

王琳琳, 钟洋敏, 缪叶旻子, 等. 基于主成分和聚类分析的鲜食蚕豆农艺与品质性状综合评价[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(3): 788-797.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.03.020

基于主成分和聚类分析的鲜食蚕豆农艺与品质性状综合评价

王琳琳, 钟洋敏, 缪叶旻子, 马瑞芳, 刘庭付

(丽水市农林科学研究院, 浙江 丽水 323002)

摘要: 以 15 份鲜食蚕豆品种(系)为研究对象,对 12 个主要农艺性状和 6 个品质性状进行测定,采用主成分分析法、聚类分析法对各表型进行分析,为鲜食蚕豆的综合评价及品种筛选奠定材料基础与理论依据。本研究结果表明,18 个性状变异系数为 3.98%~56.09%,鲜荚长、鲜荚宽、鲜籽粒长、鲜籽粒宽、水分含量等 5 个性状遗传较稳定,株高、单株荚数、维生素 C 含量和淀粉含量的变异较丰富。相关性分析发现,鲜荚、鲜籽粒表型性状与品质性状之间存在较强的相关性。粗蛋白含量与鲜籽粒长呈显著负相关,与鲜百粒质量呈极显著负相关;粗脂肪含量与鲜荚长、鲜籽粒宽和鲜百粒质量呈显著负相关,与鲜籽粒长呈极显著负相关;维生素 C 含量与鲜籽粒宽呈极显著正相关。对 18 个性状进行主成分分析,将其归结为 6 个主成分,累计贡献率为 86.348%,其中,第 1 主成分与籽粒外观品质和营养品质有关,第 2 主成分与产量和品质性状有关,第 3 主成分与鲜荚大小有关,第 4 主成分与始荚节位和有效分枝数有关,第 5 主成分与可溶性固形物含量和淀粉含量有关,第 6 主成分与主茎节数有关。综合评价 Y2224 的得分最高, F 值为 2.274。聚类分析将 15 份鲜食蚕豆品种(系)划分为 3 个类群,第 I 类群为高粗蛋白含量、高粗脂肪含量、株型较高、每荚粒数较多的中粒型蚕豆品种(系);第 II 类群为高淀粉含量、分枝性和结荚性较强、大粒型蚕豆品种(系);第 III 类群为高维生素 C 含量、荚形宽大的超大粒型蚕豆品系。

关键词: 鲜食蚕豆; 农艺性状; 品质性状; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S643.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2023)03-0788-10

Comprehensive evaluation of vegetable faba bean in agronomic and quality traits by principal component analysis and cluster analysis

WANG Lin-lin, ZHONG Yang-min, MIAO Ye-min-zi, MA Rui-fang, LIU Ting-fu

(Lishui Institute of Agriculture and Forestry Sciences, Lishui 323002, China)

Abstract: Twelve agronomic traits and six quality traits in 15 vegetable faba bean varieties (lines) were measured in this study. Principal component analysis and cluster analysis were used to analyze the phenotypes, which provided the material and theoretical basis for scientific evaluation and variety selection of vegetable faba bean. The results showed that the variation coefficients of 18 characters ranged from 3.98% to 56.09%. Fresh pod length, fresh pod width, fresh seed length, fresh seed width and

moisture content remained relatively stable, while plant height, pod number per plant, vitamin C content and starch content had significant variations. Results of the correlation analysis showed that the phenotypic traits of fresh pods and seeds were correlated with quality traits. Crude protein content was significantly negatively correlated with fresh seed length and extremely significantly negatively correlated with

收稿日期: 2022-11-24

基金项目: 丽水市科技计划项目(2022GYX13); 浙江省自然科学基金探索项目(Q23C020008); 浙江省农业(蔬菜新品种选育) 新品种选育重大科技专项(2021C02065-6-4)

作者简介: 王琳琳(1989-), 女, 辽宁本溪人, 博士, 助理研究员, 研究方向为作物遗传育种。(E-mail) wanglinlin4585@163.com

通讯作者: 刘庭付, (E-mail) 12920515@qq.com

fresh hundred-seed weight. The crude fat content was significantly negatively correlated with fresh pod length, fresh seed width and fresh hundred-seed weight, and was extremely significantly negatively correlated with fresh seed length. Vitamin C content was significantly positively correlated with fresh pod width. The cumulative contribution of the top six principal factors reached 86.348% in principal factors analysis. The first principal component was related to seed appearance quality and nutritional quality, the second principal component was related to yield and quality-related traits, the third principal component was related to the size of fresh pod, the fourth principal component was related to the first pod node and number of effective branches, the fifth principal component was related to soluble solids content and starch content, and the sixth principal component was related to the number of nodes on main stem. The score of Y2224 was the highest in the comprehensive evaluation, with an F value of 2.274. The 15 vegetable faba bean varieties (lines) were divided into three groups using cluster analysis. Among them, group I belonged to middle-seed varieties (lines) with high crude protein content, high crude fat content, taller plant type, and more seeds per pod. Group II belonged to large-seed varieties (lines) with high starch content, strong branching and podding properties. Group III belonged to huge-seed lines with high vitamin C content and broad pods.

