

表 4 3 年产量数据的配合力方差分析  
Table 4 Analysis of variance of combining ability of yield in three years

变异来源 Source of variation	df	SS	MS	F
组合×年份 Cross × year	54	128201.25	2374.09	22.57**
一般配合力 GCA	7	58612.02	8373.15	79.61**
特殊配合力 SCA	20	42360.54	2118.03	20.14**
一般配合力×年份 GCA × year	14	65315.87	4665.42	44.36**
特殊配合力×年份 SCA × year	40	62885.38	1572.13	14.95**
误差 Error	162	17039.48	105.18	

GCA: general combining ability; SCA: specific combining ability. \*\*: significant at the 0.01 probability level.

2.2.2 杂种组合的配合力构成 8 个亲本的 GCA 效应值见表 5。产量 GCA 效应值极显著正值的亲本材料是晋豆 27、诱变 30 和淮豆 4 号。

28 个杂种组合中, 产量 SCA 效应值极显著的前 3 位分别为豫豆 22×晋豆 27、诱变 30×蒙 90-24 和淮豆 4 号×中豆 19。

进一步对亲本 GCA 值和组合 SCA 值进行比较, GCA 效应值较高的诱变 30 和最高的晋豆 27 所配的组合的 SCA 值为中等, GCA 值最低的中豆 19 和较

低的 Pella 所配组合的 SCA 效应值也中等; 另一方面, SCA 值最高的 3 个组合的双亲 GCA 效应为中/高、高/中、高/低; SCA 效应值显著的绝大多数组合具有 GCA 效应值显著的亲本。

双亲一般配合力效应之和见表 5, 前 3 位的亲本组合分别为诱变 30×晋豆 27、淮豆 4 号×晋豆 27 和淮豆 4 号×诱变 30。

8 个高产高优势组合及对应亲本的配合力构成列于表 6, 高产优势组合中, 双亲之一有较高的 GCA

表 5 8 个亲本间产量 GCA 和 SCA 效应的估计值  
Table 5 Estimates of GCA and SCA effects in yield of the eight parental materials

亲本 Parent	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	GCA
P <sub>1</sub>	—	-8.263	22.526	2.065	9.888	9.972	27.322	-0.673	10.473**
P <sub>2</sub>	14.858**	—	-6.683	-27.144	-19.321	-19.237	-1.887	-29.882	-18.736
P <sub>3</sub>	-19.271	8.560	—	3.646	11.469	11.552	28.902	0.907	12.053**
P <sub>4</sub>	-9.649	-2.673	0.854	—	-8.992	-8.909	8.441	-19.554	-8.408
P <sub>5</sub>	-0.555	-19.713	18.931**	3.625	—	-1.086	16.264	-11.731	-0.585
P <sub>6</sub>	-1.076	-12.807	2.842	-17.614	-0.298	—	16.348	-11.647	-0.501
P <sub>7</sub>	7.939	9.510	-16.019	11.848*	-5.515	26.085**	—	5.703	16.849**
P <sub>8</sub>	7.617	2.126	4.103	13.609**	3.524	2.869	-33.848	—	-11.146

GCA 为亲本的一般配合力; 下三角为双亲的特殊配合力, 上三角为双亲的一般配合力之和。

GCA: general combining ability of a parent; SCA values between two parents are below the diagonal, the sum of GCA of two parents are above the diagonal. \*and\*\* denote significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

表 6 8 个高产高优势组合的配合力效应组成  
Table 6 Composition of combining ability values in eight crosses with high yield and high heterosis

组合 Cross	均值 Mean(kg hm <sup>-2</sup> )	HPH %	GCA <sub>i</sub>	GCA <sub>j</sub>	GCA <sub>i</sub> +GCA <sub>j</sub>	SCA <sub>ij</sub>
P <sub>1</sub> ×P <sub>7</sub>	2749.7	29.90	10.473**	16.849**	27.322	7.939
P <sub>2</sub> ×P <sub>7</sub>	2335.1	35.17	-18.736	16.849**	-1.887	9.510
P <sub>3</sub> ×P <sub>5</sub>	2676.6	34.42	12.053**	-0.585	11.468	18.931**
P <sub>3</sub> ×P <sub>6</sub>	2436.6	22.36	12.053**	-0.501	11.552	2.842
P <sub>3</sub> ×P <sub>7</sub>	2413.9	21.23	12.053**	16.849**	28.902	-16.019
P <sub>4</sub> ×P <sub>7</sub>	2524.9	43.16	-8.408	16.849**	8.441	11.848**
P <sub>5</sub> ×P <sub>7</sub>	2381.9	52.67	-0.585	16.849**	16.264	-5.515
P <sub>6</sub> ×P <sub>7</sub>	2857.2	76.88	-0.501	16.849	16.348	26.085**

GCA: general combining ability; SCA: specific combining ability. \*\*: significant at the 0.01 probability levels.

