

东北大豆种质群体在克山的表现及其潜在的育种意义

张 勇¹, 傅蒙蒙², 杨兴勇¹, 董全中¹, 薛 红¹, 张明明¹, 李微微¹, 王燕平³, 任海祥³, 赵团结², 杜维广³, 盖钧镒²

(1. 黑龙江省农业科学院 克山分院, 黑龙江 克山 161606; 2. 南京农业大学 大豆研究所 / 农业部大豆生物学与遗传育种重点实验室 / 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; 3. 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 157041)

摘 要:东北是我国大豆的主要生态区,克山是东北北部重要产区。本研究于 2012 – 2014 年,以搜集到的东北地区各单位现存的 361 份大豆地方品种和育成品种作为东北现存的本地种质,观察该群体在克山地区的表现,研究其在克山的潜在育种意义。获得以下主要结果:(1)东北大豆种质群体平均表现为全生育期 133 d(103.8 ~ 157.0 d)、蛋白质含量 39.69% (35.6% ~ 44.38%)、油脂含量 20.58% (17.47% ~ 22.84%)、蛋脂总量 60.27% (54.00% ~ 63.97%)、百粒重 17.61 g(6.13 ~ 28.17 g)、株高约 96 cm(54.92 ~ 146.8 cm)、主茎 19 节(11.23 ~ 25.83)、分枝 2.75 个(0.22 ~ 7.63)、倒伏 2 级左右(1.00 ~ 4.00);(2)当地适合熟期组为 MG 0 和 MG I,各性状的平均值与群体平均相近,其它熟期组在当地的表现与之不同。MG 000 和 MG 00 的生育天数集中在 110 ~ 120 d,比当地无霜期早约 10 ~ 20 d,不能充分利用当地的自然条件;而品质性状表现则略优于 MG 0 和 MG I,特别是油脂含量和蛋脂总量分别高约 1%、1.5%;株高、节数均低于 MG 0 和 MG I,分别低约 10 ~ 40 cm、2 ~ 8 节。MG II 的生育天数在当地高达 150 d,不能稳定正常成熟,不适合当地种植;品质性状表现低于当地品种水平,特别是蛋白质、蛋脂总量均低约 2%,油脂低约 0.5%;而株高、节数高于当地品种,分别高约 10 cm、2 节,倒伏程度则高达 3 级。MG III 在克山不能正常成熟,导致其它性状表达不正常,生长量和倒伏度增加;(3)根据各农艺品质性状在克山表现的遗传进度估计,虽然油脂和蛋白质含量相对小些,但均有一定的改良潜力。克山地区利用东北大豆资源育成了许多适于东北北部的优异品种,体现了东北种质的重要作用。根据当地品种的表现,从供试的东北资源中提出了各农艺、品质性状改良可用的亲本品种名单,供育种工作者参考。

关键词:东北春大豆; 熟期组; 农艺品质性状; 遗传变异; 育种潜势
中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.06.0881

Performance and Breeding Potential of the Northeast China Soybean Germplasm Population in Keshan Area

ZHANG Yong¹, FU Meng-meng², YANG Xing-yong¹, DONG Quan-zhong¹, XUE Hong¹, ZHANG Ming-ming¹, LI Wei-wei¹, WANG Yan-ping³, REN Hai-xiang³, ZHAO Tuan-jie², DU Wei-guang³, GAI Jun-yi²

(1. Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Keshan 161606, China; 2. Soybean Research Institute of Nanjing Agricultural University / Key Laboratory for Soybean Biology, Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture / National Center for Soybean Improvement / National Key Laboratory for Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing 210095, China; 3. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences / Mudanjiang Experiment Station of the National Center for Soybean Improvement, Mudanjiang 157041, China)

Abstract: Northeast China is a major ecoregion for soybean production in China, while Keshan area is a major soybean production area in northern of Northeast China. The soybean germplasm population composed of 361 landraces and released cultivars collected in Northeast China was tested in Keshan in 2012-2014 for evaluation of its characterization and genetic potential in local breeding programs. The results obtained were as follows: 1) the average performances with ranges of agronomic and seed quality traits were characterized as that the days to maturity was 133 d(103.8 – 157.0 d), the protein content /oil content /total protein and oil /100-seed weight were 39.69% (35.6% – 44.38%), 20.58% (17.47% – 22.84%), 60.27% (54.00% – 63.97%) and 17.61 g(6.13 – 28.17 g), the plant height, nodes on main stem, number of branches and lodge-

收稿日期:2016-07-18
基金项目:国家自然科学基金(31371651);国家重点基础研究发展计划“973 计划”(2011CB1093);农业部公益性行业专项(201203026-4);教育部 111 项目(B08025);教育部长江学者和创新团队项目(PCSRT13073);中央高校基本科研业务费项目(KYZ201202-8);国家现代农业产业技术体系(CARS-04);江苏省优势学科建设工程专项;江苏省 JCIC-MCP 项目。
第一作者简介:张勇(1978-),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆育种研究。E-mail:zhangyong6751@163.com;
傅蒙蒙(1988-),男,博士,主要从事大豆种质资源生态研究。E-mail:fu_mengmeng@126.com。
通讯作者:杜维广(1943-),男,研究员,主要从事大豆遗传育种研究工作。E-mail:weiguangdu@126.com;
盖钧镒(1936-),男,教授,博导,主要从事作物遗传育种研究工作。E-mail:sri@njau.edu.cn。

ing score were 96 cm (54.92 – 146.8 cm), 19 nodes (11.23 – 25.83), 2.75 (0.22 – 7.63) and 2.18 (1.00 – 4.00), respectively. 2) The MG 0 and MG I were the best adapted maturity groups that could fully use the local frost-free period with the averages of all traits similar to the population averages. The other maturity groups performance differently in Keshan. The MG 000 and MG 00 matured at about 110 – 120 d, 10 – 20 d earlier than the local first frost; the seed quality traits were better than those of MG 0/MG I with oil content /protein – oil content about 1%/1.5% higher; while their plant height and nodes on main stem were about 10-40 cm and 2-8 nodes less than those of MG 0/MG I. The MG II took about 150 d and could not mature constant-naturally before the first frost; their seed quality traits were not as good as MG 0/MG I with protein content /protein – oil content about 2% less and oil content 0.5% less than those of MG 0/MG I, the plant height and nodes on main stem were about 10 cm and 2 nodes more than those of MG 0/MG I; while the lodging score were one grade more (grade 3) than that of MG 0/MG I. The MG III did not mature naturally, causing abnormal development of the other traits with growth amount and lodging score increased. 3) There are certain breeding potential for all the agronomic and seed quality traits according to the estimates of genetic gains, even oil and protein contents, which was demonstrated by a number of superior cultivars been released based on the germplasm population. From the present data, a group of superior accessions were nominated as parental materials for the improvement of individual traits of the adapted-local cultivars in Keshan area.