Key words: vegetable faba bean; agronomic traits; quality traits; principal component analysis; cluster analysis

蚕豆(*Vicia faba* L.)别名胡豆、罗汉豆、兰花豆,是世界五大豆类作物之一^[1]。世界粮农组织(FAO)最新公布数据显示,中国蚕豆种植面积为 8.41×10^5 hm²,占全球种植总面积的30.94%;产量 1.72×10^6 t,单产 2.09×10^3 kg/hm²,均居世界首位(<https://www.fao.org/>)。蚕豆作为中国长江流域与西南地区的重要冬种粮肥兼收作物,具有生物固氮与调节土壤微环境的功能^[2]。发展蚕豆产业对于优化居民膳食结构、培肥地力、提高冬闲田利用率和促进农民增收具有积极作用。

鲜食蚕豆是指处于乳熟期、作为蔬菜食用的蚕豆青籽粒,因其质嫩味鲜、口感甘糯、风味独特而备受消费者青睐。随着居民生活条件的改善与冷链物流行业的兴起,消费者对农产品的需求趋于多元化,优质鲜食蚕豆的市场竞争力逐年提升^[3]。然而,目前国内外对于蚕豆的性状鉴定和综合评价主要围绕干籽粒开展^[4-7],鲜食蚕豆以鲜荚和鲜籽粒为主要消费对象,其品种选择与要求不同于干籽粒蚕豆,因此我们有必要针对鲜食蚕豆的特殊需求开展种质资源筛选和评价,为鲜食蚕豆新品种选育和重要性状遗传研究提供独特、优异、丰富的基础材料。

蚕豆具有丰富的营养价值,是优质的植物蛋白摄入源^[8]。其蛋白质含量高达20.3%~41.0%,氨基酸种类齐全、组成比例适宜,脂肪含量低且不饱和脂肪酸占比高,同时富含淀粉、维生素、矿物质等多种营养成分^[9-12]。近年来,随着人们健康意识不断提升,蚕豆的营养价值越发受到重视,育种家们致力于选育出农艺性状佳、品质优良的鲜食蚕豆新品种。但蚕豆的农艺性状与品质性状均具有复杂的表型变

异,受遗传背景与环境因素共同调控^[13-14]。如何在冗繁的指标中解析出主要影响因子,是育种中需要解决的首要问题。主成分分析法可有效简化指标筛选程序,已被广泛应用于水稻^[15]、小麦^[16]、棉花^[17]、花生^[18]、荔枝^[19]等农作物的综合评价研究中。本研究以15个鲜食蚕豆品种(系)为研究对象,对株高、有效分枝数、主茎节数、始荚节位等12个主要农艺性状和淀粉、粗蛋白、粗脂肪含量等6个品质性状进行测定,采用主成分分析法(Principal component analysis, PCA)、聚类分析法(Cluster analysis)对表型值进行分析,为鲜食蚕豆的科学评价及品种筛选提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择15个鲜食蚕豆品种(系)作为参试材料,具体名称及来源地如表1所示,其中双绿5号为浙江省主栽蚕豆品种,设置为本试验的对照品种。所有试验材料于2021年11月种植于丽水市农林科学研究院试验基地,每个品种(系)种植1行,行长50 m,种植行距60 cm,株距35 cm,每穴播1粒,常规田间管理。在豆荚色泽翠绿、籽粒饱满、种脐出现丝状细黑线之前及时分批收获。

1.2 性状调查

1.2.1 农艺性状 每个品种(系)取中间生长正常、无缺株的连续10株为样本,调查株高、有效分枝数、主茎节数、始荚节位和单株荚数。收获后随机选取50个鲜荚,考察每荚粒数、鲜荚长、鲜荚宽、鲜荚质量、鲜籽粒长、鲜籽粒宽和鲜百粒质量。具体性状调

查方法参考《蚕豆种质资源描述规范和数据标准》进行。

表 1 材料名称及来源

Table 1 Name and source of the materials

编号	材料名称	来源
1	丽蚕 1 号	浙江
2	双绿 5 号	浙江
3	慈蚕 1 号	浙江
4	Y2202	浙江
5	Y2213	浙江
6	Y2224	浙江
7	Y2231	云南
8	Y2244	云南
9	HN001	河南
10	HN002	河南
11	V2101	江苏
12	V2104	江苏
13	V2108	江苏
14	V2109	江苏
15	陵西一寸	青海

1.2.2 品质性状 鲜食蚕豆品质性状依据国家相关标准或农业行业标准进行测定。其中,水分含量、淀粉含量、粗蛋白含量、粗脂肪含量和维生素 C(抗坏血酸)含量的测定参考《食品安全国家标准》中的方法进行,具体操作步骤参见 GB 5009.3-2016、GB 5009.9-2016、GB 5009.5-2016、GB 5009.6-2016 和 GB 5009.86-2016;可溶性固形物含量的测定参考农业部推荐的 NY/T 2637-2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定》标准进行。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2020 软件进行数据处理,通过 SPSS26.0 软件对 15 个鲜食蚕豆品种(系)的主要农艺和品质性状进行相关分析、主成分分析和聚类分析。提取特征值 >1 且方差累计贡献率 $\geq 85\%$ 的主成分计算特征值和特征向量,计算各品种(系)的综合得分并对其进行鉴定评价。聚类分析选择系统聚类中的离差平方和法(Ward 法),采用欧式平方距离计算各鲜食蚕豆品种(系)间的遗传距离。

2 结果与分析

2.1 鲜食蚕豆农艺与品质性状的变异分析

对 15 份鲜食蚕豆品种(系)的 18 个农艺和

品质性状进行表型变异分析(表 2),发现变异幅度大,变异程度由小到大依次为:鲜籽粒宽 $<$ 水分含量 $<$ 鲜籽粒长 $<$ 鲜荚宽 $<$ 鲜荚长 $<$ 主茎节数 $<$ 鲜百粒质量 $<$ 始荚节位 $<$ 有效分枝数 $<$ 可溶性固形物含量 $<$ 每荚粒数 $<$ 鲜荚质量 $<$ 粗脂肪含量 $<$ 粗蛋白含量 $<$ 株高 $<$ 单株荚数 $<$ 淀粉含量 $<$ 维生素 C 含量。18 个性状中,变异系数较大的为维生素 C 含量、淀粉含量、单株荚数和株高,分别为 56.09%、26.90%、15.95%和 15.83%,表明这些性状变异较丰富,不同品种(系)间存在较大的遗传差异,可通过栽培技术和品种改良等方法对其进行提升和优化;鲜籽粒宽、水分含量、鲜籽粒长、鲜荚宽、鲜荚长的变异系数较小,分别为 3.98%、4.30%、4.40%、5.30%和 5.90%,说明经过人工驯化和对大荚、大粒品种的定向选育,已育成品种(系)荚、粒相关性状的遗传已趋于稳定,不易受环境影响。

