



# 四川省大豆种质资源表型性状鉴定及综合评价

范元芳<sup>1</sup>, 王娴淑<sup>1</sup>, 何芳<sup>2</sup>, 吕季娟<sup>2</sup>, 陶磊<sup>2</sup>, 刘波<sup>3</sup>, 郭佳<sup>3</sup>, 项超<sup>1</sup>

(1. 四川省农业科学院 作物研究所/粮油作物绿色种质创新与遗传改良四川省重点实验室, 四川 成都 610066; 2. 四川省种子站, 四川 成都 6100442; 3. 四川省农业机械科学研究院, 四川 成都 610066)

**摘要:**为有效利用四川大豆种质资源,采用相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法对四川省新收集的216份大豆种质资源的12个表型性状进行鉴定和综合评价。结果表明:四川大豆种质资源表型变异丰富,9个质量性状的遗传多样性指数范围在0.043~1.596之间,大豆种子粒色的多样性指数最高(1.596),子叶色的多样性指数最低(0.043)。3个数量性状的多样性指数的分布为2.581~2.812,百粒重的多样性指数最高,为2.812。主成分分析结果表明,6个主成分因子的累计贡献率达72.85%。216份大豆种质资源的综合评价D值范围在0.002~0.278之间。聚类分析将216份大豆资源划分为4类,第I类群百粒重最高(31份),第II类群株高最高(52份),第III类群生育期最短(57份),第IV类群百粒重较小、株高适宜(76份)。本研究为四川省大豆种质创新利用和大豆新品种选育提供了重要参考。

**关键词:**大豆;种质资源;表型性状;主成分分析;综合评价

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Phenotypic Identification and Evaluation of Soybean Germplasm Resources in Sichuan Province

FAN Yuanfang<sup>1</sup>, WANG Xianshu<sup>1</sup>, HE Fang<sup>2</sup>, LYU Jijuan<sup>2</sup>, TAO Lei<sup>2</sup>, LIU Bo<sup>3</sup>, GUO Jia<sup>3</sup>, XIANG Chao<sup>1</sup>

(1. Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/Environment-friendly Crop Germplasm Innovation and Genetic Improvement Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610066, China; 2. Sichuan Seed Station, Chengdu 6100442, China; 3. Sichuan Academy of Agricultural Machinery Sciences, Chengdu 610066, China)

**Abstract:** In order to effectively utilize soybean germplasm resources in Sichuan Province in China. 216 soybean germplasm were collected. In this research, 12 phenotypic characters of this soybean germplasm resources in Sichuan Province were identified and comprehensively evaluated by correlation analysis, principal component analysis and clustering analysis. Our results showed that the genotypes of soybean collected in Sichuan were rich in genetic diversity. The diversity index of 9 quality traits ranging from 0.043 to 1.596, which was the highest in seed color (1.596) and the lowest in cotyledon color (0.043). 3 quantitative traits ranging from 2.581 to 2.812, which was the highest in 100-seed weight (2.812). Principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the six principal component factors was 72.85%. The comprehensive evaluation D value ranging from 0.002 to 0.278. 216 soybean germplasm could be classified into 4 categories by cluster analysis, Cluster I showed the best performance in 100-seed weight (31 germplasms). The plant height of cluster II was the highest (52 germplasms). Cluster III showed the shortest growth period (57 germplasms). The 100-seed weight and plant height of cluster IV was low (76 germplasms). This study can provide a new reference for the utilization of soybean germplasm and breeding.

**Keywords:** soybean; germplasm resources; phenotyping; principal component analysis; comprehensive evaluation

大豆[*Glycine max*(L.) Merr.]是世界上具有重要经济价值的豆科植物,大豆籽粒中不仅含有丰富的蛋白质和脂肪,还含有大豆异黄酮、皂苷、维生素B、原花青素A、核酸等对人类健康极为珍贵的营养成分。大豆已成为重要的食、饲两用作物,在食品、饲料和生物燃料工业中有着广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。大豆是世界上约68%含蛋白质的膳食供应,是植物油和可再生燃料的最佳来源<sup>[3]</sup>。随着人们生活水平的提高和健康意识的加强以及畜牧业的迅速发展,大

豆市场出现了鲜食型、豆芽专用型、豆浆专用型、青贮饲料型等多种类型需求的大豆,因此,需开发丰富多样类型的大豆品种来满足多样化的大豆市场需求,以此推动大豆产业发展<sup>[4]</sup>。农作物种质资源是农作物基础研究、新品种培育的前提和物质基础,是提高农业综合生产能力和农业可持续发展的重要保证<sup>[5-6]</sup>。对新收集的地方大豆种质资源生物学性状的调查鉴定和综合评价,有利于发现优异的大豆种质资源,并对其进行挖掘与创新利用,对大

收稿日期:2023-03-02

**基金项目:**四川省自然科学基金(2023NSFSC1176);四川省农业科学院“1+9揭榜挂帅”项目(1+9KJGG001);四川省财政专项-主要农作物核心种质资源测序及精准鉴定评价(1+3ZYGG001);2022年省级财政农业公共安全与生态资源保护利用工程-农作物种质资源保护项目(51000022T000006931322);第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(111821301354052034)。

