 DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.20250912003

大豆种质资源表型遗传多样性分析及综合评价

李思梦，王好让，晋彤彤，徐泽俊，齐玉军，邢兴华，王　幸

（江苏徐淮地区徐州农业科学研究所，徐州 221131）

摘要：大豆作为全球重要的粮油作物，其种质资源遗传多样性的研究对育种工作至关重要。以2205份国内外大豆种质资源为研究对象，通过连续3年的田间试验，系统分析20个表型性状的遗传多样性与变异规律，并进行综合评价。结果表明，质量性状变异系数范围为12.30%~64.35%，其中粒色变异最大；荚色、脐色、倒伏性的遗传多样性较为丰富（遗传多样性指数>1）。数量性状变异系数范围为5.18%~52.67%，其中蛋白质含量、脂肪含量和生育天数变异较小，性状遗传较为稳定；有效分枝数、单株粒数、底荚高度、有效荚数变异丰富。数量性状的遗传多样性指数均表现较高，范围在1.89~2.09，呈现丰富的表型遗传多样性。相关性分析表明，多个重要性状间存在显著或极显著相关性，但质量性状与多数数量性状间相关性较弱。聚类分析将供试材料划分为4个类群：第I类高蛋白、抗倒伏性强；第II类早熟矮秆；第III类高产、长生育期；第IV类高产、高蛋白、粒色丰富，但抗倒伏性弱。主成分分析提取7个主成分，累计贡献率73.51%，前3个主成分涵盖生育期与产量形成、产量与品质、种子特征与产量相关性状。基于隶属函数和主成分权重构建2205份种质的综合评分（F值），根据F值筛选出综合表现为最优的前50份种质，其中49份属于IV类群，1份种质属于第II类群。F值与除叶形、荚色外的多数性状呈显著或极显著相关，验证了其作为综合评价指标的有效性。研究系统解析了2205份大豆种质资源的表型遗传多样性，明确了各类群资源的育种利用方向，构建的综合评价模型为高效筛选核心优异种质资源、定向培育满足不同需求的大豆新品种提供了重要的理论基础和材料支撑。

关键词：大豆；种质资源；表型性状；遗传多样性；综合评价

Phenotypic Genetic Diversity Analysis and Comprehensive Evaluation of *Glycine max* Germplasm Resources

LI Simeng, WANG Haorang, JIN Tongtong, XU Zejun, QI Yujun, XING Xinghua, WANG Xing

（*Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in the Xuhuai Region of Jiangsu Province，Xuzhou 221131*）

Abstract: Soybean is a crucial global grain and oilseed crop, and research on the genetic diversity of its germplasm resources is vital for breeding programs. This study evaluated 2205 soybean germplasm accessions of domestic and foreign origins. Through three consecutive years of field trials, we systematically analyzed the genetic diversity and variation patterns of 20 phenotypic traits and conducted a comprehensive evaluation. The results revealed that the coefficients of variation (*CV*) for qualitative traits ranged from 12.30% to 64.35%, with seed color showing the highest variation. Mature pod color, hilum color, and lodging resistance exhibited rich genetic diversity (diversity index>1). For quantitative traits, the *CV* ranged from 5.18% to 52.67%. Protein content, oil content, and days to maturity showed minimal variation, indicating relatively stable inheritance, while the number of productive branches, seeds number per plant, bottom pod height, and number of effective pods displayed abundant variation. The genetic diversity index for quantitative traits was uniformly high, ranging from 1.89 to 2.09, indicating rich phenotypic genetic diversity. Correlation analysis revealed significant or highly significant correlations among several key traits, but correlations between qualitative traits and most quantitative traits were weak. Cluster analysis categorized the accessions into four distinct groups: Group I with high protein content and strong lodging resistance; Group II characterized by early maturity and short stature; Group III with high yield and a long growth period; and Group IV exhibiting high yield, high protein, diverse seed coat colors, but weak lodging resistance. Principal component analysis (PCA) extracted seven principal components, collectively explaining 73.51% of the total variance. The first three principal

收稿日期：2025-09-12　　**网络出版日期：**2025-12-19

URL: https: //doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250912003

第一作者研究方向为大豆遗传育种与资源研究，E-mail: 1040053758@qq.com

通信作者：王　幸，研究方向为大豆遗传育种与栽培技术，E-mail: sxwangxing@126.com

基金项目：国家大豆产业技术体系（CARS-04-CES19）；徐州市农业科学院科研基金（JC2024002）

Foundation projects: China Agriculture Research System of Soybean (CARS-04-CES19); Xuzhou Academy of Agricultural Sciences Research Fund (JC2024002)

components were associated with growth duration and yield formation, yield and quality, and seed characteristics, respectively. A comprehensive evaluation score (F-value) for the 2205 germplasms was developed based on membership function and PCA-derived weights. Screening based on the F-value identified the top 50 comprehensively superior germplasms, of which 49 belonged to Group IV and one to Group II. The F-value showed significant or highly significant correlations with most traits, except for leaf shape and mature pod color, verifying its effectiveness as a comprehensive evaluation index. This study systematically deciphers the phenotypic genetic diversity of 2205 soybean germplasm resources, clarifies the breeding utilization directions for different groups, and establishes a comprehensive evaluation model that provides a significant theoretical foundation and material support for efficiently screening core elite germplasm and directionally breeding new soybean varieties to meet diverse needs.

Key words: soybean; germplasm resources; phenotypic traits; genetic diversity; comprehensive evaluation

大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]作为全球重要的粮油兼用作物，是植物蛋白和食用油的主要来源[1-2]，其高产和稳产性直接影响粮食安全。随着全球气候变化和耕地资源的约束，我国大豆供求矛盾一直较突出[3]。作为大豆原产国，经过长时间生长环境中的自然演化和人工选择，已形成众多遗传特性各异的大豆种质资源[4-6]。然而，与巴西、美国等主产国相比，我国大豆单产水平和脂肪含量相对较低。其中，遗传背景狭窄是限制大豆产量和品质发展的关键因素，因此，利用国外优异种质拓宽国内品种遗传背景，挖掘大豆种质资源遗传潜力、优化育种效率，成为了现代育种工作的核心[7]。

早期已有学者开展大豆种质资源的表型变异规律等相关研究工作，王小翠等[8]对 2254 份不同来源的大豆种质资源进行鉴定，明确其生态利用类型以及产量与品质性状的特征特性，从而筛选出高油和产量性状优异的大豆种质。曾维英等[9]对供试的 382 份大豆种质资源进行分析评价，结果表明供试材料具有丰富的遗传多样性，并筛选出具有高蛋白质、高脂肪、特大粒及适合加工的优异种质资源。黎松松等[10]对 45 份鲜食春大豆种质资源进行了质量性状和数量性状的综合评价，发现 JS-19、JS-28、JS-32、JS-33 等种质资源表现出优异的抗病性。孟珊等[11]对收集到的江苏大豆地方种质资源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。

