

东北大豆种质群体在牡丹江的表现及其潜在的育种意义

任海祥¹, 白艳凤¹, 王燕平¹, 宗春美¹, 孙晓环¹, 齐玉鑫¹, 李文¹, 傅蒙蒙², 赵团结², 杜维广¹, 盖钧镒²

(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 157041; 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)

摘要:东北是我国春大豆的主要生态区,牡丹江位于黑龙江省东南部,属第2亚区。本研究于2012–2014年间,以搜集到的东北地区各单位现存的361份大豆育成品种和地方品种作为东北现存的本地种质,观察该群体在牡丹江地区的表现,研究其在牡丹江的潜在育种意义。主要结果如下:1)东北大豆种质群体平均表现为全生育期分布在101~147 d(平均为124 d)、蛋白质含量范围为35.36%~45.36%(平均为39.69%)、油脂含量范围为18.93%~23.78%(平均为21.96%)、蛋脂总量范围57.74%~66.67%(平均值61.82%)、百粒重范围在8.49~29.43 g(平均值19.91 g)、株高36.6~115.3 cm(平均值82 cm)、主茎11.2~20.4节(平均为16节)、分枝为0~4.8个(平均2.8)、倒伏在1.2~3.6(平均2级左右)。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值相近,其他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106~113 d,比当地无霜期早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/MG I,特别是蛋白质含量和蛋脂总量分别高约1.62%、1.59%;株高、节数均低于MG 0/MG I,分别低10~30 cm、2~4节。MG II的生育天数高达136 d,不能稳定成熟;品质性状表现低于当地品种水平,特别是油脂含量、蛋脂总量分别低约1.5%、2%;而株高、节数高于当地品种,分别高约10 cm、1~2节,倒伏程度则高达3级。MG III在牡丹江不能正常成熟,导致其他性状表达不正常,生长量和倒伏度增加。3)本群体中包含第二亚区育成217个品种,查到系谱资料的208个,这208个品种共涉及169个祖先亲本,其中黑龙江来源有77份、吉林省48份、辽宁省8份、国外来源26份,其他来源10份。衍生品种最多的前10个祖先亲本主要来源于吉林,对该亚区品种的贡献率约48.9%;衍生品种数在11~20间主要来源于黑龙江,前20个祖先亲本对该亚区品种的贡献率约62.4%。4)根据各农艺品质性状在牡丹江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。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.1000-9841.2017.03.0335

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

REN Hai-xiang¹, BAI Yan-feng¹, WANG Yan-ping¹, ZONG Chun-mei¹, SUN Xiao-huan¹, QI Yu-xin¹, LI Wen¹, FU Meng-meng², ZHAO Tuan-jie², DU Wei-guang¹, GAI Jun-yi²

(1. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences / Mudanjiang Experiment Station of the National Center for Soybean Improvement, Mudanjiang 157041, 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)

Abstract: Northeast China is a major ecological region of spring-sowing soybean in China, Mudanjiang is located in the south-east of Heilongjiang province, and belongs to the Sub-region II of Northeast China. The soybean germplasm population composed of 361 landraces and released cultivars collected in Northeast China was tested in Mudanjiang in 2012–2014 for evalua-

收稿日期:2017-01-10
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(“国家重计划”)(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; 黑龙江省科技计划省院科技合作项目(YS15B13)。
第一作者简介:任海祥(1964–),男,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:rhx725@163.com;
白艳凤(1975–)女,助理研究员,主要从事大豆育种工作。E-mail:mdjnkbyf@163.com。
任海祥和白艳凤同等贡献。
通讯作者:杜维广(1943–),男,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:weiguangdu@126.com;
盖钧镒(1936–),男,教授,主要从事作物遗传育种研究。E-mail:sri@njau.edu.cn。

tion of its characterization and genetic potential in the local breeding programs. The results obtained were as follows: 1) The range and average performance of agronomic and seed quality traits were characterized as: the days to maturity ranges from 101 – 147 d with average of 124 d, the protein content /oil content /total protein and oil /100-seed weight ranged from 35. 6% – 45. 36% (average of 39. 69%), 18. 93% – 23. 78% (21. 96%), 57. 74% – 66. 67% (61. 82%) and 8. 49 – 29. 43 g (19. 91 g), the plant height, nodes on main stem, number of branches and lodging score ranged from 36. 56 – 115. 27 cm (average of 82 cm), 11. 22 – 20. 35 nodes (average of 16 nodes), 0 – 4. 75 branches (average of 2. 75 branches) and 1. 17 – 3. 63 grade (average of 2 grade), respectively. 2) MG 0 and MG I were the best adapted maturity groups that could use fully the local frost-free period with the averages of all traits similar to the population averages. The other maturity groups performed differently in Mudanjiang. The MG 000 and MG 00 matured at 106 – 113 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. 62%/1. 59% higher than those of MG 0/MG I; while their plant height and nodes on main stem were 10 – 30 cm and 2 – 4 nodes less than those of MG 0/MG I. The MG II took about 136 d but could not mature naturally very often before the first frost; their seed quality traits were not as good as MG 0/MG I with protein content /protein – oil content about 1. 5% less and oil content 2. 0% less than those of MG 0/MG I; the plant height and nodes on main stem were about 10 cm and 1 – 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 were 217 varieties in Northeast China soybean germplasm population from Sub-region II, among which 208 soybean cultivars could be traced to 169 ancestors, among which, 77 from Heilongjiang, 48 from Jilin, 8 from Liaoning, 26 from abroad, 10 from other sources. The top 10 ancestors which had most derived varieties were mainly from Jilin, which contributed about 48. 9% of the germplasm to the derived varieties; the number of derived varieties from Heilongjiang ancestors was between 11 to 20, and the top 20 ancestors contributed about 62. 4% of the germplasm to the derived varieties. 4) There were 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 having 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 Mudanjiang area.

