

轮回选择创新高蛋白质含量大豆种质资源

董全中<sup>1</sup>,杨兴勇<sup>1</sup>,张 勇<sup>1</sup>,薛 红<sup>1</sup>,张明明<sup>1</sup>,李微微<sup>1</sup>,李文霞<sup>2</sup>,宁海龙<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 克山分院,黑龙江 克山 161606;2. 东北农业大学 大豆生物学教育部重点实验室/农业部东北大豆生物学与遗传育种重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**以蛋白质含量较高的 D95-753-754、克辐 9807-2、黑生 101、克辐 05-1480 为亲本材料,在田间先以产量性状、农艺性状为主要指标优先择优,在室内再以蛋白质含量为指标进行二次择优的选择方法,主要经过三轮杂交、选择和鉴定,逐轮进行蛋白质含量、熟期、百粒重等农艺、产量、品质性状的协同优化,实现了这些性状的同步改良;各轮次育成的品系蛋白质含量不断提高,与主栽品种的产量差距不断缩小,提高了育成的新种质克交 11-1615 和克交 11-1669 的育种利用价值。在研究的过程中,坚持不同育种方法获得的中间材料和每一轮次杂交优选出的中间材料的持续利用,聚合了不同来源亲本高蛋白基因;利用基因的加性效应,部分组合实现了超亲遗传。创新了高蛋白育种方法和选择策略。选育出了生育日数115 d(克山)、蛋白质含量 46.5%(高于多个亲本)、百粒重 19 g大豆新品种质克交 11-1615和生育日数105 d(克山)、蛋白质含量 44.5%、百粒重 20 g的大豆新种质克交 11-1669。

**关键词:**蛋白质;产量;百粒重;中间材料;超亲遗传

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.05.0927

Innovation of High Protein Content Germplasm Resource in Soybean through Recurrent Selection

DONG Quan-zhong<sup>1</sup>,YANG Xing-yong<sup>1</sup>,ZHANG Yong<sup>1</sup>,XUE Hong<sup>1</sup>,ZHANG Ming-ming<sup>1</sup>,LI Wei-wei<sup>1</sup>,LI Wen-xia<sup>2</sup>,NING Hai-long<sup>2</sup>

(1. Keshan Branch of Academy of Heilongjiang Provice, Keshan 161606, China; 2. Key Laboratory of Soybean Biology in Chinese Ministry of Education, Key Laboratory of Soybean Biology and Breeding/Genetics of Chinese Agriculture Ministry, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In this study, high protein content materials D95-753-754, Kefu 9807-2, Heisheng 101 and Kefu 05-1480 were used as parents and made staged polymerization hybridization and pedigree selection. We firstly chose yield and agronomic traits as the main index priority to merit in the field, then protein content as indexes for quadratic optimal choice indoors again, final election of stable strain was conducted in F<sub>5</sub> generation. We selected the middle materials which had high-yield, good agronomic traits high protein content among them, and hybridized with other parents after an appraisal of selected strains. Three rounds of hybridization, selection and identification were conducted mainly: In the first round of the Kejiao 88513-2 (♀) × D95 - 753-754 (♂) we bred Kejiao 20-6588 which overcame the disadvantages of the female parent which had the traits of green seed, branches, lodging and so on. The growth days of Kejiao 20-6588 was 14 d earlier than D95 - 753-754, its 100-seed weight was increased by 3.5 g and its plant height reduced 25 cm comparing with the male parent. Its protein content was 44.2%, but the yield decreased by 23.21% than contrast varieties of Beifeng 9. In the second round of the Kefu 9807-2(♀) × Kejiao 20-6588(♂) we bred Kejiao 07-5701, the protein content of which was 45.2%. Its 100-seed weight was 4.7 g higher than the male parent, but the yield decreased by 11.7% than contrast varieties of Beifeng 9. In the third round of the first hybridized combination of Heisheng 101(♀) × Kejiao 07-5071(♂) we bred Kejiao11-1615, which protein content was 46.5%. Its 100-seed weight was 19 g, the average yield of two years decreased by 6.29% than varieties of Fengshou 25. The growth days of Kejiao 11-1615 was 116 d (in Keshan, the third accumulated temperature zone in Heilongjiang province). In the third round of the second hybridized combination of Kefu 05-1480(♀) × Kejiao 07-5071(♂) we bred Kejiao11-11669, the protein content of which was 44.5%. Its 100-seed weight was 20 g, the average yield decreased by 10.95% than contrast varieties of Heihe 43. The growth days of Kejiao11-1669 was 105 d (in Keshan, the third accumulated temperature zone in Heilongjiang province). During three rounds of improvement, the high protein germplasm was polymerized and the collaborative optimization of protein content, early-mature, 100-seed weight yield and other agronomic traits was conducted at the same time. In every rounds, protein content of the bred strains was increased in comparison with the one parent or two parents of it and the yield gap with the main variety cultivated in adapting area was narrowed. The breeding utilization value of new germplasm Kejiao11-1615 and Kjiao11-1669 bred was improved. In the process of breeding, by use of materials from different breeding methods and sustainable use of the middle materials improved each rounds, protein genes from different parents was polymerized and the transgressive inheritance was achieved with gene additive effect. The high protein breeding and selection strategy was innovated.

