



江苏鲜食春大豆种质资源表型鉴定及综合评价

黎松松^{1,2}, 赖建军³, 张红梅², 崔晓艳², 刘晓庆², 陈新², 朱月林¹, 陈华涛²

(1. 南京农业大学 园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院 经济作物研究所, 江苏 南京 210014; 3. 淮阴工学院 生命科学与食品工程学院, 江苏 淮安 223003)

摘要:为了更好地利用鲜食春大豆种质资源, 发掘潜在优异自然变异, 丰富鲜食春大豆种质, 本研究对 45 份鲜食春大豆种质资源的 10 个描述性性状和 11 个数值型农艺性状进行了变异分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析及综合评价, 并对大豆花叶病毒的抗病性和口感品质等进行鉴定。结果表明: 变异性分析结果显示, 11 个数值型性状间存在着丰富的变异, 变异系数为 2.77% ~ 31.57%, 其中底荚高度变异系数最大, 出仁率变异系数最小。相关性分析表明, 株高与有效分枝数、主茎节数和生育期呈极显著正相关, 有效分枝数与主茎节数呈极显著正相关, 生育期与底荚高度呈极显著正相关, 主茎节数与百粒鲜重呈极显著负相关。利用离差平方和法将 45 份种质聚为四大类群, 其中第 II 类群综合性状最好。抗病性分析表明, 对 SMV SC3 株系表现为抗病性的种质资源有 37 份, 对 SC7 株系表现为高抗的种质资源有 33 份, 对 SC3 和 SC7 株系均表现抗病的材料有 20 份。主成分分析表明, 株型因子、生育期因子、产量因子、出仁率因子等主成分累计贡献率达到 66.65%。根据主成分值与其对应特征根值的贡献率计算各品种的主成分综合得分, 将综合得分靠前的种质资源与产量性状和抗病性等进行综合分析, 鉴定得到 JS-19、JS-28、JS-32、JS-33 等优异种质资源, 可作为鲜食春大豆新品种选育的骨干亲本, 在育种上加以创新利用。

关键词:鲜食春大豆; 表型鉴定; 聚类分析; 主成分分析; 综合评价

Phenotyping Identification and Comprehensive Evaluation of Fresh Spring Soybean Germplasms in Jiangsu Province

LI Song-song^{1,2}, LAI Jian-jun³, ZHANG Hong-mei², CUI Xiao-yan², LIU Xiao-qing², CHEN Xin², ZHU Yue-lin¹, CHEN Hua-tao²

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. College of Life Sciences and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China)

Abstract: To make better use of vegetable soybean germplasms, discover potential excellent natural variation, and enrich fresh spring soybean germplasms, this study analyzed ten descriptive traits and eleven characteristics of 45 fresh spring soybean germplasms. The variation analysis, correlation analysis, principal component analysis, cluster analysis and comprehensive evaluation were carried out, and the disease resistance and taste quality were identified. The results of variability analysis showed that there were abundant variations among the eleven numerical traits, with the number of variations ranging from 2.77% to 31.57%. Among them, the coefficient of variation of bottom pod height was the largest, and the coefficient of variation of kernel rate was the smallest. Correlation analysis showed that plant height was significantly positively correlated with effective branches number, the number of main stem nodes, and the growth period. The number of effective branches was significantly positively correlated with the number of main stem nodes. The growth period and base pod height were significantly positively correlated. The number of main stem nodes, and the 100-seed fresh weight showed a very significant negative correlation. The 45 accessions were grouped into four major groups by the method of the sum of squared deviations, among which group II had the best comprehensive traits. The disease resistance analysis showed that 37 germplasms showed resistance to SMV SC3 strains, 33 germplasms showed high resistance to SC7 strains, and 20 germplasm showed resistance to both SC3 and SC7. The principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of principal components such as plant type factor, growth period factor, yield factor, and kernel rate factor reached 66.65%. According to the contribution rate of the principal component value and its corresponding characteristic root value, the principal component comprehensive score of each variety was calculated, and the germplasms with the highest comprehensive score, yield traits, and disease resistance were comprehensively analyzed, JS-19, JS-28, JS-32 and JS-33 were screened out, which can be used as backbone parents for the selection of new fresh spring soybean varieties for innovatively breeding.

Keywords: fresh spring soybean; phenotyping; cluster analysis; principal component analysis; comprehensive evaluation

鲜食大豆作为一种特用大豆, 又称菜用大豆、绿色, 在籽粒还没有达到完全成熟, 即生理上处于毛豆、枝豆等, 是指豆荚鼓粒饱满, 荚色、籽粒呈翠 R6(鼓粒盛期)至 R7 期(初熟期), 籽粒填充达到荚

收稿日期: 2020-10-03

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[CX(20)2007]; 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

第一作者: 黎松松(1996—), 女, 硕士研究生, 主要从事菜用大豆分子遗传研究。E-mail: 2019104076@njau.edu.cn。

通讯作者: 朱月林(1963—), 男, 博士, 教授, 主要从事蔬菜栽培生理与生物技术研究。E-mail: ylzhu@njan.edu.cn;

陈华涛(1980—), 男, 博士, 研究员, 硕导, 主要从事大豆种质创新与分子育种技术研究。E-mail: cht@jaas.ac.cn。

长的80%~90%时采收的特用大豆类型^[1]。鲜食大豆因其风味独特且营养价值高被誉为最美味、最富有营养的绿色保健蔬菜之一^[2]。

鲜食大豆的品种类型主要分为夏、秋大豆型和春大豆型。鲜食春大豆是中国鲜食大豆的主要类型,生育期短,适应范围广^[3]。近年来,我国鲜食大豆产业发展迅速,主产区主要分布在江苏、浙江、福建等长江中下游地区及经济发达的东南沿海一带^[4],深受我国东南沿海地区人民的青睐,是夏、秋季种植的主要蔬菜种类^[5-6]。鲜食春大豆产业现有品种存在产量潜力需要提升,缺乏对大豆花叶病毒优异抗性等问题^[5]。

研究大豆种质资源的遗传多样性、挖掘优异种质对提高优异种质的创新利用和新品种选育具有重要价值。在种质资源遗传多样性分析研究方法上,主成分分析和聚类分析已广泛应用在小麦^[7]、苕麻^[8]、甜高粱^[9]、秋甘蓝^[10]等多种作物种质资源中。在大豆上,宋荣浩等^[11]对9份上海地方大豆资源进行分析评价,鉴定出早绿皮、乌大青和黄牛踏扁等可供大豆新品种选育的优异亲本,具有鲜菜色泽浅绿、茸毛白色、荚型大、口感柔糯微甜等特点,并发现六月拔和细八月白等高蛋白优质大豆品种资源。钟开珍等^[12]研究了大豆倒伏级别与株高、底荚高、主茎节数和分枝数等农艺性状的相关性,并通过抗倒伏性聚类分析鉴定出参试种质资源中兼具抗倒伏与高产的一类材料。张文慧等^[13]研究了50份黑龙江省大豆品种的株高、底荚高、单株荚数、单株粒数、百粒重等主要农艺性状表现,通过多样性分析及聚类分析发现第四积温带大豆变异丰富,且第Ⅲ组的大豆品种产量相关性状优于其他组群。林文磊等^[14]分别采用基于综合主成分值和基于性状数据的聚类分析方法,对39份春大豆种质的7个主要农艺性状进行聚类分析,研究表明这两种方法都可将参试种质分成3个大类,且划分的两个主成分与各农艺性状间呈不同程度的正或负相关。然而,目前对鲜食春大豆种质资源农艺性状、抗性 & 口感品质等多方面的综合评价分析相对较少。

