

东北大豆种质资源株型和产量性状的生态特征分析

傅蒙蒙¹,王燕平²,任海祥²,王德亮³,包荣军⁴,杨兴勇⁵,田忠艳⁶,傅连舜⁷,程延喜⁸,苏江顺⁹,孙宾成¹⁰,杜维广²,赵团结¹,盖钧铭¹

(1. 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; 2. 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; 3. 黑龙江省农垦科学院 作物所, 黑龙江 佳木斯 154007; 4. 黑龙江省农垦总局北安农业科学研究所, 黑龙江 北安 164009; 5. 黑龙江省农业科学院 克山分院, 黑龙江 克山 161606; 6. 黑龙江省农业科学院 大庆分院, 黑龙江 大庆 163316; 7. 铁岭市农业科学院, 辽宁 铁岭 112616; 8. 长春市农业科学院, 吉林 长春 130111; 9. 白城市农业科学院, 吉林 白城 137000; 10. 呼伦贝尔市农业科学研究所, 内蒙古 扎兰屯 162650)

摘 要:为明确东北大豆产量相关性状(地上部生物量、产量、表观收获指数、主茎荚数)和株型相关性状(株高、主茎节数、分枝数目、倒伏程度)生态特性及各亚区改良方向,本研究采用1916-2012年间搜集或育成的东北地区代表性资源361份,于2012-2014年在东北4个生态亚区的9个代表性地点进行试验研究(I亚区:北安、扎兰屯,II亚区:克山、牡丹江、佳木斯、长春,III亚区:大庆、白城,IV亚区:铁岭)。(1)将品种在所有环境下的平均值作为该品种的综合值,用以作为与生态区值比较的标准。结果表明:东北大豆群体及各熟期组在各生态区产量和株型性状的差异虽达到显著水平,但绝对差异并不大。第I亚区主要包括黑龙江和内蒙古北部地区,东北大豆群体在该亚区的特点是植株高大主茎荚数偏低(仅为其它亚区值的一半左右);第II亚区主要包括黑龙江中南部至吉林省长春地区,东北大豆群体在该亚区的特点是株型高大但倒伏问题突出;第III亚区包括黑龙江西南至吉林省东北部缺水地区,东北大豆群体在该亚区的特点是植株矮小,主茎节数降低,但产量、主茎荚数和表观收获指数均较好;第IV亚区主要包括辽宁省大部地区,东北大豆群体在该亚区的特点是植株矮小,表观收获指数偏低、产量略低的特点。(2)通过将大豆按照产量高低分为3组(低产、中产、高产),讨论不同亚区不同产量类型大豆改良的方向及该亚区改良进展及理想的高产株型。结果表明:产量改良应通过改良地上部生物量来实现,不同亚区不同产量类型改良的方向略有不同。第I亚区将中产型改良为高产型应重视主茎节数的增加,本地区高产品种应注意改良地上部生物量和主茎荚数,本群体在这两个性状优势有限;第II亚区各产量类型改良均应注重主茎节数和株高的改良,中产型改良为高产型应重点关注主茎节数;第III亚区改良与地上部生物量相关的株高、主茎、分枝性状均能改良各产量类型;第IV亚区应注意改良当地品种表观收获指数。根据各亚区内群体高产品种及当地适宜熟期组高产品种的株型特点,提出了不同亚区的高产株型,同时筛选出一批各生态亚区内高产品种供育种利用。

关键词:东北春大豆; 产量性状; 株型性状; 生态特征; 理想株型
中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.01.0001

Ecological Characteristics Analysis of Northeast Soybean Germplasm Yield and Plant Type Traits

FU Meng-meng¹, WANG Yan-ping², REN Hai-xiang², WANG De-liang³, BAO Rong-jun⁴, YANG Xing-yong⁵, TIAN Zhong-yan⁶, FU Lian-shun⁷, CHENG Yan-xi⁸, SU Jiang-shun⁹, SUN Bin-cheng¹⁰, DU Wei-guang², ZHAO Tuan-jie¹, GAI Jun-yi¹

(1. 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; 2. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences / Mudanjiang Experiment Station of the National Center for Soybean Improvement, Mudanjiang 157041, China; 3. Crops Institute of Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi 154007, China; 4. Beian Institute of Agricultural Sciences of Heilongjiang Agricultural Reclamation Bureau, Beian 164009, China; 5. Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Keshan 161606, China; 6. Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China; 7. Tieling Academy of Agricultural Sciences, Tieling 112616, China; 8. Changchun Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130111, China; 9. Baicheng Academy of Agricultural Sciences, Baicheng 137000, China; 10. Hulunbuir Institute of Agricultural Sciences, Hulunbuir 162650, China)

收稿日期:2016-10-10
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。
第一作者简介: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:盖钧铭(1936-),男,教授,主要从事作物遗传育种研究。E-mail:sri@njau.edu.cn。

Abstract: To explore the ecological properties of yield related traits (above-ground biomass, yield, apparent economic coefficient and number of pods on main stem) and plant type related traits (plant height, number of nodes on main stem, number of branches on main stem and lodging score) for planning yield improvement approaches in each sub-regions of soybean, the 361 landraces and released cultivars collected or released during 1916 - 2012 in Northeast China was tested at nine locations in four subregions, including Zhalantun and Beian in subregion I, Keshan, Jiamusi Mudanjiang and Changchun in subregion II, Daqing and Baicheng in subregion III, Tieling in subregion IV in 2012-2014. (1) The mean of a variety averaging over all environments was considered as the general value of the variety to be used as a check in comparison with the eco-region values for evaluation of the ecoregion effect. The result showed that the Northeast population and MG varieties performed significantly different in various eco-regions, but the absolute differences were not large. In Eco-region I, located in Northern Heilongjiang and Inner Mongolia, the plant height was taller than those in other areas while the number of pods on main stem was lower, only half of the other areas. In Eco-region II, located in the area from the Southern Heilongjiang to Northern Jilin, the plant height was taller while lodging score was higher than those in other areas. In Eco-region III, located in the area from Southwest Heilongjiang to Northeast Jilin where with less rainfall, the plant height was smaller, number of nodes on main stem was lower while the yield, number of pods on main stem and apparent economic coefficient were more than those in other areas. In Eco-region IV, located in the most areas of Liaoning province, the plant height was smaller, apparent economic coefficient and yield were lower than those in other ecoregions. (2) The emphases and progresses of soybean improvement in each sub-region as well as the ideal plant types were discussed based on grouping the yield level as poor, normal and high three categories. The result showed that the aboveground biomass should be the key in the improvement of soybean yield even some different other traits may fits different eco-regions. In Eco-region I, to raise the normal to the high category, the number of pods on main stem should be emphasized. For the improvement of the high category, the above-ground biomass and number of pods on main stem should be noticed. All three yield categories in Eco-region II should pay more attention on the number of pods on main stem and plant height. From the normal to the high category, the number of pods on main stem should be noticed. In Eco-region III, all the traits, such as plant height, number of nodes on main stem and branch number that related to aboveground biomass should be relevant to yield improvement. In Eco-region IV, the apparent economic coefficient should be important to the improvement of the local varieties. In addition, the plant type characteristics suitable to the respective eco-regions and maturity groups were proposed according to the performance of the high category soybeans, and a group of high yield varieties were nominated for future breeding in respective eco-regions.