**第一作者:**范元芳(1988—),女,博士,助理研究员,主要从事大豆栽培生理研究。E-mail:sau-fanyuanfang@foxmail.com。

**通讯作者:**项超(1988—),男,博士,副研究员,主要从事豆类种质资源与遗传育种研究。E-mail:xc2011cib@163.com。

豆新品种的培育和生产提供依据和参考<sup>[7]</sup>。

四川省位于中国西南,地域辽阔,土壤类型丰富,属于亚热带季风气候,年平均气温在 16~18℃,年降雨量为 844.7 mm,活动积温在 4 000~6 000℃之间,无霜期 230~340 d,具有发展大豆生产的优良自然条件<sup>[8]</sup>。四川是全国大豆生产和消费大省,是我国高蛋白大豆的优势产区<sup>[9]</sup>。目前四川省保存了丰富的大豆种质资源,在国内大豆新品种培育中起着重要作用,四川大豆品种具有蛋白质含量高、耐荫性强和出油率高等特点<sup>[10-11]</sup>。但是由于城市化进程的加速,农业种植结构的调整等原因,地方大豆品种资源遗失问题突出,对地方大豆品种的收集、保存和评价鉴定迫在眉睫。

随着人们对种质资源的收集、评价和利用,地方大豆品种的遗传结构和多样性研究已经逐步展开<sup>[12]</sup>。Zhu 等<sup>[11]</sup>对我国大豆地方品种和野生种质资源的炭疽病抗性进行了评价,并从黄淮地区和长江以南地区筛选出了抗性较强的品种。张红梅等<sup>[12]</sup>结合 264 份大豆种质资源 R6 期籽粒的精氨酸含量表型数据和重测序基因型数据,进行全基因组关联分析,发掘出 9 个候选基因。刘谢香等<sup>[15]</sup>在大豆苗期进行耐盐种质筛选,筛选出了耐盐优异资源,为培育耐盐大豆品种提供了亲本材料。在“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”中,四

川省收集保存了近千份大豆种质资源。本研究对此次新收集的 216 份大豆种质资源的表型性状进行了初步鉴定和综合评价,基于大豆植株的生物学性状进行多样性分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析等,综合评价四川省大豆地方种质资源,以为大豆种质资源的创新利用及大豆新品种培育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

参试的 216 份大豆种质资源于 2018—2019 年在“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”获得,所鉴定大豆种质资源已入国家种质资源库,大豆种质资源信息详见附表 1。这些种质分别来自四川省 20 个地级市(州),93 个调查县(市/区)(图 1),大豆种质资源分布概况如图 1B。在宜宾市收集的大豆种质资源最多(26 份),其次是雅安市、乐山市和广元市,分别为 25,23 和 23 份。在德阳市收集的大豆种质资源最少,仅有 1 份。县(市/区)分布情况表明,在天全县、剑阁县、平武县收集的大豆种质资源最多,分别为 13,10 和 9 份,在屏山县、高县、芦山县等 47 个县(市/区)收集到的大豆种质资源各只有 1 份(图 1 C)。