2.2 鲜食蚕豆主要农艺与品质性状的相关性分析

对 15 个鲜食蚕豆品种(系)的 18 个主要农艺与品质性状进行相关性分析,获得的相关系数如表 3 所示。各性状间存在一定的相关性,其中,株高与每荚粒数呈显著正相关,与单株荚数呈显著负相关;鲜荚长与鲜荚质量、鲜籽粒长、鲜籽粒宽、鲜百粒质量呈显著正相关,与粗脂肪含量呈显著负相关;鲜荚质量与鲜荚长呈显著正相关,与鲜荚宽呈极显著正相关;鲜籽粒长和鲜籽粒宽、鲜百粒质量、水分含量呈极显著正相关,与粗脂肪含量呈极显著负相关;鲜籽粒宽与鲜百粒质量、水分含量呈极显著正相关,与粗脂肪含量呈显著负相关;水分含量与鲜百粒质量呈极显著正相关,与淀粉含量、粗蛋白含量和粗脂肪含量呈极显著负相关;维生素 C 含量与鲜籽粒宽呈极显著正相关,与每荚粒数呈极显著负相关。

2.3 鲜食蚕豆主要农艺与品质性状的主成分分析

对 15 个鲜食蚕豆品种(系)的 18 个性状进行主成分分析(表 4),前 6 个主成分的特征值分别为 5.801、3.314、2.465、1.455、1.339 和 1.170,累计贡献率为 86.348%,符合特征值 >1 且方差累计贡献率 $\geq 85\%$ 的原则,表明前 6 个主成分几乎涵盖了鲜食蚕豆 18 个性状的全部表型信息,可将其简化为 6 个主成分并借助 6 个主成分开展鲜食蚕豆综合评价。

表 2 不同蚕豆材料主要农艺及品质性状变异分析

Table 2 Variational analysis on agronomic and quality traits of different faba bean materials

性状	平均值	最大值	最小值	极差	标准差	性状	变异系数 (%)
株高 (cm)	64.98	88.20	48.78	39.42	10.29	株高	15.83
有效分枝数	10.43	11.80	7.90	3.90	1.01	有效分枝数	9.69
主茎节数	12.57	14.10	10.50	3.60	0.99	主茎节数	7.90
始荚节位	6.26	7.10	4.90	2.20	0.52	始荚节位	8.27
单株荚数	26.25	34.40	16.80	17.60	4.19	单株荚数	15.95
每荚粒数	2.24	2.70	1.58	1.12	0.26	每荚粒数	11.72
鲜荚长 (cm)	13.79	15.41	12.65	2.76	0.81	鲜荚长	5.90
鲜荚宽 (mm)	26.18	29.65	23.33	6.32	1.39	鲜荚宽	5.30
鲜荚质量 (g)	28.09	36.62	23.59	13.03	3.64	鲜荚质量	12.94
鲜籽粒长 (mm)	28.94	32.18	27.26	4.92	1.27	鲜籽粒长	4.40
鲜籽粒宽 (mm)	20.96	22.86	20.02	2.84	0.83	鲜籽粒宽	3.98
鲜百粒质量 (g)	394.37	467.32	351.44	115.88	32.52	鲜百粒质量	8.25
水分含量 (%)	72.36	79.52	67.53	11.99	3.11	水分含量	4.30
淀粉含量 (%)	5.98	7.98	2.09	5.88	1.61	淀粉含量	26.90
粗脂肪含量 (%)	0.98	1.14	0.66	0.48	0.14	粗脂肪含量	14.15
粗蛋白含量 (%)	6.10	7.74	4.49	3.25	0.88	粗蛋白含量	14.36
维生素 C 含量 (mg/g)	0.12	0.24	0.05	0.19	0.07	维生素 C 含量	56.09
可溶性固形物含量 (%)	6.89	9.05	6.01	3.04	0.74	可溶性固形物含量	10.72

表 3 不同蚕豆材料主要农艺及品质性状间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of agronomic and quality traits of different faba bean materials

性状	株高	有效分枝数	始荚节位	主茎节数	单株荚数	每荚粒数	鲜荚长	鲜荚宽	鲜荚质量	鲜籽粒长	鲜籽粒宽	鲜百粒重	水分含量	淀粉含量	粗蛋白含量	粗脂肪含量	维生素 C 含量
有效分枝数	-0.029	1.000															
始荚节位	-0.398	-0.238	1.000														
主茎节数	-0.401	-0.134	0.032	1.000													
单株荚数	-0.541*	0.451	0.041	0.393	1.000												
每荚粒数	0.549*	-0.274	-0.125	-0.217	-0.325	1.000											
鲜荚长	-0.157	0.314	-0.020	0.276	0.090	-0.481	1.000										
鲜荚宽	-0.085	-0.264	-0.018	-0.116	-0.292	-0.312	0.453	1.000									
鲜荚质量	0.305	-0.057	-0.295	-0.119	-0.292	0.075	0.621*	0.674**	1.000								
鲜籽粒长	-0.134	0.431	-0.198	0.263	0.123	-0.365	0.553*	-0.217	0.051	1.000							
鲜籽粒宽	-0.116	0.169	-0.160	0.087	-0.178	-0.501	0.623*	0.104	0.189	0.845**	1.000						
鲜百粒质量	0.013	0.210	-0.205	0.074	-0.188	-0.280	0.580*	0.020	0.259	0.913**	0.906**	1.000					
水分含量	0.087	0.028	-0.117	-0.016	-0.115	-0.213	0.384	-0.030	0.286	0.730**	0.687**	0.796**	1.000				
淀粉含量	-0.199	-0.102	0.424	0.054	0.038	0.182	-0.186	-0.196	-0.302	-0.303	-0.250	-0.318	-0.643**	1.000			
粗蛋白含量	-0.403	-0.073	0.204	0.081	0.333	-0.383	-0.183	0.233	-0.306	-0.593*	-0.401	-0.664**	-0.740**	0.443	1.000		
粗脂肪含量	0.174	-0.155	0.142	-0.170	-0.206	0.181	-0.519*	0.120	-0.220	-0.657**	-0.631*	-0.638*	-0.730**	0.483	0.505	1.000	
维生素 C 含量	-0.461	0.153	-0.209	0.177	0.033	-0.784**	0.501	0.416	0.218	0.464	0.651**	0.490	0.315	-0.171	0.140	-0.233	1.000
可溶性固形物含量	-0.290	-0.029	-0.009	0.117	0.056	-0.097	0.310	0.292	0.183	-0.055	0.146	-0.021	-0.362	0.476	0.288	0.065	0.191