Keywords: Northeast spring soybean; Yield trait; Plant type; Ecological characteristics; Ideal plant type

大豆是重要的粮油及饲料作物,当前我国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,而 2013 年产量仅 1 195 万 t^[1],我国大豆供求缺口逐渐增大。在最新的《全国种植业结构调整规划(2016 - 2020 年)》中强调适当恢复大豆种植面积,争取至 2020 年全国大豆面积达到 1.4 亿亩,实现增产增效^[2]。我国大豆生产发展落后的原因是多样的,单产水平低是影响大豆生产的关键因素^[3]。杜维广等^[4]认为生物量、表观收获指数、生育期等是产量相关的重要性状,而产量构成要素如百粒重、单株荚数、每荚粒数等对产量改良没有明显效果。作为大豆育种及生产中的核心问题,前人对影响产量的各因素均进行过相关研究,如环境条件(如水分^[5-6]、光照^[7]、气象因子^[8-9]、土壤养分^[10]等)、栽培方式^[11-12](如密度、播期、行株距等)、品种改良等。盖钧铭^[13]研究表明,品种改良是决定大豆增产的根本依据,肥料农药的投入和栽培技术是实现大豆品种潜力的必要保证。

农业生产本质上是植物储存光能的过程。杜维广等^[14]指出实现大豆超高产有赖于单位面积上光能利用效率的提高,为此,作物科学家提出了株型和群体结构的最优化问题。狭义的大豆株型仅指植株高效受光态势的茎叶构成,一般指大豆植株的高低、分枝、分枝长度和分枝角度等;广义上则几乎包括与光能截取和利用密切相关的全株形态和生理性状,又称作理想株型^[15]。赵团结等^[16]总结前人对理想株型的构成及特点的观点,将我国在理想株型的研究归纳为 3 个阶段,第一个阶段为早期单一株型性状的研究,第二个阶段是根据已有品种外延推测研究方法的探索,第三个阶段是从超高产实践探索的理想株型,但总的来说,目前理想株型仍处于探索阶段,有待进一步研究。

东北地区作为我国大豆主产区,气候条件复杂多样,傅蒙蒙等^[17]根据各熟期组^[18]在东北地区的分布及表现将东北地区划分为 4 个生态亚区,为简化利用不同地区的生态条件提供了方便。产量及株型性状作为复杂的数量性状,受生态环境的综合

影响,通过总结已有材料在不同亚区的表现明确不同生态亚区内高产品种的株型特点具有现实及指导意义。本研究于2012–2014年间在东北地区选取代表性9个试验点对从东北地区广泛收集的包含361份材料的大豆群体进行相关试验,该群体在东北育种和生产中广泛使用,时间跨度近1个世纪(1916–2012年),能够代表东北历史上的育种成就。拟从产量相关性状(地上部生物量、表观收获指数、产量、主茎荚数)及株型性状(株高、主茎节数、分枝数目、倒伏)来研究以下问题:1)东北地区不同年代及熟期组类型大豆品种产量、株型相关性状的变化。2)明确不同熟期组大豆在各生态亚区产量和株型性状的表现及变化特点,归纳各亚区高产大豆的株型特点,提出一批各亚区在产量性状上有潜力的品种。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2012–2014年将361份东北春大豆群体在东北地区4个生态亚区的北安、扎兰屯(亚区I),克山、牡丹江、佳木斯、长春(亚区II),大庆、白城(亚区III),铁岭(亚区IV),共9个代表性地点进行相关试验^[17]。采用重复内分组试验设计,供试材料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,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。各试验点品种正常成熟后,测量地上部生物量、表观收获指数、产量、主茎荚数、倒伏,地上部生物量指的是从子叶痕部剪取植株的自然风干重量,记载为g·穴⁻¹;产量指符合考种条件的籽粒产量,记载为g·小区⁻¹;表观收获指数指每穴粒重除以地上部生物量;主茎荚数指植株主茎上的荚数;株型性状按照邱丽娟和常汝镇^[19]标准调查。其中主茎荚数性状仅在2013年调查,分枝数目在2012–2013年调查。地上部生物量和产量换算为t·hm⁻²,试验点的基本条件与试验材料详情见傅蒙蒙等^[18]。

1.2 数据分析

描述统计分析采用SAS/STAT V 9.1的PROC MEANS程序进行;方差分析采用SAS/STAT V 9.1的PROC GLM程序进行。平均数间的差异显著性采用Duncan新复极差测验。联合方差分析时采用多年多点随机区组的线性模型,所有变异来源均按随机效应处理,线性模型见傅蒙蒙等^[17]。

2 结果与分析

为了区分基因型差异与生态环境对大豆产量/

株型性状的影响,本文将品种在所有环境下表现的平均值称为该品种在常规田间管理条件下获得的综合值,将品种在特定亚区的表型值称为该品种生态区值,品种综合值排除了生态环境差异的影响,大小反映了品种的遗传差异;品种生态区值在特定生态区获得的表型值,反映了基因型与环境的共同作用,品种生态区值与品种综合值比较可检测该生态区对该品种的特定效应。不同品种生态区值平均值间的比较可排除品种变异的影响,检测生态环境对大豆产量/株型性状的影响。

2.1 东北大豆按育成年代、熟期组归组后产量和株型性状的平均表现和变异

表1和2为根据育成(或搜集)年代、熟期组对产量、株型性状进行的变异分析,分析的数据是品种在所有环境下的平均值。

不同育成(或搜集)年代间产量相关性状平均数的差异不显著(如地上部生物量相差约为0.92 t·hm⁻²,产量相差约0.23 t·hm⁻²,主茎上荚数相差约4个等),但呈现一定的趋势。地上部生物量、产量呈现以1981–1990年代为底的先下降后上升的趋势(地上部生物量分布在8.00~8.92 t·hm⁻²、产量则在3.01~3.24 t·hm⁻²);从主茎荚数各年代间平均值及相对应的范围上,主茎荚数呈随育成年代上升的趋势。变异系数和变幅表明各年代均有表现突出的品种,各年代内育成品种在产量性状上均有突出的品种,相对来说,1971–1980年代育成品种在材料性状上的变幅略小于其它年代。各年代间株型性状在部分年代间差异达到显著水平但绝对差异较小,随育成年代推晚均呈下降的趋势。其中株高分布在81.84~94.88 cm,相差约13 cm;主茎节数分布在16.65~18.17,相差约2节;分枝数目在1.95~3.05,相差约1个;而倒伏在1.73~2.73,相差不到1级。不同年代间品种的差异不大,即不同年代内育成品种均保留着株型上多样性。

不同熟期组间产量性状差异显著,随着熟期组的变晚,地上部生物量、产量、主茎荚数(MG000~MG II)呈增加的趋势,表观收获指数呈下降的趋势。具体的说,地上部生物量从MG000组的5.37 t·hm⁻²增加到MG III组的11.74 t·hm⁻²,产量则相应的从2.22 t·hm⁻²增加到3.69 t·hm⁻²,主茎荚数从MG000组的30.80个增加到MG II组的51.09个(MG III组的平均值略有下降)。对株型性状,各熟期组不同性状基本上差异均达到显著水平,呈现随熟期组变晚增大的趋势。具体的说,株高从MG000的59.10 cm增大到MG III组的102.03 cm;主茎节数从MG000的13.40增大到MG III组的19.71;分枝从1.74增大到3.80(其中MG00组达到最小),而倒伏则从1.36增大到2.46。

表 1 东北地区不同年代、不同熟期组大豆品种产量性状的平均表现和变异

Table 1 Average and variation of yield traits of soybean varieties grouped in released years and maturity groups in Northeast China

