



# 基于 DUS 测试性状的西南地区春大豆品种遗传多样性分析

王红娟, 蒋晓英, 官 玲, 雷开荣, 林 清, 白文钦

(重庆市农业科学院 生物技术研究所/农业农村部植物新品种测试重庆分中心, 重庆 401329)

**摘 要:**为探讨利用 DUS 测试性状对大豆品种进行遗传多样性研究的可行性,更好地对大豆品种资源进行评价与分类,本研究以 106 个适合西南地区种植的春大豆品种为材料,分析 31 个 DUS 测试表型性状的遗传多样性,并对不同类型表型性状的多样性进行比较和评价。结果表明:共检测到 31 个 DUS 测试性状的 153 个等位变异,平均每个性状检测到 4.94 个。质量性状多样性指数均小于 1,假质量性状多样性指数为 0.05 ~ 1.42,测量型数量性状多样性指数为 1.43 ~ 1.91。本研究首次使用的 9 个表型性状多样性指数为 0.55 ~ 1.28。性状相关性分析表明花色与大豆幼苗下胚轴花青甙是否显色高度相关。聚类分析将 106 个品种分为 4 组,每个组群具有各自独特的表型特征。研究结果说明 DUS 测试性状多且多样性高,能够对大豆品种资源进行更全面客观的评价。基于 DUS 测试性状的聚类分析划分不同种质类型,筛选出 20 份优异种质资源。

**关键词:**大豆种质资源评价;DUS 测试性状;性状类型;优异种质鉴定

## Genetic Diversity Analysis of Spring Soybean Varieties in Southwest China Based on DUS Testing Traits

WANG Hong-juan, JIANG Xiao-ying, GUAN Ling, LEI Kai-rong, LIN Qing, BAI Wen-qin

(Institute of Biotechnology Research, Chongqing Academy of Agricultural Sciences/Chongqing Station for DUS Testing Center of New Plant Varieties, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chongqing 401329, China)

**Abstract:** This study attempted to explore the feasibility to study the genetic diversity of soybean varieties, better evaluate and classify soybean variety resources by using DUS test traits. A total of 31 DUS testing traits were investigated on 106 soybean varieties suitable for planting in southwest China, and the diversity of different types of traits was compared and evaluated. The results showed that a total of 153 allelic variations were detected in 31 tested traits, with an average of 4.94 per trait. The variation coefficient of qualitative, pseudo-qualitative and quantitative traits were  $< 1$ , 0.05 – 1.42, and 1.43 – 1.91, respectively. Nine phenotypic traits were used for the first time in this study, whose variation coefficient were 0.55 – 1.28. Correlation analysis showed that there was a high correlation between flower color and anthocyanin coloration on the hypocotyl of soybean seedlings. The 106 varieties were divided into four groups by cluster analysis, and each group had its own unique characteristics. The results showed that DUS testing traits had large quantity and high diversity, which could comprehensively and objectively evaluate soybean variety resources. Based on the cluster analysis of DUS testing traits, different germplasm types were classified, and 20 excellent germplasm resources were screened out.

**Keywords:** evaluation of soybean germplasm resources; DUS testing traits; traits type; excellent germplasm identification

大豆原产于我国<sup>[1]</sup>,其蛋白和脂肪含量分别占大豆籽粒重的 40% 和 20% 左右<sup>[2]</sup>,是全世界最重要的植物蛋白、油脂以及保健活性物质的来源之一。我国拥有的大豆品种数量居世界首位<sup>[3]</sup>。2020 年我国共有 138 个大豆新品种获得授权([http://www.nybjkfzxx.cn/p\\_pzbh/sub\\_gg.aspx?n=21](http://www.nybjkfzxx.cn/p_pzbh/sub_gg.aspx?n=21))。经现代育种技术改良过的品种仍然属于种质资源的范畴,这类种质资源具有较好的抗病性、丰产性和适应性,一般被用作育种的基本材料<sup>[4]</sup>。我国大豆的主流育种方式是传统杂交和回交育种<sup>[5]</sup>,2005 年之前的育种亲本遗传基础较窄<sup>[6]</sup>,对 2003—2016 年的国审大豆品种的育种亲本进行分析,发现除骨干亲

本外,还引入地方品种、育成品种和国外血缘品种作为亲本,遗传多样性较高<sup>[5]</sup>。该研究还显示,使用频次较高的亲本和骨干亲本大多数为已育成的主栽品种<sup>[5]</sup>。因此,对育成品种资源进行全面、客观和准确的评价与分类,鉴定出优异种质能够为创造新品种、新种质提供亲本材料,对于品种改良以及开展大豆生态适应性研究有着重要意义。

表型性状的变异是作物遗传变异的重要外部体现,能直接反映物种基因资源的丰富度。表型性状除了受基因型的决定,还受到环境因素影响,因此表现出稳定性和变异性共存的特点。如何有效地评价种质资源表型多样性是种质资源创新利用

收稿日期:2021-09-22

基金项目:重庆市自然科学基金面上项目(cstc2019jcyj-msxmX0039)。

第一作者:王红娟(1986—),女,博士,助理研究员,主要从事植物分子生物学和植物品种 DUS 测试技术研究。E-mail: [hjwang\\_2005@126.com](mailto:hjwang_2005@126.com)。

通讯作者:蒋晓英(1976—),女,高级农艺师,主要从事植物品种 DUS 测试技术研究。E-mail: [jzy861113@163.com](mailto:jzy861113@163.com)。

