



牡试 6 号的遗传解析及增产潜势研究

孙晓环^{1,2},王燕平¹,宗春美¹,白艳凤¹,齐玉鑫¹,李文¹,孙国宏¹,任海祥¹

(1. 黑龙江省农业科学院 牡丹江分院/国家大豆改良中心牡丹江试验站,黑龙江 牡丹江 57041; 2. 吉林省农业科学院 作物资源研究所,吉林 四平 136100)

摘要:为研究黑龙江大豆育成品种的遗传解析及增产潜势规律,以黑龙江省农业科学院牡丹江分院选育的大豆品种牡试 6 号为研究对象,进行品种的亲本血缘特点和遗传贡献率分析。结果表明:牡试 6 号是通过四粒黄细胞质遗传的,具体选育过程:四粒黄→黄宝珠→满仓金→克交 5501-3→绥农 3 号→绥农 4 号→绥 81-242→黑农 40→黑农 48→牡试 6 号。细胞核由祖先亲本 ZYD355 野生豆、十胜长叶、嫩 78631-5、四粒黄、金元、五顶珠、白眉、克山四粒黄、平地黄、Amsoy、Anoka、小粒黄、永丰豆、通州小黄豆、熊岳小黄豆、佳木斯突荚子、柳叶齐和东农 20 共同提供,核遗传贡献率分别是:25.00%、18.74%、12.50%、6.58%、6.58%、6.25%、3.14%、3.14%、3.14%、3.13%、3.13%、1.95%、1.56%、1.56%、1.19%、0.98%、0.78%、0.39%。牡试 6 号高度聚合了东北大豆核心种质的优良基因,经过大豆杂交重组基因,具有高产高蛋白的遗传基础潜力,其遗传解析及增产潜势的研究能够为大豆育种工作提供理论支持。

关键词:大豆;牡试 6 号;遗传贡献率;遗传解析;增产潜势

Genetic Dissection and Yield Increase Potential of Released Soybean Cultivar Mushi 6

SUN Xiao-huan^{1,2}, WANG Yan-ping¹, ZONG Chun-mei¹, BAI Yan-feng¹, QI Yu-xin¹, LI Wen¹, SUN Guo-hong¹, REN Hai-xiang¹

(1. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Mudanjiang Experiment Station of the National Center for Soybean Improvement, Mudanjiang 157041, China; 2. Crop Germplasm Resources Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Siping 136100, China)

Abstract: In order to investigate the genetic dissection and competence of yield increase of accessed-varieties in soybeans, Mushi 6 which was breed by Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences was used as candidate to analyze the characteristics of all parental blood ties and genetic contribution. The results showed: Mushi 6 was inherited by cytoplasmic genetic of Silihuang, its transfer process was Silihuang→Huangbaozhu→Mancangjin→Kejiao 5501-3→Suinong 3→Suinong 4→Sui 81-242→Heinong 40→Heinong 48→Mushi 6. Nuclear genes were provided by all the ancestors, including ZYD355, Tokchi Nagaha, Nen 78631-5, Silihuang, Jinyuan, Wudingzhu, Baimei, Keshansilijia, Pingdinghuang, Amsoy, Anoka, Xiaoli Huang, Yongfengdou, Tongzhouxiaohuangdou, Xiongyuexiaohuangdou, Jiamusitujiazi, Liuyeqi, and Dongnong 20. The nuclear genetic contribution rate was 25.00%, 18.74%, 12.50%, 6.58%, 6.58%, 6.25%, 3.14%, 3.14%, 3.14%, 3.13%, 3.13%, 1.95%, 1.56%, 1.56%, 1.19%, 0.98%, 0.78% and 0.39%, respectively. The genetic genes of high yield of northeast core germplasm were polymerized by Mushi 6. The soybean hybridization and recombinant genes revealed that Mushi 6 has the genetic basis potential of high yield and high protein concentration, this research can provide theoretical support for soybean breeding.