本研究整合了 2205 份来源广泛的大豆种质资源作为试验材料，经过连续 3 年重复种植与鉴定，并系统分析 20 个关键表型性状，同时构建了结合隶属函数与主成分权重的综合评价模型，旨在更全面地解析其遗传多样性，为后续定向育种提供更具针对性的优异种质与理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料共计 2205 份（详见 https: //doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250912003，附表 1），均由中国农业科学院作物科学研究所提供。其中，国内种质 1466 份，来源于安徽、北京、福建、甘肃、贵州、河北、河南、湖北、江苏、江西、辽宁、内蒙古、宁夏、山东、山西、陕西、上海、四川、新疆、西藏、云南、浙江等省（区、市），有 38 份种质具体来源地区不明；国外种质 684 份，涵盖朝鲜、东欧、俄罗斯、法国、韩国、加拿大、美国、南斯拉夫、尼泊尔、日本、瑞典、匈牙利、意大利及英国等国家和地区；此外，还包括 55 份未知来源的种质（表 1）。

表 1 2205 份供试大豆种质资源信息

Table 1 Information of 2205 tested soybean germplasm resources

来源 Origin	种质份数 Number of germplasms	来源 Origin	种质份数 Number of germplasms
中国安徽 Anhui, China	69	中国云南 Yunnan, China	9
中国北京 Beijing, China	106	中国浙江 Zhejiang, China	5
中国福建 Fujian, China	1	中国西藏 Xizang, China	1
中国甘肃 Gansu, China	14	朝鲜 North Korea	2
中国贵州 Guizhou, China	45	东欧 Eastern Europe	53
中国河北 Hebei, China	198	俄罗斯 Russia	4
中国河南 Henan, China	87	法国 France	5
中国湖北 Hubei, China	1	韩国 South Korea	41
中国江苏 Jiangsu, China	160	加拿大 Canada	10
中国江西 Jiangxi, China	5	美国 America	434
中国辽宁 Liaoning, China	261	南斯拉夫 Yugoslavia	3
中国内蒙古 Inner Mongolia, China	26	尼泊尔 Nepal	2
中国宁夏 Ningxia, China	25	日本 Japan	97
中国山东 Shandong, China	152	瑞典 Sweden	2
中国山西 Shanxi, China	153	匈牙利 Hungary	3
中国陕西 Shaanxi, China	73	意大利 Italy	4
中国上海 Shanghai, China	5	英国 Britain	24
中国四川 Sichuan, China	19	未知 Unknown	55
中国新疆 Xinjiang, China	13	中国 China	38

1.2 试验设计

试验于 2022–2024 年在江苏徐淮地区徐州农业科学研究所农业示范园区进行。供试种质编号统一设置为 1~2205，按照顺序排列种植，两行区，行长 2 m，行距 50 cm，株距 10 cm，区道间距 80 cm。四周设置保护行，连续 3 年种植于同一块地，前茬作物为小麦，土壤 PH 值为 7.66，碱解氮 131 mg/kg，有效磷 6.06 mg/kg，速效钾 118 mg/kg，水溶性盐 1.35 mg/kg，田间管理按照当地大田种植模式进行。

1.3 性状测定与数据采集

每份供试材料连续选取 10 株，参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》[12]进行大豆表型数据采集，田间记载花色、粒色、脐色、荚色、叶形、倒伏性以及初花期、成熟期，并计算初花天数和生育天数；成熟后室内考查株高、底荚高度、第五节位高度、有效分枝数、主茎节数、有效荚数、百粒重、10 株粒重、单株粒数、每荚粒数；利用近红外品质分析仪检测脂肪及蛋白质含量[13]。所有供试材料连续 3 年重复种植与鉴定，以获取稳定的表型数据，为便于后续统计分析和研究，对质量性状进行赋值，具体见表 2，数量性状取 3 年鉴定数据的平均值进行后续分析。

表 2 质量性状赋值

Table 2 Assignment of qualitative traits

性状 Traits	赋值 Assignment
花色 Flower color	1.白；2.紫
叶形 Leaf shape	1.披针；2.卵圆；3.椭圆；4.圆
荚色 Mature pod color	1.灰褐；2.黄褐；3.褐；4.深褐；5.黑
粒色 Seed color	1.黄；2.绿；3.黑；4.褐；5.双色
脐色 Hilum color	1.黄；2.淡褐；3.褐；4.深褐；5.蓝；6.淡黑；7.黑
倒伏性 Lodging resistance	1.不倒；2.轻倒；3.中倒；4.重倒；5.严重倒

1.4 数据统计与分析

利用 Excel 2010 软件对试验数据进行统计和计算 Shannon-Weaver 遗传多样性指数 H'[11, 14]，利用 IBM SPSS Statistics 26 对试验数据进行描述性、相关性及主成分分析，使用 origin 绘制聚类分析图，聚类分析时先将数据进行标准化，使用欧氏距离和 Ward（离差平方和）法进行分析[15-16]。将主成分分析与隶属函数法结合计算所有材料的综合评价指标 F 值[17-18]，计算公式如下。

$$X(\mu xi) = (Xi - Xmin) / (Xmax - Xmin) \quad (i=1, 2, 3,\cdots,n) \quad (1)$$

其中，X（μxi）表示隶属函数值；Xi 表示第 i 个供试材料某一表型性状指标测定值；Xmin 和 Xmax 表示第 i 个供试材料同一表型性状指标的最小值和最大值。

$$Qi=Ri/\Sigma Ri \quad (i=1, 2, 3,\cdots,n) \quad (2)$$

其中，Qi 为第 i 个综合指标在所有综合指标中的权重，Ri 为各品种第 i 个综合指标的贡献率。

$$F=\Sigma[X(\mu xi)\times Qi] \quad (i=1, 2, 3,\cdots,n) \quad (3)$$

其中，F 为综合评价值

2 结果与分析

2.1 大豆种质资源质量性状遗传多样性分析

对 2205 份大豆种质资源的 6 个质量性状特征进行遗传多样性分析（表 3），各性状均展现出不同程度的变异，其中脐色变异类型为 7 种，表现最为丰富；荚色、粒色及倒伏性的变异类型各有 5 种，叶形变异类型有 4 种；而花色变异类型最少，仅有 2 种。6 个质量性状的变异类型共 28 个，变异系数范围在 12.30%~64.35%之间，平均变异系数为 43.03%，其中粒色和倒伏性的变异系数较大，表明这 2 个性状的离散程度较大，变异度丰富；叶形变异系数最小，说明叶形遗传特性较稳定。在 2205 份大豆种质中，主要以紫花、卵圆叶、褐色荚、黄色种皮、淡褐色种脐、不倒的材料居多，分布频率分别为 42.99%、94.60%、46.98%、81.09%、31.93%和 52.70%。遗传多样性指数范围在 0.23~1.57，平均为 0.96，其中荚色、脐色、倒伏性，多样性指数大于 1，表明荚色、脐色和倒伏性在种质间的遗传差异较大，遗传基础较广；然而，叶形多样性指数仅为 0.23，说明这些种质间叶形遗传多样性不明显，变异程度小，遗传基础较窄。

表 3 大豆种质资源质量性状的频率分布与遗传多样性分析

Table 3 Frequency distribution and genetic diversity analysis of qualitative traits in soybean germplasm resources

