

赵娜, 缪亚梅, 姚梦楠, 等. 蚕豆种质资源籽粒表型与营养品质性状的多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 597-604.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.03.003

蚕豆种质资源籽粒表型与营养品质性状的多样性分析

赵娜, 缪亚梅, 姚梦楠, 薛冬, 顾春燕, 汪凯华, 王永强, 王学军
(江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏 南通 226541)

摘要: 对蚕豆种质资源籽粒表型和营养品质性状的多样性进行评价, 为中国蚕豆种质资源创新和品质育种提供参考。对 55 份蚕豆种质资源的 6 个籽粒表型性状和 6 个营养品质性状进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果显示, 籽粒表型性状变异系数为 2.44%~32.94%, 遗传多样性指数为 1.861~2.046; 营养品质性状变异系数为 3.91%~44.22%, 遗传多样性指数为 1.174~2.038。相关性分析结果表明, 籽粒营养品质性状与表型性状之间存在关联, 蛋白质含量与粒宽、籽粒周长、籽粒表面积呈显著正相关, 淀粉含量与粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积和百粒质量呈极显著负相关。前 4 个主成分的累计贡献率为 78.152%, 其中, 第 1 主成分主要由籽粒表面积、粒长、籽粒周长、粒宽、百粒质量等性状决定, 第 2 主成分主要由籽粒长宽比和单宁含量决定, 第 3 主成分主要由淀粉含量和粗纤维含量决定, 第 4 主成分主要由脂肪含量和蛋白质含量决定。通过聚类分析, 将 55 份蚕豆资源分为 5 个类群, 第 I 类群为低淀粉含量、低脂肪含量、低纤维含量的中粒材料; 第 II 类群为高蛋白质含量、高脂肪含量的大粒优异材料; 第 III 类群为高单宁含量的大粒特异材料; 第 IV 类群为高淀粉含量、高粗纤维含量、低单宁含量的中粒优异材料; 第 V 类群为低水分含量的小粒材料。

关键词: 蚕豆; 籽粒表型性状; 品质性状; 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S529 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)03-0597-08

Diversity analysis on seed phenotypic and nutrient quality traits in faba bean germplasm resources

ZHAO Na, MIAO Ya-mei, YAO Meng-nan, XUE Dong, GU Chun-yan, WANG Kai-hua, WANG Yong-qiang, WANG Xue-jun

(*Jiangsu Yanjiang Institute of Agricultural Sciences, Nantong 226541, China*)

Abstract: Genetic diversities of seed phenotypic traits and nutrient quality-related traits of faba bean germplasm resources were evaluated to provide reference for the innovation of faba bean germplasm resources and quality breeding in China. Correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis of six seed phenotypic traits and six nutrient quality-related traits of 55 faba bean germplasm resources were conducted. The results demonstrated that, the variable coefficients of seed phenotypic traits were 2.44%–32.94%, and the genetic diversity indices were 1.861–2.046. The variable coefficients of nutrient quality-related traits were 3.91%–44.22%, and the genetic diversity indices were 1.174–2.038. Results of correlation analysis showed that, relevance was observed between seed nutrient quality-related phenotypic traits and phenotypic traits. Seed protein content was in significant positive correlation with seed width, seed perimeter and seed surface area, while starch content was in extremely significant negative correlation with seed length, seed width, seed perimeter, seed surface area and hundred-grain weight. Cumulative contribution rate of the front

收稿日期: 2021-10-24

基金项目: 国家食用豆产业技术体系建设项目(CARS-08-Z10); 江苏省现代农业产业技术体系建设项目; 南通市科技计划项目(MS22020032)

作者简介: 赵娜(1986-), 女, 山东枣庄人, 硕士, 助理研究员, 主要从事豆类遗传育种研究。(E-mail) zhaona5670@163.com

通讯作者: 王学军, (E-mail) wangxj4002@sina.com

four main components was 78.152%. The first principal component was mainly determined by traits such as seed surface area, seed length, seed perimeter, seed width and hundred-seed weight. The second principal component was mainly determined by length-width ratio and tannin content of seed. The third principal component was mainly determined by starch content and crude fibre content. The fourth principal component was mainly determined by fat content and protein content. 55 faba bean resources were divided into five groups by cluster analysis. Among them, group I belonged to moderate-sized materials with low contents of starch, fat and crude fibre. Group II belonged to excellent large-sized materials with high contents of protein and fat. Group III belonged to special large-sized materials with high tannin content. Group IV belonged to excellent middle-sized materials with high contents of starch and crude fibre, but with low content of tannin. Group V belonged to small-sized materials with low moisture content.

