

东北大豆种质资源生育期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, 田中艳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, 盖钧镒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研究所, 黑龙江佳木斯 154007; 4. 黑龙江省农垦北安分局农科所, 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. 呼伦贝尔市农科所, 内蒙古扎兰屯 162650)

摘要: 生育期是大豆重要的生态性状, 为明确东北大豆生育期性状的生态特性, 搜集东北地区代表性品种 361 份, 于 2012–2014 年在东北地区 9 个代表性地点进行生育期试验。结果表明: (1) 将东北地区按熟期和生态条件划分为 4 个亚区。第一亚区包括以北安、扎兰屯为代表的黑龙江、内蒙古北部地区, 该地区积温偏低, 5 月中旬播种, 9 月中旬成熟(初霜), 主要适合 MG 000、MG 00 熟期组; 第二亚区包括以克山、佳木斯、牡丹江、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, 4 月下旬至 5 月中旬播种, 9 月中旬成熟(初霜), 主要适合 MG 0、MG I 熟期组; 第三亚区包括以白城、大庆为代表的黑龙江省西南部、吉林省东北部降水量低的地区, 播种从 4 月下旬至 5 月上旬, 9 月中下旬成熟(初霜), 适合 MG 0、MG I 熟期组; 第四亚区包括以铁岭为代表的辽宁省大部分地区, 4 月下旬至 5 月上旬播种, 9 月中下旬成熟(初霜), 主要适合 MG II 和 MG III 熟期组。(2) 明确了各熟期组大豆的生态特征。MG 000 和 MG 00 熟期组主要分布在第一生态亚区, 在当地生长季节内正常成熟, 在其他亚区生育前期、后期略有缩短、提前成熟, 不能充分利用当地生长季节。MG 0 和 MG I 熟期组主要分布在第二和第三生态亚区, 在当地生长季节内正常成熟, 在第一亚区比当地品种晚 20~30 d、前期晚 7~10 d, 在第四生态亚区比当地品种早 10~20 d、前期早 3~5 d, 不适合在这些地区种植。MG II、MG III 熟期组仅在第四生态亚区正常成熟, 部分品种可以在第二、三生态亚区成熟, 生育前期在第二、三亚区比当地品种晚约 10 d、在第一亚区晚约 20 d。

关键词: 东北春大豆; 生育期性状; 遗传变异; 生态特征; 生态亚区

中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11861/j.issn.1000-9841.2016.04.0541

Ecological Characteristics Analysis of Northeast Soybean Germplasm Growth Period 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-xi⁷, 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. Heilongjiang Academy of Land-reclamation Sciences, Jiamusi 154007, China; 4. Beian Branch of Heilongjiang Academy of Land-reclamation Sciences, 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. Hulunbeier Academy of Agricultural Sciences, Hulunbeier 162650, China)

Abstract: Growth period traits are the most important ecological traits in soybean production. The soybean collection composed of 361 landraces and released cultivars from Northeast China was tested at 9 locations, including Zhalantun in Inner Mongolia, Baian, Keshan, Jiamusi, Mudanjiang and Daqing in Heilongjiang province, Changchun and Baicheng in Jilin province and Tieling in Liaoning province, in 2012–2014 for revealing the ecological properties of the growth period traits of soy-

收稿日期: 2016-05-23

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: 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: 盖钧镒(1936-), 男, 教授, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: sri@njau.edu.cn。

bean varieties. The results obtained were as follows: (1) The Northeast China soybean producing areas were grouped into four ecological sub-regions according to variety maturities and ecological conditions. The first ecological sub-region located in the northern region of Heilongjiang and Inner Mongolia, represented by Beian and Zhalantun. The soybeans were usually sown in mid-May and matured in mid-September (first frost) in this region where the accumulated temperature was relatively low and fit MG 000 and MG 00. The second ecological sub-region located in the area from the southern of Heilongjiang to Changchun in northern of Jilin, represented by Keshan, Jiamusi, Mudanjiang and Changchun. The soybeans were usually sown in late April to mid-May and matured in mid-September (first frost) in this region where the climate was suitable for MG 0 and MG I. The third ecological sub-region located in the area from southwest of Heilongjiang to northeast of Jilin. The soybeans were usually sown from mid-or late April to early May and mature from mid-to late September (first frost) in this region where was somewhat lack of rainfall and fit mainly MG 0 and MG I. The fourth ecological sub-region located in the most areas of Liaoning province. The soybeans were usually sown from late April to early May and matured from mid to late September (first frost) in this region where the accumulated temperature was relatively high and fit MG II, MG III. (2) The major ecological properties of various maturity groups were revealed. MG 000 and MG 00 mainly fit the first ecological sub-region but were not suitable for other three sub-regions where could not make full use of the natural growth season due to too early maturity. MG 0 and MG I mainly fit the second and third ecological sub-regions, but not suitable for other sub-regions because in the first ecological sub-region they mature later than the local varieties about 20-30 days and 10-20 days earlier in the fourth sub-region, while days to flowering were 7-10 days later in the first sub-region and 3-5 days earlier in the fourth sub-region. MG II and MG III could only mature naturally in the fourth ecological sub-region and only a part of varieties of these maturity groups could mature reluctantly in second and third sub-regions, while days to flowering was 10 days later in second and third sub-regions and 20 days later in the first sub-region.