**Keywords:** Protein; Yield; 100-seed weight; Intermediate material; Transgressive inheritance

收稿日期:2015-01-12  
基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究重点项目(12541x001);黑龙江省博士后科研启动基金(LBH-Q12152)。  
第一作者简介:董全中(1972-),男,硕士,副研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:ksdqzldqz@163.com。  
通讯作者:宁海龙(1975-),男,教授,博导,主要从事作物遗传育种与数量遗传研究。E-mail:ninghailongneau@126.com。

大豆是黑龙江省的主栽作物,既是人类重要的植物蛋白和脂肪来源之一,又是重要的饲料和工业原料。大豆种子蛋白质含量是大豆品质性状的一个重要指标,是大豆品种选育的重要目标。根据前人研究,大豆籽粒蛋白质含量受多基因控制,表现为数量性状遗传,蛋白质含量主要由遗传因素决定,同时受年份、地点<sup>[1-2]</sup>、施肥<sup>[3-8]</sup>等环境因素的影响,并且蛋白质含量与产量负相关<sup>[10]</sup>,这些原因导致高蛋白大豆育种进展缓慢,在黑龙江省育成的高蛋白品种较少,主要有黑河 28、东农 42、黑农 35、黑生 101、东农 48、黑农 48 等。同时,大豆高蛋白种质改良方面较少。本研究对在克山生育日数 125 d、蛋白质含量 47% 以上、农艺性状趋近于半野生的品系 D95-753-754 的高蛋白基因进行挖掘,并用其后代材料与蛋白质含量高或较高、农艺性状优良的中间材料杂交,进行蛋白质、农艺性状和产量性状的协同改良,创造大豆优异的中间材料,探讨大豆高蛋白育种的新方法。

1 材料与方法

1.1 材料

D95-753-754(外源总 DNA 导入育成,其受体为半野生高蛋白材料)、克辐 9807-2(以东农 42 为基础材料采用 Co<sup>60</sup>γ 射线辐射育成)、黑生 101、克辐 05-1480(以蛋白质含量 42% 的克 83328-15 与蛋白

质含量 42% 北 00-4652 杂交 F<sub>1</sub> 为基础材料采用 Co<sup>60</sup>γ 射线辐射育成)。

1.2 方法

1.2.1 第一轮改良 1997 年以克 88513-2 为母本, D95-753-754 父本进行杂交,后代采用系谱法选育,产量、农艺性状优先,2000 年 F<sub>5</sub> 代田间以产量和农艺性状、产量性状为主要目标进行决选,室内进行株行蛋白质含量测定,确定进入鉴定的品系。通过产量比较,筛选出克交 20-6588。

1.2.2 第二轮改良 2004 年以克辐 9807-2 为母本,克交 20-6588 父本,进行杂交,2004、2005 年海南加代,后代采用系谱法选育,产量、农艺性状优先,2007 年 F<sub>5</sub> 代田间以产量和农艺性状、产量性状、蛋白质含量决选,同时根据测定,确定进入鉴定的品系。通过产量比较,选育出克交 07-5701。