Keywords: Soybean; Mushi 6; Genetic contribution rate; Genetic dissection; Potential yield increase

随着社会的发展和人民生活水平的提高,国内外市场对优质大豆的需求量大幅增加,大豆优质优价也势在必行^[1]。中国大豆与国外主产国的大豆相比,单产水平较低、品质较差、生产成本较高、商品市场竞争力弱,中国已成为世界上最大的大豆进口国^[2-3]。为提高中国商品大豆的市场竞争力,育

种家们在追求大豆高产的同时,更加注重大豆育种的力度,以加速培育出具有高蛋白、高油、抗逆等特性的大豆品种,推动大豆种植业结构的调整,促进优质大豆产业化发展^[4-5]。

近些年来,大豆科研人员更加重视大豆育成品种亲本选育的规律和配合力的研究。白艳凤等^[6]

收稿日期:2019-07-16

基金项目:农业部东北作物基因资源与种质创制重点实验室开放课题(CXGC2018KFKT006-2);黑龙江省农业科学院院级科研项目(2018YYF001);吉林省农业科技创新工程(CXGC2017JQ018);黑龙江省农业科学院杰出青年基金(2020JCQN005);黑龙江省应用技术与开发计划重大项目(GA18B101);黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2019ZX16B01);作物遗传与种质创新国家重点实验室开放课题(ZW201815)。

第一作者简介:孙晓环(1983-),女,硕士,助理研究员。主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:xaozm@yeah.net。

通讯作者:王燕平(1981-),男,博士,副研究员。主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:wyping1981@126.com。

对牡豆8号进行祖先亲本追溯及遗传解析,研究表明:牡豆8号属于四粒黄细胞质家族,传递过程是:四粒黄→黄宝珠→满仓金→克5501-3→绥农3号→绥农4号→绥农8号→垦农19→牡豆8号。核基因由祖先亲本农大4840、克山四粒荚、小粒豆9号、十胜长叶、Amsoy、四粒黄、金元、白眉、永丰豆、小粒黄、黄-中-中20和佳木斯秃夹子共同提供。在选择亲本时,母本往往选择当地有广泛适应性的主栽品种,而父本则选择融入地理远缘基因和生态远缘基因的桥梁亲本。品种遗传基础狭窄仍然是限制大豆育种进展的瓶颈问题。刘秀林等^[7]对黑农48进行祖先亲本追溯及蛋白遗传解析,研究结果表明:黑农48的细胞质传递过程为四粒黄→黄宝珠→满仓金→绥农3号→绥农4号→黑农40→黑农48。在选择育种亲本时,应以适应当地气候条件的具有广适性的主栽高蛋白品种为母本,以融入地理远缘基因和生态远缘基因的材料为父本。任海洋等^[8]对牡豆11的亲本追溯研究发现:祖先亲本中含有很多大面积推广品种。例如,群选1号、黄宝珠、紫花4号、满仓金、丰收6号、黑农16、绥农4号、垦农4号等核心祖先亲本;牡豆11号聚合了东北核心种质高产遗传基因,这些优良种质基因杂交重组,使其具有高产遗传基础潜力。

东北地区的大豆种植占全国面积的50%以上,东北大豆的产量直接影响中国大豆总产值。黑龙江省是东北大豆主产区,具有悠久的栽培历史,以大豆色泽金黄、品质良好、蛋白质含量高等优点在世界上享有盛誉^[9]。黑龙江省大豆品种的遗传背景相对比较狭窄,应多利用外国大豆血缘、野生大豆血缘、变异株系、辐射育种等方法来拓宽大豆遗传背景。本研究对黑龙江省农业科学院牡丹江分院培育的祖先亲本中野生大豆血缘遗传贡献率较高且蛋白含量高的品种牡试6号进行遗传系谱分析和增产潜势分析,旨在为选育高产稳产、高蛋白、适应性广、适宜机械化收获的大豆新品种提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

牡试6号是黑龙江省农业科学院牡丹江分院以黑农48为母本、龙品8807为父本,2010年在牡丹江分院试验田内人工进行杂交配制组合,经系谱法选育的品种。2010年冬天通过海南繁种F₁代;2011年在牡丹江分院试验田里种植F₂代,2011年冬季在海南繁种F₃代;2012年在牡丹江分院试验田里种植F₄代;2013年在牡丹江分院试验田中种植F₅代并决

选;2014和2015年在牡丹江分院试验地参加鉴定试验;2016年参加省高蛋白大豆一年区域试验;2017年参加黑龙江省两年区域试验;2018年参加黑龙江省生产试验。