Keywords: Northeast spring-sowing soybean; Maturity group; Agronomic and seed quality traits; Genetic variation; Breeding potential

随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,大豆消费呈快速增长的趋势,1961 年我国大豆消费量仅为 607 万 t,至 2013 年大豆消费量则高达 7 756 万 t,已成为全球大豆消费第一大国^[1],然而我国大豆生产面积下滑明显,总产降低,国内大豆的自给能力已降至 20%,对粮食保障造成压力。有研究表明全国大豆种植面积自 2008 年的 950 万 hm²降至 2012 年的 718 万 hm²;总产也从 2009 年的 1 680 万 t 降至 2012 年的 1 280 万 t^[2]。基于此,国家在《全国种植业结构调整规划(2016 – 2020)》中强调增加大豆种植面积(力争到 2020 年大豆面积达到 1.4 亿亩),提高大豆的供应量^[3]。

东北地区作为我国大豆主产区,在我国大豆生产中占有重要地位。我国大豆生产落后的原因很多,但单产水平低是关键因素^[4]。盖钧镒^[5]研究表明,品种改良是决定大豆增产的重要因素。文自翔等^[6]研究表明育成品种是经育种家长期杂交、选育,积累了多方面的优异变异,育成品种与野生豆和地方品种相比,虽然丢失 77.7%、71.09% 的等位变异,同时分别增加了 54.7%、45.9% 的新变异,是品种改良最核心的遗传资源。

评价种质资源的多样性和遗传潜力可以为大豆育种提供参考。种质资源多样性的评价一般包括表型、染色体、等位酶、DNA 等不同的层次,其中表型评价是最基本的,最为简便、经济,在种质资源特别是群体较大时广泛采用。表型评价一般采用遗传变异系数、表型变异系数、遗传率、遗传进度和相对遗传进度等指标^[7-8],这些指标同时也反映群体的育种潜势。遗传率反映了由遗传所引起的变异占总变异的比例,遗传率高,育种选择的效率就高。遗传变异系数是性状遗传变异程度的指标。

遗传进度和相对遗传进度是遗传变异、遗传力和选择强度的综合指标,可以衡量群体的性状选择的潜力。

熟期组分类是目前最主要的分类方式,傅蒙蒙等^[9-10]研究表明本试验群体包含东北地区 MG 000 ~ MG III 的所有熟期组类型,其中 MG 0 ~ MG I 为当地适宜熟期组类型。比较 MG 0 ~ MG I 与其它熟期组的材料在当地的表现有助于认识当地品种与其它品种的特点,对利用其它地区品种改良当地品种具有重要意义。克山地区自 1934 年始创克山农事试验场以来,在东北大豆育种及产业中占有重要地位,采用克山种质育成品种多达 119 个^[11]。本研究小组于 2012 – 2014 年在克山种植由东北地区广泛征集的东北大豆种质资源 361 份。以期明确东北种质资源群体在克山地区的表现和育种潜势,为克山地区品种改良提出建议并提供部分优异亲本材料。

1 材料与方法

1.1 生态区基本情况

克山县位于黑龙江省西部、齐齐哈尔地区市东北部,属于黑龙江省品种生态区划的克拜生态区。地势属丘陵漫岗,土壤以黑土为主,大于 10℃ 的积温 2 300 ~ 2 500℃,年降水量 500 ~ 600 mm,无霜期 120 ~ 125 d^[12]。

1.2 试验设计

试验于 2012 – 2014 年在黑龙江省农业科学院克山分院试验地进行,将 361 份东北春大豆按照生育期长度分为极早熟、早熟、中早熟、中熟、中晚熟、晚熟 6 组。采用重复内分组试验设计,4 次重复,小区面积 1 m²,穴播,每小区 4 穴,每穴保留 4 株,初花时至少拥有 2 穴、每穴中至少 3 株的小区参与调查。

按 Fehr 等^[13] 提出的大豆生育时期鉴定方法,调查播种期、VE、R1、R2、R7、R8 期,当地霜降时未达到成熟标准的材料仅记录其所达到的生育时期。生态区基本条件与试验材料详情见傅蒙蒙等^[9]。收获后调查项目及标准参考邱丽娟等^[14] 的标准、品质性状的检测统一在南京农业大学采用 FOSS 近红外谷物分析仪 Infratec TM 1241。

1.3 数据统计分析

描述统计分析采用 SAS/STAT V 9.1 的 PROC MEANS 软件进行。方差分析采用 SAS/STAT V 9.1 的 PROC GLM。平均数间的差异显著性采用 Duncan 新复极差测验。根据方差分析结果计算相对应的遗传率(h^2)、遗传变异系数(GCV)、遗传进度(G)和相对遗传进度(ΔG),计算方法参考文献^[15-17]。

多年联合方差分析线性模型: $y_{ijkl} = a_i + b_j + d_{l(j)} + A_{ij} + e_{ijl}$

广义遗传率 h^2 公式: $h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2 \times 100\%$
表型方差: $\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{g(j)}^2 / j + \sigma_e^2 / (j \times r)$
遗传变异系数 GCV 公式: $GCV = \sigma_g / \mu \times 100\%$
遗传进度 G 公式: $G = k \times \sigma_g \times \sqrt{\bar{h}^2}$

相对遗传进度 ΔG 公式: $\Delta G = 100 \times G / \bar{X}$
 μ 为群体表型数据的平均数, α_i 为第 i 个基因型的效应, β_j 为第 j 年的效应, $\delta_{l(j)}$ 为 j 年第 l 个重复的效应, A_{ij} 为基因型与年份的交互, ε_{ijl} 为残差。运算过程中,所有变异来源均作为随机效应处理。 σ_g^2 为基因型方差, σ_p^2 为表型方差, $\sigma_{g(j)}^2$ 为基因型与年份交互方差, σ_e^2 为误差方差, j 为年份, r 为重复, \bar{X} 为性状平均值, k 为选择强度, 5% 选择强度下为 2.06。