归类 Group	次数 Frequency		地上部生物量			产量		
			Above ground biomass /(t·hm ⁻²)			Yield /(t·hm ⁻²)		
			Mean	CV/%	Range	Mean	CV/%	Range
育成年份 Years released	1916 – 1970	33	8.92 a	18.66	5.24 ~ 12.26	3.20 a	12.20	2.32 ~ 4.19
	1971 – 1980	16	8.10 a	11.65	6.46 ~ 9.81	3.05 a	7.40	2.71 ~ 3.58
	1981 – 1990	39	8.00 a	24.04	4.29 ~ 13.02	3.01 a	13.98	1.95 ~ 4.23
	1991 – 2000	47	8.18 a	18.96	4.82 ~ 12.12	3.10 a	13.99	1.74 ~ 4.00
	2001 – 2012	209	8.35 a	22.96	4.20 ~ 14.56	3.24 a	15.48	1.64 ~ 4.90
熟期组 MG	000	16	5.37 f	13.13	4.20 ~ 7.08	2.22 e	11.76	1.65 ~ 2.53
	00	45	6.57 e	13.02	5.23 ~ 9.37	2.75 d	11.40	2.11 ~ 3.50
	0	157	7.74 d	9.80	5.10 ~ 10.48	3.15 c	8.84	2.32 ~ 4.51
	I	79	9.00 c	11.57	7.25 ~ 12.26	3.40 b	9.48	2.78 ~ 4.30
	II	43	10.70 b	12.89	7.75 ~ 14.51	3.49 b	14.33	2.71 ~ 4.90
	III	21	11.74 a	11.73	9.57 ~ 14.56	3.69 a	14.29	2.79 ~ 4.46
	群体 Population	361	8.35	21.74	4.20 ~ 14.56	3.19	14.67	1.65 ~ 4.90

归类 Group	次数 Frequency		表观收获指数			主茎荚数		
			Apparent harvest index			Main stem pod number		
			Mean	CV/%	Range	Mean	CV/%	Range
育成年份 Years released	1916 – 1970	33	0.44 a	9.64	0.34 ~ 0.51	42.34 a	16.08	27.56 ~ 61.26
	1971 – 1980	16	0.46 a	7.46	0.39 ~ 0.50	43.70 a	9.05	38.93 ~ 53.47
	1981 – 1990	39	0.46 a	9.79	0.31 ~ 0.53	43.62 a	15.04	25.37 ~ 58.22
	1991 – 2000	47	0.46 a	9.88	0.24 ~ 0.52	46.02 a	16.97	27.10 ~ 65.24
	2001 – 2012	209	0.46 a	9.59	0.29 ~ 0.54	45.91 a	20.08	21.94 ~ 75.08
熟期组 MG	000	16	0.51 a	3.52	0.47 ~ 0.54	30.80 d	16.95	21.94 ~ 43.52
	00	45	0.49 a	4.33	0.45 ~ 0.54	39.52 c	11.99	30.96 ~ 51.36
	0	157	0.47 b	4.62	0.41 ~ 0.53	44.59 b	13.04	24.83 ~ 64.48
	I	79	0.45 c	5.84	0.39 ~ 0.50	49.53 a	13.51	38.10 ~ 73.22
	II	43	0.40 d	8.84	0.24 ~ 0.48	51.09 a	20.59	27.09 ~ 69.87
	III	21	0.37 e	10.31	0.29 ~ 0.44	44.90 b	27.92	26.50 ~ 75.08
	群体 Population	361	0.46	9.50	0.24 ~ 0.54	45.22	18.71	21.94 ~ 75.08

Mean = 平均值; CV = 变异系数; 同一列数字后的不同小写字母表示熟期组间的差异显著性。下同。

CV = coefficient of variation. Values in the column of mean followed by different letters are significantly different among experiment sites. The same below.

表 2 东北地区不同年代、不同熟期组大豆品种株型性状的平均表现和变异

Table 2 Average and variation of plant type traits of soybean varieties grouped in released years and maturity groups in Northeast China

归类 Group	次数 Frequency		株高			主茎节数		
			Plant height/cm			Node number on main stem		
			Mean	CV/%	Range	Mean	CV/%	Range
育成年份 Years released	1916 – 1970	33	94.88 a	16.02	60.11 ~ 120.49	18.17 a	9.55	13.94 ~ 22.02
	1971 – 1980	16	88.29 ab	15.42	65.88 ~ 114.91	17.48 ab	9.88	14.09 ~ 19.71
	1981 – 1990	39	82.64 b	15.76	54.20 ~ 111.79	16.78 b	10.86	11.98 ~ 19.69
	1991 – 2000	47	82.58 b	18.28	52.49 ~ 110.71	16.67 b	11.14	11.92 ~ 19.86
	2001 – 2012	209	81.84 b	17.55	50.32 ~ 117.57	16.65 b	11.65	11.31 ~ 21.59
熟期组 MG	000	16	59.10 e	8.12	50.32 ~ 66.84	13.40 f	7.02	11.79 ~ 15.08
	00	45	69.55 d	17.37	52.43 ~ 95.60	15.07 e	11.55	11.32 ~ 18.30
	0	157	80.49 c	12.48	51.79 ~ 107.46	16.73 d	8.34	12.97 ~ 19.58
	I	79	89.51 b	11.28	70.28 ~ 112.82	17.73 c	6.61	15.01 ~ 20.35
	II	43	100.70 a	10.65	78.93 ~ 120.49	18.60 b	6.80	15.27 ~ 21.43
	III	21	102.03 a	6.38	90.29 ~ 117.57	19.71 a	5.48	18.24 ~ 22.02
	群体 Population	361	83.81	14.78	50.32 ~ 120.49	16.99	11.36	11.32 ~ 22.02

续表 2

归类 Group			分枝数目 Branch number			倒伏 Lodging score		
			Mean	CV/%	Range	Mean	CV/%	Range
育成年份	1916 – 1970	33	3.05 a	23.64	1.69 ~ 4.77	2.37 a	17.35	1.46 ~ 3.00
Years released	1971 – 1980	16	2.24 b	26.86	0.87 ~ 3.13	2.02 b	21.75	1.39 ~ 3.03
	1981 – 1990	39	2.20 b	47.09	0.81 ~ 5.26	1.95 b	24.74	1.18 ~ 3.09
	1991 – 2000	47	1.98 b	43.89	0.73 ~ 5.07	1.81 bc	23.70	1.19 ~ 2.94
	2001 – 2012	209	1.95 b	40.82	0.53 ~ 4.61	1.73 c	23.44	1.11 ~ 2.95
熟期组 MG	000	16	1.85 c	35.63	0.74 ~ 3.36	1.36 e	9.40	1.11 ~ 1.66
	00	45	1.74 c	44.57	0.81 ~ 5.07	1.52 d	23.02	1.17 ~ 2.94
	0	157	1.99 c	36.99	0.54 ~ 3.77	1.72 c	20.63	1.22 ~ 2.96
	I	79	2.03 c	35.46	0.57 ~ 4.31	1.94 b	20.39	1.36 ~ 2.84
	II	43	2.53 b	33.90	0.98 ~ 4.77	2.42 a	11.93	1.92 ~ 3.03
	III	21	3.80 a	21.86	2.01 ~ 5.26	2.46 a	14.20	1.92 ~ 3.09
群体 Population		361	2.13	41.38	0.53 ~ 5.26	1.86	24.98	1.00 ~ 4.00