的基础。目前,对大豆地方品种和育成品种多样性的研究越来越受到重视,研究者使用的表型性状多为株高、分枝数、节数、单株荚数、单株粒重、百粒重等与产量相关的农艺性状,以及蛋白、脂肪含量和抗病性等品质性状<sup>[4,7-11]</sup>,一些研究包括茸毛色、脐色等性状<sup>[12-16]</sup>。这些研究主要关注品种的产量和品质相关性状,而利用大豆 DUS 测试性状对品种进行评价的研究却十分少见。DUS 测试是植物新品种权审批和品种审定过程的重要环节。DUS 测试性状主要是表型性状,是由一个特定的基因型或基因型组合决定的性状,在特定环境条件下表现出足够的一致性和可重复性。因此,利用 DUS 测试性状对品种进行评价能够全面反映品种在特定生态地区的表达状态。卢柏山等<sup>[17]</sup>利用 DUS 测试性状对玉米自交系进行表型多样性分析,发现 DUS 测试性状信息量大,且受环境因素影响相对较小。利用 DUS 测试性状对水稻地方品种进行遗传多样性研究发现其与分子标记具有同等效率<sup>[18]</sup>。《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 大豆》(GB/T 19557.4—2018,以下简称《指南》)中有 32 个基本测试性状,不仅包括很多重要的农艺性状,同时包括 9 个有关下胚轴、落叶性、荚果弯曲等表型性状,这些性状在之前的研究中鲜有使用。虽然这些性状不能够提供与品种产量、品质等相关的信息,但是仍然能够展示品种的多样性和遗传变异度,并且这些性状可被明确定义、准确识别和清晰描述,能够更全面、客观、准确地描述和比较品种。

因此,本研究收集 106 份适合在西南地区种植的春大豆品种,利用大豆 DUS 测试《指南》中的基本测试性状对品种的多样性和遗传结构进行分析,依据性状的表达状态代码对品种进行聚类分析,将其

分为不同种质类型,探讨利用 DUS 测试性状进行大豆品种遗传多样性研究的可行性,同时为大豆品种改良和新品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

参试的 106 份大豆材料均由重庆市农业科学院生物技术研究中心/植物新品种测试重庆分中心收集和保存,均为适应西南地区栽培的南方春大豆品种。

1.2 试验设计和数据采集

于 2018—2019 年在植物新品种测试重庆分中心 DUS 测试高峰寺村基地进行田间种植,采用随机区组设计,设 2 次重复。每个小区 3 行,行距 50 cm,株距 35 cm,单株定苗。依据大豆 DUS 测试《指南》的要求对 31 个基本性状(包括 6 个质量性状,8 个假质量性状和 17 个数量性状)进行数据采集(表 1)。性状“种子:种皮色斑类型”仅针对种皮双色的品种,本研究中双色种皮品种仅有 3 个,因此未使用该性状。性状的观测方式包括群体观测 VG、群体测量 MG 和个体测量 MS(表 1)。采用 VG 和 MG 方式观测的性状以小区为观测单位,对每个品种进行观测,分别得到 1 个代码(VG 性状)或数值(MG 性状)。结合第一年的观测情况给定第二年的观测数据,数据分析取第二年的数据。采用 MS 方式观测的性状以单株为单位测量,每个品种随机测量 20 株,获得 20 个数值。每年分别进行数据分析,得到每个性状的代码,然后取两年代码的平均值进行后续分析。采用 MS 和 MG 方式观测的数量性状(C23~C27,C29~C31)的分级参照王红娟等<sup>[19]</sup>分级标准执行。

表 1 性状信息及表达状态代码

Table 1 The traits information and codes of expression status				
编号 Code	性状 Trait	性状类型 Type of traits	观测方法 Observation method	表达状态及代码 Expression status and code
C1	下胚轴:花青甙显色	QL	VG	1:有;2:无
C2	下胚轴:花青甙显色强度	QN	VG	1:无或极弱;2:极弱到弱;3:弱;4:弱到中;5:中;6:中到强;7:强;8:强到极强;9:极强
C3	茎:茸毛颜色*	QL	VG	1:灰色;2:棕色
C4	茎:茸毛密度	QN	VG	1:极疏;2:极疏到疏;3:疏;4:疏到中;5:中;6:中到密;7:密;8:密到极密;9:极密
C5	复叶:小叶形状*	PQ	VG	1:披针形;2:三角形;3:尖卵形;4:圆卵形
C6	复叶:小叶数	QN	VG	1:三小叶;2:五小叶;3:多小叶
C7	叶片:绿色程度*	QN	VG	1:极浅;2:极浅到浅;3:浅;4:浅到中;5:中;6:中到深;7:深;8:深到极深;9:极深
C8	花:花冠颜色*	QL	VG	1:白色;2:紫色
C9	植株:分枝与主茎夹角	QN	VG	1:极小;2:极小到小;3:小;4:小到中;5:中;6:中到大;7:大;8:大到极大;9:极大