* 表示相关性显著($P<0.05$), ** 表示相关性极显著($P<0.01$)。

表 4 6 个主成分的特征向量及贡献率

Table 4 Eigenvector and accumulated contribution of six principal components

性状	主成分					
	1	2	3	4	5	6
株高	-0.036	-0.455	0.127	-0.149	0.174	-0.099
主茎分枝数	0.120	0.087	-0.228	-0.504	0.355	-0.242
始荚节位	-0.111	0.168	-0.075	0.505	-0.222	-0.011
主茎节数	0.064	0.242	-0.157	0.155	0.015	0.546
单株荚数	-0.006	0.308	-0.346	-0.327	0.056	0.331
每荚粒数	-0.189	-0.396	-0.026	0.143	0.293	0.241
鲜荚长	0.301	0.174	0.213	-0.022	0.208	0.214
鲜荚宽	0.058	0.119	0.571	-0.077	-0.198	0.080
鲜荚质量	0.160	-0.122	0.472	-0.136	0.130	0.313
鲜籽粒长	0.370	0.019	-0.219	0.077	0.156	-0.096
鲜籽粒宽	0.370	0.059	0.027	0.193	0.071	-0.257
鲜百粒质量	0.381	-0.067	-0.031	0.187	0.111	-0.161
水分含量	0.349	-0.183	-0.087	0.108	-0.248	0.037
淀粉含量	-0.221	0.202	-0.011	0.371	0.429	-0.188
粗蛋白含量	-0.237	0.383	0.106	-0.170	-0.118	-0.111
粗脂肪含量	-0.319	0.031	0.155	-0.051	0.013	-0.302
维生素 C 含量	0.253	0.294	0.173	-0.085	-0.153	-0.265
可溶性固形物含量	-0.015	0.267	0.253	0.164	0.531	0.045
特征值	5.801	3.314	2.465	1.455	1.339	1.170
方差贡献率(%)	32.226	18.410	13.693	8.084	7.438	6.497
累计贡献率(%)	32.226	50.635	64.329	72.413	79.851	86.348

6 个主成分中,第 1 主成分的特征值和方差贡献率最高,分别为 5.801 和 32.226%,特征向量绝对值较高的性状为鲜百粒质量、鲜籽粒长、鲜籽粒宽、鲜荚长、水分含量和粗脂肪含量,主要反映鲜食蚕豆的籽粒外观品质和营养品质,说明籽粒品质相关性状在鲜食蚕豆综合评价中发挥着重要作用;第 2 主成分的特征值和方差贡献率为 3.314 和 18.410%,特征向量绝对值较高的性状为株高、单株荚数、每荚粒数、粗蛋白含量和维生素 C 含量,主要反映鲜食蚕豆的产量和品质相关因素,说明除内在品质外,产量构成因子也是评价鲜食蚕豆的重要指标。第 3 主成分的贡献率为 13.693%,特征向量绝对值较高的性状是鲜荚宽和鲜荚质量,主要反映鲜食蚕豆鲜荚大小和形态;第 4 主成分的贡献率为 8.084%,特征向量绝对值较高的性状是始荚节位和主茎分枝数,主要反映鲜食蚕豆开花时间和分枝能力;第 5 主成分的贡献率为

7.438%,特征向量绝对值较高的性状是可溶性固形物含量和淀粉含量,主要反映鲜食蚕豆籽粒营养成分;第 6 主成分的贡献率为 6.497%,特征向量绝对值较高的性状是主茎节数。

2.4 鲜食蚕豆品种(系)综合评价

为了对鲜食蚕豆品种(系)主要农艺与品质性状进行综合评价,根据成分矩阵系数及每个主成分对应的特征值计算特征向量,各性状对应的特征向量详见表 4,可得到如下 6 个主成分得分函数表达式:

$$F_1 = -0.036x_1 + 0.120x_2 - 0.111x_3 + 0.064x_4 - 0.006x_5 - 0.189x_6 + 0.301x_7 + 0.058x_8 + 0.160x_9 + 0.370x_{10} + 0.370x_{11} + 0.381x_{12} + 0.349x_{13} - 0.221x_{14} - 0.237x_{15} - 0.319x_{16} + 0.253x_{17} - 0.015x_{18}$$

$$F_2 = -0.455x_1 + 0.087x_2 + 0.168x_3 + 0.242x_4 + 0.308x_5 - 0.396x_6 + 0.174x_7 + 0.119x_8 - 0.122x_9 +$$