Keywords: Northeast spring soybean; Growth period trait; Genetic variation; Ecological characteristic; Ecological sub-region

生育期性状包括生育前期、生育后期、全生育期和生育期结构,是大豆重要的适应性生态性状^[1]。按照 Fehr^[2]的定义,播种至初花期(R1)为生育前期,初花期至完熟期(R8)为生育后期,两者之和为全生育期。有研究将生育后期与生育前期之比称为生育期结构^[3],鉴于该定义不能反映生长阶段与全生育期的关系,本文将生育前期与全生育期的比值定义为生育期结构。生育期性状对大豆的产量、品质、适应性等性状至关重要。选择短日照条件下生育期较长(长童性)的品种解决了低纬度地区大豆产量偏低的问题,扩大了大豆的种植范围^[4]。大豆生殖生长阶段特别是花英期的需水量较大,该阶段和雨期相遇能够提高产量。全生育期长短反映大豆的适应性,根据全生育期长短进行熟期组分类,是大豆分类最主要的方式,对大豆的生产、育种产生了重要影响^[1]。生育期结构反映了不同类型大豆的演化进度^[5],在全生育期一定的条件下,调节生育期结构有助于产量的提高^[6]。

生育期性状是典型的生态性状,表达受生态环境特别是光、温的影响^[7]。许多研究者曾对生育期性状的光温反应特性及分类做了研究^[8-10],但由于我国生态环境复杂、试验规模受到限制,结果不够详尽^[11]。20世纪80年代初中国农业科学院在全国采用分期和异地播种相结合的试验方式,获得了一批宝贵的原始数据^[7]。任全兴等^[11]通过分期播种研究表明大豆品种原产地纬度越高,生育期性状越短。王石宝^[12]通过地理播种法研究早熟大豆时发现同一品种在不同环境下从低纬度到高纬度生育期逐渐延长;生育期结构发生变化,呈现营养生

长延长、生殖生长缩短的趋势。任红玉等^[7]研究表明东北春大豆生育前期与生育后期呈现从北向南缩短的趋势,生育后期明显长于生育前期。东北地区在我国大豆生产中占有重要地位,而专门针对该地区进行大规模生育期生态试验的报道并不多。

我国土地辽阔,气候条件复杂多样,采用分区的方式来掌握不同区域的特点是研究品种生态特征简易、有效的办法^[13]。在东北地区,潘铁夫等^[14]根据温、光、水分和大豆气候生态类型将黑、吉、辽地区分为16个大豆气候生态区;王彬如^[15]根据东北地区气候条件、土壤肥力和栽培管理将东北地区划为极早熟至极晚熟共7大区域,各区域内又分为若干个小区域;马庆文等^[16]按照农业生物气候和经济发展方向将呼伦贝尔分为了5大类,各类中含有若干个小类型。这些划分方法都是基于生态条件以及当地大豆的生态类型,有2个欠缺:1)生态类型是基于本地大豆在当地生育期的绝对长度,相互之间无法比较。2)仅仅考虑各地区生态条件的相似性,没有考虑不同生态类型大豆对生态环境反应的相似性。近年来采用相对生育期长度划分熟期组的方法已经取得公认,因而可以根据熟期组归属将不同地区品种进行比较,研究不同熟期组的生态环境的反应特征。

基于此,本文使用已划分熟期组的东北大豆品种群体^[17]在北安、扎兰屯、铁岭等9个代表性地点研究各熟期组在东北地区的生态反应,根据不同地区生态条件和各熟期组生育期性状的表现将东北地区划分生态亚区,阐明东北各熟期组种质资源生育期性状的生态特征。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2012-2014 年将 361 份东北春大豆在北安、扎兰屯、克山、牡丹江、佳木斯、大庆、长春、白城、铁岭 9 个代表性地点进行生育期试验。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,每个小区 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^[2]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,计算生育前期(播种至 R1 天数)、生育后期(R1 至 R8 天数)、全生育期(播种至 R8 天数)、生育期结构(生育前期/全生育期)。试验点的基本条件与试验材料详情见傅蒙蒙等^[17]。

1.2 数据分析

描述统计分析采用 SAS/STAT V9.1 的 PROC MEANS 程序进行;相关性分析、聚类分析采用 SAS/

STAT V9.1 的 PROC CORR、PROC CLUSTER 程序进行;方差分析采用 SAS/STAT V9.1 的 PROC GLM 程序进行。联合方差分析时采用多年多点随机区组的线性模型:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_{l(j,k)} + A_{ij} + B_{ik} + C_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

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, γ_k 为第 k 个试验点的效应, $\delta_{l(j,k)}$ 为 j 年第 k 个试验点第 l 个重复的效应, A_{ij} 为基因型与年份的交互、 B_{jk} 基因型与地点的交互、 C_{ijk} 基因型与年份、地点的交互, ε_{ijkl} 为残差。运算过程中,所有变异来源均作为随机效应处理。

2 结果与分析

2.1 东北各熟期组品种生育期性状的变异

表 1 为生育期性状多年多点联合方差分析结果。生育期各性状品种间均有极显著差异,基因型、年份、地点间各项交互均极显著,不同环境下品种的生育期反应并不一致。

表 1 东北地区大豆生育期性状 9 点 3 年的联合方差分析

Table 1 Joint ANOVA of the growth period traits tested in three years at nine places in Northeast China