本研究通过变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析等多元数据分析方法,对45份鲜食春大豆种质进行植物学特性、农艺性状、口感品质及抗病性等方面鉴定评价,旨在发掘适宜江苏省种植的优异鲜食春大豆种质,并为新品种选育、创制鲜食春大豆新种质提供材料基础。

1 材料与方法

1.1 材料

参试的45份材料(分别用JS-1~JS-45表示)为江苏省农业科学院经济作物研究所多年来收集的鲜食春大豆种质资源,对照品种为苏早2号,编号为JS-44。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验在江苏省农业科学院基地进行。采用随机区组排列,3次重复,每小区7行,行长4 m,行距0.4 m,株距0.1 m,保苗密度为25万株·hm⁻²。试验地块四周分别设4行保护行,保护行采用同品种延伸方式种植。成熟收获时每个小区随机选取10株进行室内考种,取10株平均值作为该性状的试验数据,收获时每小区去边行后进行产量实测。

1.2.2 性状调查 田间性状调查参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[15],在整个生长发育期内,考察测定各材料花色、叶型、绒毛色、种皮色、脐色、成熟荚皮色、粒型、株型、结荚习性、裂荚性等10个描述性表型性状;以株高(X1)、有效分枝数(X2)、主茎节数(X3)、生育期(X4)、底荚高度(X5)、荚长(X6)、荚宽(X7)、单株荚重(X8)、百粒鲜重(X9)、百粒干重(X10)、出仁率(X11)等11个数值性表型性状,作为鲜食春大豆种质资源的重要农艺性状进行分析。

1.2.3 口感评价 在每个参试材料收获当天进行口感评价,分别取50 g鲜荚,清水洗净后放入沸水中煮2~3 min捞出,然后放入冷水片刻,捞出进行品尝分级。A级(香甜柔糯)、B级(鲜脆)、C级(硬或微苦)。

1.2.4 SMV抗性鉴定 在防虫温室内进行SMV抗性鉴定,将45份鲜食春大豆进行盆栽、沙播,每盆留苗20~25株,以南农1138-2作为感病对照品种,采用汁液摩擦法分别接种大豆花叶病毒SC3、SC7和SC15株系。人工接种后30 d左右,按照中华人民共和国行业标准NY/T3428-20195调查发病情况,计算病情指数^[16]。抗病等级划分为0~4级,根据所鉴定品种3次重复病情指数的平均值确定品种抗性水平,评价标准详见表1。

表 1 大豆品种对大豆花叶病毒抗性的评价标准

Table 1 Standard of soybean varieties' resistantance to soybean mosaic virus

抗性评价	病情指数 DI
Resistance evaluation	Disease index
高抗 Highly resistant(HR)	DI = 0
抗 Resistant(R)	0 < DI ≤ 20
中抗 Moderately resistant (MR)	0 < DI ≤ 35
中感 Moderately susceptible (MS)	0 < DI ≤ 50
感 Susceptible (S)	0 < DI ≤ 70
高感 High susceptible (HS)	DI > 70

1.3 数据分析

采用 Excel 2019 计算数据平均值、标准差及变异系数,应用 SPSS 26.0 分别对数值型表型性状进行相关性和主成分分析,并计算各主成分得分和综

合主成分 F 值,采用欧氏距离与离差平方和法对 11 个重要农艺性状数据进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 鲜食春大豆种质资源植株形态性状表现

根据统计结果,45 份鲜食春大豆种质资源在花色、叶型、绒毛色、粒型、结荚习性和裂荚性等性状上表现一致,都为白花、椭圆、灰色、椭圆、有限结荚习性、不裂荚;脐色主要分为黄色和浅褐色;成熟荚皮色分为黄褐色和褐色;JS-42 ~ JS-45 共 4 份种质株型表现为紧凑型,其余表现为收敛型;只有 JS-40 种皮色表现为深绿色,其余 44 份种质种皮色表现为绿色。在口感品质方面,12 份为 B 级,其余包括对照品种口感均为 A 级,说明 70% 以上的鲜食春大豆种质资源口感表现为香甜柔糯(表 2)。

表 2 45 份鲜食春大豆种质资源的植株形态性状

Table 2 Plant morphological characters of 45 fresh spring soybean germplasms

材料编号	花色	叶型	茸毛色	种皮色	脐色	粒型	株型	结荚习性	成熟荚皮色	裂荚性	口感
Material	Flower	Leaf	Pubescence	Seed coat	Hilum	Seed	Plant	Podding	Ripen pod	Pod	Taste
No.	colour	shape	colour	colour	colour	shape	type	habit	colour	splitting	
JS-1	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-2	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-3	白花	椭圆	灰毛	绿色	浅褐色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	B
JS-4	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-5	白花	椭圆	灰毛	绿色	浅褐色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-6	白花	椭圆	灰毛	绿色	浅褐色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-7	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	B
JS-8	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	深褐色	不裂荚	B
JS-9	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-10	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-11	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-12	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄褐色	不裂荚	B
JS-13	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄褐色	不裂荚	A
JS-14	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-15	白花	椭圆	灰毛	绿色	浅褐色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-16	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄色	不裂荚	B
JS-17	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄色	不裂荚	A
JS-18	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄褐色	不裂荚	A
JS-19	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-20	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄褐色	不裂荚	A
JS-21	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄色	不裂荚	B
JS-22	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄色	不裂荚	A
JS-23	白花	椭圆	灰毛	黄色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-24	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄褐色	不裂荚	A
JS-25	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄色	不裂荚	B
JS-26	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-27	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	B

续表 2

材料编号	花色	叶型	茸毛色	种皮色	脐色	粒型	株型	结荚习性	成熟荚皮色	裂荚性	口感 Taste
Material	Flower	Leaf	Pubescence	Shell	Hilum	Seed	Plant	Podding	Ripen pod	Pod	
No.	colour	shape	colour	colour	colour	shape	type	habit	colour	splitting	
JS-28	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-29	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-30	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	B
JS-31	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	黄色	不裂荚	A
JS-32	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-33	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	B
JS-34	白花	椭圆	灰毛	绿色	浅褐色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-35	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-36	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-37	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	B
JS-38	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-39	白花	椭圆	灰毛	绿色	浅褐色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-40	白花	椭圆	灰毛	深绿色	浅褐色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	B
JS-41	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	收敛	有限	褐色	不裂荚	A
JS-42	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	紧凑	有限	褐色	不裂荚	A
JS-43	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	紧凑	有限	黄褐色	不裂荚	A
JS-44	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	紧凑	有限	褐色	不裂荚	A
JS-45	白花	椭圆	灰毛	绿色	黄色	椭圆	紧凑	有限	褐色	不裂荚	A

2.2 鲜食春大豆种质资源主要农艺性状变异分析

如表 3 所示,11 个重要农艺性状均存在丰富的变异,其中底荚高度变异系数最大,为 31.57%;其次是株高、有效分枝数和单株荚重,分别为 26.11%、24.05% 和 23.41%,位于第二、三、四位;而生育期和出仁率变异系数最小,分别为 4.86% 和

