

江苏大豆地方种质资源表型多样性分析

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

(江苏省农业科学院种质资源与生物技术研究所,南京 210014)

摘要:大豆是我国居民饮食结构中植物蛋白和油脂的重要来源。江苏省是大豆的主要产区之一。依托2016-2019年“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”,从江苏省35个县(市/区)收集到203份大豆地方品种种质资源。对203份资源的25个表型性状进行了遗传多样性的调查和分析。结果表明江苏省大豆地方资源具有丰富的表型变异,其中,12个形态特征性状的遗传多样性指数范围为0.0311~1.3800,13个数量性状的遗传多样性指数范围为1.3850~2.0155。聚类分析可将203份大豆资源划分为5个类群,各类群内材料均存在一定的表型变异,第IV类群在产量性状方面的综合表现最好。主成分分析将表型评价因子简化为8个主成分,累计贡献率为68.361%。203份大豆资源的综合评价得分范围为0.140~1.385,以综合得分排名的先后顺序,筛选出7份江苏省优异大豆资源。本研究多角度评价了江苏省大豆地方种质资源表型的遗传多样性,为后续大豆种质创新和新品种选育提供了科学依据。

关键词:大豆;地方品种;遗传多样性;综合评价;种质资源普查

Diversity Analysis of Soybean Landraces Collected from Jiangsu Province Using Phenotypic Traits

MENG Shan, XU Ting-ting, ZHU Xiao-pin, DI Jia-chun, ZHU Yin, YANG Xin,

ZOU Shu-qiong, YANG Xue, QIN Cui-hua, YAN Wei

(*Institute of Crop Germplasm and Biotechnology, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014*)

Abstract: Soybean is an important source of plant protein and oil in diets of Chinese residents. Jiangsu province is one of the main soybean producing areas in China. Under the frame of the Third National General Survey and Collection Action of Crop Germplasm Resources, 203 soybean landraces were collected from 35 counties in Jiangsu province from 2016 to 2019. In this study, the genetic diversity based on the phenotypic datasets at 25 traits were investigated. The abundant phenotypic diversity was observed with the diversity index of 12 morphological traits ranging from 0.0311 to 1.3800, and that of 13 quantitative agronomic traits ranging from 1.3850 to 2.0155. The 203 landraces were divided into five groups by cluster analysis. The phenotypic variation at each group was revealed, and the performance of the yield-related traits in IV group was superior. Principal component analysis suggested eight principal components that showed a cumulative contribution rate of 68.361%. The comprehensive scores of 203 soybean resources ranged from 0.140 to 1.385. According to the order of scores, seven elite soybean landraces in Jiangsu province were selected. Collectively, the present study unlocked the genetic diversity of soybean landraces in Jiangsu province, which provided insights for the germplasm innovation and breeding for new soybean varieties.

Key words: soybean; landrace; genetic diversity; comprehensive evaluation; crop germplasm census

收稿日期: 2022-08-18 修回日期: 2022-09-16 网络出版日期: 2022-10-12

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220818003>

第一作者研究方向为作物种质资源收集保护与遗传多样性分析, E-mail: mshan84@163.com

通信作者: 颜 伟, 研究方向为作物种质资源的收集与保存, E-mail: yanwei@jaas.ac.cn

基金项目: 第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(111821301354052028)

Foundation project: The Third National Campaign of Crop Germplasm Census and Collection (111821301354052028)

中国是栽培大豆起源中心,种植历史已有5000余年。大豆籽粒富含蛋白质(40%左右)和脂肪(20%左右),是我国居民食用植物蛋白和植物油脂的重要来源。大豆是我国最重要的粮油饲兼用作物,近年来大豆籽粒中含有的异黄酮、低聚糖、卵磷脂等保健功能性物质也逐渐被重视和利用^[1],其营养保健价值更加凸显。历史上我国大豆生产曾居世界首位,但自20世纪末开始我国大豆供求矛盾日益突出,目前已成为全球第一大进口国^[2]。2019年中央1号文件中明确提出实施“大豆振兴”计划,提升大豆产量与品质直接关系到国家的粮食安全。

种质资源是农业科技原始创新、现代种业发展的物质基础,是保障粮食安全、建设生态文明、支撑农业可持续发展的战略性资源^[3]。对我国大豆种质资源进行收集保护与评价利用,可为“大豆振兴”提供有力的物质支撑。我国是世界上大豆种质资源最多的国家,目前编目并保存于国家作物种质资源库的栽培大豆已逾43000份^[4]。大豆性状变异十分丰富,目前我国已对23000余份大豆资源进行了形态、农艺、品质和抗性等方面的表型评价,并从中筛选了优异资源6977份次^[4-5]。刘歆等^[6]以64份来自江汉平原的大豆品系为研究对象,利用多元分析方法,对10个农艺及产量性状进行表型分析及综合评价,筛选适宜江汉平原种植的大豆品系,为选育高产优质大豆新品种提供了种质和理论依据。王继亮等^[7]选取361份来自东北地区的大豆地方和育成品种,对13个农艺性状进行了连续3年的精准鉴定与评价,进一步探讨了品种改良方向,并为性状遗传改良筛选了优异亲本资源。徐泽俊等^[8]对303份黄淮海地区大豆种质资源的11个农艺性状和2个品质性状进行多样性分析和综合评价,为黄淮海大豆种质创新和品种选育提供了参考。

江苏省是大豆的主要产区之一,常年种植面积20万 hm^2 ^[2]。江苏省地处南北方交界处,地理位置

优越,具有发展大豆生产的优良自然条件。江苏省高蛋白(豆腐和豆浆专用)、高油大豆品种和菜用鲜食大豆的生产在全国大豆生产中居于重要地位^[9]。江苏省保存了丰富的大豆种质资源,目前江苏省农作物种质资源中期库编目并保存的大豆种质资源达5045份。江苏省特有的大豆种质资源在国内大豆育种中发挥了十分重要的作用,如滨海大白花、邳县软枝条、泰兴黑豆、沛县大白角等地方品种,均是我国大豆育种的骨干祖先亲本^[10]。但近年来,由于农业种植结构的调整、环境污染、外来物种入侵等原因,地方品种资源的遗失问题仍十分突出^[10]。迫切需要对还散落在农户家的地方品种进行收集与评价鉴定。

我国于2015年启动了“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”,截至目前,在全国12个省(市、区)开展的农作物地方种质资源收集工作已基本完成,一大批珍贵的种质资源材料得到了有效的保护与鉴评^[11]。江苏项目组于2016-2019年在江苏省17个重点区县开展了农作物种质资源的系统调查与收集,同时向60个县(市)征集地方特色种质资源,通过本次普查与收集工作,在全省范围内收集到了一批大豆地方种质资源^[12]。本研究对本次收集的大豆资源进行了统一扩繁与主要形态特征与农艺性状的调查,利用数学统计模型评价了江苏省大豆地方种质资源的多样性,并筛选出一批优异的大豆资源,以期对江苏乃至全国的大豆新品种选育与大豆产业发展提供依据与参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为2016-2019年在“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”中收集到的203份大豆地方种质资源,来自江苏省12个地级市的35个调查县(市/区),资源基本信息见表1。

表1 203份大豆地方种质资源基本信息表

Table 1 General information of 203 soybean landraces

序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
1	P320281029	牛达鞭	无锡市江阴市南闸街道观山村	6	P320282056	春丰早	无锡市宜兴市湖汊镇大东村
2	P320281023	本地六月桔黄豆	无锡市江阴市夏港街道景贤村	7	P320282057	早熟黄豆	无锡市宜兴市湖汊镇大东村
3	P320281027	八月白	无锡市江阴市徐霞客镇南街村	8	2019321008	宜兴七月黄	无锡市宜兴市杨巷镇城典村
4	P320281024	蛇青豆	无锡市江阴市月城镇月城村	9	2019321002	杨巷八月黄	无锡市宜兴市杨巷镇城典村
5	P320282053	大东黄豆	无锡市宜兴市湖汊镇大东村	10	2019321026	黄豆	无锡市宜兴市张渚镇凤凰村

表 1 (续)