变异来源 Variation source	生育前期 Days to flowering (a)			生育后期 Days from flowering to maturity		
	DF	MS	F	DF	MS	F
年份 Year	2	229490	1737.48 **	2	11303	57.96 **
地点 Location	8	91468	1273.95 **	8	72708	744.43 **
重复(年份 地点) Repeat (Yea , Location)	74	18.77	4.23 **	73	57.28	7.02 **
基因型 Genotype	360	3000.89	21.29 **	360	2164.18	12.37 **
年份 × 基因型 Year × Genotype	641	113.15	3.65 **	641	173.29	3.24 **
地点 × 基因型 Location × Genotype	2880	60.46	1.88 **	2564	56.21	1.04 **
年份 × 地点 × 基因型 Year × Location × Genotype	4636	35.54	7.33 **	3840	55.08	6.75 **
误差 Error	23474	4.44		20198	8.155	
	全生育期 Days to maturity (b)			生育期结构 Ratio of (a) to (b)		
年份 Year	2	95993	371.79 **	2	5.36	1665.59 **
地点 Location	8	197501	1792.86 **	8	1.54	744.73 **
重复(年份 地点) Repeat(Yea , Loc)	74	70.46	14.48 **	74	0.0011	4.40 **
基因型 Genotype	360	4692.56	19.42 **	360	0.0130	4.46 **
年份 × 基因型 Year × Genotype	641	235.30	4.76 **	641	0.0028	2.45 **
地点 × 基因型 Location × Genotype	2563	56.84	1.13 **	2562	0.0014	1.19 **
年份 × 地点 × 基因型 Year × Location × Genotype	3841	51.18	10.52 **	3840	0.0012	4.58 **
误差 Error	20294	4.86		20282	0.00026	

DF = 自由度; MS = 均方; (a)、(b) 分别为生育前期、全生育期; * 和 ** 分别代表 0.05 和 0.01 水平上的显著性。下同。

DF = Degrees of freedom; MS = Mean square; (a) and (b) represent days to flowering and days to maturity, respectively; * and ** represent significance at 0.05 and 0.01 probability level, respectively. The same below.

熟期组分类是国际上通用的大豆分类方法,表2是根据材料熟期组归属进行的变异分析。单因素分析将生育期性状作为应变量,熟期组作为因素,

多重比较采用SNK法。分析的数据是每个品种在所有环境下的平均值,最大程度地降低了环境对表型的影响,反映品种本身的特性。

表2 不同熟期组生育期性状的变异分析
Table 2 Variation of the growth period traits in different maturity groups

类型 Type	N	生育前期 Days to flowering (a)			生育后期 Days from flowering to maturity		
		平均值 Mean/d	CV/%	范围 Range/d	平均值 Mean/d	CV/%	范围 Range/d
MG 000	16	44.48 f	3.42	41.63 ~ 46.85	64.76 e	3.26	61.13 ~ 68.31
MG 00	45	46.29 e	4.13	42.22 ~ 50.90	70.67 d	3.27	65.89 ~ 78.06
MG 0	157	49.26 d	4.1	43.79 ~ 55.57	77.75 c	3.42	70.96 ~ 84.81
MG I	79	52.1 c	6.24	45.90 ~ 61.10	81.68 b	2.70	76.52 ~ 86.73
MG II	43	59.5 b	7.59	52.72 ~ 78.72	83.77 a	3.53	75.44 ~ 90.50
MG III	21	70.98 a	11.84	58.63 ~ 81.27	82.72 b	6.95	72.45 ~ 93.67
总计 Total	361	51.78	13.44	41.63 ~ 81.27	78.16	7.08	61.13 ~ 93.67

类型 Type	N	全生育期 Days to maturity(b)			生育期结构 Ratio of (a) to (b)		
		平均值 Mean/d	CV/%	范围 Range/d	平均值 Mean/d	CV/%	范围 Range/d
MG 000	16	108.76 f	1.86	105.89 ~ 113.03	0.41 a	3.28	0.38 ~ 0.43
MG 00	45	116.2 e	2.82	109.86 ~ 125.98	0.40 b	2.76	0.37 ~ 0.42
MG 0	157	125.97 d	2.35	118.94 ~ 133.63	0.39 c	3.33	0.36 ~ 0.41
MG I	79	131.38 c	1.51	127.37 ~ 136.88	0.38 c	4.12	0.35 ~ 0.41
MG II	43	136.94 b	1.62	132.95 ~ 145.63	0.39 c	5.80	0.35 ~ 0.45
MG III	21	142.97 a	1.97	136.87 ~ 146.87	0.42 ab	9.73	0.37 ~ 0.49
总计 Total	361	127.47	6.45	105.89 ~ 146.87	0.39	5.23	0.35 ~ 0.49

N = 品种数; CV = 变异系数; 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。

MG = Maturity group; N = Number of varieties; CV = Coefficient of variation; Values in the column of mean followed by different letters are significantly different among maturity groups. The same below.

大豆的生育前期、后期及全生育期在不同熟期组间有极显著差异,生育期结构在部分熟期组之间有显著性差异。生育期结构受开花时间的影响,光温对开花时间的影响较大^[5],说明不同熟期组对光温的反应并不一致。比较不同熟期组的生育期性状随着熟期组的推晚,生育前期、后期及全生育期呈增加的趋势,全生育期增加较一致而MG 000 ~ MG I的前期差别较小而后期差别较大, MG II、MG III则与之相反。说明MG 000 ~ MG I全生育期区别主要是由生育后期, MG II ~ MG III是由生育前期长短决定的。变异系数表明MG III各性状的变异均较

为丰富,而MG 000 ~ MG 0的变异较为均衡。近年来,我国大豆生产有北移的趋势,迫切需要培育出生育期更短的品种,该结果表示加大对MG 000 ~ MG 00生育后期的选择可能更容易选育出更早熟的品种。