或双亲具有较高的 GCA 效应之和, 双亲间一般还兼具有较高的 SCA。

2.2.3 杂种优势、配合力及组合表现之间的相关

杂种组合表现与配合力相关分析结果(表 7)表明, 杂种组合所有产量性状与双亲一般配合力之和均呈极显著正相关, 且相关程度较高; 除百粒重之外, 其他产量性状与双亲的特殊配合力亦呈极显著正相关, 相关程度中等。组合产量性状, 除百粒重之外, 中亲优势、超亲优势与双亲一般配合力效应之和均呈显著或极显

著正相关, 但相关程度不高; 所有产量性状中亲优势、超亲优势与亲本的特殊配合力亦呈显著或极显著正相关, 且相关程度较高; 亲本性状, 除百粒重外, 与一般配合力效应之间无显著相关, 亲本自身表现好坏并不反映它们的一般配合力; 相关分析结果与杂种配合力分析结果一致, 大豆产量杂种优势既与双亲一般配合力之和及特殊配合力有关, 又不完全相关, 但高优势组合至少须有其中之一高, 另一个中等。单株荚数和单株粒数的情况和产量一致, 百粒重则有所不同。

表 7 产量性状杂种优势和配合力的相关系数  
Table 7 Correlation coefficients between hybrid heterosis and combining ability in yield-related traits

性状 Trait	MPH-GCA <sub>sum</sub>	MPH-SCA	HPH-GCA <sub>sum</sub>	HPH-SCA	HP-GCA <sub>sum</sub>	HP-SCA	Parent-GCA
产量 Yield	0.4720*	0.6213**	0.4471*	0.5329**	0.7619**	0.6479**	0.3841
单株荚数 PPP	0.5017**	0.5814**	0.4759*	0.4625*	0.7753**	0.6316**	0.3363
单株粒数 SPP	0.5897**	0.6194**	0.5522**	0.5607**	0.7522**	0.6588**	0.2280
百粒重 100SW	0.2490	0.6106**	0.3010	0.5120**	0.9681**	0.2502	0.9594**

GCA<sub>sum</sub>: total of GCA values of the two parents. \* and \*\*: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Abbreviations as in Table 3.

2.3 优异组合优异亲本的遗传基础

2.3.1 亲本品种(系)间的聚类分析 根据 8 个亲本间系谱关系 COP 值, 应用类平均法聚类(图 1)。对聚类图分别计算共表型相关系数矩阵, COP 矩阵和它的聚类图的共表型相关系数矩阵之间的相关系数为 0.9650, 经近似的 Mantel *t* 测验, *t* = 4.1672, 概率为 1.0000, 说明品种(系)聚类图反映了品种间的相似程度。聚类图 1 在 COP 系数为 0.13 处划分为 2 个类群, 类群 I 包括黄淮中南部的 6 个品种(系), 含有黄淮地区核心祖先亲本铜山天鹅蛋的血缘; 类群 II 为黄淮北部的品种晋豆 27 和美国品种 Pella, 属于早熟类型大豆, 不含黄淮地区核心祖先亲本铜山天鹅蛋的血缘。

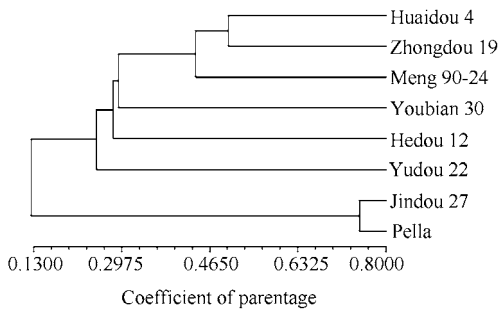


图 1 基于亲本系数的亲本品种(系)聚类图  
Fig. 1 Dendrogram of eight parental cultivars (lines) based on coefficient of parentage