序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
11	2019321027	扁青豆	无锡市宜兴市张渚镇凤凰村	57	2020321703	黑眼睛豆	苏州市常熟市董浜镇田家巷村
12	P320282042	菜黄豆	无锡市宜兴市张渚镇南门村	58	2018321529	黑眼珠豆	苏州市常熟市梅李镇瞿巷村
13	P320282043	南门绿黄豆	无锡市宜兴市张渚镇南门村	59	2018321532	水篱豆	苏州市常熟市梅李镇瞿巷村
14	P320282044	七月黄	无锡市宜兴市张渚镇南门村	60	2018321533	黄豆	苏州市常熟市梅李镇瞿巷村
15	2019321031	大王豆	无锡市宜兴市周铁镇港口村	61	2020321704	黑月亮豆	苏州市常熟市梅李镇瞿巷村
16	2018322035	黄小豆	徐州市邳州市碾庄镇桑元村	62	2020321705	水粒豆	苏州市常熟市梅李镇瞿巷村
17	P320382041	邳城黑豆	徐州市邳州市邳城镇大王庙村	63	2020321706	翟巷大水白	苏州市常熟市梅李镇瞿巷村
18	2018322027	黑豆	徐州市邳州市邳城镇刘瓦房村	64	P320581004	牛踏扁	苏州市常熟市梅李镇瞿巷村
19	2018322032	黑豆	徐州市邳州市铁富镇艾山后村	65	2020321733	扁毛豆	苏州市常熟市尚湖镇新巷村
20	P320382049	小茶豆	徐州市邳州市铁富镇艾山后村	66	2020321734	张巷猫眼豆	苏州市常熟市尚湖镇新巷村
21	P320382052	艾山大黑豆	徐州市邳州市铁富镇艾山后村	67	2020321738	新巷黑大豆	苏州市常熟市尚湖镇新巷村
22	2016322174	黑豆	徐州市邳州市燕子埠镇刘官庄村	68	2020321718	结结四	苏州市常熟市支塘镇任南村
23	P320381008	港头小白壳大豆	徐州市新沂市港头镇戴沟村	69	2020321719	黑眼乌珠豆	苏州市常熟市支塘镇任南村
24	P320381009	大粒青豆	徐州市新沂市新店镇红旗村	70	2020321720	八月黄	苏州市常熟市支塘镇任南村
25	2018322187	黑豆	徐州市睢宁县古邳镇戴楼村	71	2020321721	落霜青	苏州市常熟市支塘镇任南村
26	P320482029	金坛本黄豆	常州市金坛区直溪镇汀湘村	72	2020321722	白芒毛豆	苏州市常熟市支塘镇任南村
27	2020321220	九月黄	常州市溧阳市戴埠镇集镇社区	73	2020321725	晚青毛豆	苏州市常熟市支塘镇任南村
28	2020321221	七月黄	常州市溧阳市戴埠镇集镇社区	74	2020321726	早青毛豆	苏州市常熟市支塘镇任南村
29	2020321224	四月黄	常州市溧阳市戴埠镇集镇社区	75	2020321727	大花毛豆	苏州市常熟市支塘镇任南村
30	2020321225	五月黄	常州市溧阳市戴埠镇集镇社区	76	2020321709	香梗子毛豆	苏州市常熟市支塘镇任阳街道
31	2020321226	六月黄	常州市溧阳市戴埠镇集镇社区	77	P320585021	牛踏扁毛豆	苏州市太仓市双凤镇庆丰村
32	2020321227	八月黄	常州市溧阳市戴埠镇集镇社区	78	P320585005	黑眼珠毛豆	苏州市太仓市双凤镇新湖村
33	2017321217	花大豆	常州市溧阳市戴埠镇李家园村	79	P320612010	水黄豆	南通市通州区石港镇花市街村
34	2017321216	黑大豆	常州市溧阳市戴埠镇李家园村	80	P320612011	牛眼黄豆	南通市通州区石港镇渔湾渔湾村
35	2018321402	八月黄	常州市溧阳市溧城镇八字桥村	81	P320612021	水黄豆(白)	南通市通州区石港镇志田村
36	2018321403	蓝籽豆	常州市溧阳市溧城镇八字桥村	82	P320684015	黑大豆	南通市海门区四甲镇货隆村
37	2020321205	烂籽青黄豆	常州市溧阳市溧城镇县前街社区	83	P320684016	小黄壳	南通市海门区四甲镇联同村
38	2020321210	黑黄豆	常州市溧阳市溧城镇县前街社区	84	P320684017	六月白	南通市海门区四甲镇联同村
39	2020321218	小籽豆	常州市溧阳市溧城镇县前街社区	85	P320684018	七月白	南通市海门区四甲镇联同村
40	2018321412	破皮风	常州市溧阳市上兴镇上沛村	86	P320684035	大板豆	南通市海门区天补镇
41	2018321410	黑黄豆	常州市溧阳市社渚镇殷桥村	87	P320681017	小寒黄	南通市启东市汇龙镇鹤群村
42	2018321405	香根豆	常州市溧阳市竹箦镇中梅村	88	P320681015	牛达扁	南通市启东市惠萍镇永胜村
43	P320584018	晚大豆(白毛)	苏州市吴江区同里镇北联村	89	P320681016	西风青	南通市启东市惠萍镇永胜村
44	P320584017	晚大豆(黑眼睛)	苏州市吴江区同里镇北联村	90	P320681014	乌皮青仁豆	南通市启东市吕四镇巴掌村
45	P320583012	无锡毛豆	苏州市昆山市锦溪镇周家浜村	91	P320682001	隔壁香	南通市如皋市搬经镇群岸村
46	P320583013	陪稻青毛豆	苏州市昆山市锦溪镇周家浜村	92	2021322008	绿大豆	南通市如皋市城北街道开发新村
47	P320583014	香梗毛豆	苏州市昆山市千灯镇石北村	93	2018322056	小黄豆	南通市如皋市城北街道邵庄社区
48	P320583015	瞎眼乌珠毛豆	苏州市昆山市千灯镇石北村	94	2018322053	黑豆	南通市如皋市城北街道袁桥社区
49	P320583016	牛踏扁毛豆	苏州市昆山市千灯镇石北村	95	2018322062	绿黄豆	南通市如皋市城南街道新官村
50	2018321506	西风青	苏州市常熟市碧溪区周家桥	96	2021322001	小黄豆	南通市如皋市城南街道杨花桥村
51	2018321505	桂花黄	苏州市常熟市碧溪区周家桥	97	2016322348	角角三	南通市如皋市九华镇郭李社区
52	2018321512	牛踏扁	苏州市常熟市碧溪区周家桥	98	2016322343	绿茶豆	南通市如皋市九华镇郭李社区
53	P320581015	大水白豆	苏州市常熟市董浜镇里睦村	99	2021322009	八月白	南通市如皋市如城街道仙鹤新村
54	2018321524	牛踏扁	苏州市常熟市董浜镇田家巷村	100	2018322067	黄豆	南通市如皋市如城街道张八里村
55	2020321701	青豆	苏州市常熟市董浜镇田家巷村	101	2016322453	柳叶豆	南通市如东县岔河镇金发村
56	2020321702	董浜绿大豆	苏州市常熟市董浜镇田家巷村	102	2018322132	等西风黄豆	南通市如东县大豫镇大豫社区

表1(续)

序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
103	2020321505	大豫绿黄豆	南通市如东县大豫镇马家店村	149	2020321059	三仓水豆	盐城市东台市三仓镇镇南村
104	2020321506	黑皮青仁豆	南通市如东县大豫镇马家店村	150	2020321063	后港腐豆	盐城市东台市时堰镇后港村
105	2020321507	二熟早黄豆	南通市如东县大豫镇马家店村	151	2020321066	后港绿大豆	盐城市东台市时堰镇后港村
106	2016322442	七月白	南通市如东县掘港镇天星村	152	P320981026	鹦哥绿黄豆	盐城市东台市西溪区晏溪河
107	2020321512	掘港黑大豆	南通市如东县掘港镇天星村	153	2020321113	黑油豆	盐城市阜宁县陈良镇陈良村
108	2020321513	七月白	南通市如东县掘港镇天星村	154	2017321159	大青豆	盐城市阜宁县吴滩街道北汛村
109	2016322462	八月白	南通市如东县新店镇汤元社区	155	P320928026	九龙口黄豆	盐城市建湖县九龙口镇张家墩村
110	2020321501	绿黄豆	南通市如东县袁庄镇大袁庄村	156	P320928030	颜单黄豆	盐城市建湖县颜单镇
111	2020321502	大绿黄豆	南通市如东县袁庄镇铁果门村	157	P320928014	黑豆	盐城市建湖县颜单镇乔庄村
112	2018322170	黑豆	连云港市赣榆区城西镇城西村	158	P321081003	本地土黄豆	扬州市仪征市十二圩街道红旗村
113	P320721020	黑豆	连云港市赣榆区城西镇沙河子村	159	P321081007	大土粒	扬州市仪征市十二圩街道红旗村
114	2016322564	黑豆	连云港市赣榆区黑林镇吴山村	160	P321081009	红旗大黑豆	扬州市仪征市十二圩街道红旗村
115	2016322523	大豆	连云港市赣榆区金山镇仲家村	161	P321081012	大籽黄	扬州市仪征市十二圩街道红旗村
116	2018322153	小黑豆	连云港市赣榆区沙河镇殷庄村	162	P321081015	红旗大青豆	扬州市仪征市十二圩街道红旗村
117	2018322154	大黑豆	连云港市赣榆区沙河镇殷庄村	163	P321081016	红旗青豆	扬州市仪征市十二圩街道红旗村
118	2018322163	小黑豆	连云港市赣榆区宋庄镇坨坨庄	164	2017323429	仪征大豆2号	扬州市仪征市铜山街道铜山村
119	2016322500	黑豆	连云港市赣榆区柘汪镇仲家湖村	165	2017323405	青豆	扬州市仪征市铜山街道铜山村
120	P320803022	黑豆	淮安市淮安区河下街道安置小区	166	P321084020	丹波黑大豆	扬州市高邮市甘垛镇三河村
121	P320829013	青大豆	淮安市洪泽区朱坝镇曹庄村	167	P321182016	花黄豆	镇江市扬中市八桥镇利民村
122	P320829014	黑大豆	淮安市洪泽区朱坝镇曹庄村	168	P321182020	七月白	镇江市扬中市经济开发区跃进村
123	2016322621	紫黑大豆	淮安市涟水县大东镇白圩村	169	2018321009	大紫黄	镇江市句容市白兔镇赤岗小区
124	2016322608	大青豆	淮安市涟水县大东镇干东村	170	2018321013	陈武黑大豆	镇江市句容市边城镇赵庄村
125	2016322626	大黄豆	淮安市涟水县东湖集镇胡谢村	171	2017321076	青豆	镇江市句容市天王镇前进村
126	2016322625	大绿豆	淮安市涟水县东湖集镇胡谢村	172	2017321074	大青豆	镇江市句容市天王镇前进村
127	2016322624	大黑豆	淮安市涟水县东湖集镇胡谢村	173	2017323614	兴化黄豆	泰州市兴化市戴窑镇新花园村
128	2018322212	黑豆	淮安市涟水县高沟镇大张圩村	174	2017323613	兴化大豆	泰州市兴化市戴窑镇新花园村
129	2018322228	小黄豆	淮安市涟水县高沟镇王嘴村	175	2016323634	七月豆	泰州市兴化市李中镇蒋鹤村
130	2016322676	黑豆	淮安市涟水县高沟镇王嘴村	176	2016323605	大青豆	泰州市兴化市李中镇苏宋村
131	P320826047	黑豆	淮安市涟水县梁岔镇梁岔村	177	2016323621	黄豆	泰州市兴化市李中镇苏宋村
132	2016322652	大豆	淮安市涟水县石湖镇石湖村	178	2016323673	本地大豆	泰州市兴化市周庄镇邹牛村
133	2016322664	二母生	淮安市涟水县石湖镇外口村	179	P321282013	丝瓜香豆	泰州市靖江市马桥镇三爱村
134	P320830009	盱眙大青豆	淮安市盱眙县官滩镇侍润村	180	2016323253	绿毛豆	泰州市泰兴市古溪镇刀网村
135	P320830021	黑嘴黄豆	淮安市盱眙县官滩镇侍润村	181	2017323231	黄桥大豆	泰州市泰兴市黄桥镇祁巷村
136	2019323013	青豆	淮安市盱眙县天泉湖镇陡山村	182	2017323230	泰兴大豆	泰州市泰兴市黄桥镇祁巷村
137	2019323014	大豆(黄豆)	淮安市盱眙县天泉湖镇陡山村	183	2016323230	丝瓜香	泰州市泰兴市珊瑚镇祯祥村
138	2019323002	黄豆	淮安市盱眙县天泉湖镇陡山村	184	2016323226	黑毛豆	泰州市泰兴市珊瑚镇祯祥村
139	2016323069	本地黄豆	淮安市盱眙县天泉湖镇陡山村	185	2018323216	大豆(早熟)	泰州市泰兴市张桥镇焦堡村
140	2019323003	黑豆	淮安市盱眙县天泉湖镇陡山村	186	2018323217	大豆(晚熟)	泰州市泰兴市张桥镇焦堡村
141	P320831033	黑大豆	淮安市金湖县戴楼街道官塘村	187	2018323218	大豆(中熟)	泰州市泰兴市张桥镇焦堡村
142	P320982020	黑大豆	盐城市大丰区大中镇双喜村	188	2018323219	紫大豆	泰州市泰兴市张桥镇焦堡村
143	P320982033	绿大豆	盐城市大丰区农科所	189	2018323215	黄豆	泰州市泰兴市张桥镇焦堡村
144	P320982011	节节三	盐城市大丰区新丰镇仁南村	190	2018323224	青大豆	泰州市泰兴市张桥镇焦堡村
145	2016321518	茨菇青	盐城市东台市安丰镇汪舍村	191	P321283001	张桥大豆	泰州市泰兴市张桥镇焦堡村
146	2016321510	绿毛豆	盐城市东台市安丰镇下灶村	192	P321283014	圩港丝瓜香豆	泰州市泰兴市张桥镇圩港村
147	2020321054	三仓黑豆	盐城市东台市三仓镇镇南村	193	P321283015	圩港青黄豆	泰州市泰兴市张桥镇圩港村
148	2020321058	三仓绿大豆	盐城市东台市三仓镇镇南村	194	P321283016	圩港黄大豆	泰州市泰兴市张桥镇圩港村