性状	分布频率（%）Distribution frequency							变异系数（%）	遗传多样性指数
Traits	1	2	3	4	5	6	7	*CV*	*H'*
花色 Flower color	42.99	57.01						31.53	0.68
叶形 Leaf shape	4.76	94.60	0.45	0.19				12.30	0.23
荚色 Mature pod color	10.34	26.39	46.98	12.52	3.77			34.36	1.57
粒色 Seed color	81.09	6.03	7.98	3.27	1.63			64.35	0.72
脐色 Hilum color	5.12	31.93	30.03	14.42	0.50	1.90	16.10	52.57	1.33
倒伏性 Lodging resistance	52.70	28.20	8.03	6.44	4.63			63.04	1.22

1~7 代表各质量性状类型，质量性状的赋值标准详见表 2

The numbers 1-7 represent different types of qualitative traits, with their assigned values detailed in table 2

2.2 大豆种质资源数量性状遗传多样性分析

对 2205 份大豆种质资源的 14 个数量性状进行遗传多样性分析，各性状均存在不同程度的变异（表 4），变异系数范围在 5.18%~52.67%之间，其中蛋白质含量、脂肪含量、生育天数的变异范围较小，在 5.18%~10.18%之间，表明这 3 个性状遗传较为稳定；与产量相关的 4 个性状有效分枝数、单株粒数、底荚高度、有效荚数变异系数分别为 52.67%、36.81%、36.35%、36.30%，这 4 个性状变异系数处于较高水平，说明供试材料在产量方面具有较大的改良潜力。14 个性状的遗传多样性指数范围在 1.89~2.09 之间，平均为 2.03，其中生育天数、株高、第五节位高度、有效分枝数、主茎节数、有效荚数、百粒重、10 株粒重、单株粒数、蛋白质含量、脂肪含量的遗传多样性指数均在 2.00 以上，说明这些性状表型相对较多，且分布较为均衡，可为新品种选育及优异遗传资源发掘提供前提条件，适宜进行评价分析。

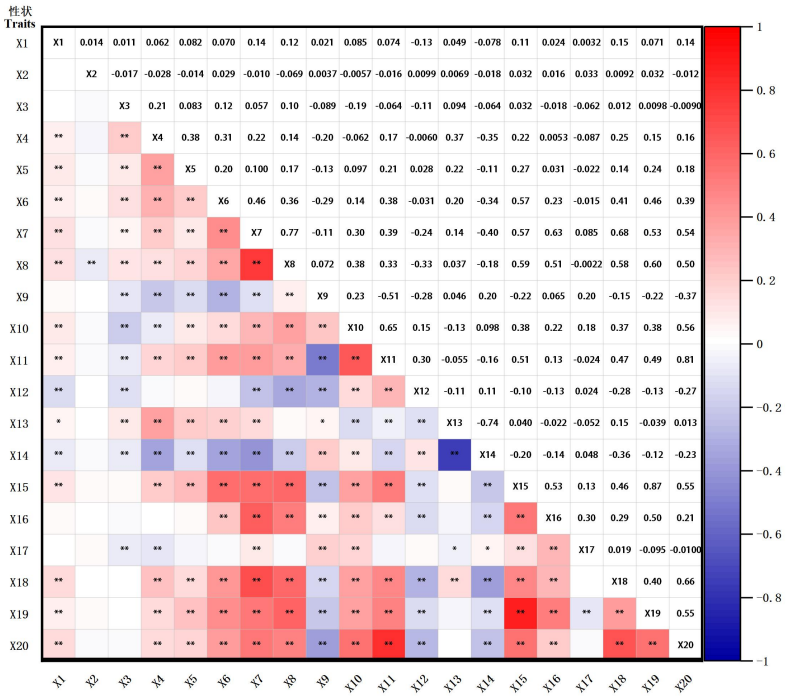
表 4 大豆种质资源数量性状遗传多样性分析

Table 4 Genetic diversity analysis of quantitative traits in soybean germplasm resources

性状	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数（%）	遗传多样性指数
Traits	Min.	Max.	Mean	*SD*	*CV*	*H'*
初花天数（d）Days to first flowering	19.00	75.67	38.70	9.71	25.09	1.89
生育天数（d）Days to maturity	72.00	133.00	103.18	10.51	10.18	2.06
株高（cm）Plant height	21.61	163.58	73.67	24.68	33.50	2.07
底荚高度（cm）Bottom pod height	2.66	28.06	9.74	3.54	36.35	1.94
第五节位高度（cm）Height of the fifth node	9.18	21.71	14.25	1.99	13.98	2.07
有效分枝数 Number of productive branches	0.00	12.66	3.20	1.69	52.67	2.02
主茎节数 Number of nodes on main stem	6.98	48.00	16.13	3.79	23.50	2.08
有效荚数 Number of effective pods	16.06	167.67	60.60	22.00	36.30	2.00
百粒重（g）100-seed weight	3.95	36.07	15.50	3.91	25.21	2.07
10 株粒重（g）10-plant seed weight	30.00	455.00	184.88	57.49	31.10	2.07
单株粒数 Seeds number per plant	18.41	443.61	125.23	46.10	36.81	2.01
每荚粒数 Seeds number per pod	0.73	5.00	2.12	0.51	23.99	1.96
蛋白质含量（%）Protein content	36.24	51.57	42.49	2.20	5.18	2.07
脂肪含量（%）Oil content	12.64	24.63	20.12	1.59	7.90	2.09

2.3 大豆种质资源数量性状和质量性状相关性分析

相关性分析发现（图 1），大豆数量性状与质量性状间存在不同程度的相关性，且大部分达显著或极显著水平。初花天数与生育天数的相关系数为 0.77，表明两者紧密相关，从植物生长发育的一般规律来看，初花天数较早的个体往往也会较早成熟。百粒重与单株粒数呈极显著负相关关系，相关系数为－0.51，说明在一定资源条件下，当单株粒数增多时，分配到每粒的资源可能相对较少，导致百粒重降低。单株粒数与有效荚数相关系数为 0.81，表明这两个性状间存在很强的正相关关系，有效荚数越多，单株粒数也会越多，对大豆产量构成显著影响。株高与主茎节数呈极显著正相关且相关性最强，相关系数为 0.87，可能是由于主茎节数的增加会直接对植株的高度产生贡献，每一个节都在一定程度上增加了植株的高度。蛋白含量与脂肪含量的相关系数为－0.74，二者呈较强的负相关关系，意味着蛋白质和脂肪的合成可能存在某种竞争关系，当蛋白质合成增加时，脂肪合成会相应减少，反之亦然。倒伏性与株高相关系数为 0.57，这与公认的农学知识一致，即株高是影响抗倒性的关键因素之一。同时，倒伏性与初花天数相关系数为 0.46，提示开花较晚、营养生长期较长的种质可能因植株更高大而增加了倒伏风险，具体还需结合更多生理性状进一步验证。叶形、花色、荚色、粒色等质量性状与其他数量性状之间的相关性较弱，意味着这些性状可能是由植物的遗传因素决定。综上所述，大豆的表型性状之间存在相互作用和影响。从遗传学的角度来看，这有助于了解这些性状之间的相关性，同时，复杂的相关关系也导致信息相互重叠。因此，需要进一步利用主成分分析去除重复信息，精简数据，以便更好地对大豆种质资源进行合理评价。