2.77%。其变异系数从大到小依次为:底荚高度 > 株高 > 有效分枝数 > 单株荚重 > 主茎节数 > 百粒鲜重 > 百粒干重 > 荚宽 > 荚长 > 生育期 > 出仁率。说明 45 份鲜食春大豆种质资源重要农艺性状的差异主要是由底荚高度、株高、有效分枝数和单株荚重等引起的。

表 3 45 份鲜食春大豆种质资源主要农艺性状变异情况
Table 3 Variation of main agronomic characters of 45 fresh spring soybean germplasms

性状 Trait	变幅 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高 Plant height/cm	18.40 ~ 67.10	43.35	11.32	26.11
有效分枝数 Number of effective branches	1.60 ~ 4.20	2.66	0.64	24.05
主茎节数 Main-stem node number	6.60 ~ 14.20	9.96	1.61	16.21
生育期 Growth period/d	75.0 ~ 87.00	80.47	3.91	4.86
底荚高度 Bottom pod height/cm	4.80 ~ 21.20	11.89	3.75	31.57
荚长 Pod length/cm	5.10 ~ 6.82	6.04	0.36	6.02
荚宽 Pod width/cm	1.20 ~ 1.60	1.36	0.09	6.83
单株荚重 Seed weight per plant/g	60.96 ~ 186.38	114.86	26.88	23.41
百粒鲜重 100-seed fresh weight/g	63.80 ~ 109.20	81.40	11.85	14.56
百粒干重 100-seed dry weight/g	25.10 ~ 39.94	33.78	3.03	8.96
出仁率 Shelling percentage/%	50.17 ~ 56.03	52.73	1.46	2.77

2.3 鲜食春大豆种质资源主要农艺性状相关分析

如表 4 所示,11 个农艺性状之间存在一定的相关性。其中株高与有效分枝数、主茎节数和生育期呈极显著正相关,相关系数分别为 0.410,0.566 和 0.553;与底荚高度和单株荚重呈显著正相关;与百粒鲜重呈显著负相关;有效分枝数与主茎节数呈极显著正相关,相关系数为 0.390;生育期与底荚高度

呈极显著正相关,相关系数为 0.625;底荚高度与百粒鲜重呈显著负相关;主茎节数与百粒鲜重极显著负相关,相关系数为 -0.476。这表明随着株高的增加,主茎节数、生育期与底荚高度有增加的趋势,但同时百粒鲜重有负面影响。此外,荚长与荚宽呈显著正相关;荚宽与百粒鲜重极显著正相关,相关系数为 0.469;百粒鲜重与百粒干重显著正相关。

表 4 鲜食春大豆种质资源 11 个农艺性状间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient among eleven agronomic traits in vegetable spring soybean germplasms											
性状编号 Trait No.	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1	1.000										
X2	0.410 **	1.000									
X3	0.566 **	0.390 **	1.000								
X4	0.553 **	0.252	0.199	1.000							
X5	0.372 *	0.220	0.148	0.625 **	1.000						
X6	0.069	-0.083	-0.225	0.145	0.236	1.000					
X7	-0.117	-0.008	0.018	-0.165	-0.074	0.349 *	1.000				
X8	0.317 *	0.153	0.229	0.164	0.019	0.287	0.054	1.000			
X9	-0.352 *	-0.216	-0.476 **	-0.184	-0.294 *	0.141	0.469 **	-0.024	1.000		
X10	0.064	0.029	-0.109	-0.079	0.050	0.260	0.167	0.127	0.331 *	1.000	
X11	-0.245	0.000	-0.071	-0.082	-0.198	-0.285	-0.010	-0.082	0.180	0.049	1.000

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关。
Note: * and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.4 鲜食春大豆种质资源主要农艺性状主成分分析

2.4.1 主成分分析 对 11 个性状进行主成分分析,得到因子载荷矩阵的特征根与对应的特征向量的结果如表 5 所示。在所有的主成分构成中得到 4 个特征值大于 1 的主成分因子,其累积贡献率为 66.651%,将原始的 11 个农艺性状指标转化为 4 个

主成分信息,这 4 个主成分可反映 45 份鲜食春大豆种质资源重要农艺性状大部分的遗传信息,其中主成分 1 的特征值和贡献率为最大,分别为 2.931% 和 27.103%;其次为第 2、3、4 主成分,特征值分别为 1.939,1.318 和 1.093,贡献率分别为 17.628%、11.986% 和 9.934%。将主成分 1~4 作为评价鲜食春大豆的综合指标。

表 5 鲜食春大豆种质资源主要农艺性状的主成分及特征向量

Table 5 Principal components and eigenvectors of major agronomic traits in vegetable spring soybean germplasms				
性状 Trait	主成分 1 Main factor I	主成分 2 Main factor II	主成分 3 Main factor III	主成分 4 Main factor IV
株高 Plant height/cm	0.093	0.041	0.099	-0.006
有效分枝数 Number of effective branches	0.062	-0.001	0.252	0.181
主茎节数 Node number of main stem	0.075	-0.052	0.289	-0.170
生育期 Growth period/d	0.078	0.052	-0.169	0.341
底荚高度 Bottom pod height/cm	0.070	0.069	-0.260	0.286
荚长 Pod length/cm	0.004	0.214	-0.155	-0.167
荚宽 Pod width/cm	-0.030	0.156	0.195	-0.089
单株荚重 Seeds weight per plant/g	0.037	0.109	0.210	-0.238
百粒鲜重 100-seed fresh weight/g	-0.072	0.126	0.097	0.227
百粒干重 100-seed dry weight/g	-0.014	0.151	0.139	0.258
出仁率 Shelling percentage/%	-0.033	-0.070	0.220	0.544
特征值 Characteristic value	2.981	1.939	1.318	1.093
贡献率 Contribution rate/%	27.103	17.628	11.986	9.934
累积贡献 Cumulative contribution rate/%	27.103	44.731	56.718	66.651

由于因子载荷区分仍不清晰,采用凯撒正态化最大方差法旋转得到旋转因子载荷矩阵。从表6可以看出,主成分1主要由具有较高因子载荷且为正值的株高、分枝数、主茎节数和单株荚重等4个因子决定,其载荷因子分别为0.704,0.655,0.844和0.534,株高、分枝数、主茎节数是决定植株株型的主要因素,故可称为株型因子;主成分2主要由生育期和底荚高度决定,正值载荷因子分别为0.847和0.863,明显高于其它性状,可称为生育期因子;主成分3主要由荚宽、百粒鲜重和百粒干重决定,因百粒

鲜重和百粒干重作为产量构成因素,故可称为产量因子;主成分4主要由荚长和出仁率决定,出仁率有较大的负向载荷,为-0.826,说明主成分4主要由出仁率制约,故可称为出仁率因子。综合分析,对鲜食春大豆农艺性状贡献由大到小的主因子依次为:株高因子>生育期因子>产量因子>出仁率因子,表明各因子之间存在相互促进和相互制约的关系,所以在大豆育种工作中,应该参考主因子的排序选择优良性状,协调好各个因子之间的关系。