表 1 (续)

序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	序号 Code	收集编号 Collecting number	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
195	P321283020	圩港角角三	泰州市泰兴市张桥镇圩港村	200	2019323812	本地黄豆	宿迁市泗阳县来安街道集南村
196	P321322015	黑豆	宿迁市沭阳县胡集镇祁圩村	201	2017323802	秋豆	宿迁市泗阳县来安街道集南村
197	P321322007	红皮大豆	宿迁市沭阳县经济开发区任巷村	202	2016323837	黑豆	宿迁市泗阳县史集街道桃源村
198	2019323806	黑豆	宿迁市泗阳县来安街道集南村	203	P321323001	黑豆	宿迁市泗阳县王集镇新华村
199	2019323807	青豆	宿迁市泗阳县来安街道集南村				

粗体表示筛选到的优异种质资源

The bold type indicates the selected elite germplasm

1.2 田间试验设计和性状调查

供试材料于 2020-2021 年种植于江苏省农业科学院六合科学试验基地试验田 (118.6216 °E, 32.4882 °N), 海拔高度 14 m。6 月中旬播种, 田间试验采用完全随机区组设计, 3 次重复, 每份材料每个重复种植 3 行, 行长 2 m, 行距 0.6 m, 每行定苗 15 株左右, 四周设置保护行。肥水管理及病虫害防治等采用当地大田常规管理方法。

对供试材料进行了共计 25 个表型性状的调查记载, 包括花色、粒色、种皮光泽、粒形、种皮裂纹、脐色、茸毛色、荚色、叶形、株型、茎形状和荚形等 12 个形态特征性状, 株高、有效分枝数、主茎节数、茎粗、单株荚数、底荚高度、单株粒数、每荚粒数、单株粒重、百粒重、生育日数、开花日数和结荚日数等 13 个数量性状。调查标准参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[13]。为便于后续统计分析, 对形态特征性状予以数字化赋值(表 2)。对于数量性状, 重复内 10 株测量结果的平均值作为单个重复的结果, 3 个重复结果的平均值作为该性状的最终表型结果。

表 2 形态特征性状赋值

Table 2 Assignment of morphological traits

性状 Traits	赋值 Assignment
花色 Flower color	1: 白; 2: 紫
粒色 Seedcoat color	1: 黄; 2: 绿; 3: 黑; 4: 褐; 5: 双色
种皮光泽 Seedcoat luster	1: 无; 2: 微; 3: 强
粒形 Seed shape	1: 圆; 2: 椭圆; 3: 扁椭圆; 4: 长椭圆
种皮裂纹 Seed crack	1: 不裂; 2: 轻; 3: 中; 4: 易裂
脐色 Hilum color	1: 黄; 2: 淡褐; 3: 褐; 4: 深褐; 5: 黑
茸毛色 Pubescence color	1: 灰; 2: 棕
荚色 Mature pod color	1: 灰褐; 2: 黄褐; 3: 褐; 4: 深褐; 5: 黑
叶形 Leaf shape	1: 披针; 2: 卵圆; 3: 椭圆; 4: 圆
株型 Plant type	1: 收敛; 2: 半开张; 3: 开张
茎形状 Stem shape	1: 正常茎; 2: 扁茎; 3: 曲茎
荚形 Pod shape	1: 直形; 2: 弯镰形; 3: 弓形

1.3 数据分析

1.3.1 描述性统计 形态特征性状的分布频率和变异系数使用 Microsoft Excel 2016 进行分析。数量性状的平均值、标准差、变异系数等描述性统计信息使用 SAS 9.0 软件的 MEANS 过程进行计算。

1.3.2 多样性指数 采用 Shannon-weaver 多样性指数 (H') 衡量性状的遗传多样性^[14-15], 计算公式为:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

其中, 对于形态特征性状, P_i 表示具有第 i 个性状类型的材料出现的频率; 对于数量性状, 根据平均值 x 和标准差 s 将所有材料分为 10 级, 第 1 级内材料表型值均 $< x - 2s$, 第 10 级内材料表型值均 $\geq x + 2s$, 每级间跨度为 0.5 s , P_i 表示第 i 级内材料的分布频率。

1.3.3 聚类分析 使用 R 4.2.1 软件的 ape 程序包对 25 个表型形状进行聚类分析, 采用最长距离法计算欧氏距离, 使用 MEGA 5.2 软件绘制扇形聚类树。

1.3.4 主成分分析 利用模糊隶属函数法^[8,16] 将所有 25 个性状的表型值标准化到 [0, 1] 区间内, 计算公式为:

$$U_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$$

其中, U_{ij} 表示材料 i 性状 j 的表型标准化值, X_{ij} 表示材料 i 性状 j 的表型测定值, X_{jmin} 和 X_{jmax} 表示表型 j 在全部材料中的最小值和最大值。使用 SPSS Statistics 23.0 软件通过降维方式对标准化值进行主成分分析, 采用 KMO 和巴特利特球形度检验生成协方差矩阵, 利用回归方法计算主成分因子贡献率。

1.3.5 综合评价 将每份种质的各个标准化表型性状数据与相应主成分因子系数进行乘积和运算, 获得每份种质各个主成分的得分 (F_n), 再将其与主成分因子的贡献率权重 (V_n) 进行乘积和运算, 最终获得每份种质的综合得分 (F 值)^[8,16], 即 $F = V_1 F_1 + V_2 F_2 + \dots + V_n F_n$ 。 F 值与各性状间的相关性分析使

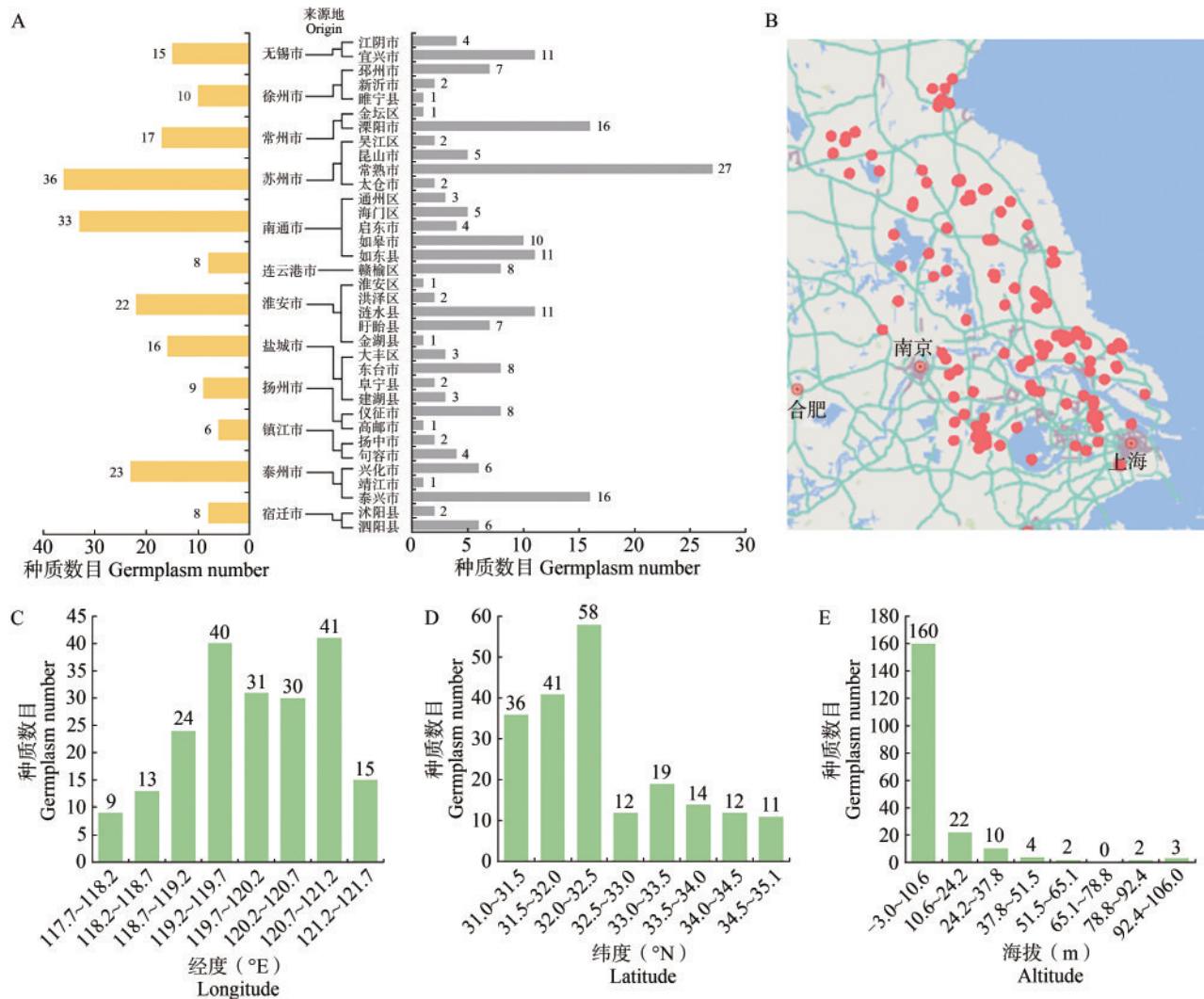
用SAS 9.0软件的CORR过程计算。

2 结果与分析

2.1 江苏大豆地方种质的分布特征

203份供试大豆资源从除南京市外的全省12个地级市收集而来,在苏州市收集的资源最多,有36份,其次为南通市,收集到33份资源;在镇江市收集的资源最少,仅有6份(图1A、B)。从县级(市/区)分布情况来看,203份大豆资源来自全省35个县(市/区),在常熟市收集的资源最多,有27份(图1A、B)。

