

四川省大豆种质资源收集与鉴定评价

范元芳, 王娴淑, 杨梅, 钟小娟, 项超

(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, 成都 610066)

摘要: 在“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”项目中, 调查和收集了四川省大豆地方种质资源, 鉴定了192份大豆种质资源的形态特征和主要农艺性状。收集的大豆种质资源来自四川省16个市(州)的41个县(区), 集中分布在雅安市、乐山市、广元市、巴中市和泸州市。结果表明, 大豆种质资源12个表型性状的变异系数范围在10.11%~57.62%之间, 单株粒数的变异系数最大, 叶绿素相对含量SPAD值的变异系数最小。相关分析结果表明, 株高、茎粗、分枝数、单株荚数、单株粒数之间呈极显著正相关, 百粒重与分枝数和单株荚数均呈极显著负相关。主成分分析提取到3个主成分, 累计贡献率达76.29%, 能够反映大豆种质资源表型性状的大部分信息。聚类分析将192份大豆种质资源划分为4个类群, 分别具有高百粒重、多荚、高SPAD值和叶柄长等不同的特征, 筛选出7份优异大豆种质资源。此外, 四川省大豆种质资源籽粒颜色和籽粒类型丰富。本研究揭示了四川省大豆种质资源表型的遗传多样性, 为高产大豆的亲本选择以及专用、特用大豆种质资源筛选提供理论依据。

关键词: 四川; 大豆; 种质资源; 调查收集; 鉴定评价

Collection, Identification and Evaluation of Soybean Germplasm Resources in Sichuan Province

FAN Yuanfang, WANG Xianshu, YANG Mei, ZHONG Xiaojuan, XIANG Chao

(Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/Environment-friendly Crop Germplasm Innovation and Genetic Improvement Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610066)

Abstract: Based on “the Third National Campaign of Crop Germplasm Census and Collection”, soybean germplasm resources were collected from different cities in Sichuan province. 192 soybean germplasm resources were identified the morphological features and major agronomic traits in the field. These soybean germplasm resources were collected from sixteen cities and forty-one counties, with enrichments at five cities including Ya'an, Leshan, Guangyuan, Bazhong and Luzhou. This study indicated that the coefficient of variation for 12 morphological traits ranged from 10.11% to 57.62%, with the highest coefficient of variation for seed number per plant and the lowest coefficient of variation for SPAD value. The results of correlation analysis showed that there was extremely significant positive correlation among plant height, stem diameter, branch number, pod number per plant and seed number per plant, while 100-seed weight was negatively correlated with branch number and pod number per plant. The results suggested that three principal components that showed a cumulative contribution rate of 76.29%, reflecting most of the morphological features by principal component analysis. 192 soybean germplasm resources were divided into four groups by cluster analysis, which had the

收稿日期: 2024-01-25 网络出版日期: 2024-04-18

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240125003>

第一作者研究方向为大豆种质资源鉴定与创新利用, E-mail: sau-fanyuanfang@foxmail.com

通信作者: 项超, 研究方向为豆类种质资源与遗传育种研究, E-mail: xc2011cib@163.com

基金项目: 四川省自然科学基金(2023NSFSC1176); 第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(111821301354052034); 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(1+3 ZYGG001); 农业种质资源普查(51000023T000009852064)

Foundation projects: Natural Science Foundation of Sichuan (2023NSFSC1176); The Third National Campaign of Crop Germplasm Census and Collection (111821301354052034); Sichuan Academy of Agricultural Sciences Project "1+9 Unveiling the List" (1+9KJGG001); Sichuan Provincial Finance Department (1+3 ZYGG001); Crop Germplasm Census (51000023T000009852064)

characteristics of big 100-seed weight, high pod number, high SPAD value and long petiole length, and seven elite soybean germplasm resources were selected. Additionally, soybean germplasm resources showed good genetic diversity in terms of seed color and seed types in Sichuan province. In summary, this study revealed the genetic diversity of soybean germplasm resources in Sichuan province. Ultimately, this study offers a theoretical basis for improving soybean breeding in terms of high yield parental lines and special soybean varieties.

Key words: Sichuan; soybean; germplasm resources; survey and collection; identification and evaluation

大豆(*Glycine max* (L.) Merr.)是一种重要的粮食和油料作物,在我国有着悠久的食用历史,其脂肪含量和蛋白质含量分别为20%和40%左右。大豆作为重要的油料和蛋白来源,其产油量占世界植物油总产量的58%^[1],为数百万人提供植物蛋白^[2]。种质资源在长期自然选择和人工选择过程中形成,携带多种不同的基因,是品种选育和研究生物学基础理论的基本材料,具有抗病、适应气候变化等优良性状^[3]。我国大量库存大豆资源尚未进行表型和基因型鉴定,难以进行育种利用^[4]。随着测序技术的发展,基因组信息增加,对表型数据的需求增加^[5]。种质资源收集、保存和鉴定是育种的前提,是研究植物遗传多样性最直观的方法^[6]。

我国是世界上大豆种质资源最多的国家,具有丰富的栽培大豆和野生大豆种质资源^[7]。目前,已有研究者对不同生态区大豆的主要农艺性状进行了鉴定评价工作。孟珊等^[8]对江苏省203份大豆种质资源的主要农艺性状进行了精准鉴定和多样性分析,筛选到7份优异大豆地方种质资源。韩岱等^[9]对黑龙江、吉林等地的60份大豆种质资源苗期的耐盐性进行了鉴定评价,筛选出耐盐品种12份。郭亚宁等^[10]在陕北地区对来源黑龙江的50份大豆种质资源的9个农艺性状进行了调查和综合评价,筛选到适合榆林种植的大豆种质资源,为陕北地区

大豆种质资源多样性和品种创新奠定基础。

四川省是大豆主产区之一,每年大豆种植面积在40万公顷以上^[11-12]。据国家统计局公布数据,2022年,四川省大豆的播种面积52万公顷,产量105.3万吨(<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103>)。四川省位于长江上游,土地类型包括山地、丘陵、平原和高原,气候复杂,具有适宜大豆生长的优良自然条件,同时也是我国最优质的高蛋白大豆产区^[13]。四川省农业科学院多年来从四川各地收集并保存大豆种质资源1000余份,在“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”项目中,新收集四川省41个重点农业县(区)的大豆种质资源716份。本研究对新收集的192份大豆种质资源进行扩繁,调查了大豆种质资源的形态特征和主要农艺性状,采用变异分析、主成分分析等多种方法对其进行评价,为四川地区大豆种质资源的开发应用提供参考依据,以期为大豆新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究供试的大豆材料由四川省“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”项目组提供,192份大豆种质资源详细信息如表1所示。

表1 不同大豆种质资源基础信息表

Table1 General information of the different soybean germplasm resources

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	来源 Origin
1	2022512040	汶川通山黄大豆	汶川县	9	2022512367	六月宝黄豆	恩阳区
2	2022512054	雅安早	汶川县	10	2022512369	田坎豆	恩阳区
3	2022515874	八月饱	巴州区	11	2022512377	花台村八月宝黄豆	恩阳区
4	2022513749	六月黄	南江县	12	2022512395	马鹿岩麻黄豆	恩阳区
5	2022513784	麻黄豆	南江县	13	2022512396	马鹿岩八月宝	恩阳区
6	2022515326	小黄豆二	通江县	14	2022512399	雪源小黄豆	恩阳区
7	2022515342	黄豆	通江县	15	2022515804	黄豆	巴州区
8	2022512366	太阳村八月宝黄豆	恩阳区	16	2022515825	本地黄豆	巴州区

表1(续)