续表 1

编号 Code	性状 Trait	性状类型 Type of traits	观测方法 Observation method	表达状态及代码 Expression status and code
C10	植株:结荚习性*	QL	VG	1:有限;2:亚有限;3:亚有限到无限;4:无限
C11	主茎:生长习性	PQ	VG	1:直立;2:半直立;3:半蔓生;4:蔓生
C12	植株:落叶性	QN	VG	1:不落叶;2:半落叶;3:落叶
C13	荚果:弯曲程度	PQ	VG	1:无或极弱;2:弱;3:中;4:强
C14	荚果:炸荚性	QN	VG	1:无或极轻;2:极轻到轻;3:轻;4:轻到中;5:中;6:中到重;7:重;8:重到极重;9:极重
C15	荚果:颜色	PQ	VG	1:白黄色;2:浅黄色;3:浅褐色;4:中等褐色;5:深褐色;6:黑色
C16	种子:形状	PQ	VG	1:球形;2:椭圆形;3:长椭圆形;4:扁椭圆形;5:肾形
C17	种子:种皮颜色数量	QL	VG	1:单色;2:双色
C18	种子:种皮颜色*	PQ	VG	1:白黄色;2:浅黄色;3:黄色;4:黄绿色;5:绿色;6:浅褐色;7:褐色;8:黑色
C19	种子:子叶颜色	PQ	VG	1:黄色;2:黄绿色;3:绿色
C20	种脐:颜色*	PQ	VG	1:浅黄色;2:黄色;3:浅褐色;4:褐色;5:浅黑;6:黑色
C21	种子:种皮开裂比率	QN	VG	1:无或极低;2:极低到低;3:低;4:低到中;5:中;6:中到高;7:高;8:高到极高;9:极高
C22	种子:种皮光泽	QL	VG	1:无;2:有
C23	植株:分枝数量	QN	MS	1:极少;2:极少到少;3:少;4:少到中;5:中;6:中到多;7:多;8:多到极多;9:极多
C24	植株:高度*	QN	MS	1:极矮;2:极矮到矮;3:矮;4:矮到中;5:中;6:中到高;7:高;8:高到极高;9:极高
C25	主茎:节数	QN	MS	1:极少;2:极少到少;3:少;4:少到中;5:中;6:中到多;7:多;8:多到极多;9:极多
C26	植株:底荚高度	QN	MS	1:极低;2:极低到低;3:低;4:低到中;5:中;6:中到高;7:高;8:高到极高;9:极高
C27	植株:荚果数量	QN	MS	1:极少;2:极少到少;3:少;4:少到中;5:中;6:中到多;7:多;8:多到极多;9:极多
C28	荚果:种子数量	QN	VG	1:少;2:中;3:多
C29	百粒重	QN	MG	1:极低;2:极低到低;3:低;4:低到中;5:中;6:中到高;7:高;8:高到极高;9:极高
C30	开花期*	QN	MG	1:极早;2:极早到早;3:早;4:早到中;5:中;6:中到晚;7:晚;8:晚到极晚;9:极晚
C31	成熟期*	QN	MG	1:极早;2:极早到早;3:早;4:早到中;5:中;6:中到晚;7:晚;8:晚到极晚;9:极晚

注:\*. 对品种国际统一描述起重要作用的性状;QL. 质量性状;QN. 数量性状;PQ. 假质量性状;VG. 群体目测;MS. 个体测量;MG. 群体测量。

Note:\*. Traits that are important for the international harmonization of variety description;QL. Qualitative traits; QN. Quantitative traits; PQ. Pseudo-qualitative traits; VG. Group visual observation; MS. Single measurements; MG. Group measurement.

1.3 数据分析

依据表 1 中的 31 个表型性状的表达状态代码,将代码 1~9 分别标记为 AA、BB、CC、DD、EE、FF、GG、HH、II,形成原始数据矩阵。性状的不同表达状态即为该性状的等位变异。采用 PopGen32( <http://www.ualberta.ca/~fyeh/>) 软件分析不同性状的等位变异数目(Na)、有效等位变异数目(Ne) 以及 Shannon’s 多样性指数。多样性指数计算公式为:  $H' = -\sum P_i \ln(P_i)$  ,式中  $P_i$  为某个性状第  $i$  个代码出现的概率。

利用 R 语言软件计算各性状之间的斯皮尔曼相关系数,利用 SPSS 26.0 软件进行主成分分析和聚类分析。聚类方法为组间联接,品种间距离为平方欧氏距离,其他采用默认设置。

2 结果与分析

2.1 西南地区春大豆品种的表型多样性分析

多样性分析结果显示,在 106 份大豆品种的 31

个测试性状中检测到 153 个等位变异,平均每个性状检测到 4.94 个,变幅介于 2~9 个。平均有效等位变异数 2.65 个,变幅介于 1.04~5.75。多样性指数平均值为 1.00 ,变幅介于 0.05~1.91(表 2)。C6 复叶小叶数和 C19 子叶颜色两个性状多样性最小,均为 0.05,99% 的品种为三小叶和黄色子叶。6 个质量性状 C1、C3、C8、C10、C17 和 C22 的多样性指数均小于 1。多样性指数大于 1 的性状有 16 个,包括 13 个数量性状和 3 个假质量性状。其中 5 个目测型数量性状 C2、C4、C7、C9 和 C21 遗传变异较为丰富,多样性指数为 1.16~1.53。8 个测量型数量性状 C23~C27 和 C29~C31 多样性指数最高,为 1.43~1.91。3 个假质量性状 C15、C16 和 C20 的遗传变异程度较高,多样性指数范围为 1.33~1.42。本研究中首次使用 9 个性状,其中 C1 下胚轴:花青甙显色和 C22 种子:种皮光泽为质量性状,多样性指数为 0.64 和 0.66;C13 荚果:弯曲程度为假质量性状,多样性指数为 0.80;C2 下胚轴:花青甙显色

强度、C7 叶片:绿色程度、C9 植株:分枝与主茎夹角、C12 植株:落叶性、C14 荚果:炸荚性和 C21 种子:种皮开裂比率为数量性状,除了 C14 多样性指数为 0.55,其余为 0.99~1.28。这些结果表明不同

类型性状的多样性水平存在较大差异。质量性状多样性水平普遍较低,大多数假质量性状和数量性状具有相当高的多样性。本研究首次使用的 9 个性状多样性水平均在中等及偏上水平。