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

牡丹江地区位于黑龙江省东南部,地势属丘陵漫岗,土壤以黑土为主。大于 10℃ 的积温 2 550 ~ 2 800℃,一般 5 月上旬播种,9 月中旬初霜,无霜期 120 ~ 140 d。年降水量 500 ~ 600 mm,生长季干燥度 0. 8 ~ 1. 2,属于半湿润类型^[1]。1958 年建立牡丹江农科所,育成了一批优良品种,如 1989 年审定推广的牡丰 6 号曾为该地区的主栽品种^[2]。傅蒙蒙等^[3-4]研究表明牡丹江地区适宜 MG 0 /MG I 熟期组,属于第二亚区。该亚区包括以克山、牡丹江、佳木斯、长春为代表的黑龙江中南部至吉林省长春等地,该地区气候适宜,适合大豆生长。为系统研究东北地区种质资源的特点及在不同生态条件下的表现,本课题组于 2010 – 2012 年间在东北地区广泛搜集代表性品种资源,获得包含地方品种、育成品种及国外引种材料共 361 份(其中第二亚区品种 217 份),并对其系谱关系进行追踪。同时于 2012 – 2014 年在东北地区 4 个生态亚区的 9 个代表性地点(I 区:北安、扎兰屯;II 区:克山、牡丹江、佳木斯、长春;III 区:大庆、白城;IV 区:铁岭)进行试验。张勇等^[5]在克山采用遗传变异系数、表型变异系数和遗传率、遗传进度和相对遗传进度等指标来评价本群体在克山的表现,结果表明当地种质与外来种质在生育期性状、籽粒性状、株型及产量性状上均存在一定的差异,可以利用外来种质改良当地品种的

农艺性状,如可以利用比当地适宜熟期组偏早的 MG 000/MG 00 组资源改良当地品种的油脂含量和蛋脂总量性状。程延喜等^[6]利用系谱分析与表型分析的方法研究本群体在长春的表现及该地区育成品种常用祖先亲本。

参考张勇和程延喜等^[5-6]的工作,本文重点研究:1)东北种质资源群体在牡丹江地区的表现和育种潜势。2)为牡丹江地区品种改良提出建议并提供部分优异亲本材料。3)明确包括牡丹江地区在内的东北第 II 亚区育成品种/搜集品种的祖先亲本构成。

1 材料与方法

1. 1 试验设计

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,于 2012 – 2014 年种在黑龙江省农业科学院牡丹江分院试验地(位于黑龙江省牡丹江市西安区)。采用重复内分组试验设计,4 次重复,每小区面积 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^[7]提出的大豆生育时期鉴定方法,调查播种期、出苗期、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^[3]。收获后调查项目及标准参考邱丽娟等^[8]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。

1.2 数据分析

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^[9-11],线性模型见张勇等^[5]。

育成品种的系谱资料主要来源于崔章林等^[12]、盖钧镒等^[13]及其他已发表资料,育成品种祖先亲本贡献的计算方法参考崔章林等^[12]、盖钧镒等^[13],具体见程延喜等^[6]。

2 结果与分析

2.1 东北大豆种质群体各熟期组农艺品质性状在牡丹江地区的表现

表 1~4 为大豆种质群体生育期性状、籽粒性状、产量性状、株型性状在牡丹江地区的次数分布

和描述统计。生育期性状,生育前期、后期、全生育期的变幅分别为 42.0 ~ 86.5 d、55.1 ~ 86.8 d 和 100.8 ~ 146.7 d,平均值分别为 51,74 和 124 d,;籽粒性状,蛋白质含量、油脂含量、蛋脂总量、百粒重的变幅分别为 35.36% ~ 45.36%、18.93% ~ 23.78%、57.74% ~ 66.67% 和 8.49 ~ 29.43 g,平均值分别为 39.86%、21.96%、61.82% 和 19.91 g;地上部生物量和产量的变幅分别为 4.19 ~ 14.58 t·hm⁻²和 1.69 ~ 4.78 t·hm⁻²,平均值分别为 9.12 和 3.16 t·hm⁻²;株高、主茎节数、分枝数目和倒伏程度变幅分别为 36.6 ~ 115.3 cm、11.2 ~ 20.4 个、0 ~ 4.8 个和 1.2 ~ 3.6 级,平均值分别为 82.2 cm、15.9 节、2.0 个、2.1 级。从频数分布上,除生育前期外各性状基本上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,其中分枝数目的多样性水平最高(47% 以上)。品质性状的多样性水平最低(2.10% ~ 3.91%);其余性状则分布在 7% ~ 23%。对生育前期,呈现以平均值所在组为最高值的偏态分布,这可能是由于不同熟期组品种对光温反应的不同造成的^[14]。