2 结果与分析

2.1 东北大豆种质群体及各熟期组在克山地区的农艺品质性状表现

表 1~4 为大豆种质群体生育期性状、籽粒性状、产量性状、株型性状在克山地区的次数分布和描述统计。对生育期性状,生育前期、后期、全生育期的平均值分别为 55.1, 79.3, 132.5 d, 变幅分别为 40.0~89.3、61.2~97.5、103.8~157.0 d。各熟期组在生育期性状上差异均达到显著水平,生育天数随熟期组的变晚程度呈增大的趋势。MG 0 和 MG I 全生育期天数最适合当地无霜期长度,满足当地的生产需求(130 d)。MG 000 和 MG 00 在当地全生育期平均天数在 111~120 d,不能充分利用当地自然条件。MG II 组的生育天数明显超过当地无霜期

天数,不能稳定成熟,不适合在生产上使用。至于 MG III 组,在当地基本上不能成熟。

对籽粒性状,蛋白质含量、油脂含量、蛋脂总量、百粒重的平均值分别为 39.69%、20.58%、60.27%、17.61g, 变幅分别为 35.6%~44.38%、17.47%~22.84%、54.00%~63.97%、6.13~28.17 g。部分熟期组在该类性状上差异达到显著水平, MG 0 和 MG I 较 MG 000 和 MG 00 的籽粒性状水平略低,比 MGII 水平略高。具体的说, MG0 和 MG I 的蛋白质含量、油脂含量、蛋脂总量、百粒重平均值在 39.24%~40.11%、20.30%~20.54%、59.53%~60.66%、17.7g, 比 MG 000 和 MG 00 低约 0.45%~1.32%、0.69%~1%、0.52%~2.27%、0.11~0.57 g (MG 00 组蛋白质含量为 38.88% 除外), 比 MGII 组高约 2%、0.4%、2%、1.3 g。

关于产量性状,本试验设计小区较小,重在考察不同熟期组和地理群体间的变化趋势。地上部生物量、产量的平均值分别为 6.30 和 2.90 t·hm⁻², 变幅分别为 1.92~13.79 t·hm⁻²、1.11~4.32 t·hm⁻²。不同熟期组间地上部产量相差较大,达到显著水平,呈现随熟期组变晚而增高的趋势(4.26~8.74 t·hm⁻²);比较各组的变幅,其最小值差异不大,而最大值相差较大。产量性状 MG 00 和 MG 0 组达到最大,为 3.00 t·hm⁻² 左右,而其余组在 2.00~2.60 t·hm⁻² 左右。

株高、主茎节数、分枝数目、倒伏程度分别为 91.2 cm、19.0 节、2.75 个、2.18, 变幅分别为 54.92~146.8 cm、11.23~25.83、0.22~7.63、1.00~4.00。各熟期组间达到显著水平。随着熟期组变晚,各性状均呈增大的趋势。MG 0 和 MG I 的株高、主茎节数、分枝数目和倒伏程度分别为 97 cm、19 节、2.67 个、2.13, 比 MG 000 和 MG 00 高约 10~40 cm, 节位多约 2~8 节;比 MG II 低约 10 cm, 节位少约 2 节,倒伏程度低 1 个等级。

从群体水平上,各性状在频数分布上基本呈现以平均值所在组为最高值的钟形分布。标准差和变幅反映了不同性状的多样性水平,各性状内均含有丰富的变异。变异系数反映了不同性状的多样性水平,其中分枝数目/倒伏程度的多样性水平最高,均在 37% 以上,其原因是 MG II 和 MG III 品种在克山生态条件下表现繁茂所致;品质性状的多样性水平最低,在 2.46%~3.98%;其余性状则分布在 7%~25%。

表 1 东北大豆种质群体在克山生育期性状的次数分布和描述统计(2012 – 2014 年)
Table 1 Frequency distribution and descriptive statistics of the growth period traits of the Northeast China soybean germplasm population in Keshan (2012-2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point										平均值 Mean	<i>SD</i>	<i>CV</i>	变幅 Range
			42.5	47.5	52.5	57.5	62.5	67.5	72.5	77.5	82.5	87.5				
生育前期	000	16	5	11									45.8 f	2.66	5.82	40.0 ~ 49.7
Days to flowering/d	00	45	3	31	11								48.3 e	2.62	5.43	43.7 ~ 54.8
	0	157		28	110	18							52.2 d	2.63	5.04	45.2 ~ 60.5
	I	79		5	31	30	10	2	1				56.0 c	4.32	7.72	48.2 ~ 71.1
	II	43			1	7	14	17	2	1	1		64.3 b	5.63	8.76	52.8 ~ 84.2
	III	21					3	6	1	0	2	9	77.1 a	10.37	13.45	64.2 ~ 89.3
	总计 Total	361	8	75	153	55	28	25	4	1	3	9	55.1	8.36	15.17	40.0 ~ 89.3
61.9 65.7 69.5 73.3 77.1 80.9 84.7 88.5 92.3 96.1																
生育后期	000	16	6	5	4	1							65.7 e	3.59	5.47	61.2 ~ 71.8
Days from flowering to maturity/d	00	45		3	11	24	6	0	1				72.6 d	3.09	4.26	66.2 ~ 83.5
	0	157			2	12	57	66	20				79.2 c	2.99	3.77	70.8 ~ 85.4
	I	75				1	9	24	34	4	1	2	82.8 b	4.05	4.89	74.0 ~ 97.2
	II	34					3	9	7	4	6	5	86.4 a	6.01	6.95	77.7 ~ 97.5
	III	3								1	2		87.5 a	1.8	2.06	86.0 ~ 89.5
	总计 Total	330	6	8	17	38	75	99	63	10	7	7	79.3	6.1	7.69	61.2 ~ 97.5
105.7 111.1 116.5 121.9 127.3 132.7 138.1 143.5 148.9 154.3																
全生育期	000	16	4	7	5								111.2 f	3.9	3.5	103.8 ~ 119.2
Days to maturity/d	00	45		2	13	25	4	1					120.8 e	4.4	3.63	111.2 ~ 135.2
	0	157				2	48	97	10				131.2 d	3.1	2.34	123.6 ~ 138.8
	I	75						21	45	6	0	3	137.9 c	4.3	3.14	132.8 ~ 157.0
	II	34							1	7	9	17	150.0 b	5.4	3.61	137.0 ~ 157.0
	III	3										3	155.1 a	1.0	0.61	154.0 ~ 155.8
	总计 Total	330	4	9	18	27	52	119	56	13	9	23	132.5	10.0	7.52	103.8 ~ 157.0

f = 次数; *SD* = 标准差; *CV* = 变异系数; MG = 熟期组; 同一列数字后的不同小写字母说明熟期组间的差异显著性, 下同。
f = Frequency; *SD* = Standard deviation; *CV* = Coefficient of Variation; MG = Maturity group; Values in the column of mean followed by different letters are significantly different among maturity groups. The same below.