表 2 参试的 106 份大豆品种材料 31 个性状的多样性分析

性状 Trait	等位变异数目 Na	有效等位变异数目 Ne	多样性指数 $H'$	频率分布 Frequency distribution								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1	2	1.81	0.64	0.66	0.34	—	—	—	—	—	—	—
C2	7	2.19	1.23	0.66	0.05	0.09	0.08	0.04	0.05	0.04	0.66	0.05
C3	2	1.44	0.48	0.19	0.81	—	—	—	—	—	—	—
C4	6	3.96	1.53	0	0.03	0.11	0.12	0.34	0.32	0.08	0	0
C5	4	1.14	0.31	0.02	0.02	0.93	0.03	—	—	—	—	—
C6	2	1.02	0.05	0.99	0.01	0	—	—	—	—	—	—
C7	6	3.05	1.28	0	0	0.01	0.08	0.14	0.31	0.45	0.01	0
C8	2	1.79	0.63	0.67	0.33	—	—	—	—	—	—	—
C9	6	2.59	1.16	0.05	0.36	0.50	0.07	0.02	0.01	0	0	0
C10	2	1.08	0.16	0.96	0.03	0.01	0	—	—	—	—	—
C11	3	1.06	0.15	0.97	0.02	0.01	0	—	—	—	—	—
C12	3	2.47	0.99	0.15	0.53	0.32	—	—	—	—	—	—
C13	3	1.85	0.80	0.09	0.70	0.21	0	—	—	—	—	—
C14	5	1.32	0.55	0.87	0.06	0.03	0.04	0.01	0	0	0	0
C15	5	3.40	1.33	0.06	0.39	0.25	0.28	0.03	0	—	—	—
C16	5	3.51	1.38	0.03	0.42	0.12	0.25	0.18	—	—	—	—
C17	2	1.06	0.13	0.97	0.03	—	—	—	—	—	—	—
C18	5	1.49	0.72	0	0.78	0.08	0.05	0.03	0	0	0.03	—
C19	2	1.02	0.05	0.99	0	0.01	—	—	—	—	—	—
C20	6	3.61	1.42	0.03	0.04	0.25	0.36	0.04	0.28	—	—	—
C21	7	2.33	1.23	0.62	0.18	0.03	0.06	0.06	0.03	0.03	0	0
C22	2	1.87	0.66	0.37	0.63	—	—	—	—	—	—	—
C23	7	3.47	1.43	0.01	0.34	0.38	0.15	0.08	0.04	0	0.01	0
C24	9	5.75	1.91	0.04	0.06	0.18	0.26	0.13	0.21	0.08	0.03	0.02
C25	7	3.54	1.49	0.02	0.06	0.14	0.43	0.25	0.08	0.02	0	0
C26	9	4.30	1.72	0.02	0.10	0.39	0.23	0.03	0.08	0.11	0.04	0.01
C27	8	3.98	1.62	0.03	0.12	0.40	0.25	0.12	0.02	0.05	0	0.02
C28	3	1.54	0.65	0.08	0.79	0.13	—	—	—	—	—	—
C29	7	4.21	1.59	0	0.04	0.13	0.34	0.26	0.18	0.03	0.02	0
C30	8	4.85	1.74	0.02	0.07	0.11	0.25	0.29	0.19	0.05	0.02	0
C31	8	5.47	1.84	0.07	0.10	0.28	0.21	0.18	0.10	0.02	0.04	0
平均 Average	4.94	2.65	1.00									

**2.2 西南地区春大豆品种 31 个性状的相关性分析**  
大豆品种 31 个性状之间存在一定的相关性,且同一性状同时受 1 到多个性状变异的影响,但大多数性状之间的相关系数较小(图 1)。说明 DUS 测试性状相互之间独立性强,能够从不同侧面反映表型的多样性。相关系数不低于 0.6 的仅有 4 组性状:C1 *vs*

C8 (0.98\*\*), C10 *vs* C11 (0.60\*\*), C23 *vs* C27 (0.66\*\*), C24 *vs* C25(0.65\*\*)。C1 和 C8 之间相关性比较高,相关系数接近 1,即下胚轴花青甙显色的品种花冠颜色为紫色,下胚轴花青甙不显色的品种花冠颜色为白色。