表 1 东北大豆种质群体在牡丹江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 Mudanjiang (2012 - 2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point/d										平均值 Mean/d	SD	CV /%	变幅 Range/d
生育前期			44.3	48.8	53.3	57.8	62.3	66.8	71.3	75.8	80.3	84.8				
Days to flowering	000	16	14	2									44.8 d	1.91	4.26	42.0 ~ 49.2
	00	45	28	16	1								46.0 d	2.18	4.74	42.2 ~ 52.0
	0	157	20	113	23	1							48.7 c	2.16	4.45	43.2 ~ 55.8
	I	79		5	40	32	1	1					50.8 b	3.05	6.00	45.8 ~ 63.6
	II	43			18	14	7	9		1			57.7 a	5.21	9.03	51.2 ~ 76.0
	III	21			2	4	1	4	3	3	3	1	68.1 a	9.39	13.78	54.2 ~ 86.6
总计 Total		361	67	171	76	20	9	7	3	4	3	1	50.8	6.52	12.83	42.0 ~ 86.6
生育后期			56.7	59.9	63.0	66.2	69.4	72.5	75.7	78.8	82.0	85.2				
Days from flowering to maturity	000	16	2	7	6	1							61.38 d	2.69	4.38	55.13 ~ 65.75
	00	45		0	9	20	14	1	0	1			67.02 c	2.79	4.17	62.25 ~ 78.75
	0	157			1	5	31	62	38	16	3	1	73.33 b	3.35	4.56	63.17 ~ 86.63
	I	79					1	3	21	44	9	1	78.28 a	2.51	3.20	70.83 ~ 84.31
	II	41						2	5	14	17	3	80.19 a	3.03	3.78	72.33 ~ 86.75
	III	16				1	0	1	3	4	5	2	78.99 a	4.82	6.10	67.00 ~ 84.25
总计 Total		354	2	7	16	27	46	69	67	79	34	7	74.11	5.70	7.69	55.13 ~ 86.75

续表 1

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point/d										平均值 Mean/d	<i>SD</i>	<i>CV</i> /%	变幅 Range/d
全生育期			102.4	107.0	111.8	116.4	121.1	125.8	130.6	135.2	144.0	144.6				
Days to maturity	000	16	8	5	3								105.9 e	3.75	3.54	100.8 ~ 112.8
	00	45		7	26	8	3	1					113.0 d	3.93	3.48	106.9 ~ 127.9
	0	157			5	21	73	51	6	1			122.1 c	4.00	3.28	111.3 ~ 134.6
	I	79					1	31	39	8			129.0 b	3.78	2.62	123.4 ~ 137.6
	II	42							6	31	5		135.5 a	2.08	1.54	130.8 ~ 139.3
	III	15									5	3	140.5 a	4.21	3.00	133.6 ~ 146.6
总计 Total		354	8	12	34	29	77	83	51	45	8	7	124.1	8.91	8.28	100.8 ~ 146.6

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 as below.

表 2 东北大豆种质群体在牡丹江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 soybeangermplasm population in Mudanjiang (2012 – 2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point/% (g)										平均值 Mean/% (g)	<i>SD</i>	<i>CV</i> /%	变幅 Range/% (g)
蛋白质含量			35.9	36.9	37.9	38.9	39.9	40.9	41.9	42.9	43.9	44.9				
Protein content	000	16				1	4	5	1	2	2	1	41.45 a	1.80	4.34	39.25 ~ 45.36
	00	45			1	7	8	14	12	2	1		40.72 ab	1.30	3.20	37.37 ~ 43.60
	0	157		2	13	43	44	34	12	8	1		39.91 ab	1.33	3.23	37.13 ~ 43.65
	I	79		7	18	24	15	13	2				39.03 c	1.30	3.32	36.44 ~ 41.63
	II	41	4	0	4	9	11	6	2	5			39.50 c	1.89	4.78	35.36 ~ 43.16
	III	4				2	1	1					39.84 bc	1.17	2.94	38.56 ~ 41.21
总计 Total		342	4	9	36	86	83	73	29	17	4	1	39.86	1.55	3.88	35.36 ~ 45.36
油脂含量			19.2	19.7	20.1	20.6	21.1	21.6	22.1	22.6	23.0	23.5				
Oil content	000	16				1	3	2	5	4	1		21.98 a	0.62	2.82	20.82 ~ 22.96
	00	45				1	3	13	6	12	10		22.21 a	0.70	3.15	20.38 ~ 23.25
	0	157			2	5	10	34	42	39	18	7	22.14 a	0.70	3.18	20.13 ~ 23.77
	I	79			1	3	6	16	22	19	10	2	22.11 a	0.69	3.13	20.04 ~ 23.78
	II	41	2	3	7	7	11	5	1	1	4		20.19 b	1.08	5.16	18.93 ~ 23.09
	III	4		1	1	2							20.19 c	0.49	5.69	19.59 ~ 20.70
总计 Total		342	2	4	11	19	33	70	76	75	43	9	21.96	0.86	3.91	18.93 ~ 23.78
蛋脂总量			58.2	59.1	60.0	60.9	61.8	62.6	63.5	64.4	65.3	66.2				
Total protein-oil	000	16				1	1	6	3	2	2	1	63.43 a	1.50	2.37	61.11 ~ 66.67
	00	45				1	7	18	15	4			62.93 a	0.82	1.31	60.53 ~ 64.76
	0	157			3	22	74	38	14	6			62.05 b	0.89	1.44	60.06 ~ 64.63
	I	79		6	14	23	23	12	1				61.13 c	1.02	1.68	58.79 ~ 63.10
	II	41	2	9	8	11	4	5	2				60.44 cd	1.34	2.21	57.74 ~ 63.28
	III	4	1	0	2	0	1						60.03 d	1.26	2.10	58.59 ~ 61.67
总计 Total		342	3	15	27	110	79	35	35	12	2	1	61.82	1.30	2.10	57.74 ~ 66.67
百粒重			9.5	11.6	13.7	15.8	17.9	20.0	22.1	24.2	26.3	28.4				
100-seed weight	000	16					4	7	4	1			20.20 b	1.88	9.30	17.54 ~ 23.19
	00	45	1	0	0	2	8	20	13	1			19.98 b	2.40	12.00	9.66 ~ 23.76
	0	157	1	0	0	8	49	72	20	4	2	1	19.61 b	2.18	11.13	8.49 ~ 29.43
	I	79				2	22	34	19	2			19.86 b	1.58	7.96	15.92 ~ 23.42
	II	42		1	0	0	9	20	9	1	1	1	20.49 b	2.43	11.84	12.41 ~ 27.89
	III	15					1	6	4	3	1		22.09 a	2.41	10.89	19.02 ~ 26.72
总计 Total		354	2	1		12	93	159	69	12	4	2	19.91	2.15	10.77	8.49 ~ 29.43