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	来源 Origin
17	2022515853	黄豆	巴州区	61	2023515001	六月宝	沐川县
18	2022515888	八月黄	巴州区	62	2023515005	绿蓝子	沐川县
19	2018512041	八月黄	彭州市	63	2023515006	冬豆	沐川县
20	2018512079	三角豆	彭州市	64	2023515008	冬豆嘣	沐川县
21	2018512018	七月黄	彭州市	65	2023515009	绿兰嘣	沐川县
22	2018512078	小黄豆	彭州市	66	2023515015	阴山豆	沐川县
23	2022512006	彭州五月黄	彭州市	67	2023515026	白毛冬豆	沐川县
24	2022512016	彭州六月黄	彭州市	68	2023515027	黑冬豆	沐川县
25	2022512017	彭州黑豆	彭州市	69	2023515038	白冬豆	沐川县
26	2023517388	小黄豆	龙泉驿区	70	2023515105	小五月豆	犍为县
27	2023517395	黄豆	龙泉驿区	71	2023515106	五月豆	犍为县
28	2023517276	黄豆	龙泉驿区	72	2023515107	土黄豆1	犍为县
29	2023517277	黄豆	龙泉驿区	73	2023515108	冬豆1	犍为县
30	2023517287	黄豆	龙泉驿区	74	2023515109	黑豆1	犍为县
31	2023517297	黄豆	龙泉驿区	75	2023515122	黑豆2	犍为县
32	2023517361	九月黄	龙泉驿区	76	2023515123	五月豆2	犍为县
33	2023517364	黑豆	龙泉驿区	77	2023515124	土黄豆2	犍为县
34	2023517365	八月黄	龙泉驿区	78	2023515125	土黄豆3	犍为县
35	2023517366	小黄豆	龙泉驿区	79	2023515126	冬豆2	犍为县
36	2022514274	大豆	宣汉县	80	2023515129	白毛毛黄豆	犍为县
37	2022514320	大豆	万源市	81	2023515144	冬大豆	犍为县
38	2022514332	土黄豆	万源市	82	2023515158	白毛早豆	犍为县
39	2022514374	大豆	万源市	83	2023515161	春大豆	犍为县
40	2022514521	本地黄豆	康定市	84	2023515162	土黄豆4	犍为县
41	2022514096	黄豆	华蓥市	85	2023515182	土黄豆5	犍为县
42	2022514159	黑大豆	华蓥市	86	2023515186	冬豆4	犍为县
43	2019512170	大黄豆	旺苍县	87	2023515189	土黄豆7	犍为县
44	2022512183	歧坪九月黄	苍溪县	88	2023515200	黑豆3	犍为县
45	2022512213	烟灯大黄豆	平昌县	89	2023515210	冬豆5	犍为县
46	2022512223	赶谷黄	平昌县	90	2023517143	黄豆	峨边彝族自治县
47	2022512224	鸡母跖	平昌县	91	2023517237	绿皮大豆	峨边彝族自治县
48	2022512275	石狮六月黄	平昌县	92	P511124046	冬豆子	井研县
49	2022512304	东庄六月豆	平昌县	93	2022516173	黑豆	昭觉县
50	2022512314	万兴六月黄	平昌县	94	2022516181	黄豆	昭觉县
51	2022516353	本地黄豆	青川县	95	2022516188	黄豆	昭觉县
52	2022516366	小黄豆	青川县	96	2022516193	黄豆	昭觉县
53	2022516373	黑豆	青川县	97	2022516224	黄豆	昭觉县
54	2022516376	小黄豆	青川县	98	2022516233	灰豆	昭觉县
55	2022516425	小黑豆	剑阁县	99	2022516241	灰豆	昭觉县
56	2022516435	黄豆	剑阁县	100	2022516248	黄豆	昭觉县
57	2022516448	蜂包豆	剑阁县	101	2022516267	黄豆	越西县
58	2022516464	本地黄豆	剑阁县	102	2022516285	黄豆	越西县
59	2019515245	绿兰嘣	沐川县	103	2022516306	黄豆	越西县
60	2023517525	本地大豆	峨眉山市	104	2022516323	黄豆	越西县

表1(续)

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	来源 Origin
105	2022516340	黄豆	越西县	149	2022514666	黑毛豆	盐边县
106	2022516286	黄豆	越西县	150	2022514667	白毛豆	盐边县
107	2022516091	黑豆	古蔺县	151	2022514697	绿黄豆	盐边县
108	2022516095	黄豆	古蔺县	152	P510421003	黑黄豆	米易县
109	2022516096	绿兰豆	古蔺县	153	2020516082	绿皮黄豆	荣经县
110	2022516099	黑豆	古蔺县	154	2022516003	黄豆	荣经县
111	2022516108	黄豆	古蔺县	155	2022516006	黄豆	荣经县
112	2022516116	黄皮豆	古蔺县	156	2022516019	小白毛	荣经县
113	P510525037	大青豆	古蔺县	157	2022516042	黄豆	荣经县
114	P510525038	小青豆	古蔺县	158	2022516060	黄豆	荣经县
115	P510525039	黄豆	古蔺县	159	2022517001	黄豆	芦山县
116	P510524022	小白毛豆	叙永县	160	2022517077	大豆	芦山县
117	P510525036	黑豆	古蔺县	161	2022517136	本地黄豆	芦山县
118	2019515167	黑大豆	洪雅县	162	2022517142	大豆	芦山县
119	2019515190	大豆	洪雅县	163	P511802008	黄壳豆	雨城区
120	2022515411	早豆	洪雅县	164	P511802013	白毛子黄豆	雨城区
121	2022515420	黑大豆	洪雅县	165	P511802020	本地绿皮豆	雨城区
122	2022515436	黄壳子	洪雅县	166	P511802028	本地九月黄	雨城区
123	2022515437	三月豆	洪雅县	167	P511823034	红嘴豆	汉源县
124	2022515446	黄豆	洪雅县	168	P511823035	白毛豆	汉源县
125	2022517204	黄豆	仁寿县	169	P511824050	本地黑豆	石棉县
126	2022517257	黄豆	仁寿县	170	P511824051	本地小白毛	石棉县
127	2022517283	大冬豆	仁寿县	171	P511824054	本地黄豆	石棉县
128	2022517284	大冬豆	仁寿县	172	2023517001	豆子	汉源县
129	2022517291	冬大豆	仁寿县	173	2023517002	黄豆	汉源县
130	2022517322	冬豆	仁寿县	174	2023517018	黄豆	汉源县
131	2022517347	黑豆	仁寿县	175	2023517022	黄豆	汉源县
132	2022517364	小冬豆	仁寿县	176	2023517039	白毛豆	汉源县
133	2022517372	姜黄豆	仁寿县	177	2023517042	花豆子	汉源县
134	2022517378	大豆	仁寿县	178	2023517053	绿皮大豆	汉源县
135	2022517387	黑豆	仁寿县	179	2023517054	小灰毛豆	汉源县
136	2022517400	小冬豆	仁寿县	180	2023517055	黑皮大豆	汉源县
137	2022517438	早豆	仁寿县	181	2023517062	日本豆	汉源县
138	P511424053	毛豆	丹棱县	182	2023517083	白毛子	汉源县
139	2019511232	大豆	平武县	183	2023517084	高山早豆子	汉源县
140	2019511201	黄豆	平武县	184	2023517085	牛毛豆	汉源县
141	2019511240	大豆	平武县	185	2023517106	大豆	汉源县
142	2019511252	大豆	平武县	186	2023517122	黄豆	汉源县
143	2022514014	黑大豆	仪陇县	187	2023517127	灰毛豆	汉源县
144	2022513670	黄豆	米易县	188	2019513271	晚豆	长宁县
145	2022513679	黄豆	米易县	189	2019513324	小冬豆	长宁县
146	2022514607	黄豆	盐边县	190	2022513951	早黄豆	珙县
147	2022514624	小黄豆	盐边县	191	P511503049	绿心豆	南溪区
148	2022514654	黄豆	盐边县	192	P511529040	扇子豆	屏山县

1.2 试验设计

2023年6月15日,试验材料播种在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)。每份大豆种质资源种植8行,每行15株,行距0.5 m,穴距0.2 m,2次重复。每穴3~4粒,在大豆V1期(一节期,第一片复叶小叶片的叶缘分离)进行定植,每穴2株,田间管理参照当地常规管理方法^[14]。