2.2 大豆群体及不同熟期组产量、株型性状在东北各生态亚区的平均表现和变异

表 3 和表 4 为东北大豆代表性群体在各生态亚区的表现,其平均值为各熟期组在不同生态亚区的生态特征值。第 I 亚区主要包括黑龙江、内蒙古北部地区,当地适宜 MG000/MG00 组。大豆群体在该亚区表现为植株较高大(87.44 cm);主茎节数/分枝较多(分别为 18.15/2.24);基本不倒伏(倒伏程度为 1.27);主茎荚数远低于其他亚区,仅为 23.10;地上部生物量(6.94 t·hm⁻²)、产量(2.95 t·hm⁻²)及表观收获指数较低(0.45)的特点。具体到各熟期组,地上部生物量较各熟期组综合值分别低于约 0.3 ~ 1.21 t·hm⁻²;MG000/MG00 产量高对应各熟期组综合值约 0.04 ~ 0.07 t·hm⁻²而 MG0/MG I 组低约 0.17 ~ 0.26 t·hm⁻²;表观收获指数低约 0.01 ~ 0.03;主茎荚数则少约 7 ~ 28;倒伏程度低约 0.26 ~ 0.55 级,株高除 MG I 高相对应熟期组约 1.62 cm 外,其余熟期组则高约 4 cm;主茎节数除 MG II 组高其对应熟期组约 2 节外,其余各组高约 1 节。比较 MG000/MG00 在当地与其它亚区的表现,两熟期组在当地表现最好,产量高对应各熟期组平均值约 0.04 ~ 0.07 t·hm⁻²,而在其余亚区则分别低对应各熟期组在 0.01 ~ 0.27 t·hm⁻²。

第 II 亚区主要包括黑龙江中南部至吉林省长春地区,主要适合 MG0/MG I 组。大豆群体在该亚区表现为植株高大(90.90 cm)、主茎节数/分枝较多(分别为 17.58/2.32),但倒伏问题严重(倒伏程度为 2.27),地上部生物量最高(8.59 t·hm⁻²),产

量(3.02 t·hm⁻²)、表观收获指数(0.46)、主茎荚数(49.16)较高的特点。具体到各熟期组,MG000 ~ MG I 组的地上部生物量高对应熟期组的平均值约 0.12 ~ 0.79 t·hm⁻²;MG00/MG III 产量性状高约 0.03 ~ 0.23 t·hm⁻²,其余熟期组低约 0.01 ~ 0.44 t·hm⁻²;株高高各熟期组相对应综合值 4 ~ 10 cm;倒伏则高各熟期组对应值约 0.31 ~ 0.54。比较 MG0/MG I 在该亚区与其它亚区的表现,两熟期组除地上部生物量、倒伏较其它亚区高外,其余各性状在当地的表現一般,未表现出相对应的产量潜力。

第 III 亚区包括黑龙江西南至吉林省东北部缺水地区,该地区主要适合 MG0/MG I 组。大豆群体在该亚区表现为株高降低(70.67 cm),主茎节数远低于其它亚区(14.72),分枝数目较少(1.94),倒伏程度较轻(倒伏程度为 1.52),地上部生物量一般但产量最高(分布为 7.56,3.02 t·hm⁻²),主茎荚数(53.74)及表观收获指数(0.50)最高的特点。具体到各熟期组,地上部生物量低其综合值约 0.21 ~ 1.72 t·hm⁻²(MG II 高约 0.07 t·hm⁻²);MG0 ~ MG III 的产量高约 0.76 ~ 0.90 t·hm⁻²间;表观收获指数高约 0.03 ~ 0.06;主茎荚数高约 2.5 ~ 21.14 (MG000 低约 0.3 个);株高低约 10 ~ 16 cm,主茎节数少约 2 ~ 3 节;倒伏低约 0.14 ~ 0.82 级。比较 MG0/MG I 在该亚区与其他亚区的表现可以看出,两熟期组在当地表现出其对应的产量潜力,产量高于其在其它亚区的表现。

第 IV 亚区主要包括辽宁省大部地区,该亚区主要适合 MG II/MG III 组。大豆群体在该亚区表现为

植株较低(72.08 cm),节数一般(17.09),分枝偏少(1.59),倒伏一般(倒伏程度为1.80),地上部生物量(8.24 t·hm⁻²)较高但产量(2.91 t·hm⁻²)偏低,主茎荚数(49.16)较多但表观收获指数偏低(0.44)的特点。具体到各熟期组, MG000/MG0/MGⅢ组的地上部生物量高约0.14~0.54 t·hm⁻²而其余熟期组低约0.22~1.14 t·hm⁻²;产量均低各熟期组平均值约0.1~0.57 t·hm⁻²;而表观收获指数低约

0~0.06;而荚数则多约3.35~7.66(MGⅢ低约2.62);不同熟期组株高降低的程度相差较大, MG000组仅比其综合值低约3 cm,而MGⅡ组低约16 cm;倒伏程度降低约0~0.32级(MGⅠ高约0.04级),比较MGⅡ/MGⅢ组在该亚区与其它亚区的表现可以看出,除地上部产量外,各性状在当地的表现一般,没有发挥出品种潜力。

表 3 各熟期组大豆产量性状在不同生态亚区的表现
Table 3 The yield traits of maturity groups in eco-regions of Northeast China

性状 Trait	熟期组 MG	生态亚区 Ecological sub-region							
		I		II		III		IV	
		Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%
地上部生物量 Above ground biomass /(t·hm ⁻²)	000	4.86 d(b)	23.03	5.93 e(a)	15.94	3.65 e(c)	26.06	5.91 e(a)	21.24
	00	6.27 c(b)	17.06	7.36 d(a)	12.32	4.92 d(c)	23.67	6.35 e(b)	17.82
	0	7.01 b(c)	16.66	8.25 c(a)	9.59	6.78 c(c)	15.88	7.88 d(b)	16.53
	I	7.79 a(b)	22.02	9.12 b(a)	9.54	8.79 b(a)	22.04	8.82 c(a)	19.88
	II	Im	Im	10.49 a(ab)	11.42	10.77 a(a)	28.24	9.56 b(b)	19.74
	III	Im	Im	10.04 a(b)	27.42	11.38 a(ab)	23.28	11.88 a(a)	20.34
	群体 Population	6.94 (d)	21.06	8.59 (a)	17.65	7.56 (c)	35.24	8.24 (b)	24.77
产量 Yield/(t·hm ⁻²)	000	2.26 c(a)	20.34	2.21 d(a)	12.98	2.04 d(a)	22.89	2.12 d(a)	20.59
	00	2.82 b(a)	16.23	2.78 c(a)	10.89	2.67 c(a)	19.68	2.48 c(b)	18.05
	0	2.98 b(b)	14.73	3.04 b(b)	8.72	3.58 b(a)	15.95	3.00 b(b)	13.94
	I	3.14 a(b)	25.94	3.08 b(b)	10.52	4.30 a(a)	15.40	3.03 ab(b)	19.03
	II	Im	Im	3.05 b(b)	16.23	4.38 a(a)	25.76	2.92 b(b)	19.84
	III	Im	Im	3.92 a(a)	18.03	4.45 a(a)	25.30	3.25 a(b)	19.54
	群体 Population	2.95 (bc)	19.66	3.02 (b)	14.45	3.70 (a)	25.91	2.91 (c)	19.01
表观收获指数 Apparent harvest index	000	0.52 a(ab)	4.28	0.50 a(bc)	4.41	0.54 a(a)	3.94	0.49 a(c)	9.27
	00	0.48 b(c)	6.22	0.49 a(b)	5.02	0.52 ab(a)	5.02	0.49 a(bc)	7.65
	0	0.45 c(c)	8.55	0.47 b(b)	5.21	0.51 b(a)	5.12	0.47 a(b)	8.55
	I	0.42 d(c)	12.10	0.45 c(b)	7.52	0.49 c(a)	7.31	0.42 b(c)	10.63
	II	Im	Im	0.41 e(b)	8.31	0.44 d(a)	11.15	0.37 c(c)	11.17
	III	Im	Im	0.43 d(a)	12.91	0.43 d(a)	12.72	0.31 d(b)	12.08
	群体 Population	0.45 (c)	10.46	0.46 (b)	8.59	0.50 (a)	8.81	0.44 (d)	14.50
主茎荚数 Main stem pod number	000	23.31 ab(c)	27.53	30.24 d(b)	17.96	30.50 d(b)	27.84	38.46 d(a)	16.49
	00	25.37 a(b)	21.83	40.47 c(a)	12.52	42.02 c(a)	18.33	42.88 c(a)	14.12
	0	23.43 ab(d)	29.32	44.29 b(c)	14.10	51.40 b(a)	17.80	49.28 b(b)	14.94
	I	21.22 b(d)	33.27	49.24 a(c)	15.16	61.75 a(a)	23.09	52.88 ab(b)	19.11
	II	Im	Im	51.11 a(b)	20.28	66.26 a(a)	29.31	55.74 a(b)	20.85
	III	Im	Im	49.40 a(b)	24.53	66.04 a(a)	35.72	42.28 cd(b)	25.65
	群体 Population	23.10 (d)	29.41	45.25 (c)	19.00	53.78 (a)	28.53	49.16 (b)	19.84