Key words: faba bean; seed phenotypic traits; quality traits; correlation analysis; principal component analysis; cluster analysis

蚕豆为豆科野豌豆属一年生草本植物,是重要的食用豆类之一。中国是蚕豆种植面积最大的国家^[1]。蚕豆不仅可以作为粮食^[2]、蔬菜^[3],也是很好的绿肥及饲料^[4],同时具有药用价值^[5]。蚕豆营养丰富,蛋白质含量高,籽粒蛋白质含量为20.3%~41.0%,是重要的植物蛋白质资源,且蛋白质中氨基酸种类齐全。蚕豆籽粒富含淀粉、低脂肪,脂类含量仅占1.0%~1.6%,其中饱和和脂肪酸占88.6%。蚕豆还是糖类、矿物(磷、钙、镁、铁、锌、硒等)和维生素(复合维生素B、维生素C、维生素A等)的来源^[6-8],还含有单宁、黄酮类物质、嘧啶葡萄糖苷等抗营养因子^[9]。当前,蚕豆速冻鲜籽、兰花豆、蚕豆芽、蚕豆蛋白粉等加工食品越来越受欢迎,而这些加工食品对蚕豆品质有一定要求,同时,随着人们健康意识的提高,蚕豆营养价值逐渐受到关注,更多的育种工作者开始重视蚕豆品质育种。因此,对中国不同来源蚕豆种质资源进行籽粒表型及营养品质分析,有利于对目标优异种质进行发掘,且对优质蚕豆新品种的选育有重要指导意义。

蚕豆种质资源的遗传多样性丰富^[10],其遗传多样性差异和遗传关系与其生长习性、生态分布及地理来源密切相关^[11]。Zong等^[12-13]研究发现,中外蚕豆种质资源、春播类型与冬播类型的蚕豆亲缘关系存在显著差异。El-Esawi^[14]将源自北非、东非和近东的35份蚕豆资源分为2个群体。Göl等^[15]利用32个简单重复序列(SSR)标记把255份蚕豆种质资源根据地理来源和种子大小聚类为2类。欧阳裕元等^[16]和余莉等^[17]的研究阐明了籽粒百粒质量、每荚粒数、单株荚数等性状会影响产量。杨生华等^[18]对554份国内外蚕豆种质资源种子表型性状进行精准评价,筛选出19份优异蚕豆资源。李欢等^[19]从20份贵州省蚕豆

地方种质资源中筛选出3份综合性状好的品种。陈宏伟等^[20]分析129份湖北地方蚕豆种质籽粒性状,发现品质特性与籽粒颜色关联紧密。康智明等^[21]研究发现蚕豆蛋白质含量与百粒质量呈极显著正相关。石建斌等^[22]分析了101份蚕豆籽粒清蛋白,发现蚕豆清蛋白具有比较丰富的遗传多样性。

籽粒形态在农业生产中对产量起重要作用^[23],蚕豆种质资源籽粒表型差异较大,尤其是籽粒大小。而关于种质籽粒形态性状与品质性状的决定因子间相互联系及遗传多样性分析的报道较少。本研究选用55份来自中国蚕豆主要产区的代表性种质资源或育成品种作为试验材料,分析中国蚕豆不同来源的种质资源籽粒长、宽、籽粒长宽比、周长、籽粒表面积、百粒质量等表型性状和水分含量、蛋白质含量、淀粉含量、脂肪含量、粗纤维含量、单宁含量等品质性状,进行遗传多样性分析及综合评价,为今后中国蚕豆种质资源籽粒性状的利用及品质改良提供材料基础和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试材料为55份蚕豆种质资源(表1),分别来自重庆(2份)、浙江(4份)、云南(3份)、四川(6份)、青海(2份)、江苏(29份)、湖北(6份)、甘肃(3份),材料名称及来源见表1。2019-2020年在江苏沿江地区农业科学研究所实验地种植,每份材料种植2行,行长3m,随机区组排列,3次重复。田间常规管理,基肥为有机肥(7500 kg/hm²),在开花期施磷酸二胺225 kg/hm²,结合施肥进行灌溉,收获后进行籽粒表型和品质含量测定。

1.2 试验方法

籽粒的长、宽、籽粒长宽比、周长、籽粒表面积、百粒质量等表型性状采用杭州万深科技的自动种子考种系统测定;籽粒水分含量参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》测定;蛋白质含量采用 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定;淀粉含量根据 GB 5009.9-2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中的酸水解法测定;脂肪含量采用 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法测定;粗纤维含量参考 GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》测定;单宁含量参考 GB/T 15686-2008《高粱 单宁含量的

测定》测定。

1.3 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2010 对试验数据进行整理,计算各个性状的变异系数及遗传多样性指数。先计算试验材料总体平均值(\bar{X})和标准差(σ),对每个性状进行 10 级分类,1 级 $\leq \bar{X}-2\sigma$,10 级 $> \bar{X}+2\sigma$,每 0.5 σ 为 1 级,通过每级的相对频率计算 Shannon's 遗传多样性指数(H),公式为 $H = -P_i \ln P_i$,式中, P_i 为该性状在第 i 级材料份数占总份数的百分比^[24]。

