

大豆亲本差异对杂种 F_1 产量的影响

焦东燕^{1,2}, 刘兵强¹, 闫 龙¹, 杨春燕¹, 王凤敏¹, 张园园^{1,2}, 张孟臣

(1. 河北省农林科学院 粮油作物研究所 国家大豆改良中心石家庄分中心 河北省遗传育种重点实验室, 河北 石家庄 050031; 2. 河北师范大学 生命科学学院, 河北 石家庄 050016)

摘要:以不同来源的36个大豆育成品种为亲本, 配制29个杂交组合, 分析了 F_1 代产量性状之间的杂种优势、亲本间各性状差异与杂种优势的关系、来源地不同的亲本以及亲本间遗传距离的杂种优势表现。结果表明: 大豆产量的杂种优势主要来源于单株荚数和粒数的优势; 单株荚数和单株产量超亲优势显著高于百粒重和株高等性状; 亲本间单株荚数、单株产量和百粒重差异小的后代容易产生较强的杂种优势; 国内×国外品种组合的超高亲优势>黄淮×其它区域品种>黄淮×黄淮品种; 利用覆盖大豆20个连锁群的31对多态性SSR引物对36个亲本进行分析表明, 遗传距离与单株产量呈显著正相关。

关键词:大豆; 亲本差异; 杂种优势; SSR 标记

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2011)04-0574-06

Effect of Soybean Parental Difference on F_1 Yield Heterosis

JIAO Dong-yan^{1,2}, LIU Bing-qiang¹, YAN Long¹, YANG Chun-yan¹, WANG Feng-min¹, ZHANG Yuan-yuan^{1,2}, ZHANG Meng-chen¹

(1. Lab of Crops Genetic Breeding of Hebei, National Soybean Improvement Center Shijiazhuang Sub-Center, Institute of Food and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050031; 2. College of Life Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, Hebei, China)

Abstract: Twenty-nine cross combinations with 36 soybean cultivars were used to explore the heterosis of F_1 hybrids, the relationship between parental characteristics and heterosis, the heterosis expression of parental genetic distance and origins. The results showed that soybean yield heterosis were mainly from pods and seeds number per plant. Over-high-parent heterosis of pods per plant and yield per plant were significantly higher than 100-seed weight and plant height. The offspring which had few differences in pods per plant, yield per plant, 100-seed weight showed higher heterosis. Over-high-parent heterosis of Domestic × Foreign cross were higher than Huanghuai × Other regional cultivar cross and Huanghuai × Huanghuai cross. The 31 polymorphic primers covering 20 linkage groups of soybean were used to analyze 36 parental cultivars, it showed that genetic distance and yield per plant had significant positive correlation.

Key words: Soybean; Parental difference; Heterosis; SSR

大豆是重要的油料和粮食作物。随着人们生活水平的提高和食品业、畜牧业的发展, 对大豆的需求急剧增加, 然而大豆种植面积有限, 因此提高单产是弥补中国大豆缺口的主要途径^[1]。杂种优势已被证明是大幅提高农作物产量的最有效途径之一^[2-4]。大豆杂交种在产量上表现出足够的杂种优势是杂种优势利用的前提之一^[5-8]; 由吉林省农业科学院育成的世界上第1个可商业化应用的大豆杂交种“杂交豆1号”以及相继培育成的“杂交豆2号”、“杂优豆1号”等区域试验比对照增产15.37%~22.7%^[9]。马育华和盖钧镒^[10]以5个亲本配制10个杂交组合, 平均中亲优势59.1%, 平均高亲优势17.2%。贺春林等^[11]