牡试6号具有亚有限结荚习性,株高95 cm左右,紫花尖叶,有分枝,茸毛为灰白色,荚为弯镰形,籽粒为圆形且有光泽,种皮为黄色,种脐为黄色。百粒重20 g左右,三年平均蛋白质含量为45.08%,三年平均脂肪含量17.50%,抗病接种鉴定结果为中抗灰斑病。牡试6号在有效积温2 450℃左右情况下,从出苗到成熟需约120 d。

1.2 方法

牡试6号的系谱分析资料来源于《中国大豆育成品种系谱与种质基础(1923-2005)》^[10]、《中国大豆品种志》^[11]、《中国大豆品种志(1978-1992)》^[12]和相关研究结果^[13]。从牡试6号的父母本开始向上追溯亲本,直至祖先亲本不能再追溯为止^[7]。细胞质通过母本遗传,按贡献率100%计算;同时计算出祖先亲本细胞核遗传贡献率,凡由亲本通过自然变异选择法、辐射育种法育成的品种其亲本的核遗传贡献率为100%,凡由杂交育成的品种其双亲的核遗传贡献率均为50%,每一亲本再按均等分割方法上推至双亲,直至终极的祖先亲本,最后育成品种的各祖先亲本核遗传贡献值总和应等于100%。系谱树图绘制及贡献率的计算参照盖钧镒等^[13]方法。

2 结果与分析

2.1 牡试6号的系谱树

牡试6号是通过四粒黄细胞质遗传的,遗传过程是:四粒黄→黄宝珠→满仓金→克交5501-3→绥农3号→绥农4号→绥81-242→黑农40→黑农48→牡试6号。亲本优良基因由祖先亲本ZYD355野生豆、十胜长叶、嫩78631-5、四粒黄、金元、五顶珠、白眉、克山四粒荚、平地黄、Amsoy、Anoka、小粒黄、永丰豆、通州小黄豆、熊岳小黄豆、佳木斯突荚子、柳叶齐、东农20共同提供(图1和2)。

2.2 牡试6号的培育过程

牡试6号融合了野生大豆种质ZYD355、地方品种金元、四粒黄、白眉、平地黄、佳木斯突荚子、熊岳小黄豆、克山四粒荚、五顶珠、小粒黄、柳叶齐、东农20、永丰豆、荆山朴、通州小黄豆。并且,聚合了国外血缘美国种质Amsoy、Anoka和日本种质十胜长叶,打破了中国大豆遗传背景的局限性。