表6 旋转后的因子载荷矩阵

Table 6 Factor loadings matrix after rotation

性状 Trait	主成分1 Main factor I	主成分2 Main factor II	主成分3 Main factor III	主成分4 Main factor IV
株高 Plant height/cm	0.704	0.457	-0.072	0.166
有效分枝数 Number of effective branches	0.655	0.240	0.038	-0.233
主茎节数 Node number of main stem	0.844	-0.010	-0.243	-0.005
生育期 Growth period/d	0.220	0.847	-0.053	0.021
底荚高度 Bottom pod height/cm	0.074	0.863	-0.052	0.150
荚长 Pod length/cm	-0.116	0.259	0.515	0.644
荚宽 Pod width/cm	0.072	-0.236	0.672	0.178
单株荚重 Seeds weight per plant/g	0.534	-0.032	0.299	0.333
百粒鲜重 100-seed fresh weight/g	-0.367	-0.192	0.729	-0.167
百粒干重 100-seed dry weight/g	0.039	0.128	0.681	-0.085
出仁率 Shelling percentage/%	-0.054	-0.076	0.179	-0.826

2.4.2 主成分函数 将11个农艺性状的原始数据进行标准化处理,获得11组新标准化数据ZXI~ZXII,通过4个主成分的贡献率和特征向量,建立4个主成分与农艺性状间的线性方程,其因子得分表达式:

① $F1 = 0.093ZXI + 0.062ZX2 + 0.075ZX3 + 0.078ZX4 + 0.070ZX5 + 0.004ZX6 - 0.030ZX7 + 0.037ZX8 - 0.072ZX9 - 0.014ZX10 - 0.033ZX11$

② $F2 = 0.041ZXI - 0.001ZX2 - 0.052ZX3 + 0.052ZX4 + 0.069ZX5 + 0.214ZX6 + 0.156ZX7 + 0.109ZX8 + 0.126ZX9 + 0.151ZX10 - 0.070ZX11$

③ $F3 = 0.099ZXI + 0.252ZX2 + 0.289ZX3 - 0.169ZX4 - 0.260ZX5 - 0.155ZX6 + 0.195ZX7 + 0.210ZX8 + 0.097ZX9 + 0.139ZX10 + 0.220ZX11$

④ $F4 = -0.006ZXI + 0.181ZX2 - 0.170ZX3 + 0.341ZX4 + 0.286ZX5 - 0.167ZX6 - 0.089ZX7 - 0.238ZX8 + 0.227ZX9 + 0.258ZX10 + 0.544ZX11$

2.4.3 综合评价 4个主成分贡献率分别除以其累积贡献率得到4个主成分的权重,分别为0.407,0.264,0.180和0.149。对权重进行归一化处理,根据各主成分的权重计算45份鲜食春大豆种质资源的综合主成分值(F),综合主成F值的大小反映种质综合性状的优良,F值越大说明表型综合性状越

好,以综合主成分值(F)对鲜食春大豆种质资源进行综合评价,利用主成分综合模型⑤计算综合得分,⑤ $F = 0.407F1 + 0.264F2 + 0.180F3 + 0.149F4$,然后根据综合得分大小进行优良排序,具体分析结果详见表7。综合得分排在前10位的种质资源为JS-19、JS-33、JS-41、JS-17、JS-21、JS-23、JS-32、JS-10、JS-5和JS-28。

如表7所示,在45份鲜食春大豆种质资源产量性状表现上,鲜荚折合产量排在前7位的为JS-33、JS-4、JS-32、JS-25、JS-14、JS-28和JS-19,分别为96.9,95.6,85.2,82.0,74.7,74.1,71.6 kg·hm⁻²,鲜荚分别较对照增产130.50%、127.33%、102.60%、95.10%、77.76%、76.21%和70.32%;鲜籽粒折合产量排在前7位的为JS-33、JS-4、JS-32、JS-25、JS-19、JS-23和JS-28,分别为52.5,49.3,43.5,43.2,38.8,38.5和38.4 kg·hm⁻²,鲜籽粒较对照分别增产128.43%、114.45%、89.30%、87.97%、68.51%、67.51%和67.15%。将综合得分排在前10位的种质资源与产量性状表现优异的种质资源进行整合,得到综合得分靠前且具有丰产性的种质资源为JS-19、JS-28、JS-32和JS-33,其产量表现突出,具有良好的综合性状,可作为高产品种选育的基础种质。

表 7 鲜食春大豆种质资源的主因子得分、综合得分及产量表现

Table 7 Main factor scores, comprehensive scores and yield performance of vegetable spring soybean germplasms

材料编号 Material No.	F1	F2	F3	F4	综合 F 值 Comprehensive F	排名 Ranking	鲜荚 Fresh pod		鲜籽粒 Fresh seed	
							折合产量	增幅	鲜籽粒折合产量	增幅
							Equivalent yield/ (kg·hm ⁻²)	Increase rate/%	Equivalent yield/ (kg·hm ⁻²)	Increase rate/%
JS-1	-0.492	-0.184	0.126	0.220	-0.193	35	52.4	24.56	27.7	20.46
JS-2	-0.239	0.354	1.203	-0.200	0.183	13	61.2	45.63	32.9	43.24
JS-3	-0.048	-0.182	0.555	-0.401	-0.028	26	54.5	29.56	28.8	25.29
JS-4	0.034	0.229	0.363	-1.732	-0.118	31	95.6	127.33	49.3	114.45
JS-5	0.235	0.868	-0.058	-0.671	0.215	9	60.6	44.18	30.8	33.90
JS-6	0.083	-0.051	0.385	0.506	0.165	14	59.2	40.81	31.4	36.69
JS-7	-0.442	-0.760	0.413	0.340	-0.256	40	52.1	23.99	28.6	24.22
JS-8	-0.150	1.092	0.180	-0.806	0.140	15	69.6	65.55	34.9	51.93
JS-9	-0.073	0.007	0.266	-0.287	-0.023	25	63.3	50.58	33.1	44.11
JS-10	-0.099	0.143	0.350	1.484	0.281	8	67.2	59.81	36.4	58.11
JS-11	0.094	0.313	-0.752	-0.953	-0.156	32	54.4	29.48	27.5	19.56
JS-12	0.601	-0.910	0.440	0.266	0.123	16	56.3	33.96	29.8	29.53
JS-13	-0.298	-0.347	0.260	1.005	-0.017	24	61.4	46.08	34.4	49.63
JS-14	-0.012	-0.151	-0.690	-1.857	-0.446	41	74.7	77.76	37.5	63.04
JS-15	-0.291	0.055	-1.119	-1.224	-0.487	44	48.9	16.30	24.6	6.86
JS-16	0.400	-0.510	-0.562	0.838	0.052	20	31.7	-24.61	16.8	-26.80
JS-17	-0.082	0.180	-0.223	2.535	0.352	4	49.3	17.34	27.2	18.43
JS-18	-0.068	1.027	-1.048	0.020	0.059	19	61.8	46.92	31.6	37.36
JS-19	-0.080	1.179	0.367	1.691	0.597	1	71.6	70.32	38.8	68.51
JS-20	-0.373	-0.345	-0.457	0.879	-0.194	36	47.4	12.65	26.1	13.58
JS-21	0.684	-0.128	0.572	-0.056	0.339	5	59.0	40.37	30.3	31.82
JS-22	0.462	-0.421	-0.562	0.826	0.098	17	49.9	18.72	25.7	11.63
JS-23	-0.157	0.270	0.974	0.964	0.326	6	71.1	69.06	38.5	67.51
JS-24	0.244	-0.685	-0.661	-0.340	-0.252	39	59.3	40.93	31.5	37.07
JS-25	0.203	0.372	-0.827	-0.184	0.005	22	82.0	95.10	43.2	87.97
JS-26	0.418	0.054	-1.314	0.788	0.065	18	41.2	-2.10	21.0	-8.51
JS-27	-0.200	0.099	-0.019	0.178	-0.032	27	62.8	49.39	33.0	43.41
JS-28	0.183	0.852	-0.484	-0.012	0.211	10	74.1	76.21	38.4	67.15
JS-29	0.182	-0.354	-0.029	0.240	0.011	21	70.5	67.75	38.1	65.69
JS-30	0.054	0.125	0.506	0.419	0.209	11	65.5	55.85	35.5	54.34
JS-31	0.071	-0.117	-1.504	0.683	-0.171	34	51.6	22.68	27.0	17.21
JS-32	0.636	0.172	1.027	-1.091	0.326	6	85.2	102.60	43.5	89.30
JS-33	0.570	-0.226	1.459	0.203	0.465	2	96.9	130.50	52.5	128.43
JS-34	0.019	-0.252	0.726	-1.567	-0.162	33	70.9	68.51	37.0	61.00
JS-35	0.203	-0.113	0.996	-0.221	0.199	12	59.4	41.21	31.9	38.65
JS-36	-0.170	-0.120	-0.579	0.646	-0.108	30	50.8	20.88	26.5	15.37
JS-37	0.155	-0.037	-0.043	-0.314	-0.001	23	54.0	28.44	27.9	21.40
JS-38	-0.108	0.406	0.349	-1.168	-0.048	28	66.9	59.14	35.5	54.54
JS-39	0.039	-0.397	0.226	-1.011	-0.199	37	51.0	21.40	26.1	13.52
JS-40	-0.068	-0.571	-2.172	-0.710	-0.675	45	48.7	15.83	25.4	10.32
JS-41	0.260	0.546	0.060	0.894	0.394	3	53.8	28.05	29.0	25.94
JS-42	-0.676	0.292	0.447	-0.852	-0.244	38	52.7	25.30	27.5	19.58
JS-43	-0.702	-0.182	-0.472	-0.293	-0.462	43	40.5	-3.64	21.6	-6.01
JS-44	-0.655	-0.193	0.856	0.494	-0.090	29	42.0	-	23.0	-
JS-45	-0.348	-1.402	0.469	-0.165	-0.453	42	34.3	-18.38	18.3	-20.32