表 2 东北大豆种质群体在克山籽粒性状的次数分布和描述统计(2012 – 2014 年)
Table 2 Frequency distribution and descriptive statistics of the seed quality traits of the Northeast China soybean germplasm population in Keshan (2012-2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point										平均值 Mean	<i>SD</i>	<i>CV</i>	变幅 Range
			35.5	36.5	37.5	38.5	39.5	40.5	41.5	42.5	43.5	44.5				
蛋白质含量	000	16				3	1	6	4	1	0	1	40.56 a	1.51	3.72	38.18 ~ 44.10
Protein content/%	00	45			2	6	16	16	5				38.88 ab	1.00	2.56	37.35 ~ 41.58
	0	157	1	0	5	25	46	41	27	9	1	2	40.11 ab	1.33	3.31	35.82 ~ 44.38
	I	77	1	4	8	22	19	13	8	2			39.24 b	1.39	3.54	35.95 ~ 42.21
	II	26	3	6	6	4	5	0	1	1			37.83 c	1.69	4.48	35.60 ~ 42.50
	III	3		1	0	2							37.80 c	1.05	2.77	36.60 ~ 38.42
	总计 Total	324	5	11	21	62	87	76	45	13	1	3	39.69	1.51	3.8	35.6 ~ 44.38

续表 2

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point										平均值 Mean	<i>SD</i>	<i>CV</i>	变幅 Range
			17.3	17.9	18.5	19.1	19.7	20.3	20.9	21.5	22.1	22.7				
油脂含量	000	16					1	2	5	6	1	1	21.23 a	0.75	3.52	19.65 ~ 22.84
Oil content/%	00	45				1	1	4	8	22	9		21.30 a	0.68	3.20	19.20 ~ 22.30
	0	157	1	0	1	4	27	46	53	17	8		20.54 b	0.72	3.50	17.47 ~ 22.13
	I	77	0	1	0	3	20	29	16	7	1		20.30 b	0.66	3.24	18.04 ~ 21.97
	II	26	0	2	2	1	7	4	7	3			19.98 b	1.06	5.32	17.70 ~ 21.43
	III	3					1	1	1	0			20.28 b	0.52	2.55	19.80 ~ 20.82
总计 Total		324	1	3	3	9	57	86	90	55	19	1	20.58	0.82	3.98	17.47 ~ 22.84
			54.5	55.5	56.5	57.5	58.5	59.5	60.5	61.5	62.5	63.5				
蛋脂总量	000	16							2	7	6	1	61.80 a	0.93	1.50	60.00 ~ 63.75
Total protein-oil/%	00	45					1	3	11	21	9	0	61.18 ab	0.83	1.36	58.75 ~ 62.57
	0	157		1	0	0	0	38	64	42	11	1	60.66 c	0.99	1.63	55.95 ~ 63.97
	I	77		1	2	5	12	27	23	6	1		59.53 d	1.27	2.14	55.66 ~ 62.05
	II	26	1	1	8	5	4	5	1	1			57.80 d	1.65	2.85	54.00 ~ 61.58
	III	3			1	0	1						58.08 d	1.49	2.57	56.40 ~ 59.25
总计 Total		324	1	3	11	10	18	74	101	77	27	2	60.27	1.48	2.46	54 ~ 63.97
			7.15	9.45	11.75	14.05	16.35	18.65	20.95	23.25	25.55	27.85				
百粒重	000	16					7	6	3				18.28 a	1.56	8.56	15.76 ~ 21.67
100-seed weight/g	00	45	0	1		1	17	22	3	1			17.88 a	2.03	11.38	8.92 ~ 22.85
	0	157	1	0		14	63	57	17	4		1	17.71 ab	2.21	12.48	6.13 ~ 28.17
	I	79				7	30	30	12				17.73 ab	1.94	10.97	13.02 ~ 21.92
	II	32		1		8	15	7			1	0	16.43 bc	2.77	16.88	9.15 ~ 26.48
	III	7				3	3	0	1				15.97 c	2.22	13.91	12.90 ~ 19.80
总计 Total		336	1	2		33	135	122	36	5	1	1	17.61	2.20	12.49	6.13 ~ 28.17

表 3 东北大豆种质群体在克山产量性状的次数分布和描述统计(2012 – 2014 年)

Table 3 Frequency distribution and descriptive statistics of the yield traits of the Northeast China soybean germplasm population in Keshan (2012-2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point										平均值 Mean	<i>SD</i>	<i>CV</i>	变幅 Range
			2.48	3.67	4.86	6.05	7.24	8.44	9.63	10.82	12.01	13.20				
地上部生物量	000	16	2	8	4	2							4.26 e	24.92	23.40	2.96 ~ 6.30
Above ground biomass/t·hm ⁻²	00	45	0	2	25	15	3						5.46 d	21.45	15.73	3.49 ~ 7.63
	0	157	1	2	23	84	45	2					6.15 c	19.92	12.95	1.92 ~ 8.08
	I	76	0	1	1	28	35	5	1	0	4	1	7.04 b	39.95	22.68	3.11 ~ 13.35
	II	15	2	0	0	2	2	2	2	1	1	3	8.74 a	89.19	40.82	2.39 ~ 13.79
	总计 Total	309	5	13	53	131	85	9	3	1	5	4	6.30	39.02	24.78	1.92 ~ 13.79
			1.27	1.59	1.91	2.23	2.55	2.88	3.20	3.52	3.84	4.16				
产量	000	16		2	3	2	4	5					2.38 b	46.16	19.41	1.53 ~ 3.01
Yield/t·hm ⁻²	00	45				1	6	16	11	6	5		3.08 a	38.13	12.39	2.38 ~ 3.85
	0	157	3	1	1	9	22	30	44	32	13	2	3.06 a	52.12	17.01	1.17 ~ 4.32
	I	71	1	4	6	11	12	20	11	6			2.64 b	53.58	20.26	1.20 ~ 3.58
	II	10	3	1	1	1	3	0	0	0	1		2.05 c	85.67	41.82	1.12 ~ 3.84
总计 Total		299	7	8	11	24	47	71	66	44	19	2	2.90	58.09	20.06	1.11 ~ 4.32