首先,育种家通过杂交组配出祖先亲本,包括四粒黄、金元、白眉、克山四粒荚、平地黄、五顶珠、

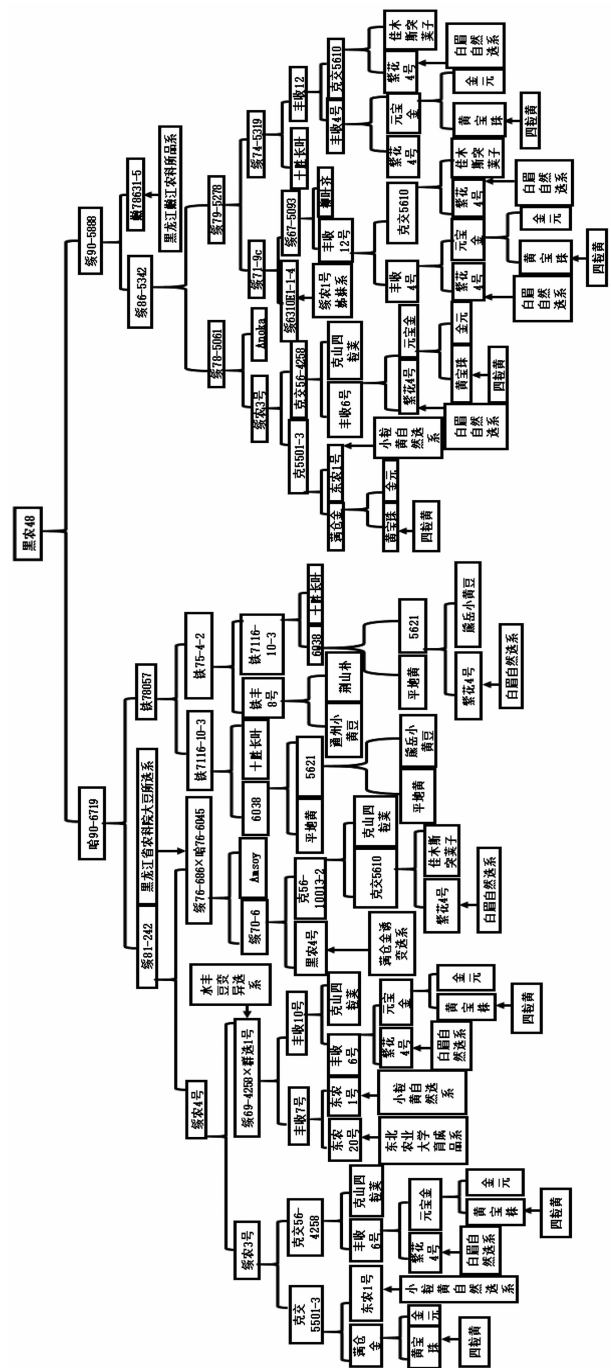


图 1 牡试 6 号母本系谱树

Fig. 1 Mushi6 female genealogical tree

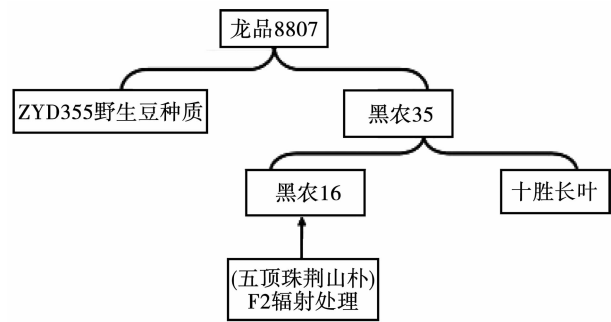


图 2 牡试 6 号父本系谱树

Fig. 2 Mushi6 male genealogical tree

佳木斯突荚子等地方品种。在育成祖先亲本的基础上,育种家们配制了一批广泛被使用的亲本种质,包括黄宝珠、紫花 4 号、元宝金、满仓金、黑农 4 号、丰收 4 号、东农 20、绥农 1 号姊妹系、荆山朴、东农 1 号等品种(品系)。后来,引入变异种质和外国种质。选用的变异种质包括群选 1 号(永丰豆自然变异选系)、五顶珠和荆山朴的辐射后代,满仓金诱变株系。还有国外血缘的祖先亲本:十胜长叶、Amsoy、Anoka。从而,选育品种(系)有绥农 4 号、克交 5610、绥 6310E1-1-4、绥 67-5093、丰收 12、克 5501-3、克交 56-4258、克 56-10013-2、5621、6038、绥农 3 号、绥 71-9c、绥 70-6、绥 74-5319、绥 69-4258、6038、铁丰 8 号、铁 7116-10-3、绥 76-686、哈 76-6045、铁 7116-10-3 以及铁 7555-4-2、绥 78-5061 和绥 79-5278、铁 78057、嫩 78631-5、绥 81-242 以及绥 86-5342,育成高蛋白材料黑农 48。最终,引用具有野生豆血缘的龙品 8807 为父本,用高产高蛋白的黑农 48 为母本进行杂交,进一步提升育种材料的高蛋白特性。

2.3 牡试 6 号的亲本来源

从表 1 的牡试 6 号亲本来源可以看出,牡试 6 号融合了不同地域来源、不同生态类型、不同生长环境的亲本。应用远缘杂交优势的特点,充分利用了北京、辽宁、吉林省、黑龙江省、美国、日本等大豆和野生豆的血缘。

表 1 牡试 6 号祖先品种生长区域

Table 1 Cultivation area of the ancestral varieties of Mushi 6

品种 Cultivar	生长区域 Cultivation area
四粒黄 Silihuang	吉林省中北部
黄宝珠 Huangbaozhu	吉林省和辽宁省北部
ZYD355	黑龙江省佳木斯地区野生大豆
金元 Jinyuan	吉林省南部及辽宁省北部
小粒黄 Xiaoli Huang	黑龙江省勃利县
永丰豆 Yongfengdou	吉林省永吉县地区
白眉 Baimei	黑龙江省北部的德都、克山
克山四粒荚 Keshansilijia	黑龙江省中部、东部和北部
满仓金 Mancangjin	黑龙江省中南部及吉林省中北部
元宝宝 Yuanbaoji	黑龙江省中南部及吉林省中北部
紫花 4 号 Zihua 4	黑龙江省北部的克山、北安
佳木斯秃荚子 Jiamusitujiazi	黑龙江省佳木斯地区
十胜长叶 Tokchi Nagaha	日本十胜农场
Amsoy	美国
绥农 3 号 Suinong 3	黑龙江省绥化
绥农 4 号 Suinong 4	黑龙江省第二积温带

