

中国大豆微核心种质光温综合反应敏感性的鉴定

宋雯雯¹, 李继存^{1,2}, 赵云², 周静², 黄新阳², 曾海燕¹, 杨光明¹,
李素真², 吴存祥¹, 韩天富¹

(¹ 中国农业科学院作物科学研究所 / 农业部北京大豆生物学重点实验室, 北京 100081;

² 济宁市农业科学研究院经济作物研究所, 山东济宁 272031)

摘要: 大豆是典型的短日喜温作物, 光温敏感性决定大豆品种的地理适应范围。为深入了解中国大豆品种主要生态类型的光温反应特性, 以 282 份中国大豆微核心种质为材料在山东济宁进行春、夏两期播种, 根据两个播期条件下开花期 (R1) 的差异, 计算参试种质的光温综合反应敏感度 (PCRS)。结果表明, 中国大豆微核心种质光温综合反应差异较大, 生育期性状变异丰富。随着供试种质生育期组的增加, 光温综合敏感度增大。不同播期类型大豆光温综合反应敏感度大小顺序为: 秋大豆 > 夏大豆 > 春大豆。根据光温综合反应敏感度的差异将我国大豆微核心种质分为敏感、中度敏感及钝感 3 种类型。春播、夏播材料以光温综合反应中度敏感材料居多, 而在秋播品种中, 敏感材料的比例达 63.6%。从 3 种类型在不同生育期组 (MG) 中的分布情况看, 光温综合反应敏感材料主要分布在晚于 MGII 的品种中, 中度和钝感材料在大部分生育期组中均有分布。生育期组与大豆品种光温反应综合敏感度极显著相关, 该性状可作为反映大豆品种的光温生态特性的简便和可靠指标。研究结果有助于全面了解我国大豆种质资源的光温反应特性, 为挖掘、利用光温钝感资源, 选育广适应大豆品种提供理论依据。

关键词: 大豆; 微核心种质; 光温综合反应敏感度; 生育期组; 播期类型

Identification of Photothermal Comprehensive Responses in Chinese Soybean Mini Core Collection

SONG Wen-wen¹, LI Ji-cun^{1,2}, ZHAO Yun², ZHOU Jing², HUANG Xin-yang², ZENG Hai-yan¹,
YANG Guang-ming¹, LI Su-zhen², WU Cun-xiang¹, HAN Tian-fu¹

(¹ Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/MOA Key Laboratory of Soybean Biology (Beijing), Beijing 100081; ² Institute of Cash Crops, Jining Academy of Agricultural Sciences, Shandong Jining 272031)

Abstract: Soybean is a typical short-day thermophilic crop and the sensitivity to photothermal environments determines the geographic adaptability of soybean varieties. To further understand the photothermal responses, 282 Chinese accessions in mini core collection (MCC) were planted under both Spring and Summer cropping seasons in Jining, Shandong province of China. Photothermal comprehensive response sensitivity (PCRS) of the MCC was calculated based on the days from emergence to the beginning bloom (R1). The results showed a broad range of variations in PCRS and growth periods among the MCC germplasm. PCRS increased along with the maturity groups of MCC. PCRS values of the major soybean ecotypes was ordered as follows: autumn-sowing soybeans > summer-sowing soybeans > spring-sowing soybeans. Based on the PCRS values, the Chinese soybean MCC accessions were classified into three classes: sensitive, medium and insensitive in photothermal sensitivity.

收稿日期: 2019-06-06 修回日期: 2019-07-08 网络出版日期: 2019-07-24

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190606004>

第一作者研究方向为大豆生理生态学, E-mail: songwenwen@caas.cn; 李继存为共同第一作者

通信作者: 韩天富, 研究方向为大豆遗传育种, E-mail: hantianfu@caas.cn

吴存祥, 研究方向为大豆栽培生理, E-mail: wucunxiang@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0101400); 国家大豆产业技术体系 (CARS-04); 中国农业科学院农业科技创新工程

Foundation project: National Key R&D Program of China (2017YFD0101400), China Agriculture Research System (CARS-04), CAAS Agricultural Science and Technology Innovation Project

A larger proportion of the spring-sowing and summer-sowing varieties showed medium-sensitive, while 63.6% of the autumn-sowing varieties were found to be photothermal-sensitive. The sensitive germplasm belonged mainly to the MGs later than MGII, and the medium-sensitive and insensitive germplasms covered all maturity groups (MGs). MG value of a given variety is highly related to its PCRS, indicating that MG is a simple and reliable index to express the comprehensive response of soybeans. The gained results will be helpful to understand the photothermal characteristics of soybean germplasm in China and provide a theoretical basis, in order to explore and utilize the photo-insensitive germplasm in future breeding for widely-adapted soybean varieties.