2.5 鲜食春大豆种质资源农艺性状的聚类分析

采用欧氏距离和离差平方和法对 11 个农艺性状进行聚类分析的结果如图 1 所示,45 份鲜食春大

豆种质资源的 11 个重要农艺性状在欧式遗传距离等于 13 处可分为四大类群,各类群鲜食春大豆种质资源农艺性状的均值统计如表 8 所示。

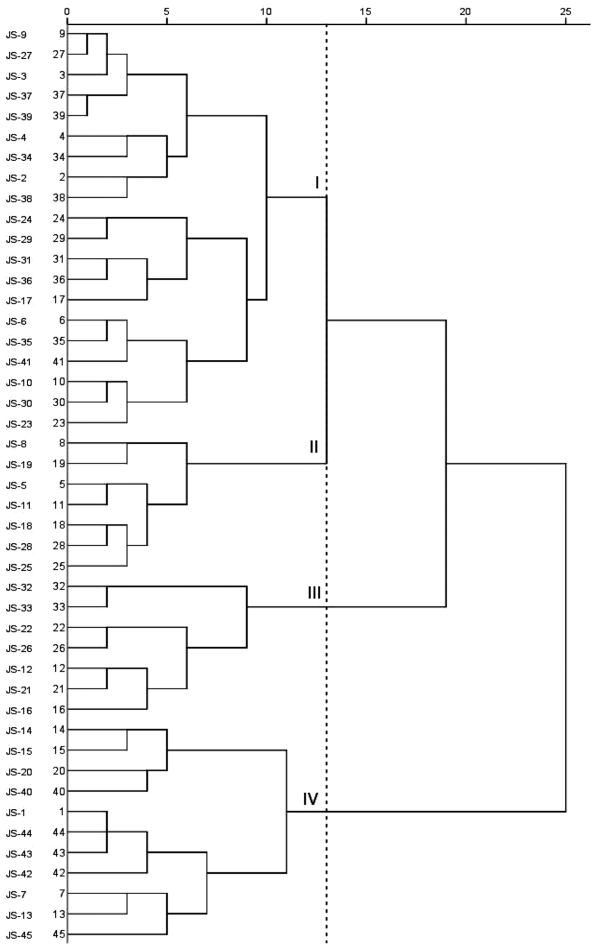


图 1 45 份鲜食春大豆种质资源农艺性状的聚类分析图

Fig. 1 Cluster analysis plot of agronomic traits in 45 vegetable spring soybean germplasms

表 8 鲜食春大豆种质资源 4 大类群重要农艺性状差异

Table 8 Differences in important agronomic traits among 4 major groups of vegetable spring soybean germplasms

类群 Group	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
I	43.89	2.65	20.85	80.30	11.58	6.04	1.36	119.04	81.34	34.39	53.07
II	48.67	2.54	9.16	83.00	13.66	6.57	1.42	130.27	88.63	35.83	51.62
III	58.76	3.47	11.81	84.29	15.39	5.79	1.31	115.45	69.41	32.64	52.18
IV	29.19	2.23	8.63	76.73	9.09	5.87	1.37	97.07	84.53	32.10	53.19

第 I 类群包含 JS-2、JS-3 和 JS-4 等 20 份种质材料,占种质资源总数的 44.44%。该类型的主要特征是主茎节数均值最大,为 20.85 个,其它农艺性状基本处于中等水平,表现为植株矮(均值 43.89 cm),生育期短(均值 80.30 d),百粒鲜重与百粒干重适中,具有一定的增产潜力,综合性状一般。

第 II 类群包含 JS-19、JS-25 和 JS-28 等 7 份种质材料,占种质资源总数的 15.56%。该类型的主要

特征是株高较矮,荚长(均值 6.57 cm)、荚宽(均值 1.42 cm)、单株荚重(均值 130.27 g)、百粒鲜重(均值 88.63 g)与百粒干重(均值 35.83 g)等 5 个农艺性状明显高于其他 3 个类群,其它 6 个农艺性状处于中等水平,综合性状最好。

第 III 类群包含 JS-12、JS-16 和 JS-21 等 7 份种质材料,占种质资源总数的 15.56%。该类型的主要特征是株高、有效分枝数和生育期底荚高度最高,

荚长、荚宽及百粒鲜重最低。表现为植株高大(均值 58.76 cm),生育期较短(均值 84.29 d),底荚高度高(均值 15.39 cm),百粒鲜重较小(均值 69.41 g),荚短小(均值 5.79 g),综合性状较差。

第Ⅳ类群包括 JS-1、JS-7 和 JS-13 等 11 份种质材料,占种质资源总数的 24.44%。该类型的主要特征是出仁率高(均值最大为 53.19%),株高、有效分枝数、主茎节数、生育期、底荚高度、单株荚重、百粒干重等 7 个农艺性状最低。表现为生育期短(均值 76.73 d),矮秆(均值 29.19 cm),有效分枝数与主茎节数少,单株荚重(均值 97.07 g)与百粒干重(均值 32.10 g)最低,在 4 大类群中综合性状最差。