续表 1

品种 Cultivar	生长区域 Cultivation area
丰收 12 Fengshou 12	黑龙江省北部
丰收 4 号 Fengshou 4	黑龙江省克拜、嫩江
黑农 48 Heinong 48	黑龙江省第二、三积温带
熊岳小黄豆 Xiongyuexiaohuangdou	辽宁省熊岳
平地黄 Pingdihuang	吉林中南部、东部、辽宁东北部
通州小黄豆 Tongzhouxiaohuangdou	北京通县地方品种
黑农 40 Heinong 40	黑龙江省第一积温带
东农 1 号 Dongnong 1	黑龙江省中南部地区
群选 1 号 Qunxuan 1	吉林省中南部及东部
铁丰 25 Tiefeng 25	吉林省
丰收 10 号 Fengshou 10	黑龙江省北部
铁丰 8 号 Tiefeng 8	吉林省
丰收 6 号 Fengshou 6	黑龙江省北部
黑农 4 号 Heinong 4	黑龙江省第二积温带
荆山朴 Jingshanpu	黑龙江中、东部,吉林、内蒙古
绥农 1 号 Suinong 1	黑龙江省绥化
柳叶齐 Liuyeqi	黑龙江地方品种
黑农 35 Heinong 35	黑龙江省二、三积温带
黑农 16 Heinong 16	黑龙江省二积温带
Anoka	美国
黑农 48 Heinong 48	黑龙江省第二积温带

结合牡试 6 号的系谱树(图 1 和 2)进行分析,四粒黄和金元为祖先亲本被应用了 12 次,是本系谱引用次数最多的亲本,由四粒黄和金元育成的满仓金和元宝金两个种质被育种家广泛应用,配合力很好;元宝金和满金仓有许多优良的特性,在黑龙江省和吉林省被农民大面积种植^[14];满仓金具有抗虫性强,耐盐碱等特性;元宝金具有倒伏少、抗虫害,耐肥水等特点;另外,白眉是黑龙江省的地方品种,是黑龙省大豆品种的祖先亲本;紫花 4 号是白眉的自然优系,具有产量高、抗倒伏、喜肥耐湿、品质好等特点;丰收 6 号是以紫花 4 号为母本,元宝金为父本杂交组合育成的,其丰产性好,得到了农民广泛的好评;克山四粒黄是黑龙江省地方品种,具有品质好、荚粒大、虫食率少等特点^[15];东农 1 号是黑龙江小粒黄的自然优系,是育种家选择亲本常用的品种;佳木斯秃荚子具有喜肥,适于密植等特点,产量低于满仓金,品质稍差;美国大豆 Amsoy 具有抗灰斑病、分枝多、高大繁茂、结荚密等特点;十胜长叶是日本的大豆种质^[16],具有配合力高、结荚多、抗倒伏等特点;黑农 48 在黑龙江省第二积温带种植,具有高蛋白、高产、抗倒伏等特点。

2.4 祖先亲本核遗传贡献率

牡试 6 号的祖先亲本核遗传贡献率从大到小分别为 ZYD355 野生豆、十胜长叶、嫩 78631-5、四粒黄、金元、五顶珠、白眉、克山四粒荚、平地黄、Amsoy、Anoka、小粒黄、永丰豆、通州小黄豆、熊岳小黄豆、佳木斯突荚子、柳叶齐、东农 20,核遗传贡献率分别是: 25%、18.74%、12.5%、6.58%、6.58%、6.25%、3.14%、3.14%、3.14%、3.13%、3.13%、1.95%、1.56%、1.56%、1.19%、0.98%、0.78%、0.39%(表 2)。

表 2 牡试 6 号祖先亲本核遗传贡献率
Table 2 The nuclear genetic contribution ratio of the Mushi 6 ancestors