Key words: soybean; mini core collection (MCC); photothermal comprehensive response sensitivity (PCRS); maturity group (MG); sowing season ecotype

大豆是典型的短日作物^[1],光周期反应存在于大豆出苗至成熟的全过程^[2]。自光周期现象发现以来,以大豆为模式材料^[1,3]获得了一系列结果,对其他作物的同类研究及相关基础学科的发展产生了巨大的推动作用。在开展大豆光周期反应研究的同时,一些学者注意到,大豆是喜温作物,温度是影响大豆生长发育的另一重要因子^[1,4-5]。早期研究还发现,大豆品种的光感性受温度的影响^[1,4],如果温度过低或过高都会影响光周期反应的敏感性^[6]。部分学者通过分期播种和人工控制光温的方法,研究了光温互作对大豆发育的调控作用^[7],并进一步建立和完善了度量大豆光温反应敏感性的指标^[8-10]。

大豆的光温综合反应特性决定了其环境适应性范围^[6]。一般认为,光温反应敏感的大豆品种适应范围较窄,反之则广^[7]。对大豆品种的光温综合反应特性进行鉴定,可为大豆广适应种质资源的挖掘、利用和广适应品种选育提供依据^[11]。半个多世纪以来,我国学者对不同生态类型大豆品种的光温反应特性进行过较多研究。王金陵等^[12]比较了我国南北不同地区大豆品种的光周期敏感性的差异;任全兴等^[13]研究了不同光温条件对于大豆品种生育期的影响;郝耕^[14]对不同地理来源的 100 份大豆品种进行了光温敏感性的比较;韩天富等^[15]比较了我国不同生态类型大豆品种开花后的光周期敏感性;汪越胜等^[16]选用全国各地 256 份大豆代表品种研究了不同播期类型光温综合反应及短光照反应的关系;孙培乐等^[17]研究了不同播期条件下春大豆的光温反应特性;Wu 等^[18]对全国大豆品种生态试验中的 91 份不同生态类型品种进行了光温反应特性的研究,并利用 SSR 标记挖掘生育期性状优异等位变异及其载体材料;Mao 等^[19]进一步通过全基因组关联分析和基因与环境互作分析,解析了大豆开花期位点在不同光温环境的变化规律及光温互作效应。以上研究大大深化了对我国大豆品种光温

反应特性的了解。但是,由于过去研究所用材料未能全面覆盖我国大豆资源类型,因此限制了对我国大豆资源光温反应特性的全面评价。

中国是大豆起源地,种质资源收集、保存数量均居世界首位^[20]。深入开展中国大豆种质资源鉴定和有益材料挖掘利用对大豆品种改良具有重要意义。在实际工作中,由于种质资源数量大,难以进行一一评价。为了解决这一共性难题,Frankel 等^[21]首次提出了核心种质(Core collection)的概念,即从作物资源中遴选出能最大程度代表其遗传多样性而数量又尽可能少的种质材料作为核心资源。我国科研工作者根据多个表型性状及分子信息^[22],并经过多种取样策略的比较研究,构建了由 1179 份种质构成的中国大豆核心种质^[22-23]。为了方便、深入地进行研究,在核心种质的基础上进一步精简群体规模,将 SSR 标记数据和农艺学数据相结合,利用种质分类法进行核心种质的分层取样并最终构建了占资源总量 1% 或 0.5% 的大豆微核心种质(Mini core collection)^[24-25]。分析大豆微核心种质的群体结构、不同性状的群体分布及遗传多样性,有助于全面了解我国大豆种质资源的特性,对发掘和利用优异基因、拓宽大豆遗传基础、改良大豆品种具有重要的意义。大豆核心种质和微核心种质的建立,也为全面评价我国大豆资源的光温反应特性创造了条件^[26]。

本研究在前期对 299 份微核心种质进行生育期组归属及相关 *E1-E4* 基因型进行鉴定^[27]的基础上,对大豆微核心种质的光温综合反应敏感性进行鉴定,以期加深对我国大豆品种资源光温反应特性的认识,为挖掘、利用光温钝感种质资源和培育广适应大豆品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试 282 份大豆微核心种质包括中国种质 262

份,国外种质 20 份。其中,中国种质分别来自 25 个省(市、区),包括黑龙江 22 份,吉林 15 份,辽宁 13 份,新疆 2 份,内蒙古 1 份,河北 19 份,北京 3 份,山西 21 份,陕西 12 份,宁夏 1 份,甘肃 4 份,山东 20 份,河南 11 份,安徽 4 份,江苏 22 份,湖北 15 份,湖南 6 份,江西 9 份,浙江 2 份,四川 27 份,贵州 5 份,云南 6 份,广西 4 份,广东 9 份,福建 9 份。20 份国外种质分别来自美国等 15 个国家。供试材料在原产地分属春播、夏播和秋播 3 种播期类型,其中,春播大豆品种 160 份,夏播大豆 111 份,秋播大豆 11 份^[25]。按生育期组(MG, Maturity group)划分,包括 000 组(MG000)品种 4 个,00 组(MG00)品种 2 个,0 组(MG0)品种 22 个, I 组(MGI)品种 24 个, II 组(MGII)品种 33 个, III 组(MGIII)品种 52 个, IV 组(MGIV)品种 41 个, V 组(MGV)品种 45 个, VI 组(MGVI)品种 22 个, VII 组(MGVII)及以后品种 37 个(详见 <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190606004>,附表 1)^[27]。供试材料的种子由中国农业科学院作物科学研究所邱丽娟研究员和刘章雄副研究员提供。