表4 东北大豆种质群体在克山株型性状的次数分布和描述统计(2012–2014年)
Table 4 Frequency distribution and descriptive statistics of the plant-type traits of the Northeast China soybean germplasm population in Keshan (2012–2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point										平均值 Mean	<i>SD</i>	<i>CV</i>	变幅 Range
			58.65	67.95	77.25	86.55	95.85	105.15	114.45	123.75	133.05	142.35				
株高	000	16	4	9	3								67.4 e	6.80	10.09	54.9 ~ 79.0
Plant height/cm	00	45	8	6	9	11	6	5					81.2 d	14.18	17.46	58.8 ~ 108.9
	0	157	2	5	26	49	42	19	10	4			91.7 c	12.24	13.35	59.1 ~ 123.2
	I	79		1	10	5	16	22	16	8	1		102.7 b	13.97	13.61	71.9 ~ 130.2
	II	43				1	3	9	11	11	5	3	117.4 a	12.73	10.84	91.2 ~ 146.8
	III	21					1	5	7	6	2		115.8 a	9.12	7.88	98.5 ~ 134.8
	总计 Total	361	14	21	48	66	68	60	44	29	8	3	96.2	17.78	18.49	54.9 ~ 146.8
11.75 13.25 14.75 16.25 17.75 19.25 20.75 22.25 23.75 25.25																
主茎节数	000	16	3	5	6	2							13.9 e	1.56	11.20	11.2 ~ 17.0
Nodes on main stem	00	45		5	9	10	13	6	2				16.5 d	2.07	12.50	12.7 ~ 20.6
	0	157			8	21	48	56	20	4			18.5 c	1.58	8.55	14.4 ~ 22.2
	I	79				4	7	21	36	9	2		20.2 b	1.58	7.82	16.3 ~ 24.3
	II	43					1	6	10	16	7	3	21.9 a	1.77	8.09	18.2 ~ 25.8
	III	21							4	13	3	1	22.2 a	1.025	4.62	20.4 ~ 24.7
	总计 Total	361	3	10	23	37	69	89	72	42	12	4	19.0	2.57	13.51	11.2 ~ 25.8
0.4 1.2 2 2.8 3.6 4.4 5.2 6 6.8 7.6																
分枝数目	000	16	1	4	5	3	2	1					2.32 b	1.11	47.95	0.31 ~ 4.46
Branch number	00	45	3	12	13	7	5	2	2	0	1		2.36 b	1.32	55.89	0.59 ~ 6.88
	0	157	4	27	38	33	25	22	5	2	0	1	2.75 b	1.27	46.19	0.22 ~ 7.50
	I	76	4	13	23	14	12	5	3	2	0		2.59 b	1.21	46.89	0.42 ~ 6.25
	II	36		10	3	10	7	3	1	1	1		2.84 b	1.43	50.52	0.81 ~ 7.00
	III	18			1	1	3	5	3	4	0	1	4.64 a	1.37	29.54	1.88 ~ 7.62
	总计 Total	348	12	66	83	68	54	38	14	9	2	2	2.75	1.36	49.45	0.22 ~ 7.63
1.5 2.5 3.5																
倒伏程度	000	16	13	3	0								1.63 c	0.36	23.62	1.08 ~ 2.33
Lodging	00	45	28	14	3								1.85 c	0.65	35.04	1.00 ~ 3.62
	0	157	87	48	22								1.98 bc	0.72	36.48	1.00 ~ 3.83
	I	78	31	26	21								2.28 b	0.83	36.59	1.00 ~ 4.00
	II	39	2	18	19								3.02 a	0.65	21.36	1.34 ~ 4.00
	III	21	3	8	10								2.78 a	0.72	25.82	1.67 ~ 3.75
	总计 Total	361	164	117	75								2.18	0.82	37.61	1.00 ~ 4.00

2.2 东北大豆种质群体在克山地区的可能遗传潜势

表5 为方差分析结果,各性状的年份、基因型、

年份与基因型互作均达到显著水平,表明这些农艺性状不同年份间存在一定的差异,其表达均受基因型和环境互作的影响。

表 5 东北大豆种质群体农艺品质性状方差分析表(2012 – 2014)

Table 5 ANOVA of agronomic and seed quality traits of the Northeast China soybean germplasm population in Keshan (2012-2014)

变异来源 Variation source	生育前期 Days to flowering/d		生育后期 Days from flowering to maturity/d		全生育期 Days to maturity/d		蛋白质含量 Protein content/%		油脂含量 Oil content/%	
	DF	F	DF	F	DF	F	DF	F	DF	F
年份 Year	2	98.93 **	2	94.95 **	2	69.27 **	2	53.72 **	2	198.53 **
重复(年份) Rep(Year)	9	1.61	9	1.98 *	9	3.43 **	9	0.83	9	0.66
基因型 Genotype	360	14.26 **	329	6.48 **	329	10.73 **	323	3.91 **	323	3.91 **
年份 × 基因 Year × Genotype	641	10.74 **	491	9.53 **	491	19.06 **	510	8.42 **	509	7.67 **
误差 Error	3001		2409		2410		2398		2398	

	蛋脂总量 Total protein-oil/%		百粒重 100-seed weight/g		地上部生物 Above ground biomass/t·hm ⁻²		产量 Yield/t·hm ⁻²		株高 Plant height/cm	
年份 Year	2	254.42 **	2	354.18 **	2	1208.55 **	2	176.58 **	2	22.23 **
重复(年份) Rep(Year)	9	0.78	9	0.98	9	4.85 **	9	9.63 **	9	4.10 **
基因型 Genotype	323	5.14 **	335	6.01 **	308	1.62 **	298	2.34 **	360	10.51 **
年份 × 基 Year × Genotype	509	6.4 **	538	12.11 **	492	3.35 **	473	4.26 **	572	5.22 **
误差 Error	2398		2466		2159		2064		2791	