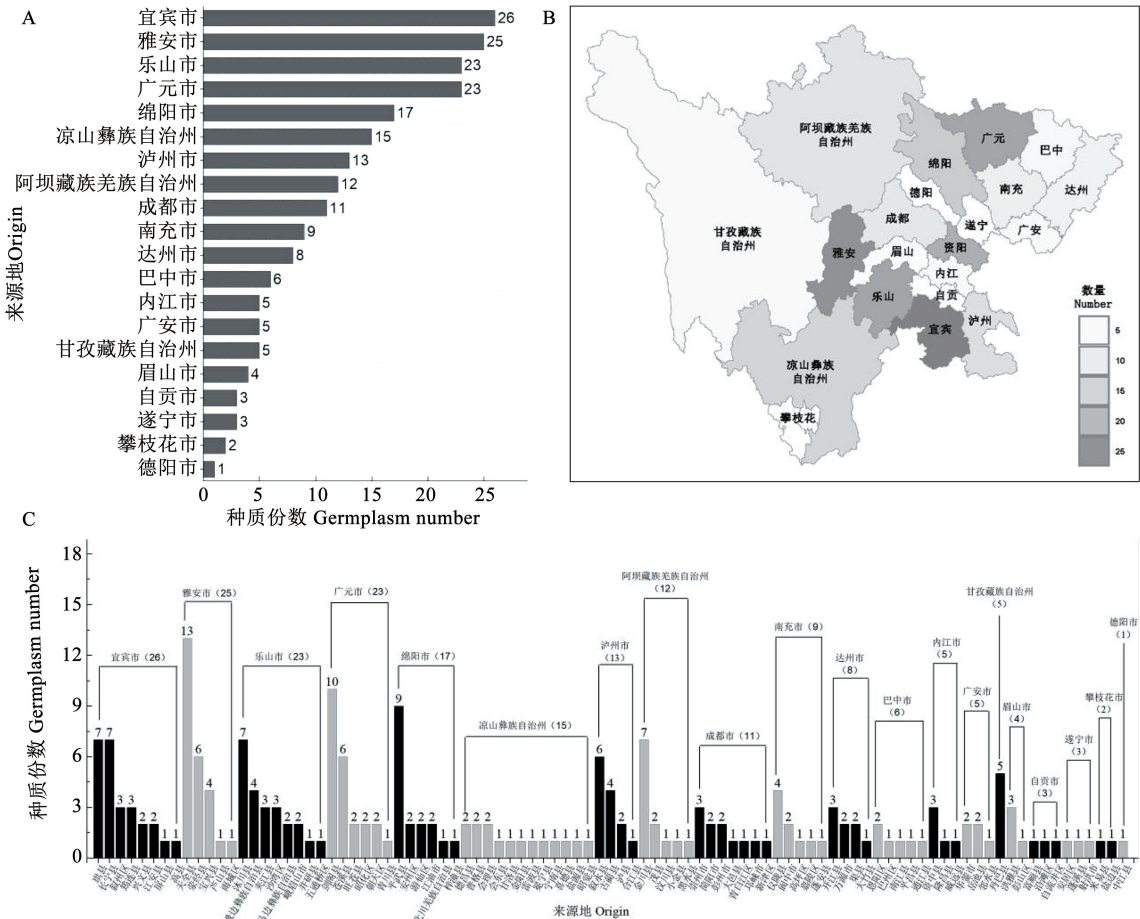


图 1 供试大豆种质资源的分布概况  
Fig. 1 Distribution of tested soybean germplasm

在此次收集的 216 份大豆种质资源中有 214 份是各地农户自家种植的地方大豆品种,仅有 2 份为野生大豆资源,这两份野生大豆分别来自巴中市恩阳区和绵阳市平武县。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 2021—2022 年,将在四川省新收集的 216 份大豆种质资源播种于四川省农业科学院现代农业科技创新示范园(30°40′N,103°54′E)试验地。试验区为亚热带湿润气候,年平均气温 15.6℃,年平均降雨量 1 070.5 mm,日照时数 1 017 ~ 1 345 h,全年无霜期 300 d。试验地类型土壤为紫色土,pH6.6。在大豆播种时施底肥,氮、磷、钾肥分别为:75 kg·hm<sup>-2</sup> 尿素,600 kg·hm<sup>-2</sup> 过磷酸钙,60 kg·hm<sup>-2</sup>氯化钾,在大豆开花期追施 75 kg·hm<sup>-2</sup>

尿素。大豆行距 50 cm,穴距 20 cm。2021 年 6 月 17 日播种,人工点播,穴播,出苗后定苗,每穴留苗 2 株,田间管理以及病虫害防治措施参照当地生产水平进行。

1.2.2 性状调查 大豆种质资源的田间主要农艺性状数据收集根据《大豆种质资源描述规范和数据标准》<http://115.28.90.227/wp-content/uploads/2016/05/2-6-1.pdf> 执行,对供试的 216 份大豆种质资源的植株特征(生长习性、结荚习性、叶形、花色、茸毛色)和大豆籽粒特征(粒形、粒色、子叶色、脐色)等质量性状和生育期、株高、百粒重等数量性状进行调查。为便于后续的数据统计分析,对大豆植株、大豆籽粒形态特征相关质量性状进行赋值(表 1)。

表 1 大豆种质资源形态特征分级和赋值  
Table 1 Description of morphological traits and data standard for soybean germplasm

形态性状	级别	赋值标准	形态性状	级别	赋值标准
Morphological character	Grade	Assignment criterion	Morphological character	Grade	Assignment criterion
粒色 Seed coat color	黄 Yellow	1	长椭圆 Long ellipse		5
	绿 Green	2		肾形 Kidney shape	6
	黑 Black	3	生长习性 Growth habit	直立 Upright	1
	褐 Brown	4		半直立 Semi upright	2
子叶色 Cotyledon color	双色 Dichromatic	5		半蔓生 Semi-trailing	3
	黄 Yellow	1		蔓生 Trailing	4
	绿 Green	2	结荚习性 Podding habit	无限 Infinite	1
脐色 Hilum color	黄 Yellow	1		亚有限 Subfinite	2
	淡褐 Light brown	2		有限 Limited	3
	褐 Brown	3	茸毛色 Pubescence color	灰 Grey	1
	深褐 Dark brown	4		棕 Brown	2
	淡黑 Light black	5	花色 Flower color	白 White	1
	黑 Black	6		紫 Purple	2
粒形 Seed shape	圆 Circle	1	叶形 Leaf shape	披针 Lace needle	1
	扁圆 Oblate circle	2		卵圆 Oval	2
	椭圆 Ellipse	3		椭圆 Ellipse	3
	扁椭圆 Flat ellipse	4		圆 Circle	4