1.2 材料

1.2.1 试验方法 试验于 2010 年在济宁市农业科学研究院农场进行,分春播(4 月 24 日)、夏播(7 月 9 日)两期播种。条播,每品种 1 行,行距 50 cm,行长 3 m,株距 20 cm,未设重复。在同一区组(南北走向)内,不同品种按生育期长短由南向北顺序排列,早熟品种置南侧,晚熟品种置北侧,以防遮荫。每个品种选 15 株进行定期定点观察。按 Fehr 等^[28]的大豆生育时期分期标准分株记载播种期、出苗期、始花期。

1.2.2 气象数据获取 逐日平均气温数据由济宁市气象局提供。逐日日照长度为日出至日落时长加半个小时晨暮光时间,通过便民查询网 <https://richurimo.51240.com/> 获取。

1.2.3 数据分析 根据春播、夏播条件下的开花日数差异,参照费志宏等^[10]提出的方法,计算各材料的光温综合反应敏感度(PCRS, Photothermal comprehensive response sensitivity): $PCRS(\%) = [DTB(Sp) - DTB(Su)] / DTB(Sp) \times 100\%$,其中,DTB(Sp)为在春播条件下出苗至初花的日数;DTB(Su)为在夏播条件下出苗至初花的日数。

采用一般线性模型(GLM)对供试大豆微核心种质的光温综合反应敏感度进行整体方差分析,生

育期组与播期设为固定因子。根据供试微核心种质光温综合反应度的均值(\bar{x})及标准差(SD),将高于或等于 $\bar{x}+SD$ 的品种定义为光温综合反应敏感品种,而将低于或等于 $\bar{x}-SD$ 的品种定义为光温综合反应钝感品种,高于 $\bar{x}-SD$ 而低于 $\bar{x}+SD$ 的为光温综合反应中度敏感品种。采用新复极差法对不同生育期组^[29]及播期类型核心种质的光温综合反应敏感度进行比较。所有数据统计分析均采用 SPSS 17.0 完成。

2 结果与分析

2.1 不同播期条件下供试材料开花期的差异

供试微核心种质在不同播期条件下的出苗(VE)至初花(R1)日数差异较大,春播条件下出苗至初花日数变幅在 26.3~131.0 d 之间(附表 1),夏播条件下的变幅在 18.0~68.0 d 之间。基于各材料出苗和初花具体日期,对其在不同播期条件下出苗至初花的日平均温度、日照长度分别进行统计。结果表明,供试核心种质在春播和夏播条件下出苗至初花期的日均温平均值分别为 23.18 °C 和 28.01 °C,夏播比春播日均温度高 4.83 °C,差异极显著($P < 0.01$);春播和夏播条件下出苗至初花期平均日照长度分别为 15.6 h 和 15.3 h,夏播处理比春播光照长度短 0.3 h,差异也达极显著水平($P < 0.01$)。可见,通过分期播种创造了具有明显差异的光温处理,采用分期播种研究大豆品种的光温综合反应特性是可行的。

2.2 大豆微核心种质光温综合反应敏感度的总体分布特征

供试 282 份微核心种质的光温综合反应敏感度呈双峰分布(图 1),均值为 37.95%,2 个峰值分别在 20%~30% 及 40%~50% 范围内。光温综合反应最敏感的是原产湖北省的夏大豆品种代米豆,为 61.06%;最钝感的是山西春播品种绿皮黄豆,为 8.87%,频次变幅为 1~38,分布区间(平均值 $\pm 1.96 \times$ 标准差)在 17.68%~58.21% 之间。

2.3 不同播期生态类型光温综合反应敏感度的比较

不同播期类型大豆种质光温综合反应敏感度存在显著性差异(表 1),光温综合反应敏感度均值最高的为秋大豆,其次为夏大豆,最低的为春大豆,这与前人研究结果一致^[16]。光温综合反应敏感度变异系数最大的为春大豆,达到 28.90%,变异系数最小的为秋大豆(5.78%)。

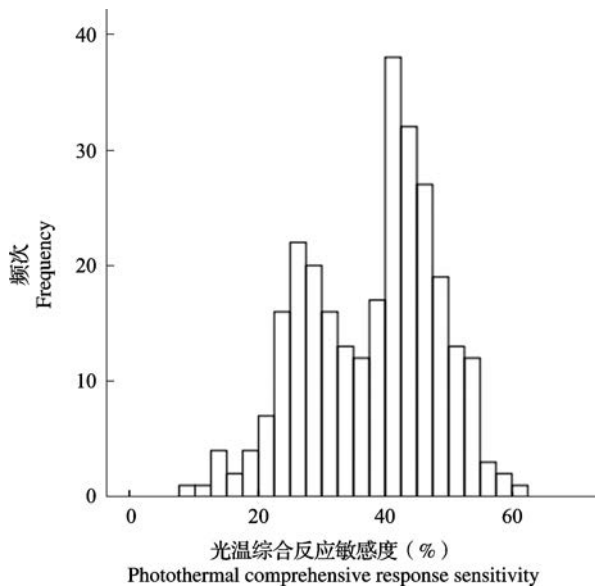


图 1 大豆微核心种质光温综合反应敏感度的频次分布
Fig. 1 Frequency distribution of soybean photothermal comprehensive response sensitivity (PCRS) of soybean mini core collection (MCC)