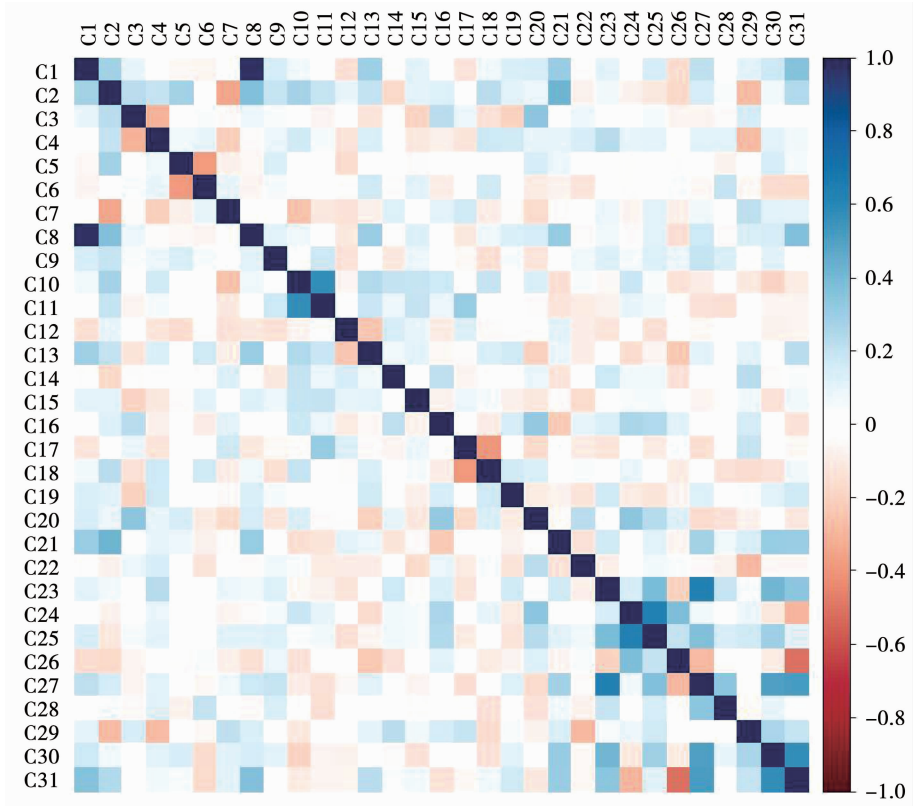


图 1 大豆品种 31 个性状的相关性分析

Fig. 1 The correlation coefficients among 31 traits of soybean varieties

2.3 西南地区春大豆品种表型性状的主成分分析

排除多样性指数小于 0.5 的 7 个性状,主成分分析将 24 个性状简化为 9 个主成分。累积贡献率为 71.988%,其中前五个主成分的累积贡献率超过 50%(表 3)。第一主成分主要代表 C1、C2、C8、C13、C21、C23、C26、C27、C30 和 C31 等性状,主要反映下胚轴、花色、分枝数、荚果数和生育期相关的信

息。第二主成分主要代表 C16、C24 和 C25 等性状,反映植株高度和主茎节数等信息。第三主成分主要代表 C18、C20 和 C22 等性状,反映种皮色、种脐色和种皮光泽等信息。第四主成分代表 C4、C7 和 C29 等性状,反映茸毛密度、叶片绿色程度等信息。第五主成分主要代表 C9、C12、C14、C15 和 C28 等性状,反映株型、落叶性以及荚果的相关信息。

表 3 24 个表型性状的主成分分析

Table 3 The PCA analysis among 24 traits

性状 Trait	主成分 Principle factor					性状 Trait	主成分 Principle factor				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
C1	0.810 *	-0.191	0.390	0.195	-0.049	C22	-0.141	0.199	0.312 *	-0.274	0.287
C2	0.761 *	-0.264	0.426	0.046	-0.141	C23	0.503 *	0.499	-0.217	-0.276	0.082
C4	0.043	0.206	0.136	-0.621 *	0.069	C24	0.010	0.698 *	0.377	0.143	-0.228
C7	0.039	0.090	-0.342	0.425 *	0.377	C25	0.360	0.728 *	0.139	0.133	-0.102
C8	0.791 *	-0.255	0.390	0.223	-0.035	C26	-0.401 *	0.363	0.236	0.342	-0.368
C9	0.217	0.150	0.057	0.160	-0.342 *	C27	0.594 *	0.453	-0.267	-0.316	-0.093
C12	-0.219	-0.138	-0.127	0.019	-0.306 *	C28	0.143	0.277	-0.313	-0.157	-0.343 *
C13	0.390 *	-0.311	0.066	-0.049	0.219	C29	0.182	0.048	-0.322	0.662 *	0.185
C14	-0.007	0.126	-0.016	0.136	0.397 *	C30	0.488 *	0.295	-0.480	0.008	0.163
C15	0.114	-0.171	0.081	0.329	-0.358 *	C31	0.715 *	-0.114	-0.292	-0.057	0.234
C16	-0.080	0.412 *	0.278	0.330	0.340	特征值 E	4.009	2.554	2.438	1.903	1.550
C18	0.027	-0.193	0.586 *	-0.299	0.141	贡献率 CR/%	16.705	10.643	10.159	7.930	6.458
C20	-0.046	0.327	0.609 *	0.019	0.263	累计贡献率	16.705	27.348	37.507	45.437	51.895
C21	0.397 *	-0.121	-0.211	-0.145	-0.319	CCR/%	16.705	27.348	37.507	45.437	51.895

注: \* 表示某指标在各因子中的最大绝对值。  
Note: \* indicates the biggest absolute value of an index in all factors.

2.4 西南地区春大豆品种聚类分析和优异种质筛选

利用 SPSS 26.0 软件的系统聚类功能对 106 份

大豆品种的表型性状进行聚类分析的结果如图 2 所示,106 份材料被聚为 4 组,第 I 组、第 II 组、第 III 组和第 IV 组分别包含 45,25,14 和 22 份材料。

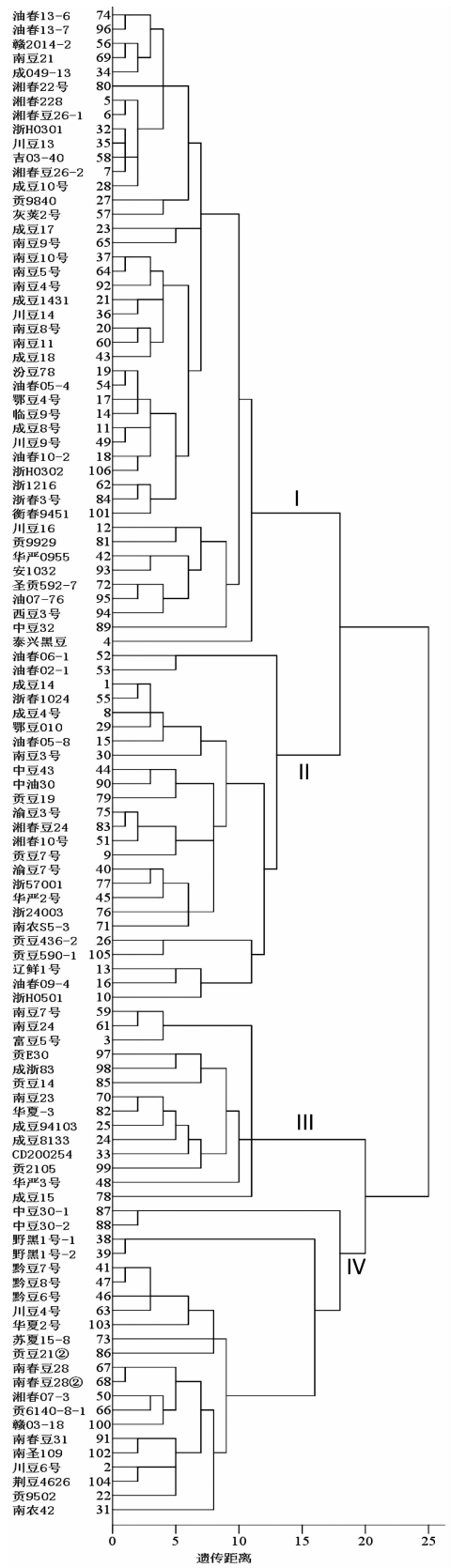


图 2 基于表型性状的 106 个大豆品种聚类分析

Fig. 2 The clustering analysis of 106 soybean varieties based on phenotypic traits