在靖江市、高邮市、金湖县、淮安区、金坛区和睢宁县收集到的资源较少,均只有1份(图1A、B)。从地理水平分布情况来看,所有资源收集地点的经度跨度为117.6671~121.6309°E,纬度跨度为31.0120~35.0736°N,在120.7~121.2°E和32.0~32.5°N区域内的资源最多,分别为41和58份(图1C、D)。从地理垂直分布情况来看,在海拔-3.0~106.0 m的地区均有分布,约78.8%(160份)的资源分布在低海拔平原地区(海拔小于10.6 m)(图1E)。收集到的大部分大豆资源为农户自家留种的地方品种。



图B中红色实心圆点表示大豆地方种质资源来源地的具体地理位置

The red solid dot in Figure B indicates the specific geographical location of the origin of soybean landraces

图1 江苏省大豆地方种质资源的分布情况

Fig.1 Distribution of soybean landraces collected in Jiangsu province

2.2 形态特征性状的多样性分析

对大豆12个形态特征性状进行多样性分析,各性状呈现不同程度的表型变异,粒色、脐色和荚色的变异类型最多,均为5个;花色和茸毛色变异类型

最少,均为2个;12个性状的总变异类型数为43个(表3)。203份大豆资源中,以花瓣紫色、籽粒黄色、种皮无光泽、椭圆粒形、种皮无裂纹、种脐黑色、茸毛灰色、荚黄褐色、椭圆叶形、半开张株型、正常茎

形和直荚形的材料居多,占比分别为 82.76%、42.36%、42.36%、77.34%、29.56%、48.28%、99.51%、49.75%、86.21%、50.74%、78.82% 和 65.52%(表 3)。12 个性状的变异系数(CV)范围在 6.98%~53.08% 之间,平均为 35.54%,从大到小排序依次为:茎形状>粒色>荚色>种皮裂纹>脐色>种皮光泽>株型>荚形>

粒形>花色>叶形>茸毛色(表 3)。12 个性状的多样性指数(H')范围在 0.0311~1.3800 之间,平均为 0.8098,从大到小排序依次为:种皮裂纹>粒色>荚色>种皮光泽>脐色>株型>粒形>荚形>茎形状>花色>叶形>茸毛色,其中种皮裂纹、粒色、荚色和种皮光泽的多样性指数大于 1(表 3)。

表 3 形态特征性状的多样性分析

Table 3 Diversity analysis of morphological traits

性状 Traits	分布百分比(%) Distribution percentage					变异系数(%) CV	多样性指数 H'
	1	2	3	4	5		
花色 Flower color	17.24	82.76				20.72	0.4597
粒色 Seedcoat color	42.36	28.08	22.66	3.94	2.96	52.70	1.2884
种皮光泽 Seedcoat luster	42.36	41.38	16.26			41.49	1.0243
粒形 Seed shape	5.91	77.34	11.33	5.42		24.08	0.7706
种皮裂纹 Seed crack	29.56	25.12	22.17	23.15		47.69	1.3800
脐色 Hilum color	3.94	9.85	30.54	7.39	48.28	45.09	0.9105
茸毛色 Pubescence color	99.51	0.49				6.98	0.0311
荚色 Mature pod color	31.03	49.75	7.39	9.36	2.46	49.01	1.2159
叶形 Leaf shape	0.49	12.81	86.21	0.49		12.85	0.4435
株型 Plant type	43.35	50.74	5.91			36.61	0.8738
茎形状 Stem shape	78.82	6.90	14.29			53.08	0.6500
荚形 Pod shape	65.52	33.99	0.49			36.18	0.6700

2.3 数量性状的多样性分析

对大豆 13 个数量性状进行多样性分析,各性状呈现不同程度的表型变异(表 4、图 2)。由 13 个性状表型的频率分布直方图(图 2)可见,各性状表型数据均表型为连续分布,数据分布范围较大,说明 203 份资源中存在广泛的遗传多样性。203 份大豆资源的株高范围为 25.75~128.10 cm,平均值为 75.74 cm;有效分枝数范围为 1.00~13.00,平均值为 5.05;主茎节数范围为 7.00~25.00,平均值为 15.41;茎粗范围为 3.00~18.0 mm,平均值为 9.23 mm;单株荚数范围为 15.00~198.00,平均值为 74.23;底荚高度范围为 0.90~7.00 cm,平均值为 2.93 cm;单株粒数范围为 27.00~432.00,平均值为 141.45;每荚粒数范围为 1.00~3.76,平均值为 1.91;单株粒重范围为 5.31~108.75 g,平均值为 37.55 g;百粒重范围为 5.15~54.13 g,平均值为 29.14 g;生育日数范围为 85.00~139.00 d,平均值为 117.45 d;开花日数范围为 29.00~71.00 d,平均值为 55.14 d;结荚日数范围为 37.00~83.00 d,平均值为 64.18 d。

13 个数量性状的变异系数范围在 11.66%~51.60% 之间,平均为 31.39%,从大到小排序依次为:

单株粒数>单株粒重>单株荚数>底荚高度>有效分枝数>茎粗>百粒重>株高>每荚粒数>主茎节数>开花日数>结荚日数>生育日数。与单株产量相关的 3 个性状,单株粒数、单株粒重和单株荚数的变异系数较大,分别为 51.60%、50.97% 和 48.15%;与生育期相关的 3 个性状开花日数、结荚日数和生育日数的变异系数较小,分别为 14.19%、12.83% 和 11.66%。13 个性状的多样性指数范围在 1.3850~2.0155 之间,平均为 1.8795,从大到小排序依次为:主茎节数>百粒重>株高>每荚粒数>单株粒重>茎粗>单株荚数>生育日数>单株粒数>底荚高度>有效分枝数>结荚日数>开花日数。

2.4 聚类分析

利用 25 个表型性状对 203 份大豆资源进行聚类分析,采用最长距离法计算欧氏距离,当欧式距离为 66 时,可将所有材料分为 5 个类群(图 3)。类群间材料在地理来源上没有明显界限,呈现出混合分布的特点。各类群内材料的性状表型特征见表 5 和表 6。

第 I 类群包含 12 份资源,主要特征为粒色以黄绿为主,种皮以无光泽为主,粒形以椭圆为主,脐色

以褐色为主,荚色以黄褐色为主,有效分枝数最少,但主茎节数最多,底荚高度最高,单株粒数最少,百粒重最大,生育日数最长。第II类群包含38份资源,主要特征为种脐以黑色为主,棕茸毛色和圆叶形材料仅存在于该类群,株高最高,茎粗最大,每荚粒数和生育日数变异最小。第III类群包含材料最多,有60份,主要特征为种脐以黑色为主,披针叶形和弓形荚形材料仅存在于该类群,株型以半开张为

主,有效分枝数、单株荚数、单株粒数和单株粒重的变异最大。第IV类群包含42份资源,主要特征为粒形以椭圆为主,底荚高度变异最广泛,单株粒数、每荚粒数和单株粒重均最高。第V类群包含51份资源,主要特征为双色粒色、圆粒形、黄色脐色、褐色荚色和开张株型所占比例较其他类群高,有效分枝数和单株荚数最多。

表4 数量性状的多样性分析

Table 4 Diversity analysis of quantitative traits

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	变异幅度 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	多样性指数 H'
株高(cm) Plant height	25.75	128.10	102.35	75.74	18.68	24.66	2.0126
有效分枝数 Effective branch number	1.00	13.00	12.00	5.05	2.22	43.98	1.8631
主茎节数 Number of nodes on main stem	7.00	25.00	18.00	15.41	3.14	20.36	2.0155
茎粗(mm) Stem diameter	3.00	18.00	15.00	9.23	2.94	31.87	1.9506
单株荚数 Pod number per plant	15.00	198.00	183.00	74.23	35.74	48.15	1.9291
底荚高度(cm) Pod height at bottom	0.90	7.00	6.10	2.93	1.36	46.36	1.8935
单株粒数 Seed number per plant	27.00	432.00	405.00	141.45	73.00	51.60	1.9188
每荚粒数 Seed number per pod	1.00	3.76	2.76	1.91	0.42	21.80	2.0094
单株粒重(g) Seed weight per plant	5.31	108.75	103.44	37.55	19.14	50.97	1.9871
百粒重(g) 100-seed weight	5.15	54.13	48.98	29.14	8.63	29.60	2.0141
生育日数(d) Growth duration	85.00	139.00	54.00	117.45	13.70	11.66	1.9262
开花日数(d) Flowering duration	29.00	71.00	42.00	55.14	7.82	14.19	1.3850
结荚日数(d) Podding duration	37.00	83.00	46.00	64.18	8.23	12.83	1.5286

2.5 主成分分析

为将具有相关性的性状指标转换为彼此独立且具有代表性的综合指标,从而更清晰的解析大豆表型多样性的构成,对203份大豆资源的25个表型性状进行了主成分分析,结果见表7。以特征值大于1的提取标准确定了8个主成分,累计贡献率为68.361%,解释了表型性状的绝大部分信息,可用于后续大豆种质资源的表型性状评价。

第1主成分特征值为4.821,贡献率为19.811%,特征向量绝对值最大的为开花日数,其次为结荚日数和生育日数,说明第1主成分是与生育期相关的因子,特征向量相关性显示,生育期较长的资源,一般株高也较高(特征向量为0.354,仅次于生育日数),但每荚粒数会减少(特征向量为-0.067)。第2主成分特征值为3.166,贡献率为13.012%,特征向量绝对值最大的为单株粒数,其次为单株荚数和单株粒重,说明第2主成分是与单株产量相关的因子,单株产量较高的资源,一般植株的有效分枝数较多(特征向量为0.339,仅次于单株粒重),但百粒重较小(特征向量为-0.246)。第3主成分特征值为2.459,贡献率为10.107%,特征向量绝对值最大的为种皮光

泽,其次为种皮裂纹和粒色,说明第3主成分是与籽粒特征性状相关的因子。第4主成分特征值为1.509,贡献率为6.200%,特征向量绝对值最大的为每荚粒数。第5主成分特征值为1.303,贡献率为5.356%,特征向量绝对值最大的为主茎节数。第6主成分特征值为1.219,贡献率为5.010%,特征向量绝对值最大的为茎形状,其次为底荚高度。第7主成分特征值为1.098,贡献率为4.514%,特征向量绝对值最大的为粒形。第8主成分特征值为1.058,贡献率为4.350%,特征向量绝对值最大的为茸毛色。