采用 SPSS 26.0 软件对数据进行相关性分析、主成分分析及 Ward 法聚类分析。

表 1 材料名称及来源

Table 1 Name and source of materials

编号	品种名称	来源	编号	品种名称	来源	编号	品种名称	来源
1	渝蚕 1 号	重庆	20	通蚕鲜 8 号	江苏	39	17-116	江苏
2	渝蚕豆	重庆	21	通蚕鲜 10 号	江苏	40	17-378	江苏
3	双绿 5 号	浙江	22	日本大白皮	江苏	41	P15-046	江苏
4	14H34	浙江	23	启豆 2 号	江苏	42	P15-148	江苏
5	慈溪大粒 1 号	浙江	24	09-110 青	江苏	43	P15-127	江苏
6	14H45	浙江	25	09-110 白	江苏	44	P14-077	江苏
7	云豆 147	云南	26	海青 1 号	江苏	45	P16-31-4	江苏
8	靖豆 06-115	云南	27	195-01	江苏	46	14-488	江苏
9	凤豆 17 号	云南	28	195-02	江苏	47	鄂蚕豆 1 号	湖北
10	织金小蚕豆	四川	29	195-06	江苏	48	监利小蚕豆	湖北
11	黔蚕 1 号	四川	30	195-10	江苏	49	832-2	湖北
12	成胡 17	四川	31	195-12	江苏	50	1103	湖北
13	成胡 22	四川	32	195-19	江苏	51	CD0277	湖北
14	成胡 23	四川	33	海门大青皮	江苏	52	CD0288	湖北
15	成胡 25	四川	34	P15-147	江苏	53	临蚕 8 号	甘肃
16	陵西一寸	青海	35	P16-028	江苏	54	临蚕 9 号	甘肃
17	青海 11 号	青海	36	17-535	江苏	55	甘蚕 2 号	甘肃
18	通蚕鲜 6 号	江苏	37	17-538	江苏			
19	通蚕鲜 7 号	江苏	38	P16-14	江苏			

2 结果与分析

2.1 蚕豆种质资源籽粒表型遗传多样性分析

由表 2 可知,粒长、粒宽、籽粒长宽比、籽粒周长、籽粒表面积和百粒质量在不同蚕豆种质资源间的变异系数范围为 2.44%~32.94%,其中,百粒质量的变异系数最大,其次是籽粒表面积,均高于 20.00%,说明

它们的变异程度较高;粒长、粒宽、籽粒周长的变异系数为 10.00%~20.00%,变异程度中等;籽粒长宽比的变异系数最低,说明其变异程度相对较低。

6 个籽粒表型性状遗传多样性指数范围为 1.861~2.046,籽粒表面积的遗传多样性指数最大,其次为粒长,籽粒长宽比和百粒质量的多样性指数较小。

表 2 参试材料的籽粒表型性状变异分析及遗传多样性分析

Table 2 Variational and genetic diversity analysis on seed phenotypic traits in tested materials

性状	最大值	最小值	平均值	标准差	极差	性状	变异系数(%)	遗传多样性指数
粒长(mm)	31.53	15.61	24.96	4.30	15.92	粒长	17.24	1.992
粒宽(mm)	21.87	11.04	17.87	2.95	10.83	粒宽	16.52	1.921
籽粒长宽比	1.48	1.34	1.40	0.03	0.14	籽粒长宽比	2.44	1.861
籽粒周长(mm)	90.93	44.93	72.89	12.49	46.01	籽粒周长	17.13	1.923
籽粒表面积(mm ²)	537.10	137.85	366.98	112.22	399.24	籽粒表面积	30.58	2.046
百粒质量(g)	249.08	57.67	166.75	54.94	191.40	百粒质量	32.94	1.861

2.2 蚕豆种质资源籽粒营养品质性状遗传多样性分析

表 3 显示,水分含量、蛋白质含量、淀粉含量、脂肪含量、粗纤维含量和单宁含量的变异系数范围为 3.91%~44.22%。其中,单宁含量变异系数最大,为 44.22%,其次是粗纤维含量,二者均高于 20.00%,说明变异程度较高;其余 4 个性状的变异系数均低

于 10.00%,水分含量的变异系数最小,仅为 3.91%,说明其变异程度相对较低。

6 个品质性状的遗传多样性指数范围为 1.174~2.038,蛋白质含量的遗传多样性指数最大,其次为单宁含量的遗传多样性指数,脂肪含量的遗传多样性指数最小。

表 3 参试材料的营养品质性状变异分析及遗传多样性分析

Table 3 Variational and genetic diversity analysis on seed nutrient quality traits in tested materials