根据 8 个亲本间的分子标记遗传相似系数, 应

用类平均法聚类(图 2)。对聚类图计算共表型相关系数矩阵, 相似系数矩阵和共表型相关系数矩阵之间的相关系数为 0.8817, 经近似的 Mantel *t* 测验, *t* = 3.9931, 概率为 1.0000。说明品种(系)聚类图反映了品种间的相似程度。若以 Nei & Li 相似系数 0.22 划分, 则可划分为 2 个类群, 类群 I 包括黄淮中、南部的 6 个品种(系), 含有黄淮地区核心祖先亲本铜山天鹅蛋的血缘。进一步分类, 淮豆 4 号、诱变 30 和荷豆 12 为一类, 含有黄淮地区核心祖先亲本 58-161 的血缘; 中豆 19、蒙 90-24 和豫豆 22 为另一类。类群 II 包括黄淮北部的品种晋豆 27 和美国品种 Pella, 属于早熟类型大豆。追溯晋豆 27 的亲本来源, 含有东北 3 个祖先亲本, 即吉林嘟噜豆、辽宁金元和吉林四粒黄的血缘。追溯美国品种 Pella 的亲本来源, 含有来自中国东北的原始亲本, 如 Mandarin(黑龙江

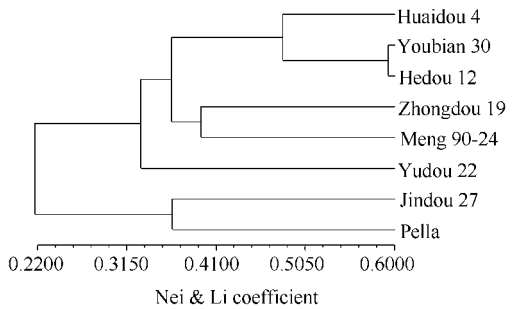


图 2 基于分子标记相似系数的亲本品种(系)聚类图  
Fig. 2 Dendrogram of eight parental cultivars (lines) based on Nei & Li's similarity coefficient based on SSR data

绥化四粒黄)、A.K.(东北大豆)、Richland(引自吉林长岭)、Mukden(沈阳小金黄)的血缘。两个品种间可能有共同的中国东北亲缘关系。

以上亲本系数聚类 and 分子标记遗传相似系数聚类相对一致地说明了杂种组合亲本间的遗传关系。

2.3.2 亲本品种(系)间的系谱遗传距离和 SSR 标记遗传距离 在 8 个亲本的 28 个组合中, 46.43% 组合的亲本间 COP 值为 0, 变异范围 0~0.6876, 平均值仅为 0.2321, 表明总体上亲本品种(系)间遗传相似性不高, 系谱遗传差异大。亲本品种淮豆 4 号与中豆 19 间的遗传相似性最高(COP = 0.6875), 假定国内品种与美国品种间无亲缘关系, 遗传相似性最低(COP = 0)。亲本间系谱遗传距离(1 - COP)为 0.3124~1.0000, 平均值为 0.7679。

本研究所选用的 300 对 SSR 引物均匀地分布于大豆 20 条连锁群上, 在 8 个亲本间共检测出 1 114

个等位变异, 每对引物检测出 2~7 个等位变异, 平均为 3.7 个。其中, 引物 Sat\_340、Sat\_350、Sat\_383 和 BE801128 均能检测出 7 个等位变异。以 SSR 标记在 8 个亲本之间检测的多态性位点所赋值的 0, 1 数据计算 8 个亲本间成对相似系数为 0.1365~0.5623, SSR 标记遗传距离 0.4376~0.8635, 平均 0.6877。从表 8 可以看出, 亲本 P<sub>1</sub>(淮豆 4 号)与 P<sub>8</sub>(Pella)的遗传距离最大, 为 0.8635; 而亲本 P<sub>1</sub>(淮豆 4 号)与 P<sub>3</sub>(诱变 30)的遗传距离最小, 仅为 0.4376, 主要是因为亲本 P<sub>1</sub>(淮豆 4 号)含有 P<sub>3</sub>(诱变 30)的血缘。

系谱遗传距离平均值高于根据 SSR 标记计算的平均值。分析可能的原因, 亲本系数考虑的是后裔相同(identical by descent)的概率而 SSR 标记遗传距离考虑的是状态相同(identical by state)的概率, 前者概率小于后者, 距离便大于后者。另外也与计算系谱遗传距离的假设有关, 如假设国内品种与美国品种间无亲缘关系。