1.3 数据分析

采用 Excel 2020 处理所调查大豆种质的表型数据,计算平均值、多样性指数和变异系数等。用 SPSS Statistics 20 软件对数据进行多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析和综合评价。用 Origin 2021 和 Photoshop CC2019 软件作图,计算隶属函数值(μ)、权重(W<sub>j</sub>),综合评价值(D)等<sup>[7,16]</sup>,计算 Shannon-weaver 多样性指数(H')<sup>[17-18]</sup>。

2 结果与分析

2.1 大豆表型性状与地理来源的相关性分析

对来自四川省 93 个调查县(市/区)的地方大豆种质进行了表型性状与地理来源的相关性分析。12 个表型性状与经度、纬度和海拔的相关性分析结果如表 2 所示,在 12 个表型性状中茸毛色和百粒重与经度呈显著(P<0.05)负相关,相关系数分别为

−0.161 和 −0.183;株高与经度呈显著( $P<0.05$ )正相关,相关系数为 0.172;其他表型性状与经度无显著相关性。表明大豆茸毛色、百粒重、株高呈现

以经度为主导的变异模式,12 个表型性状与纬度无显著相关性。脐色和株高与海拔呈现显著负相关性,表明随海拔升高,株高降低。

表 2 大豆表型性状与地理来源的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between phenotypic traits and geographical factors of soybean

表型性状 Phenotypic trait	与地理因子的相关系数 Correlation coefficient with geographical factor		
	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude
粒色 Seed coat color	0.034	0.100	0.025
子叶色 Cotyledon color	−0.080	−0.076	0.097
脐色 Hilum color	−0.008	−0.099	−0.143 *
粒形 Seed shape	−0.133	−0.038	0.035
生长习性 Growth habit	−0.021	−0.037	0.058
结荚习性 Podding habit	0.021	0.038	−0.048
茸毛色 Pubescence color	−0.161 *	−0.006	0.130
花色 Flower color	−0.073	−0.054	0.083
叶形 Leaf shape	0.088	0.048	−0.119
生育期 Plant period/d	0.001	0.057	−0.005
株高 Plant height/cm	0.172 *	−0.026	−0.170 *
百粒重 100 – seed weight/g	−0.183 **	−0.127	0.075

注: \* 和 \*\* 分别表示在  $P<0.05$  和  $P<0.01$  水平显著相关。  
Note: \* and \*\* indicates there is significant correlation at  $P<0.05$  and  $P<0.01$  level, respectively.

2.2 大豆种质资源表型性状分析

216 份供试大豆种质资源的各表型性状差异明显,粒色、子叶色等 9 个质量性状的多样性指数( $H'$ )分布范围为 0.043 ~ 1.596,多样性指数平均值为 0.849。大豆粒色的多样性指数最高,为 1.596,其次是脐色(1.545)、粒形(1.259)和叶形(1.252),多样性指数均大于 1,株高、百粒重等 3 个数量性状多样性指数均大于 2。各表型性状呈现出不同程度

的变异,供试大豆材料的 12 个表型性状的变异系数( $CV$ )分布范围较大,为 6.01% ~ 63.15%,排序为:粒色>株高>百粒重>茸毛色>花色>粒形>脐色>叶形>生长习性>生育期>子叶色>结荚习性。216 份大豆资源中粒色的变异类型最多,为 5 个;子叶色和结荚习变异类型最少,均为 2 个。综合各表型性状的极差、变异系数和多样性指数,百粒重、株高、生育期和粒色呈现出明显的遗传差异(表 3)。

表 3 大豆种质资源表型性状的多样性分析

Table 3 Diversity analysis phenotypic character in soybean germplasm

表型性状 Phenotypic trait	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	变异系数 CV/%	多样性指数 $H'$
粒色 Seed coat color	1.824	1.152	5	1	4	63.15	1.596
子叶色 Cotyledon color	1.005	0.068	2	1	1	6.77	0.043
脐色 Hilum color	2.940	0.790	6	1	5	26.88	1.545
粒形 Seed shape	2.130	0.604	5	1	4	28.35	1.259
生长习性 Growth habit	1.023	0.179	3	1	2	17.49	0.133
结荚习性 Podding habit	2.977	0.179	3	1	2	6.01	0.133
茸毛色 Pubescence color	1.310	0.464	2	1	1	35.39	0.893
花色 Flower color	1.236	0.426	2	1	1	34.44	0.789
叶形 Leaf shape	2.716	0.595	4	1	3	21.90	1.252
生育期 Plant period/d	122.713	12.649	139	95	44	10.31	2.581
株高 Plant height/cm	81.167	36.163	310	27	283	44.56	2.642
百粒重 100 – seed weight/g	16.981	6.335	43	4	39	37.35	2.812



2.3 大豆种质资源表型性状相关性分析

如表 4 所示,粒色与茸毛色、花色和株高呈极显著正相关;脐色与茸毛色呈极显著正相关;粒型与生育期呈极显著负相关,与百粒重存在极显著正相关;大豆种质的生长习性与结荚习性存在极显著负相关,与株高存在显著负相关;茸毛色与花色存在极显著正相关,与生育期存在极显著负相关;花色与生育期存在显著负相关,与百粒重存在极显著正