1.2.3 第三轮改良 2009 年,分别以黑生 101 和克辐 05-1480 为母本,克交 07-5701 为父本进行杂交,后代采用系谱法选育,2009、2010 年海南加代,2011 年 F<sub>5</sub> 代田间以产量和农艺性状、产量性状为主要目标进行决选,室内进行株行蛋白质含量测定,确定进入鉴定的品系。选育出克交 11-1615 和 11-1669,其中克交 11-1615 对照品种为黑龙江省七区(第三积温带)标准品种丰收 25;克交 11-1669 对照品种为黑龙江省九区(第四积温带)标准品种黑河 43。三轮遗传改良的育种过程如图 1。

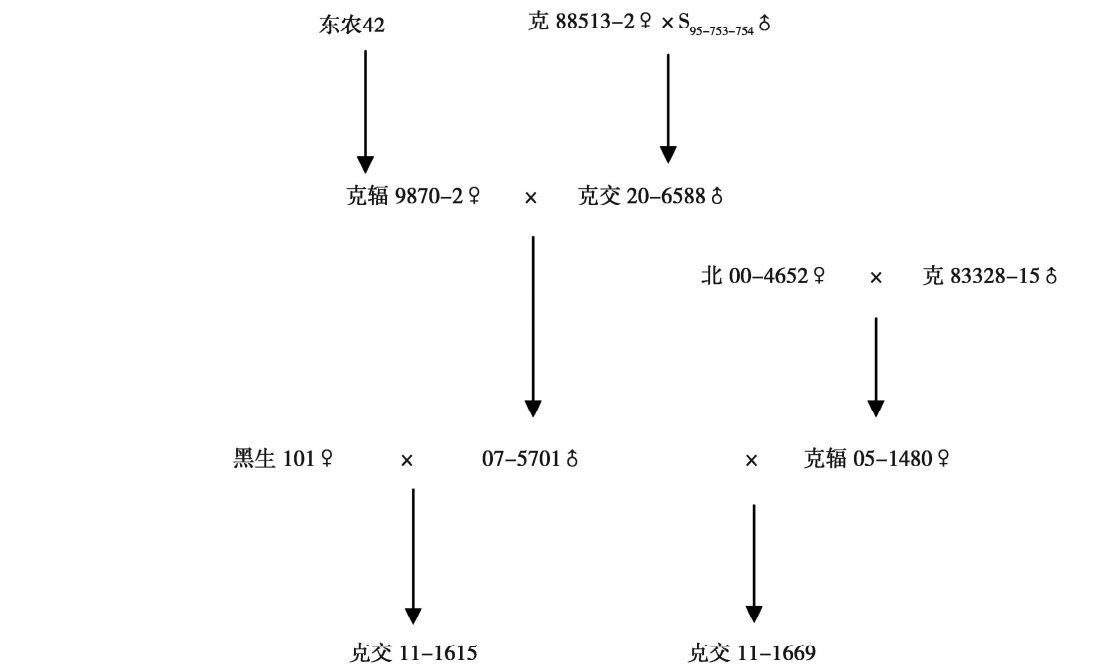


图 1 蛋白含量与农艺性状协同改良系的育种过程

Fig. 1 Breeding process of improvement in protein content and agronomic traits

1.2.4 产量鉴定试验 对于第一轮改良、第二轮改良和第三轮改良育成的品系,分别于 2001、2008 和 2012 年进行产量鉴定和亲本比较,田间试验采用随机区组设计,4 行区,行长 5 m,3 次重复,对照品种为黑龙江省七区(第三积温带)标准品种北丰 9 号。2013 年对第三轮改良育成的品系进行品比试验。入选品系考种指标包括分枝数、株高、单株粒数、百粒重、产量和蛋白质含量等,其中蛋白质含量采用近红外品质分析仪测定。