亲本 Parent	应用次数 Application time	核遗传贡献率 Genetic contribution/%
ZYD355	1	25.00
十胜长叶 Tokchi Nagaha	4	18.74
嫩 78631-5 Nen 78631-5	1	12.50
四粒黄 Silihuang	12	6.58
金元 Jinyuan	12	6.58
五顶珠 Wudingzhu	1	6.25
白眉 Baimei	8	3.14
克山四粒荚 Keshansilijia	5	3.14
平地黄 Pingdihuang	3	3.14
Amsoy	1	3.13
Anoka	1	3.13
小粒黄 Xiaolihuang	4	1.95
永丰豆 Yongfengdou	1	1.56
通州小黄豆 Tongzhouxiaohuangdou	1	1.56
熊岳小黄豆 Xiongyuexiaohuangdou	2	1.19
佳木斯秃夹子 Jiamusitujiazi	3	0.98
柳叶齐 Liuyeqi	1	0.78
东农 20 Dongnong 20	1	0.39

其中,高蛋白的野生豆 ZYD355 核遗传贡献率达到 25%,应用 1 次;日本血缘的十胜长叶核遗传贡献率为 18.74%,应用 4 次;嫩 78631-5 由于没有查到相关的资料,无法继续追踪其亲本,视其为祖先亲本,核遗传贡献率为 12.5%,应用 1 次;四粒黄、金元直接或间接应用的次数最多,均为 12 次,遗传贡献率均为 6.58%;五顶珠应用过 1 次,遗传贡献率均为 6.25%;克山四粒荚、平地黄、白眉核遗传贡献率均为 3.14%;小粒 9 号和十胜长叶均提供遗传贡献率为 12.5%;美国血缘的 Amsoy 和 Anoka 均提供 3.13%;小粒黄应用 4 次,虽然引用次数较多,但是由于小粒黄为祖先亲本,所以核遗传贡献率仍

较小,为 1.95%;永丰豆、通州小黄豆、熊岳小黄豆、佳木斯突荚子、柳叶齐、东农 20 由于引用时期较早且引用的次数较少,核遗传贡献率均较小,分别为 1.56%、1.56%、1.19%、0.98%、0.78%、0.39%。

2.5 增产浅势分析

从牡试 6 号系谱树中可以看出,引用亲本材料元宝金,满仓金、紫花 4 号、十胜长叶等一系列高产且配合力高的材料进行遗传构建,使牡试 6 号具备可遗传的增产潜势。

2014-2015 年牡试 6 号在牡丹江分院参加两年的产量鉴定试验平均产量 $3\,005\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,比对照品种绥农 26 增产 7.1%。2016 年区域试验平均产量 $2\,287.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,比对照品种绥农 26 增产 4.1%,2017 年区域试验平均产量 $2\,847.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,比对照品种绥农 26 增产 6.9%。2018 年生产试验平均产量 $2\,992.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,比对照品种绥农 26 增产 5.7%。两年的区域试验和生产试验平均产量达 $2\,709.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,比对照品种绥农 26 增产 5.6%。以上试验结果说明大豆品种牡试 6 号增产稳定,具有创造高产遗传潜能。

3 讨 论

3.1 杂交组合的亲本选择

牡试 6 号是采用常规育种方法育成的,属于四粒黄细胞质家族。从牡试 6 号亲本来源可以看出,四粒黄、金元多次参与遗传背景的构建,造成遗传基础狭窄,影响了大豆育种的突破性进展。目前,育种家普遍认为:杂交的父母本均是高蛋白材料,后代较容易选出高蛋白材料。牡试 6 号的母本选择了高蛋白材料黑农 48,父本选择了具有高蛋白成分的野生大豆亲本,三年的蛋白质为 45.08%,从而证明选择高蛋白亲本,可以优化高蛋白的遗传基础。

3.2 拓宽品种的遗传基础

在一般杂交育种过程中,母本选择当地有广泛适应性的主栽品种,而父本选择具有地理远缘的种质和生态不同基因型的亲本。通过对牡试 6 号系谱树上的亲本分析发现,金元和四粒黄的使用次数最多,均达 12 次,另外,在东北地区有很多育成品种和地方品种都有四粒黄和金元的血缘,如黑农 48,绥农 3、绥农 4 号、黑农 40、黑农 48、牡豆 8、牡豆 10 等。说明金元和四粒黄这两个祖先亲本对于黑龙江省大豆育种意义深远。

牡试 6 号有 25% 的核遗传贡献率来自于野生大豆资源,大约 25% 的核遗传贡献率由国外种质提供。应用外国遗传基础丰富的种质作亲本^[17],拓宽现有品种资源遗传基础,同时也可引进国外优良的