X1~X20 分别代表叶形、花色、荚色、粒色、脐色、倒伏性、初花天数、生育天数、百粒重、10 株粒重、单株粒数、每荚粒数、蛋白质含量、脂肪含量、株高、底荚高度、第五节位高度、有效分枝数、主茎节数、有效荚数；*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关；下同

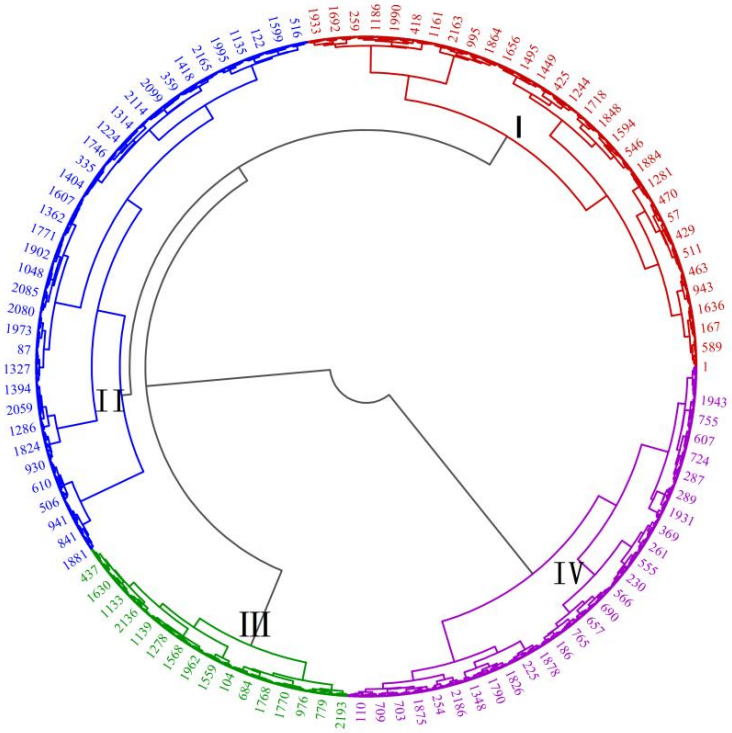
X1-X20 represent leaf shape, flower color, mature pod color, seed color, hilum color, lodging resistance, days to first flowering, days to maturity, 100-seed weight, 10-plant seed weight, seeds number per plant, seeds number per pod, protein content, oil content, plant height, bottom pod height, height of the fifth node, number of productive branches, number of nodes on main stem, and number of effective pods, respectively; * and ** indicate significant correlations at the $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively; The same as below;

图 1 大豆种质资源数量性状和质量性状相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of quantitative traits and qualitative traits in soybean germplasm resources

2.4 聚类分析

采用 Ward（离差平方和）法对 2205 份大豆种质资源进行聚类分析（图 2），结果表明，2205 份大豆种质被划分为四大类群，第 I 类群包含 614 份大豆种质，占总材料数的 27.85%，此类群种质主要来自我国的辽宁、河北以及美国，另有少量来自东欧与日本。在表型特征上（表 5，表 6），第 I 类群表现出显著共性，以紫色花、褐色荚、黄色种皮及淡褐色脐为典型特征，且叶形特征高度一致，均为卵圆形叶；此外，该类群蛋白含量相对较高，且抗倒伏能力突出，其中 63.68%的种质表现出不倒伏的特点，基于这些特性，第 I 类群可作为抗倒伏、高蛋白的重要材料开展种质创新。



1~2205 代表供试大豆种质资源编号，同附表 1；下同

1-2205 represents the number of test soybean germplasm resources, with the same as appendix table 1; The same as below

图 2 大豆种质资源表型性状聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of phenotypic traits in soybean germplasm resources

表 5 不同类群质量性状的分布特征

Table 5 Distribution characteristics of qualitative traits in different groups

性状	类型	频率（%）Frequency			
Traits	Type	类群 I Cluster I	类群 II Cluster II	类群 III Cluster III	类群 IV Cluster IV
花色 Flower color	1	36.16	40.43	52.92	47.81
	2	63.84	59.57	47.08	52.19
叶形 Leaf shape	1	0	15.11	0	0
	2	100	84.89	100	97.55
	3	0	0	0	1.75
	4	0	0	0	0.70

荚色 Mature pod color	1	17.59	6.47	8.00	8.58
	2	18.40	22.45	54.15	23.99
	3	49.19	52.37	34.15	45.36
	4	11.89	16.55	3.69	13.31
	5	2.93	2.16	0	8.76
粒色 Seed color	1	81.27	95.25	100	52.89
	2	8.47	2.88	0	10.68
	3	9.45	0.43	0	20.14
	4	0.33	1.29	0	10.68
	5	0.49	0.14	0	5.60
脐色 Hilum color	1	7.49	5.90	2.15	3.33
	2	39.58	45.47	16.62	15.94
	3	29.64	30.36	23.69	33.63
	4	10.42	13.67	13.85	19.96
	5	0	0.86	1.54	0
	6	1.14	0.86	7.69	0.70
	7	11.73	2.88	34.46	26.44
倒伏性 Lodging resistance	1	63.68	71.37	56.62	15.94
	2	28.50	24.75	34.77	28.37
	3	5.54	3.31	5.54	17.86
	4	1.63	0.58	0.92	14.89
	5	0.65	0.00	2.15	22.94

表 6 不同类群数量性状的分布特征

Table 6 Distribution characteristics of quantitative traits in different groups

性状 Traits	类群 I Cluster I		类群 II Cluster II		类群 III Cluster III		类群 IV Cluster IV	
	平均值 Mean	变异系数（%） *CV*	平均值 Mean	变异系数（%） *CV*	平均值 Mean	变异系数（%） *CV*	平均值 Mean	变异系数（%） *CV*
初花天数（d）Days to first flowering	38.55	15.50	31.82	15.85	35.75	15.06	48.94	21.56
生育天数（d）Days to maturity	103.66	7.41	95.24	9.22	105.58	5.76	110.95	9.36
株高（cm）Plant height	66.12	30.39	57.67	31.66	83.49	18.54	95.71	22.50
底荚高度（cm）Bottom pod height	9.68	32.97	8.17	29.39	9.71	24.13	11.74	38.39
第五节位高度（cm）Height of the fifth node	14.51	14.03	14.17	14.08	14.40	11.97	13.97	14.60
有效分枝数 Number of productive branches	3.18	38.71	2.02	53.00	3.04	44.99	4.76	34.84
主茎节数 Number of nodes on main stem	14.80	19.77	13.87	22.91	18.09	13.98	19.21	16.89
有效荚数 Number of effective pods	53.47	26.14	47.28	29.35	68.63	25.59	79.89	29.90
百粒重（g）100-seed weight	18.57	19.08	15.00	17.46	15.82	16.50	12.63	30.18
10 株粒重（g）10-plant seed weight	182.83	29.08	155.85	28.43	234.16	20.74	194.36	30.46
单株粒数 Seeds number per plant	100.86	30.15	105.25	28.41	150.53	23.15	161.35	31.88
每荚粒数 Seeds number per pod	1.90	22.39	2.29	24.10	2.23	15.34	2.06	25.06
蛋白质含量（%）Protein content	43.47	4.96	41.62	4.13	40.69	3.76	43.53	4.57
脂肪含量（%）Oil content	19.72	6.17	20.94	5.98	21.53	5.01	18.76	6.80