以6个夏大豆品种为亲本配制15个杂交组合, 平均高亲优势达60.5%。Burton^[12]曾对275个组合进行总结, 高亲优势变幅为3.3%~20.2%, 中亲优势变幅为7.9%~35.5%。Metha等^[13]以11个亲本配制12个组合, 单株产量的高亲优势变幅为3.64%~24.9%。上述研究结果表明, 大豆产量的杂种优势是较为明显的。但是这些研究只是侧重分析产量优势的大小, 并未对杂交亲本间差异与杂种一代产量相关性状优势的关系进行研究。该试验分解单株产量构成因素, 分析亲本差异对于杂种优势的影响, 结合SSR标记技术与大豆亲本地理来源差异, 探讨遗传差异与杂种优势的相关性, 为杂交大豆育种提供参考。

收稿日期: 2011-01-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2009AA101106); 河北省农林科学院青年基金资助项目(A09060101)。

第一作者简介: 焦东燕(1981-), 女, 硕士, 研究方向为植物分子遗传学与基因工程。E-mail: jiaodongyan711@163.com。

通讯作者: 张孟臣(1956-), 男, 研究员, 研究方向为大豆遗传育种。E-mail: hbdadou@yahoo.com.cn。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用来自中国黄淮、东北、南方以及美国等不同来源的 36 个育成大豆品种为亲本(表 1)。

1.2 试验方法

1.2.1 田间试验设计 2008 年 6 月于石家庄藁城河北省农林科学院试验田种植亲本,7 月开花时进行

人工杂交,配制了 29 个组合(表 1)。2009 年 6 月,杂交种在田间种植。采用间比法设计,2 次重复,小区行长 1.5 m,行距 50 cm,1 行区,株距 15 cm,单粒点播。对照品种为当地主推优良品种冀豆 12。田间管理同一般大田生产。生育期间调查各生物学性状,收获时除去两端 2 株取中间 10 株室内考种,调查株高、单株荚数、总重、分枝数、百粒重等农艺性状,并全区收获测产。

表 1 杂交组合编号、亲本名称及来源

Table 1 The F₁ code and their parents and origins

组合 Cross	亲本 1 P1	来源 Origin	亲本 2 P2	来源 Origin	F ₁ 单株产量 F ₁ yield per plant/g	组合 Cross	亲本 1 P1	来源 Origin	亲本 2 P2	来源 Origin	F ₁ 单株产量 F ₁ yield per plant/g
1	冀豆 12 Jidou12	黄淮 Huanghuai	绥农 25 Suinong 25	东北 Northeast	7.40	16	冀豆 12 Jidou12	黄淮 Huanghuai	PI547885	国外 Foreign	28.13
2	冀豆 16 Jidou16	黄淮 Huanghuai	中黄 37 Zhonghuang 37	黄淮 Huanghuai	13.98	17	邯豆 5 Handou 5	黄淮 Huanghuai	蒙 9793-1 Meng9793-1	黄淮 Huanghuai	34.20
3	冀豆 17 Jidou17	黄淮 Huanghuai	PI547890	国外 Foreign	30.30	18	郑 92116 Zheng 92116	黄淮 Huanghuai	邯豆 5 Handou5	黄淮 Huanghuai	34.56
4	鉴 31 Jian31	黄淮 Huanghuai	PI591535	国外 Foreign	31.00	19	冀豆 17 Jidou17	黄淮 Huanghuai	Sui05-7466	黄淮 Huanghuai	20.31
5	观 15 Guan15	黄淮 Huanghuai	Williams	国外 Foreign	27.18	20	冀豆 17 Jidou17	黄淮 Huanghuai	PI629008	国外 Foreign	30.71
6	05-203-10	黄淮 Huanghuai	坡黄 Pohuang	黄淮 Huanghuai	9.84	21	冀豆 17 Jidou17	黄淮 Huanghuai	PI547843	国外 Foreign	21.34
7	nf145	黄淮 Huanghuai	D1	黄淮 Huanghuai	45.81	22	冀豆 12 Jidou12	黄淮 Huanghuai	PI591515	国外 Foreign	35.08
8	茶豆 Chadou	黄淮 Huanghuai	宁 66 Ning66	南方 South	10.34	23	中黄 13 Zhonghuang13	黄淮 Huanghuai	7514-3L	黄淮 Huanghuai	27.67
9	郑 8516 Zheng 8516	黄淮 Huanghuai	浙春 3 Zhechun3	南方 South	27.98	24	郑 92116 Zheng 92116	黄淮 Huanghuai	徐豆 15 Xudou15	黄淮 Huanghuai	28.86
10	05-962-2	黄淮 Huanghuai	05-103-2	黄淮 Huanghuai	14.22	25	邯豆 5 Handou 5	黄淮 Huanghuai	徐豆 15 Xudou15	黄淮 Huanghuai	25.80
11	9854-3L	黄淮 Huanghuai	春绿 60 Chunlv60	黄淮 Huanghuai	21.99	26	D1	黄淮 Huanghuai	春绿 60 Chunlv60	黄淮 Huanghuai	21.40
12	冀豆 12 Jidou12	黄淮 Huanghuai	郑 97196 Zheng97196	黄淮 Huanghuai	20.17	27	7514-3L	黄淮 Huanghuai	Williams	国外 Foreign	22.89
13	冀豆 12 LJidou12	黄淮 Huanghuai	中黄 37 Zhonghuang37	黄淮 Huanghuai	29.45	28	7514-3L	黄淮 Huanghuai	坡黄 Pohuang	黄淮 Huanghuai	13.46
14	冀豆 12 Jidou12	黄淮 Huanghuai	PI547875	国外 Foreign	29.09	29	徐豆 15 Xudou15	黄淮 Huanghuai	蒙 9793-1 Meng9793-1	黄淮 Huanghuai	30.42
15	冀豆 12 Jidou12	黄淮 Huanghuai	PI632401	国外 Foreign	48.03						