性状	最大值	最小值	平均值	标准差	极差	性状	变异系数(%)	遗传多样性指数
水分含量(%)	13.33	10.36	12.05	0.47	2.97	水分含量	3.91	1.816
蛋白质含量(%)	30.60	23.00	27.38	1.77	7.60	蛋白质含量	6.47	2.038
淀粉含量(%)	43.70	36.00	40.05	2.04	7.70	淀粉含量	5.09	1.969
脂肪含量(%)	1.20	0.90	1.02	0.08	0.30	脂肪含量	7.92	1.174
粗纤维含量(%)	8.72	1.00	4.97	2.16	7.72	粗纤维含量	43.54	1.988
单宁含量(%)	0.89	0.09	0.44	0.20	0.80	单宁含量	44.22	2.006

2.3 蚕豆种质资源籽粒表型和营养品质性状相关性分析

对 55 份蚕豆种质资源籽粒的 6 个表型性状和 6 个品质性状进行相关性分析,结果(表 4)表明,蛋白质含量与淀粉含量呈极显著负相关,与粒宽、籽粒周长、籽粒表面积呈显著正相关;淀粉含量与粗纤维含量呈极显著正相关,与粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积和百粒质量均呈极显著负相关;粗纤维含量与籽粒长宽比呈显著负相关;粒长与粒宽、籽粒周长、籽粒表面积、百粒质量均呈极显著正相关;粒宽与籽粒周长、籽粒表面积、百粒质量均呈极显著正相关;籽粒周长与籽粒表面积、百粒质量呈极显著正相关;籽粒表面积与百粒质量呈极显著正相关;水分含

量和单宁含量与籽粒表型性状均无显著相关性。

2.4 蚕豆种质资源籽粒表型和营养品质性状主成分分析

由表 5 可知,12 个性状的主要信息集中在前 4 个主成分中,它们的特征值分别为 5.421、1.549、1.352、1.056,贡献率分别为 45.178%、12.908%、11.266%、8.800%,累计贡献率为 78.152%。

第 1 主成分中,载荷较高的性状有籽粒表面积、粒长、籽粒周长、粒宽、百粒质量,特征向量值分别为 0.987、0.985、0.985、0.979、0.977,说明第 1 主成分主要由这 5 个种子表型性状决定;第 2 主成分主要由籽粒长宽比和单宁含量决定,特征向量分别为 0.696、0.437;第 3 主成分主要由淀粉含量和粗纤维

含量决定,特征向量值分别为 0.689、0.525;从第 4 主成分看,脂肪含量和蛋白质含量 2 个指标特征向量值较高,分别为 0.778 和 0.346,说明这 2 个性状

决定第 4 主成分;而水分含量对 4 个主成分无明显的决定作用。

表 4 籽粒表型性状与营养品质性状的相关性分析

Table 4 Analysis on correlation between seed phenotypic traits and nutrient quality traits

性状	水分含量	蛋白质含量	淀粉含量	脂肪含量	粗纤维含量	单宁含量	粒长	粒宽	籽粒长宽比	籽粒周长	籽粒表面积
蛋白质含量	0.194	1.000									
淀粉含量	-0.185	-0.469 **	1.000								
脂肪含量	0.017	0.015	0.024	1.000							
粗纤维含量	0.136	-0.093	0.352 **	-0.059	1.000						
单宁含量	0.025	-0.051	0.061	0.061	-0.118	1.000					
粒长	0.144	0.256	-0.380 **	-0.019	-0.217	0.153	1.000				
粒宽	0.184	0.286 *	-0.383 **	-0.003	-0.195	0.125	0.989 **	1.000			
籽粒长宽比	-0.235	-0.111	-0.133	-0.082	-0.268 *	0.216	0.252	0.111	1.000		
籽粒周长	0.154	0.267 *	-0.382 **	-0.017	-0.210	0.142	0.998 **	0.995 **	0.203	1.000	
籽粒表面积	0.157	0.284 *	-0.394 **	-0.009	-0.202	0.161	0.997 **	0.990 **	0.219	0.997 **	1.000
百粒质量	0.160	0.257	-0.363 **	0.026	-0.244	0.176	0.982 **	0.982 **	0.179	0.983 **	0.985 **

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

表 5 参试材料籽粒表型性状与营养品质性状的主成分分析

Table 5 Principal component analysis on seed phenotypic traits and nutrient quality traits in tested materials