1.3 农艺性状调查

根据邱丽娟等^[15]《大豆种质资源描述规范和数据标准》对供试的192份大豆种质资源的形态特征和田间主要农艺性状数据进行了调查。农艺性状主要包括生育期、株高、茎粗、叶柄长、叶长、叶宽、小叶面积、分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重、叶绿素相对含量SPAD值等12个表型性状。

SPAD值测定。采用SPAD 520叶绿素仪测定大豆功能叶片的叶绿素含量,在大豆V5期(五节期,第五片复叶小叶片的叶缘分离)选择长势一致的大豆植株5株,避开叶脉,测定倒三叶的SPAD

值,取仪器读数的平均值,3次重复。

1.4 数据分析

数据采用IBM SPSS Statistics 20软件对相关表型数据进行统计分析;Microsoft Excel 2020软件计算数据;Origin 2021和Adobe Photoshop CC2019软件作图;主成分分析、聚类分析等计算方法参照韩丽丽等^[16]。

2 结果与分析

2.1 大豆种质资源地区分布及类型

四川省是地势最为复杂的省份之一,地貌形态类型以山地为主,占全省面积的65%左右,高原和丘陵次之,平原和台地较少^[17]。地理分布表明,大豆种质资源收集地点的海拔范围在257.00~2563.53 m,经度跨度101.26~108.43 °E,纬度跨度26.45~32.53 °N,其中500~1000 m、102~104 °E和28~30 °N区域内分布的大豆种质资源份数最多,分别为72份、91份和107份(图1A~C)。192份大