2.6 综合评价

用 $X_1 \sim X_{25}$ 分别代表每份资源标准化的25个性状的表型值(性状排列顺序与表7中性状从上至下顺序一致),带入8个主成分中,获得8个主成分因子得分公式^[16-18]:

$$F_1 = 0.220X_1 + 0.139X_2 + 0.009X_3 + 0.042X_4 + 0.018X_5 + 0.256X_6 - 0.060X_7 - 0.048X_8 + 0.099X_9 + 0.166X_{10} + 0.154X_{11} + 0.011X_{12} + 0.354X_{13} + 0.161X_{14} + 0.164X_{15} + 0.281X_{16} + 0.094X_{17} + 0.146X_{18} + 0.049X_{19} - 0.067X_{20} + 0.205X_{21} + 0.242X_{22} + 0.368X_{23} + 0.393X_{24} + 0.390X_{25},$$

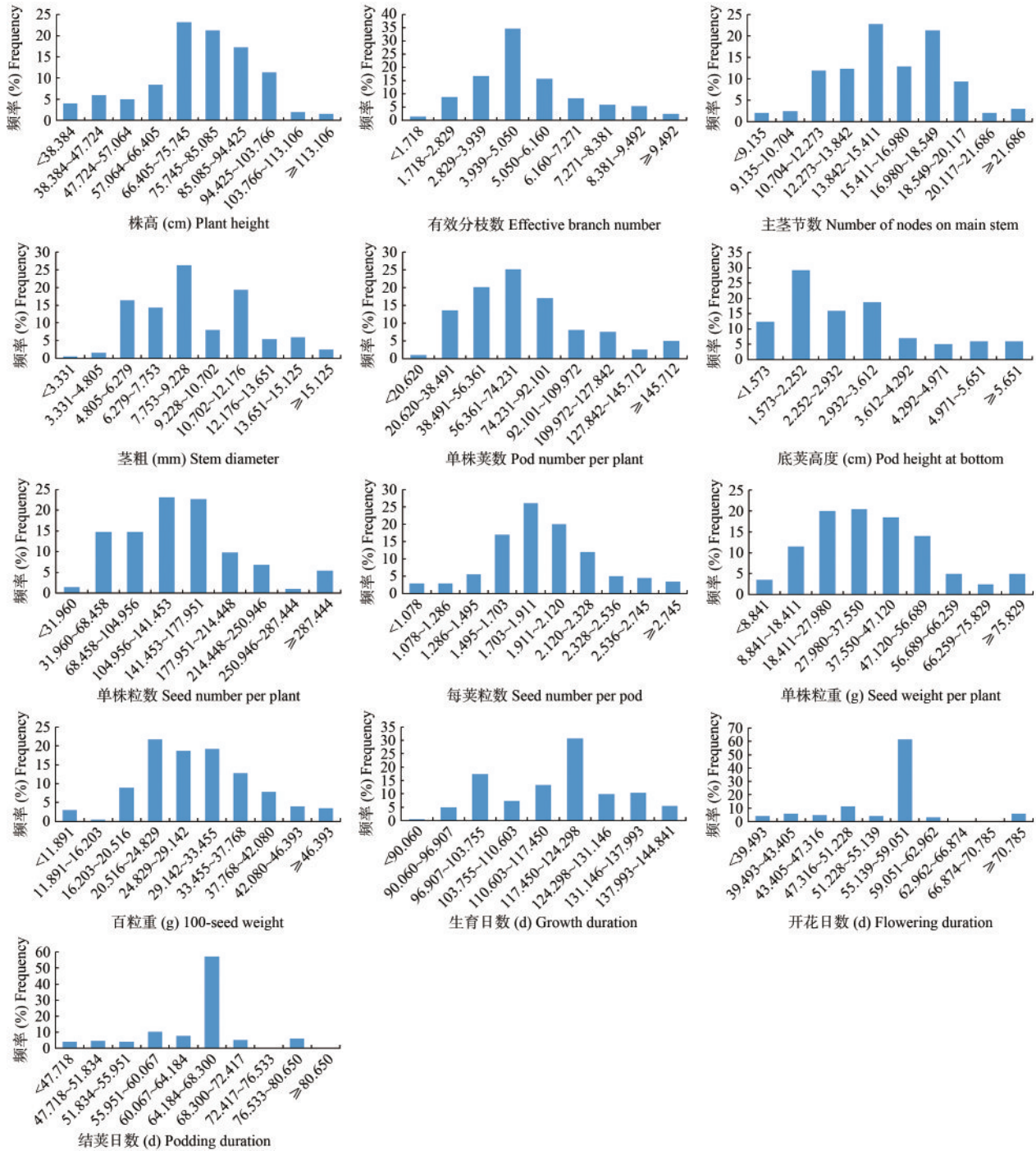


图2 数量性状的频率分布直方图

Fig.2 Histogram of frequency distribution of quantitative traits

$$F_2 = -0.068X_1 - 0.075X_2 + 0.044X_3 + 0.044X_4 + 0.072X_5 - 0.031X_6 - 0.006X_7 + 0.025X_8 - 0.112X_9 + 0.125X_{10} + 0.038X_{11} + 0.186X_{12} - 0.066X_{13} + 0.339X_{14} + 0.173X_{15} + 0.189X_{16} + 0.493X_{17} - 0.205X_{18} + 0.507X_{19} + 0.122X_{20} + 0.342X_{21} - 0.246X_{22} - 0.202X_{23} - 0.077X_{24} - 0.091X_{25},$$

$$F_3 = 0.013X_1 + 0.419X_2 + 0.466X_3 + 0.187X_4 - 0.430X_5 + 0.323X_6 + 0.030X_7 + 0.214X_8 - 0.155X_9 -$$

$$0.023X_{10} - 0.168X_{11} + 0.030X_{12} + 0.097X_{13} - 0.060X_{14} + 0.118X_{15} - 0.196X_{16} + 0.048X_{17} + 0.057X_{18} + 0.069X_{19} + 0.035X_{20} - 0.177X_{21} - 0.275X_{22} - 0.086X_{23} + 0.044X_{24} + 0.034X_{25},$$

$$F_4 = 0.235X_1 - 0.227X_2 - 0.211X_3 + 0.286X_4 - 0.090X_5 - 0.066X_6 + 0.227X_7 - 0.181X_8 + 0.008X_9 - 0.170X_{10} - 0.223X_{11} - 0.325X_{12} + 0.189X_{13} - 0.151X_{14} + 0.058X_{15} - 0.133X_{16} - 0.008X_{17} + 0.098X_{18} + 0.189X_{19} +$$

$$0.573X_{20} + 0.094X_{21} - 0.051X_{22} - 0.080X_{23} + 0.126X_{24} + 0.124X_{25},$$

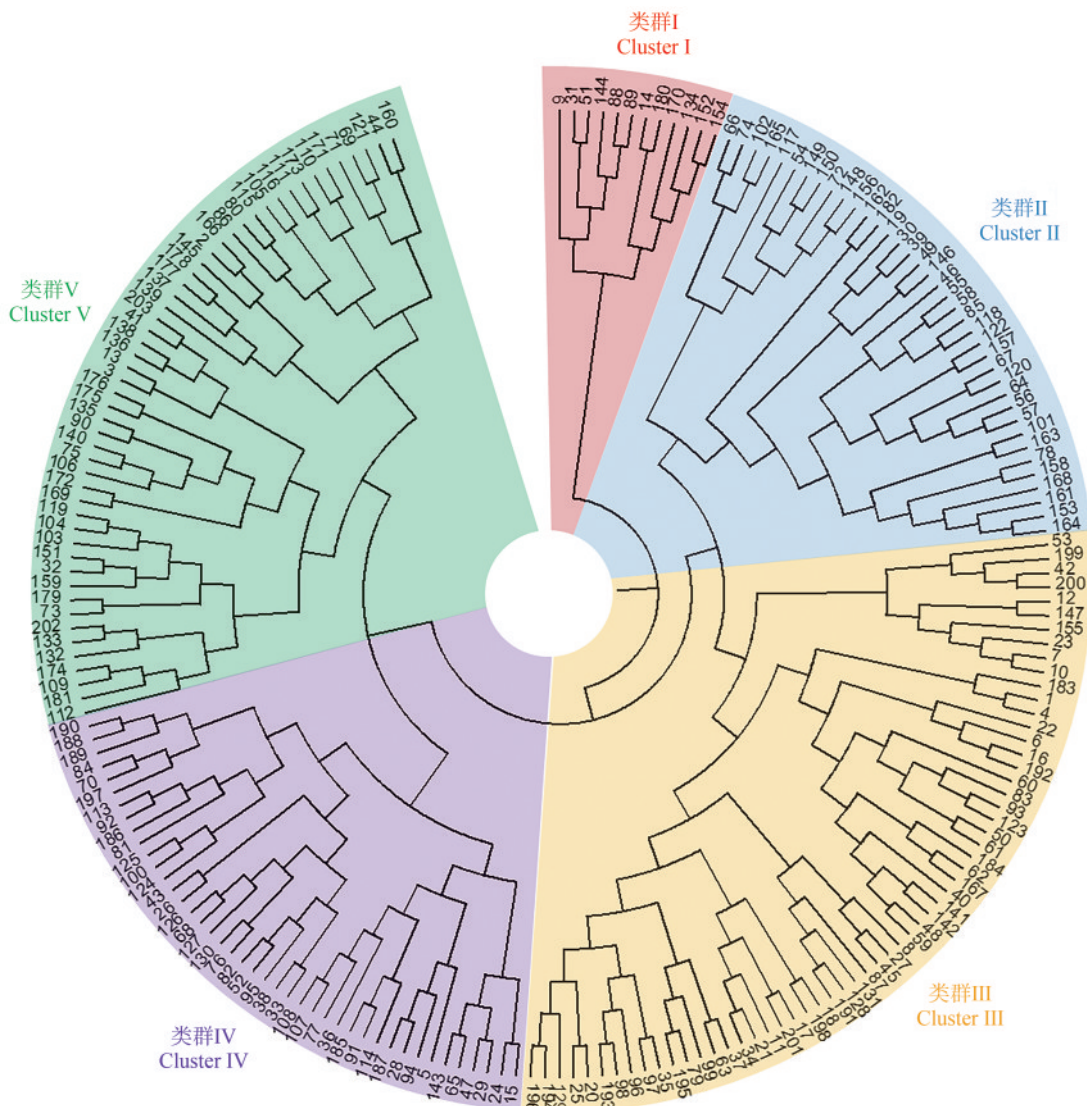
$$F_5 = 0.195X_1 + 0.180X_2 + 0.163X_3 - 0.081X_4 - 0.061X_5 + 0.180X_6 + 0.243X_7 - 0.273X_8 + 0.214X_9 - 0.240X_{10} + 0.334X_{11} - 0.264X_{12} - 0.121X_{13} + 0.206X_{14} - 0.442X_{15} + 0.250X_{16} + 0.051X_{17} + 0.263X_{18} + 0.039X_{19} + 0.001X_{20} + 0.066X_{21} - 0.107X_{22} - 0.139X_{23} - 0.139X_{24} - 0.133X_{25},$$