	主茎节数 Nodes on main stem		分枝数目 Branch number		倒伏程度 Lodging	
年份 Year	2	50.27 **	1	13.20 **	2	4.96 *
重复(年份) Rep(Year)	9	2.95 **	6	2.52 *	9	3.64 **
基因型 Genotype	360	8.67 **	347	3.36 **	360	5.86 **
年份 × 基 Year × Genotype	572	5.81 **	225	3.25 **	641	3.32 **
误差 Error	2791		1714		3000	

*, ** 分别代表 0.05 和 0.01 水平上的显著性。
* and ** represent significance at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

表 6 列出各性状遗传进度、遗传率、遗传变异系数。分枝数目、倒伏程度的相对遗传进度均大于 40%,表明这些性状进行选择潜力大;株型、生育期相关性状的遗传率高于 80% 且相对遗传进度大于 10%,拥有较好的选择效果;而蛋白质含量、油脂

含量等性状的遗传率水平较高但相对遗传进度较低,需加大选育的强度;蛋脂总量是由蛋白质含量和油脂含量共同决定的,从相对遗传进度可知,对该性状直接进行选择的效果不好,该性状的改良应建立在改良蛋白质含量、油脂含量性状的基础上。

表 6 东北大豆种质群体农艺品质性状育种潜势估计

Table 6 Estimation of breeding potential of agronomic and seed quality traits in Northeast China soybean germplasm population

性状 Trait	遗传变异系数 GCV	遗传率 h ²	遗传进度 G	相对遗传进度 ΔG
生育前期 Days to flowering/d	14.53	93.47	15.98	28.95
生育后期 Days from flowering to maturity/d	6.65	86.73	10.00	12.76
全生育期 Days to maturity/d	6.10	92.05	15.75	12.06
蛋白质含量 Protein content/%	3.11	77.12	2.24	5.62
油脂含量 Oil content/%	3.31	77.06	1.24	6.01
蛋脂总量 Total protein-oil/%	1.93	82.74	2.18	3.61
百粒重 100-seed weight/g	10.34	85.01	3.46	19.65

续表 6

性状 Trait	遗传变异系数 GCV	遗传率 h^2	遗传进度 G	相对遗传进度 ΔG
地上部生物量 Aboveground biomass/(t·hm ⁻²)	10.07	43.85	21.36	13.74
小区产量 Yield/(t·hm ⁻²)	12.82	62.75	61.94	20.92
株高 Plant height/cm	17.12	91.68	32.04	33.78
主茎节数 Nodes on main stem	11.99	89.90	4.39	23.41
分枝数目 Branch number	40.74	81.11	2.03	75.59
倒伏程度 Lodging score	33.73	83.99	1.40	63.63

2.3 东北大豆种质群体中可供克山地区育种用的优异资源

克山地区适宜的熟期组类型为 MG 0 ~ MG I,产量是大豆改良的首要目的,而倒伏程度对大豆产量影响较大且较易改良,群体及 MG 0 ~ MG I 的表现说明该地区大豆生产中倒伏问题仍需迫切提高。倒伏问题的本质是根冠比的失衡,若没有较大的地

上部产量则讨论倒伏问题无意义。本文拟选取倒伏程度低于 2 级且地上部生物量较大的品种用以作为改良的亲本。其余性状,如品质性状、株型等,选取表现突出的品种作为改良亲本,详情见表 7。需要说明的是,本文所选取的材料是在当地能正常成熟的材料。

表 7 可用于克山地区大豆品种改良的亲本材料

Table 7 The suggested parental materials for the improvement of soybean cultivars in Keshan

倒伏 Lodging score	蛋白质含量 Protein content	油脂含量 Oil content	蛋脂总量 Total protein – oil
黑农 51/MG I(1.75, 8.26 t·hm ⁻²) Heinong 51	丰收 12/MG 0(44.38%) Fengshou 12	北豆 16/MG 000(22.84%) Beidou 16	丰收 12/MG 0(63.97%) Fengshou 12
垦豆 28/MG I(1.88, 8.03 t·hm ⁻²) Kendou 28	蒙豆 11/MG 000(44.10%) Mengdou 11	合丰 42/MG 00(22.37%) Hefeng 42	蒙豆 11/MG 000(63.75%) Mengdou 11
北豆 22/MG 00(1.50, 7.63 t·hm ⁻²) Beidou 22	东农 50/MG 0(44.08%) Dongnong 50	红丰 3/MG 00(22.32%) Hongfeng 3	合丰 45/MG 00(62.95%) Hefeng 45
北豆 21/MG 0(2.00, 7.56 t·hm ⁻²) Beidou 21	黑农 43/MG 0(43.06%) Heinong 43	北豆 14/MG 00(22.21%) Beidou 14	东农 48/MG 0(62.59%) Dongnong 48
合丰 45/MG 0(1.08, 7.54 t·hm ⁻²) Hefeng 45	东农 48/MG 0(45.98%) Dongnong 48	垦鉴 27/MG 00(22.19%) Kenjian 27	蒙豆 9/MG 000(62.57%) Mengdou 9
主茎节数 Nodes on main stem	株高 Plant height/cm	百粒重 Large 100-seed weight/g	百粒重 Small 100-seed weight/g
长农 5/MG I (24.33) Changnong 5	吉林 26/MG I (130.22) Jilin 26	绥农 27/MG 0(28.17) Suinong 27	东农 50/MG 0(6.13) Dongnong 50
吉育 85/MG I (23.33) Jiyu 85	满仓金/MG I (127.50) Mancangjin	吉林 18/MG 0(23.10) Jilin 18	蒙豆 6/MG 00(8.92) Mengdou 6
九农 28/MG I (22.88) Jiunong 28	长农 14/MG I (127.25) Changnong 14	北丰 11/MG 0(23.09) Beifeng 11	长农 20/ MG I (13.02) Changnong 20
吉育 34/MG I (22.61) Jiyu 34	抗线 3/MG I (126.40) Kangxian 3	蒙豆 16/MG 00(22.85) Mengdou 16	吉育 89/MG I (13.76) Jiyu 89
吉育 39/MG I (22.60) Jiyu 39	四粒黄/MG I (124.00) Silihuang	嫩丰 4 号/MG 0(22.58) Nenfeng 4	嫩丰 18/MG 0(13.93) Nenfeng 18

每格数据表示为品种/熟期组(平均值),其中倒伏栏括弧中的数据为倒伏程度和地上部生物量。
The data in each cell is variety /maturity group (mean of the treatments); in parentheses of column lodging score, the left value is lodging score while the right value is the aboveground biomass.