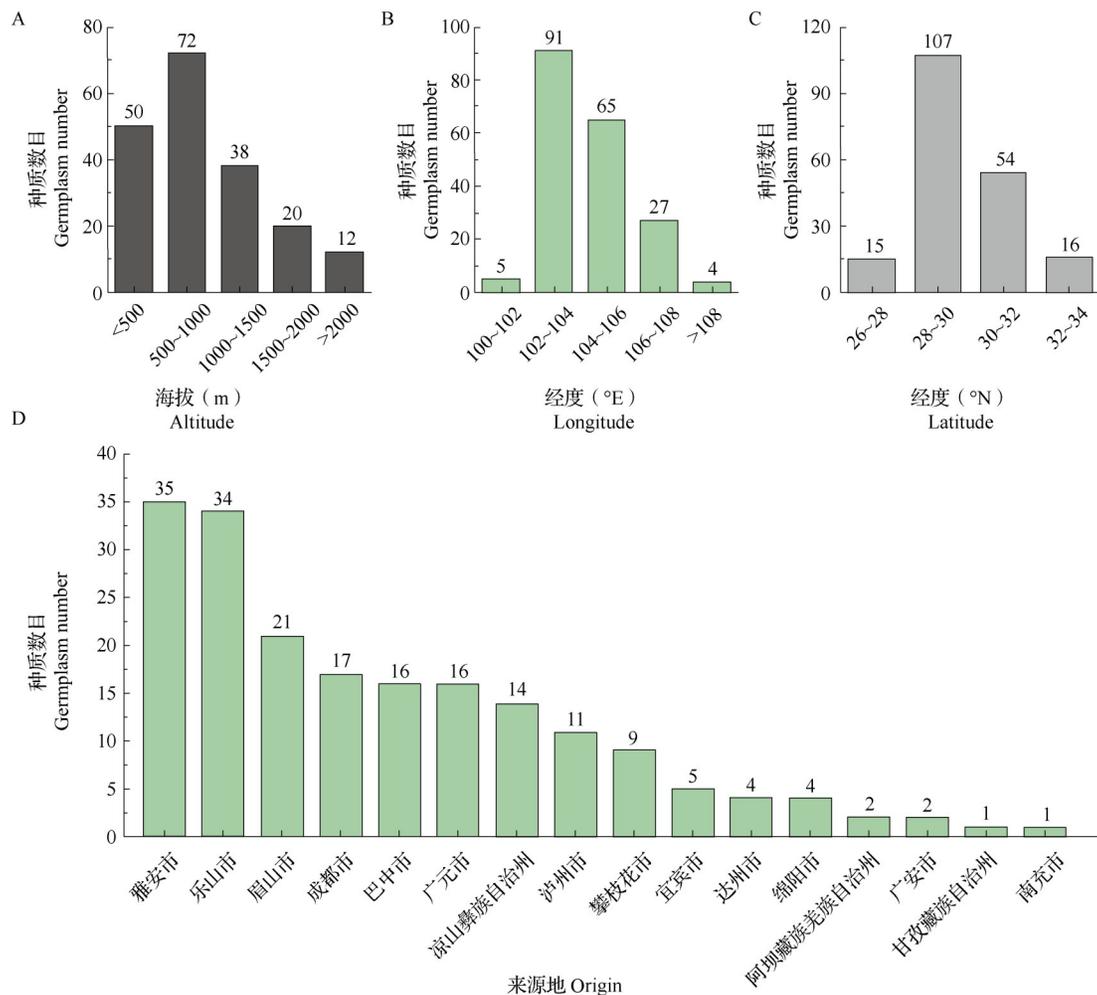


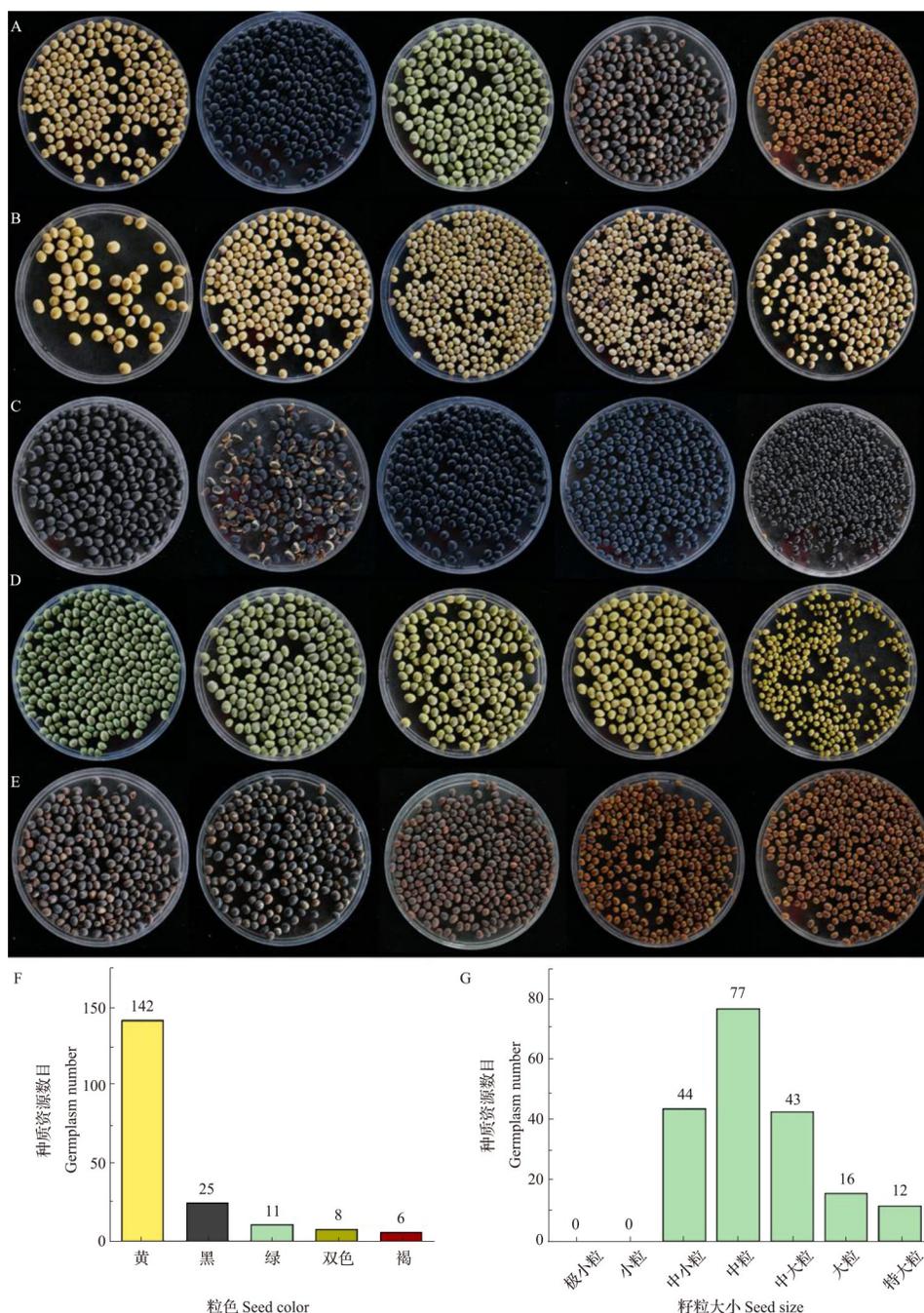
图1 四川省大豆种质资源地区分布

Fig.1 Regional distribution of soybean germplasm collected in Sichuan province

豆种质资源来自全省16个市(州)的41个县(区),其中雅安市收集的大豆种质资源份数最多(35份),其次是乐山市(34份),南充市和甘孜藏族自治州收集的资源份数最少,分别为1份(图1D)。

对192份大豆种质资源的籽粒大小和籽粒颜色进行分类,结果表明四川省大豆种质资源种类丰富(图2)。籽粒颜色主要包括黄、黑、绿、双色、褐5种类型(图2A),分别占73.96%、13.02%、5.73%、

4.17%、3.13%(图2F),其中每一类型有颜色深浅之分(图2B~E)。根据大豆籽粒百粒重可将籽粒划分为极小粒(<5.0 g)、小粒(5.0~9.9 g)、中小粒(10.0~14.9 g)、中粒(15.0~19.9 g)、中大粒(20.0~24.9 g)、大粒(25~29.9 g)、特大粒(>30 g)等类型,其中中粒型大豆份数最多(77份),其次是中小粒型(44份)和中大粒型(43份),大粒型和特大粒型分别为16份和12份,没有极小粒和小粒型大豆种质资源(图2G)。



A:不同籽粒颜色大豆种质;B~C:不同籽粒大小大豆种质;D:深浅不同的绿色大豆种质;E:双色以及褐色大豆种质

A: Soybean germplasm with different seed color; B-C: Soybean germplasm with different seed size; D: Soybean germplasm in different shades of green color; E: Two-color and brown soybean germplasm

图2 四川省大豆种质资源分类

Fig. 2 Soybean germplasm identification and classification in Sichuan province

2.2 大豆种质资源表型性状多样性分析

192份大豆种质资源的株高、茎粗、生育期、叶柄长、叶长、叶宽、小叶面积、SPAD值、分枝数、百粒重、单株荚数、单株粒数等12个田间表型性状变异程度较大,变异系数范围为10.11%~57.62%(表2和图3)。单株粒数的变异系数最大(57.62%),其次是单株荚数(55.95%);生育期和SPAD值的变异系数较小,分别为11.70%和10.11%。大豆种质资源生育期最

短的为85 d,最长的为128 d;单株粒数的变幅范围在41.00~1086.33,其中平昌烟灯大黄豆(2022512213)的单株粒数最少,八月饱(2022515874)的单株粒数最多。192份大豆种质资源的单株荚数在20.00~601.67之间,其中单株荚数在50.00~100.00之间的大豆种质资源最多,占比39.58%。结果表明,四川省大豆种质资源12个表型性状的遗传变异丰富,可为大豆新品种选育提供物质基础。

表2 大豆种质资源主要形态特征多样性分析

Table 2 Diversity analysis of major morphological characteristics of soybean germplasm resources

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
生育期(d)Growth period	85.00	128.00	105.88	12.39	11.70
叶柄长(cm)Petiole length	6.78	30.63	18.02	4.82	26.76
叶长(cm)Leaf length	5.90	18.75	11.91	2.61	21.91
叶宽(cm)Leaf width	3.01	14.44	7.46	2.32	31.06
小叶面积(cm ²)Leaf area	16.02	181.40	64.82	32.06	49.46
SPAD值 SPAD value	33.87	57.53	45.91	4.64	10.11
株高(cm)Plant height	12.00	109.33	43.94	19.48	44.33
茎粗(mm)Stem diameter	2.74	15.52	8.67	2.37	27.32
分枝数 Number of branches	2.00	9.67	5.41	1.28	23.59
单株荚数 Pod number per plant	20.00	601.67	122.30	68.43	55.95
单株粒数 Seed number per plant	41.00	1086.33	212.11	122.22	57.62
百粒重(g)100-seed weight	10.03	44.70	19.40	6.13	31.60

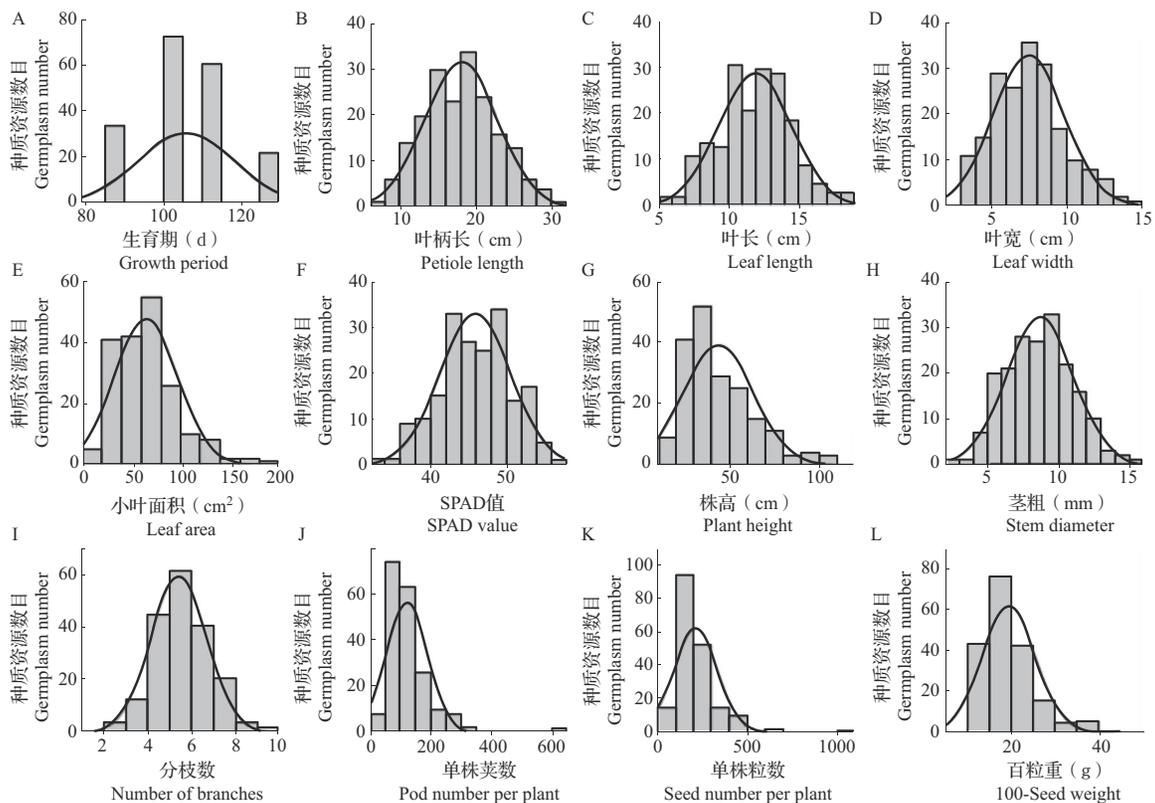


图3 大豆种质资源的主要形态特征性状分布

Fig.3 Distribution of major morphological characteristics in soybean germplasm resources