表 3 东北大豆种质群体在牡丹江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 Mudanjiang (2012 – 2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point/(t·hm ⁻²)										平均值 Mean /(t·hm ⁻²)	<i>SD</i>	<i>CV</i> /%	变幅 Range /(t·hm ⁻²)
地上部生物量			2. 48	3. 67	4. 86	6. 05	7. 24	8. 44	9. 63	10. 82	12. 01	13. 20				
Above ground	000	16	3	5	6	1	1						6. 72 e	1. 13	16. 87	4. 79 ~ 9. 15
biomass	00	45		2	9	19	13	2					8. 36 d	0. 80	9. 57	6. 56 ~ 10. 81
	0	157		1	12	644	51	24	5				8. 85 cd	0. 89	10. 07	6. 36 ~ 11. 53
	I	79			1	16	39	16	2	2	0	3	9. 46 c	1. 33	14. 05	7. 14 ~ 14. 58
	II	42			2	4	14	10	7	4	1		10. 95 b	1. 33	12. 15	8. 48 ~ 13. 81
	III	4					1		1	2			12. 08 a	1. 28	10. 60	10. 38 ~ 13. 29
总计 Total		342	3	8	28	102	108	57	17	10	6	4	9. 12	1. 43	15. 66	4. 19 ~ 14. 58
产量			1. 27	1. 59	1. 91	2. 23	2. 55	2. 88	3. 20	3. 52	3. 84	4. 16				
Yield	000	16	2	5	3	2	3	1					2. 44 b	0. 51	20. 70	1. 69 ~ 3. 32
	00	45		3	5	14	6	10	8	5			2. 96 a	0. 42	14. 11	2. 11 ~ 3. 80
	0	157		6	10	24	27	50	27	10	3		3. 25 a	0. 47	14. 39	2. 11 ~ 4. 28
	I	79		1	10	14	18	12	12	8	4		3. 22 a	0. 53	16. 50	1. 20 ~ 3. 58
	II	41		3	7	5	9	2	4	4	2	5	3. 29 a	0. 81	24. 56	2. 06 ~ 4. 78
	III	4			1	0	1	1	1				3. 23 a	0. 55	16. 98	2. 49 ~ 3. 79
总计 Total		342	2	18	36	59	68	74	49	22	9	5	3. 16	0. 56	17. 60	1. 69 ~ 4. 78

表 4 东北大豆种质群体在牡丹江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 Mudanjiang (2012 – 2014)

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point/cm										平均值 Mean/cm	<i>SD</i>	<i>CV</i> /%	变幅 Range/cm
株高			40. 5	48. 4	56. 2	64. 1	72. 0	79. 8	87. 7	95. 6	103. 5	111. 3				
Plant height	000	16		1	8	7							58. 3 e	4. 74	8. 12	47. 2 ~ 66. 3
	00	45			11	10	11	8	4	1			69. 2 d	11. 00	15. 91	53. 2 ~ 91. 9
	0	157	1	0	1	14	34	56	38	11	2		79. 8 c	9. 56	11. 97	36. 6 ~ 106. 9
	I	79					11	11	28	22	6	1	87. 7 b	8. 68	9. 90	70. 6 ~ 109. 5
	II	42						2	18	13	17	2	98. 1 a	7. 17	7. 31	81. 9 ~ 115. 3
	III	14						1	2	3	5	3	101. 3 a	12. 14	11. 99	76. 7 ~ 113. 9
总计 Total		353	1	1	20	31	56	78	80	50	30	6	82. 2	13. 48	16. 40	36. 6 ~ 115. 3
主茎节数			11. 7	12. 6	13. 6	14. 5	15. 5	16. 4	17. 4	18. 3	19. 3	20. 2				
Nodes on	000	16	3	7	3	3							13. 2 d	0. 99	7. 56	11. 2 ~ 14. 8
main stem	00	45	3	5	9	7	6	9	6				14. 8 c	1. 63	11. 03	11. 6 ~ 17. 7
	0	157	1	2	5	18	50	48	25	7	1		16. 0 b	1. 21	7. 57	11. 4 ~ 19. 5
	I	79				7	17	31	21	3			16. 3 b	0. 92	5. 69	14. 2 ~ 18. 5
	II	42		1	0	6	12	11	7	4	1		16. 3 b	1. 25	7. 69	13. 0 ~ 18. 9
	III	14						1	2	5	2	4	18. 2 a	1. 22	6. 70	16. 2 ~ 20. 4
总计 Total		353	7	15	17	41	85	100	61	19	4	4	15. 9	1. 53	9. 59	11. 2 ~ 20. 4