$$0.019x_{10} + 0.059x_{11} + 0.067x_{12} + 0.183x_{13} + 0.202x_{14} + 0.383x_{15} + 0.031x_{16} + 0.294x_{17} + 0.267x_{18}$$

$$F_3 = 0.127x_1 - 0.228x_2 - 0.075x_3 - 0.157x_4 - 0.346x_5 - 0.026x_6 + 0.213x_7 + 0.571x_8 + 0.472x_9 + 0.219x_{10} + 0.027x_{11} + 0.031x_{12} + 0.087x_{13} + 0.011x_{14} + 0.106x_{15} + 0.155x_{16} + 0.173x_{17} + 0.253x_{18}$$

$$F_4 = -0.149x_1 - 0.504x_2 + 0.505x_3 + 0.155x_4 - 0.327x_5 + 0.143x_6 - 0.022x_7 - 0.077x_8 - 0.136x_9 + 0.077x_{10} + 0.193x_{11} + 0.187x_{12} + 0.108x_{13} + 0.371x_{14} - 0.170x_{15} - 0.051x_{16} - 0.085x_{17} + 0.164x_{18}$$

$$F_5 = 0.174x_1 + 0.355x_2 - 0.222x_3 + 0.015x_4 + 0.056x_5 + 0.293x_6 + 0.208x_7 - 0.198x_8 + 0.130x_9 + 0.156x_{10} + 0.071x_{11} + 0.111x_{12} - 0.248x_{13} + 0.429x_{14} - 0.118x_{15} + 0.013x_{16} - 0.153x_{17} + 0.531x_{18}$$

$$F_6 = -0.099x_1 - 0.242x_2 - 0.011x_3 + 0.546x_4 + 0.331x_5 + 0.241x_6 + 0.214x_7 + 0.080x_8 + 0.313x_9 - 0.096x_{10} - 0.257x_{11} - 0.161x_{12} + 0.037x_{13} - 0.188x_{14} -$$

$$0.111x_{15} - 0.302x_{16} - 0.265x_{17} + 0.045x_{18}$$

将标准化的表型值带入上述 6 个公式中计算主成分得分,根据 6 个主成分对应的方差贡献率计算权重,最终的鲜食蚕豆综合评价函数为:

$$F = 0.373F_1 + 0.213F_2 + 0.159F_3 + 0.094F_4 + 0.086F_5 + 0.075F_6$$

根据该主成分综合评价函数,计算 15 个鲜食蚕豆品种(系)的综合得分,具体分值如表 5 所示,不同鲜食蚕豆品种(系)主要农艺及品质性状的综合得分由高到低排序为:Y2224、Y2213、Y2202、慈蚕 1 号、Y2244、陵西一寸、HN001、V2108、丽蚕 1 号、V2109、V2104、HN002、Y2231、V2101、双绿 5 号。在已育成品种中,慈蚕 1 号和陵西一寸综合表现好,性状优良,优于浙江本地主栽品种,值得大力推广;Y2224、Y2213 和 Y2202 的综合得分高于本地主栽品种和现有已育成品种,有望在未来成为更优秀的鲜食蚕豆新品种进行推广种植。

表 5 蚕豆品种(系)综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of different faba bean varieties (lines)

品种(系)	主成分得分						总得分(F)	排序
	1	2	3	4	5	6		
丽蚕 1 号	-1.200	-0.041	-0.955	-0.897	0.134	1.814	-0.545	9
双绿 5 号	-3.050	-0.048	-1.284	-0.923	-0.287	-0.309	-1.487	15
慈蚕 1 号	1.582	1.434	0.173	0.112	1.275	0.064	1.048	4
Y2202	0.840	1.608	2.281	0.622	2.138	0.392	1.290	3
Y2213	4.820	0.049	-1.546	1.587	-0.060	-0.448	1.673	2
Y2224	4.669	0.396	3.541	-0.431	-1.807	1.075	2.274	1
Y2231	-2.164	-0.414	-1.942	0.149	0.164	0.874	-1.111	13
Y2244	0.291	4.022	0.126	0.898	-1.131	-1.499	0.860	5
HN001	-0.010	0.883	-1.786	-0.413	0.556	1.351	0.011	7
HN002	-1.136	-0.081	-0.560	-1.503	-0.752	-1.870	-0.876	12
V2101	-2.411	-1.505	-0.349	0.941	-2.040	1.070	-1.282	14
V2104	-2.697	-0.217	0.570	2.028	-0.214	-0.327	-0.814	11
V2108	0.620	-2.691	-0.003	-0.591	-0.101	-1.092	-0.489	8
V2109	-1.222	-3.331	1.197	0.908	1.583	-0.731	-0.808	10
陵西一寸	1.067	-0.064	0.537	-2.488	0.541	-0.363	0.255	6

2.5 鲜食蚕豆基于农艺与品质性状的聚类分析

采用 Ward 法对不同鲜食蚕豆品种(系)的 18 个主要农艺和品质性状进行聚类分析,建立的聚类树状图如图 1 所示。当遗传距离为 14 时,可将

15 份鲜食蚕豆品种(系)划分为 3 大类群:第 I 类群包含 9 个品种(系),分别为 Y2231、Y2244、HN002、丽蚕 1 号、V2101、V2104、V2108、V2109 和陵西一寸;第 II 类群包含 4 个品种(系),分别为