第 II 类群包含 695 份种质，占总材料数的 31.52%，此类群种质主要来自我国辽宁、山东以及美国、欧

洲等，在表型特征上，该类群花色白花和紫花分布比例相近，荚色以褐色为主，黄色种皮种质占比高达 95.25%，叶形以卵圆形为主，占 84.89%，另外 15.11%为披针形，第 II 类群的抗倒伏性能尤为突出，不倒伏材料占比 71.37%。此外，该类群还具有开花早、百粒重较低、株高较矮、每荚粒数较多等特点。利用其早熟、抗倒伏及矮株的特性，在大豆育种过程中，此类群材料能够有效改良其他品种的早熟性与抗倒伏能力。既可用于培育早熟品种以满足多样化的种植需求，又因其适合密植栽培，有助于提升单位面积产量。

第 III 类群包含 325 份种质，占总材料数的 14.47%。此类群种质主要来自我国山东、河北和美国。在表型特征上，该类群以白色花、黄褐色荚、黑色脐为典型特征，叶形均为卵圆形，在抗倒伏表现上，不倒伏与轻微倒伏材料占据主导地位，其中不倒伏材料占比达 56.62%，轻微倒伏材料占比为 34.77%，该类群的生育期相对较长。在产量构成方面，单株粒数、有效荚数和株高均表现出色，百粒重则处于中等水平，但蛋白质含量在四大类群中处于最低水平。第 III 类群凭借产量性状显著的优势，为高产大豆品种选育提供了重要的种质基础，其较高的株高特征，也为构建特殊株型，创新种植模式提供了新的可能。在育种实践中，能够作为亲本与高蛋白品种杂交，借助优势互补策略，定向提升后代的产量性状，从而培育出综合表现优异的大豆新品种。

第 IV 类群包含 571 份种质，占总材料数的 25.90%，此类群种质大部分来自中国，少量来自俄罗斯、尼泊尔等国，国内主要分布于河南、山东、陕西等地。在表型特征上，该类群白色与紫色花比例相近，荚色以褐色和黄褐色为主，叶形以卵圆形为主，同时包含少量椭圆形和圆形，种皮颜色则极为丰富，其中黄色占比最高，达 52.89%，黑色和绿色分别占 20.14%和 10.68%。该类群种质生育天数和株高均在最高水平，百粒重最小；在抗倒伏性方面，第 IV 类群表现较差，仅有 15.94%的材料未发生倒伏，而严重倒伏的占比高达 22.94%。尽管如此，单株粒数，蛋白质含量，有效荚数和主茎节数等产量构成性状在该类群中普遍表现优异。百粒重与单株粒数的变异系数分别为 30.18%和 31.88%，表明两个性状在类群内的个体间存在较大的差异。基于该类群产量和品质性状优异，且叶形和种皮颜色的丰富，第 IV 类群可作为挖掘高产、高蛋白育种材料以及培育特色外观大豆品种的重要种质资源，满足市场对多样化产品的需求。可利用其高蛋白含量和较多主茎节数的优势，培育出优质、多节且高产的大豆新品种。

2.5 主成分分析

基于主成分分析法对大豆种质资源 20 个表型性状的遗传特征进行降维分析（表 7），以特征值大于 1 为筛选标准，前 7 个主成分累计方差贡献率达 73.51%，说明它们能够解释原始数据中约 73.51%的遗传信息，可作为大豆种质资源综合评价的核心指标。第 1 主成分的解释贡献率为 28.69%，在 7 个主成分中占比最大，表明其蕴含原始数据的信息最为丰富，对数据变异的解释能力最强。从成分特征分析来看，初花天数、生育天数、株高、有效分枝数、主茎节数以及有效荚数等性状在该主成分上的特征向量值较高，这说明第 1 主成分代表了大豆生育期和植株产量形成紧密相关的综合指标。第 2 主成分的贡献率为 11.52%，从成分特

征来看，粒色、蛋白质含量、脂肪含量以及 10 株粒重等性状具有较高的特征向量值。其中，10 株粒重紧密关联产量，是衡量产量的关键指标之一；而蛋白质含量和脂肪含量则是构成大豆品质的核心要素。因此，第 2 主成分主要反映了大豆产量与品质方面的特征。第 3 主成分的解释贡献率为 9.98%，其成分特征显示，百粒重、每荚粒数、单株粒数等性状，具有较高特征向量值。百粒重是衡量种子大小和饱满程度的重要指标，每荚粒数和单株粒数直接影响着单株产量，第 3 主成分主要体现了种子特征和部分产量相关特征。第 4 主成分的解释贡献率为 6.44%，从成分特征来看，主要涉及荚色、10 株粒重、蛋白质含量等性状，反映了植株产量和形态特征的部分信息。第 5 主成分的解释贡献率为 6.21%，该成分中叶形、底荚高度、第五节位高度特征相对突出，主要反映了株型结构的部分信息。第 6 主成分解释贡献率为 5.58%，主要体现了种子外观和品质相关特征。第 7 主成分的解释贡献率为 5.10%，主要与花色相关，反映了植株花色属性。

表 7 大豆种质资源农艺性状和品质性状主成分分析

Table 7 Principal component analysis of agronomic traits and quality traits in soybean germplasm resources

性状	主成分 Principal component						
Traits	1	2	3	4	5	6	7
花色 Flower color	0.18	−0.05	0.11	0.10	−0.36	0.30	0.41
叶形 Leaf shape	0.00	0.01	0.00	0.08	0.19	−0.21	0.89
荚色 Mature pod color	0.06	−0.35	0.07	−0.49	0.06	0.22	−0.02
粒色 Seed color	0.33	−0.60	−0.14	0.01	0.12	0.33	−0.03
脐色 Hilum color	0.31	−0.28	−0.20	0.02	0.17	0.68	0.08
倒伏性 Lodging resistance	0.64	−0.24	−0.12	−0.11	0.19	−0.07	0.06
初花天数（d）Days to first flowering	0.82	−0.01	0.30	−0.01	0.03	−0.19	−0.09
生育天数（d）Days to maturity	0.76	0.13	0.36	−0.16	−0.09	0.07	−0.10
株高（cm）Plant height	0.83	0.12	0.00	−0.16	0.28	0.06	0.08
底荚高度（cm）Bottom pod height	0.54	0.24	0.44	−0.06	0.46	−0.13	−0.07
第五节位高度（cm）Height of the fifth node	0.04	0.28	0.28	0.42	0.47	0.08	−0.02
有效分枝数 Number of productive branches	0.76	−0.06	0.11	0.12	−0.31	−0.12	−0.01
主茎节数 Number of nodes on main stem	0.78	0.18	−0.03	−0.30	0.16	0.05	0.08
有效荚数 Number of effective pods	0.80	0.13	−0.22	0.06	−0.37	−0.07	0.02
百粒重（g）100-seed weight	−0.28	0.25	0.69	0.29	−0.06	0.34	−0.01
10 株粒重（g）10-plant seed weight	0.51	0.55	−0.13	0.44	−0.14	0.24	−0.05
单株粒数 Seeds number per plant	0.69	0.20	−0.61	0.19	−0.11	−0.03	−0.04
每荚粒数 Seeds number per pod	−0.19	0.12	−0.67	0.26	0.43	0.00	−0.10
蛋白质含量（%）Protein content	0.17	−0.76	0.18	0.43	0.03	−0.02	−0.05
脂肪含量（%）Oil content	−0.40	0.69	−0.11	−0.35	−0.01	0.32	0.06
特征值 Eigenvalue	5.74	2.30	2.00	1.29	1.24	1.12	1.02
贡献率（%）Contribution rate	28.69	11.52	9.98	6.44	6.21	5.58	5.10
累计贡献率（%）Cumulative contribution rate	28.69	40.21	50.19	56.62	62.84	68.42	73.51