2.3 大豆种质资源主要表型性状相关性分析

如表3所示,四川省大豆种质资源主要表型性状之间存在显著或极显著相关性。生育期与叶柄长、叶长、叶宽、小叶面积、SPAD值等11个表型性状均呈极显著相关;小叶面积与叶长、叶宽呈极显著正相关,相关系数分别为0.93和0.97;SPAD值与生育期、叶柄长、叶长、叶宽、小叶面积、株高、茎粗、单株荚数、单株粒数均呈极显著负相关,与百粒重、分枝数不相关。单株荚数与单株粒数的相关系

数为0.97;单株荚数和单株粒数与SPAD值、百粒重均呈极显著负相关,与生育期、叶柄长、叶长、叶宽、小叶面积等性状均呈极显著正相关。分枝数与单株粒数、单株荚数呈极显著正相关,与百粒重均呈极显著负相关。株高、茎粗、分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重是影响大豆产量的重要因素,在生育期、株高适宜条件下调整分枝数、单株荚数、单株粒数和百粒重可在一定的范围内提高大豆产量。

表3 大豆种质资源主要形态特征性状相关分析

Table 3 Correlation analysis of main morphological characteristics in soybean germplasm resources

性状 Traits	生育期 Growth period	叶柄长 Petiole length	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	小叶 面积 Leaf area	SPAD 值 SPAD value	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	分枝数 Number of branches	单株 荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重 100- seed weight
生育期 Growth period	1.00											
叶柄长 Petiole length	0.46**	1.00										
叶长 Leaf length	0.51**	0.71**	1.00									
叶宽 Leaf width	0.58**	0.68**	0.88**	1.00								
小叶面积 Leaf area	0.52**	0.70**	0.93**	0.97**	1.00							
SPAD值 SPAD value	-0.35**	-0.17*	-0.21**	-0.22**	-0.21**	1.00						
株高 Plant height	0.55**	0.55**	0.64**	0.66**	0.65**	-0.39**	1.00					
茎粗 Stem diameter	0.54**	0.51**	0.59**	0.56**	0.55**	-0.20**	0.49**	1.00				
分枝数 Number of branches	0.21**	0.20**	0.22**	0.17*	0.17*	-0.12	0.36**	0.51**	1.00			
单株荚数 Pod number per plant	0.41**	0.31**	0.35**	0.30**	0.30**	-0.25**	0.43**	0.63**	0.66**	1.00		
单株粒数 Seed number per plant	0.37**	0.25**	0.29**	0.24**	0.24**	-0.21**	0.39**	0.59**	0.67**	0.97**	1.00	
百粒重 100-seed weight	0.25**	0.26**	0.28**	0.37**	0.31**	0.08	0.17*	0.21**	-0.21**	-0.24**	-0.28**	1.00

*表示在0.05水平上相关性显著,**表示在0.01水平上相关性显著

* indicates significant correlation at 0.05 level, ** indicates significant correlation at 0.01 level

2.4 大豆种质资源主要形态特征性状主成分分析

对 192 份大豆种质资源的 12 个主要表型性状进行主成分分析(表 4), 确定了 3 个主成分(特征值大于 1), 其贡献率分别是 47.72%、20.00%、8.57%, 累计贡献率达 76.29%, 综合反映了 12 个表型性状的大部分信息, 可用于大豆种质资源表型性状的综合评价。第一主成分的因子贡献率较高(47.72%), 主要代表了与大豆植株形态特征相关的因子, 包括

生育期(0.71)、叶柄长(0.75)、叶长(0.86)、叶宽(0.86)、小叶面积(0.85)、株高(0.79)、茎粗(0.79), 贡献最大的为叶长; 第二主成分的因子贡献率为 20.00%, 主要代表了与大豆产量构成相关的因子, 包括分枝数(-0.65)、单株荚数(-0.68)、单株粒数(-0.73)和百粒重(0.67); 第三主成分的因子贡献率为 8.57%, 主要代表了叶绿素相对含量 SPAD 值(0.86)。

表 4 大豆种质资源主要形态特征性状的主成分分析

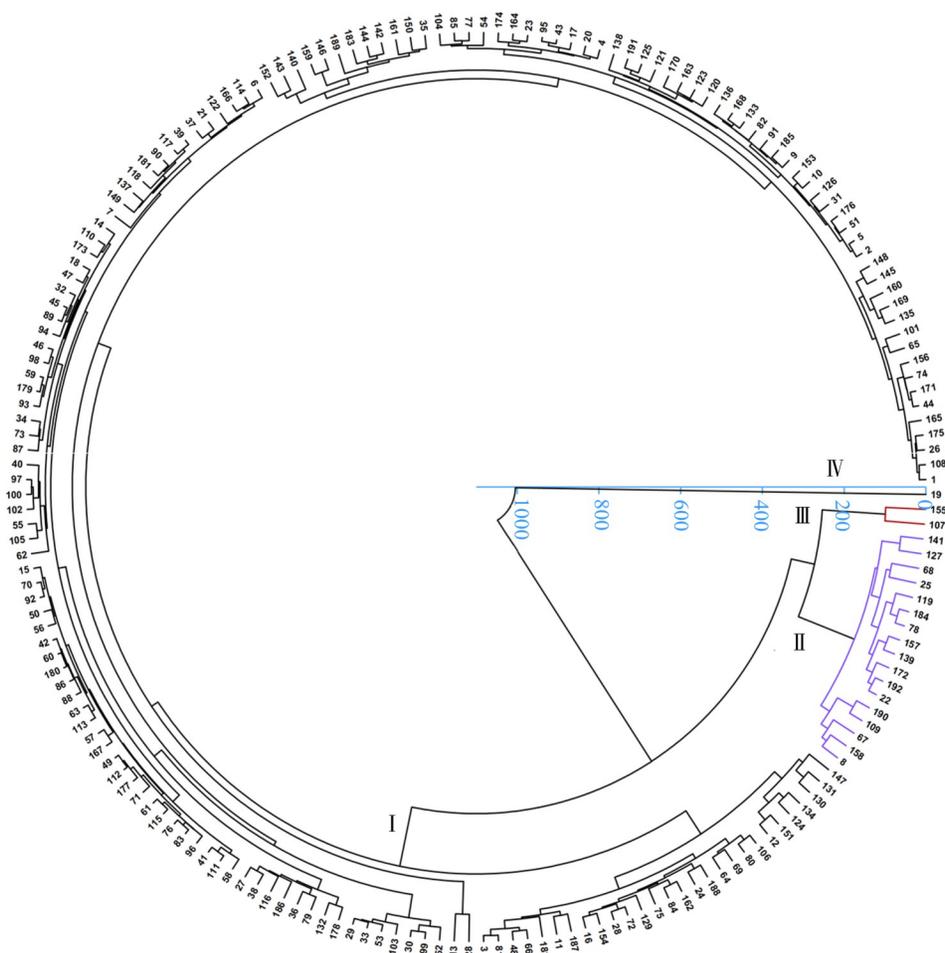
Table 4 Principal component analysis of major morphological characteristics in soybean germplasm resources

性状 Traits	主成分 Principal components		
	PC1	PC2	PC3
特征值 Eigenvalue	5.73	2.40	1.03
贡献率(%) Contribution rate	47.72	20.00	8.57
累积贡献率(%) Cumulative contribution rate	47.72	67.72	76.29
生育期 Growth period	0.71	0.07	-0.23
叶柄长 Petiole length	0.75	0.27	0.09
叶长 Leaf length	0.86	0.32	0.08
叶宽 Leaf width	0.86	0.40	0.04
小叶面积 Leaf area	0.85	0.39	0.05
SPAD 值 SPAD value	-0.36	0.12	0.86
株高 Plant height	0.79	0.06	-0.23
茎粗 Stem diameter	0.79	-0.18	0.22
分枝数 Number of branches	0.49	-0.65	0.21
单株荚数 Pod number per plant	0.66	-0.68	0.08
单株粒数 Seed number per plant	0.61	-0.73	0.10
百粒重 100-seed weight	0.22	0.67	0.22