表 8 8 个大豆亲本间的系谱遗传距离和 SSR 标记遗传距离  
Table 8 Pedigree-based and SSR marker-based genetic distances among eight parental cultivars

亲本 Parent	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>
P <sub>1</sub>		0.3125	0.5000	0.6250	0.5000	0.6563	<b>1.0000</b>	1.0000
P <sub>2</sub>	0.6367		0.5625	0.6250	0.5000	0.7500	<b>1.0000</b>	1.0000
P <sub>3</sub>	0.4376	0.6261		0.5000	<b>0.3750</b>	<b>0.5313</b>	<b>1.0000</b>	1.0000
P <sub>4</sub>	0.6007	0.6427	0.4067		0.6250	0.7813	<b>1.0000</b>	1.0000
P <sub>5</sub>	0.7571	0.6060	<b>0.6133</b>	0.5467		0.6563	<b>1.0000</b>	1.0000
P <sub>6</sub>	0.7271	0.6895	<b>0.6600</b>	0.6500	0.6233		<b>1.0000</b>	1.0000
P <sub>7</sub>	<b>0.8436</b>	<b>0.8130</b>	<b>0.8100</b>	<b>0.7767</b>	<b>0.7300</b>	<b>0.6767</b>		1.0000
P <sub>8</sub>	0.8635	0.8230	0.8233	0.7667	0.7533	0.7167	0.6367	

下三角为标记遗传距离, 上三角为系谱遗传距离; 粗体表示高产高优势组合。

SSR marker-based genetic distance is below the diagonal, and pedigree-based genetic distance is above the diagonal. Bold figures are for the crosses with high yield and high heterosis.

2.3.3 产量性状杂种优势与系谱遗传距离及 SSR 遗传距离的相关 系谱遗传距离与杂种产量中亲、高亲优势分别呈极显著、显著正相关(表 9), 相关系数为 0.5209 和 0.4181, 与单株粒重中亲优势也有关, 但与高亲优势无显著相关; 与百粒重的杂种优势无显著相关。SSR 标记遗传距离与杂种产量及单株粒重中亲优势呈显著正相关, 相关系数为 0.4204 和 0.4591, 但与高亲优势无显著相关; 与百粒重的杂种优势无显著相关。产量杂种优势与两类遗传距离的结果相近, 有一定相关但又不强。进一步分析表 8 的结果, 8 个高产高优势组合的遗传距离均相对较高,

但并不一定最高, 凡与 Pella 相配的组合, 其遗传距离均相对最高, 但其杂种优势并不最强、产量并不高。因此要获得高优势高产组合, 有一定的遗传距离是必须的, 但遗传距离大的并不一定都有高优势、高产。3 个高产高优势组合豫豆 22×晋豆 27、淮豆 4 号×晋豆 27、诱变 30×蒙 90-24 的系谱遗传距离和 SSR 标记遗传距离分别为 1.0000、0.6767, 1.0000、0.8436 和 0.3750、0.6133, 相对均较高。看来决定杂种优势的因素中, 除遗传距离外还有其他因素, 其中生态适应性是十分关键的, Pella 的适应性便不如本地区亲本, 在 8 个亲本中产量最低(表 1)。



表 9 产量性状杂种优势与遗传距离间的相关

Table 9 Correlation coefficients between hybrid heterosis and genetic distance in yield-related traits

距离类型 Distance type	产量 Yield		单株粒重 YPP		百粒重 100SW	
	MPH	HPH	MPH	HPH	MPH	HPH
系谱遗传距离 COP distance	0.5209**	0.4181*	0.5546**	0.3002	0.1136	0.1086
SSR 遗传距离 SSR distance	0.4204*	0.1960	0.4591*	0.1780	0.0055	0.2546

YPP: yield per plant; 100SW: 100-seed-weight. \*and \*\*: significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