2 结果与分析

2.1 第一轮改良结果

从表 1 可以看出克交 20-6588 籽粒为黄色,克

服了母本籽粒绿色、分枝多和倒伏的缺点。生育日数为 115 d,更倾向于母本,较 D95-753-754 提早了 14 d,与克山当地住主栽品种生育日数接近。以上两个性状选择进度较快是因为控制生育日数和籽粒颜色性状的基因较少的原因。百粒重较父本 D95-753-754 提高了 3.5 g,株高降低了 25 cm,单株粒数介于双亲之间,较父本降低了 19 个,但较母本增加了 23 个。蛋白质含量 44.2%,较母本提高幅度较大。百粒重、单株粒数、蛋白质含量这些性状是数量性状,控制性状的基因较多,效应大的基因少,加之两个亲本亲缘关系远,遗传差距大,所以不可能一次杂交把这些基因都集中一个个体上,只能是部分集中。

表 1 高蛋白品系克交 20-6588 及其亲本的主要农艺性状(2001)

Table 1 Main agronomic traits of high-protein line Kejiao 20-6588 and its parents										
品种(系) Varieties (lines)	结荚习性 Growth habit	籽粒颜色 Seed color	倒伏级别 Lodging	分枝数 Branch number	茸毛色 Pubescence color	株高 Plant height /cm	生育日数 Growth days /d	百粒重 100-seed weight /g	单株粒数 Seed number per plant	蛋白质含量 Protein content /%
克 88513-2 Ke 88513-2(♀)	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	80	110	18.2	78	40.2
D95-753-754(♂)	无限 Infinite	绿 Green	2	3	棕 Brown	115	128	7.5	120	47.2
克交 20-6588 Kejiao 20-6588	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	90	114	11.0	101	44.2

2.2 第二次改良结果

从表 2 可以看出克交 07-5701 蛋白质含量为 45.2%,超过了双亲,这可能是因为双亲的亲缘关系远,控制蛋白质含量的基因累加的加性效应和定向选择所致。生育日数和株高介于双亲之间,是双亲

之间差异不大的结果。百粒重虽介于双亲之间,但相对于父本提高了 4.7 个百分点,是产量性状的重要改进。单株粒数更倾向于母本,比父本克交 20-6588 减少了 21 个,偏离中亲值较大。

表 2 高蛋白品系克交 07-5701 及其亲本的主要农艺性状(2008)

Table 2 Main agronomic traits of high-protein line Kejiao 07-5701 and its parents										
品种(系) Varieties (lines)	结荚习性 Growth habit	籽粒颜色 Seed color	倒伏级别 Lodging	分枝数 Branch number	茸毛色 Pubescence color	株高 Plant height/cm	生育日数 Growth days /d	百粒重 100-seed weight/g	单株粒数 Seed number per plant	蛋白质含量 Protein content/ %
克辐 9807-2 Kefu9807-2(♀)	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Ggey	90	118	20.5	75	43.1
克交 20-6588 Kejiao20-6588(♂)	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	95	114	11.5	101	44.2
克交 07-5701 Kejiao07-5701	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	90	116	16.2	80	45.2

2.3 第三次改良结果

从表 3 可以看出,克交 11-1615 蛋白质含量 (46.5%) 高于双亲。这是因为双亲的亲缘关系远,所选择的亲本控制蛋白质含量的基因丰富及其累

加的加性效应和定向选择所致。生育日数、单株粒数和百粒重虽介于双亲之间,但由于选择压力的作用,单株粒数和百粒重更接近于母本。特别是百粒重已达到了生产上应用的品种的水平。

表 3 高蛋白品系克交 11-1615 及其亲本的主要农艺性状  
Table 3 Main agronomic traits of high-protein line Kejiao 11-1615 and its parents

品种(系) Varieties (lines)	结荚习性 Growth habit	籽粒颜色 Seed color	倒伏级别 Lodging	分枝数 Branch number	茸毛色 Pubescence color	株高 Plant height/cm	生育日数 Growth days /d	百粒重 100-seed weight/g	单株粒数 Seed number per plant	蛋白质含量 Protein content/%
黑生 101 Heisheng 101(♀)	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	85	120	20.5	80	44.5
克交 07-5701 Kejiao 07-5701(♂)	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	90	114	16.2	91	45.2
克交 11-1615 Kejiao 11-1615	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	86	116	19.1	82	46.5

数据为 2011 和 2013 年的平均值。  
Values in the table are the average of 2011 and 2013.