2.6 大豆种质资源表型性状综合评价

根据主成分分析结果，将 20 个性状根据公式（1）计算的标准化值，代入上述的 7 个主成分中，得到 7

个主成分因子得分公式：

F1=0.176X1－0.001X2+0.057X3+0.332X4+0.31X5+0.636X6+0.817X7+0.759X8－0.276X9+0.506X10+0.694X11－0.185X12+0.168X13－0.403X14+0.831X15+0.54X16+0.043X17+0.755X18+0.784X19+0.801X20

F2=－0.047X1+0.007X2－0.346X3－0.596X4－0.277X5－0.24X6－0.014X7+0.129X8+0.245X9+0.553X10+0.204X11+0.122X12－0.757X13+0.689X14+0.121X15+0.24X16+0.279X17－0.056X18+0.184X19+0.134X20

F3=0.107X1+0.003X2+0.07X3－0.137X4－0.196X5－0.123X6+0.301X7+0.362X8+0.693X9－0.134X10－0.608X11－0.667X12+0.18X13－0.105X14－0.002X15+0.435X16+0.275X17+0.109X18－0.031X19－0.223X20

F4=0.104X1+0.082X2－0.489X3+0.011X4+0.022X5－0.105X6－0.01X7－0.16X8+0.289X9+0.435X10+0.185X11+0.256X12+0.432X13－0.35X14－0.159X15－0.056X16+0.423X17+0.122X18－0.295X19+0.055X20

F5=－0.361X1+0.19X2+0.063X3+0.117X4+0.168X5+0.193X6+0.025X7－0.093X8－0.063X9－0.137X10－0.114X11+0.432X12+0.03X13－0.013X14+0.279X15+0.457X16+0.47X17－0.307X18+0.159X19－0.365X20

F6=0.302X1－0.212X2+0.222X3+0.331X4+0.675X5－0.073X6－0.185X7+0.074X8+0.335X9+0.242X10－0.03X11－0.002X12－0.019X13+0.316X14+0.062X15－0.129X16+0.083X17－0.119X18+0.045X19－0.068X20

F7=0.411X1+0.885X2－0.017X3－0.034X4+0.075X5+0.057X6－0.089X7－0.102X8－0.009X9－0.045X10－0.043X11－0.103X12－0.047X13+0.059X14+0.079X15－0.072X16－0.016X17－0.012X18+0.077X19+0.021X20

再根据公式（2）计算 7 个主成分因子的贡献率权重（0.39、0.16、0.14、0.09、0.08、0.08、0.07），进而，根据公式（3）构建每个种质的综合评价函数表达式：F=0.39F1+0.16F2+0.14F3+0.09F4+0.08F5+0.08F6+0.07F7。根据 F 值对 2205 份大豆种质进行表型性状综合评价（表 8），得分越高综合表现越好。2205 份大豆种质资源综合评价得分为 0.83~2.45，平均得分 1.52。综合排名前 50 的种质中 49 份种质属于第 IV 类群，1 份种质属于第 II 类群。其中 36 份为地方材料，9 份为栽培种，其余 5 份来自国外（美国 1 份，日本 2 份，尼泊尔 2 份）。表明第 IV 类群在构建的综合评价体系（F 值）下，集中了本研究群体中综合表现最优的种质。

表 8 综合得分前 50 的大豆种质

Table 8 Top 50 soybean germplasms by comprehensive score

得分排名 Score ranking	种质编号 Germplasm number	综合得分 Scores	类群 Cluster	得分排名 Score ranking	种质编号 Germplasm number	综合得分 Scores	类群 Cluster
1	204	2.45	IV	26	237	2.16	II
2	123	2.44	IV	27	390	2.16	IV
3	2160	2.39	IV	28	145	2.14	IV
4	35	2.34	IV	29	816	2.13	IV
5	380	2.33	IV	30	149	2.13	IV
6	73	2.33	IV	31	821	2.12	IV
7	126	2.28	IV	32	235	2.11	IV
8	1238	2.27	IV	33	282	2.11	IV
9	515	2.27	IV	34	185	2.11	IV
10	765	2.26	IV	35	215	2.11	IV
11	486	2.25	IV	36	63	2.11	IV
12	254	2.25	IV	37	796	2.10	IV

13	705	2.25	IV	38	1183	2.10	IV
14	807	2.23	IV	39	1785	2.10	IV
15	309	2.22	IV	40	812	2.10	IV
16	1887	2.22	IV	41	265	2.10	IV
17	736	2.20	IV	42	753	2.09	IV
18	67	2.20	IV	43	37	2.09	IV
19	233	2.20	IV	44	793	2.09	IV
20	19	2.19	IV	45	681	2.09	IV
21	598	2.19	IV	46	316	2.09	IV
22	804	2.19	IV	47	485	2.08	IV
23	241	2.17	IV	48	726	2.08	IV
24	102	2.17	IV	49	629	2.08	IV
25	536	2.17	IV	50	78	2.08	IV

将 20 个表型性状与综合得分（F 值）进行相关性分析（表 9），结果表明 F 值与除叶形和荚色外未达到显著水平外，与其他性状均呈显著（P<0.05）或极显著（P<0.01）相关，其中与百粒重、脂肪含量、蛋白质含量和每荚粒数呈极显著负相关，说明 F 值可以作为评价大豆种质资源表型性状的综合评价指标。

表 9 综合得分（F 值）与表型性状的相关系数

Table 9 Correlation coefficients between comprehensive scores (F-values) and phenotypic traits

性状 Traits	相关性系数 Correlation coefficient	性状 Traits	相关性系数 Correlation coefficient
花色 Flower color	0.132**	单株粒数 Seeds number per plant	0.649**
叶形 Leaf shape	−0.005	每荚粒数 Seeds number per pod	−0.189**
荚色 Mature pod color	−0.034	蛋白质 Protein content	−0.046*
粒色 Seed color	0.112**	脂肪 Oil content	−0.181**
脐色 Hilum color	0.174**	株高 Plant height	0.768**
倒伏性 Lodging resistance	0.293**	底荚高度 Bottom pod height	0.628**
初花天数 Days to first flowering	0.782**	第五节位高度 Height of the fifth node	0.165**
生育天数 Days to maturity	0.787**	有效分枝数 Number of productive branches	0.685**
百粒重 100-seed weight	−0.114**	主茎节数 Number of nodes on main stem	0.752**
10 株粒重 10-plant seed weight	0.629**	有效荚数 Number of effective pods	0.761**