2.2 东北大豆品种熟期组生态亚区的划分

本文根据各试验点生态条件(积温、光照、降水、纬度、经度、海拔)及各熟期组在各试验点的全生育期表现,对9个试点进行聚类分析,大致将东北地区归为4个亚区,结果见表3及图1。

表 3 东北大豆品种生态亚区的主要生态条件

Table 3 The major ecological conditions in Northeast soybean ecological sub - regions

生态亚区 ESR	试验点 Testing site	积温 AT/°C	降水 Rainfall /mm	夏至可照 时长 Hss /h	播种期 Sowing date	初霜期 First frost date	熟期组 MG	范围 Range
I	北安 扎兰屯 BA ,ZLT	1800 ~ 2300	400 ~ 600	15.93 ~ 16.92	5 月中旬 Mid - May	9 月中旬 Mid - September	MG 000 ~ MG I (MG 000 ,MG 00)	黑龙江和内蒙古北部 Northern part of INM and HLJ
II	克山 佳木斯 牡 丹江 长春 KS/JMS/ MDJ/CC	2300 ~ 3050	500 ~ 600	15.69 ~ 15.84	4 月下旬至 5 月 中旬 Late April to Mid - May	9 月中旬 Mid - September	MG 000 ~ MG II (MG 0 ,MG I)	黑龙江省中南部至吉林省 长春 From middle and southern HLJ to Changchun(JL)
III	白城 大庆 BC ,DQ	2800 ~ 3080	350 ~ 500	15.43 ~ 15.72	4 月中下旬至 5 月上旬 Mid or late April to Early May	9 月中下旬 Mid to late Sep- tember	MG 000 ~ MG II (MG 0 ,MG I)	黑龙江省西南、吉林东北部 等降水量少 Southwest of HLJ and North- east of JL with less rainfall
IV	铁岭 TL	3050 ~ 3300	500 ~ 800	15.19 ~ 15.43	4 月下旬至 5 月 上旬 Late April to Ear- ly May	9 月中下旬 Mid to Late Sep- tember	MG 000 ~ MG III (MG II ,MG III)	辽宁省大部分地区 Most part of LN

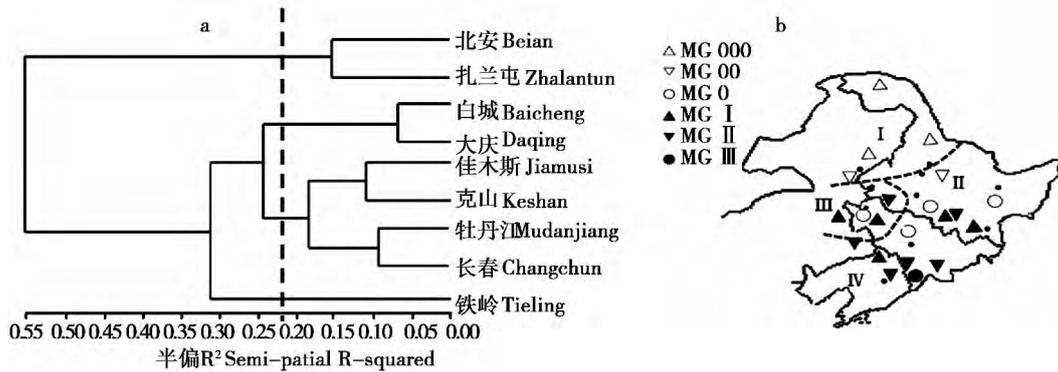
AT/°C = 10°C 以上积温 熟期组栏中括号内为该生态亚区最适宜熟期组。

AT/°C = Above 10 °C accumulated temperature , Hss = Day length hours on summer solstice date.

BA = Beian; ZLT = Zhalantun; KS = Keshan; JMS = Jiamusi; MDJ = Mudanjiang; CC = Changchun; DQ = Daqing; BC = Baicheng; TL = Tieling.

INM = Inner Mongolia , HLJ = Heilongjiang , JL = Jilin , LN = Liaoning. The same below.

Within the brackets in the column of Maturity Group are the most suitable maturity groups for the ecological sub - regions



a: 不同试验点聚类的结果 从虚线处可以将东北地区划分为 4 个生态亚区; b: 各生态亚区在东北地区的大致分布范围及各亚区内分布的熟期组类型。

a: shows the clustering of the different testing sites. Four ecological sub-regions in Northeast China were grouped at the dotted line. b: shows the approximate distribution of the four ecological sub-regions and their suitable maturity groups.

图 1 东北大豆品种生态亚区的聚类及分布范围

Fig. 1 Clustering and distribution of Northeast ecological sub-regions

第一亚区是以北安、扎兰屯为代表的黑龙江、内蒙古北部地区。该地区的积温较低,一般 5 月中旬播种 9 月中旬成熟。由于积温的原因,一般选用

播种到成熟 110 ~ 120 d^[14] 的品种。本试验中虽然 MG 000 ~ MG 0 及大部分 MG I 材料能在该亚区正常成熟,但 MG 000、MG 00 在该亚区各试验点的差