2.5 大豆种质资源主要形态特征性状聚类分析

对 192 份四川省大豆种质资源的 12 个表型性状进行聚类分析(图 4), 结果表明 192 份大豆种质资源可划分为 4 个类群, 各类群主要表型性状如表 5 所示。第 I 类群有 172 份大豆种质资源, 生育期最短, 叶柄长、茎粗、分枝数、单株荚数和单株粒数最低, 百粒重最高, 包括阴山豆、三角豆、彭州五月

黄等。第 II 类群有 17 份大豆种质资源, SPAD 值最低, 叶柄最长, 包括高山早豆子、扇子豆、姜黄豆等。第 III 类群包括土黄豆 4 和本地黄豆 2 份大豆种质资源, 叶长、叶宽、小叶面积和株高最低, SPAD 值和茎粗最高。第 IV 类群包括 1 份大豆种质资源(八月饱), 生育期、叶长、叶宽、小叶面积、株高、分枝数、单株荚数和单株粒数最高, 百粒重最低。



图中序号同表1,下同

The number in the figure is the same as table 1, the same as below

图4 大豆种质资源表型性状聚类分析

Fig.4 Cluster map of soybean germplasm resources in Sichuan province

表5 聚类分析的4个类群的表型性状

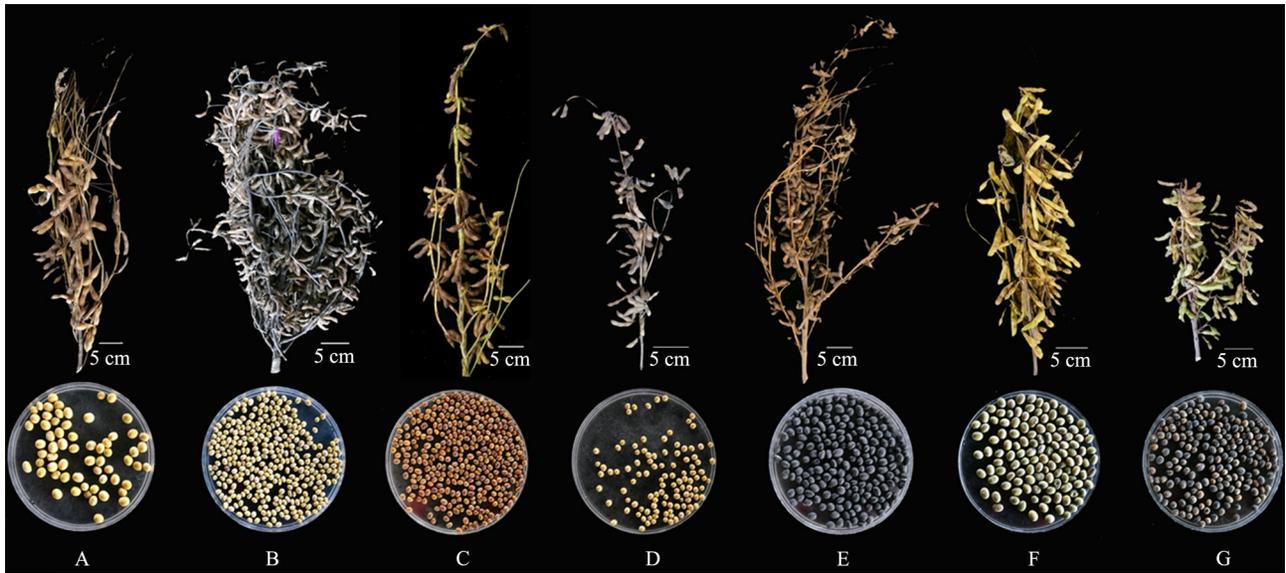
Table 5 Morphological traits of four groups by cluster analysis

性状 Traits	类群 Group			
	I	II	III	IV
生育期(d)Growth period	104.82	114.47	113.00	128.00
叶柄长(cm)Petiole length	17.82	19.88	19.03	18.59
叶长(cm)Leaf length	11.74	13.59	11.44	13.68
叶宽(cm)Leaf width	7.35	8.58	6.66	9.10
小叶面积(cm ²)Leaf area	63.15	81.40	59.24	82.38
SPAD值 SPAD value	46.12	43.53	48.32	45.50
株高(cm)Plant height	42.22	60.30	38.17	73.67
茎粗(mm)Stem diameter	8.34	11.32	13.51	11.17
分枝数 Number of branches	5.22	6.87	8.00	9.33
单株荚数 Pod number per plant	105.60	238.69	330.17	601.67
单株粒数 Seed number per plant	181.14	422.65	648.67	1086.33
百粒重(g)100-seed weight	19.83	16.58	11.27	10.20

2.6 优异大豆种质资源鉴定筛选

根据大豆种质资源的田间形态特征以及主要农艺性状鉴定分析,筛选出阴山豆、八月饱、马鹿岩麻黄豆、雪源小黄豆、黑皮大豆、绿皮黄豆和大豆等7份优异大豆种质资源,这7份大豆种质资源的株型优异、产量较高,生育期在103~128 d之间,适合作为育种亲本(图5、表6)。阴山豆(图5A)、黑皮大豆(图5E)、绿皮黄豆(图5F)株型收敛,单株荚数和单株粒数较多,籽粒颜色丰富,是一类优异的有色大豆种质资源,可作为专用、特用功能型营养大豆育种亲本。八月饱(图5B)株型分散,多分枝(9.3),百粒重仅10.2 g,是目前收集到百粒重最小的大豆种

质资源,其单株荚数和单株粒数最高,分别为601.7和1086.30,该资源对大豆育种材料的产量性状改良具有较高的利用价值。马鹿岩麻黄豆(图5C),棕色小籽粒,百粒重11.3 g,单株荚数136.3,单株粒数239.3,该资源粒型饱满有光泽,外观品质佳,可作为小粒型有色大豆育种材料。雪源小黄豆(图5D),籽粒小,百粒重10.9 g,分枝少(平均分枝数为3.5),是目前收集到株型收敛的小粒型大豆种质资源,可作为豆芽、纳豆等专用类型大豆育种亲本。大豆(图5G)是双色大豆类型中的虎斑,籽粒呈螺旋花纹,百粒重21.1 g,单株荚数118.7,单株粒数217.3。



A: 阴山豆; B: 八月饱; C: 马鹿岩麻黄豆; D: 雪源小黄豆; E: 黑皮大豆; F: 绿皮黄豆; G: 大豆

A: Yingshan soybean; B: Bayuebao soybean; C: Maluyanma soybean; D: Xueyuan soybean; E: Black soybean; F: Green soybean; G: Soybean

图5 优异大豆种质资源

Fig.5 Excellent soybean germplasm resources for agronomic traits

表6 优异大豆种质资源的表型性状

Table 6 Morphological traits of excellent soybean germplasm resources

序号 No.	采集编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	株高(cm) Plant height	生育期(d) Growth period	粒色 Seed color	分枝数 Number of branches	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重(g) 100-seed weight
66	2023515015	阴山豆	60.0	113	黄	7.0	83.0	141.0	44.7
3	2022515874	八月饱	73.7	128	黄	9.3	601.7	1086.3	10.2
12	2022512395	马鹿岩麻黄豆	71.3	113	褐	5.3	136.3	239.3	11.3
14	2022512399	雪源小黄豆	32.0	103	黄	3.5	22.5	61.5	10.9
180	2023517055	黑皮大豆	69.0	113	黑	5.3	136.7	233.7	27.1
153	2020516082	绿皮黄豆	46.3	103	绿	4.7	79.3	155.3	29.5
185	2023517106	大豆	31.7	103	双色	6.7	118.7	217.3	21.1