3 讨论

大豆种质资源在育种利用中价值突出，丰富的遗传背景是培育优质品种的重要基础[19]。表型性状的变异系数和多样性指数越高，其性状的多样性程度就越丰富，育种家在品种改良的过程中选择空间就越大，才能更好地实现种质资源的创新利用。本研究对供试大豆种质资源的 20 个性状进行变异和遗传多样性分析，结果表明，在质量性状中，粒色和脐色的变异范围及遗传差异最大，这与前人研究结果一致[20]，叶形遗传多样性指数最低（H'=0.23），其中 94.60%种质为卵圆形叶，这在一定程度上反映了卵圆叶形在大豆栽培种

中占绝对主导地位，可能是长期育种选择的结果。在数量性状中，与产量相关的 4 个性状有效分枝数、单株粒数、底荚高度、有效荚数的变异较大，变异范围在 36.30%~52.67%，显著高于蛋白质含量、脂肪含量、生育天数等性状，与前人研究较为一致[21]，表明了产量相关性状具有更大遗传改良空间。同时，研究结果表明，数量性状的多样性指数较质量性状更为丰富，该现象在前人的研究中均被证实[22]。

相关性分析结果表明，各性状间存在不同程度的相关性，且大部分达显著或极显著水平，其中叶形、花色、荚色、粒色等质量性状与数量性状之间的相关性较弱，可能意味着这些性状是受植物自身的遗传因素决定。相关性分析旨在解决表型性状复杂繁多并彼此相关的问题，为育种工作中多性状协同选择提供理论依据[23]。因此，需要进一步利用主成分分析去除重复信息，精简数据，以便更好地对大豆种质资源进行合理评价。

聚类分析是基于种质资源各特征值的相似度，将其系统归类为若干特征鲜明的类群，以实现定向筛选和高效利用携带特异性状的优异种质资源[24]。通过聚类分析将种质划分为 4 个类群，结果表明，其分类结果与来源之间无显著相关，呈混合分布特点，这与范元芳等研究结果一致[20]。第 I 类群种质抗倒伏能力突出、蛋白质含量高，可作为培育抗倒高蛋白种质的核心亲本；第 II 类群种质抗倒伏性极强、矮秆、早熟，可作为培育短季栽培的早熟品种和密植栽培的理想材料；第 III 类群种质单株粒数、有效荚数、株高等性状表现优异，但其蛋白质含量较低，可通过与高蛋白种质杂交，有望实现产量品质协同改良；第 IV 类群种质叶种皮颜色丰富，蛋白质含量、主茎节数、单株粒数等构成产量潜力的性状普遍表现优异，可作为挖掘高产、高蛋白育种材料的核心库，同时也是培育特色外观大豆品种的重要种质资源，针对其抗倒伏能力较弱，可以通过将第 IV 类群的高产特性与其他类群（如第 I、II 类群）的抗倒伏性进行杂交聚合，是未来育种的重要方向。

主成分分析是将复杂指标简化成具有代表性的主成分指标，该方法在诸多作物评价上得到了广泛运用[25-28]。本研究通过主成分降维得到 7 个主成分，且累计方差贡献率达 73.51%，第 1 主成分代表了大豆生育期和产量形成紧密相关的综合指标；第 2 主成分主要反映了大豆产量与品质方面的特征；第 3 主成分主要体现了种子特征和部分产量相关特征，第 4 主成分反映了产量和植株形态特征的部分信息；第 5 主成分主要反映了株型结构的部分信息，第 6 主成分主要体现了种子外观和品质相关特征，第 7 主成分主要表征了大豆的花色属性。其中，前 3 个主成分的累计贡献率为 50.19%，可以将前 3 个主成分看做是决定大豆种质多样性的主要因素。

本研究将主成分分析与隶属函数法结合计算综合得分，构建 F 值评价体系，使各性状间的差异具有可比性，从而显著提高综合评价的准确性和可靠性。以表型性状综合得分 F 值的大小为依据筛选优异种质。值得注意的是，综合排名前 50 的种质有 49 份集中于第 IV 类群。这并非偶然，而是因为本研究的 F 值评价体系高度依赖于株高、主茎节数、单株粒数等构成产量潜力的性状，而这些性状在第 IV 类群中普遍表现优

异（表 6）。尽管该类群抗倒伏性弱是一个显著缺陷，但其在产量和蛋白含量上的突出优势使其在权重分配下获得了高分，并且综合排名前 50 的种质中有 36 份为地方种质，这也凸显了地方资源在突破性育种中的不可替代性。将 20 个表型性状与综合得分（F 值）进行相关性分析，结果表明 F 值与除叶形和荚色外未达到显著水平外，与其他性状相关关系均达显著或极显著水平，验证了 F 值作为评价大豆种质资源表型性状的综合评价的可靠性。

参考文献

[1]王文月，姚志鹏，于洋，葛毅强．我国大豆种业科技创新发展现状及对策建议．中国农业科技导报, 2024, 26(3): 1-6

Wang W Y, Yao Z P, Yu Y, Ge Y Q. Scientific and technological innovation of soybean seed industry in China: Current situation and strategy. China Agricultural Science and Technology Herald, 2024, 26(3): 1-6

[2]Kudełka W, Kowalska M, Popis M. Quality of soybean products in terms of essential amino acids composition. Molecules, 2021, 26: 5071

[3]冯锋，张志楠，谷勇哲，何俊卿，田志喜．提升我国大豆供给能力路径刍议．中国科学院院刊, 2022, 37(9): 1281-1289

Feng F, Zhang Z N, Gu Y Z, He J Q, Tian Z X. Discussion on approaches to improving soybean supply capacity in China. Journal of the Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(9): 1281-1289

[4]王晓鸣，邱丽娟，景蕊莲，任贵兴，李英慧，李春辉，秦培友，谷勇哲，李龙．作物种质资源表型性状鉴定评价：现状与趋势．植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 12-20

Wang X M, Qiu L J, Jing R L, Ren G X, Li Y H, Li C H, Qin P Y, Gu Y Z, Li L. Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: Status and development. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(1): 12-20

[5]郑殿升，杨庆文，刘旭．中国作物种质资源多样性．植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 497-500, 506

Zheng D S, Yang Q W, Liu X. Diversity of crop germplasm resources in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(4): 497-500, 506

[6]刘旭．中国作物栽培历史的阶段划分和传统农业形成与发展．中国农史, 2012, 31(2): 3-16

Liu X. Stage division of Chinese crop cultivation history and formationof traditional agriculture. Agricultural History of China, 2012, 31(2): 3-16

[7]Cortinovis G, Di Vittori V, Bellucci E, Bitocchi E, Papa R. Adaptation to novel environments during crop diversification. Current Opinion in Plant Biology, 2020, 56: 203-217