1.2.2 SSR 分析 将 36 个亲本种子分别取 2~3 粒,按照田清震的方法^[14]进行 DNA 提取和 PCR 扩增。为了全面的反映品种间的遗传关系,在每个大豆连锁群中选择 1~2 个遗传距离相差 50 cM 的 SSR 核心引物对 36 个亲本进行分析。引物合成按照 Soybase 网址([http://soybase. agron. iastate. edu/](http://soybase.agron.iastate.edu/)

ssr. html)上提供的大豆微卫星序列,由上海生工合成。用 SAS、SPSS17.0 和 NTSYS 2.10 软件对数据进行统计分析、计算遗传距离以及聚类分析。

1.2.3 统计分析 超中亲优势(MPH):杂交种(F₁)的产量或某一性状数值与双亲(P1 和 P2)同一性状的平均值差数的比率,计算公式为 MPH = [F₁

$$-1/2(P_1 + P_2)]/1/2(P_1 + P_2) \times 100\%$$

超高亲优势(HPH):杂交种(F_1)的产量或某一性状数值与高值亲本(PH)同一性状数值的差数的比率,计算公式为 $HPH = [F_1 - PH]/PH \times 100\%$

超标率 OSR:杂交种(F_1)的产量或某一性状数值与当地推广品种或对照品种(CK)同一性状数值的差数的比率,计算公式为 $OSR = (F_1 - CK)/CK \times 100\%$

2 结果与分析

2.1 产量构成性状的杂种优势表现

对 29 个组合的单株产量、单株荚数、主茎节数、株高和百粒重 5 个产量性状的方差分析(Fisher's LSD 法)结果表明:除单株荚数与主茎节数的超高优势差异不显著外,单株产量和单株荚数的超高亲、超中亲和超标(与对照冀豆 12 相比)优势显著高于株高、主茎节数和百粒重;单株产量超高亲优势均值达到了 19.2%。其中,单株产量的超高亲优势显著高于株高、百粒重和主茎节数的优势,但与单株荚数差异不显著。单株产量和单株荚数的超中亲和超标优势都显著高于株高、主茎节数和百粒重,但二者无显著差异。株高、主茎节数和百粒重 3 个性状超亲优势不显著(表 2)。