续表 4

性状 Trait	MG	次数 <i>f</i>	组中值 Class mid-point										平均值 Mean	SD	CV /%	变幅 Range
分枝数目			0.2	0.7	1.2	1.7	2.1	2.6	3.1	3.6	4.0	4.5				
Branch number	000	16		1	5	4	1	1	2	1	1		2.0 a	0.91	45.05	0.9~4.0
	00	45		2	14	12	6	5	3	1	2		1.9 a	0.85	44.22	0.5~4.2
	0	157	4	20	23	31	25	29	9	7	9		2.0 a	0.93	46.86	0.3~4.1
	I	79	7	5	12	20	11	13	2	6	3		1.9 a	0.93	49.87	0.0~4.1
	II	42	1	4	1	8	8	10	2	6	1	1	2.3 a	1.01	43.94	0.4~4.8
	III	14		1	2	3	2	1	1	1	0	3	2.3 a	1.15	50.04	0.7~4.5
总计 Total		353	12	33	57	78	53	59	19	22	16	4	2.0	0.95	47.18	0.0~4.8
倒伏程度			1.6	2.4	3.2											
Lodging	000	16	15	1	0								1.6 d	0.24	14.54	1.2~2.0
	00	45	33	10	2								1.8 c	0.45	24.60	1.4~3.6
	0	157	76	70	11								2.05 b	0.41	20.06	1.4~3.3
	I	79	20	47	12								2.3 a	0.48	20.70	1.4~3.6
	II	43	3	31	9								2.5 a	0.37	15.04	1.7~3.2
	III	21	1	16	4								2.4 a	0.48	19.80	1.8~3.4
总计 Total		361	148	175	38								2.1	0.48	22.56	1.2~3.6

2.2 东北大豆种质群体中适宜牡丹江地区的熟期组与其它熟期组农艺品质性状在当地表现的比较

傅蒙蒙等^[3]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 与其它熟期组的表现,可以看出其它熟期组的材料在某些性状上含有当地适宜熟期组所不具有的优点,这对利用其它地区品种改良当地品种具有重要意义。

生育期性状是保证品种稳产高产的基础,比较各熟期组全生育期,随着熟期组的变晚呈延长的趋势。本试验播种在 5 月中旬,生育期在 120~130 d 的品种适宜于当地生产。从表 1 可知, MG 0/MG I 熟期组最适合当地无霜期长度,满足生产需求; MG 000/MG 00 在当地全生育期平均天数在 106~113 d,不能充分利用自然条件。部分 MG II 组品种可在当地成熟,但整个熟期组在当地并不能稳定成熟,不适宜在生产上使用。至于 MG III 组,在当地不能正常成熟。

籽粒性状是品种主要生态性状,部分熟期组间虽然差异达到显著水平但绝对差异并不大,且各熟期组内均含有表现突出的品种。MG 0/MG I 的蛋白质含量、油脂含量、蛋脂总量、百粒重平均值在 39.91%~39.03%、22.14%~20.11%、62.05%~61.13%、19.61~19.86 g,比 MG 000/MG 00 相对应性状的平均值低约 1.62%、1.59%、0.36 g,油脂含量高 0.03%;比 MG II 组的油脂含量、蛋脂总量高约

1.94%、1.15%,蛋白质含量、百粒重平均低 0.03%、0.65 g。

产量性状始终是品种追求的目标生态性状,由于试验设计的限制,本文获得的产量相关数据仅反映趋势上的变化。不同熟期组间地上部生物量差异达到显著水平,呈现随熟期组变晚增大的趋势(6.72~12.08 t·hm⁻²以上);比较各组的变幅,其最小值、最大值差异较大,最大地上部产量出现在 MG I 组。对产量性状,虽然在 MG II 组平均值达到最大(3.29 t·hm⁻²),但仅 MG 000 组与其余各组的差异达到显著水平,从平均值上看, MG 0~MG III 组差异较小,分布在 3.22~3.29 t·hm⁻²,而 MG 000/MG 00 产量水平较其他熟期组偏低,平均为 2.44~2.96 t·hm⁻²。

株型性状是影响产量的主要生态性状,理想株型育种是实现育成品种产量提高的重要途径方法。株型性状在各熟期组间达到显著水平,呈现随着熟期组变晚增大的趋势。MG 0/MG I 的株高、主茎节数、分枝数目和倒伏程度分别为 83.78 cm、16.16 节、1.93 个、2.19,比 MG 000/MG 00 高 10~30 cm,节位多 2~4 节;比 MGII 低约 15 cm,节位少约 0.12 节,倒伏程度略低(表 4)。

2.3 东北大豆种质群体在牡丹江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 Mudanjiang (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	578.41 **	2	25.51 **	2	182.12 **	2	25.63 **	2	5.92
重复(年份) Repeat(Year)	9	5.64 **	9	14.08 *	9	35.37 **	9	2.86	9	5.10 **
基因型 Genotype	360	7.04 **	329	5.08 **	353	12.82 **	352	4.88 **	352	5.62 **
年份 × 基因 Year × Genotype	640	23.05 **	491	9.98 **	591	35.37 **	588	7.70 **	588	7.12 **
误差 Error	2996		2409		2640		2456		2456	