2.6 鲜食春大豆种质资源的 SMV 抗性鉴定

45 份鲜食春大豆种质资源对 SMV 优势株系的抗性表现详见表 9,其对大豆花叶病毒病株系 SC3、SC7 和 SC15 的抗性表现出一定的差异。如图 2 所示,45 份鲜食春大豆对 SC3 株系表现为抗病性的有 37 份,占总参试种质资源的 82%,其中表现高抗(HR)的有 23 份,占 51.11%;表现抗病(R)的有 9 份,占 20.00%;表现中抗(MR)的有 5 份,占 11.11%,说明对弱毒株系 SC3 表现抗病比例高。

针对 SC7 株系未检测出高感(HS)种质资源,感(S)、高抗(HR)、抗(R)中感(MS)和中抗(MR)种质资源分别占总参试种质资源的 4.44%、73.33%、11.11%、6.67%和 4.44%,其中高抗种质资源有 33 份,只有 5 份材料未表现出对 SC7 株系的抗病性,说明整体抗性水平优异(图 2)。

针对强毒 SC15 株系,感病性种质资源有 26 份,占 58%,其中感(S)有 12 份,高感(HS)有 7 份,分别占总参试种质资源的 26.67%和 15.56%;抗病性种质资源有 19 份,占 42%,其中高抗(HR)、抗(R)和中抗(MR)分别有 2,3 和 14 份,分别占总参试种质资源的 4.44%、6.67%和 31.11%(图 2)。

综合来看,对 SC3、SC7 和 SC15 株系均表现为抗病型(高抗、抗与中抗)的种质资源有 11 份,占 24.44%;表现为感病型(高感、感与中感)的种质资源有 3 份,分别是 JS-8、JS-20 和 JS-26,属于感病材料。对 SMV 优势株系 SC3 和 SC7 分别表现为抗与高抗的有 10 份,占 22.22%,说明相同种质对不同株系的抗病性存在差异;对 SMV 优势株系 SC3 和 SC7 均表现抗病的有 20 份,整体兼抗效果比较好,占 44.44%;对 SMV 优势株系 SC3、SC7 和 SC15 抗性表现均达到高抗有两份,分别为 JS-10 与 JS-12,占 4.44%,是较好的抗性材料(图 2)。

表 9 鲜食春大豆种质资源对大豆花叶病毒的抗性表现
Table 9 Resistance performance against soybean mosaic virus of vegetable spring soybean germplasms

材料编号 Material No.	SC-3	SC-7	SC-15
JS-1	高抗	高抗	中抗
JS-2	抗	高抗	中感
JS-3	中感	抗	中抗
JS-4	高抗	高抗	感
JS-5	中感	高抗	中抗
JS-6	抗	高抗	中抗
JS-7	抗	高抗	抗
JS-8	感	中感	高感
JS-9	高感	高抗	感
JS-10	高抗	高抗	高抗
JS-11	高抗	高抗	中抗
JS-12	高抗	高抗	高抗
JS-13	高抗	高抗	高感
JS-14	中感	抗	中感
JS-15	抗	抗	高感
JS-16	高抗	中抗	感
JS-17	抗	高抗	感
JS-18	中抗	高抗	感
JS-19	高抗	高抗	中感
JS-20	高感	感	感
JS-21	高抗	高抗	中感
JS-22	中抗	高抗	抗
JS-23	感	感	中抗
JS-24	高抗	中感	中抗
JS-25	高抗	高抗	感
JS-26	中感	中感	感
JS-27	高抗	高抗	感
JS-28	高抗	高抗	感
JS-29	抗	高抗	中抗
JS-30	高抗	高抗	中感
JS-31	高抗	抗	高感
JS-32	高抗	高抗	中抗
JS-33	抗	高抗	中抗
JS-34	高抗	高抗	高感
JS-35	高抗	高抗	高感
JS-36	高抗	高抗	中抗
JS-37	中抗	高抗	感
JS-38	高抗	高抗	感
JS-39	中抗	中抗	高感
JS-40	中抗	抗	抗
JS-41	高抗	高抗	中抗
JS-42	抗	高抗	中感
JS-43	抗	高抗	中抗
JS-44	高抗	高抗	中抗
JS-45	高抗	高抗	中感

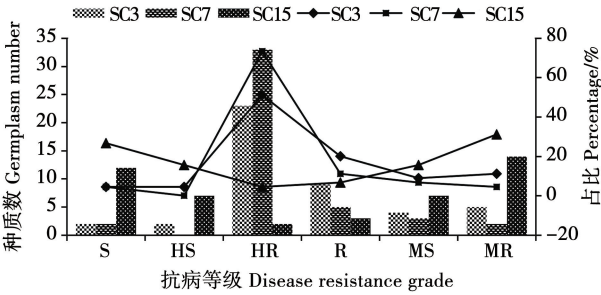


图2 鲜食春大豆种质资源对SMV抗感程度分布图
Fig.2 Distribution of the resistance grade to SMV of vegetable spring soybean germplasms

3 讨论

本研究的变异分析结果表明,株高、有效分枝数、主茎节数、生育期、底荚高度、荚长、荚宽、单株荚重、百粒鲜重、百粒干重、出仁率等11个农艺性状变异幅度为2.77%~31.57%,底荚高度变异系数最大,为31.57%,贺礼英等^[17]、李清华^[18]的研究也发现类似规律;出仁率变异系数最小,为2.77%,与王学军等^[19]、陈宏伟等^[20]的研究结果一致。单株荚重、有效分枝数、株高、百粒鲜重的变异系数较大,与徐传富等^[21]的研究成果一致。说明鲜食春大豆种质资源遗传多样性丰富,合理利用这些鲜食大豆种质资源,扩大品种选育过程中各性状的变异范围,可以促进优异新品种的选育。另一方面,A级口感率是衡量鲜食春大豆食味品质的重要表型性状,直接影响鲜食春大豆的食味和消费市场^[22],本研究中45份鲜食春大豆种质中有33份口感表现为香甜柔糯,A级口感率达到71.1%,具备消费应用的市场潜力。

前人对鲜食大豆主要农艺性状进行相关性分析研究发现,株高与主茎节数呈极显著正相关^[19,21],生育期与株高呈极显著正相关^[17]。本研究中,株高与主茎节数、生育期之间也达到了极显著正相关,底荚高度与生育期呈极显著正相关。而百粒鲜重与主茎节数呈极显著负相关,与株高和底荚高度呈显著负相关,与荚宽呈极显著正相关,说明几个性状间存在相互影响、相互制约的关系。表明随着株高的增加,主茎节数、生育期与底荚高度有增加的趋势,但同时会对百粒鲜重有负面影响。其他成对性状间的相关系数均未达到显著水平,大多数平均值小于0.5,说明其它不同性状间相互影响不大。

高产一直是鲜食大豆品种育种的重要目标之一,也是品种能否占有市场的关键因素。针对大豆品种选育,前人认为应优选产量构成因子中的单株荚重^[23]、百粒鲜重^[24]等性状较高的品种,赵朝森

等^[22]、王学军等^[19]、李清华^[18]之后的相关性分析研究成果则表明高产优质鲜食春大豆选育,首先要考虑的是株高、主茎节数、有效分枝数等株型性状。本研究相关性分析结果发现,在选择鲜食春大豆高产新品系时,需要选择底荚高度(适合机械化采收)、株高适中,有效分枝数较多的材料,并兼顾鲜百粒重、出仁率较大的品种。