异不大, MG 0、MG I 组则有明显差异,再考虑到当地适宜的成熟天数,当地种植的适宜熟期组为 MG 000、MG 00。

第二亚区是以克山、佳木斯、牡丹江、长春为代表的黑龙江省中南部至吉林省长春地区。该地区气候条件较为适宜,播种时间可根据当年气象条件适当提早,一般克山5月中旬,牡丹江、佳木斯5月上旬,长春在4月下旬即可播种,成熟在9月中旬,该区域生育天数根据播种的早晚120~145 d不等。本试验中各试验点的播种主要在5月中旬,因此在当地表现在120~130 d的品种即适合在当地种植。在本试验中,虽然MG 000~MG I及部分MG II组材料在这些地区均能正常成熟(其中MG III组在长春也可成熟),结合当地无霜期,适宜的熟期组为MG 0、MG I。

第三亚区是以白城、大庆为代表的黑龙江省西南部至吉林北部等降水偏少的地区。当地播种较早,一般大庆在4月下旬/5月上旬、白城在4月中下旬即可播种,9月中下旬成熟。一般大庆选用播种至成熟130~140 d、白城135~155 d的材料,本试验中各试验点的播种主要在5月中旬,因此在大庆、白城120~130 d的材料即适合在当地种植。本试验中MG 000~MG I及部分MG II组在这些地区均能正常成熟,结合当地无霜期,适宜的熟期组为MG 0和MG I。

第四亚区是以铁岭为代表的辽宁省大部分地区。该地区在4月下旬至5月上旬播种,9月中下旬成熟,一般选用播种至成熟145~150 d的品种。本试验中,所有熟期组在当地均能成熟,考虑到本试验在当地播种时间(5月中旬)及各熟期组在当地的表现,适宜的熟期组为MG II、MG III。

需要说明的是本文给出的各生态亚区适宜的熟期组是针对整个生态亚区,具体到生态亚区内某一地区时,还需具体考虑当地的生态条件。如以牡丹江为代表的第二生态亚区适合种植MG 0、MG I,但牡丹江处于第二生态亚区偏南部,一些MG II组的材料在当地也能正常成熟。因此文中给出的各地区适宜种植的熟期组仅为参考。

2.3 东北大豆品种不同熟期组生育期性状的生态特征

对生育期的生态特征进行分析采用以下步骤:首先分析不同熟期组对环境因素(纬度、经度、海拔、积温、光照、降水)的反应,然后对各熟期组的表现进行聚类分析(表4),进而结合各熟期组在生态亚区的分布(表3)及表现(表4、表5),最后归纳各

熟期组的生态特性。

MG 000、MG 00的生态特性相似。两熟期组主要分布在第一生态亚区,能在当地无霜期内正常成熟,在第二、三亚区比当地品种提前成熟10~20 d,在第四亚区则比当地品种提前30~40 d左右,不能充分利用当地自然条件。生育前期、后期在第一生态亚区平均在50/70 d左右,在其它亚区略有缩短,比第二、三亚区当地品种分别早3~5/10~20 d,比第四亚区当地品种分别早10/10~20 d。两组的全生育期与9月降水呈低度正相关($r = 0.4^*/0.42^*$),前期则与8月降水呈低度负相关($r = -0.39^*/-0.39^*$),后期与纬度呈低度正相关($r = 0.45^{**}/0.49^{**}$)。

MG 0、MG I的生态特性相似。两熟期组主要分布在第二、第三生态亚区,能在当地无霜期内正常成熟,在第一生态亚区比当地品种晚成熟20~30 d,在第四亚区比当地早熟10~20 d,不适合在当地种植。生育前期在二、三亚区在50 d左右,在第一亚区时略有延长,比当地品种晚7~10 d;在第四亚区缩短10 d左右,比当地品种缩短约3~5 d。生育后期在各生态区之间差异不大,均在70~80 d。MG 0、MG I全生育期与9月降水($r = 0.51^{**}/0.60^{**}$)呈一般性相关,前期与8月降水($r = -0.36^*/-0.35^*$)呈低度负相关、与9月降水($r = 0.35^*/0.39^*$)呈低度正相关,后期则与6月光照($r = 0.36^*/0.39^*$)呈低度正相关。

MG II、MG III的生态特征相似。两熟期组最适宜第四生态亚区,这两个熟期组的品种在第一生态亚区完全不能成熟,在第四生态亚区成熟,而有部分这两个熟期组的品种可以在第二、三生态亚区成熟。生育前期在第四亚区表现为47~58 d,在其它亚区则略有延长,在第二、三亚区比当地品种延长约10 d,在第一亚区比当地品种延长约20 d。MG II、MG III在全生育期与纬度、海拔不相关;在前期时MG II与9月降水($r = 0.45^{**}$)呈低度正相关、MG III与降水不相关,MG II与8月光照($r = 0.35^*$)呈低度正相关、MG III与光照不相关。

需要说明的是,熟期组与环境因素的反应是将表型数据(各环境及各熟期组表型数据)与各试验点的地理因素(纬度、经度、海拔)及2012~2014年大豆生长季节的气象因素(降水、温度和光照)进行相关性分析,为了方便描述,将相关系数在0.3~0.5称为低度相关,0.5~0.8为一般相关,*和**分别代表了0.05和0.01水平上的显著性。上文中仅列出熟期组与生态因子间较大的相关关系。

表 4 各熟期组生育期性状在不同生态区的平均表现(日数)

Table 4 The growth period performance of maturity groups in different ecological sub - regions(d)