从表 4 可以看出,克交 11-1669 蛋白质含量 (44.5%) 没有超亲现象但偏向于高值亲本。株高和生育日数偏向于早熟亲本,但使生育日数提早了一个熟期组,实现了高蛋白质和早熟性的良好结

合。百粒重介于双亲之间,但达到了生产上推广的品种的水平。这是增强选择压力和多年定向选择的结果。

表 4 品系克交 11-1669 及其亲本的主要农艺性状  
Table 4 Main agronomic traits of Kejiao 11-1669 and its parents

品种(系) Varieties (lines)	结荚习性 Growth habit	籽粒颜色 Seed color	倒伏级别 Lodging	分枝数 Branch number	茸毛色 Pubescence color	株高 Plant height/cm	生育日数 Growth days /d	百粒重 100-seed weight/g	单株粒数 Seed number per plant	蛋白质含量 Protein content/%
克辐 05-1480 Kefu 05-1480(♀)	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	75	107	24.5	65	42.6
克交 07-5701 Kejiao 07-5701(♂)	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	90	114	18.2	91	45.2
克交 11-1669 Kejiao 11-1669	亚有限 Sub-inde terminate	黄 Yellow	0	0	灰 Grey	78	105	20.2	72	44.5

数据为 2011 和 2013 年的平均值。  
Values in the table are the average of 2011 and 2013.

从表 3、4 可以看出,黑生 101 × 克交 07-5071 组合的克交 11-1615 蛋白质含量较克辐 05-1480 × 克交 07-5071 组合的克交 11-1669 高 2.0 个百分点,说明后代的蛋白质含量与亲本水平密切相关,后代蛋白质含量高可能是所选择的母本蛋白质水平相差较大所致。

2.4 不同轮次育成的高蛋白品系与对照品种的产量比较分析

从表 5 可以看出,不同轮次育成的品系克交 20-6588、克交 07-5701、克交 11-1615 虽蛋白质含量远远高于对照,但产量均比对照(2012 年该区对照品种更换为丰收 25)减产,分别为 23.21%、11.70%、

6.29% (其中克交 11-1615 是两年平均结果),减产的幅度不断缩小,该结果表明经过三轮改造,在保证高蛋白基因聚合的同时,使产量性状的基因不断输入所得的品系中,使其产量水平不断提高;虽经过三轮改造,但由于基因的连锁,其原始亲本 D95-753-754 中的产量性状的不利基因不可能完全被交

换掉;同时其他亲本的优良基因不可能完全聚合到克交 11-1615 中,克交 11-1615 的产量性状仍需继续提高。克交 11-1669 虽熟期提早了一个熟期组,但产量两年较对照品种黑河 43 减产 10.95%,仍需继续改良。

表 5 不同阶段育成的品系与对照品种产量比较  
Table 5 Yield comparison of lines bred in different stages with control varieties

品种(系) Varieties (lines)	年份 Year	产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>				减产幅度 Reduction of yield /%
		I	II	III	平均 Average	
克交 20-6588 Kejiao 20-6588	2001	1684.5	1777.5	1809.0	1756.5	-23.21
北丰 9 号 Beifeng 9	2001	2223.0	2356.5	2284.5	2287.5	-
克交 07-5701 Kejiao 07-5701	2008	1954.5	1816.5	2004.0	1924.5	-11.70
北丰 9 号 Beifeng 9	2008	2283.0	1882.5	2374.5	2179.5	-
克交 11-1615 Kejiao 11-1615	2012	2436.0	2419.5	2446.5	2434.5	-5.70
丰收 25 Fengshou 25	2012	2586.0	2541.0	2616.0	2581.5	-
克交 11-1615 Kejiao 11-1615	2013	2560.5	2524.5	2596.5	2560.5	-6.89
丰收 25 Fengshou 25	2013	2727.0	2784.0	2739.0	2749.5	-
克交 11-1669 Kejiao 11-1669	2012	2374.5	2271.0	2139.0	2260.5	-9.78
黑河 43 Heihe 43	2012	2440.5	2524.5	2553.0	2506.5	-
克交 11-1669 Kejiao 11-1669	2013	2404.5	2388.0	2326.5	2373.0	-12.12
黑河 43 Heihe 43	2013	2724.0	2662.5	2712.0	2700.0	-