Im = 未成熟;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;同一行括号内的不同小写字母说明不同生态亚区间的差异显著性。下同。

Im = immature. Values in the column of Mean followed by different letters are significantly different among maturity groups while values in the row of mean followed by different letters in parentheses are significantly different among ecological sub-regions. The same below.

表 4 各熟期组大豆株型性状在不同生态亚区的表现

Table 4 The plant type traits of maturity groups in eco-regions in Northeast China

性状 Trait	熟期组 MG	生态亚区 Ecological sub-region							
		I		II		III		IV	
		Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%
株高	000	63.21 e(a)	9.35	63.56 e(a)	8.37	45.16 e(b)	13.79	56.18 e(c)	12.34
Plant height/cm	00	74.37 d(a)	15.60	76.08 d(a)	16.86	55.19 d(b)	24.49	59.71 e(b)	17.87
	0	84.72 c(a)	12.10	87.08 c(a)	12.12	67.28 c(c)	16.45	69.87 d(b)	15.63
	I	91.13 b(a)	12.69	96.51 b(b)	11.48	78.52 b(c)	13.29	75.39 c(c)	15.25
	II	104.22 a(a)	14.22	109.65 a(b)	11.00	86.66 a(c)	12.86	84.25 b(c)	14.04
	III	105.99 a(a)	7.59	112.63 a(a)	7.73	86.34 a(b)	17.08	89.89 a(b)	11.84
	群体 Population	87.44 (b)	17.31	90.90 (a)	17.76	70.67 (c)	22.35	72.08 (c)	19.12
主茎节数	000	14.30 e(ab)	9.55	13.56 f(b)	7.59	11.03 d(c)	11.51	14.70 d(a)	9.56
Node number on main stem	00	15.99 d(a)	8.98	15.62 e(a)	11.96	12.76 c(b)	16.31	15.21 d(a)	12.06
	0	17.67 c(a)	7.98	17.30 d(b)	8.12	14.46 b(d)	11.51	16.96 c(c)	10.14
	I	18.93 b(a)	8.02	18.26 c(b)	6.73	15.81 a(d)	9.29	17.72 bc(c)	9.32
	II	20.70 a(a)	8.70	19.35 b(b)	7.64	16.47 a(d)	8.22	18.59 a(c)	8.08
	III	21.13 a(a)	4.18	20.78 a(a)	5.87	16.28 a(b)	13.71	18.50 ab(c)	10.83
	群体 Population	18.15 (a)	12.17	17.58 (b)	11.79	14.72 (d)	14.60	17.09 (c)	11.74
分枝数目	000	1.75 b(ab)	52.75	2.07b c(a)	36.06	1.59 cd(ab)	48.37	1.22d (b)	49.99
Branch number	00	1.73 b(ab)	50.83	1.98 c(a)	40.86	1.43 d(bc)	75.64	1.11 cd(c)	49.60
	0	2.28 a(a)	38.16	2.17 bc(a)	40.41	1.66 cd(b)	47.72	1.37 cd(c)	50.16
	I	2.35 a(a)	36.63	2.10 bc(ab)	44.06	2.03 c(b)	47.79	1.54 c(c)	48.61
	II	2.55 a(ab)	41.88	2.59 b(ab)	47.25	2.73 b(a)	43.80	2.19 b(b)	40.25
	III	2.42 a(c)	44.47	4.69 a(a)	40.97	3.62 a(b)	30.38	3.52 a(b)	29.18
	群体 Population	2.24 (a)	41.71	2.32 (a)	50.21	1.94 (b)	55.84	1.59 (c)	57.82
倒伏程度	000	1.10 b(c)	8.91	1.67 d(a)	13.66	1.22 d(b)	7.14	1.07 c(c)	12.56
Lodging score	00	1.20 b(c)	24.52	1.89 c(a)	25.83	1.36 c(b)	17.36	1.20 c(c)	37.12
	0	1.25 ab(d)	28.21	2.13 b(a)	21.98	1.50 b(c)	16.47	1.71 b(b)	37.77
	I	1.39 a(d)	37.30	2.34 b(a)	22.13	1.62 a(c)	15.62	1.98 b(b)	37.56
	II	Im	Im	2.91 a(a)	14.18	1.65 a(c)	14.51	2.42 a(b)	30.85
	III	Im	Im	3.00 a(a)	13.51	1.64 a(c)	16.36	2.39 a(b)	33.63
	群体 Population	1.27(d)	30.56	2.27 (a)	25.56	1.52 (c)	17.43	1.80 (b)	41.96

2.3 东北各生态亚区高产品种改良方向及进展

上文分析表明,不同生态亚区生态条件对大豆产量性状的影响不一致,明确不同生态亚区内高产品的株型特点、改良方向及改良进展十分必要。本文采取以下分析方法:首先对群体在各亚区的表现和具体亚区内适宜熟期组品种按照产量的高低进行分组,其中将产量前十的品种归为“高”组,排名后十的品种归为“低”组,其余大豆品种归为“中”

组。然后按照分组对群体在各亚区的表现进行单因素分析,用以明确该亚区内高产品的株型特点。其次按照分组对各亚区内适宜熟期组品种进行分析,用以明确品种改良的现阶段结果。再次对各亚区高产组进行分析,从而明确不同亚区间高产型品种的特点,最后根据以上结果提出当前条件下各亚区高产品的株型特点及改良方向。具体结果见表 5。