性状 Trait	熟期组 MG	I		II				III		IV
		北安 BA	扎兰屯 ZLT	克山 KS	佳木斯 JMS	牡丹江 MDJ	长春 CC	大庆 DQ	白城 BC	铁岭 TL
全生育期	MG 000	120 ± 4	119 ± 3	111 ± 4	109 ± 3	106 ± 4	112 ± 3	102 ± 4	104 ± 3	100 ± 3
Days to	MG 00	132 ± 5	127 ± 4	121 ± 4	116 ± 4	113 ± 4	119 ± 3	111 ± 4	110 ± 4	105 ± 3
maturity(b)	MG 0	145 ± 5	139 ± 5	131 ± 3	126 ± 4	122 ± 4	128 ± 3	121 ± 3	120 ± 4	113 ± 4
	MG I	151 ± 3	144 ± 2	138 ± 4	135 ± 4	129 ± 3	134 ± 3	127 ± 3	127 ± 4	120 ± 5
	MG II	Im	Im	150 ± 5	141 ± 5	135 ± 2	142 ± 3	132 ± 2	136 ± 3	130 ± 4
	MG III	Im	Im	Im	Im	141 ± 4	147 ± 3	Im	141 ± 4	141 ± 6
生育前期	MG 000	50 ± 3	52 ± 2	45 ± 3	41 ± 2	45 ± 2	44 ± 2	39 ± 3	47 ± 3	40 ± 2
Days to	MG 00	54 ± 4	54 ± 2	48 ± 3	42 ± 2	46 ± 2	45 ± 1	41 ± 2	48 ± 3	41 ± 1
flowering (a)	MG 0	59 ± 4	59 ± 3	52 ± 3	45 ± 2	49 ± 2	46 ± 2	45 ± 3	50 ± 3	42 ± 1
	MG I	63 ± 5	63 ± 4	56 ± 4	49 ± 6	51 ± 3	48 ± 3	48 ± 4	52 ± 4	43 ± 2
	MG II	75 ± 4	70 ± 6	64 ± 6	60 ± 8	58 ± 5	52 ± 5	57 ± 6	58 ± 5	47 ± 4
	MG III	77 ± 6	87 ± 13	77 ± 10	74 ± 10	68 ± 9	67 ± 12	71 ± 11	70 ± 11	58 ± 8
生育后期	MG 000	70 ± 4	67 ± 3	66 ± 4	68 ± 3	61 ± 3	69 ± 3	63 ± 3	60 ± 3	60 ± 3
Days from	MG 00	78 ± 4	73 ± 4	73 ± 3	74 ± 3	67 ± 3	74 ± 3	70 ± 3	64 ± 4	64 ± 3
flowering to	MG 0	86 ± 5	81 ± 4	79 ± 3	82 ± 4	73 ± 3	82 ± 3	76 ± 3	72 ± 4	71 ± 4
maturity	MG I	88 ± 5	83 ± 4	83 ± 4	88 ± 3	78 ± 3	86 ± 3	79 ± 4	78 ± 3	77 ± 4
	MG II	Im	Im	86 ± 6	87 ± 4	80 ± 3	91 ± 4	75 ± 5	81 ± 4	83 ± 3
	MG III	Im	Im	Im	Im	79 ± 4	89 ± 10	Im	79 ± 7	83 ± 7
生育期结构	MG 000	0.42 ± 0.04	0.44 ± 0.02	0.41 ± 0.03	0.38 ± 0.03	0.42 ± 0.04	0.39 ± 0.04	0.3 ± 0.03	0.45 ± 0.05	0.37 ± 0.06
Ratio of	MG 00	0.41 ± 0.04	0.43 ± 0.02	0.4 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.41 ± 0.03	0.37 ± 0.04	0.3 ± 0.03	0.43 ± 0.06	0.39 ± 0.06
(a) to (b)	MG 0	0.41 ± 0.04	0.42 ± 0.02	0.4 ± 0.02	0.35 ± 0.02	0.4 ± 0.04	0.36 ± 0.04	0.3 ± 0.04	0.42 ± 0.06	0.4 ± 0.07
	MG I	0.41 ± 0.05	0.42 ± 0.02	0.4 ± 0.03	0.35 ± 0.03	0.39 ± 0.03	0.36 ± 0.04	0.3 ± 0.04	0.41 ± 0.06	0.36 ± 0.06
	MG II	Im	Im	0.42 ± 0.03	0.37 ± 0.04	0.41 ± 0.03	0.36 ± 0.04	0.4 ± 0.04	0.42 ± 0.06	0.36 ± 0.06
	MG III	Im	Im	Im	Im	0.42 ± 0.03	0.38 ± 0.07	Im	0.45 ± 0.08	0.41 ± 0.07

数据表示为平均数 ± 标准差; Im = 未成熟。下同。

The data are shown in Mean ± Standard Deviation; Im = immature; The same below.

表 5 各熟期组生育期性状在不同生态区的变幅(日数)

Table 5 The range of growth period to maturity group in different ecological zones (day)