第 I 组的 45 份材料全部为下胚轴无花青苷显色、花白色、种皮有光泽的品种。这些品种底荚高度偏高,荚果数量较少,荚果颜色多为浅黄色,种子稍偏小。其中湘春 22 号到成豆 10 号一分支全部为黑色种脐。

第 II 组的 25 份材料全部为下胚轴无花青貳显色、花白色、种皮无光泽的品种。这些品种开花期和成熟期较早,荚果数量较少,褐色荚果占比较高,种子较大。除渝豆 3 号到贡豆 7 号一分支全部为黑色种脐外,其余大部分品种种脐颜色为浅褐色或中等褐色。

第 III 组的 14 份材料全部为下胚轴有中等强度

的花青貳显色、花紫色、种皮无光泽的品种。这些品种开花期和成熟期较晚,植株节数量偏多,种子较大,种脐为褐色或黑色。

第 IV 组的 22 份材料全部为下胚轴有较弱或者较强程度的花青貳显色、花紫色、种皮有光泽的品种。这些品种底荚高度较矮,种子稍偏小,褐色荚果占比较高,大部分品种为黑色或中等褐色种脐,其中南豆 28 到赣 03-18 一分支全部为黑色种脐。

从中筛选出 20 份具有早熟、结荚多、百粒重大、株高适中等优异特性的种质资源(表 4),适合在西南地区种植或者作为育种亲本使用。

表 4 筛选出的大豆优良种质资源及其优异性状  
Table 4 The selected soybean good germplasm resources and the excellent characteristics

品种 Cultivar	成熟期 Mature period /d	株高 Plant height/cm	百粒重 100-seed weight/g	荚果数量 Number of pods	优异性状 Excellent characteristics
湘春 228 Xiangchun 228	97	62.1	27.1	44.2	早熟
油春 05-8 Youchun 05-8	98	40.4	26.0	44.8	早熟
灰荚 2 号 Huijia 2	99	52.1	25.5	43.6	早熟
成豆 10 号 Chengdou 10	100	55.5	27.9	51.1	早熟
贡 9840 Gong 9840	100	46.1	23.6	45.6	早熟
油春 06-1 Youchun 06-1	103	64.4	25.7	47.4	早熟
川豆 13 Chuandou 13	103	51.9	26.8	56.4	早熟
野黑 1 号 Yehei 1	107	53.3	21.2	40.2	早熟
中豆 30-2 Zhongdou 30-2	108	74.0	22.6	164.0	结荚多,早熟
圣贡 592-7 Senggong 592-7	113	42.2	26.9	110.5	结荚多
贡豆 21② Gongdou 21②	117	51.0	30.5	110.0	结荚多
中豆 32 Zhongdou 32	114	39.6	25.3	109.0	结荚多
华夏 2 号 Huaxia 2	118	40.9	24.1	105.0	结荚多
南农 S5-3 Nannong S5-3	112	43.5	29.9	102.0	结荚多
中油 30 Zhongyou 30	117	48.6	39.5	58.9	百粒重大
贡 E30 Gong E30	131	46.5	37.2	48.4	百粒重大
贡豆 436-2 Gongdou 436-2	110	29.3	35.8	36.8	百粒重大
富豆 5 号 Fudou 5	105	51.1	34.6	37.7	百粒重大
中豆 43 Zhongdou 43	115	52.6	34.1	63.8	百粒重大
赣 03-18 Gan 03-18	114	40.4	33.9	43.1	百粒重大

3 讨论

我国大豆育种的主要问题:一是遗传基础狭窄<sup>[20]</sup>;二是我国大豆种质资源研究不深入,评价和鉴定相对滞后<sup>[21]</sup>。对种质资源开展多维的遗传多样性评价有利于我国大豆育种工作的开展。利用表型性状对大豆资源进行群体遗传结构和遗传多样性评价是十分重要且经济有效的方法<sup>[22]</sup>。大豆品种 DUS 测试性状丰富,除了包括重要的农艺性状,还包括不少

描述细节的表型性状,能够更全面地展示品种的遗传变异。本研究采用大豆 DUS 测试《指南》中的 31 个性状对西南地区 106 个南方春大豆品种进行遗传多样性研究,评价性状之间的相关性,并基于 DUS 测试性状对品种进行聚类分析,探讨利用 DUS 测试性状多大豆品种进行遗传多样性研究的可行性。其中下胚轴花青貳显色、落叶性等 9 个性状此前从未用于大豆品种表型多样性研究。