### 3 讨论

#### 3.1 关于大豆杂种优势的程度和应用前景

大豆产量杂种优势的程度,是决定大豆杂交种能否走向生产利用的前提。Weiss等<sup>[23]</sup>研究 17 个杂交组合,在温室有 10 个组合产量显著高于高亲,在田间则有 9 个组合有这种表现;  $F_1$  产量在温室平均高于其高亲 32%,但在田间则仅有 14%。Weber等<sup>[24]</sup>研究了 85 个杂交组合,获得产量平均高于中亲 25.1%,高于高亲 13.4%,全距为-39.1%~90.0%,其中有 76.5%的杂交组合高于高亲。马育华等<sup>[25]</sup>以 5 个亲本配制 10 个组合,研究表明  $F_1$  产量高亲优势率平均为 20.9%。盖钧镒等<sup>[7]</sup>以中美 5 个亲本配制 8 个组合,有 5 个组合表现超高亲,高亲优势率为 15.6%。Palmer等<sup>[4]</sup>曾对 1930 年以来单一环境下 14 组试验 456 个不同组合进行过总结,单株平均中亲产量优势为 14%~46%,平均高亲产量优势为 4%~34%。

评价杂交种在生产上的应用价值,多环境下小区产量的测定是十分必要的。Palmer等<sup>[4]</sup>曾对 1961 年以来 5 组 73 个组合多环境试验结果做过归纳,平均中亲产量优势范围 2%~28%,平均高亲产量优势范围-4%~20%。王曙明等<sup>[26]</sup>在 7 个地点测定杂交组合 1 326 个,高亲优势率平均为 6.8%,不同组合之间差异相当大。Burton等<sup>[27]</sup>用两个组合进行 4 年试验,组合 1 平均产量高亲优势为 16%,组合 2 则为 5%。Ortiz-Perez等<sup>[28]</sup>利用昆虫传粉生产大量的大豆杂种种子在多个地点进行有重复的试验,9 个单交组合产量平均高亲优势-41.11%~11.19%,8 个三交组合产量平均高亲优势-25.21%~-4.50%,8 个回交组合产量平均高亲优势-15.65%~41.97%。本研究通过 8 个亲本及其 28 个组合连续 3 年的试验数据分析,得出  $F_1$  产量超亲优势率平均 20.39%,变幅-5.34%~76.88%,优势极显著。综合以上文献结合本文结果表明,大豆产量的杂种优势是客观存在的,组合间有很大差异,关键在于大范围筛选亲本和组合。

Palmer等<sup>[4,29]</sup>认为在培育商业化杂交大豆的生产的 5 个关键因素中,除高亲优势组合的优选外,最关键问题是花粉的有效传递机制。大豆杂种优势利用中目前最紧迫的问题是杂交结实性的改进<sup>[30]</sup>。必须围绕解决花粉供应问题(包括开花受粉特性的遗传改良、造访昆虫传粉的技术等)和筛选优良不育系(尤其细胞质源)提高异交结实性。有人提出通过分子生物学手段来改变大豆的花器官特性,这可能是一个漫长的过程。总之,大豆杂种优势的生产应用要借鉴其他自花受粉作物上成功的经验,通过大规模材料测交配组,鉴定高优势组合,转育不育系和恢复系,在此基础上重点解决杂种种子生产的关键技术问题。

#### 3.2 杂种大豆亲本选配的依据和启迪

由于大豆人工杂交的困难,与其他作物相比较,研究杂种大豆亲本选配方法显得尤其重要。马育华等<sup>[25]</sup>和盖钧镒等<sup>[7]</sup>认为“中国品种×国外品种”优势较强。王曙明等<sup>[26]</sup>从大量配组实践中认为“中国品种×国外品种”组合的杂种优势最强、“本地(引入)品种×引入品种”的组合次之、“本地品种×本地品种”的组合最弱。

育种实践证明,两个优良亲本间组配的杂种并不一定都表现强杂种优势,配合力的高低是杂种选育中亲本选配的重要指标。马育华等<sup>[6]</sup>和盖钧镒等<sup>[7]</sup>指出高亲优势组合具有较好的GCA或SCA;本研究认为,高产、高优势组合中,双亲之一应有较高的GCA或双亲具较高的GCA效应之和,双亲间一般还兼具较高的SCA。

杂种优势与亲本的来源有密切关系,亲本间遗传差异越大杂种优势就越强。人们常用遗传距离表示遗传差异。根据系谱信息计算出的亲本系数(COP)是遗传距离评价的常用方法之一;现时人们着重利用分子标记估计亲本遗传距离。但Cerna等<sup>[14]</sup>认为RFLP估计的遗传距离与籽粒产量之间没有相关性,可能由于与产量QTL相关的标记数较少;张博等<sup>[31]</sup>研究表明,具有部分相同遗传背景的  $F_1$  杂种优势与