性状 Trait	熟期组 MG	I		II				III		IV
		北安 BA	扎兰屯 ZLT	克山 KS	佳木斯 JMS	牡丹江 MDJ	长春 CC	大庆 DQ	白城 BC	铁岭 TL
全生育期	MG 000	114 ~ 126	115 ~ 123	106 ~ 116	107 ~ 113	104 ~ 110	99 ~ 107	103 ~ 111	101 ~ 107	97 ~ 102
Days to	MG 00	127 ~ 138	124 ~ 133	117 ~ 126	114 ~ 121	111 ~ 117	108 ~ 116	112 ~ 120	108 ~ 115	103 ~ 109
maturity(b)	MG 0	139 ~ 147	134 ~ 141	127 ~ 134	122 ~ 130	118 ~ 125	117 ~ 124	121 ~ 128	116 ~ 123	110 ~ 116
	MG I	148 ~ 155	142 ~ 147	135 ~ 142	131 ~ 137	126 ~ 132	125 ~ 129	129 ~ 136	124 ~ 131	117 ~ 125
	MG II	Im	Im	143 ~ 152	138 ~ 143	133 ~ 137	130 ~ 133	137 ~ 142	132 ~ 138	126 ~ 135
	MG III	Im	Im	Im	Im	138 ~ 143	Im	143 ~ 146	139 ~ 144	136 ~ 147
生育前期	MG 000	48 ~ 52	51 ~ 53	44 ~ 47	≤44	≤48	≤40	≤47	≤50	≤44
Days to	MG 00	53 ~ 56	54 ~ 56	48 ~ 50	≤44	≤48	41 ~ 43	≤47	≤50	≤44
flowering (a)	MG 0	57 ~ 61	57 ~ 61	51 ~ 54	45 ~ 47	49 ~ 50	44 ~ 47	≤47	≤50	≤44

续表 5

性状 Trait	熟期组 MG	I			II			III		IV
		北安	扎兰屯	克山	佳木斯	牡丹江	长春	大庆	白城	铁岭
		BA	ZLT	KS	JMS	MDJ	CC	DQ	BC	TL
	MG I	62 ~ 69	62 ~ 66	55 ~ 60	48 ~ 54	51 ~ 54	48 ~ 52	48 ~ 50	51 ~ 55	≤44
	MG II	≥70	67 ~ 78	61 ~ 69	55 ~ 67	55 ~ 63	53 ~ 64	51 ~ 59	56 ~ 64	45 ~ 52
	MG III	≥70	79 ~ 96	70 ~ 83	68 ~ 81	64 ~ 73	65 ~ 78	60 ~ 75	65 ~ 76	53 ~ 64
生育后期	MG 000	66 ~ 74	64 ~ 70	62 ~ 69	65 ~ 72	58 ~ 64	59 ~ 66	66 ~ 71	≤62	≤62
Days from	MG 00	75 ~ 82	71 ~ 75	70 ~ 76	73 ~ 78	65 ~ 70	67 ~ 73	72 ~ 78	63 ~ 68	63 ~ 67
flowering to	MG 0	≥82	76 ~ 82	77 ~ 81	79 ~ 85	71 ~ 75	74 ~ 78	79 ~ 84	69 ~ 76	68 ~ 74
maturity	MG I	≥82	≥82	82 ~ 85	≥86	76 ~ 79	79 ~ 81	85 ~ 88	77 ~ 80	75 ~ 80
	MG II	Im	Im	≥86	≥86	≥79	73 ~ 77	89 ~ 95	≥81	81 ~ 86
	MG III	Im	Im	Im	Im	≥79	Im	89 ~ 95	≥81	81 ~ 86

3 结论与讨论

3.1 与熟期组相结合的生态亚区划分的意义

大豆生态亚区的划分对东北大豆生产和育种工作具有指导意义。和前人所划分的生态亚区相比,本文划分的生态亚区在考虑环境差异的同时考虑了不同熟期组对环境的反应,同一生态亚区内不仅生态因子相似而且同一熟期组类型大豆在该生态亚区内的表现较一致,更加适合于指导大豆生产和育种工作。本文根据各熟期组在各亚区的表现给出了不同亚区最适宜种植的熟期组,为新品种的推广和育种亲本的选择提供了直观的范围。

黑龙江省农业局^[19]曾划定黑龙江省农作物品种活动积温带(第一积温带积温在2 700℃以上,第六积温带在1 900℃以下,其余各积温带间相差约200℃),对大豆生产起到了重要的指导作用。本文划分的生态亚区与之相比有以下优势:1)有利于东北大豆的交流、推广。积温带划法划定的第四至第六、第一至第三积温带所在的区域大致上与本文所划分的第一/(二、三)亚区相符,可以根据以往大豆品种适宜种植的积温带初步确定品种对应的熟期组,快速将东北大豆与国际大豆分类标准接轨,便于交流、推广。2)更加精准的指导品种利用。本文划分的生态亚区除积温因子外,其余如光照、降水等因子相似性均较高,而大豆生产除积温外其它因子特别是光也起到重要作用,据此安排品种更加精准。3)降低了认识和利用大豆生态规律的难度。大豆许多经济性状如产量、品质等均为数量性状,易受环境因素的影响,东北地区气候的复杂性决定了难以掌握和利用这些数量性状的生态规律。而本文的生态亚区是依据环境和不同生态类型大豆对环境反应的相似程度划分的。因此,可以简化认识这些复杂性状生态规律的难度,有利于掌握、利

用这些规律。

由于本文所选择的试验点数目不多,所划分的生态亚区仍是初步的,只能反映东北地区整体上的趋势。

3.2 不同熟期组生育期性状生态特性的认识

生态特性包含了不同类型大豆的地区分布和在不同地区的表现,傅蒙蒙等^[17]研究表明东北地区大豆包含MG 000~MG III共6个熟期组,本文研究表明各熟期组生育期性状的生态特性既具有一定的相似性又有差异性。MG 000与MG 00、MG 0与MG I、MG II与MG III各组之间差异较大而各组内较为相似。这些熟期组与生态因子(纬度、经度、海拔、光照、积温、降水)的反应也呈现这样的规律,这或许就是不同熟期组大豆生育期生态特性形成的基础。认识不同熟期组大豆生育期性状的生态特性有助于大豆生产。如在牡丹江,播种一般在5月初,而初霜大多在9月中旬^[18],整个生长过程在130 d左右,观察各熟期组在当地的全生育天数,MG 0与MG I在当地的生育天数与之相似。其它熟期组如MG 000、MG 00在当地提前成熟,而MG II、MG III在当地则不能保证成熟,故MG 0与MG I两熟期组的大豆适宜在当地种植。