2.4 不同生育期组大豆微核心种质光温综合反应敏感度的比较

对不同生育期组大豆种质光温综合反应敏感度的分析结果显示(表 2),不同组别材料具有显著差异,表现出随生育期组别提高,光温综合反应敏感度上升的趋势(图 2)。光温综合反应敏感度变异系数最大的为 MGVI 品种,其次为 MGII 品种,变异系数最小的为 MGVII 及以后的品种。

2.5 大豆微核心种质光温综合反应敏感度影响因素分析

以播期类型和生育期组为处理因素,对中国大豆微核心种质的光温综合反应敏感度进行方差分析(表 3),结果显示播期类型对大豆光温综合敏感度的影响显著($P < 0.05$),生育期组的影响达到极显著水平($P < 0.0001$),均方大于播期类型;播期类型与生育期组的互作效应不显著。可见,生育期组是影响大豆品种光温反应综合敏感度差异的最重要因素,该性状可综合反映大豆品种的光温生态特性。

表 1 不同播期类型微核心种质光温综合反应敏感度的比较

Table 1 Variation of comparison of photothermal comprehensive response sensitivity (PCRS) of different sowing season ecotype soybean germplasm

播期类型 Sowing season ecotype	样本数 Number	平均值(%) Mean	标准误(%) Std. error	变异范围(%) Range	变异系数(%) CV
春大豆 Spring-sowing soybean	160	33.79c	0.77	8.87~54.52	28.90
夏大豆 Summer-sowing soybean	111	42.78b	0.81	19.21~61.06	19.89
秋大豆 Autumn-sowing soybean	11	49.53a	0.86	45.42~54.14	5.78

数据后无相同字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同

Values not followed by same letter (s) are significantly different at 0.05 probability level. The same as below

表 2 不同生育期组大豆品种光温综合反应敏感度 (PCRS) 的差异

Table 2 Variation of photothermal comprehensive response sensitivity (PCRS) of different maturity group soybean varieties

生育期组 Maturity group	样本数 Number	PCRS 平均值(%) Mean of PCRS	标准误(%) Std. error	变异范围(%) Range	变异系数(%) CV
MG000~MG0	28	28.46d	0.96	21.03~44.84	17.89
MGI	24	26.73d	1.14	13.24~37.42	20.99
MGII	33	35.36c	1.33	22.30~47.39	21.58
MGIII	52	38.80bc	1.14	15.87~53.58	21.27
MGIV	41	40.04b	1.26	13.65~50.22	20.14
MGV	45	37.26bc	1.75	8.87~53.15	31.48
MGVI	22	46.79a	1.94	21.74~61.06	19.43
MGVII 组及以后 MGVII or above	37	46.77a	1.31	20.76~57.55	17.06

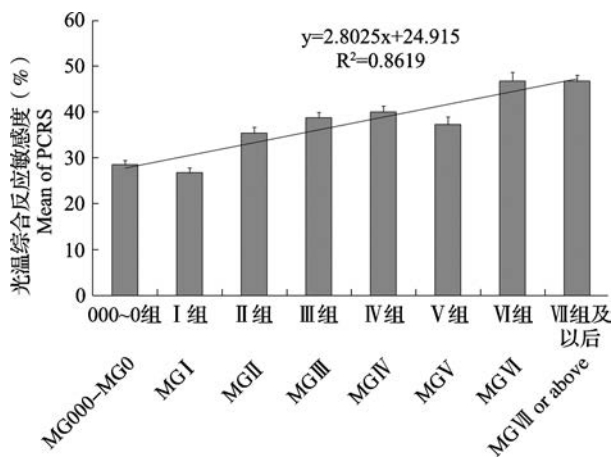


图2 中国大豆微核心种质不同生育期组别间种质的光温综合敏感度差异

Fig. 2 Photothermal response sensitivity of Chinese soybean mini core collections of different maturity groups

表3 大豆微核心种质光温综合反应敏感度影响因素的方差分析

Table 3 ANOVA of photothermal comprehensive response sensitivity (PCRS) of soybean mini core collection (MCC)

变异来源	自由度	偏差平方和	均方	P值
Source of variation	df	Sum of squares	Mean square	P-value
播期类型 Sowing season ecotype	2	434.596	217.298	0.040
生育期组 Maturity group	7	4202.845	600.406	<0.0001
播期类型 × 生育期组	6	723.654	120.609	0.098
Sowing season ecotype × Maturity group				
误差 Error	266	17761.435	66.772	
总和 Total	282	436101.995		

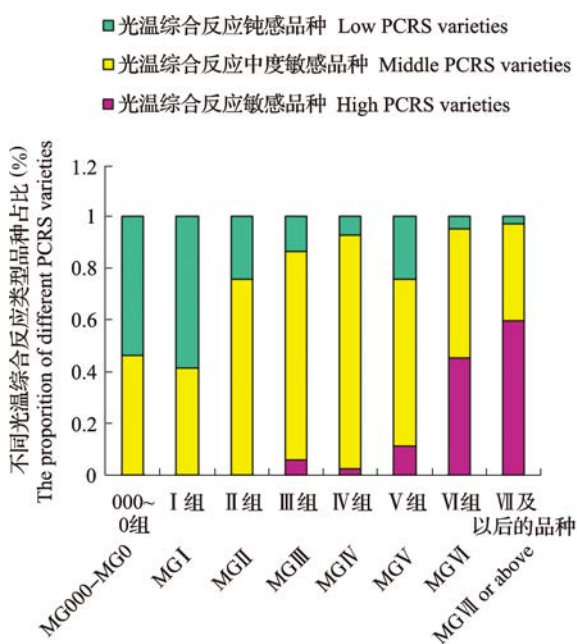


图3 各生育期组品种中不同光温综合反应类型品种占比

Fig. 3 The proportions of photothermal sensitive, medium and insensitive varieties in different maturity groups (MG)