亲本间SSR遗传距离间直线相关没有一致的规律性, 可能是因为引物数量少不能充分表现出亲本遗传关系的差别。本研究指出, 高优势高产组合, 双亲间必须具有一定的遗传距离(系谱与标记遗传距离)。但遗传距离大的并不一定都有高优势、高产。

因而, 亲本配合力和亲本间的遗传距离既是杂种组合选配的重要依据, 但又不宜过分依重。要进一步揭示这种关系, 关键在于对双亲的遗传结构或等位变异组成做彻底剖析, 明确配合力和遗传距离的遗传基础。现时强调的分子设计育种将有可能为回答这类问题提供基础。

## 4 结论

黄淮地区大豆亲本间存在产量超亲优势, 优选出豫豆 22×晋豆 27、淮豆 4 号×晋豆 27、诱变 30×蒙 90-24、晋豆 27 和诱变 30 为优秀亲本材料。单株荚数及单株粒数的优势和产量优势相对一致。

大豆亲本间产量杂种优势既与双亲一般配合力之和及特殊配合力有关, 又不完全相关。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, 兼有较高的特殊配合力。单株荚数和单株粒数的情况和产量一致。

依亲本系数聚类法和依 SSR 标记遗传相似系数聚类揭示的 8 个亲本品种(系)间的遗传关系相对一致。要获得高优势高产组合, 亲本间必须具有一定的遗传距离, 但遗传距离大的并不一定都高产高优势。

致谢: 感谢美国 Louisiana State University 的 Manjit S. Kang 教授赠送 DIALLEL-SAS05 分析软件。

## References

- [1] Wentz J B, Stewart R T. Hybrid vigor in soybeans. *J Am Soc Agron*, 1924, 16: 534–540
- [2] Veatch C. Vigor in soybeans as affected by hybridity. *J Am Soc Agron*, 1930, 22: 289–310
- [3] Section of Soybean Research, Department of Agronomy, Northeast Agricultural College (东北农学院农学系大豆课题组). Investigation on heterosis of  $F_1$  of soybean. *Acta Genet Sin* (遗传学报), 1977, 4(3): 228–232(in Chinese with English abstract)
- [4] Palmer R G, Gai J Y, Sun H, Burton J W. Production and evaluation of hybrid soybean. *Plant Breed Rev*, 2001, 21: 263–307
- [5] Leffel R C, Weiss M G. Analysis of diallel crosses among ten varieties of soybean. *Agron J*, 1958, 50: 528–534
- [6] Ma Y-H(马育华), Gai J-Y(盖钧镒), Hu Y-Z(胡蕴珠). Studies on genetic variation of successive generations after hybridization in soybeans: II. Combining ability and related genetic parameters. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1983, 9(4): 249–258(in Chinese with English abstract)
- [7] Gai J-Y(盖钧镒), Ma Y-H(马育华), Hu Y-Z(胡蕴珠). Heterosis and combining ability performed in  $F_1$  and  $F_3$  hybrids between soybean cultivars from the PRC and US. *Soybean Sci* (大豆科学), 1984, 3(3): 183–191 (in Chinese with English abstract)
- [8] Zhao L-M(赵丽梅), Sun H(孙襄), Wang S-M(王曙明), Wang Y-Q(王跃强), Huang M(黄梅), Li J-P(李建平). Breeding of hybrid soybean HybSoy 1. *Chin J Oil Crop Sci* (中国油料作物学报), 2004, 26(3): 15–17(in Chinese with English abstract)
- [9] Cox T S, Kiang Y T, Gorman M B, Rodgers D M. Relationship between coefficient of parentage and genetic similarity indices in the soybean. *Crop Sci*, 1985, 25: 529–532
- [10] Sneller C H. Pedigree analysis of elite soybean lines. *Crop Sci*, 1994, 34: 1515–1522
- [11] Manjarrez-Sandoval P, Carter T E Jr, Webb D M, Burton J W. Heterosis in soybean and its prediction by genetic similarity measures. *Crop Sci*, 1997, 37: 1443–1452
- [12] Smith O S, Smith J S C, Bowen S L, Tenborg R A, Wall S J. Similarities among a group of elite maize inbreds as measured by pedigree,  $F_1$  grain yield, grain yield, heterosis and RFLPs. *Theor Appl Genet*, 1990, 80: 833–840
- [13] Stuber C W, Lincoln S E, Wolff D W, Helentjaris T, Lander E S. Identification of genetic factors contributing to heterosis in a hybrid from two elite maize inbred using molecular markers. *Genetics*, 1992, 132: 823–839
- [14] Cerna F J, Cianzio S R, Rafalski A, Tingey S, Dyer D. Relationship between seed yield heterosis and molecular marker heterozygosity in soybean. *Theor Appl Genet*, 1997, 95: 460–467
- [15] Bohn M, Utz H F, Melchinger A E. Genetic similarities among winter wheat cultivars determined on the basis of RFLPs, AFLPs, and SSRs and their use for predicting progeny variance. *Crop Sci*, 1999, 39: 228–237
- [16] Zhang Q F, Gao Y J, Saghai Maroof M A, Yang S H, Li J X. Molecular divergence and hybrid performance in rice. *Mol Breed*, 1995, 1: 133–142
- [17] Lackey J A. Chromosome numbers in the Phaseoleae (Fabaceae: Faboideae) and their relation to taxonomy. *Am J Bot*, 1980, 67: 595–602
- [18] Doyle J J, Doyle J L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 1990, 12: 13–15
- [19] Ma Y-H(马育华). Basis of Quantitative Trait Genetics for Plant Breeding (植物育种的量变遗传学基础). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1982. pp 376–426 (in Chinese)
- [20] Zhang Y D, Kang M S, Lamkey K R. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron J*, 2005, 97: 1097–1106
- [21] Nei M, Li W H. Mathematical model for studying genetic variation in term of restriction endonucleases. *Proc Natl Acad Sci*