表 5 东北各亚区所有及适宜熟期组不同产量类型大豆株型特点

Table 5 The characters of plant types of all /adapted maturity groups in eco-regions of Northeast China																	
生态亚区/ 熟期组 Eco-sub/ MG	类型 Type	产量 Yield/(t·hm ⁻²)		地上部生物量 AGB/(t·hm ⁻²)		表观收获指数 Apparent harvest index		主茎荚数 Main stem pod number		倒伏 Lodging score		主茎节数 Node number on main stem		株高 Plant height /cm		分枝 Branch number	
		Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%
I/	高 High	4.27 a	3.06	9.86 a	7.90	0.43 ab	4.51	22.87 a	29.57	1.31 a	21.50	18.87 a	6.95	90.58 a	9.31	2.54 a(a)	27.84
MG000 ~	中 Normal	2.96 b	14.81	6.92 b	17.41	0.45 a	8.78	23.39 a	29.12	1.27 a	31.01	17.36 b	9.78	82.57 a	14.79	2.18 a	40.50
MG I	低 Low	1.28 c	34.24	5.49 c	61.14	0.40 b	28.54	22.43 a	22.26	1.03 a	5.32	16.82 b	17.91	81.56 a	20.78	1.28 b	46.64
I/	高 High	3.36 a(c)	5.25	7.12 a(c)	8.62	0.46 b(a)	5.15	24.70 a(c)	18.47	1.34 a(c)	22.16	17.50 a(b)	2.22	85.28 a(a)	11.76	2.40 a(a)	32.65
MG000 ~	中 Normal	2.70 b	9.61	5.84 b	12.68	0.50 a	6.00	24.83 a	24.28	1.12 b	13.25	15.28 b	8.92	69.12 b	13.41	1.58 b	48.23
MG00	低 Low	1.88 c	24.83	4.92 c	44.25	0.50 a	8.60	23.35 a	27.35	1.21 ab	38.10	14.71 b	12.14	67.11 b	17.55	1.72 b	69.33
II/	高 High	4.38 a	9.04	11.34 a	14.37	0.42 c	16.34	48.71 a	24.51	2.74 a	13.32	20.72 a	5.48	111.25 a	5.90	4.02 a	41.73
MG000 ~	中 Normal	3.00 b	11.04	8.61 b	15.76	0.46 b	8.12	45.61 a	17.86	2.25 b	24.99	17.55 b	10.53	90.68 b	16.77	2.23 b	47.33
MG III	低 Poor	2.02 c	10.37	6.03 c	27.00	0.49 a	4.06	30.34 b	22.36	1.68 c	20.52	13.22 c	12.98	63.29 c	15.15	1.92 b	42.36
II/	高 High	3.64 a(c)	4.30	9.30 a(b)	10.91	0.47 a(a)	9.80	52.71 a(b)	15.60	2.17 a(b)	25.15	18.38 a(ab)	7.31	93.04 a(a)	10.14	2.43 a(a)	31.15
MG0 ~	中 Normal	3.05 b	7.66	8.54 b	9.99	0.46 ab	6.21	45.82 b	14.80	2.18 a	21.82	17.62 ab	7.88	90.29 a	12.63	2.13 a	41.61
MG I	低 Low	2.44 c	3.27	7.90 b	19.11	0.44 b	9.38	41.96 b	19.56	2.54 a	27.93	16.86 b	11.03	86.32 a	19.84	2.20 a	52.26
III/	高 High	6.82 a	10.92	15.89 a	19.12	0.41 c	17.33	75.78 a	35.28	1.92 a	15.46	16.72 a	13.43	95.62 a	13.28	4.07 a	27.93
MG000 ~	中 Normal	3.66 b	20.03	7.45 b	28.75	0.50 b	8.14	53.89 b	26.30	1.52 b	16.38	14.80 b	13.52	70.43 b	20.25	1.91 b	53.32
MG III	低 Low	1.65 c	19.03	3.02 c	17.32	0.53 a	2.96	30.31 c	15.96	1.20 c	7.21	10.17 c	8.63	41.77 c	12.28	0.89 c	46.58
III/	高 High	5.85 a(a)	13.94	11.67 a(a)	27.56	0.49 a(a)	13.40	64.44 a(a)	25.50	1.76 a(bc)	17.06	17.33 a(b)	10.19	88.62 a(a)	9.04	2.95 a(a)	45.22
MG0 ~	中 Normal	3.79 b	12.50	7.37 b	17.23	0.50 a	5.77	54.73 b	21.44	1.54 b	16.37	14.92 b	10.46	71.00 b	15.78	1.76 b	45.77
MG I	低 Low	2.56 c	8.72	5.00 c	15.74	0.51 a	3.72	47.99 b	22.94	1.42 b	13.31	12.22 c	9.99	54.16 c	16.88	1.07 c	62.13
IV/	高 High	4.36 a	8.93	12.08 a	20.12	0.41 b	22.17	55.49 a	26.64	2.33 a	33.50	19.38 a	6.72	89.68 a	11.25	2.48 a	51.85
MG000 ~	中 Normal	2.90 b	15.87	8.23 b	22.55	0.44 ab	14.25	49.40 a	18.78	1.81 a	41.60	17.12 b	11.25	72.16 b	18.42	1.58 b	56.81
MG III	低 Low	1.68 c	11.70	4.73 c	14.65	0.46 a	13.79	34.66 b	21.19	1.12 b	27.78	13.86 c	9.98	51.92 c	10.75	0.87 c	36.97
IV/	高 High	4.10 a(b)	12.19	12.89 a(a)	16.73	0.34 a(b)	19.88	50.35 a(b)	29.50	2.70 a(a)	28.57	19.42 a(a)	8.94	92.03 a(a)	9.46	3.19 a(a)	44.76
MG II ~	中 Normal	2.95 b	10.56	10.23 b	19.59	0.36 a	13.66	50.66 a	26.17	2.38 a	32.59	18.39 a	8.88	84.97 a	13.25	2.54 a	42.93
MG III	低 Low	2.30 c	5.10	8.16 c	15.35	0.34 a	10.49	55.24 a	17.66	2.25 a	29.56	18.45 a	9.01	85.17 a	17.69	2.43 a	31.77

同一列数字后的不同小写字母说明产量组间的差异显著性,同一列括号内的不同小写字母说明不同生态亚区间高产组的差异显著性。
Values in the column of Mean followed by different letters are significantly different among yield groups while values in the column of mean followed by different letters in parentheses are significantly different among excellent yield type in ecological sub-regions, AGB = Above-ground biomass.

比较各亚区内大豆群体 3 类大豆的产量,差异均达到显著水平,说明采用这种分组方法来研究各亚区高产株型是可行的。比较 3 类大豆各性状上的差异,地上部生物量在 3 类大豆中差异显著,且该性状与株型性状及主茎荚数均相关,是这些性状的综合表达。地上部生物量随产量的提高而增高,因此,地上部生物量是决定大豆产量的主要因素。

对第 I 亚区,大豆群体中高产型大豆的主茎节数高于其它类型且达到显著水平,说明该性状在将中间型提高到高产型中起作用;分枝性状仅在低产型与其它类型大豆间差异显著,表明该性状主要是

在从低产型提高到中间型中起作用。故该地区大豆产量性状的改良应通过地上部生物量的改良来实现,将低产品种提高到产量中间型时应首先关注分枝数目的提高,将中间型提高到高产型时首先关注主茎节数的提高,再次关注株高和分枝数目的增加,最后统筹考虑其它性状。当地最适宜熟期组各类型大豆性状分析可知,低产品种与中间型品种除地上部生物量外各性状差异不显著,继续改良这类品种难度较大;而中间型与高产型的株高、分枝、主茎节数差异均显著,故对株高、分枝、主茎节数的提高均应重点关注。比较该亚区高产型大豆与其它

亚区高产型的区别,该地区高产型大豆的地上部生物量和主茎荚数明显低于其它亚区,而本群体在本地这两个性状优势有限,需采用其它方式进行。

现根据大豆群体在当地的表现和该地区适宜熟期组高产品种特点,初步提出本群体在当地可构建的理想株型:大豆地上部生物量在 $9.86\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,主茎节数在 19 节左右,株高在 90 cm 左右,分枝在 2.54 左右,而表观收获指数在 0.46 左右,主茎荚数在 25 个左右,而倒伏在 1.3 左右,其产量可达到 $4.27\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右。

同理,在第Ⅱ亚区,将低产型提高到中间型时应首先关注主茎节数、株高、主茎荚数的提高,将中间型提高到高产型时应首先关注主茎节数、株高、分枝的提高,其它性状统筹考虑即可。从当地最适宜熟期组各类型大豆性状分析可知,低产品种与中间型品种在各性状上差异均不显著,继续改良这类品种难度较大;而中间型与高产型仅主茎节数达到显著水平,故对主茎节数的提高均应重点关注,其余性状统筹考虑即可。本亚区高产品种与其它亚区相比,在地上部生物量上有提高的空间,而本群体在当地有些材料表现较好,因此可以采用本群体进行改良。根据上文数据,该地区高产大豆的理想株型如下:大豆地上部生物量在 $11.34\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,主茎节数在 21 节左右,株高在 110 cm 左右,分枝在 2~4,而表观收获指数在 0.47 左右,主茎荚数在 48~52 个,而倒伏在 2 级左右,其产量可达到约在 $4.38\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,甚至更高。