$$F_6 = 0.171X_1 - 0.088X_2 - 0.077X_3 + 0.199X_4 - 0.179X_5 + 0.126X_6 + 0.168X_7 - 0.087X_8 - 0.388X_9 - 0.084X_{10} + 0.458X_{11} + 0.368X_{12} - 0.018X_{13} - 0.071X_{14} - 0.039X_{15} + 0.200X_{16} - 0.225X_{17} - 0.401X_{18} - 0.143X_{19} + 0.208X_{20} - 0.114X_{21} + 0.041X_{22} + 0.017X_{23} + 0.006X_{24} -$$

$$0.010X_{25},$$

$$F_7 = 0.168X_1 + 0.180X_2 - 0.011X_3 + 0.691X_4 + 0.146X_5 - 0.047X_6 - 0.401X_7 - 0.296X_8 + 0.225X_9 + 0.045X_{10} - 0.116X_{11} + 0.159X_{12} - 0.033X_{13} + 0.105X_{14} - 0.114X_{15} + 0.001X_{16} - 0.048X_{17} - 0.027X_{18} - 0.069X_{19} - 0.070X_{20} - 0.010X_{21} + 0.048X_{22} - 0.069X_{23} - 0.115X_{24} - 0.132X_{25},$$

$$F_8 = 0.024X_1 + 0.054X_2 + 0.094X_3 + 0.173X_4 + 0.079X_5 - 0.082X_6 + 0.722X_7 + 0.057X_8 + 0.397X_9 + 0.156X_{10} - 0.191X_{11} + 0.190X_{12} - 0.019X_{13} + 0.096X_{14} + 0.164X_{15} + 0.001X_{16} - 0.047X_{17} - 0.174X_{18} - 0.102X_{19} - 0.155X_{20} + 0.007X_{21} + 0.096X_{22} + 0.052X_{23} - 0.050X_{24} - 0.055X_{25}。$$



材料序号同表 1

The codes of soybean landraces are the same as table 1

图 3 基于表型数据的大豆地方种质资源遗传聚类图

Fig.3 Genetic clustering map of soybean landraces based on phenotypic data

表 6 (续)

性状 Traits	类群 I Cluster I		类群 II Cluster II		类群 III Cluster III		类群 IV Cluster IV		类群 V Cluster V	
	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
每荚粒数 Seed number per pod	1.89	21.20	1.91	18.49	1.93	22.12	2.02	23.12	1.80	21.92
单株粒重(g) Seed weight per plant	39.04	47.99	37.61	49.31	32.52	60.95	42.59	44.56	38.92	47.13
百粒重(g) 100-seed weight	31.53	24.24	28.06	28.57	28.35	32.03	29.95	32.04	29.65	26.88
生育日数(d) Growth duration	120.75	11.28	117.61	9.83	116.58	13.06	117.64	11.86	117.41	11.49
开花日数(d) Flowering duration	56.09	16.62	56.53	11.62	54.25	17.02	54.90	13.13	55.16	12.77
结荚日数(d) Podding duration	66.17	14.55	66.24	10.68	62.64	15.71	63.85	11.12	64.27	11.26

表 7 形态特征和数量性状的主成分分析

Table 7 Principal component analysis of morphological and quantitative traits

性状 Traits	主成分 Principal components							
	1	2	3	4	5	6	7	8
花色 Flower color	0.220	-0.068	0.013	0.235	0.195	0.171	0.168	0.024
粒色 Seedcoat color	0.139	-0.075	0.419	-0.227	0.180	-0.088	0.180	0.054
种皮光泽 Seedcoat luster	0.009	0.044	0.466	-0.211	0.163	-0.077	-0.011	0.094
粒形 Seed shape	0.042	0.044	0.187	0.286	-0.081	0.199	0.691	0.173
种皮裂纹 Seed crack	0.018	0.072	-0.430	-0.090	-0.061	-0.179	0.146	0.079
脐色 Hilum color	0.256	-0.031	0.323	-0.066	0.180	0.126	-0.047	-0.082
茸毛色 Pubescence color	-0.060	-0.006	0.030	0.227	0.243	0.168	-0.401	0.722
荚色 Mature pod color	-0.048	0.025	0.214	-0.181	-0.273	-0.087	-0.296	0.057
叶形 Leaf shape	0.099	-0.112	-0.155	0.008	0.214	-0.388	0.225	0.397
株型 Plant type	0.166	0.125	-0.023	-0.170	-0.240	-0.084	0.045	0.156
茎形状 Stem shape	0.154	0.038	-0.168	-0.223	0.334	0.458	-0.116	-0.191
荚形 Pod shape	0.011	0.186	0.030	-0.325	-0.264	0.368	0.159	0.190
株高 Plant height	0.354	-0.066	0.097	0.189	-0.121	-0.018	-0.033	-0.019
有效分枝数 Effective branch number	0.161	0.339	-0.060	-0.151	0.206	-0.071	0.105	0.096
主茎节数 Number of nodes on main stem	0.164	0.173	0.118	0.058	-0.442	-0.039	-0.114	0.164
茎粗 Stem diameter	0.281	0.189	-0.196	-0.133	0.250	0.200	0.001	0.001
单株荚数 Pod number per plant	0.094	0.493	0.048	-0.008	0.051	-0.225	-0.048	-0.047
底荚高度 Pod height at bottom	0.146	-0.205	0.057	0.098	0.263	-0.401	-0.027	-0.174
单株粒数 Seed number per plant	0.049	0.507	0.069	0.189	0.039	-0.143	-0.069	-0.102
每荚粒数 Seed number per pod	-0.067	0.122	0.035	0.573	0.001	0.208	-0.070	-0.155
单株粒重 Seed weight per plant	0.205	0.342	-0.177	0.094	0.066	-0.114	-0.010	0.007
百粒重 100-seed weight	0.242	-0.246	-0.275	-0.051	-0.107	0.041	0.048	0.096
生育日数 Growth duration	0.368	-0.202	-0.086	-0.080	-0.139	0.017	-0.069	0.052
开花日数 Flowering duration	0.393	-0.077	0.044	0.126	-0.139	0.006	-0.115	-0.050
结荚日数 Podding duration	0.390	-0.091	0.034	0.124	-0.133	-0.010	-0.132	-0.055
特征值 Eigenvalue	4.821	3.166	2.459	1.509	1.303	1.219	1.098	1.058
贡献率(%) Contribution rate	19.811	13.012	10.107	6.200	5.356	5.010	4.514	4.350
累积贡献率(%) Cumulative contribution rate	19.811	32.823	42.930	49.131	54.487	59.497	64.011	68.361
贡献率权重(%) Weight of contribution rate	28.981	19.034	14.785	9.070	7.835	7.329	6.604	6.363

结合8个主成分因子的贡献率权重(表7),获得每份种质的综合得分(F值)公式: $F = 28.981F_1 + 19.034F_2 + 14.785F_3 + 9.070F_4 + 7.835F_5 + 7.329F_6 + 6.604F_7 + 6.363F_8$ 。根据F值对203份大豆种质资源进行表型性状的综合评价,得分越高说明综合表现越好(表8)。203份大豆种质资源的综合得分范围

为0.140~1.385,平均值为0.844。综合得分排名前7位(F值大于1.2)的材料依次为蓝籽豆、新巷黑大豆、牛达鞭、黑豆、黑皮青仁豆、九月黄和大花毛豆,其中有3份材料属于第V类群,2份属于第III类群,1份属于第II类群,1份属于第IV类群。

表8 203份大豆地方种质资源综合得分

Table 8 Comprehensive scores of 203 soybean landraces

序号 Code	综合得分 Scores	排名 Ranking	类群 Cluster	序号 Code	综合得分 Scores	排名 Ranking	类群 Cluster	序号 Code	综合得分 Scores	排名 Ranking	类群 Cluster
36	1.385	1	IV	49	0.931	69	II	73	0.788	137	V
67	1.319	2	II	45	0.931	70	III	133	0.782	138	V
1	1.310	3	III	37	0.924	71	III	103	0.781	139	V
119	1.267	4	V	152	0.918	72	I	194	0.779	140	III
104	1.241	5	V	115	0.917	73	V	84	0.778	141	IV
27	1.238	6	III	158	0.916	74	II	146	0.778	142	II
75	1.217	7	V	90	0.913	75	V	159	0.774	143	V
180	1.163	8	I	151	0.912	76	V	170	0.772	144	I
99	1.158	9	III	160	0.912	77	V	34	0.772	145	III
74	1.158	10	II	120	0.910	78	II	189	0.761	146	IV
62	1.157	11	III	186	0.910	79	IV	94	0.760	147	IV
5	1.156	12	IV	128	0.907	80	III	88	0.758	148	I
172	1.154	13	V	24	0.904	81	IV	171	0.758	149	V
56	1.154	14	II	200	0.900	82	III	147	0.746	150	III
178	1.146	15	V	51	0.899	83	I	169	0.746	151	V
92	1.138	16	IV	190	0.899	84	IV	87	0.745	152	III
122	1.136	17	II	59	0.892	85	III	139	0.742	153	V
66	1.134	18	II	102	0.889	86	II	41	0.734	154	V
126	1.134	19	IV	43	0.889	87	IV	93	0.732	155	III
89	1.129	20	I	137	0.889	88	V	60	0.732	156	III
108	1.128	21	IV	91	0.888	89	IV	82	0.724	157	IV
57	1.122	22	II	86	0.887	90	V	53	0.719	158	III
176	1.100	23	V	78	0.884	91	II	109	0.719	159	V
76	1.098	24	IV	163	0.882	92	II	177	0.719	160	V
44	1.097	25	V	54	0.880	93	II	142	0.716	161	III
193	1.096	26	III	143	0.876	94	IV	10	0.712	162	III
50	1.095	27	III	184	0.872	95	III	106	0.708	163	V
121	1.072	28	V	14	0.872	96	I	175	0.689	164	V
38	1.056	29	IV	65	0.872	97	IV	144	0.684	165	I
4	1.050	30	III	125	0.870	98	IV	97	0.680	166	III
64	1.050	31	II	18	0.870	99	III	182	0.680	167	II
63	1.047	32	III	68	0.868	100	IV	101	0.678	168	II
149	1.038	33	II	9	0.865	101	I	134	0.676	169	I
13	1.034	34	V	16	0.865	102	III	98	0.673	170	III
69	1.032	35	V	130	0.864	103	IV	179	0.672	171	V
22	1.028	36	III	141	0.857	104	III	203	0.661	172	V
118	1.024	37	II	21	0.850	105	III	202	0.656	173	V
136	1.019	38	V	72	0.849	106	II	113	0.652	174	IV
148	1.017	39	II	165	0.846	107	II	188	0.650	175	IV
2	1.017	40	V	61	0.846	108	III	168	0.633	176	II