3 结论与讨论

大豆籽粒蛋白质含量是数量性状遗传,是遗传因素决定和环境因素共同作用的结果。大豆籽粒蛋白质含量与产量矛盾突出<sup>[12]</sup>,常规的杂交很难解决产量和蛋白质负相关的矛盾。轮回选择使不同优良基因聚积累加,打破不利的基因连锁,提高群体内数量性状有利基因的频率,轮回选择是协调大豆籽粒蛋白质含量与产量矛盾的较好方法<sup>[9-11]</sup>。Wilcox 和 Brim 指出对蛋白质含量和籽粒产量同时进行选择性回交,是克服蛋白质与产量负相关的一种有效方法<sup>[14-15]</sup>。本研究以不同来源的高或较高蛋白质材料为亲本,采用阶梯式杂交、轮回选择的方法,在田间的各世代以产量、农艺性状为主要目标对杂交后代进行选择,优先选择产量、农艺性状;通过室内测定蛋白质含量淘汰蛋白质含量低的品

系,先用产量、农艺性状为衡量标准,再以蛋白质含量为衡量标准,通过三轮改良实现了生育日数、单株粒数、百粒重、蛋白质含量的协同逐步改良,育成的品系蛋白质含量不断提高,与主栽品种的产量差距不断缩小,创造出了农艺性状和产量性状得到较大改进的高蛋白大豆新种质,所采用的育种方法与 Wilcox 回交育种不同,但效果相似。生育日数、茸毛色等性状受单基因控制或控制性状的基因较少,遗传改进速度较快;百粒重、单株粒数、蛋白质含量等这些性状是数量性状,控制性状的基因较多,效应大的基因少,加之两个亲本亲缘关系远,遗传差距大,所以不可能一次杂交把这些基因都集中在一个个体上,只能是部分集中;另外, D95-753-754 蛋白质含量 47.2%,是优异的高蛋白种质,含有高蛋白基因,但同时含有较多的对产量、农艺性状不利的基因,需要经过轮回选择的多轮杂交及杂交后代多

代自交才能打破有利和不利基因的连锁,在后代选择中保留有利基因去除不利才能获得优良的品系。

对产量水平明显低于对照品种,但高蛋白种质 D95-753-754 基因的中间材料克交 20-6588 没有丢弃,而是利用性状较优良的辐射育种方法所得的中间材料克辐 9807-2 与其继续杂交,得到了产量、农艺性状和蛋白质含量进一步得到提高的克交 07-5701;再通过克交 05-5701 与黑生 101、克辐 05-1480 的杂交,使高蛋白种质 D95-753-754 的高蛋白基因在相续的杂交后代的流动,并渗入到后代品系中。采用多品种聚合杂交,虽选育期限较长,但由于进行了多次基因重组,蛋白质遗传基础较为丰富,远缘的高蛋白基因得到挖掘和聚合。与回交育种相比,利用了多个亲本的基因源。在三轮改造过程中的每一轮次都利用了其它育种方法育成的高蛋白中间材料的基因,以上两者的高蛋白基因来源是保证后代品系蛋白质含量高的基础。

采用高蛋白×高蛋白材料的策略,有利于不同来源高蛋白基因的聚合,较易于选择到高蛋白基因的加性效应,如克辐 9807-2 × 克交 20-6588 和黑生 101 × 克交 07-5701 两个组合均有加性效应的出现,实现了蛋白质含量的超亲遗传;但在提高产量性状方面受这些亲本的控制产量性状基因源的制约。

本研究在选择时没有对各亲本的遗传效应进行分析评价,没有对高蛋白亲本的高蛋白基因进行定位,下一步应进行新种质克交 11-1615 和克交 11-1669 高蛋白基因的定位研究。借助分子标记,绘制主效基因所在连锁图,最终确定主效基因位置、单个基因效应以及互作效应<sup>[8]</sup>,通过分子标记辅助选择提高聚合育种的选择效率。

参考文献

[1] 王志新. 环境因素对大豆化学品质及产量影响研究[J]. 大豆科学,2005, 24(2):112-115. (Wang Z X. The effect of planting places on the chemical quality of soybean[J]. Soybean Science, 2005, 26(2): 112-115. )