相关;叶形与生育期和株高存在极显著正相关;生育期和株高存在极显著正相关;株高和百粒重存在极显著负相关。生长习性和结荚习性的相关系数最大(−0.855),其次百粒重和粒型的相关系数为 0.394。此外,株高与生育期、粒色和叶形存在极显著正相关,在实际生产中可以用生育期长短初步衡量大豆株高和叶生物量的高低,从植株表型性状可预判大豆产量和品质。

表 4 大豆资源相关性分析  
Table 4 Correlation analysis of soybean germplasm

性状 Trait	粒色 Seed coat color	子叶色 Cotyledon color	脐色 Hilum color	粒形 Seed shape	生长习性 Growth habit	结荚习性 Podding habit	茸毛色 Pubescence color	花色 Flower color	叶形 Leaf shape	生育期 Growing period	株高 Plant height	百粒重 100-seed weight
粒色 Seed coat color	1											
子叶色 Cotyledon color	0.070	1										
脐色 Hilum color	0.034	0.005	1									
粒形 Seed shape	0.066	−0.015	0.085	1								
生长习性 Growth habit	−0.003	−0.009	0.076	0.015	1							
结荚习性 Podding habit	0.025	0.009	−0.043	−0.015	−0.855 **	1						
茸毛色 Pubescence color	0.225 **	−0.046	0.178 **	0.122	−0.031	0.031	1					
花色 Flower color	0.284 **	−0.038	−0.027	0.116	−0.011	0.011	0.263 **	1				
叶形 Leaf shape	0.083	−0.077	−0.018	−0.095	0.020	0.022	−0.067	0.002	1			
生育期 Growing period	−0.014	0.024	−0.090	−0.202 **	0.128	−0.060	−0.196 **	−0.151 *	0.223 **	1		
株高 Plant height	0.207 **	−0.027	0.104	−0.117	0.162 *	−0.161 *	−0.103	−0.078	0.203 **	0.358 **	1	
百粒重 100-seed weight	0.133	0.060	0.029	0.394 **	0.008	0.011	0.046	0.362 **	0.107	−0.056	−0.190 **	1

注: \*和 \*\* 分别表示在  $P<0.05$  和  $P<0.01$  水平显著相关。  
Note: \*and \*\* indicates there is significant correlation at  $P<0.05$  and  $P<0.01$  level, respectively.

2.4 大豆种质资源表型性状主成分分析

如表 5 所示,对 216 份大豆种质资源的 12 个表型性状主成分分析,将其划分为 6 个主成分(特征值大于 1),累计贡献率为 72.852%,解释了这 216 份大豆种质资源的 12 个表型性状的大部分信息。

第 1 主成分特征值为 2.108,方差贡献率最大(17.564%),作用最大的性状包括生育期(−0.553)、株高(−0.540),第 1 主成分主要反映的是 2 个大豆植株的性状。第 2 主成分特征值为 1.852,方差贡献率为 15.437%,作用最大的性状为生长习性

(0.677)、结荚习性(−0.668)和花色(0.468),主要反映的是3个大豆植株的性状。第3主成分特征值为1.483,方差贡献率为12.356%,作用最大的性状为粒色(0.592)和叶形(0.584),主要反映的是1个大豆籽粒的性状和1个大豆植株的性状。第4主成分特征值为1.22,方差贡献率为10.164%,作用最大的性状为百粒重(0.569)和茸毛色(0.552),主要

反映的是1个大豆籽粒的性状和1个大豆植株的性状。第5主成分特征值为1.053,方差贡献率为8.772%,作用最大的性状为子叶色(0.933),主要反映的是1个大豆籽粒的性状。第6主成分特征值为1.027,方差贡献率为8.559%,作用最大的性状为脐色(0.7)和粒形(0.428),主要反映2个大豆籽粒的性状。

表5 大豆种质表型性状的主成分分析表  
Table 5 Principle components analysis of morphological traits of soybean germplasm

表型性状 Phenotypic trait	主成分特征 Eigenvector of the principal component					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
生育期 Growing period duration	−0.553	−0.143	0.434	−0.223	0.061	0.072
株高 Plant height	−0.540	0.083	0.534	0.229	0.043	0.152
生长习性 Growth habit	−0.615	0.677	−0.269	−0.046	−0.004	−0.089
结荚习性 Podding habit	0.598	−0.668	0.322	0.032	−0.001	0.128
花色 Flower color	0.439	0.468	0.300	−0.060	−0.039	−0.404
粒色 Seed coat color	0.169	0.357	0.592	0.252	0.259	−0.203
叶形 Leaf shape	−0.217	−0.001	0.584	−0.269	−0.309	0.161
百粒重 100 – seed weight	0.424	0.460	0.178	−0.569	0.007	0.199
茸毛色 Pubescence color	0.396	0.346	0.091	0.552	−0.086	−0.124
子叶色 Cotyledon color	0.022	−0.005	−0.013	−0.102	0.933	0.124
脐色 Hilum color	0.034	0.250	−0.007	0.510	−0.035	0.700
粒形 Seed shape	0.410	0.425	−0.112	−0.277	−0.065	0.428
特征值 Eigenvalue	2.108	1.852	1.483	1.220	1.053	1.027
方差贡献率 Variance contribution	17.564	15.437	12.356	10.164	8.772	8.559
累计贡献率 Accumulative contribution	17.564	33.002	45.358	55.522	64.293	72.852