性状基因,为今后培育突破性的大豆品种提供有利条件^[18-19]。另外,在提高大豆品种蛋白含量方面,野生大豆具有高蛋白、高异黄酮、抗逆等优良特性^[20],但是融入野生大豆血缘的材料不稳定,经常被育种者摒弃,而常会选用性状优良、适应性好、稳定的品种作为亲本,造成基因来源单一,不易拓宽品种遗传基础。因此,野生大豆血缘的亲本的加入是值得进一步思考的问题。而中国有着世界上最为丰富的野生大豆资源^[21],董英山等^[22]对国家种质库保存的 6 172 份野生大豆资源进行遗传变异分析,来永才^[23]对黑龙江省野生大豆做了全面的收集和研究。

为解决中国大豆供给和安全问题^[24-25],利用变异品系、外国种质、野生大豆资源、辐射育种等扩宽遗传背景的方法,打开育种思路和方法,挑战传统的育种思想,对于拓宽品种遗传基础和指导育种者的育种工作具有较重要的参考价值。

4 结 论

牡试 6 号的亲本遗传背景构成丰富,采用地理位置较远、生态类型多样的种质,包括国外种质和野生大豆基因类型。亲本血缘品种资源类型丰富,为拓宽大豆新品种的遗传背景、选育优质高产大豆提供有效途径。

牡试 6 号高度聚合了东北大豆核心种质的优良基因,经过大豆杂交重组基因,具有高产高蛋白的遗传基础潜力。

参考文献

[1] 闫日红,王曙明,杨振宇,等. 吉林省高油大豆品种选育进展[J]. 大豆科技,2014(4): 1-4. (Yan R H, Wang S M N, Yang Z Y, et al. Breeding progress on high oil soybean varieties in Jilin province[J]. Soybean Science and Technology, 2014(4): 1-4.)

[2] 朱思柱. 大豆进口对中国种植业的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014:1-30. (Zhu S Z. Research on the impact of soybean imports on Chinese cropping production[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014: 1-30.)

[3] 周静,谷强平,杜吉到. 中国大豆进口依赖性及其对大豆进口安全的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(3): 503-506. (Zhou J, Gu Q P, Du J D. Soybean import dependence and its effect on soybean import security in China[J]. Soybean Science, 2015, 34(3): 503-506.)

[4] Babu S R, Meena P K, Dudwal R. Population dynamics of major defoliators(semiloopers and tobacco caterpillar) in soybean crop[J]. Legume Research: An International Journal, 2017, 40(1): 183-186.

[5] Lesk C, Rowhani P, Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production[J]. Nature, 2016, 529: 84-87.