2.6 中国大豆微核心种质光温综合敏感性的分级

根据光温综合反应度均值(\bar{x})及标准差(SD),将282份供试大豆微核心种质分为光温综合反应敏感、中度敏感和钝感3种类型。其中,光温综合反应敏感材料有41份,占总参试品种的14.5%;中度敏感材料181份,占总数的64.2%;钝感材料60份,占材料总数的21.3%。敏感材料主要分布在晚于MGII的品种中(图3),且以MGVI和MGVII及以后品种为多;中度敏感材料在各生育期组品种均有分布,在MGII、MGIII、MGIV和MGV品种中的占比较高,分别占75.8%、80.8%、90.2%和64.4%;各生育期组中均有光温综合反应钝感品种存在,光温综合反应钝感材料在MG000-MG0和MGI中的占比最高,分别占53.6%和58.3%。

如图4所示,不同播期类型品种光温反应敏感度级别分布有明显差异。在春播品种中,光温综合反应中度敏感材料最多,占63.1%,其次为钝感材料,占33.1%;敏感材料占3.8%。在夏播品种中,光温综合反应中度敏感材料最多,占68.5%,其次为敏感材料,占25.2%,钝感材料占6.3%。在秋播品种中,敏感材料比例最大,占63.6%,其次为中度敏感材料,占36.4%,该播期类型中未发现钝感材料。

3 讨论

我国大豆种植区域广大,生态条件复杂,种植制度多样,品种类型丰富,各地大豆产区均有适合当地条件的品种类型^[14, 16, 20]。大豆核心种质及微核心种质充分反映了我国大豆种质资源的遗传多样性,为全面、深入研究我国大豆种质资源、挖掘利用有益基因提供了良好材料。目前,各地学者已对中国大豆核心种质及微核心种质进行了系统的表现型和基因型鉴定,涉及的重要性状有籽粒蛋白亚基含量^[29]、11S/7S

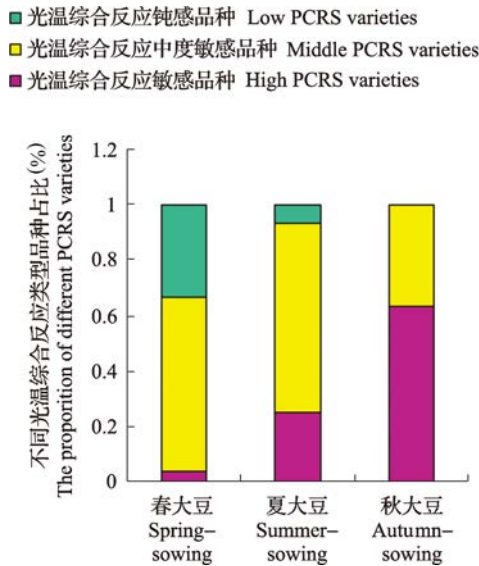


图4 不同播期类型品种光温综合反应类型品种占比

Fig. 4 The proportion of photothermal sensitive, medium and insensitive varieties in different sowing season ecotypes

蛋白比值^[30]、脂肪酸含量^[31]、对草甘膦抗性^[32]等,重要基因有结荚习性基因 *GmTFL1*^[33]、色素相关基因 *GmF3'H* 和 *GmF3'5'H*^[34]、生育期 *E* 系列基因^[27]等。然而,目前尚未见到关于大豆微核心种质光温敏感性的报道。本研究采用分期播种方法,利用光温综合反应敏感度等指标,系统鉴定了中国大豆微核心种质的光温敏感性,有助于进一步加深对大豆种质资源光温适应性的认识,为培育适合不同光温条件的品种提供理论依据。

在以往的研究中,对大豆光周期及温度反应特性的鉴定一般为人工控制试验进行^[10,35],但人工控光控温试验成本较高,且试验规模受到限制,无法对大样本材料进行全面的光温反应鉴定。部分分期播种试验^[20]因所用品种代表性的限制,未能反映我国大豆品种光温生态适应性的全貌。本研究在自然条件下通过分期播种处理创造出不同的光温条件,采用光温综合反应敏感度等量化指标,对大豆品种进行光温综合反应鉴定,具有成本消耗低、可操作性强、规模不受限等优势,同时也可避免或减少因人工控温试验中因光温条件设置不当而影响试验结果的问题。

光温敏感性的度量一致是大豆光温生态研究的重要问题。光温对大豆的多种性状有显著影响^[36-38],其中,开花期及成熟期等生育期性状最为直观、简便。任全兴等^[13]以大豆品种不同播期间生育前期及全生育期标准差,分别作为该品种开花期及成熟期的光温综合反应指标。费志宏等^[10]提出通过不