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)。感谢各试验点人员的辛苦工作。

参考文献

- [1] 盖钧镒,汪越胜,张孟臣等. 中国大豆品种熟期组划分的研究[J]. 作物学报,2001,27(3): 286-292. (Gai J Y, Wang Y S, Zhang M C, et al. Studies on the classification of maturity groups of soybeans in China [J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(3): 286-292.)
- [2] Fehr W R, Caviness C E. Stages of Soybean Development. Spe-

- cial Report 80, Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economic Experiment Station [M]. Iowa: Iowa State University, 1977: 1-11.
- [3] 孙志强, 田佩占, 王继安. 东北大豆品种生育期结构的初步分析[J]. 大豆科学, 1990, 9(3): 198-205. (Sun Z Q, Tian P Z, Wang J A. A preliminary analysis of northeast soybean growth period structure [J]. Soybean Science, 1990, 9(3): 198-205.)
- [4] Carpentieri-Pipolo V, de Almeida L A, Kiihl R A D. Inheritance of a long juvenile period under short-day conditions in soybean [J]. Genetics and Molecular Biology, 2002, 25(4): 463-469.
- [5] 韩天富, 盖钧镒, 陈风云, 等. 生育期结构不同的大豆品种的光周期反应和农艺性状[J]. 作物学报, 1998, 24(5): 550-557. (Han T F, Gai J Y, Chen F Y, et al. Photoperiod response and agronomy characters of soybean varieties with different growth period structures [J]. Acta Agronomica Sinica, 1998, 24(5): 550-557.)
- [6] Reicosky D A, Orf J H, Poneleit C. Soybean germplasm evaluation for length of the seed filling period [J]. Crop Science, 1982, 22(2): 319-322.
- [7] 任红玉, 沈能展, 张兴文, 等. 北方春大豆生育期性状在不同播季及生态区的反应[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(1): 43-47. (Ren H Y, Shen N Z, Zhang X W, et al. A comparative study on maturity characteristics of spring soybean in Northeast of China in different planting seasons and ecological [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(1): 43-47.)
- [8] 卜慕华, 潘铁夫. 中国大豆栽培区域探讨[J]. 大豆科学, 1982, 1(2): 105-121. (Bu M H, Pan T F. A study on the regionalization of soybean producing area in China [J]. Soybean Science, 1982, 1(2): 105-121.)
- [9] 马育华, 裴广铮. 江淮下游地区大豆地方品种的初步研究[J]. 作物学报, 1962, 1(4): 27-42. (Ma Y H, Pei G Z. The preliminary research on the downstream of the Jianghuai region soybean local varieties [J]. Acta Agronomica Sinica, 1962, 1(4): 27-42.)
- [10] 路琴华, 王玉民. 大豆生态研究-XV. 复式光温综合作用与中国不同进化型大豆生态类型的研究[J]. 吉林农业科学, 1996(2): 18-26. (Lu Q H, Wang Y M. Study on soybean ecology double comprehensive effect of light and temperature and the ecotypes of soybean of different evolutionary types of China [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1996(2): 18-26.)
- [11] 任全兴, 盖钧镒, 马育华. 我国大豆品种生育期生态特性研究[J]. 中国农业科学, 1987, 20(5): 23-28. (Ren Q X, Gai J Y, Ma Y H. A study on the ecological properties of the growth periods of the Chinese soybean varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1987, 20(5): 23-28.)
- [12] 王石宝. 早熟大豆在不同生态环境下生育期变化规律研究[J]. 山西农业大学学报, 1997, 17(3): 250-253. (Wang S B. Studies on the growth periods of early-maturity soybean in different ecological conditions [J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 1997, 17(3): 250-253.)
- [13] 盖钧镒, 汪越胜. 中国大豆品种生态区域划分的研究[J]. 中国农业科学, 2001(2): 139-145. (Gai J Y, Wang Y S. A study on the varietal Eco-regions of soybeans in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001(2): 139-145.)
- [14] 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 northeast China [J]. Soybean Science, 1983, 2(1): 1-13.)
- [15] 王彬如. 东北地区(包括内蒙)春大豆品种区划[J]. 黑龙江农业科学, 1991(5): 31-34. (Wang B R. Northeast China (including Mongolia) spring soybean varieties division [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 1991(5): 31-34.)
- [16] 马庆文, 赵永泉. 内蒙古呼伦贝尔盟(大)农业区划的探讨[J]. 内蒙古草业, 1992(3): 6-13. (Ma Q W, Zhao Y Q. Discussion Hulunbeir (large) agricultural zoning [J]. Neimenggu Prataculture, 1992(3): 6-13.)
- [17] 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, 33(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, 33(2): 181-192.)
- [18] 范天红, 李莉, 于金旺. 牡丹江市郊区无霜期年际变化与 $\geq 10.0^{\circ}\text{C}$ 积温及产量关系分析[J]. 黑龙江气象, 2004(3): 19-20. (Fan T H, Li L, Yu J W. Suburb of Mudanjiang interannual variation frost-free period and $\geq 10.0^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature with production [J]. Heilongjiang Meteorology, 2004(3): 19-20.)