表 3 5 个产量性状杂种优势的相关分析

Table 3 Correlation analysis of five yield heterosis

	株高 PH	主茎节数 NMS	单株荚数 PPP	百粒重 100Wt	单株产量 YPP
株高 PH	—	0.5980 *	0.2662	-0.0896	0.2822
主茎节数 NMS	0.5534 *	—	0.3638	-0.1012	0.2870
单株荚数 PPP	0.2572	0.4019 *	—	0.0170	0.7798 **
百粒重 100Wt	-0.0383	-0.0380	0.0670	—	0.2425
单株产量 YPP	0.2760	0.3224	0.7549 **	0.2697	—

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关;下三角为超高亲优势,上三角为超中亲优势。

* and ** refer to significant correlation at 0.05 and 0.01 probability level, respectively;

Over-high-parent heterosis is below the diagonal and Over-mid-parent heterosis is above the diagonal.

HPH: Dver-high-parent heterosis-MPH; Over-mid-parent heterosis; OSR: Over standard rate; PH: plant height; NMS: node of main stem; PPP: pods per plant; 100Wt: 100-seed weight; YPP: yield per plant, The same as below.

2.2 亲本间各性状差异与杂种优势的关系

5 个产量相关性状的亲本间差异与杂种优势相关分析表明,杂种优势与亲本间单株产量和单株荚数差异大小呈显著负相关(表 4),与百粒重差异呈不显著负相关,表明亲本间产量构成要素性状的差异越小,则杂种一代的超亲优势越大。亲本间株高、主茎节数差异大小与杂种优势相关性不显著。因此,在选配杂交组合时应选择双亲均荚数多、产量高的亲本材料。

表 2 29 个组合产量相关性状杂种优势分析

Table 2 Heterosis of yield-related traits in 29 crosses

产量性状 Yield character	超高优势 HPH	超中优势 MPH	超标优势 OSR
株高 PH	-6.793c	2.894b	21.908b
主茎节数 NMS	-1.258bc	7.398b	11.729b
单株荚数 PPP	14.397ab	30.183a	53.998a
百粒重 100Wt	-3.83c	4.719b	8.869b
单株产量 YPP	19.196a	38.220a	59.252a

同列数值后的不同小写字母代表在 0.05 水平差异显著,下表同。

Values within a column followed by different lowercase letters are significantly different at 0.05 probability level, the same as below.

HPH: Dver-high-parent heterosis-MPH; Over-mid-parent heterosis; OSR: Over standard rate; PH: plant height; NMS: node of main stem; PPP: pods per plant; 100Wt: 100-seed weight; YPP: yield per plant, The same as below.

将与产量相关的 5 个性状的超亲优势进行相关分析,单株荚数和单株产量的杂种优势呈现极显著正相关,超高亲和超中亲优势的相关系数分别为 0.7549 和 0.7798,表明单株荚数的杂种优势是大豆产量杂种优势的主要性状来源。主茎节数和株高也呈现显著正相关关系,相关系数分别为 0.5534 和 0.5980,株高越高主茎节数就越多。主茎节数和单株荚数也显著相关(表 3)。

2.3 亲本间地理来源与杂种优势的关系

29 个组合根据材料来源(表 1)分为 2 大类:国内 × 国外(第 I 类:指来源于中国的品种或品系,与国外引入品种或品系间配制的杂交组合)共 10 个组合、国内 × 国内(第 II 类:指来源于中国的品种或品系,包括本地与引进的品种间配制的杂交组合)共 19 个组合,第 II 类又可细分为:黄淮 × 其它区域(东北、南方)和黄淮 × 黄淮。将 3 类不同组间的产量、有效荚和百粒重的杂种优势进行比较分析(表