2.5 大豆种质资源表型性状聚类分析

基于综合评价值D值对216份大豆种质进行聚类分析,采用最长距离法,将所有大豆种质划分为4类(图2)。第Ⅰ类,31份资源,分别来自阿坝藏族羌族自治州、巴中市、凉山彝族自治州等12个市(州),其中来自雅安市和宜宾市最多,各6份。第Ⅰ类大豆种质资源的生育期分布在107~139 d之间,其中生育期大于130 d的有15份。株高范围为49~215 cm,平均值为95.19 cm。百粒重分布在4.33~43.20 g之间,平均值为20.82 g,其中大于30 g有5份。该分类中变异系数最大的是株高(45.36%),其次是百粒重和粒色,分别为44.67%和30.70%,生育期和结荚习性的变异系数最小,分别为8.20%和6.05%。

第Ⅱ类包括52份资源,其中绵阳市收集大豆种质资源最多,为9份,生育期范围为101~139 d,生育期低于130 d的有22份;株高分布在35~310 cm之间,平均值为97.69 cm,其中低于160 cm的有48份,高于160 cm的有3份,最高的是来自绵阳市平武县龙安镇的野黄豆。百粒重分布在4.4~32.20 g之间,平均值为17.57 g。其中超过25 g的有9份。

该分类中变异系数最大的是粒色(57.44%),其次是株高(44.69%),变异系数最小的是子叶色、生长习性、结荚习性。

第Ⅲ类包括57份资源,主要来自绵阳市、乐山市、眉山市等市(州),其中来自广元市和乐山市的大豆种质资源份数最多,分别为7份。主要花色为白色,为51份,株高范围为27~132 cm,平均值为60.05 cm,百粒重范围为8.00~25.80 g,平均值为15.05 g。该分类中变异系数最大的是粒色,为60.40%,其次是脐色,37.72%,变异系数最小的是子叶色和生长习性。

第Ⅳ类包括76份资源,分别来自阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、广安市、广元市和乐山市等市(州),其中雅安市、广元市分别为12和11份。该类资源的生育期分布在100~139 d之间,其中生育期大于130 d的有37份。株高范围为35~163 cm,平均值为79.97 cm。百粒重分布在6.00~32.8 g之间,平均值为16.41 g,其中大于30 g有2份。该分类中变异系数最大的是粒色(58.57%),其次是株高和茸毛色,分别为35.00%和34.87,子叶色和结荚习性的变异系数最小。

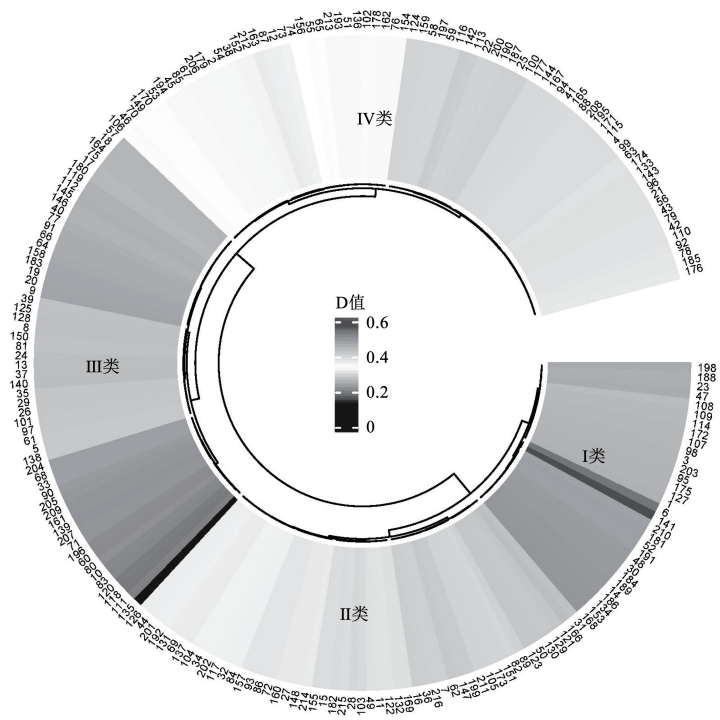


图 2 大豆种质资源聚类图

Fig. 2 Clustering map of soybean germplasm

3 讨论

本研究对 216 份大豆种质资源的表型性状进行了多样性分析和综合评价,为有效利用新收集的大豆种质资源提供了一定的理论参考信息。采用变异系数、多样性指数和综合评价值 D 值对现有的大规模大豆种质资源进行系统分析,通过表型变异对大豆种质的遗传多样性做出评价。