本研究通过对鲜食春大豆的11重要农艺性状进行主成分分析,结果表明前4个主成分累计贡献率达到66.65%,分别为株型因子、生育期因子、产量因子、出仁率因子。株型因子由株高、主茎节数、有效分枝数和单株荚重等4个因子决定。其中株高载荷量最大,与主茎节数、有效分枝数和单株荚重呈正相关,另外在主成分1中载荷因子最大负荷的农艺性状为百粒鲜重,与株高、主茎节数、有效分枝数等呈负相关,这与相关性分析结果一致。说明主茎节数与有效分枝数越多,百粒鲜重下降。因此,在鲜食大豆品种选育过程中应充分协调株型等性状,避免影响百粒鲜重的大小,从而影响产量。生育期因子由生育期和底荚高度决定,生育期的大小决定了品种成熟期的划分,且生育期与底荚高度呈正相关,说明在不同熟期品种选育中应充分协调生育期和底荚高度的关系;产量因子由荚宽、百粒鲜重和百粒干重决定,出仁率因子有较大的负向载荷,为-0.826。鲜食大豆鲜籽粒产量高低,与百粒鲜重和出仁率性状密切相关^[21],且百粒鲜重与其它性状间存在一定程度的正相关或负相关。因此,选育优质高产品种时,应在着重对第3、4成分选择的基础上,综合兼顾第1、2成分的主要性状。

根据前4个主成分值与其对应特征根值的贡献率计算各品种的主成分综合得分,排在前10位的种质资源为JS-19、JS-33、JS-41、JS-17、JS-21、JS-23、JS-32、JS-10、JS-5和JS-28。鲜荚折合产量作为百粒鲜重、百粒干重、单株荚重等产量构成性状的综合表现,可以反映出本研究中鲜食春大豆的种植比较经济效益^[24]。45份鲜食春大豆种质资源产量性状表现方面,鲜荚折合产量排在前7位的为JS-33、JS-4、JS-32、JS-25、JS-14、JS-28和JS-19,都达到了70 kg·hm⁻²以上,最高为96.9 kg·hm⁻²,鲜荚较对照增产130.50%;鲜籽粒产量排在前7位的为JS-33、JS-4、JS-32、JS-25、JS-19、JS-23和JS-28,最高为52.5 kg·hm⁻²;鲜籽粒较对照增产128.43%,综合性状优良且具有丰产性的种质资源为JS-19、JS-28、JS-32和JS-33,可作为鲜食春大豆新品种选育的骨干亲本。相比于对照品种苏早2号,鲜荚较对照增产而鲜粒较对照减产的种质为JS-26、JS-43、JS-45和JS-16。同时,由产量性状与

F 值的综合分析表明,使用主成分综合评价鲜食春大豆种质资源整体表现具有可行性。

45 份鲜食春大豆种质资源在欧式遗传距离等于 13 时可聚为四大类群,第Ⅰ类群的主要特征是早熟、矮秆、主茎节数大,百粒鲜重与百粒干重适中,具有一定的增产潜力,综合性状一般;第Ⅱ类群单株荚重、百粒鲜重与百粒干重等明显高于其他 3 个类群,株型等农艺性状处于中等水平,综合性状最好;第Ⅲ类群表现为早熟、植株高大、底荚高、百粒鲜重较小、荚小,综合性状较差,与第Ⅰ类群在株型和生育期等性状上存在优势互补;第Ⅳ类群的主要特征是出仁率高(均值最大为 53.19%),表现为早熟、矮秆、有效分枝数与主茎节数少,单株荚重与百粒干重最低,在四大类群中综合性状最差。第Ⅱ类群品种的综合性状最为优异均衡,可作为鲜食大豆选育种质目标;第Ⅲ、Ⅳ类群的综合性状表现出明显差异,存在着明显的性状互补,可作为鲜食大豆选育重要亲本。

大豆花叶病毒病是以蚜虫为主要传播媒介,在大豆种植产区普遍发生的病害,严重影响大豆的产量和品质,筛选、选育、研究和利用抗病种质资源是降低大豆花叶病毒病危害最经济有效的措施^[25]。抗病性鉴定是大豆抗病品种选育和大豆品种审定的重要环节和考量指标^[26]。本研究 45 份鲜食春大豆种质资源对 SMV 优势株系的抗性鉴定结果表明,对 SC3 株系表现为抗病性的有 37 份,占总参试种质资源的 82%,其中表现高抗(HR)的有 23 份,占总参试种质资源的 51.11%,表现抗病(R)的有 9 份,占 20.00%;对 SC7 株系表现为高抗的种质资源有 33 份,为 73.33%。对 SMV 优势株系 SC3 和 SC7 均表现抗病的有 20 份,主要包括 JS-19、JS-25、JS-28、JS-32、JS-35、JS-36、JS-38、JS-41 等。JS-8、JS-20 和 JS-26 属于感病材料。对 SMV 优势株系 SC3、SC7 和 SC15 抗性表现均达到高抗的有 2 份,分别为 JS-10 与 JS-12,占 4.44%,属于优异高抗材料。本研究鉴定出的抗病和感病材料可用于鲜食大豆对大豆花叶病毒病抗性遗传机制的研究,为大豆抗 SMV 新基因的发掘提供重要的抗性种质资源,高抗种质还可以作为抗病品种选育的亲本材料应用到育种实践中。

4 结论

综合以上植物学特性、农艺性状、口感品质及抗病性等方面的分析,45 份鲜食春大豆种质资源总体表现为白花、灰毛、叶型和粒型椭圆、有限结荚习性、不裂荚的植株表型,都为早熟、矮秆种质,出仁

率均达到 50% 以上,口感香甜软糯。通过主成分分析与聚类分析,鉴定到综合性状优良且具有丰产性的种质资源 JS-19、JS-28、JS-32 和 JS-33,且 JS-19、JS-28 和 JS-32 均对 SC3 和 SC7 株系表现为高抗,JS-33 对 SC3 和 SC7 株系分别表现为抗和高抗,可作为高产优质抗病春播鲜食大豆新品种选育的骨干亲本材料加以开发利用。

致谢:感谢南京农业大学国家大豆改良中心李凯博士提供了用于大豆花叶病毒病抗性鉴定的 SC-3 和 SC-7 株系。

参考文献

[1] O' Rourke A D. Understanding the Japanese food and agrimarket: A multifaceted opportunity [M]. New York: Haworth Press, 2020.

[2] 顾卫红,郑洪建,张燕,等. 菜用大豆的国际需求及科研生产动态[J]. 上海农业学报, 2002, 21(2): 45-48. (GU W H, ZHENG H J, ZHANG Y, et al. Trends in production, demand and scientific researches on vegetable soybean [Glycine max(L.) Merr.] at home and abroad[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2002, 21(2): 45-48.)

[3] 韩天富. 中国菜用大豆的种植制度和品种类型[J]. 大豆科学, 2002, 21(2): 83-87. (HAN T F. Farming systems and ecotypes of vegetable soybeans in China[J]. Soybean Science, 2002, 21(2): 83-87.)

[4] 韩天富,盖钧铭. 世界菜用大豆生产、贸易和研究的进展[J]. 大豆科学, 2002, 21(4): 278-284. (HAN T F, GAI J Y. Advances in production, trade and research of vegetable soybean in the world[J]. Soybean Science, 2002, 21(4): 278-284.)

[5] 陈学珍,谢皓,李婷婷,等. 我国菜用大豆研究进展与生产利用现状[J]. 北京农学院学报, 2003(4): 311-315. (CHEN X Z, XIE H, LI T T, et al. Research and production of vegetable soybean in China[J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2003(4): 311-315.)