表8(续)

138	1.007	41	V	129	0.843	109	III	135	0.620	177	V
174	1.003	42	V	162	0.842	110	II	25	0.610	178	III
55	0.997	43	II	196	0.840	111	III	131	0.598	179	III
107	0.992	44	IV	117	0.839	112	II	198	0.593	180	III
40	0.991	45	III	33	0.836	113	IV	157	0.591	181	II
47	0.975	46	IV	161	0.825	114	II	23	0.581	182	III
79	0.972	47	III	8	0.824	115	III	191	0.576	183	III
39	0.971	48	II	52	0.821	116	IV	195	0.569	184	III
80	0.971	49	V	166	0.820	117	V	183	0.563	185	III
19	0.964	50	II	20	0.819	118	III	85	0.554	186	II
111	0.964	51	V	124	0.815	119	IV	26	0.554	187	IV
110	0.960	52	V	140	0.809	120	V	132	0.505	188	V
164	0.959	53	II	150	0.809	121	II	192	0.505	189	III
154	0.959	54	I	114	0.808	122	IV	100	0.493	190	IV
15	0.958	55	IV	3	0.806	123	V	116	0.474	191	V
181	0.957	56	V	167	0.803	124	III	156	0.469	192	II
145	0.957	57	V	153	0.802	125	II	155	0.468	193	III
35	0.957	58	III	17	0.798	126	III	28	0.459	194	IV
12	0.953	59	III	197	0.798	127	IV	46	0.436	195	II
77	0.949	60	IV	185	0.797	128	IV	30	0.350	196	II
11	0.948	61	III	95	0.796	129	IV	31	0.270	197	I
48	0.946	62	III	42	0.796	130	III	96	0.269	198	III
70	0.944	63	IV	58	0.793	131	II	7	0.249	199	III
81	0.944	64	IV	112	0.792	132	V	6	0.239	200	III
187	0.940	65	IV	123	0.792	133	III	105	0.194	201	V
173	0.939	66	V	71	0.790	134	V	83	0.189	202	III
32	0.936	67	V	127	0.789	135	IV	29	0.140	203	IV
201	0.936	68	III	199	0.788	136	III				

粗体表示筛选到的优异种质资源

The bold type indicates the selected elite germplasm

将综合得分F值与性状表型值进行相关性分析,结果表明(表9),F值与25个性状中的16个性状呈极显著正相关,与4个性状呈显著正相关,与另外5个性状相关性不显著。F值与80%的性状都具有(极)显著正相关性,因此可以作为综合评价江苏省大豆地方种质资源的指标依据。

2.7 江苏大豆优异种质资源筛选

根据综合得分结果,从203份大豆种质资源中筛选出7份优异资源(表1、表8和图4)。

蓝籽豆 编号36,综合得分为1.385,排名第一。收集编号为2018321403,收集于常州市溧阳市溧城镇八字桥村,隶属于第IV类群。该种质茎为曲茎,荚色为深褐色,生育日数(136 d)、开花日数(71 d)和结荚日数(80 d)均较长,茎较粗(15 mm),单株荚数较多(219),单株粒重(86.84 g)和百粒重(44.99 g)均

较大。

新巷黑大豆 编号67,综合得分为1.319,排名第二。收集编号为2020321738,收集于苏州市常熟市尚湖镇新巷村,隶属于第II类群。该种质茎为曲茎,籽粒为黑色,茎较粗(18 mm),单株荚数(125)和单株粒数(240)均较多,单株粒重(87.41 g)和百粒重(37.83 g)均较大。

牛达鞭 编号1,综合得分为1.310,排名第三。收集编号为P320281029,收集于无锡市江阴市南闸街道观山村,隶属于第III类群。该种质株型收敛,茎为扁茎,粒形为扁椭圆形,种皮易裂,生育日数(136 d)、开花日数(71 d)和结荚日数(80 d)均较长,株高较高(109.7 cm),有效分枝数(9)和主茎节数(23)均较多,茎较粗(14 mm),百粒重较大(39.26 g)。

黑豆 编号119,综合得分为1.267,排名第四。收集编号为2016322500,收集于连云港市赣榆区柘

汪镇仲家湖村,隶属于第V类群。该种质荚色和粒色均为黑色,荚形为直形,粒形为长椭圆形,开花日数(71 d)和结荚日数(80 d)均较长,株高较高

(110 cm),主茎节数(24)、单株荚数(171)和单株粒数(348)均较多。

表9 性状综合得分F值与表型值的相关系数

Table 9 Correlation coefficients between F value of comprehensive score and phenotype of traits

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient	性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient
花色 Flower color	0.388**	株高 lant height	0.611**
粒色 Seedcoat color	0.130*	有效分枝数 Effective branch number	0.507**
种皮光泽 Seedcoat luster	-0.093	主茎节数 Number of nodes on main stem	0.423**
粒形 Seed shape	0.103*	茎粗 Stem diameter	0.692**
种皮裂纹 Seed crack	0.169**	单株荚数 Pod number per plant	0.525**
脐色 Hilum color	0.460**	底荚高度 Pod height at bottom	0.096
茸毛色 Pubescence color	-0.094	单株粒数 Seed number per plant	0.468**
荚色 Mature pod color	-0.067	每荚粒数 Seed number per pod	0.025
叶形 Leaf shape	0.151*	单株粒重 Seed weight per plant	0.678**
株型 Plant type	0.441**	百粒重 100-seed weight	0.351**
茎形状 Stem shape	0.331**	生育日数 Growth duration	0.568**
荚形 Pod shape	0.127*	开花日数 Flowering duration	0.726**
		结荚日数 Podding duration	0.701**

*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平下显著相关

* and ** indicate significant correlation at the levels of $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively



A, B: 蓝籽豆; C, D: 新巷黑大豆; E, F: 牛达鞭; G, H: 黑豆; I, J: 黑皮青仁豆; K, L: 九月黄; M, N: 大花毛豆

A, B: Blue seed soybean; C, D: Xingang black soybean; E, F: Niudabian soybean; G, H: Black soybean; I, J: Black skinned green kernel soybean; K, L: Jiuyuehuang soybean; M, N: Dahua young soybean

图4 筛选到的优异大豆地方种质资源

Fig.4 The selected elite soybean landraces

黑皮青仁豆 编号104,综合得分为1.241,排名第五。收集编号为2020321506,收集于南通市如东县大豫镇马家店村,隶属于第V类群。该种质籽粒种皮为黑色,子叶色为绿色,茎较粗(12 mm),单株荚数(198)和单株粒数(367)均较多,单株粒重较高(91.12 g)。

九月黄 编号27,综合得分为1.238,排名第

六。收集编号为2020321220,收集于常州市溧阳市戴埠镇集镇社区,隶属于第III类群。该种质茎为曲茎,粒形为扁椭圆形,脐色为褐色,开花日数(71 d)和结荚日数(80 d)均较长,株高较高(101.2 cm),有效分枝数较多(8),茎较粗(18 mm)。

大花毛豆 编号75,综合得分为1.217,排名第七。收集编号为2020321727,收集于苏州市常熟市

支塘镇任南村,隶属于第V类群。该种质茎为扁茎,粒色为双色(鞍挂),粒形为扁椭圆形,有效分枝数较多(8),茎较粗(18 mm),单株荚数较多(118),底荚高度较高(5 cm),单株粒重(87.54 g)和百粒重(41.06 g)均较大。

3 讨论

本次普查行动收集的203份大豆地方种质资源中,在苏州市、南通市、泰州市和淮安市收集到的大豆资源较多,合计有114份,占有收集资源的56%(表1,图1),说明在这4个地区的农户中保持着种植大豆的习惯。江苏省内大豆种植区域可划分为淮北高油大豆产区、淮南和苏南高蛋白大豆产区和鲜食大豆产区^[19]。苏州市、南通市和泰州市均属于淮南和苏南高蛋白大豆产区,来源于这3个地区的大豆资源有高蛋白育种的潜力。而淮安跨淮北和淮南两区,来源于该地区的大豆资源兼具高油高蛋白的育种潜力。另外来源于苏州市的36份资源中有许多鲜食大豆品种,说明当地居民较为喜食毛豆。淮南产大豆具有较高的蛋白品质,多用于加工豆制品,市场售价普遍高于其他地区产大豆,因此农户种植大豆的积极性较高。

对种质资源群体材料进行表型性状的遗传多样性分析可直观的反映物种群体的多样性丰富程度,为后续新基因挖掘和资源开发利用提供最基础的物质依据^[16]。目前制约我国大豆生产最重要的因素是缺乏高产优质品种,科学系统的评价大豆种质资源遗传多样性的真实表现,筛选优良资源作为育种亲本,对培育大豆新品种具有重要的现实意义^[20]。本研究对203份江苏省大豆地方品种资源的25个性状进行了多样性分析,结果表明绝大多数性状存在丰富的遗传变异。变异系数和多样性指数是两个衡量群体多样性程度的重要指标,变异系数反映性状指标数值的离散程度,而多样性指数反映性状类型的丰富程度^[21]。本研究中25个性状的平均变异系数为33.38%,除叶形、茸毛色、生育日数、开花日数和结荚日数外,其余20个性状的变异系数均大于20%,特别是茎形状、粒色、单株粒数和单株粒重的变异系数则均超过了50%,由此可以看出,江苏省大豆资源由于来源地较为集中,生育期相关的性状变异程度较小,但产量相关性状的差异较大。从多样性指数方面来看,25个性状的平均多样性指数为1.3661,形态特征性状的多样性指数相对较低,仅有种皮裂纹、粒色、荚色和种皮光泽的多样性指

数大于1,而全部数量性状的多样性指数都大于1,其中主茎节数、百粒重、株高和每荚粒数的多样性指数均大于2,说明这些性状的多样性较为丰富。以上研究结果与前人的研究结果较为一致^[8,21]。