3 讨论

四川省地势复杂,地貌形态类型以山地和丘陵为主,2018-2023年对四川省农作物种质资源调查发现,大豆种质资源收集地点的海拔范围在257.00~2563.53 m之间,资源主要集中分布在500.00~1000.00 m,其中雅安市、乐山市和眉山市收集的大豆种质资源份数最多,占鉴定大豆种质资源总份数的46.88%。四川省大豆种植历史悠久,大豆种质资源丰富^[18],具有较好的遗传多样性,存在早、中、晚熟型,大、中、小粒型,黄、黑、绿、双色、褐等各种类型,其中黄豆和黑豆分别占73.96%和13.02%;同时也筛选出具有多荚、株高适宜、株型收敛等高产特性和有色、多种粒型的优异大豆种质资源7份,这些大豆种质资源可作为专用、特用功能型营养大豆育种亲本,也可作为高产、优质和籽粒大小等关键性状基因挖掘的基础材料。随着人们健康饮食意识的增强,膳食结构的改变,大豆食用方式呈多元化发展^[19]。不同籽粒颜色的大豆具有不同的功能,鲜食青大豆受到消费者的喜爱,“双青豆”色泽青绿、种皮、子叶均为绿色^[20-21]。白兴梁^[22]对黄豆、黑豆和青豆等8个大豆品种的大豆异黄酮含量分析发现小黑豆的大豆异黄酮含量最高,丹波黑豆、青仁乌豆的大豆异黄酮含量较低。食用黑豆在预防肥胖、延缓衰老等方面具有一定的功效^[23-24],小粒大豆在韩国、日本的需求量逐年增加^[19]。由此可见,不同籽粒颜色大豆种质资源的营养成分、保健功能存在差异^[25-26]。此次鉴定的192份大豆种质资源中,共有黄、黑、绿、双色、褐5种类型,分别占73.96%、13.02%、5.73%、4.17%、3.13%;中粒型、中小粒型、中大粒型、大粒型和特大粒型等5种籽粒类型的大豆份数分别为77份、44份、43份、16份和12份,表明四川大豆种质资源将在多样化大豆新品种培育研究过程中发挥重要作用,根据不同育种目标可对其充分挖掘利用,进一步培育多样化的大豆新品种,如富含大豆异黄酮、花色苷的黑豆、褐色、双色等深色大豆和生产豆芽、纳豆的特用类型的小粒型大豆,促进四川大豆产业的快速发展。

农作物种质资源的收集、保护、鉴定利用是现代种业发展的物质基础^[27]。农作物种质表型性状多样性分析为其开发利用提供重要依据^[28]。本研究中12个表型性状的变异系数范围在10.11%~57.62%,单株粒数的变异系数最高,其变幅范围在41.00~1086.33 g之间,表明四川省大豆种质资源产

量相关性状的差异较大。相关性分析结果表明,株高、茎粗、分枝数、单株荚数、单株粒数之间呈极显著正相关,百粒重与分枝数和单株荚数均呈极显著负相关,这与王小翠等^[29]研究结果相似,因此在育种过程中可以适当降低百粒重,增加单株荚数和分枝数等产量构成因素以实现大豆增产。主成分分析将四川大豆种质资源12个表型性状划分为3个主成分,累计贡献率为76.29%,较好的解释了四川大豆种质资源表型性状的大部分信息。聚类分析将192份大豆种质资源划分为4个类群,分别具有不同的特性,第I类群具有高百粒重,生育期短,分枝数、单株荚数和单株粒数少等特征,可以作为早熟大豆育种亲本,第IV类群的这些性状特征则与第I类群相反,生育期最长,分枝数、单株荚数和单株粒数最多,可以作为小粒大豆育种亲本材料。第II类群SPAD值最低,叶柄长最长,第III类群小叶面积和株高最低,SPAD值和茎粗最高,可作为研究大豆叶片光合作用的相关材料。本研究初步探究了四川省新收集的大豆地方种质资源的多样性,已收集和鉴定的有色大豆种质资源具有较强的环境适应性,下一步将对其蛋白质含量、脂肪含量以及大豆异黄酮等营养成分进行鉴定分析,为创新利用培育高产、高蛋白、食用多元化大豆品种提供物质基础和理论依据。

参考文献

- [1] Kumar A, Sharma N, Kumar R, Sanadya S, Sahoo S, Yadav M. Study of genetic variability parameters for seed yield and its component traits in mungbean germplasm under arid environment. *The Pharma Innovation Journal*, 2022, 11(2): 2411-2414
- [2] Reena R, Muhammad A, Saleem U R, Muhammad H, Zahid M, Muhammad R, Hussein S, Ghulam R. Field screening of diverse soybean germplasm to characterize their adaptability under long-day condition. *Agronomy*, 13(9): 1-18
- [3] Seong H K, Jeong W J, Xiao H W, Myoung J S, On S H, Bo K H, Bum S H. Diversity characterization of soybean germplasm seeds using image analysis. *Agronomy*, 13(9): 1-13
- [4] 徐江源, 高华伟, 邱丽娟. 我国库存大豆资源表型和基因型数据库构建//中国作物学会. 第二十届中国作物学会学术年会论文摘要集. 中国农业科学院作物科学研究所, 2023: 1
Xu J Y, Gao H W, Qiu L J. Construction of phenotypic and genotypic database for soybean inventory resources in China//Crop Science Society of China. Collection of abstracts from the 20th academic annual conference of the crop science society of China. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of