同光温条件下大豆出苗到开花的日数计算出光温综合反应敏感度,并以此作为全面评价大豆品种光温反应特性的指标。韩天富等^[15]研究认为,大豆品种开花至成熟期各阶段长度与该品种在自然条件下出苗至初花(R1)的日数呈正相关,即大豆品种开花前和开花后的光温敏感性具有一定的一致性。因此,以不同播期下开花期的变化及由此计算的光温综合反应敏感度来度量大豆品种的的光温敏感性具有较强的可靠性和操作性。值得注意的是,本研究证明大豆的光温综合反应敏感度与生育期组有显著的相关性,随着生育期组的升高,光温综合反应敏感度呈现逐渐增大的趋势。因此,我们认为生育期组可综合反映大豆品种光温反应特性,是评价大豆生态适应性的良好指标。目前,我国已建立与国际接轨的生育期组划分体系^[27],应尽快在品种试验和审定体系中加以应用。

光温综合敏感程度分析结果表明,中国大豆微核心种质光温综合反应敏感度差异较大,光温综合反应敏感度值最小值仅为 8.87%,而最大值达 61.06%,说明中国大豆微核心种质在光温综合反应方面具有丰富的遗传多样性和充分的代表性。同时发现,光温综合敏感度呈现出原产地从北向南、播期类型从春播到秋播、生育期组从小到大逐渐递增的趋势,这与汪越胜等^[16]及费志宏等^[10]的研究结果一致。上述表现是与不同播期类型品种所处的光温环境相适应的。例如,北方春大豆早熟品种(MG0000~MGII)生长在长日低温条件下,光温反应相对钝感的特性可使其缓解长日照和低温对大豆生殖生长的抑制作用^[39],保证其在霜前正常开花结实;南方夏、秋播品种生长在高温、短日条件下,均为晚熟类型(晚于MGVI)。光温反应敏感的特性使其在日照相对较长的盛夏和初秋只进行营养生长,保持较强的抗御高温和干旱等逆境的能力。晚秋日照变短后加速成熟,从而充分适应和利用生长季节。

本研究和前人的结果均显示,不同播期类型大豆品种光温综合反应敏感度的大小顺序为:秋大豆 > 夏大豆 > 春大豆^[16]。然而,在生产实践中,由于各地光温环境的复杂性和耕作制度多样性等原因,也会出现例外情况。本研究鉴定出的光温反应最敏感的品种代米豆属于夏大豆而不是秋大豆。另外,在西南地区“麦-玉-豆”种植体系下所采用的夏大豆品种如自贡冬豆也属于光周期反应极为敏感的类型。当地麦茬夏大豆在 6 月份播种,但直到 10

月底甚至11月初才成熟,生育期近5个月。此类大豆品种在7-8月日照相对较长的条件下只进行营养生长,保持较强的抗逆能力,借此度过高温干旱的仲夏和初秋。待晚秋日照变短后快速开花结荚,在下茬小麦播种前及时收获。可见,通过巧妙利用晚熟品种光温反应敏感的特性实现了大豆在逆境中的“韬光养晦”,充分反映了我国劳动人民的智慧。

试验中发现,归属MGIII-MGV的中熟品种既有北方春大豆也有黄淮海夏大豆,还有南方春大豆,品种数目多,地理分布广。在该类品种中也有光温钝感材料,如在育种中加以研究和利用,可望获得适应性广的大面积种植品种。著名广适应品种中黄13就属于此类^[40]。在其他生育期组品种中也有光温钝感特异材料,应在育种中加以挖掘和利用。