通过聚类分析将203份材料分为5个类群,类群划分与地理来源之间没有相关性,呈混合分布特点,江苏地处长江下游和南北气候过渡地带,属长江中下游二熟制春夏作大豆品种生态区,适宜大豆生长,大豆地方品种类型丰富,除了光照敏感类型不能适应本地区气候,大部分品种都能适应本地气候,因此没有明确的地理分化类型。但各个类群在表型上具有各自的特征,如第I类群资源的籽粒较大,生育期较长,第II类群资源植株比较粗壮,第III类群资源的株型较为理想,第IV类群资源的产量较高,第V类群资源的有效分枝数和单株荚数较多。育种中,可根据不同的育种目标选取各类群中的具有代表性的优异资源进行亲本组配,提高育种效率。

利用主成分分析简化凝练资源评价指标,进而结合隶属函数法对资源进行综合评价,筛选出为后续育种利用的优异资源材料,这种资源评价方法已经在水稻^[22]、大豆^[6,8]、花生^[16]、芝麻^[17]和冬瓜^[18]等作物中广泛应用。本研究将25个性状指标简化为8个主成分因子,累计贡献率达68.361%,第1主成分是与生育期相关的因子,第2主成分是与单株产量相关的因子,第3主成分是与籽粒特征性状相关的因子,但第4到8主成分与特定类型性状的相关性不明显,特征向量绝对值最大的依次为每荚粒数、茎形状、主茎节数、粒形和茸毛色。前3个主成分的累计贡献率为42.930%,已接近50%,可看作决定江苏省大豆地方资源多样性的主要因素,后续可重点对生育期、单株产量和籽粒特征进行针对性改良。在资源评价方面,利用计算获得的F值进行从高到低的排序,作为评价资源优劣的标准,本研究筛选排名前7位的材料作为优异资源材料,分别来自常州市(2份)、苏州市(2份)、无锡市(1份)、连云港市(1份)、南通市(1份),结合每份资源的性状特点,可在各个产区作为优良亲本供育种利用。

本研究依托“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”,对江苏省收集的大豆地方种质资源进行了系统评价,分析了本次收集资源的遗传多样性与育种潜力,下一步将围绕品质、抗性和株型等重要目标性状进行精准鉴定,结合基因型检测,筛选发掘优异特色基因资源,服务大豆品种创新,助力“大豆振兴”计划,打赢大豆种业翻身仗。

参考文献

- [1] 盖钧镒, 熊冬金, 赵团结. 中国大豆育成品种系谱与种质基础(1923-2005). 1版. 北京: 中国农业出版社, 2015: 1-10
Gai J Y, Xiong D J, Zhao T J. The pedigrees and germplasm bases of soybean cultivars released in China (1923-2005). 1st edition. Beijing: China Agricultural Press, 2015: 1-10
- [2] 徐瑶, 冷苏凤, 张玉明, 宋锦花, 赵可. 1982-2021年江苏省审定大豆品种主要农艺性状、产量、品质及抗性演变分析. 中国油料作物学报, 2022, 44(4): 780-789
Xu Y, Leng S F, Zhang Y M, Song J H, Zhao K. Evolution analysis of main agronomic traits, yield, quality and resistance of soybean varieties released in Jiangsu province from 1982 to 2021. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2022, 44(4): 780-789
- [3] 颜伟, 杨欣, 朱银, 狄佳春, 徐婷婷, 蔡士宾. 江苏省农业种质资源保护与利用平台建设现状与发展建议. 江苏农业科学, 2020, 48(15): 52-57
Yan W, Yang X, Zhu Y, Di J C, Xu T T, Cai S B. The present construction situation and development suggestions of Jiangsu agricultural germplasm resources protection and utilization platform. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2020, 48(15): 52-57
- [4] 韩天富, 周新安, 关荣霞, 孙石, 田世艳, 王曙明, 杨中路. 大豆种业的昨天、今天和明天. 中国畜牧业, 2021, 12: 29-34
Han T F, Zhou X A, Guan R X, Sun S, Tian S Y, Wang S M, Yang Z L. Yesterday, today and tomorrow of soybean seed industry. China Animal Industry, 2021, 12: 29-34
- [5] 邱丽娟, 常汝镇, 孙建英, 李向华, 许占友, 刘立宏. 中国大豆品种资源的评价与利用前景. 中国农业科技导报, 2000, 2(5): 58-61
Qiu L J, Chang R Z, Sun J Y, Li X H, Xu Z Y, Liu L H. Prospects of evaluation and utilization of soybean germplasm in China. Journal of Agricultural Science and Technology, 2000, 2(5): 58-61
- [6] 刘歆, 杨芳, 邓军波, 汪媛媛, 何念, 陈艳. 江汉平原大豆品系表型分析及综合评价. 作物杂志, 2021, 5: 57-63
Liu X, Yang F, Deng J B, Wang Y Y, He N, Chen Y. Phenotypic analysis and comprehensive evaluation of soybean strains in Jianghan Plain of China. Crops, 2021, 5: 57-63
- [7] 王继亮, 宗春美, 王德亮, 王燕平, 蒋红鑫, 杨丹霞, 傅蒙蒙, 王磊, 任海祥, 赵团结, 杜维广, 盖钧镒. 东北大豆种质群体在佳木斯的表型鉴定及利用探析. 中国油料作物学报, 2021, 43(6): 996-1005
Wang J L, Zong C M, Wang D L, Wang Y P, Jiang H X, Yang D X, Fu M M, Wang L, Ren H X, Zhao T J, Du W G, Gai J Y. Identification, evaluation and improvement utilization of northeast China soybean germplasm population in Jiamusi. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2021, 43(6): 996-1005
- [8] 徐泽俊, 齐玉军, 邢兴华, 童飞, 王幸. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价. 植物遗传资源学报, 2022, 23(2): 468-480
Xu Z J, Qi Y J, Xing X H, Tong F, Wang X. Analysis and evaluation of agronomic and quality traits in soybean germplasms from Huang-Huai-Hai region. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(2): 468-480
- [9] 陈新, 顾和平, 张红梅, 陈华涛, 袁星星. 江苏省大豆生产发展历史、现状与前景分析. 江苏农业科学, 2011, 1: 6-9
Chen X, Gu H P, Zhang H M, Chen H T, Yuan X X. Analysis on the history, present situation and prospect of soybean production in Jiangsu province. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 1: 6-9
- [10] 许世蛟, 辛俊, 孙莉, 梁晓娟, 赵言文. 江苏省大豆种质资源现状分析及保护对策. 江西农业学报, 2008, 20(3): 10-12
Xu S J, Xin J, Sun L, Liang X J, Zhao Y W. Status analysis and strategy research on soybean germplasm resources in Jiangsu province. Acta Agriculturae Jiangxi, 2008, 20(3): 10-12
- [11] 刘旭, 李立会, 黎裕, 方涛. 作物种质资源研究回顾与发展趋势. 农学学报, 2018, 8(1): 1-6
Liu X, Li L H, Li Y, Fang W. Crop germplasm resources: Advances and trends. Journal of Agriculture, 2018, 8(1): 1-6
- [12] 朱银, 邹淑琼, 汪巧玲, 杨欣, 狄佳春, 徐婷婷, 颜伟, 宋锦花. 江苏省农作物种质资源调查收集的成效与建议. 中国种业, 2019, 10: 43-48
Zhu Y, Zou S Q, Wang Q L, Yang X, Di J C, Xu T T, Yan W, Song J H. Achievement and suggestion on the investigation and collection of crop germplasm resources in Jiangsu province. China Seed Industry, 2019, 10: 43-48
- [13] 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
- [14] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication. 1st edition. Chicago: The University of Illinois, Urbana, 1949: 3-14
- [15] 孟珊, 狄佳春, 苏彩霞, 朱银, 徐婷婷, 朱小品, 杨欣, 邹淑琼, 汪巧玲, 颜伟. 江苏省扁豆地方种质资源遗传多样性评价. 植物遗传资源学报, 2021, 22(5): 1258-1272
Meng S, Di J C, Su C X, Zhu Y, Xu T T, Zhu X P, Yang X, Zou S Q, Wang Q L, Yan W. Genetic diversity analysis of hyacinth bean landraces collected from Jiangsu province. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(5): 1258-1272
- [16] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王幸, 王晓军, 王伟. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选. 植物遗传资源学报, 2018, 19(5): 865-874
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X, Wang X J, Wang W. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(5): 865-874
- [17] 杨航, 于二汝, 魏忠芬, 奉斌, 李慧琳. 贵州地方芝麻种质资源品质性状的分析与评价. 植物遗传资源学报, 2020, 21(2): 369-376
Yang H, Yu E R, Wei Z F, Feng B, Li H L. Analysis and

- evaluation of quality-related traits in sesame germplasm resources in Guizhou. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(2): 369-376
- [18] 关峰, 石博, 万新建, 张景云, 黄长林, 张会国, 黄国东. 江西省地方冬瓜种质资源表型性状遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(2): 385-397
Guan F, Shi B, Wan X J, Zhang J Y, Huang C L, Zhang H G, Huang G D. Genetic diversity analysis of wax gourd resources collected from Jiangxi province using phenotypic traits. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(2): 385-397
- [19] 陈新, 袁星星, 崔晓艳, 陈华涛, 顾和平, 张红梅. 江苏省大豆生产发展布局与未来发展方向. *江苏农业科学*, 2013, 41(8): 5-7
Chen X, Yuan X X, Cui X Y, Chen H T, Gu H P, Zhang H M. Development layout and future development direction of soybean production in Jiangsu province. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 41(8): 5-7
- [20] 李敏, 关博文, 杨学, 陈庆山, 张睿, 武小霞, 金慧, 吴玉娥. 大豆种质资源遗传多样性分析. *农业科技通讯*, 2021, 11: 4-8
Li M, Guan B W, Yang X, Chen Q S, Zhang R, Wu X X, Jin H, Wu Y E. Genetic diversity analysis of soybean germplasm resources. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2021, 11: 4-8
- [21] 王鹏, 侯思宇, 武艳杏, 李贵全. 基于农艺性状的大豆种质资源多样性分析及评价. *山西农业科学*, 2021, 49(9): 1025-1030
Wang P, Hou S Y, Wu Y X, Li G Q. Diversity analysis and comprehensive evaluation of soybean germplasm resources based on agronomic traits. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2021, 49(9): 1025-1030
- [22] 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. *作物学报*, 2012, 38(5): 829-839
Hu B L, Wan Y, Li X, Lei J G, Luo X D, Yan W G, Xie J K. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(5): 829-839