[8]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. Journal of Agricultural Sciences in Jiangxi, 2023, 35(6): 16-23

[9]曾维英，赖振光，谭玉荣，陈怀珠，陈文杰，梁江，孙祖东．广西地方大豆种质资源的收集与评价鉴定筛选．大豆科学, 2021, 40(3): 354-361

Zeng W Y, Lai Z G, Tan Y R, Chen H Z, Chen W J, Liang J, Sun Z D. Collection, evaluation and screening of local soybean germplasm in Guangxi. Soybean Science, 2021, 40(3): 354-361

[10]黎松松, 赖建军, 张红梅, 崔晓艳, 刘晓庆, 陈新, 朱月林, 陈华涛. 江苏鲜食春大豆种质资源表型鉴定及综合评价. 大豆科学, 2022, 41(4): 385-396

Li S S, Lai J J, Zhang H M, Cui X Y, Liu X Q, Chen X, Zhu Y L, Chen H T. Phenotyping identification and comprehensive evaluation of fresh spring soybean germplasms in Jiangsu province. Soybean Science, 2022, 41(4): 385-396

[11]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 Resources, 2023, 24(2): 419-436

[12]邱丽娟, 常汝镇, 刘章雄, 李英慧. 大豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 9-31

Qiu L J, Chang R Z, Liu Z X, Li Y H. Descriptors and data standard for soybean. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 9-31

[13]朱明月, 韩粉霞, 孙君明, 闫淑荣, 杨华. 利用回交导入系群体定位大豆蛋白质含量与脂肪含量 QTL. 植物遗传资源学报, 2017, 18(6): 1204-1209

Zhu M Y, Han F X, Sun J M, Yan S R, Yang H. Detection of soybean protein and oil content QTLwith backcross introgression lines. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(6): 1204-1209

[14]Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication. Champaign: University of Illinois Press, 1949: 117

[15]聂波涛, 刘德泉, 陈健, 崔正果, 侯云龙, 陈亮, 邱红梅, 王跃强. 北方春大豆品种农艺和品质性状分析与综合评价. 作物学报, 2024, 50(9): 2248-2266

Nie B T, Liu D Q, Chen J, Cui Z G, Hou Y L, Chen L, Qiu H M, Wang Y Q. Analysis and comprehensive evaluation of agronomic and quality traits of spring soybean varieties in northern China. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(9): 2248-2266

[16]杨祥波, 陈亮宇, 杨松楠, 陈喜凤, 邢伟明, 李雪莹, 丛炜轩, 臧振原, 臧远波, 张君. 东北春大豆种质资源表型分析及综合性评价. 新疆农业科学, 2024, 61(12): 2921-2933

Yang X B, Chen L Y, Yang S N, Chen X F, Xing W M, Li X Y, Cong W X, Zang Z Y, Zang Y B, Zhang J. Phenotypic analysis and comprehensive evaluation of spring soybean germplasm resources from northeast China. Xinjiang Agricultural Sciences, 2024, 61(12): 2921-2933

[17]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

[18]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 traitsin peanut germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(5): 865-874

[19]夏宇玲, 秦建权, 宋晓燕, 吴银发, 赵全志. 254 份水稻种质资源表观品质性状的综合评价. 江苏农业科学, 2024, 52(19): 79-88

Xia Y L, Qin J Q, Song X Y, Wu Y F, Zhao Q Z. Comprehensive evaluation of 254 rice germplasm resources for apparent quality traits. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(19): 79-88

[20]范元芳，王娴淑，何芳，吕季娟，陶磊，刘波，郭佳，项超．四川省大豆种质资源表型性状鉴定及综合评价．大豆科学, 2024, 43(3): 295-302

Fan Y F, Wang X S, He F, Lyu J J, Tao L, Liu B, Guo J, Xiang C. Phenotypic identification and evaluation of soybean germplasm resources in Sichuan province. Soybean Science, 2024, 43(3): 295-302

[21]孙浩月，韩冬伟，张笛，王振，朱治佳，王连霞，张金东，李明，袁明. 160 份大豆种质资源鉴定评价及表型多样性分析．种子, 2025, 44(2): 124-132

Sun H Y, Han D W, Zhang D, Wang Z, Zhu Z J, Wang L X, Zhang J D, Li M, Yuan M. Identification, evaluation and phenotypic diversity analysis of 160 *Glycine max* germplasm resources. Seed, 2025, 44(2): 124-132

[22]赵朝森，王瑞珍，赵现伟．国外大豆种质资源农艺及品质性状分析与评价．植物遗传资源学报, 2021, 22(3): 665-673

Zhao C S, Wang R Z, Zhao X W. Analysis and evaluation of agronomic and quality traits of soybean germplasm resources from abroad. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(3): 665-673

[23]仲义，鄂成林，孙发明，徐艳荣．大豆农艺性状和品质性状间相关性分析．吉林农业科学, 2012, 37(2): 1-3

Zhong Y, E C L, Sun F M, Xu Y R. Analysis of correlation between agronomic traits and quality traits of soybean. Journal of Agricultural Science of Jilin Province, 2012, 37(2): 1-3

[24]游明安，盖钧镒．长江下游大豆地方品种的聚类分析．中国油料, 1994, 16(4): 36-40, 45

You M A, Gai J Y. Cluster analysis of local soybean varieties in the lower Yangtze River region. China Oil Crops, 1994, 16(4): 36-40, 45

[25]徐晓，任根增，赵欣蕊，常金华，崔江慧．中国高粱地方品种和育成品种穗部表型性状精准鉴定及综合评价．中国农业科学, 2022, 55(11): 2092-2108

Xu X, Ren G Z, Zhao X R, Chang J H, Cui J H. Accurate identification and comprehensive evaluation of panicle phenotypic traits of landraces and cultivars of *Sorghum bicolor* (L.) moench in China. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(11): 2092-2108

[26]李玉姗，肖菁，马越，田超，赵连佳，王帆，宋羽，蒋程瑶. 169 份番茄种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价．中国农业科学, 2024, 57(18): 3671-3687

Li Y S, Xiao J, Ma Y, Tian C, Zhao L J, Wang F, Song Y, Jiang C Y. Identification and evaluation of phenotypic characters and genetic diversity analysis of 169 tomato germplasm resources. Scientia Agricultura Sinica, 2024, 57(18): 3671-3687

[27]魏广伟，阳慧怡，王敏，苏如奇，王小慧，沈庭海，杨茜，方圣，吴自明．芝麻种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价.. 江苏农业科学, 2022, 50(18): 122-130

Wei G W, Yang H Y, Wang M, Su R Q, Wang X H, Shen T H, Yang Q, Fang S, Wu Z M. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic traits in sesame germplasm resources. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(18): 122-130

[28]杨涛，黄雅婕，李生梅，任丹，崔进鑫，庞博，于爽，高文伟．海岛棉种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价．中国农业科学, 2021, 54(12): 2499-2509

Yang T, Huang Y J, Li S M, Ren D, Cui J X, Pang B, Yu S, Gao W W. Genetic diversity and comprehensive evaluation of phenotypic traits in sea-island cotton germplasm resources. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(12): 2499-2509