3 讨 论

生育期是重要的生态性状,从本文获得的结果看,东北大豆群体在克山地区生育前期平均55.1 d,生育后期为79.3 d,全生育期平均为132.5 d。傅蒙蒙等^[10]表明本地无霜期为130 d左右,从各熟期组的全生育天数看,MG 0 和 MG I 组能充分利用该地的生长季节,产量潜力可以充分表达;MG 00 组虽未能充分利用生长季节,但产量潜力实现得还较好;MG 000 组因成熟过早,产量潜力不大;MG II 和 MG III 则因不能充分成熟,纵有产量潜力也不能实现。

品质性状是大豆的重要性状,国家在《全国种植业结构调整规划(2016 - 2020)》中对大豆的品质改良给予了强调,东北地区应重点关注蛋白质性状的改良。本文结果显示,克山地区各熟期组大豆的蛋白质水平相差不大,均在40%左右。从变幅上看,MG 000、MG 0 组中存在一些蛋白质水平高达44%的材料。而油脂性状则呈现随熟期组变晚下降的趋势,各组内均存在一定的油脂水平较高的材料。从蛋白质含量和油脂含量的相对遗传进度来看,这两个性状的改良较为困难,需要付出更多的育种努力。克山地区适宜 MG 0 ~ MG I 组,将其与早熟的MG 000 ~ MG 00 组品质性状表现较为突出的品种杂交可能有助于扩展大豆品质的遗传基础。

产量性状是大豆改良的最主要目标,由于本文的试验设计并不是严格的测产试验,所获得的有关产量的数据仅能提供趋势上的描述。杜维广等^[18]总结我国高产育种时指出生物量、表观收获指数、生育期等是决定大豆产量的重要因子,而产量要素构成因子如百粒重、单株荚数等没有明显效果。本文结果表明生物量的平均值从 MG 000 的4.26 t·hm⁻²增大到 MG II 的8.74 t·hm⁻²以上,而小区产量则从 MG 000 的2.38 t·hm⁻²到 MG 00 的3.08 t·hm⁻²后不再增加甚至出现下降。有研究表明,倒伏性状虽然不是大豆产量的构成因素,但对大豆产量影响巨大,倒伏可致大豆减产高达56%^[19]。从各熟期组的倒伏情况看,比 MG 0 组晚的其它各组倒伏程度平均达到了2级以上,这或许就是本群体产量限制的原因。从遗传变异系数及相对遗传进度看,群体内地上部生物量及小区产量的多样性较为丰富,为这两个性状的选育提供了材料。

农艺性状作为一类最易观察的性状,方差分析表明其表型性状构成复杂,受到许多方面的影响。从各性状的变幅和变异系数可以看出,伴随着近一个世纪的品种选育,各熟期组内均蕴含着丰富的变

异,为品种改良提供了基础材料。育种潜势表明了育种过程中性状改良的难易程度。从本文结果,倒伏和分枝数目是最易改良的性状,从生产考虑,倒伏性状应为首要考虑的性状;品质性状虽然不易改良,但存在丰富的变异,完全可以通过育种加以改良。需要说明的是,相对遗传进度、遗传率、遗传变异系数由于使用的群体、试验设计等会略有不同,但趋势是一致的,本文的结论与前人关于农艺性状的遗传潜势的分析结果类似^[20-22]。

根据各农艺品质性状在克山表现的遗传进度估计,虽然油脂和蛋白质含量相对小些,但均有一定的改良潜力。克山地区利用东北大豆资源育成了许多适于东北北部的优异品种,体现了东北种质的重要作用。这批资源应该还有很大重组潜力可以挖掘,关键在于要进一步对它进行育种性状的遗传解析,以便设计最佳基因型,优选组合,优选重组型。

综上,克山县属黑龙江省大豆品种生态区的克拜地区,适宜种植 MG 0 和 MG I 组的大豆品种,其大豆品种改良的目标以高产稳产商业品质好(外观品质和高蛋白/高油)为主,在 MG 0 和 MG I 组内,以增加生物量、收获指数及耐逆性和秆强度(提高秆韧性)实现高产稳产商业品质好的目标。今后的研究应以本地近期育成的主栽品种为受体亲本,分别以 MG I、MG II 组和 MG 000 组含高生物量、高收获指数、耐逆性、秆强和高蛋白/高油生态性状品种为供体亲本杂交(可选用表7中相关的品种,它们具有较好的配合力),用本地近期育成的主栽品种为回交亲本,进行1~3次回交,可能是有效技术路线之一。

鉴于本文研究东北资源群体在克山的表现和育种潜势,以上讨论只局限于本群体在克山育种的利用。实际上东北的大豆育种已经扩展到全国和全世界大豆种质资源的利用^[23-25],这里暂不做更多的讨论。

致谢:感谢中国农业科学院作物科学研究所、吉林省农业科学院大豆所提供部分大豆参试品种(系)。感谢各试验人员辛苦的工作。

参考文献

[1] 谷强平. 中国大豆进口贸易影响因素及效应研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2015. (Gu Q P. A research on the influence factors and effect of China's soybean import trade[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural university, 2015.)

[2] 刘忠堂. 关于中国大豆产业发展战略的思考[J]. 大豆科学, 2013,32(3): 283-285. (Liu Z T. Some thoughts concerning development strategy for soybean industry in China[J]. Soybean Science,2015,32(3): 283-285.)

[3] 李锦华. 聚焦重点发力做好种植业结构调整加减法——农业部解读《全国种植业结构调整规划(2016-2020年)》[J]. 农村工作通讯, 2016(10): 39-41. (Li J H. Focus key force on the plant structure adjust -interpretation of the ministry of agriculture, ‘National Planting Structure Adjustment Plan (2016-2020)’ [J]. Rural work communication, 2016(10): 39-41.)