项目	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分
粒长	0.985	0.056	0.116	-0.087
粒宽	0.979	-0.047	0.150	-0.064
籽粒长宽比	0.237	0.696	-0.289	-0.091
籽粒周长	0.985	0.021	0.126	-0.082
籽粒表面积	0.987	0.023	0.120	-0.069
百粒质量	0.977	0.034	0.148	-0.026
水分含量	0.193	-0.619	0.167	0.115
蛋白质含量	0.360	-0.519	-0.374	0.346
淀粉含量	-0.499	0.262	0.689	-0.073
脂肪含量	-0.028	0.066	0.472	0.778
粗纤维含量	-0.297	-0.375	0.525	-0.462
单宁含量	0.177	0.437	0.197	0.261
特征值	5.421	1.549	1.352	1.056

第 1 主成分、第 2 主成分、第 3 主成分、第 4 主成分的贡献率分别为 45.178%、12.908%、11.266%、8.800%,累计贡献率分别为 45.178%、58.086%、69.352%、78.152%。

2.5 蚕豆种质资源籽粒表型和营养品质性状聚类分析

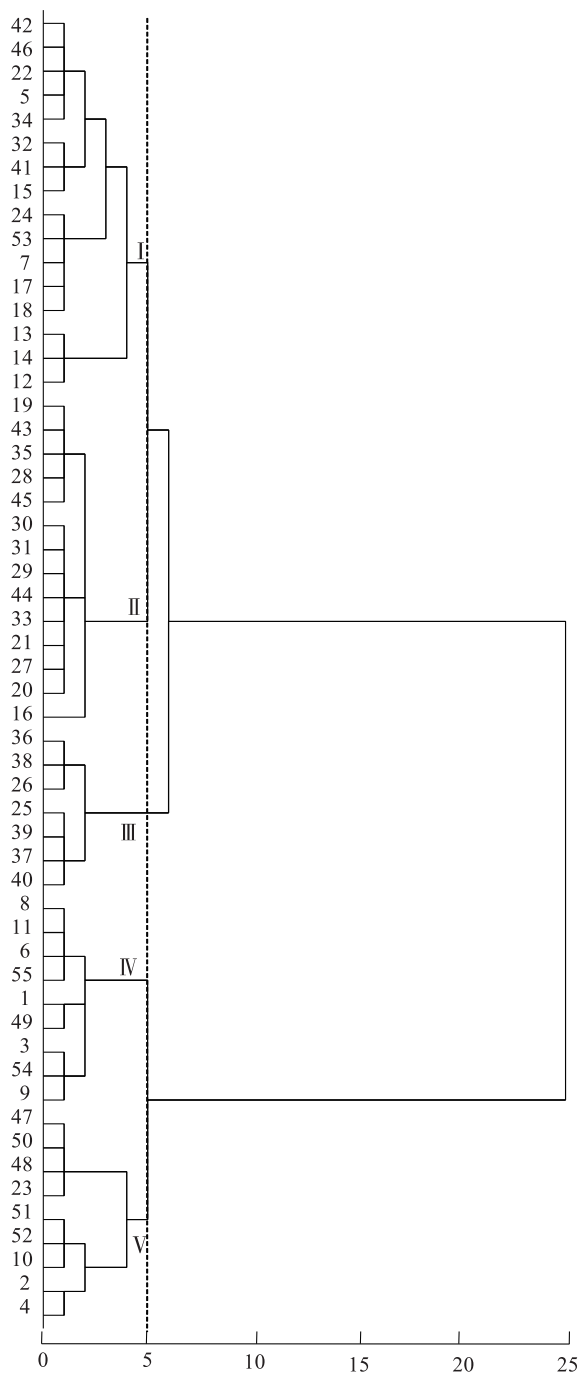
对 55 份蚕豆种质资源的 12 个性状进行 Ward

法聚类分析,以遗传距离为 5 将其聚为 5 个类群(图 1)。对各类群的性状进行统计分析(表 6、表 7)。

第Ⅰ类群包括 16 份资源,其中浙江 1 份、云南 1 份、四川 4 份、青海 1 份、江苏 8 份、甘肃 1 份,主要特征为蛋白质含量较高,淀粉含量、脂肪含量、粗纤维含量均最低,种子表型性状均处于中等水平。其中,粗纤维含量变异系数最高,其次为单宁含量的变异系数,籽粒长宽比的变异系数最低(表 7)。综合各性状的指标值,说明第Ⅰ类群为蛋白质含量较高、低淀粉含量、低脂肪含量、低纤维含量、籽粒体积中等的蚕豆资源。

第Ⅱ类群包括 14 份资源,其中青海 1 份、江苏 13 份,主要特征为水分含量、蛋白质含量和脂肪含量均最高,种子表型性状指标值均较高。其中,单宁含量变异系数最高,其次为粗纤维含量的变异系数,籽粒长宽比的变异系数最低。说明第Ⅱ类群为高含水量、高蛋白质含量、高脂肪含量、籽粒体积较大的蚕豆资源。