慈蚕 1 号、Y2213、双绿 5 号和 HN001;第Ⅲ类群包 含 2 个品系,分别为 Y2202 和 Y2224。

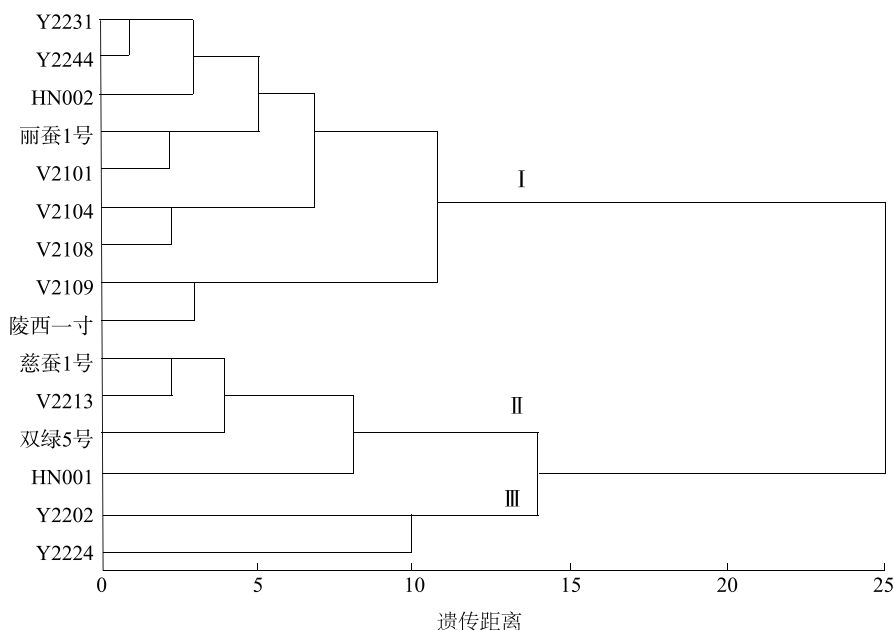


图 1 15 份鲜食蚕豆品种(系)基于 18 个性状的聚类图

Fig.1 Cluster graph of 15 vegetable faba bean varieties (lines) based on the phenotypic datasets of 18 traits

对各类群鲜食蚕豆品种(系)的 18 个性状进行描述性分析(表 6),发现第 I 类群的株高、每荚粒数、粗蛋白含量和粗脂肪含量均高于第 II、Ⅲ类群,但第 I 类群的鲜荚长、鲜籽粒长、鲜籽粒宽、鲜百粒质量及可溶性固形物含量均低于第 II、Ⅲ类群;第 I 类群的维生素 C 含量变异系数最高,其次为淀粉含量,水分含量、鲜荚宽的变异系数最低。说明第 I 类群为高粗蛋白含量、高粗脂肪含量、株型较高、每荚粒数较多的中粒型蚕豆品种(系)。

第 II 类群的有效分枝数、始荚节位、主茎节数、单株荚数、鲜籽粒长和淀粉含量均高于第 I、Ⅲ类群,株高、鲜荚质量和鲜荚宽最低。第 II 类群的粗蛋白含量的变异系数最高,其次为鲜百粒质量,每荚粒数的变异系数最低。说明第 II 类群为高淀粉含量、分枝性和结荚性较强、大粒型蚕豆品种(系)。

第 III 类群的鲜荚宽、鲜荚长、鲜荚质量、鲜籽粒宽、鲜百粒质量、水分含量、维生素 C 含量和可溶性固形物含量均高于第 I、II 类群,有效分枝数、单株荚数、每荚粒数和淀粉含量最低;淀粉含量的变异系数最高,维生素 C 含量含量次之,鲜籽粒宽的变异系数最低;说明第 III 类群为高维生素 C 含量、荚形宽大的超大粒型蚕豆品系。

3 讨论

遗传变异是种质创新的关键,是新品种选育的基础。对 15 份不同鲜食蚕豆品种(系)的 18 个主要农艺及品质性状进行遗传变异分析,发现 12 个主要农艺性状的变异系数较低,变异系数为 3.98%~15.95%,其中,鲜籽粒长和鲜籽粒宽的变异系数最低,均低于 5%。于海天等^[20]以云南早熟鲜食秋蚕豆为试验材料,发现除鲜荚宽的变异系数高于本研究结果外,其余农艺性状的变异系数与本研究结果一致。云南选育的鲜食蚕豆品种以早熟、高产为主要目标,而长江流域更偏爱荚型宽大的大粒品种,对不同性状的选择偏好可能是造成该差异的主要原因。6 个品质性状的变异系数为 4.30%~56.09%,其中,维生素 C 含量和淀粉含量的变异系数较高,均超过 20.00%,水分含量的变异系数最小,仅 4.30%。在赵娜等^[21]的研究中,水分含量的变异系数仅 3.90%,与本研究结果基本一致,淀粉、蛋白质、脂肪含量的变异系数低于本研究结果;陈宏伟等^[22]对湖北蚕豆地方种质开展品质性状研究,蛋白质含量和淀粉含量的变异系数低于本研究结果,而脂肪含量的变异系数

与本研究结果一致。因基因型和地理位置的不同,品质性状往往表现出较大差异,不同地区的特

有栽培方式和气候条件可能也是造成该差异的重要因素。

表 6 第 I、II、III 类群中不同蚕豆品种(系)农艺及品质性状的平均表现
Table 6 The agronomic and quality traits of faba bean varieties (lines) in group I, II and III