参考文献

- [1] Garner W W, Allard H A. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants 1. Japan Comparative Education Society, 1920, 48(2): 157-158
- [2] 韩天富. 大豆开花后的光周期反应, 大豆科学, 1996, 15(1): 69-73
Han T F. Studies on the post-flowering photoperiodic responses in soybean. Soybean Science, 1996, 15(1): 69-73
- [3] Hartwig E E. Growth and reproductive characteristics of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) grown under short-day conditions. Tropical Science, 1970, 12(1): 47-53
- [4] Garner W W, Allard H A. Photoperiodic response of soybean in relation to temperature and other environmental factors. Journal of Agricultural Research, 1930, 41(10): 719-735
- [5] Stewart D W, Cober E R, Bernard R L. Modeling genetic effects on the photothermal response of soybean phenological development. Agronomy Journal, 2003, 95(1): 65-70
- [6] Major D J, Johnson D R, Tanner J W, Anderson I C. Effects of daylength and temperature on soybean development. Crop Science, 1975, 15(2): 174-179
- [7] Cober E R, Stewart D W, Voldeng H D. Photoperiod and temperature responses in early-maturing, near-isogenic soybean lines. Crop Science, 2001, 41(3): 721-727
- [8] Rahman M M, Hampton J G, Hill M J. Soybean development under the cool temperate environment of Canterbury, New Zealand. Journal of New Seeds, 2005, 7(4): 17-36
- [9] Syssoeva M I, Markovskaya E F. Photothermal model of plant development. Russian Journal of Developmental Biology, 2006, 37(1): 16-21
- [10] 费志宏, 吴存祥, 孙洪波, 侯文胜, 张宝石, 韩天富. 以光周期处理与分期播种试验综合鉴定大豆品种的光温反应. 作物学报, 2009, 35(8): 1525-1531
Fei Z H, Wu C X, Sun H B, Hou W S, Zhang B S, Han T F. Identification of photothermal responses in soybean by integrating photoperiod treatments with planting-date experiments. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(8): 1525-1531
- [11] Setiyono T D, Weiss A, Specht J, Bastidas A M, Cassman K G, Dobermann A. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. Field Crops Research, 2007, 100(2): 257-271
- [12] 王金陵, 武镛祥, 吴和礼, 孙善澄. 中国东北地区大豆光照生态类型的分析. 农业学报, 1956, 7(2): 169-180
Wang J L, Wu Y X, Wu H L, Sun S C. Analysis of soybean light ecological types in North and South areas of China. Acta Agronomica Sinica, 1956, 7(2): 169-180
- [13] 任全兴, 盖钧镒, 马育华. 我国大豆品种生育期生态特性的研究. 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. Scientia Agricultura Sinica, 1987, 20(5): 23-28
- [14] 郝耕. 大豆品种光温反应的初步分析. 中国油料作物学报, 1981, 3(1): 50-51
Hao G. A preliminary analysis on photothermal responses of soybean varieties. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1981, 3(1): 50-51
- [15] 韩天富, 王金陵. 中国大豆不同生态类型开花至成熟期对光周期的反应. 作物学报, 1996, 22(1): 21-26
Han T F, Wang J L. A study on the response of different ecotypes of Chinese soybeans to post-flowering photoperiod. Acta Agronomica Sinica, 1996, 22(1): 21-26
- [16] 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. 中国油料作物学报, 2001, 23(2): 40-44
Wang Y S, Gai J Y. Study on major factor in the responses to photo-temperature condition of soybeans from China. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, 23(2): 40-44
- [17] 孙培乐, 宁海龙, 陈东升, 宋兆华, 冯涛, 顾清, 李文滨. 春大豆不同播期的光温生态特性. 大豆科学, 2010, 29(6): 953-958
Sun P L, Ning H L, Chen D S, Song Z H, Feng T, Gu Q, Li W B. Ecological character of light and temperature under different sowing date in spring soybean (*Glycine max* L. Merrill). Soybean Science, 2010, 29(6): 953-958
- [18] Wu T, Li J, Wu C, Sun S, Mao T, Jiang B, Hou W, Han T. Analysis of the independent-and interactive-photo-thermal effects on soybean flowering. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(4): 622-632
- [19] Mao T, Li J, Wen Z, Wu T, Wu C, Sun S, Jiang B, Hou W, Li W, Song Q, Wang D, Han T. Association mapping of loci controlling genetic and environmental interaction of soybean flowering time under various photo-thermal conditions. BMC Genomics, 2017, 18(1): 415-432
- [20] Dong Y S, Zhao L M, Liu B, Wang Z W, Jin Z Q, Sun H. The genetic diversity of cultivated soybean grown in China. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 108(5): 931-936
- [21] Frankel O H, Brown A H D. Current plant genetic resources-A critical appraisal. Calcutta: Oxford and IBH Publishing Co., 1983: 1-13
- [22] Wang L, Guan Y, Guan R, Li Y, Ma Y, Dong Z, Liu X, Zhang H, Zhang Y, Liu Z, Chang R, Xu H, Li L, Lin F, Luan W. Establishment of Chinese soybean *Glycine max* core collections with agronomic traits and SSR markers. Euphytica, 2006, 151(2): 215-223
- [23] 邱丽娟, 曹永生, 常汝镇, 周新安, 王国勋, 孙建英, 谢华, 张博, 李向华, 许占有, 刘立宏. 中国大豆 (*Glycine max*) 核心