本研究中 31 个性状的表型多样性分析表明 106 个大豆品种具有较高的多样性,尤其是测量型数量性状多样性更高,多样性指数范围为 1.43 ~ 1.91,更能够展示品种丰富的多样性。李艳花等<sup>[13]</sup>评估重庆大豆地方品种数量性状的多样性比本研究高,但并没有给出数量性状分级的方法。多数其它研究中数量性状的多样性水平与本研究相当或者略低<sup>[13,15,23-26]</sup>。这些研究中计算多样性时大多采用标准差法进行数量性状分级,每一级的级差为 0.5 个标准差。本研究采用最小显著差法对数量性状进行分级<sup>[19]</sup>,级差为 2 倍  $LSD_{0.05}$ ,能够更科学地对大豆品种进行分组,基于此进行更加科学的多样性评价<sup>[27]</sup>。本研究首次使用的 9 个表型性状多样性较高(多样性指数 0.55 ~ 1.28),更能够展示品种丰富的多样性和遗传变异度。虽然这些性状目前来看似乎与品种的产量、品质等不相关,但是随着研究的深入,未来或许可为大豆品种改良提供不同的方向。本研究利用 DUS 测试性状把 106 个品种聚为 4 个组群,每个组群具有各自独特的表型特征,生育期、植株节数、分枝数、底荚高度、百粒重等农艺性状各有不同,既有早、中、晚熟品种,也有小、中、大粒材料。从中筛选到 20 份具有早熟、高产、百粒重大等优异特征的种质,既可以作为主栽品种在西南地区推广,也可以作为育种亲本针对不同的育种目标进行定向选育,推动大豆的遗传育种工作。

性状相关性分析表明 DUS 测试性状之间独立性强,仅有大豆幼苗下胚轴花青甙显色有无和花冠颜色相关性极高。下胚轴花青甙有显色的品种花冠颜色为紫色,无显色的品种花冠颜色为白色。然而,下胚轴花青甙显色强度和花冠颜色的相关性则比较小,相关系数仅为 0.38。大豆 DUS 测试《指南》中,下胚轴花青甙显色强度的表达状态有 9 级,从代码 1 无或极弱到代码 9 极强。而《指南》和《大豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[28]</sup>对大豆花色分类均只划分为白色和紫色两种。但是,大豆种质资源中还存在深紫、浅紫、近白色、蓝色、洋红、可变紫色、紫喉、紫白、白紫、杂色等稀有花色<sup>[29]</sup>。笔者在调查时观察到存在深浅程度不同的紫色,以及偏粉紫色和偏蓝紫色等花色。如果《指南》把花冠紫色细分,下胚轴花青甙显色强度与花冠紫色的程度或许有更高的相关性。花色是大豆重要的农艺性状,育种工作中也常利用花色去杂。下胚轴花青甙显色及显色强度两个性状为本研究首次使用的性状,较少为育种家关注,这两个性状和大豆花色高度相关,可以在大豆苗期提前指示花色,提高大豆育种工作的效率。

4 结论

大豆品种 DUS 测试性状数量多,覆盖面广且多样性高,可应用于大豆品种的表型和遗传多样性分析。本研究收集的适合西南地区种植的 106 个春大豆品种资源具有较高的遗传多样性,尤其是数量性状多样性高。基于 DUS 测试性状的聚类分析对不同种质类型进行分类,并筛选出 20 份优良种质资源,可以有效指导大豆的遗传育种工作。本研究还发现大豆幼苗下胚轴花青甙是否显色可以指示大豆品种的花色,可提高大豆育种工作效率。

参考文献

[1] 吉林省农业科学院. 中国大豆育种与栽培[M]. 北京: 农业出版社, 1987. (Jinlin Academy of Agricultural Sciences. Chinese soybean breeding and cultivation [M]. Beijing: Agricultural Press, 1987.)

[2] 于振文. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013. (YU Z W. On crop cultivation [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2013.)

[3] 常汝镇, 孙建英, 邱丽娟. 中国大豆种质资源研究进展[J]. 作物杂志, 1998(3): 7-9. (CHANG R Z, SUN J Y, QIU L J. Research progress of soybean germplasm resources in China [J]. Crops, 1998(3): 7-9.)

[4] 王大刚, 陈圣男, 李杰坤, 等. 2008—2018 年黄淮南部审定大豆品种主要性状分析[J]. 大豆科学, 2019, 38(5): 671-680. (WANG D G, CHEN S N, LI J K, et al. Analysis on the main traits of soybean varieties approved in Southern Huang-Huai During 2008—2018 [J]. Soybean Science, 2019, 38(5): 671-680.)

[5] 刘军, 徐瑞新, 石垒, 等. 中国国审大豆品种(2003—2016 年)主要性状变化趋势分析[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(11): 60-66. (LIU J, XU R X, SHI L, et al. Variation trend of major traits of national authorized soybean cultivars from 2003 to 2016 [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, 23(11): 60-66.)

[6] 熊冬金, 赵团结, 盖钧镒. 中国大豆育成品种亲本分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2589-2598. (XIONG D J, ZHAO T J, GAI J Y. Parental analysis of soybean cultivars released in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(9): 2589-2598.)

[7] SHADAKSHARI T V, KALAIMAGAL T, SENTHIL N, et al. Genetic diversity in soybean [*Glycine max* (L.) merill] based on morphological characters [J]. Asian Journal of Bio-Science, 2011, 6(1): 7-11.

[8] 费志宏, 薛盈文, 刘梦红, 等. 黑龙江省中熟大豆品种遗传改良过程中产量和主要农艺性状的演变[J]. 大豆科学, 2014, 33(6): 837-840. (FEI Z H, XUE Y W, LIU M H, et al. Evolution of yield and main agronomic traits with genetic improvement of mid-maturity soybean cultivars in Heilongjiang Province [J]. Soybean Science, 2014, 33(6): 837-840.)

[9] RAVINDRA K J, ARUNABH J, DEVENDRA J. Morphological characterization and assessment of genetic diversity in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotypes [J]. International Journal



of Current Microbiology and Applied Sciences, 2017, 6 (7): 2371-2381.

[10] 狄胜强, 陈力强, 魏长平, 等. 甘肃大豆地方品种农艺性状的分布模式[J]. 大豆科学, 2018, 37(1): 67-74. (DI S Q, CHEN L Q, WEI C P, et al. Distribution patterns on agronomic traits of Gansu soybean and screening of high-yield varieties[J]. Soybean Science, 2018, 37(1): 67-74.)