性状	类群			性状	变异系数(%)		
	第 I 类群	第 II 类群	第 III 类群		第 I 类群	第 II 类群	第 III 类群
株高(cm)	67.24	59.92	64.89	株高	18.65	7.71	4.93
有效分枝数	10.30	10.90	10.05	有效分枝数	11.72	5.95	2.11
主茎节数	6.27	6.30	6.15	主茎节数	9.80	7.67	1.15
始荚节位	12.50	12.68	12.65	始荚节位	10.09	4.39	1.68
单株荚数	25.14	29.70	24.35	单株荚数	16.19	12.10	11.91
每荚粒数	2.28	2.24	2.03	每荚粒数	14.24	2.63	4.74
鲜荚长(cm)	13.42	13.90	15.22	鲜荚长	4.26	4.54	1.83
鲜荚宽(mm)	26.11	25.14	28.60	鲜荚宽	2.55	5.19	5.19
鲜荚质量(g)	27.41	26.49	34.30	鲜荚质量	9.82	10.85	9.59
鲜籽粒长(mm)	28.53	29.68	29.36	鲜籽粒长	2.96	6.96	1.37
鲜籽粒宽(mm)	20.62	21.27	21.87	鲜籽粒宽	2.54	5.70	1.10
鲜百粒质量(g)	383.72	406.68	417.69	鲜百粒质量	6.05	12.20	4.75
水分含量(%)	71.54	73.17	74.45	水分含量	2.48	6.71	6.12
淀粉含量(%)	6.08	6.36	4.75	淀粉含量	22.79	15.84	79.08
粗脂肪含量(%)	6.16	6.01	5.97	粗脂肪含量	12.23	22.22	14.34
粗蛋白含量(%)	1.07	0.85	0.85	粗蛋白含量	4.24	16.22	18.30
维生素 C 含量(mg/g)	0.11	0.11	0.17	维生素 C 含量	64.64	55.56	34.73
可溶性固形物含量(%)	6.73	6.80	7.82	可溶性固形物含量	6.99	7.82	22.31

鲜食蚕豆的主要农艺和品质性状之间表现出复杂的相关性,鲜荚质量与鲜荚长、鲜荚宽呈显著正相关,鲜百粒质量与鲜籽粒长、鲜籽粒宽呈极显著正相关,与前人研究结果^[23-25]一致。粗蛋白含量与鲜百粒质量、鲜籽粒长呈极显著负相关,与赵娜等^[21]的研究结果相反,可能由于粗蛋白含量与籽粒发育密切相关,处于灌浆期的鲜籽粒与处于成熟期的干籽粒在粗蛋白积累方面存在明显差异。粗脂肪含量与鲜荚长、鲜籽粒宽和鲜百粒质量呈显著负相关,与鲜籽粒长呈极显著负相关,说明大籽粒的鲜食蚕豆粗脂肪含量较低,而小籽粒鲜食蚕豆的粗脂肪含量较高。维生素 C 含量与鲜籽粒宽呈极显著正相关,因此在进行高维生素 C 含量鲜食蚕豆定向育种时,优先挑选粒形较宽的种质可能更

易达到育种目标。

主成分分析法可以有效简化指标筛选程序,已被广泛应用于种质资源性状评价当中^[15-17,26-32]。杨生华等^[33]以 301 份国内春蚕豆种质资源为研究对象,开展种子表型多样性分析,将种子表型性状浓缩为籽粒大小因子、籽粒形状因子和粒重因子,对应的特征向量值以种子表面积、百粒质量、粒长最高。吕春雨等^[34]以 41 份非洲地区和中国湖北蚕豆种质资源为研究对象,通过主成分分析法将 10 个产量性状简化为 5 个主成分,并筛选到 9 个鉴定和评价蚕豆产量的重要指标。通过主成分分析法,本研究将 18 个主要农艺与品质性状归纳为 6 个主成分,累计贡献率为 86.348%,说明这 6 个主成分是决定鲜食蚕豆种质多样性的重要因子,其中鲜百粒质量、鲜籽粒长、鲜籽粒宽、鲜荚长和

粗脂肪含量等性状可作为鲜食蚕豆种质资源鉴定评价的重要参考指标。

应用主成分分析综合得分可以较为客观、全面地反映样品的优先级和优劣程度,不受人为主观因素的影响,目前已广泛应用于农作物表型性状的综合评价^[17-19]。本研究以主要农艺和品质性状综合得分(F 值)的大小为依据,对 15 个鲜食蚕豆品种(系)进行鉴定和评价,为鲜食蚕豆新品种的选育提供材料基础。分析结果表明,Y2224 的 F 值最高,综合表现最好。Y2224 为丽水市农林科学研究院选育的鲜食专用型蚕豆新品系,主要农艺性状为植株较矮抗倒伏,主茎分枝数 10.6 个,单株荚数 27.1 个,鲜百粒质量 404.08 g,淀粉含量 7.64%,粗蛋白含量 7.53%,粗脂肪含量 1.14%,维生素 C 含量 0.24 mg/g。该品系在浙西南种植时表现出良好的长势和丰产性,大荚大粒,外观品质优良,营养品质居供试品种(系)的前列,综合性状优于本地主栽品种双绿 5 号,有望在未来成为鲜食蚕豆主推新品种。

聚类分析可按照表型特征的相近程度对研究对象进行划分,以此反映种质资源材料的亲缘关系和遗传距离^[35-38]。本研究将 15 份鲜食蚕豆品种(系)划分为三个类群,且每一类群的性状均有别于另两个类群。相同来源的品种(系)并未聚于同一类群内,与杨生华等^[33]的研究结果一致,出现这一现象的原因是表型性状受遗传与环境的共同调控。第 I 类群为高粗蛋白含量、高粗脂肪含量、株型较高、每荚粒数较多的中粒型蚕豆品种(系);第 II 类群为高淀粉含量、分枝性和结荚性较强、大粒型蚕豆品种(系);第 III 类群为高维生素 C 含量、荚形宽大的超大粒型蚕豆品种(系)。在生产中可以根据实际需求挑选适宜的品种(系)加以利用。

参考文献:

- [1] 叶 茵. 中国蚕豆学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [2] HU H Y, LI H, HAO M M, et al. Nitrogen fixation and crop productivity enhancements co-driven by intercrop root exudates and key rhizosphere bacteria[J]. Journal of Applied Ecology, 2021, 58 (10): 2243-2255.
- [3] LI L, YANG T, LIU R, et al. Food legume production in China[J]. The Crop Journals, 2017, 5 (2): 115-126.
- [4] 刘玉玲, 张红岩, 滕长才, 等. 蚕豆 SSR 标记遗传多样性及与淀粉含量的关联分析[J]. 作物学报, 2022, 48 (11): 2786-2796.
- [5] 杨访问, 吕春雨, 廖芳丽, 等. 41 份非洲和湖北蚕豆种质资源 SSR 遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18 (8): 2619-2625.
- [6] 张红岩, 郭兴莲, 杨 涛, 等. 利用 SSR 标记分析蚕豆品种(品系)与优异种质的遗传多样性[J]. 中国蔬菜, 2018 (2): 34-41.
- [7] WANG H F, ZONG X X, GUAN J P, et al. Genetic diversity and relationship of global faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm revealed by ISSR markers[J]. Theoretical & Applied Genetics, 2012, 124 (5): 789-797.
- [8] LIZARAZO C I, LAMPI A M, LIU J, 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 (10): 2053-2064.
- [9] LONGOBARDI F, SACCO D, CASIELLO G, et al. Chemical profile of the C arpino broad bean by conventional and innovative physico-chemical analyses [J]. Journal of Food Quality, 2015, 38 (4): 273-284.
- [10] SHARAN S, ZANGHELINI G, ZOTZEL J, et al. Faba bean (*Vicia faba* L.) for food applications: From seed to ingredient processing and its effect on functional properties, antinutritional factors, flavor, and color [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20 (1): 401-428.
- [11] VIOQUE J, ALAIZ M, GIRON-CALLE J. Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions [J]. Food Chemistry, 2012, 132 (1): 67-72.
- [12] 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 & Technology, 2015, 50 (11): 2375-2382.
- [13] KHAZAEI H, O'SULLIVAN D, MSTODDARD F L, et al. Recent advances in faba bean genetic and genomic tools for crop improvement [J]. Legume Science, 2021, 3 (3): e75.
- [14] MAALOUF F, HU J, O'SULLIVAN D M, et al. Breeding and genomics status in faba bean (*Vicia faba*) [J]. Plant Breeding, 2019, 138 (4): 465-473.
- [15] 刘秋员, 周 磊, 田晋钰, 等. 长江中下游地区常规中熟粳稻氮效率综合评价及高产氮高效品种筛选 [J]. 中国农业科学, 2021, 54 (7): 1397-1409.
- [16] 徐 澜, 秦秀娟, 安 伟, 等. 基于主成分分析的南引小麦品种综合评价 [J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57 (3): 32-41.
- [17] 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.
- [18] 卞能飞, 孙东雷, 巩佳莉, 等. 花生烘烤食用品质评价及指标筛选[J]. 中国农业科学, 2022, 55(4): 641-652.
- [19] 王思威, 孙海滨, 常虹, 等. 基于主成分分析综合评价白糖罍荔枝果实品质[J]. 果树学报, 2022, 39(4): 610-620.
- [20] 于海天, 王丽萍, 吕梅媛, 等. 早熟鲜食秋蚕豆主要农艺性状与鲜食产量相关及通径分析[J]. 西南农业学报, 2020, 33(4): 711-717.
- [21] 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.
- [22] 陈宏伟, 李莉, 刘昌燕, 等. 129份湖北蚕豆地方种质的籽粒外观及品质性状分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6377-6380, 6384.
- [23] 于海天, 王丽萍, 吕梅媛, 等. 早熟鲜食秋蚕豆主要农艺性状与鲜食产量相关及通径分析[J]. 西南农业学报, 2020, 33(4): 711-717.
- [24] 庄应强, 屠娟丽, 费伟英, 等. 不同鲜食蚕豆品种产量性状及营养成分比较[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(32): 52-54.
- [25] 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.
- [26] 刘长风, 王椰, 段士鑫, 等. 铬胁迫下紫花苜蓿种子萌发和幼苗生理响应的主成分分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 176-182.
- [27] 黄海, 段军娜, 刘荣, 等. 芒果不同砧穗组合早期嫁接亲和性综合评价[J]. 南方农业学报, 2022, 53(5): 1216-1226.
- [28] 邹成林, 黄开健, 翟瑞宁, 等. 基于隶属函数法和主成分分析评价玉米萌发期抗旱性[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(13): 7-13.
- [29] 陈含, 王东升, 白冰, 等. 21份木槿栽培品种表型多样性评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(3): 117-126.
- [30] 吴琴燕, 朱建飞, 陈宏州, 等. LC-MS测定不同品种小麦中氨基酸含量及PCA分析[J]. 生物加工过程, 2021, 19(1): 91-98.
- [31] 段九菊, 梁峥, 贾民隆, 等. 山西省萱草属野生资源的表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(6): 29-38.
- [32] 曾邹涵, 李庆卫, 遆羽静. 甘肃省张掖市野生沙枣的表型多样性及观赏性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(4): 12-21.
- [33] 杨生华, 邵扬, 李文俊, 等. 国内春蚕豆种质资源种子表型性状多样性分析[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(10): 1-6.
- [34] 吕春雨, 廖芳丽, 陈宏伟, 等. 41份非洲地区和我国湖北蚕豆种质资源产量性状的鉴定与评价[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2356-2363.
- [35] 赵凌霄, 邓逸桐, 衡曦彤, 等. 106份特色甘薯品种资源品质性状评价与分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 839-847.
- [36] 王薇薇, 郭军, 梅毅, 等. 大蒜种质资源的综合评价与聚类分析[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(2): 397-403.
- [37] 徐泽俊, 齐玉军, 邢兴华, 等. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(2): 468-479.
- [38] 辛佳佳, 张南峰, 程华萍, 等. 江西省地方蚕豆种质资源遗传多样性分析及优异资源挖掘[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(1): 20-29.

(责任编辑:成纾寒)