- Agricultural Sciences, 2023:1
- [5] Robert T F, Mark T. Phenomics-technologies to relieve the phenotyping bottleneck. *Trends in Plant Science*, 2011, 12 (16): 635-644
- [6] 李香, 袁必局, 张叶, 罗金环, 羊金殿, 符洁, 张孟锦. 46份卡特兰种质资源表型性状遗传多样性分析. *分子植物育种*, 2024, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231225.0956.004.html>
- Li X, Yuan B J, Zhang Y, Luo J H, Yang J D, Fu J, Zhang M J. Analysis of genetic diversity of phenotypic traits of 46 cattleya germplasm resources. *Molecular Plant Breeding*, 2024, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231225.0956.004.html>
- [7] Berhane S. G, Zhang S R, Muhammad A, Qi J, Kwadwo G. B, Feng Y, Liu Y, Li J, Li B, Sun J M. Natural variations and geographical distributions of seed carotenoids and chlorophylls in 1167 Chinese soybean accessions. *Journal of Integrative Agriculture*, 2023, 22(9): 2632-2647
- [8] 孟珊, 徐婷婷, 朱小品, 狄佳春, 朱银, 杨欣, 邹淑琼, 杨雪, 覃翠华, 颜伟. 江苏大豆地方种质资源表型多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(2): 419-436
- Meng S, Xu T T, Zhu X P, Di J C, Zhu Y, Yang X, Zou S Q, Yang X, Qin C H, Yan W. Diversity analysis of soybean landraces collected from Jiangsu province using phenotypic traits. *Journal of Plant Genetic Resource*, 2023, 24 (2) : 419-436
- [9] 韩岱, 时晓磊, 丁孙磊, 张金波, 严勇亮. 60份大豆种质资源苗期耐盐性鉴定评价. *大豆科学*, 2023, 42(4): 494-505
- Han D, Shi X L, Ding S L, Zhang J B, Yan Y L. Evaluation of salt tolerance in 60 soybean germplasm resources at seeding stage. *Soybean Science*, 2023, 42(4): 494-505
- [10] 郭亚宁, 张盼盼, 杜吉到, 李世如, 张雄. 大豆种质资源的收集与鉴定. *陕西农业科学*, 2022, 68(3): 70-74
- Guo Y N, Zhang P P, Du J D, Li S R, Zhang X. Collection and identification of soybean resources. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 68(3):70-74
- [11] 常洁, 林正雨, 高文波, 杜兴端. 四川省大豆生产格局变化及驱动因素研究. *中国生态农业学报*, 2024, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1432.S.20231106.1621.002.html>
- Chang J, Lin Z Y, Gao W B, Du X D. Spatiotemporal evolution and driving factors of soybean production in Sichuan province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1432.S.20231106.1621.002.html>
- [12] 杨文英, 于晓波, 安建刚, 曾召琼, 冯军, 梁建秋, 王嘉, 张明荣, 吴海英. 2011-2022年四川省审定春、夏大豆品种主要性状演变趋势分析. *中国油料作物学报*, 2023, 45(5): 935-946
- Yang W Y, Yu X B, An J G, Zeng Z Q, Feng J, Liang J Q, Wang J, Zhang M R, Wu H Y. Trends of main traits for spring and summer soybean cultivars released in Sichuan from 2011 to 2022. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2023, 45(5): 935-946
- [13] 胡碧霞, 李传昊, 譙江兰, 罗娟, 孙强. 四川省大豆种业发展对策研究. *中国种业*, 2021 (12): 24-27
- Hu B X, Li C H, Qiao J L, Luo J, Sun Q. Study on the development countermeasures of soybean seed industry in Sichuan province. *Chinese Seed Industry*, 2021 (12): 24-27
- [14] 杨峰, 娄莹, 廖敦平, 高仁才, 雍太文, 王小春, 刘卫国, 杨文钰. 玉米-大豆带状套作行距配置对作物生物量、根系形态及产量的影响. *作物学报*, 2015, 41(4): 642-650
- Yang F, Lou Y, Liao D P, Gao R C, Yong T W, Wang X C, Liu W G, Yang W Y. Effects of row spacing on crop biomass, root morphology and yield in maize-soybean relay strip intercropping system. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41 (4) : 642-650
- [15] 邱丽娟, 常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准. 1版. 北京: 中国农业出版社, 2006: 18-42
- Qiu L J, Chang R Z. Descriptors and data standard for soybean (*Glycine* spp.). 1st edition. Beijing: China Agricultural Press, 2006: 18-42
- [16] 韩丽丽. 不同小豆品种耐阴性差异研究. 保定: 河北农业大学, 2020
- Han L L. Study on the evaluation of shade tolerance of different adzuki bean varieties. Baoding: Hebei Agricultural University, 2020
- [17] 曾超. 基于典型地形指标和地貌实体单元的四川省地貌形态自动分类及分区. *山地学报*, 2021, 39(4): 587-599
- Zeng C. Classification and regionalization of geomorphological types based on typical terrain indicators and landform unit for Sichuan province, China. *Mountain Research*, 2021, 39(4) : 587-599
- [18] 陈攀, 韩丹丹, 张黎骅, 黄金路, 张富贵, 何彬, 吕小荣. 四川省丘陵地区豆类杂粮作物的生产现状及应用前景. *南方农业*, 2021, 15(14): 111-112,117
- Chen P, Han D D, Zhang L H, Huang J L, Zhang F G, He B, Lv X R. Production status and application prospect of legume crops in hilly areas of Sichuan province. *South China Agriculture*, 2021, 15(14): 111-112, 117
- [19] 刘森, 毕影东, 来永才, 邸树峰, 李炜, 樊超, 刘建新, 梁文卫, 杨光. 专用特用大豆品种选育进展. *中国种业*, 2023 (12):15-18
- Liu M, Bi Y D, Lai Y C, Di S F, Li W, Fan C, Liu J X, Liang W W, Yang G. Progress in breeding of special soybean varieties. *Chinese seed industry*, 2023 (12):15-18
- [20] 宋健. 大豆种皮色相关基因的图位克隆及功能解析. 北京: 中国农业科学院, 2019
- Song J. Map-based cloning and functional analysis of genes controlling seed coat color in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019
- [21] 郁晓敏, 牛二利, 金杭霞, 傅旭军, 杨清华, 袁凤杰. 浙江省青大豆种质资源主要性状分析. *分子植物育种*, 2024, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220328.1550.016.html>
- Yu X M, Niu E L, Jin H X, Fu X J, Yang Q H, Yuan F J.

- Character analysis of green soybean germplasm resources collected from Zhejiang province. *Molecular Plant Breeding*, 2024, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220328.1550.016.html>
- [22] 白兴梁. 不同品种大豆及发芽过程中异黄酮比较与抗氧化性研究. 南京:南京财经大学, 2012
Bai X L. The study on antioxidant activity of isoflavones extracted from different varieties of soybean and the bean sprouts. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2012
- [23] 邱丽娟, 关荣霞, 李英慧, 刘章雄, 常汝镇. 大豆核心种质在遗传育种中的利用进展/中国作物学会大豆专业委员会. 第23届全国大豆科研生产研讨会论文摘要集. 中国农业科学院作物科学研究所, 2012:1
Qiu L J, Guan R X, Li Y H, Liu Z X, Chang R Z. Progress on utilization of soybean core collection in soybean genetics and breeding//The soybean professional committee of the crop science society of China. Summary of the 23rd national soybean research and production symposium. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012:1
- [24] 邱红梅, 陈亮, 侯云龙, 王新风, 陈健, 马晓萍, 崔正果, 张玲, 胡金海, 王跃强, 邱丽娟. 大豆种子颜色遗传调控机制研究进展. *作物学报*, 2021, 47(12): 2299-2313
Qiu H M, Chen L, Hou Y L, Wang X F, Chen J, Ma X P, Cui Z G, Zhang L, Hu J H, Wang Y Q, Qiu L J. Research progress on genetic regulation mechanism of soybean seed color. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(12): 2299-2313
- [25] 宋健, 郭勇, 于丽杰, 邱丽娟. 大豆种皮色相关基因研究进展. *遗传*, 2012, 34(6): 687-694
Song J, Guo Y, Yu L J, Qiu L J. Progress in genes related to seed-coat color in soybean. *Hereditas*, 2012, 34(6): 687-694
- [26] 王英男, 齐广勋, 赵洪锬, 袁翠平, 刘晓冬, 李玉秋, 王惠民, 董英山. 不同种皮颜色大豆地方资源的遗传多样性. *分子植物育种*, 2021, 19(23): 7984-7994
Wang Y N, Qi G X, Zhao H K, Yuan C P, Liu X D, Li Y Q, Wang Y M, Dong Y S. Genetic diversity of soybean landraces with different seed coat color. *Molecular Plant Breeding*, 2021, 19(23): 7984-7994
- [27] 杜普旋, 刘军, 陈荣华, 吴柔贤, 范呈根, 郭丹丹, 鲁清. 广东省花生种质资源收集与鉴定评价. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(3): 671-679
Du P X, Liu J, Chen R H, Wu R X, Fan C G, Guo D D, Lu Q. Systematic collection, identification and evaluation of peanut germplasm resources in Guangdong province. *Journal of Plant Genetic Resource*, 2023, 24(3): 671-679
- [28] 梁煜莹, 张加羽, 姜骁, 王露欢, 张晓吉, 刘齐妹, 薛云云, 迟晓元, 白冬梅. 花生品质与气候环境的关系研究. *植物遗传资源学报*, 2024, 25(2): 227-236
Liang Y Y, Zhang J Y, Jiang X, Wang L H, Zhang X J, Liu Q M, Xue Y Y, Chi X Y, Bai D M. Study on the relationship between peanut quality and climatic environments. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2024, 25(2): 227-236
- [29] 王小翠, 赵朝森, 彭任文, 赵现伟, 厉苏宁, 孙丽萍, 郭兵福. 不同来源大豆种质资源产量与品质性状评价. *江西农业学报*, 2023, 35(6):16-23
Wang X C, Zhao C S, Peng R W, Zhao X W, Li S N, Sun L P, Guo B F. Evaluation of yield and quality traits of soybean germplasms from different regional sources. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2023, 35(6):16-23