[4] 杨树果. 产业链视角下的中国大豆产业经济研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014. (Yang S G. Economics of soybean industry in China from industry chain perspective[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.)

[5] 盖钧镒. 我国大豆遗传改良和种质研究 [M]. 北京:高等教育出版社, 2002. (Gai J Y. Soybean genetic improvement and germplasm research in China [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.)

[6] 文自翔, 赵团结, 丁艳来, 等. 中国栽培及野生大豆的遗传多样性、地理分化和演化关系研究[J]. 科学通报, 2009(21): 3301-3310. (Wen Z X, Zhao T J, Ding Y L, et al. Genetic diversity, geographic differentiation and evolutionary relationship among ecotypes of *Glycine max* and *G. soja* in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2009(21): 3301-3310.)

[7] Ullah K, Khan S J, Muhammad S, et al. Genotypic and phenotypic variability, heritability and genetic diversity for yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm[J]. African Journal Of Agricultural Research, 2011, 6(23): 5204-5207.

[8] 王润华. 作物遗传基础知识(四)——遗传进度与选择指数[J]. 广东农业科学, 1981(4): 44-48. (Wang R H. Basis knowledge of the crop genetics(Four)- Genetic progress and selection index[J]. Guangdong Agricultural Sciences , 1981(4): 44-48.)

[9] 傅蒙蒙, 王燕平, 任海祥, 等. 东北春大豆熟期组的划分与地理分布[J]. 大豆科学, 2016(02): 181-192. (Fu M M, Wang Y P, Ren H X, et al. A study on criterion, identification and distribution of maturity groups for spring-sowing soybeans in Northeast China[J]. Soybean Science. 2016(02): 181-192.)

[10] 傅蒙蒙, 王燕平, 任海祥, 等. 东北大豆种质资源生育期性状的生态特征分析[J]. 大豆科学, 2016,35(4): 541-549. (Fu M M, Wang Y P, Ren H X, et al. Ecological characteristics analysis of northeast soybean germplasm growth period traits[J]. Soybean Science,2016,35(4): 541-549.)

[11] 赫世涛, 牛若超. 克山大豆种质及其利用研究[J]. 作物品种资源, 1997(2): 2-5. (He S T, Niu R C. Germplasm research and utilization Keshan soybean[J]. Crop Germplasm Resources, 1997(2): 2-5.)

[12] 潘铁夫, 张德荣, 张文广. 东北地区大豆气候区划的研究[J]. 大豆科学, 1983,2(1): 1-13. (Pan T F, Zhang D R, Zhang W G. Study on the ecological regions of soybean in North-east China[J]. Soybean Science,1983,2(1):1-13.)

[13] Fehr W R, Caviness C E. Stages of soybean development[C]// Ames A I. Special report 80, cooperative extension service. Iowa State University, 1977.

[14] 邱丽娟, 常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006. (Qiu L J, Chang R Z. Soybean germplasm specifications description and data standards[M]. Beijing:China Agriculture Press, 2006.)

[15] Hanson C H, Robinson H F, Comstock R E. Biometrical studies of yield in segregating populations of korean lespedeza[J]. Agronomy Journal, 1956, 48(6): 268-272.

[16] 孔繁玲. 植物数量遗传学[J]. 北京:中国农业大学出版社, 2006. (Kong L F. Quantitative genetics of plants[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2006.)

[17] Fehr W R, Fehr E L, Jessen H J. Principles of cultivar development[J]. Soil Science, 1988, 145(5): 390.

[18] 杜维广, 盖钧镒. 大豆超高产育种研究进展的讨论[J]. 土壤与作物, 2014(3): 81-92. (Du W G, Gai J Y. A discussion on advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars[J]. Soil and Crop, 2014(03): 81-92.)

[19] 谢甫绋, 董钻, 王晓光, 等. 大豆倒伏对植株性状和产量的影响[J]. 大豆科学, 1993,12(1): 81-85. (Xie F T, Dong Z, Wang X G, et al. Effect of lodging on soybean yield formation [J]. Soybean Science, 1993,12(1): 81-85.)

[20] 李向华, 常汝镇. 中国春大豆品种主要性状相关及遗传潜力分析[J]. 大豆科学, 1998,17(1): 24-28,30,32. (Li X H, Chang R Z. Genetic variability of agronomic and chemical traits of the spring soybean varieties in China[J]. Soybean Science, 1998, 17(1): 24-28,30,32.)

[21] 李星华, 陈宛妹, 李增禄. 山东大豆种质资源主要农艺性状遗传势分析[J]. 山东农业科学, 1991(2): 10-12. (Li X H, Chen W M, Li Z L. Genetic potential of main agronomic characters of soybean germplasm resources in Shandong province[J]. Shandong Agricultural Sciences, 1991(2): 10-12.)

[22] 杨德, 盖钧镒, 马育华. 我国南方大豆地方品种农艺和品质性状的遗传参数分析[J]. 大豆科学, 1990,9(1): 9-18. (Ysng D, Gai J Y, Ma Y H. Analysis of genetic paramrters of agronomic and seed quality traits of soybean land races in Southern China [J]. Soybean Science, 1990,9(1): 9-18.)

[23] 邱丽娟, 常汝镇, 袁翠平, 等. 国外大豆种质资源的基因挖掘利用现状与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2006,7(1): 1-6. (Qiu L J, Chang R Z, Yuan C P, et al. Prospect and present statue of gene discovery and utilization for introduced soybean germplasm [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006,7(1): 1-6.)

[24] 崔章林, 盖钧镒, 邱家训, 等. 中国大豆育成品种及其系谱分析[M]. 北京:中国农业出版社, 1998. (Cui Z L, Gai J Y, Qiu J X, et al. The released chinese soybean cultivars and their pedigree analysis[M]. Beijing:China Agriculture Press, 1998.)

[25] 盖钧镒, 熊冬金, 赵团结. 中国大豆育成品种系谱与种质基础(1923-2005) [M]. 北京:中国农业出版社, 2015. (Gai J Y, Xiong D J, Zhao T J, et al. The pedigree and germplasm bases of soybean cultivars released in China [M]. Beijing:China Agriculture Press, 2015.)