- USA, 1979, 76: 5269–5273
- [22] Rohlf F J. NTSYS-pc: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System (Version 2.10e). New York: Exeter Software, 1989
- [23] Weiss M G, Weber C R, Kalton R R. Early generation testing in soybeans. *J Am Soc Agron*, 1947, 39: 791–811
- [24] Weber C R, Empig L T, Thorne J C. Heterotic performance and combining ability of two-way  $F_1$  soybean hybrids. *Crop Sci*, 1970, 10: 159–160
- [25] Ma Y-H(马育华), Gai J-Y(盖钧镒), Hu Y-Z(胡蕴珠). A study on genetic variability of successive generations after hybridization in soybean: I. Heterosis and inbreeding depression. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1983, 16(5): 1–6 (in Chinese with English abstract)
- [26] Wang S-M(王曙明), Sun H(孙寰), Wang Y-Q(王跃强), Zhao L-M(赵丽梅), Li N(李楠), Fu L-S(付连舜), Li W-D(李卫东), Qi N(齐宁), Xing H(邢邯), Li L(李磊). Studies on heterosis and screening of highly heterotic combinations in soybean: I.  $F_1$  seed yield heterosis and screening of highly heterotic combinations. *Soybean Sci* (大豆科学), 2002, 21(3): 161–167(in Chinese with English abstract)
- [27] Burton J W, Brownie C. Heterosis and inbreeding depression in two soybean single crosses. *Crop Sci*, 2006, 46: 2643–2648
- [28] Ortiz-Perez E, Cianzio S R, Wiley H, Horner H T, Davis W H, Palmer R G. Insect-mediated cross-pollination in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]: I. Agronomic performance. *Field Crops Res*, 2007, 101: 259–268
- [29] Palmer R G, Ortiz-Perez E, Cervantes-Martinez I G, Wiley H, Hanlin S J, Healy R A, Horner H T, Davis W H. Hybrid soybean: Current status and future outlook. In: Proceedings of the 33rd Soybean Seed Research Conference. American Seed Trade Association Seed Expo, 2003
- [30] Gai J-Y(盖钧镒). Genetic Improvement and Germplasm Study of Soybean in China (我国大豆遗传改良和种质研究). In: Science and Technology at the Frontier in China. Beijing: Higher Education Press, 2002. pp 667–684(in Chinese)
- [31] Zhang B(张博), Qiu L-J(邱丽娟), Chang R-Z(常汝镇). Primary study on predicting heterosis by SSR marker distance among soybean cultivars. *Soybean Sci* (大豆科学), 2003, 22(3): 166–171(in Chinese with English abstract)