	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	
	DF	F	DF	F	DF	F	DF	F	DF	F
年份 Year	2	42.61 **	2	98.42 **	2	52.00 **	1	124.78 **	2	4.18 **
重复(年份) Repeat(Year)	9	7.13 **	9	1.42	9	4.76 *	6	6.05 **	9	5.41 **
基因型 Genotype	360	2.22 **	335	6.17 **	308	3.35 **	341	1.45	352	7.56 **
年份 × 基 Year × Genotype	641	2.44 **	538	4.91 **	492	1.69 **	185	4.25 **	594	4.81 **
误差 Error	2573		2466		2159		2064		2582	

	主茎节数 Nodes on main stem		分枝数目 Branch number		倒伏程度 Lodging	
	DF	F	DF	F	DF	F
年份 Year	2	37.65 **	1	94.38 **	2	219.86 **
重复(年份) Repeat(Year)	9	29.60 **	7	4.61 *	9	6.17 **
基因型 Genotype	360	3.09 **	360	1.80 **	360	1.32
年份 × 基 Year × Genotype	572	3.85 **	605	4.99 **	641	7.57 **
误差 Error	2583		1565		3000	

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

本文采用张勇等^[5]使用的指标评价东北大豆种质资源群体在牡丹江地区的育种潜势。表 6 表明,株高、生育期性状、百粒重的遗传率高于 80% 且相对遗传进度大于 10% ,具有较好的选择潜势;而蛋白质含量、油脂含量等性状的遗传率水平虽然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,从遗传率和相对遗传进度可知,对该性状直接进行选择潜势不大,其改良应建立在改良蛋白质含量、油脂含量性状的基础上;而其它性状的遗传率水平偏低,直接改良的潜势不大。

表 6 东北大豆种质群体农艺品质性状育种潜势估计

Table 6 Estimated 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 ΔG
生育前期 Days to flowering	11.62	86.72	11.38	22.31
生育后期 Days from flowering to maturity	6.87	82.13	9.47	12.81
全生育期 Days to maturity	6.60	93.14	16.17	13.13
蛋白质含量 Protein content	3.25	81.73	2.41	6.05
油脂含量 Oil content	3.50	84.17	1.46	6.64
蛋脂总量 Total protein-oil	1.78	85.44	2.10	3.40
百粒重 100-seed weight	9.56	85.73	3.62	18.22

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 ΔG
地上部生物量 Aboveground biomass	13. 15	74. 16	2. 04	23. 38
小区产量 Yield	8. 49	41. 82	0. 36	11. 36
株高 Plant height	15. 38	87. 96	23. 64	28. 95
主茎节数 Nodes on main stem	7. 23	69. 03	1. 95	12. 36
分枝数目 Branch number	28. 65	58. 93	0. 92	45. 35
倒伏程度 Lodging score	11. 18	26. 67	0. 25	11. 77

2.4 东北大豆种质群体中可供牡丹江地区育种的优异资源

牡丹江地区属东北大豆生态区第Ⅱ亚区^[6-7], 该区大豆育种目标应以高产稳产、高蛋白(蛋脂总和)、抗灰斑病兼抗花叶病毒病、耐旱、广适性为主要目标,选择适宜的亲本是实现该目标的重要前

提。为此,建议选取在当地能正常成熟的、倒伏程度低于2级且地上部生物量较大、株型好、主茎节数多表现突出的品种用以作为本地品种改良的亲本,特别需要说明的是,倒伏性状的改良建议应在一定生物量的基础上(表7)。

表 7 可用于牡丹江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 Mudanjiang

倒伏 Lodging score	蛋白质含量 Protein content/%	油脂含量 Oil content/%	蛋脂总量 Total protein-oil/%
延农 9 号/MG I (1. 67, 11. 53 t·hm ⁻²) Yannong 9	蒙豆 11/MG 000(45. 36) Mengdou 11	绥农 20/MG 0(23. 80) Suinong 20	蒙豆 11/MG 000(65. 90) Mengdou 11
长农 21/MG I (1. 91, 10. 64 t·hm ⁻²) Changnong 21	黑河 7 号/MG 000(44. 23) Heihe 7	吉育 87/MG I (23. 79) Hefeng 42	丰收 12/MG 0(65. 05) Fengshou 12
九农 9 号/MG 00(1. 67, 10. 49 t·hm ⁻²) Jiunong 9	丰收 11/MG 0(43. 88) Fengshou 11	牡丰 1 号/MG 0(23. 77) Mufeng 1	丰收 11/MG 0(64. 86) Fengshou 11
东农 46/MG 0(1. 88, 10. 46 t·hm ⁻²) Dongnong 46	黑农 35/MG 0(43. 65) Heinong 35	黑河 53/MG 0(23. 71) Heihe 53	黑河 7 号/MG 000(64. 88) Heihe 7
吉育 59/MG 0(1. 67, 10. 38 t·hm ⁻²) Jiyu 59	通农 13/MG Ⅱ (43. 16) Tongnong 13	嫩丰 17/MG 0(23. 68) Nenfeng 17	黑河 52/MG 00(64. 76) Heihe 52
主茎节数 Nodes on main stem	株高 Plant height/cm	百粒重 Large seed weight/g	百粒重 Small seed weight/g
合丰 55/MG I (19. 46) Hefeng 55	吉育 39/MG I (109. 47) Jiyu 39	绥农 27/MG 0(29. 44) Suinong 27	东农 50/MG 0(8. 49) Dongnong 50
吉育 101/MG I (18. 90) Jiyu 101	铁丰 28/MG I (113. 90) Tiefeng 28	吉农 15/MG Ⅱ (26. 03) Jinong 15	蒙豆 6 号/MG 00(9. 66) Mengdou 6
垦鉴豆 26MG I (18. 27) Kenjiandou 26	九农 39/MG I (109. 97) Jiunong 39	北丰 11/MG 0(26. 84) Beifeng 11	吉育 101/ MG Ⅱ (10. 64) Jiyu 101
吉育 63/MG I (18. 48) Jiyu 63	九农 30/MG I (107. 51) Jiunong 30	通农 13/MG Ⅱ (27. 90) Mengdou 16	吉育 89/MG I (15. 33) Jiyu 89
黄宝珠/MG I (18. 30) Huangbaozhu	东农 48/MG I (106. 88) Dongnong 48	铁丰 28/MG Ⅲ (27. 70) Tiefeng 28	合丰 26/MG 0(15. 79) Hefeng 26