5),结果表明:国内×国外的产量超高亲和超中亲优势大于黄淮×其它区域,而黄淮×其它区域的优势又大于黄淮×黄淮。国内×国外和黄淮×其它区域有效荚数的杂种优势都大于黄淮×黄淮,但产量和有效荚数在3类组合中无显著差异。国内×国外百粒重的超高亲优势显著高于黄淮×黄淮,而黄淮×其它区域的超标优势要显著高于国内×国外组合。其中黄淮×其它区域中的郑8516×浙春3

组合在单株产量和单株荚数2个性状上优势极为突出(文中未给出数据),可能是2个亲本血缘关系较远。另外冀豆17和几个国外的品种所配组合的优势都不大,可能J17含有国外的血统。这个结果表明亲本间来源地越远,产生高优势组合的机率要高。因而可以认为,亲本的地理来源对大豆杂种优势表现有重要影响。

表 4 亲本间差异与杂种优势的相关性分析
Table 4 Correlation analysis between parental difference and heterosis

Pearson 相关性	单株荚数 PPP	百粒重 100Wt	单株产量 YPP	株高 PH	主茎节数 NMS
产量超中亲 YMPH	-0.351	-0.035	-0.369 *	-0.013	-0.046
产量超高亲 YHPH	-0.387 *	-0.048	-0.462 *	0.009	-0.110

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关,下表同。
* and ** refer to significant correlated at 0.05 and 0.01 probability level, respectively, the same as below.
YMPH: yield mid-parent heterosis; YHPH: yield high-parent heterosis.

表 5 不同组配方式间大豆杂种优势的比较
Table 5 Comparison of heterosis by different assembly in soybean(%)

	超高亲优势 HPH			超中亲优势 MPH			超标优势 OSR		
	产量	有效荚	百粒重	产量	有效荚	百粒重	产量	有效荚	百粒重
	YPP	PPP	100 Wt	YPP	PPP	100 Wt	YPP	PPP	100 Wt
国内×国外 Domestic × Foreign	31.55a	20.97a	2.30a	45.24a	27.36a	10.49a	51.34a	53.12a	0.89b
黄淮×其它区域 Huanghuai × Other areas	20.67a	18.03a	-6.42ab	34.96a	28.24a	1.86a	49.08a	54.52a	15.93a
黄淮×黄淮 Huanghuai × Huanghuai	14.17a	5.78a	-7.54b	31.23a	16.89a	1.56a	48.96a	54.05a	9.91ab

2.4 遗传距离与杂种优势的关系
利用覆盖大豆 20 个连锁群的 31 对多态性引物

对 36 个亲本进行 SSR 分析,扩增出 123 条多态性条带,平均每对引物扩增出 4 条差异条带(图 1)。

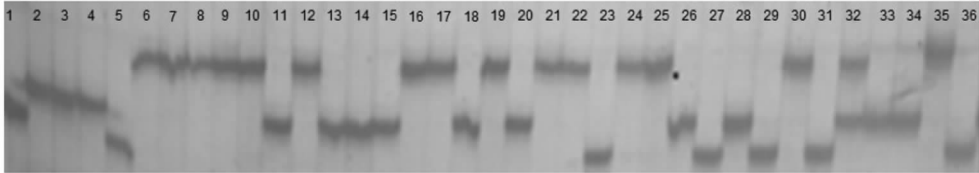


图 1 SSR 引物 satt373 对 36 个亲本的扩增结果
Fig.1 SSR profiles of 36 parents amplified with the primers satt373

根据多态性 SSR 分子标记计算亲本遗传距离,分析遗传距离与杂交一代的杂种优势的相关性,结果(表 6)显示,遗传距离与单株产量呈显著正相关,相关系数为 0.3778,也就是遗传距离越大单株产量越高。但是遗传距离与株高、主茎节数和单株荚数相关性并不显著。

用 NTSYS2.0 进行聚类分析。根据遗传相似系数矩阵,以相似系数 0.73 为阈值将亲本材料分为 5 类(图 2)。第 1 类包括 9854-3L 等 14 个品种(系);第 2 类只有冀豆 12;第 3 类有 05-962-2 等 16 个品