对第Ⅲ亚区,将低产型提高到中间型及将中产型提高到高产时,均应同步关注主茎荚数、株高、分枝、主茎节数的提高,其余性状统筹考虑。从当地最适宜熟期组各类型大豆性状分析可知,将低产品种提高到产量中间型时,故应重点考虑对株高、分枝、主茎节数的改良;而将中产型提高到高产型时

则需同步关注主茎荚数、株高、分枝、主茎节数的提高。与其它亚区高产类型相比,当地高产类型各性状表现较为突出,而群体在各性状上均有表现突出的品种,因此可使用该群体对当地高产株型进行改良。根据上文数据,该地区高产大豆的理想株型如下:大豆地上部生物量在 $15.89\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,主茎节数在 17 节左右,株高在 95 cm 左右,分枝在 3~4,而表观收获指数在 0.49 左右,主茎荚数在 76 个左右,而倒伏在 2 级左右,其产量可达到约在 $6.82\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,甚至更高。

第Ⅳ亚区将低产型提高到中间型应同步关注主茎荚数、株高、分枝、主茎节数的提高;将中产型提高到高产时应重点关注株高、分枝、主茎节数的提高,其余性状统筹考虑。从当地最适宜熟期组各类型大豆性状分析可知,地上部生物量构成组分(主茎荚数、株高、分枝、主茎节数)在各类大豆间差异不显著,表明当地已经对这些性状进行了选择,通过对单独某一性状进行改良从而达到提高地上部生物量较难实现,需统筹考虑地上部生物量构成性状的改良。比较当地高产株型与其它亚区高产大豆,该地区大豆在主茎荚数特别是表观收获指数低于群体在当地的表現,而群体有些品种在当地在这两个性状的表现较好,因此可以采用本群体进行改良。根据上文数据,该地区高产大豆的理想株型如下:大豆地上部生物量在 $12.89\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,主茎节数在 19 节左右,株高在 90 cm 左右,分枝在 2~3 左右,而表观收获指数在 0.41 左右,主茎荚数在 55 个左右,而倒伏在 2 级左右,其产量可达到约在 $4.36\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,甚至更高。

为了方便各亚区内育种家对产量性状的改良,表 6 为各亚区内在产量性状上表现较为突出的材料,供育种家参考。

表 6 东北各亚区高产品种
Table 6 The excellent yield varieties in eco-regions of Northeast China

生态亚区 Eco-subregion	品种 Cultivar				
I	合丰 29 Hefeng 29	蒙豆 5 号 Mengdou 5	垦鉴 27 Kenjian 27	绥农 8 号 Suinong 8	北豆 14 Beidou 14
	红丰 3 号 Hongfeng 3	黑农 6 号 Heinong 6	垦鉴 28 Kenjian 28	蒙豆 26 Mengdou 26	北豆 22 Beidou 22
II	吉育 34 Jiyu 34	吉育 89 Jiyu 89	丰收 27 Fengshou 27	黑农 53 Heinong 53	北豆 21 Beidou 21
	垦农 24 Kennong 24	黑农 62 Heinong 62	垦丰 10 号 Kenfeng 10	垦豆 25 Kendou 25	九农 28 Jiunong 28
III	吉育 86 Jiyu 86	吉育 43 Jiyu 43	满仓金 Mancangjin	天鹅蛋 Tianedan	长农 5 号 Changnong 5
	吉科 3 号 Jike 3	抗线 8 Kangxian 8	长农 20 Changnong 20	东农 54 Dongnong 54	抗线 7 号 Kangxian 7
IV	吉育 92 Jiyu 92	吉育 71 Jiyu 71	铁丰 31 Tiefeng 31	辽豆 20 Liaodou 20	辽豆 14 Liaodou 14
	辽豆 26 Liaodou 26	辽豆 22 Liaodou 22	吉育 91 Jiyu 91	长农 19 Changnong 19	吉林 5 号 Jilin 5

3 讨论

3.1 对东北地区大豆产量、株型相关性状变异的认识

产量性状是大豆生产中最重要也是最复杂的性状,对该性状的改良一直是大豆育种的中心工作,本文通过采用东北代表性群体的多年多点试验来研究该地区产量、株型性状。由于试验小区较小,只做趋势性分析,不做严格比较。赵团结等^[16]在超高产育种的研究中建议东北地区超级种的潜力要达到 $4.95\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。王曙明等^[20]则建议按照生育期长短将目标进行细化,其中生育期在115 d(早熟组)的指标在 $3.75\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,生育日数在116~130 d(中熟组)的超级种的指标为 $4.05\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,生育日数在130 d以上(晚熟组)的指标为 $4.2\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。本文结果表明目前东北地区大豆产量分布在 $1.65\sim 4.90\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,早熟组(MG000/MG00)大豆的品种潜力为 $1.65\sim 3.50\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,中熟组(MG0/MG I)在 $2.32\sim 4.51\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,晚熟组(MGII/MG III)在 $2.71\sim 4.90\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。本研究种植密度偏小,适当增加密度可能还会增加产量。从本文的结果看,品种产量的遗传潜力在生产上基本未得到实现。综上所述,东北大豆育成品种群体内或者利用该群体育种可能存在或选育出满足高产目标的品种。事实上,本文在各亚区选取的高产品种在生产上已经表现出高产的特性,如辽豆14,创造了东北春大豆超高产记录^[21]。

通过产量及相关性状与育成年份的分析可知东北地区倒伏性状得到了明显改善,这与王连铮等^[22]结果一致。但东北大豆育成品种中仍然存在倒伏现象,应进一步加大对该性状的关注。而对产量性状,虽然年代间差异不显著但经过多年的努力,该性状及相关性状均得到了提高,本文的研究表明在1980年代以前大豆产量是呈略微下降的趋势,而1980年代后产量则呈增加的趋势,与前人^[23-27]研究认为东北大豆产量随年份均呈增加的结果不同。这可能与试验所涉及到的品种时间跨度、熟期组类型、品种数目和试验规模有关。事实上,1980年代“六五”开始的育种攻关计划对我国大豆育种起到了重要的作用,本文结果验证了这一点。

通过产量、株型与熟期组的关系可知,随着熟期组的变晚,大豆产量、地上部生物量、主茎荚数、株高、主茎节数、分枝得到了明显提高,表观收获指数和抗倒伏的能力均显著的下降,该结果暗示着对不同熟期组大豆产量性状的改良应采取不同的策略。遗传率及育种经验也表明对产量性状直接进行改良的效果并不好,而通过对产量相关性状的改良从而达到提高大豆产量的方法是可行的^[4]。对

早熟组大豆(MG000/MG00)的改良应重点关注增加大豆地上部生物量性状的提高,而对晚熟组(MG II/MG III)则应加大对表观收获指数及抗倒伏性状的改良。

3.2 东北各生态亚区高产品种类型及改良方向

从上文分析可知,产量性状的改良有赖于产量相关性状(产量、株型性状)的改良,而不同熟期组大豆具有不同的特点,再加上生态环境对产量相关性状的影响,不同亚区品种改良方向略有不同。