表格数据表示为品种/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 are variety /maturity group (mean of the treat); In parentheses of Column Lodging score, the left value is lodging score while the right value is the above ground biomass.

2.5 第Ⅱ亚区育成品种的祖先亲本构成

本文将第Ⅱ亚区^[6-7]内包括牡丹江、佳木斯、长春、克山、哈尔滨等地区相关单位育成的217个品种归为该亚区育成品种,其中208个查到相关系谱资

料。这208个品种共涉及169个祖先亲本,这些祖先亲本来源广泛,既包含东北三省、国外,也包含河南、山东、北京等地。这169个祖先亲本来源中,黑龙江来源有77份、吉林省48份、辽宁省8份、国外

来源 26 份,其它来源 10 份。各品种平均含有祖先亲本 8.86 个,其中吉育 69 含有最多的亲本血缘,共 25 个祖先亲本。含有 10 及 10 个以上祖先亲本的育成品种有 91 个,占当地群体的 43.8%。表 8 为第Ⅱ亚区衍生品种最多的前 20 个祖先亲本及其贡

献率,衍生品种最多的前 10 个祖先亲本基本上来源于东北三省,主要来源于吉林,但其对当地育成/搜集品种的贡献率约 48.9%;衍生品种数在 11~20 间主要来源于黑龙江,前 20 个祖先亲本对当地育成/搜集品种的贡献率约 62.4%。

表 8 东北第二亚区育成品种的主要祖先亲本来源

Table 8 The main ancestor parent sources forreleased soybean varieties in the Sub-region II of Northeast China							
祖先亲本 Ancestor	来源 Origin	衍生品 种数 NDV	贡献率 RC/%	祖先亲本 Ancestor	来源 Origin	衍生品 种数 NDV	贡献率 RC/%
金元 Jinyuan	辽宁 Liaoning	166	8.59	小粒黄 Xiaoli Huang	黑龙江 Heilongjiang	54	1.25
四粒黄(P340) Silihuang(P340)	吉林 Jilin	149	8.34	Amsoy	美国 USA	47	3.12
大白眉 Dabaimei	黑龙江 Heilongjiang	122	6.43	铁荚子 Tiejiazi	吉林 Jilin	42	1.87
十胜长叶 Shishengchangye	日本 Japan	115	8.41	小粒豆 9 Xiaolidou 9	黑龙江 Heilongjiang	41	1.69
四粒荚 Silijia	黑龙江 Heilongjiang	93	4.56	永丰豆 Yongfengdou	吉林 Jilin	36	1.62
铁荚四粒黄 Tiejiasilihuang	吉林 Jilin	93	4.59	东农 20 Dongnong 20	黑龙江 Heilongjiang	34	0.25
嘟噜豆 Duludou	吉林 Jilin	84	2.94	佳木斯秃子 Jiamusituzi	黑龙江 Heilongjiang	29	0.23
熊岳小黄豆 Xyxiaohuangdou	辽宁 Liaoning	61	1.21	蓑衣领 Suoyiling	黑龙江 Heilongjiang	28	0.94
四粒黄 Silihuang	吉林 Jilin	58	1.79	小金黄 Xiaojinhuang	黑龙江 Heilongjiang	28	1.33
一窝蜂 Yiwofeng	吉林 Jilin	56	2.25	洋蜜蜂 Yangmifeng	吉林 Jilin	24	1.23

衍生品种数(NDV)指含有该祖先亲本血缘的育成品种数目;贡献率(RC)指祖先亲本对第Ⅱ亚区地区各育成品种贡献之和与群体品种数(208)的比值。

NDV is the number of derived varieties with germplasm from the ancestor; CR is the contribution rate of the ancestor to the total number of released varieties in sub-region II (208 varieties).