种(系);第 4 类有 PI547875 和宁 66;第 5 类有 wil-iams、茶豆和坡黄。
根据聚类结果将组合分为类内组合和类间组合,对 2 个组合的平均单株产量和单株荚数进行比

表 6 遗传距离与杂种优势的相关性分析
Table 6 Correlation analysis of genetic distance and heterosis

	株高 PH	主茎节数 NMS	单株荚数 PPP	百粒重 100Wt	单株重 YPP
遗传距离 GD	0.1318	0.1313	0.3494	-0.33828	0.3778 *

较。结果表明,类内组合单株产量的平均超高亲优势率(53.47%)高于类间组合(28.73%),单株荚数类内组合的平均超高亲优势率(35.92%)大于类间组合(30.56%)。这与遗传距离和单株产量呈显著

正相关的结果不一致;株高、主茎节数和百粒重 3 个性状类间组合平均超高亲优势分别为 -7.62%、-0.47%、-6.77%,小于类内组合的平均超高亲优势 -4.46%、1.12%、-2.33%,但差异不明显。

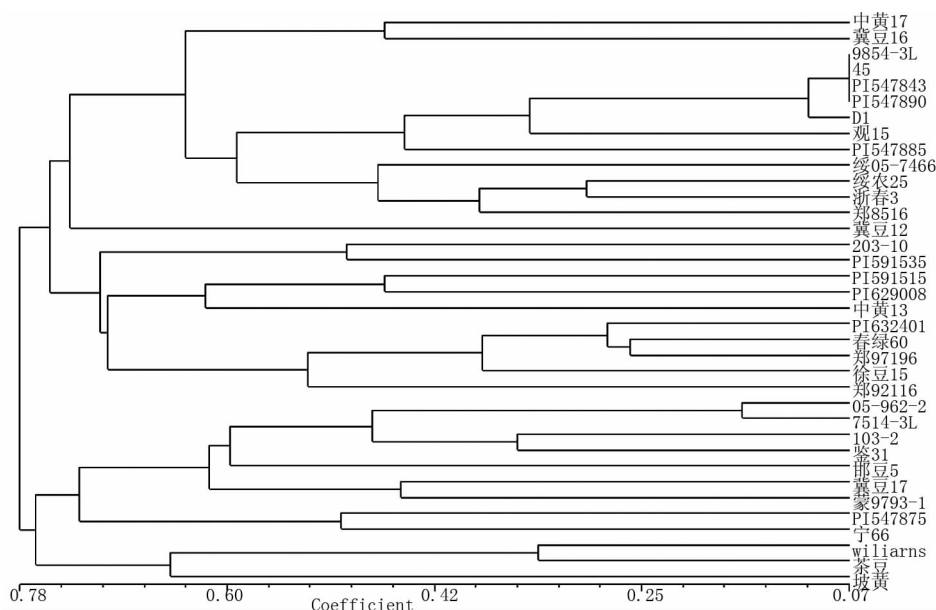


图2 36个亲本材料的SSR聚类分析图

Fig.2 Clustering analysis of SSR data of 36 parental materials

3 结论与讨论

该研究结果表明,单株荚数和单株产量超亲优势显著高于株高、主茎节数和百粒重,而百粒重、株高等性状超亲现象不显著。杨加银等^[15]认为单株荚数和单株粒数的增加是产量优势产生的主要原因。单株产量大于单株荚数优势的结果说明,荚粒数对产量的杂种优势也有增加作用。因此,在亲本的选配中应考虑亲本的单株荚数和粒数。研究结果还表明亲本间差异与杂种优势呈负相关。王跃强等^[16]研究结果认为亲本间百粒重差异越小,则后代优势越显著。

地理远缘、血缘关系较远的双亲易产生较高的杂种优势。王曙明等^[17]对不同类型组合杂种优势的分析结果表明,“本地×本地”组合的杂种优势低于“本地(引入)×引入”的组合,而“本地(引入)×引入”组合的杂种优势又低于“国内×国外”的组合。这与文中“国内×国外”组合产量优势大于“国内×国内”组合的结果一致。所以材料来源地越远后代优势越大,在选配组合时,应注意亲本的远缘性。