[6] 陈新,顾和平,张红梅,等. 江苏省大豆生产发展历史、现状与前景分析[J]. 江苏农业科学, 2011(1): 6-9. (CHEN X, GU H P, ZHANG H M, et al. Analysis of the history, present situation and prospect of soybean production in Jiangsu Province [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011(1): 6-9.)

[7] 倪永静,姜晓君,卢祖权,等. 30 份国内外小麦种质资源主要农艺性状的分析与评价[J]. 中国农学通报, 2020, 36(3): 16-22. (NI Y J, JIANG X J, LU Z Q, et al. 30 worldwide wheat germplasm resources: Analysis and evaluation of main agronomic traits[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(3): 16-22.)

[8] 李林林,黄敏升,崔国贤,等. 苕麻种质资源农艺性状主成分及聚类分析[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(3): 34-41. (LI L L, HUANG M S, CUI G X, et al. Principal component and cluster analysis of the main agronomic characters of ramie germplasm[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2019, 21(3): 34-41.)

[9] 王官,赵威军,张阳,等. 甜高粱种质资源主要农艺性状的主成

分及聚类分析[J]. 农学学报, 2019, 9(5): 5-9. (WANG G, ZHAO W J, ZHANG Y, et al. Main agronomic characters of sweet sorghum germplasm: Principal component analysis and cluster analysis[J]. Journal of Agriculture, 2019, 9(5): 5-9.)

[10] 赵乐杰,王超,姜凯旋,等. 秋甘蓝种质资源农艺性状主成分和聚类分析[J]. 北方园艺, 2019(9): 7-13. (ZHAO L J, WANG C, JIANG K X, et al. Principal component and cluster analysis of main agronomic traits of autumn cabbage germplasm resources[J]. Northern Horticulture, 2019(9): 7-13.)

[11] 宋荣浩,朱丽华,顾卫红,等. 上海地方大豆品种资源主要农艺性状的鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(6): 1182-1187. (SONG R H, ZHU L H, GU W H, et al. Principal component and cluster analysis of main agronomic traits of autumn cabbage germplasm resources[J]. Northern Horticulture, 2014, 15(6): 1182-1187.)

[12] 钟开珍,梁江,韦清源,等. 大豆种质倒伏性遗传及其与主要农艺性状的相关分析[J]. 大豆科学, 2012, 31(5): 703-706. (ZHONG K Z, LIANG J, WEI Q Y, et al. Heredity of lodging and its correlation with agronomic traits in soybean germplasm[J]. Soybean Science, 2012, 31(5): 703-706.)

[13] 张文慧,李军,杜吉到,等. 黑龙江省不同大豆品种的主要农艺性状分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2013, 25(5): 1-4, 112. (ZHANG W H, LI J, DU J D, et al. Main agronomic characters analysis of soybean in Heilongjiang Province[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2013, 25(5): 1-4, 112.)

[14] 林文磊,吕美琴,李明松,等. 39份春大豆种质资源的主成分分析及其聚类分析[J]. 福建农业学报, 2018, 33(10): 1016-1022. (LIN W L, LYU M Q, LI M S, et al. Principal component analysis and cluster analysis of 39 spring soybean germplasm resources[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(10): 1016-1022.)

[15] 邱丽娟,常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 2. (QIU L J, CHANG R Z. Descript specification for description and data standard for soybean (*Glycine* Spp.) germplasm[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2006: 2.)

[16] 白丽,李凯,陈应志,等. 部分国家和省(市)区试品种对大豆花叶病毒的抗性分析[J]. 中国油料作物学报, 2007(1): 86-89. (BAI L, LI K, CHEN Y Z, et al. Evaluation of resistance to SMV of cultivars from soybean national and local regional test[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007(1): 86-89.)

[17] 贺礼英,尹成杰,黄守程,等. 菜用大豆主要农艺性状的相关性、聚类及主成分分析[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(1): 50-57. (HE L Y, YIN C J, HUANG S C, et al. Correlation, clustering and principal component analysis of primary agronomic traits of vegetable soybean[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2018, 30(1): 50-57.)

[18] 李清华. 34份菜用大豆品种主要农艺性状的主成分分析及遗传距离测定[J]. 福建农业学报, 2018, 33(2): 136-143. (LI Q H. Principal component analysis on major agronomic traits and determination of genetic distance of thirty-four vegetable soybean cultivars[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(2): 136-143.)

[19] 王学军,郝德荣,顾国华,等. 鲜食大豆主要农艺性状的遗传变异、相关性和主成分分析[J]. 金陵科技学院学报, 2008(3): 61-64. (WANG X J, HAO D R, GU G H, et al. Genetic variation, correlation and principal component analysis on major agronomic trait of vegetable soybean[J]. Journal of Jinling Institute of Technology, 2008(3): 61-64.)

[20] 陈宏伟,朱珍珍,李莉,等. 鲜食大豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 南方农业, 2019, 13(29): 177-179, 182. (CHEN H W, ZHU Z Z, LI L, et al. Analysis of the genetic diversity of agronomic traits in fresh soybean seed resources[J]. South China Agriculture, 2019, 13(29): 177-179, 182.)

[21] 徐传富,杨栋承,王树林,等. 菜用大豆鲜粒荚性状的主成分评价[J]. 黑龙江农业科学, 2009(4): 30-32. (XU C F, YANG D C, WANG S L, et al. The main ingredient of soybean fresh granulated pods was evaluated[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2009(4): 30-32.)

[22] 赵朝森,赵现伟,杨中路,等. 国家区试鲜食春大豆重要农艺性状的演变[J]. 大豆科学, 2019, 38(3): 337-343, 352. (ZHAO C S, ZHAO X W, YANG Z L, et al. Evolution of important agronomic traits of vegetable spring soybean varieties attending national regional test[J]. Soybean Science, 2019, 38(3): 337-343, 352.)

[23] 张辉明,姜永平,韩阳瑞. 江苏省鲜食大豆主要数量性状与产量的灰色关联度分析[J]. 江苏农业科学, 2009(1): 187-189. (ZHANG H M, JIANG Y P, HAN Y R. Analysis of gray correlation between the main quantitative traits and yield of fresh soybeans in Jiangsu Province[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2009(1): 187-189.)

[24] 武天龙,赵则胜,蒋家云,等. 菜用大豆粒荚性状遗传变异及相关性的研究[J]. 上海农学院学报, 1999(2): 79-84. (WU T L, ZHAO Z S, JIANG J Y, et al. Study on genetic variation of seed pod characters in vegetable soybean and their correlation[J]. Journal of Shanghai Agricultural College, 1999(2): 79-84.)

[25] 黄志平,李杰坤,王维虎,等. 大豆新品系抗SMV鉴定及其抗性来源分析[J]. 大豆科学, 2017, 36(4): 598-605. (HUANG Z P, LI J K, WANG W H, et al. Identification of resistance and preliminary analysis of resistance sources for the soybean mosaic virus in new soybean lines[J]. Soybean Science, 2017, 36(4): 598-605.)

[26] 韩昕君,李志辉,傅豪,等. 黄淮海夏大豆新品系对花叶病毒的抗性分析[J]. 河北农业科学, 2019, 23(4): 44-46. (HAN X J, LI Z H, FU H, et al. Resistance analysis of new summer soybean lines to mosaic virus in Huang-Huai-Hai valley[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2019, 23(4): 44-46.)