新收集的 216 份大豆种质资源中,在宜宾市、雅安市、广元市和乐山市 4 个地级市收集到的大豆资源较多,占总资源份数的 44.91% (图 1),表明在这 4 个地区的种植大豆农户较多,可能在这些地区种植大豆有较高的经济效益和食用价值。目前,缺乏高产优质的大豆品种是影响我国大豆生产发展的重要因子之一,科学系统的评价筛选大豆种质资源,选择优异的大豆种质资源作为大豆新品种培育的亲本,可对选育适宜当地大豆新品种提供良好的育种材料<sup>[19-20]</sup>。形态标记是目前对动、植物多样性研究最直接和最简单的方法<sup>[21-22]</sup>。多样性指数的高低反映表型性状的丰富程度<sup>[15]</sup>,在 216 份供试的大豆种质中,12 个表型性状中的粒色、脐色、粒形和叶形的多样性指数值均大于 1,株高、百粒重、生育期 3 个数量性状多样性指数值均大于 2,表明四川大豆种质具有丰富的多样性。变异系数反映性状指标的离散程度,变异系数越大,遗传变异可能性越大<sup>[7]</sup>。在本研究中,供试大豆种质的 12 个表型性状的变异系数大于 30% 的性状有 5 个,分别为粒

色、株高、百粒重、茸毛色和花色,表明不同大豆种质的粒色、株高、百粒重、茸毛色和花色存在丰富的遗传变异,可为大豆的遗传改良和生物多样性保护提供物质基础。变异系数的差异也反映了不同表型性状对环境的响应<sup>[23]</sup>,结荚习性和子叶色变异系数最小,仅为 6.01% 和 6.77%,表明这些大豆种质的结荚习性和子叶色受环境影响较小。

通过聚类分析将 216 份大豆种质资源分为 4 类,类群的划分与地理位置没有表现出直接关系,呈现出多个地区混合分布特点,没有明确的地理位置分化类型。四川地处长江上游,垂直分布明显,适宜大豆的生长,大豆地方品种类型较多<sup>[22]</sup>。4 个类群在表型上具有各自的特征,育种者可根据育种目标选择不同类型的大豆材料。综上,本研究对四川省新收集的大豆地方种质进行了综合评价,初步分析了大豆种质资源的形态多样性,接下来将对大豆种质的产量、品质、耐阴性、抗虫性等抗逆性等目标性状进行精准鉴定,筛选出优异大豆资源并为大豆新品种选育提供良好的亲本材料。

4 结论

本研究对四川省新收集的 216 份大豆种质表型性状进行了多样性分析、主成分分析以及综合评价,结果表明四川省大豆种质资源分布范围广,表现出丰富的多样性。聚类分析将大豆种质分为了 4 类,生育期、株高、百粒重和粒色是构成大豆地方种质表型差异的主要因素。

参考文献

[1] KOFISKY J, ZHANG H, SONG B H. The untapped genetic reservoir: The past, current, and future applications of the wild soybean (*Glycine soja*) [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 949.

[2] NAWAZ M, LIN X, CHAN T F, et al. Korean wild soybeans (*Glycine soja* sieb & zucc.): Geographic distribution and germplasm conservation [J]. *Agronomy*, 2020, 10(2): 214.

[3] SHAIKU A S, IBRAHIM H, MIKO Z L, et al. Assessment of the genetic structure and diversity of soybean (*Glycine max* L.) germplasm using diversity array technology and single nucleotide polymorphism markers [J]. *Plants*, 2021, 11(1): 68.

[4] 卜远鹏, 刘娜, 张古文, 等. 菜用大豆种质资源的农艺性状多样性评价及核心种质与食味品质评价体系的构建 [J]. *浙江农业学报*, 2023, 35(6): 1307-1314. (BU Y P, LIU N, ZHANG G W, et al. Diversity evaluation of agronomic traits and construction of core collection and taste quality evaluation system in vegetable soybean germplasm resources [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2023, 35(6): 1307-1314.)

[5] 龙珏臣, 张继君, 龚万灼, 等. 重庆地区豌豆 (*Pisum sativum* L.) 种质资源收集与多样性分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(1): 137-145. (LONG J C, ZHANG J J, GONG W Z, et al. Field collection and genetic diversity analysis of pea (*Pisum sativum* L.) germplasm resource in Chongqing [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(1): 137-145.)

[6] 孙艳楠, 路耿新, 唐超, 等. 134 份皮燕麦种质资源生物学性状遗传多样性分析 [J]. *草地学报*, 2023(7): 1-12. (SUN Y N, LU G X, TANG C, et al. Genetic diversity of biological characters in 134 covered oats germplasm resources [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2023(7): 1-12.)

[7] 孟珊, 徐婷婷, 朱小品, 等. 江苏大豆地方种质资源表型多样性分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(2): 419-436. (MENG S, XU T T, ZHU X P, et al. Diversity analysis of soybean landraces collected from Jiangsu province using phenotypic traits [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(2): 419-436.)