第Ⅲ类群包括 7 份资源,均来自江苏,主要特征为水分含量、蛋白质含量、淀粉含量、脂肪含量、粗纤维含量等性状中等水平,单宁含量最高,粒长、粒宽、籽粒长宽比、籽粒周长、籽粒表面积、百粒质量等性



试验材料 1~55 见表 1。

图 1 参试材料籽粒表型性状和营养品质性状的聚类结果

Fig.1 Cluster result of seed phenotypic traits and nutrient quality traits in tested materials

状指标值均最高。其中,粗纤维含量变异系数最高,其次为单宁含量的变异系数,籽粒长宽比的变异系数最低。说明该类群为高单宁含量、大粒型的蚕豆资源。

第Ⅳ类群包括 9 份资源,其中重庆 1 份、浙江 2 份、云南 2 份、四川 1 份、湖北 1 份、甘肃 2 份,主要特征为淀粉含量和粗纤维含量均最高,单宁含量最低,其他性状指标值中等。其中,单宁含量变异系数最高,其次为百粒质量的变异系数,籽粒长宽比的变异系数最低。说明该类群为高淀粉含量、高粗纤维含量、低单宁含量的中粒型蚕豆资源。

第Ⅴ类群包括 9 份资源,其中重庆 1 份、浙江 1 份、四川 1 份、江苏 1 份、湖北 5 份,主要特征为水分含量最低,其他品质含量中等,粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积、百粒质量等籽粒表型性状指标值均最小。单宁含量变异系数最高,其次为粗纤维含量的变异系数,籽粒长宽比的变异系数最低。说明该类群为低水分含量的小粒型蚕豆资源。

3 讨论

3.1 蚕豆种质资源籽粒性状遗传多样性

种质资源的性状多样性评价及遗传分析是作物育种工作的重要基础,可以以此为依据确定亲本材料,进行种质创新^[25]。本研究基于不同来源的 55 份蚕豆种质资源进行籽粒性状多样性分析,有利于今后对蚕豆籽粒表型及品质性状的改良。

变异系数和遗传多样性指数广泛用于种质资源性状多样性评价^[26-28]。研究结果表明,变异系数较大的性状遗传背景丰富;遗传多样性指数高,表明性状表现形式多样,遗传变异程度大^[26]。本研究结果表明,蚕豆籽粒 6 个表型性状中,除了籽粒长宽比,变异系数均较高,遗传多样性指数也较高。徐东旭等^[10]的研究结果表明,籽形、百粒质量变异系数和遗传多样性指数均较高,与本研究结果相一致。6 个品质性状变异系数范围为 3.91%~44.22%,其中,单宁含量和粗纤维含量的变异系数超过 20.00%,变异程度较高,其他品质指标的变异系数均小于 10.00%。除了脂肪含量外,各品质性状遗传多样性指数均较高。陈宏伟等^[20]的研究结果表明,湖北蚕豆脂肪含量变异系数较大,与本研究结果不一致,而蛋白质和淀粉含量变异系数小于 10.00%,与本研究结果一致,其原因可能是蚕豆资源籽粒脂肪含量受不同地区来源、环境条件和基因型影响较大。本研究结果表明,55 份蚕豆种质资源籽粒类型丰富多样,可以为蚕豆品质育种提供种质材料。

表 6 5 个蚕豆类群各营养品质性状的平均值

Table 6 Average of the nutrient quality traits in five faba bean groups

类群	水分 含量 (%)	蛋白质 含量 (%)	淀粉 含量 (%)	脂肪 含量 (%)	粗纤维 含量 (%)	单宁 含量 (%)	粒长 (mm)	粒宽 (mm)	籽粒 长宽比	籽粒 周长 (mm)	籽粒 表面积 (mm ²)	百粒 质量 (g)
I	11.96	27.29	38.71	0.99	3.10	0.45	25.61	18.44	1.40	75.01	381.97	177.21
II	12.36	29.11	39.44	1.05	5.74	0.42	27.78	20.10	1.38	81.49	446.71	205.66
III	11.92	26.91	39.79	1.01	4.11	0.62	30.07	20.53	1.47	86.52	494.14	224.36
IV	12.05	25.74	42.54	1.04	6.84	0.36	22.43	16.38	1.38	65.95	296.88	134.15
V	11.83	26.88	41.08	1.01	5.88	0.42	17.97	12.81	1.41	52.09	187.50	75.46

表 7 5 个蚕豆类群各性状的变异系数

Table 7 Variation of the traits in five faba bean groups

类群	变异系数 (%)											
	水分 含量	蛋白质 含量	淀粉 含量	脂肪 含量	粗纤维 含量	单宁 含量	粒长	粒宽	籽粒 长宽比	籽粒 周长	籽粒表 面积	百粒 质量
I	3.17	5.34	3.91	6.84	50.52	48.29	9.52	8.97	1.94	9.43	17.20	16.34
II	3.18	4.68	4.81	4.94	29.27	40.86	6.05	5.44	1.25	5.61	10.96	12.12
III	3.70	2.98	4.26	6.80	50.25	20.63	4.28	4.15	0.47	4.35	7.85	8.22
IV	2.55	6.07	2.18	9.71	13.58	52.51	8.27	8.60	1.53	8.21	15.99	22.21
V	5.91	5.96	3.76	11.54	37.01	47.24	12.26	11.90	1.47	12.55	24.72	23.03