通过SSR标记分析,亲本间遗传距离与杂种优势显著正相关。然而聚类结果显示,类内组合的杂种优势大于类间组合,这一结论与张博等^[18]和张培

江等^[19]的结果不一致。Xiao等^[20]用SSR标记计算的遗传距离发现,亚种内分子标记间遗传距离能够较好的预测杂种优势,而亚种间的优势难以预测;Zhang等^[21]的研究结果认为研究材料不同,杂种优势表现与分子标记遗传距离也不同。这可能是由于两亲本遗传距离较远但是其亲本间的单株荚数或百粒重的差异太大,造成其杂种优势较小。因此根据标记位点的差异来预测杂种优势其可靠性还需进一步的探索。

综合上述结果,亲本间表型差异小、地理来源较远的亲本间所配组合的杂种优势较强。根据遗传距离分类,类内组合的杂种优势大于类间组合,可能是因为类型间两亲本的遗传距离虽然较远,但是表型差异较大,如单株荚数或百粒重的差异太大,后代的杂种优势就较小。而遗传距离较小的亲本间的表型差异较小,在地理远缘上有一定的差异,所以类内组合的杂种优势大。与其它作物相比大豆人工杂交较困难,因此,大豆杂交育种应特别注意亲本的选配。育种工作者在亲本的选配中不但要考虑到亲本间的地理和遗传差异,也要考虑亲本间表型差异的大小。