为了分析各亚区高产株型特点,本文按照产量高低将品种进行分类,通过比较不同类型大豆在产量相关性状上的差异来判断各亚区不同类型大豆的改良方向及适宜当地生态条件品种的改良程度。从结果看,各亚区各类型大豆产量改良均通过改良地上生物量来实现,但地上部生物量构成复杂,几乎与所有株型及主茎荚数相关,不同亚区不同类型大豆改良的方向略有差异。从各亚区适宜熟期组各类型大豆产量相关性状的差异可知,第一亚区在过去重点关注的是从低产型改良至中间型,而对中间型改良到高产型仍有较大的改良空间。第三亚区各类型大豆地上部生物量相关性状差异较大,表明过去对该地区育种的关注度不够,有很大的提升空间。而第二、四亚区大豆改良的程度较大,第二亚区改良则应注意提高主茎节数,而第四亚区的改良则应关注表观收获指数的提升。

3.3 育成品种基因型效应、生态环境效应的认识

产量、株型性状表型是由基因型效应、生态环境效应以及基因型与生态环境互作所共同决定的。从整体上看,影响产量性状最主要的因子是品种改良,生态环境对该性状的影响是客观、显著的,但从绝对值上看,由生态环境造成的差异非常有限。如经过品种改良,产量从 $1.65\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加至 $4.90\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,而由生态环境造成的最大差异仅在 $0.79\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

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)。感谢各试验点辛苦的工作。

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] 农业部《全国种植业结构调整规划(2016-2020年)》[J]. 中国食品, 2016(10): 149-154. (Ministry of Agriculture, "National Planting Structure Adjustment Plan (2016-2020)" [J]. China Food, 2016(10): 149-154.)
- [3] 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.)
- [4] 杜维广, 盖钧镱. 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.)
- [5] 韩晓增, 乔云发, 张秋英, 等. 不同土壤水分条件对大豆产量的影响[J]. 大豆科学, 2003, 22(4): 269-272. (Han X Z, Qiao Y F, Zhang Q Y, et al. Effect of various soil moisture on the yield of soybean [J]. Soybean Science, 2003, 22(4): 269-272.)
- [6] 邹文秀, 韩晓增, 江恒, 等. 黑土区不同水分处理对大豆产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012(6): 68-73. (Zou W X, Han X Z, Jiang H, et al. The effect of water levels on yield and water use efficiency of soybean in northeast black soil region [J]. Agricultural Research in the Aric Areas, 2012(6): 68-73.)
- [7] 刘晓冰, J. Herbert S, 金剑, 等. 增加光照及其与改变源库互作对大豆产量构成因素的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(1): 6-10. (Liu X B, J. Herbert S, Jin J, et al. Light enrichment and its interactions with source-sink alteration on yield and yield components in soybean [J]. Soybean Science, 2006, 25(1): 6-10.)
- [8] 于晓秋, 郭玉. 气象因子对大豆产量的影响[J]. 黑龙江气象, 2002(2): 3-4. (Yu X Q, Guo Y. The effect of meteorological factors on the soybean output [J]. Heilongjiang Meteorology, 2002(2): 3-4.)
- [9] 刘景利, 杨扬, 梁涛, 等. 气象要素对大豆产量的影响分析[J]. 气象与环境学报, 2013(5): 136-139. (Liu J L, Yang Y, Liang T, et al. The effect of meteorological factors on soybean yield [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2013, 29(5): 136-139.)
- [10] 姬景红, 李玉影, 刘双全, 等. 平衡施肥对大豆产量及土壤-作物系统养分收支平衡的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(4): 678-682. (Ji J H, Li Y Y, Liu S Q, et al. Effect of balanced fertilization on yield of soybean and nutrients balance of soil crop system [J]. Soybean Science, 2009, 28(4): 678-682.)
- [11] 赵双进, 张孟臣, 杨春燕, 等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响—I. 播期、密度、行株距(配置方式)对产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2002(4): 31-34. (Zhao S J, Zhang M C, Yang C Y, et al. Effect of culture factors on growth and yield of soybean I. Effect of sowing date, density, space in row and plant space on yield [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002(4): 31-34.)
- [12] 张瑞朋, 付连舜, 佟斌, 等. 密度及行距对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 52-55. (Zhang R P, Fu L S, Tong B, et al. Effect of plant density and row spacing on agronomic characteristics and yield for different soybeans [J]. Soybean Science, 2015, 34(1): 52-55.)
- [13] 盖钧镱. 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.)
- [14] 杜维广, 郝迺斌, 满为群. 大豆高光效育种 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007. (Du W G, Hao N B, Man W Q. The soybean high photosynthetic efficiency breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.)
- [15] 吕景良, 吴百灵, 尹爱萍. 吉林省大豆品种资源研究—Ⅲ. 株型分类与株型育种[J]. 吉林农业科学, 1987(3): 22-27. (Lyu J L, Wu B L, Yin A P. Studies on soybean germplasm resources in Jilin province Ⅲ. the plant type classification and breeding by the plant type [J]. Jilin Agricultural Sciences, 1987(3): 22-27.)
- [16] 赵团结, 盖钧镱, 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(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 Agriculture Sinica, 2006(1): 29-37.)
- [17] 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.)
- [18] 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, 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.)
- [19] 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.)
- [20] 王曙明, 孟凡凡, 郑宇宏, 等. 大豆高产育种研究进展[J]. 中国农学通报, 2010(9): 162-166. (Wang S M, Meng F F, Zheng Y H, et al. Progress of soybean breeding for high yield [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010(9): 162-166.)
- [21] 宋书宏, 王文斌, 吕桂兰, 等. 北方春大豆超高产技术研究[J]. 中国油料作物学报, 2001(4): 49-51. (Song S H, Wang W B, Lyu G L, et al. Research on technology for super high yielding in spring soybean [J]. Acta Agronomica Sinia, 2001(4): 49-51.)
- [22] 王连铮, 叶兴国, 刘国强, 等. 黑龙江省及黄淮海地区大豆品种的遗传改进[J]. 中国油料作物学报, 1998(4): 21-26. (Wang L Z, Ye X G, Liu G Q, et al. Genetic improvement of soybean cultivars in Heilongjiang province and Huang-Huai-Hai valley [J]. Acta Agronomica Sinia, 1998(4): 21-26.)
- [23] Jin J, Liu X, Wang G, et al. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China [J]. Field Crops Research, 2010, 115(1): 116-123.
- [24] 栾晓燕, 杜维广, 满为群, 等. 黑龙江省1986-2000年大豆育种研究成就与展望[J]. 大豆科学, 2004, 23(2): 134-142. (Luan X Y, Du W G, Man W Q, et al. Achievement and prospect of soybean breeding in Heilongjiang province from 1986-2000 [J]. Soybean Science, 2004, 23(2): 134-142.)
- [25] 徐仲伟, 徐克章, 张治安, 等. 吉林省不同年代大豆品种种植地上器官生物量的变化[J]. 南京农业大学学报, 2011(3): 7-12. (Xu Z W, Xu K Z, Zhang Z A, et al. Changes of biomass above-ground organs of soybean cultivars with year of release in Jilin province [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011(3): 7-12.)
- [26] 王彩洁. 中国大豆主产区大面积种植品种性状演变规律研究及优异等位变异发掘 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013. (Wang C J. evolution trend investigation and elite allele exploration of widely-planted soybean varieties from different regions and decade in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.)
- [27] 薛永国, 魏嵘, 唐晓飞, 等. 黑龙江省育成大豆品种性状演变分析[J]. 大豆科学, 2015, 34(3): 361-366. (Xue Y G, Wei L, Tang X F, et al. Analysis and evolution on different traits of soybean varieties from Heilongjiang province [J]. Soybean Science, 2015, 34(3): 361-366.)