- [6] 白艳凤, 王玉莲, 王燕平, 等. 牡豆 8 号祖先亲本追溯及遗传解析[J]. 植物资源学报, 2015, 16(3): 485-489. (Bai Y F, Wang Y L, Wang Y P, et al. Ancestors tracking and genetic dissection for released soybean cultivar Mudou 8[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(3): 485-489.)
- [7] 刘秀林, 张必弦, 刘鑫磊, 等. 黑农 48 祖先亲本追溯及蛋白遗传解析[J]. 大豆科学, 2017, 36(5): 679-684. (Liu X L, Zhang B X, Liu X L, et al. Ancestors tracking and genetic dissection for released soybean cultivar Heinong 48[J]. Soybean Science, 2017, 36(5): 679-684.)
- [8] 任海洋, 王玉莲, 王燕平, 等. 牡豆 11 亲本追溯及增产潜能分析[J]. 大豆科学, 2019, 38(5): 681-685. (Ren H X, Wang Y L, Wang Y P, et al. Analysis on parent traceability and productivity potential of Mudou 11[J]. Soybean Science, 2019, 38(5): 681-685.)
- [9] 张国栋. 黑龙江省大豆推广品种的细胞质来源初步研究[J]. 大豆科学, 1987, 6(4): 313-316. (Zhang G D. The cytoplasm sources research of soybean varieties in Heilongjiang province[J]. Soybean Science, 1987, 6(4): 313-316.)
- [10] 崔章林, 盖钧镒, Carter T E J, 等. 中国大豆育成品种及其系谱分析(1923-1995)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 23-39. (Cui Z L, Gai J Y, Carter T E J, et al. The released Chinese soybean cultivars and their pedigree analyses(1923-1995) [M]. Beijing: China Agriculture press, 1998: 23-39.)
- [11] 张子金.《中国大豆品种志》[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985: 39-239. (Zhang Z J. The soybean varieties[M]. Beijing: The Agriculture Press of China, 1985: 39-239.)
- [12] 胡明祥, 田佩占.《中国大豆品种志(1978-1992)》[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 51-57. (Hu M X, Tian P Z. Annals of the breeds of Chinese soybeans (1978-1992) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993: 51-57.)
- [13] 盖钧镒, 赵团结. 中国大豆育种的核心祖先亲本分析[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(2): 20-23. (Gai J Y, Zhao T J. The core ancestors of soybean cultivars in China[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(2): 20-23.)
- [14] 任海洋, 邵广忠, 宗春美. 大豆新品种“牡豆 8 号”的选育[J]. 大豆科学, 2012, 31(5): 861-862. (Ren H X, Shao G Z, Zong C M, et al. Breeding report of new soybean cultivar Mudou 8 [J]. Soybean Science, 2012, 31(5): 861-862.)
- [15] 郝世涛, 牛若超. 克山大豆种质及利用研究[J]. 大豆通报, 1996(5): 23-25. (Hao S T, Niu R C. Make use of the research of Keshan soybean[J]. Soybean Bulletin, 1996(5): 23-25.)
- [16] 郭娟娟, 常汝镇, 章建新, 等. 日本大豆种质十胜长叶对我国大豆育成品种的遗传分析[J]. 大豆科学, 2007, 26(3): 807-812. (Guo J J, Chang R Z, Zhang J X, et al. Contribution of Japanese soybean germplasm Tokachi-Nagaha to Chinese to soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(3): 807-812.)
- [17] 郭泰, 王志新, 吴秀红, 等. 国外大豆资源利用与小粒大豆品种创新[J]. 中国农学通报, 2009, 25(22): 306-310. (Guo T, Wang Z X, Wu X H, et al. Foreign soybean resources utilization and small grain soybean variety innovation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(22): 306-310.)
- [18] 王彩洁, 孙石, 吴宝美, 等. 20 世纪 40 年代以来中国大面积种植大豆品种的系谱分析[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(3): 246-252. (Wang C J, Sun S, Wu B M, et al. Pedigree analysis of the most planted soybean cultivars in China since 1940s [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(3): 246-252.)
- [19] 杨春燕, 姚利波, 刘兵强, 等. 国内外大豆品质育种研究方法与最新进展[J]. 华北农学报, 2009, 24(S1): 75-78. (Yang C Y, Yao L B, Liu B Q, et al. Advance on soybean quality breeding in China and abroad[J]. Acta Agricultura Boreali Sinica, 2009, 24(S1): 75-78.)
- [20] 王果, 胡正, 张保缺, 等. 山西省野生大豆资源遗传多样性分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2182-2190. (Wang G, Hu Z, Zhang B Q, et al. Genetic diversity analysis of shanxi's wild soybean (*Glycine soja*) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 2182-2190.)
- [21] 张振宇, 韩旭东, 郭泰, 等. 东北优质大豆品种的遗传多样性分析[J]. 农学报, 2015, 5(6): 15-20. (Zhang Z Y, Han X D, Guo T, et al. Analysis of genetic diversity of northeast soybean cultivars[J]. Journal of Agriculture, 2015, 5(6): 15-20.)
- [22] 董英山, 庄炳昌, 赵丽梅, 等. 中国野生大豆遗传多样性中心[J]. 作物学报, 2000, 26(5): 521-527. (Dong Y S, Zhuang B C, Zhao L M. The genetic diversity centers of annual wild soybean in China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(5): 521-527.)
- [23] 来永才. 中国寒地野生大豆资源图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 5-80. (Lai Y C. Illustrated handbook of wild soybean growth in the cold region of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 5-80.)
- [24] 张振. 大豆生产显著性增加进口增速放缓[J]. 农产品市场周刊, 2017(16): 22-23. (Zhang Z. Soybean production significantly increased import growth slow down[J]. Agricultural Products Market Weekly, 2017(16): 22-23.)
- [25] 路子显. 论大豆进口与我国粮食质量安全[J]. 粮食问题研究, 2017(1): 4-9. (Lu Z X. On soybean import and food quality and safety[J]. Grain Issues Research, 2017(1): 4-9.)