3.2 蚕豆种质资源籽粒性状多样性的综合评价

蚕豆籽粒表型性状和品质性状的相关性分析结果表明,蛋白质含量与淀粉含量呈极显著负相关,与前人研究结果一致^[17,20,29];蛋白质含量与粒宽、籽粒周长、籽粒表面积呈显著正相关,因此在选育高蛋白含量蚕豆品种时应选择籽粒较宽、籽粒周长及表面积较大的材料。淀粉含量与粗纤维含量呈极显著正相关,与粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积和百粒质量均呈极显著负相关,说明大籽粒的蚕豆淀粉含量低,而小籽粒蚕豆淀粉含量高,这与 Giczewska 等^[30]的研究结果一致。粗纤维含量与籽粒长宽比呈显著负相关。本研究中,淀粉含量与粒长呈极显著负相关的结论与王姣姣^[29]对不同粒长蚕豆品质性状的研究结果相反。籽粒表型性状中除了籽粒长宽比,其他各性状之间均存在极显著正相关,说明这些性状间存在内在关系。本研究结果还表明,籽粒表型性状与品质性状之间也具有内在关联性。

利用主成分分析评价种质性状的研究已多有报道^[31-32],本研究中将 12 个籽粒性状分为 4 个主成分,分别反映籽粒表型特征、籽粒长宽比与单宁含量的特征、淀粉和粗纤维含量的特征、脂肪和蛋白质含量的特征。这 4 个主要特征累计贡献率为

78.152%,所包含的性状可作为蚕豆种质资源创新的主要参考指标。

聚类分析可根据性状的相似程度进行分类,用于反映亲缘关系和遗传距离^[27,33-37]。本研究聚类分析得到的 5 个类群间具有明显差异,初步明确了参试蚕豆种质的大致类型。第 I 类群属于低淀粉含量、低脂肪含量、低纤维含量、籽粒大小中等的材料;第 II 类群为高蛋白含量、高脂肪含量、籽粒大的优异材料;第 III 类群为高单宁含量、大粒型特异材料;第 IV 类群为高淀粉含量、高粗纤维含量、低单宁含量的中粒型优异材料;第 V 类群为低水分含量的小籽粒类型。其中,第 II 类群和第 IV 类群分别为高蛋白含量和高淀粉含量类型的资源,可为蚕豆品质育种提供优质亲本材料。

本试验在对 55 份蚕豆种质资源的籽粒表型性状和品质性状鉴定的基础上,运用相关性分析、主成分分析和聚类分析进行遗传多样性研究,发现参试蚕豆材料籽粒性状多样性丰富,有利于发掘和利用优异蚕豆种质资源。然而,籽粒性状受遗传和环境双重影响,因此,今后应结合分子标记精准鉴定参试资源的籽粒性状表现,为蚕豆优异新种质创新提供理论依据。

参考文献:

- [1] 周俊玲,张蕙杰.世界蚕豆生产及贸易形势分析[J].世界农业,2016(11):107-111.
- [2] O'SULLIVAN D M, ANGRA D. Advances in faba bean genetics and genomics[J]. Frontiers in Genetics, 2016, 7. DOI: 10.3389/fgene.2016.00150.
- [3] 汪凯华,王学军,缪亚梅,等. 优质鲜食大粒蚕豆通蚕鲜8号的选育和栽培要点[J].江苏农业科学,2013,41(11):113-115.
- [4] 黄洁,王超,闫景彩,等. 蚕豆的饲用现状和饲用改良技术发展趋势[J]. 饲料工业,2017,38(10):60-64.
- [5] 叶茵. 中国蚕豆学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [6] LIZARAZO C I, LAMPI A M, LIU J W, et al. Nutritive quality and protein production from grain legumes in a boreal climate[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95: 2053-2064.
- [7] LONGOBARDI F, SACCO D, CASIELLO G, et al. Chemical profile of the carpino broad bean by conventional and innovative physicochemical analyses[J]. Journal of Food Quality, 2015, 38: 273-284.
- [8] NEME K, BULTOSA G, BUSSA N. Nutrient and functional properties of composite flours processed from pregelatinised barley, sprouted faba bean and carrot flours[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2015, 50: 2375-2382.
- [9] TURCO I, FERRETTI G, BACCHETTI T. Review of the health benefits of faba bean (*Vicia faba* L.) polyphenols[J]. Journal of Food & Nutrition Research, 2016, 55: 283-293.
- [10] 徐东旭,姜翠棉,宗绪晓. 蚕豆种质资源形态标记遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2010,11(4):399-406.
- [11] 王海飞,关建平,马钰,等.中国蚕豆种质资源 ISSR 标记遗传多样性分析[J].作物学报,2011,37(4):595-602.
- [12] ZONG X X, LIU X J, GUAN J P, et al. Molecular variation among Chinese and global winter faba bean germplasm[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 118: 971-978.
- [13] ZONG X, REN J, GUAN J, et al. Molecular variation among Chinese and global germplasm in spring faba bean areas[J]. Plant Breeding, 2010, 129: 508-513.
- [14] EL-ESAWI M A. SSR analysis of genetic diversity and structure of the germplasm of faba bean (*Vicia faba* L.) [J]. Comptes Rendus Biologies, 2017, 340 (11/12):474-480.
- [15] GÖL Ş, DOĞANLAR S, FRARY A. Relationship between geographical origin, seed size and genetic diversity in faba bean (*Vicia faba* L.) as revealed by SSR markers[J]. Molecular Genetics and Genomics, 2017, 292:991-999.
- [16] 欧阳裕元,余东梅,杨梅. 蚕豆主要农艺性状与单株产量的相关及通径分析[J]. 江苏农业学报,2016,32(4):763-768.
- [17] 余莉,张时龙,李清超,等. 蚕豆产量及主要农艺性状的相关及灰色关联度分析[J]. 湖北农业科学,2017,56(1):18-20.
- [18] 杨生华,刘荣,杨涛,等.蚕豆种质资源种子表型性状精准评价[J].中国蔬菜,2016(10):32-40.
- [19] 李欢,陈惠查,阮仁超,等.贵州特色蚕豆种质资源主要农艺性状分析与综合评价[J].农技服务,2020,37(8):74-76.
- [20] 陈宏伟,李莉,刘昌燕,等. 129 份湖北蚕豆地方种质的子粒外观及品质性状分析[J]. 湖北农业科学,2016,24(55):6377-6380.
- [21] 康智明,郑开斌,徐晓俞,等. 不同蚕豆品种农艺及品质性状的遗传多样性分析[J]. 福建农业学报,2015,30(3):249-252.
- [22] 石建斌,侯万伟,刘玉皎,等. 蚕豆种质资源清蛋白遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(1):22-28.
- [23] LUCAS M R, HUYNH B L, VINHOLES P DA S, et al. Association studies and legume synteny reveal haplotypes determining seed size in *Vigna unguiculata* [J]. Frontiers in Plant Science, 2013, 4: 95.
- [24] 李鸿雁. 扁蓿豆种质资源遗传多样性的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [25] 吕伟,韩俊梅,文飞,等. 不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2020,21(1):234-242.
- [26] 张斌斌,蔡志翔,沈志军,等. 观赏桃种质资源表型性状多样性评价[J].中国农业科学,2021,54(11):2406-2418.
- [27] 万述伟,宋风景,郝俊杰,等. 271 份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2017,18(1):10-18.
- [28] 杨涛,黄雅婕,李生梅,等. 海岛棉种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学,2021,54(12):2499-2509.
- [29] 王姣姣.冷季豆品质性状近红外模型建立及区域分析[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
- [30] GICZEWSKA A, BOROWSKA J. Nutritional value of broad bean seeds. Part 3: changes of dietary fibre and starch in the production of commercial flours[J]. Food/Nahrung, 2004, 48(2): 116-122.
- [31] 郝曦煜,杨涛,梁杰,等.160 份外引鹰嘴豆种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2020,21(4):875-883.
- [32] 王兰芬,武晶,王昭礼,等. 普通菜豆种质资源表型鉴定及多样性分析[J].植物遗传资源学报,2016,17(6):976-983.
- [33] 李辉玲,张国儒,曾卫东,等. 基于 InDel 标记的新疆色素辣椒遗传多样性及聚类分析[J].江苏农业科学,2021,49(17):67-71.
- [34] 季琳琳,陈素传,吴志辉,等. 山核桃果实主要经济性状和养分含量的差异分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(1):131-137.
- [35] 谢薇,赖剑雄,秦晓威,等. 54 份可可种质资源主要品质性状及相关分析[J].南方农业学报,2021,52(8):2174-2182.
- [36] 王治会,岳翠男,李琛,等. 江西省茶树种质化学特性多样性分析与鉴定评价[J].江苏农业学报,2020,36(1):172-179.
- [37] 彭枫,赵孟良,徐晨曦,等. 基于表型性状的菠菜种质资源遗传多样性分析[J]. 分子植物育种,2021,19(5):1698-1708.

(责任编辑:陈海霞)