[8] 阚媛珂, 项清, 杨泉, 等. 地理环境对南方丝绸之路四川段沿线古村镇分布的影响 [J]. *山地学报*, 2022, 40(6): 919-931. (KAN A K, XIANG Q, YANG X, et al. Influence of geographical environment on the distribution of ancient villages and towns along the sichuan section of chinese southern silk road [J]. *Mountain Research*. 2022, 40(6): 919-931.)

[9] 何泽民, 吴海英, 冯军, 等. 川渝地区大豆育种近 40 年的主要成就与发展策略 [J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(22): 32-34, 66. (HE Z M, WU H Y, FENG J, et al. Main achievements and development countermeasures of soybean breeding in Sichuan and Chongqing in recent 40 years [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(22): 32-34, 66.)

[10] YU X, FU X, YANG Q, et al. Genome-wide variation analysis of four vegetable soybean cultivars based on re-sequencing [J]. *Plants*, 2021, 11(1): 28.

[11] ZHU L, FENG L, YU X, et al. Development and application of an *in vitro* method to evaluate anthracnose resistance in soybean germplasm [J]. *Plants*, 2022, 11(5): 657.

[12] 张红梅, 熊雅文, 许文静, 等. 大豆 R6 期籽粒氨基酸含量的全基因组关联分析 [J]. *作物学报*, 2023, 49(12): 3277-3288. (ZHANG H M, XIONG Y W, XU W J, et al. Genome-wide association study for amino acid content at R6 stage in soybean (*Glycine max* L.) seed [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2023, 49(12): 3277-3288.)

[13] GUAN R X, CHANG R Z, LIU X X, et al. Establishment of screening method for salt tolerant soybean at emergence stage and screening of tolerant germplasm [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(1): 1-8.

[14] ZHAO M L, WANG L H, REN Y J, et al. Genetic diversity of phenotypic traits in 257 Jerusalem artichoke accessions [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(5): 712-724.

[15] 刘谢香, 常汝镇, 关荣霞, 等. 大豆出苗期耐盐性鉴定方法建立及耐盐种质筛选 [J]. *作物学报*, 2020, 46(1): 1-8. (LIU X X, CHANG R Z, GUAN R X, et al. Establishment of screening method for salt tolerant soybean at emergence stage and screening of tolerant germplasm [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(1): 1-8.)

[16] 宋丽君, 聂晓玉, 何磊磊, 等. 饲用大豆品种耐荫性鉴定指标筛选及综合评价 [J]. *作物学报*, 2021, 47(9): 1741-1752. (SONG L J, NIE X Y, HE L L, et al. Screening and comprehensive evaluation of shade tolerance of forage soybean varieties [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(9): 1741-1752.)

[17] 麻一博, 贾晓艳, 刘亚捷, 等. 玉米种质资源苞叶相关性状鉴定及综合评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(6): 1568-1579. (MA Y, JIA X Y, LIU Y J, et al. Identification and comprehensive evaluation of bract related traits of maize germplasm resources [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(6): 1568-1579.)

[18] 马啸. 老芒麦野生种质资源的遗传多样性及群体遗传结构研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2008. (MA X. Studies on genetic diversity and population structure in wild germplasm collections of *Elymus sibiricus* L. [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2008.)

[19] 文珊珊, 仲崇禄, 姜清彬, 等. 灰木莲种质资源遗传多样性的 SSR 分析 [J]. *分子植物育种*, 2017, 15(9): 3788-3797. (WEN S N, ZHONG C L, JIANG Q B, et al. Genetic diversity analysis of manglietia conferta dandy germplasm by SSR markers [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15(9): 3788-3797.)

[20] 黎松松, 赖建军, 张红梅, 等. 江苏鲜食春大豆种质资源表型鉴定及综合评价 [J]. *大豆科学*, 2022, 41(4): 385-396. (LI S S, LAI J J, ZHANG H M, et al. Phenotyping identification and comprehensive evaluation of fresh spring soybean germplasms in Jiangsu province [J]. *Soybean Science*, 2022, 41(4): 385-396.)

[21] 赵朝森, 赵现伟, 郭兵福, 等. 江西秋播不同来源大豆品质性状鉴定及优异种质筛选 [J]. *大豆科学*, 2022, 41(4): 413-419. (ZHAO C S, ZHAO X W, GUO B F, et al. Identification of quality characters and screening of excellent germplasm of soybean from different sources in autumn sowing in Jiangxi province [J]. *Soybean Science*, 2022, 41(4): 413-419.)

[22] 罗学刚, 曾明颖, 邹琦, 等. 四川不同海拔豆地生态及大豆生长发育变化研究 [J]. *应用与环境生物学报*, 1999(6): 557-560. (LUO X G, ZENG M Y, ZOU Q, et al. Study on soybean growth at different with varied elevations ecological circumstances in Sichuan [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 1999(6): 557-560.)

[23] 谭玉荣, 唐娟, 胡昌, 等. 东南亚大豆种质资源的鉴定评价及生育期划分 [J]. *大豆科学*, 2023, 42(4): 506-512. (TAN Y R, TANG J, HU C, et al. Identification and evaluation of soybean germplasm resource from southeast Asia [J]. *Soybean Science*, 2023, 42(4): 506-512.)