[11] 胡国玉, 李杰坤, 王大刚, 等. 安徽省不同年代育成大豆品种的性状演变分析[J]. 大豆科学, 2020, 39(5): 657-666. (HU G Y, LI J K, WANG D G, et al. Evolution analysis of main characters of soybean varieties released in different years in Anhui Province[J]. Soybean Science, 2020, 39(5): 657-666.)

[12] 李明松, 吕美琴, 康蓉蓉, 等. 福建省春大豆种质资源的形态多样性研究[J]. 福建农业学报, 2014, 29(3): 214-219. (LI M S, LYU M Q, KANG R R, et al. The morphological diversity of soybean germplasm sources in Fujian[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29(3): 214-219.)

[13] 李艳花, 杜成章, 陈红, 等. 重庆大豆地方资源多样性评价及群体表型特点研究[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6): 1025-1030. (LI Y H, DU C Z, CHEN H, et al. Study of genetic diversity and population morphological characteristics of soybean landraces in Chongqing[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(6): 1025-1030.)

[14] 赵朝森, 王瑞珍, 李英慧, 等. 江西大豆种质资源表型及品质性状综合分析与评价[J]. 大豆科学, 2019, 38(5): 686-693. (ZHAO C S, WANG R Z, LI Y H, et al. Comprehensive analysis and evaluation of the phenotype and quality traits of Jiangxi soybean germplasm resources[J]. Soybean Science, 2019, 38(5): 686-693.)

[15] 汪桂凤, 钟宣伯, 查鑫, 等. 菜用大豆种质资源评价与筛选[J]. 大豆科学, 2019, 38(2): 169-180. (WANG G F, ZHONG X B, ZHA T, et al. Evaluation and screening of fresh soybean germplasm[J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 169-180.)

[16] 高玉芳, 张彦军, 赵振宁, 等. 引进大豆种质资源的适应性和遗传多样性分析[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(6): 1029-1041. (GAO Y F, ZHANG Y J, ZHAO Z N, et al. Adaptability and genetic diversity analysis of introduced soybean germplasm resources[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(6): 1029-1041.)

[17] 卢柏山, 王荣煊, 王风格, 等. 基于 DUS 测试性状的玉米自交系形态多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(1): 103-107. (LU B S, WANG R H, WANG F G, et al. Phenotypic diversity of maize inbred lines based on DUS testing traits[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(1): 103-107.)

[18] 黄志城, 张新明, 唐浩, 等. 基于 DUS 测试的上海粳稻地方品种遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(3): 451-459. (HUANG Z C, ZHANG X M, TANG H, et al. Genetic diversity analysis of Japonica rice landraces (Oryza sativa L.) from Shanghai based on DUS testing[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(3): 451-459.)

[19] 王红娟, 蒋晓英, 官玲, 等. 南方春大豆品种 DUS 测试数量性状表达状态分级[J/OL]. 分子植物育种, 2021, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210327.1344.002.html>. (WANG H J, JIANG X Y, GUAN L, et al. Grading of DUS testing quantitative characteristics of southern spring soybean varieties[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2021, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210327.1344.002.html>.)

[20] 富健, 王新风, 孟凡刚, 等. 国外大豆育种研究进展[J]. 河北农业科学, 2009, 13(7): 46-47. (FU J, WANG X F, MENG F G, et al. Advance in soybean breeding in foreign countries[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(7): 46-47.)

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

[22] 金伟栋, 洪德林. 太湖流域粳稻地方品种遗传多样性研究[J]. 生物多样性, 2006, 14(6): 479-487. (JIN W D, HONG D L. Genetic diversity in japonica rice landraces (Oryza sativa) from the Taihu Lake region[J]. Biodiversity Science, 2006, 14(6): 479-487.)

[23] 赵银月, 保丽萍, 耿智德, 等. 云南省大豆地方种质资源遗传多样性的初步分析[J]. 西南农业学报, 2006, 19(4): 591-593. (ZHAO Y Y, BAO L P, DI Z D, et al. Preliminary analysis of genetic diversity of local soybean germplasm in Yunnan[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(4): 591-593.)

[24] 张礼凤, 李伟, 王彩洁, 等. 山东大豆种质资源形态多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(4): 450-454. (ZHANG L F, LI W, WANG C J, et al. Morphological diversity of soybean germplasm resources in Shandong[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(4): 450-454.)

[25] 周瑜, 李泽碧, 黄娟, 等. 高粱种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(3): 654-664. (ZHOU Y, LI Z B, HUANG J, et al. Genetic diversity of sorghum germplasms based on phenotypic variations[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(3): 654-664.)

[26] 葛平珍, 王昭礼, 余莉, 等. 粒用菜豆种质资源表型遗传多样性分析及综合性评价[J]. 西南农业学报, 2021, 34(7): 1386-1394. (GE P Z, WANG Z L, YU L, et al. Phenotypic genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of dry bean germplasm[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(7): 1386-1394.)

[27] 方超, 唐轩, 胡桂兵, 等. 荔枝 DUS 测试数量性状分级研究[J]. 果树学报, 2020, 37(5): 635-644. (FANG C, TANG X, HU G B, et al. A study on grading of quantitative characteristics of litchi[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(5): 635-644.)

[28] 邱丽娟. 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. Descriptoes and data standard for soybean (Glycine Spp.) [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2006.)

[29] 刘晓冬, 王英男, 齐广勋, 等. 大豆花色研究进展[J]. 东北农业科学, 2017, 42(6): 53-57. (LIU X D, WANG Y N, QI G X, et al. A review of researches on flower color of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2017, 42(6): 53-57.)