3 结论与讨论

高产稳产始终是作物育种的重要目标。杜维广等^[15]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。由于本文的试验设计并不是严格的产量比较试验,所获得的有关产量的数据仅能提供趋势上的描述。本文结果表明生物量的平均值从 MG 000 的 6.72 t·hm⁻²增大到 MG III 的 12.08 t·hm⁻²以上,而小区产量则除 MG 000/MG 00 较低外,其余各熟期组差异并不大,但也呈现从 MG 0 的 3.25 t·hm⁻²小量增加到 MG II 的 3.29 t·hm⁻²,而 MG III 略有下降。有研究^[16]表明倒伏性状对大豆产量影响巨大,最多可致大豆减产 56%。从各熟期组生育期长短和倒伏程度看,MG 000/MG 00 的倒伏程度虽然较低,但成熟较早,不能充分利用无霜期长度,这可能导致了这两个熟期组的产量潜力没有得到实现;MG II/MG III 的倒伏程度较高且不能正常成熟,这或许是限制这两个熟期组产量性状实现的原因,而 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。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基础。

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。本文结果表明,牡丹江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,各熟期组特别是早熟组(MG 000/MG 00)中存在一些蛋白质水平较高的材料,如 MG 000 中存在蛋白水平高达 45% 的材料。而油脂性状则呈现随熟期组变晚而下降的趋势,但各组内均存在一些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,需要引进优良种质(基因)资源,并付出更多的育种努力。牡丹江地区适宜 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。

方差分析表明农艺性状的表达受到多方面的影响,从各性状的变幅和变异系数可以看出,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可能程度。本研究中,牡丹江地区改良品质性状的难度与克山^[5]、长春^[6]地区基本一致,而对产量相关的地上部生物量和倒伏性状的改良难度更接近长春地区,即地上部生物量改良相对容易而倒伏性

状在当地难以改良,这可能与这两个地区的生态条件较克山更为接近有关。上述分析表明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。

第Ⅱ亚区各育种单位利用东北大豆资源育成了适于东北北部的优异品种,体现了东北种质的重要作用,本试验的结果表明该亚区衍生品种最多的前10个祖先亲本主要来源于吉林,其对当地育成/搜集品种的贡献率约48.9%;衍生品种数在11~20间,主要在黑龙江;前20个祖先亲本对当地育成/搜集品种的贡献率约62.4%。这表明该地区品种存在着遗传基础狭窄的问题,应扩大亲本的来源,适当引进夏大豆和地理远缘品种作供体亲本有助于牡丹江地区乃至第Ⅱ亚区大豆的遗传改良。

综上,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、高蛋白、抗灰斑病兼抗花叶病毒病、耐旱、广适性商业品质好(外观品质)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。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。

致谢:感谢中国农业科学院作物所、吉林省农科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] 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, 1983,3(1): 1-13. (Pan T F, Zhang D R, Zhang W G. Study on the ecological regions of soybean in Northeast China [J]. Soybean Science, 1983,3(1): 1-13.)

[2] 王玉莲,任海洋,邵广忠,等. 发挥牡丹江地区生态优势促进高蛋白大豆生产[J]. 大豆科技, 2010(2): 50-51. (Wang Y L, Ren H X, Shao G Z, et al. Giving full play to the advantages of Mudanjiang region ecological promoting high-protein soybean production [J]. Soybean Science and Technology, 2010(2): 50-51.)

[3] 傅蒙蒙,王燕平,任海洋,等. 东北春大豆熟期组的划分与地理分布[J]. 大豆科学, 2016,35(2): 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, 2016,35(2): 181-192.)

[4] 傅蒙蒙,王燕平,任海洋,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.)

[5] 张勇,傅蒙蒙,杨兴勇,等. 东北大豆种质群体在克山的表现及其潜在的育种意义[J]. 大豆科学, 2016,35(6): 881-890. (Zhang Y, Fu M M, Yang X Y, et al. Performance and breeding potential of the Northeast China soybean germplasm population in Keshan area[J]. Soybean Science, 2016,35(6): 881-890.)

[6] 程延喜,孙晓环,郑朝春,等. 东北大豆种质群体在长春的表现及其潜在的育种意义[J]. 大豆科学, 2017,36(2): 165-173. (Cheng Y X, Sun X H, Zheng C C, et al. Performance and breeding potential of the Northeast China soybean germplasm population in Changchun area[J]. Soybean Science, 2017,36(2): 165-173.)

[7] Fehr W R, Caviness C E. Stages of soybean development. Special Report 80, Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economic Experiment Station [M]. Iowa: Iowa State University, 1977.

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

[9] Hanson C H, Robinson H F, Comstock R E. Biometrical studies of yield in segregating populations of Korean Lespedeza1[J]. Agronomy Journal, 1956, 48(6): 268-272.

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

[11] Febr W R. Principles of cultivar development, theory and technical[J]. New York :McGraw-Hill Inc, 1987.

[12] 崔章林,盖钧镒,邱家训,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. (Cui Z L, Gai J Y, Qiu J X, et al. The released Chinese soybean cultivars and their pedigree analysis (1923-1995) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998.)

[13] 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]. 中国农业出版社, 2015. (Gai J Y, Xiong D J, Zhao T J. The Pedigree and germplasm bases of soybean cultivars released in China (1923-2005) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.)

[14] 汪越胜,盖钧镒. 中国大豆品种光温综合反应与短光照反应的关系[J]. 中国油料作物学报, 2001(2): 41-45. (Wang Y S, Gai J Y. Study on majoy factor in the responses to photo-temperature conditon of soybeans from China [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001(2): 41-45.)

[15] 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(3): 81-92.)

[16] 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.)