[2] 胡国华,陈庆山,张锡铭. 黑龙江省大豆品质区划的探讨[J]. 大豆科学,2006,25(2):119-122. (Hu G H,Chen Q S, Zhang X M. Discussing of soybean quality regionalization in Heilongjiang [J]. Soybean Science, 2006,25 (2):119-122. )

[3] 宁海龙,胡国华,李文滨,等. 氮磷钾底肥对大豆蛋白质含量的效应[J]. 大豆科学,2005,24(3):288-293. (Ning H L,Hu G H,Li W B, et al. The effects of based NPK fertilizer on protein content in soybean[J]. Soybean Science,2005,24(3):288-293. )

[4] 刘奇,谢甫绀,谢志涛,等. 不同来源大豆品种籽粒品质的比较研究[J]. 大豆科学,2007,26(2):154-157. (Liu Q, Xie F

T, Xie Z T, et al. Comparision of seeds quality of soybean (*Glycine max* L. Merr. ) cultivars from different regions [J]. Soybean Science, 2007,26 (2):154-157. )

[5] 王新风,马巍,富健. 大豆不同杂交世代蛋白质含量及其与产量的相关性[J]. 大豆科学,2013, 32(4):573-575. (Wang X F, Ma W, Fu J, et al. Correlation between protein content in final generation and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2013, 32 (4): 573-575. )

[6] 王新风,富健,孟凡钢,等. 影响大豆籽粒蛋白质含量因素及其改良途径[J]. 大豆科学,2008,27(3):515-519. (Wang X F, Fu J, Meng F G, et al. Factors influencing seed protein content in soybean and its improving ways [J]. Soybean Science, 2008, 27(3): 515-519. )

[7] 李文霞,李柏云,薛红,等. 黑龙江省不同生态区大豆品种育种性状的主成分分析[J]. 大豆科学,2013, 32(6):731-734. (Li W X,Li B Y, Xue H, et al. Principal components analysis of breeding traits in various ecological regions in Heilongjiang Province[J]. Soybean Science, 2013, 32(6): 731-734. )

[8] 宁海龙,李文霞,王继安,等. 黑龙江省大豆蛋白质油分及蛋白质组分类型[J]. 作物学报,2003,29(4):551-556. (Ning H L, Li W X, Wang J A, et al. Composition analysis of protein and oil and amino acids of the soybean varieties in Heilongjiang Province of China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003,29 (4):551-556. )

[9] 朱成松,盖钧镒,宋启建,大豆产量轮回选择的初步研究[J]. 江苏农业学报,1998, 14(2):80-84. (Zhu C S, Gai J Y, Song Q J. A preliminary study on recurrent selection for yield in soybeans [J]. Jiangsu Journal of Agrcultural Sciences, 1998, 14(2): 80-84. )

[10] 韩锋,盖钧镒,凌以禄,等. 大豆蛋白质含量改良群体的产量选择潜势及直接选择效果[J]. 中国油料,1992(2):5-6. (Han F,Gai J Y, Ling Y L, et al. A study on yield selection potential and addirrect selection on effect in populations with improved protein content of soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1992(2):5-6. )

[11] 朱成松,顾和平,陈新. 轮回选择的原理及其在大豆育种中的应用[J]. 大豆通报,1997(5):24-25. (Zhu C S,Gu H P, Chen X. The principal and application of recurrent selection on soybean breeding[J]. Soybean Bulletin,1997(5):24-25.

[12] 徐云碧. 分子标记在数量基因定位中的应用[J]. 遗传, 1992,14(2):45-48. (Xu Y B. Application of molecular markers in quantitative traits loci mapping[J]. Hereditas,1992,14(2):45-48. )

[13] Thorne J C, W R. Exotic germplasm for yield improvement in 2-way and 3-way soybean crosses[J]. Crop Science,1970,10(4): 677-679.

[14] Wilcox J R. Performance of reciprocal soybean hybrids[J]. Crop Science,1977,17(3):351-352.

[15] Brim C A, Burton J W. Recurrent selection in soybeans. II. Selection for increased percent protein in seeds[J]. Crop Science, 1979, 10:494-498.