- 种质构建 I. 取样方法研究. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1442-1449
- Qiu L J, Cao Y S, Chang R Z, Zhou X A, Wang G X, Sun J Y, Xie H, Zhang B, Li X H, Xu Z Y, Liu L H. Establishment of Chinese soybean (*G. max*) core collection. I. Sampling strategy. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1442-1449
- [24] 邱丽娟, 李英慧, 关荣霞, 刘章雄, 王丽侠, 常汝镇. 大豆核心种质和微核心种质的构建、验证与研究进展. 作物学报, 2009, 35(4): 571-579
- Qiu L J, Li Y H, Guan R X, Liu Z X, Wang L X, Chang R Z. Establishment, representative testing and research progress of soybean core collection and mini core collection. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(4): 571-579
- [25] 宋喜娥, 李英慧, 常汝镇, 郭平毅, 邱丽娟. 中国栽培大豆 (*Glycine max* (L.) Merr.) 微核心种质的群体结构与遗传多样性. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2209-2219
- Song X E, Li Y H, Chang R Z, Guo P Y, Qiu L J. Population structure and genetic diversity of mini core collection of cultivated soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(11): 2209-2219
- [26] 闫龙, Nelson R L, 常汝镇, 邱丽娟. 保存大豆种质遗传完整性的策略: I 细化表型分级标准精细整理大豆库存种质. 植物遗传资源学报, 2010, 11(6): 678-682
- Yan L, Nelson R L, Chang R Z, Qiu L J. The Strategy for keeping soybean germplasm genetic integrity: I Re-evaluate genebank accessions based on optimizing the phenotype descriptor. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(6): 678-682
- [27] Li J, Wang X, Song W, Huang X, Zhou J, Zeng H, Sun S, Jia H, Li W, Zhou X, Li S, Chen P, Wu C, Han T, Qiu L. Genetic variation of maturity groups and four *E* genes in the Chinese soybean mini core collection. *PLoS One*, 2017, 12(2): e0172106
- [28] Fehr W R, Caviness C E. Stages of soybean development. Ames, IA, USA: Cooperative Extension Service, 1977: 1-11
- [29] 简爽, 卢为国, 文自翔, 李海朝, 袁道华, 李金英, 张辉, 叶永忠. 大豆微核心种质蛋白亚基含量变异的分析. 河南农业科学, 2012, 41(5): 42-45
- Jian S, Lu W G, Wen Z X, Li H C, Yuan D H, Li J Y, Zhang H, Ye Y Z. Analysis of protein subunit variation in the mini core collection of cultivated soybean. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2012, 41(5): 42-45
- [30] 王林林, 关荣霞, 齐峥, 邱丽娟, 罗淑萍. 大豆微核心种质与育成品种的种子蛋白 11S/7S 比值的分析. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1): 68-72
- Wang L L, Guan R X, Qi Z, Qiu L J, Luo S P. Analysis of 11S/7S ratio between soybean mini core collection and cultivars. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9(1): 68-72
- [31] 张金巍, 韩粉霞, 孙君明, 韩广振, 于绍轩, 于福宽, 闫淑荣, 杨华. 大豆微核心种质蛋白质及脂肪含量的遗传变异. 植物遗传资源学报, 2014, 15(2): 405-410
- Zhang J W, Han F X, Sun J M, Han G Z, Yu S X, Yu F K, Yan S R, Yang H. Genetic variation of protein and fat content in soybean mini core collections. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(2): 405-410
- [32] 李脉泉, 化宿南, 郭兵福, 刘明, 宋健, 陈建港, 周福来, 于莉莉, 陶波, 邱丽娟. 大豆微核心种质对草甘膦的耐受性鉴定. 植物遗传资源学报, 2015, 16(5): 940-946, 954
- Li M Q, Hua S N, Guo B F, Liu M, Song J, Chen J G, Zhou F L, Yu L L, Tao B, Qiu L J. Identification of glyphosate-tolerance in soybean mini-core collection. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16(5): 940-946, 954
- [33] Tian Z, Wang X, Lee R, Li Y, Specht J E, Nelson R L, McClean P E, Qiu L, Ma J. Artificial selection for determinate growth habit in soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences Current Issue*, 2010, 107(19): 8563-8568
- [34] Guo Y, Qiu L J. Allele-specific marker development and selection efficiencies for both flavonoid 3'-hydroxylase and flavonoid 3', 5'-hydroxylase genes in soybean subgenus soja. *Theoretical and Applied Genetics*, 2013, 126(6): 1445-1455
- [35] 费志宏, 贾贞, 冷建田, 张宝石, 吴存祥. 不同生态类型大豆品种光周期反应的鉴定. 作物杂志, 2009, (4): 46-49
- Fei Z H, Jia Z, Leng J T, Zhang B S, Wu C X. Identification of photoperiodic responses of different soybean ecotypes. *Crops*, 2009, (4): 46-49
- [36] 韩天富, 王金陵, 杨庆凯, 盖钧镒. 开花后光照长度对大豆化学品质的影响. 中国农业科学, 1997, 30(2): 47-53
- Han T F, Wang J L, Yang Q K, Gai J Y. Effects of post-flowering photoperiod on chemical composition of soybeans. *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30(2): 47-53
- [37] 韩天富, 王金陵, 范彬彬, 姚文秋, 杨庆凯. 开花后光照长度对大豆农艺性状的影响. 应用生态学报, 1996, 7(2): 167-173
- Han T F, Wang J L, Fan B B, Yao W Q, Yang Q K. Effect of post-flowering day length on agronomic characters of soybean. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(2): 167-173
- [38] 韩天富, 马凤鸣, 王金陵, 魏湜. 光周期对大豆叶片内源激素含量及平衡的影响. 作物学报, 1996, 22(6): 661-667
- Han T F, Ma F M, Wang J L, Wei S. Photoperiodic effects on the amount and balance of endogenous hormones in soybean leaves. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(6): 661-667
- [39] Han T, Wu C, Tong Z, Mentreddy R S, Tan K, Gai J. Postflowering photoperiod regulates vegetative growth and reproductive development of soybean. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 55(1-2): 120-129
- [40] 姜妍, 冷建田, 费志宏, 冯涛, 祖伟, 王连铮, 韩天富, 吴存祥. 广适应大豆品种中黄 13 的光周期反应. 大豆科学, 2009, 28(3): 377-381, 393
- Jiang Y, Leng J T, Fei Z H, Feng T, Zu W, Wang L Z, Han T F, Wu C X. Photoperiod responses of a widely-adapted soybean cultivar of Zhonghuang 13. *Soybean Science*, 2009, 28(3): 377-381, 393