参考文献

- [1] 赵团结,盖钧镒,李海旺,等. 超高产大豆育种研究的进展与讨

- 论[J]. 中国农业科学,2006,39(1):29-37. (Zhao T J, Gai J Y, Li H W, et al. Advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(1): 29-37.)
- [2] 王跃强,王曙明,孙寰,等. 大豆杂种优势及高优组合的筛选[J]. 作物杂志,1999(1):10-11. (Wang Y Q, Wang S M, Sun H, et al. Selection of soybean heterosis and high advantage combination[J]. Crops, 1999(1): 10-11.)
- [3] 石凤翎,李红,周丽梅,等. 影响苜蓿雄性不育系杂交制种产量因素的分析[J]. 内蒙古农业大学学报,2000,21(1):85-90. (Shi F L, Li H, Zhou L M, et al. Analysis on factors affecting seed production of male-sterile lines in *Alfalfa* [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2000, 21(1): 85-90.)
- [4] 高士杰,刘晓辉,李继红,等. 粒用高粱超高产育种的思考[J]. 中国农业科技导报,2006,8(1):23-25. (Gao S J, Liu X H, Li J H, et al. Think of super high yield breeding of grain sorghum[J]. China Journal of Agricultural Science and Technology, 2006, 8(1): 23-25.)
- [5] Weber C R, Empig L T, Thorne J C. Heterotic performance and combining ability of two-way F_1 soybean hybrids[J]. Crop Science, 1970, 10: 159-160.
- [6] Ma Y H, Gai J Y, Hu Y Z. A study on genetic variability of successive generations after hybridization in soybean. I Heterosis and inbreeding depression[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1983, 16(5): 1-6.
- [7] 盖钧镒. 中美大豆品种间 F_1 和 F_3 世代杂种优势与配合力分析. 第二次中美大豆科学讨论会论文集[C]. 长春:吉林科学技术出版社,1986:172-171. (Gai J Y. NSF soybean variety F_1 and F_3 generations between heterosis and ability analysis. The second NSF symposium on soybean research [C]. Changchun: Jilin Science & Technology Press, 1986: 172-171.)
- [8] Palmer R G, Gai J Y, Sun H, et al. Production and evaluation of hybrid soybean[J]. Plant Breeding Reviews, 2001, 21: 263-307.
- [9] 赵丽梅,孙寰,王曙明,等. 大豆杂交种杂交豆1号选育报告[J]. 中国油料作物学报,2004,26(3):15-17. (Zhao L M, Sun H, Wang S M, et al. Breeding of hybrid soybean HybSoy 1 [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(3): 15-17.)
- [10] 马育华,盖钧镒,等. 大豆杂种世代的遗传变异研究—II. 配合力及有关遗传参数[J]. 作物学报,1983,9(4):259-268. Ma R. H. Gai Junyi et al. Studies on genetic variation of successive generations after hybridization in soybeans—II. Combining ability and related genetic parameters [J]. Acta Agronomica Sinica, 1983, 9(4): 259-268.
- [11] 盖钧镒. 大豆育种应用基础和技术研究进展[C]. 南京:江苏科学技术出版社,1990, 109-115. Gai J L, Advance of basic and technological aspects in breeding for soybeans[C]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1990: 109-115.
- [12] Raut, V M, Halwanker G B, Pati V P. Heterosis in soybean[J]. Soybean Genet. Newsl. 1988, 15: 57-60.
- [13] Metha S K, Lal M S, Beohar A B L. Heterosis in soybean crosses [J]. Indian Journal Agricultural Science, 1984, 54(8): 682-684.
- [14] 田清震. 中国野生大豆与栽培大豆 AFLP 指纹分析及生态群体遗传关系研究[D]. 南京:南京农业大学,2001. (Tian Q Z. Relationship between China's wild and cultivated soybean AFLP fingerprint analysis and ecological group genetic research [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2001.)
- [15] 杨加银,盖钧镒. 黄淮地区大豆重要亲本间单株产量的杂种优势、配合力及其遗传基础[J]. 作物学报,2009,35(4):620-630. (Yang J Y, Gai J Y. Heterosis combining ability and their genetic basis of yield among key parental materials of soybean in Huang-Huai valleys [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(4): 620-630.)
- [16] 王跃强,王曙明,孙寰,等. 大豆杂种优势及高优组合的筛选[J]. 作物杂志,1999(1):10-11. (Wang Y Q, Wang S M, Sun H, et al. A study on soybean heterosis and screening for elite crosses [J]. Crops, 1999(1): 10-11.)
- [17] 王曙明,孙寰,王跃强,等. 大豆杂种优势及高优势组合选配的研究. I. F_1 代子粒单株产量的杂种优势与高优势组合选配[J]. 大豆科学,2002,21(3):161-167. (Wang S M, Sun H, Wang Y Q, et al. Studies on heterosis and screening of highly heterotic combinations in sorbean. I. F_1 seed yield heterosis and screening of highly heterotic combinations [J]. Soybean Science, 2002, 21(3): 161-167.)
- [18] 张博,邱丽娟,常汝镇. 利用大豆育成品种的 SSR 标记遗传距离预测杂种优势的初步研究[J]. 大豆科学,2003,22(3):166-171. (Zhang B, Qiu L J, Chang R Z. Primary study on prediction heterosis by SSR marker distance among Soybean cultivars [J]. Soybean Science, 2003, 22(3): 166-171.)
- [19] 张培江,才宏伟,李焕朝,等. RAPD 分子标记水稻遗传距离及其与杂种优势的关系[J]. 安徽农业科学,2000,28(6):698-700, 704. (Zhang P J, Cai H W, Li H C. Genetic distance detected with RAPD markers among rice cultivars (*Oryza sativa* L.) and its relation to heterosis [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2000, 28(6): 698-700, 704.)
- [20] Xiao J, Li J, Yuan L, et al. Genetic diversity and its relationship to hybrid performance and heterosis in rice as revealed by PCR-based markers [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1996, 92: 637-643.
- [21] Zhang Q F, Zhou Z Q, Yang G P, et al. Molecular marker heterosis and hybrid performance in indica and japonica rice[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1996, 93: 1218-1224.