



适宜重庆的菜用大豆种质资源鉴定与综合评价

曾新宇¹, 陈井生², 徐 茜¹, 李保证¹, 肖 波¹, 张 莉¹, 孙学映¹, 唐科明³

(1. 重庆三峡农业科学院, 重庆 万州 404100; 2. 重庆三峡学院 生物与食品工程学院, 重庆 万州 404020; 3. 重庆市永川区粮油作物技术推广站, 重庆 永川 402160)

摘 要:为充分挖掘优异菜用大豆种质材料,精准鉴定不同材料特性,为重庆菜用大豆品种选择和种质创新提供参考。以 63 份参加重庆菜用大豆区试及联合鉴定试验的种质资源为研究对象,对 14 个菜用大豆相关性状进行多样性分析,通过主成分分析、隶属函数法、聚类分析、相关性分析对不同种质资源进行筛选和综合评价。结果表明:14 个性状的变异系数在 8.37%~24.90% 之间,有效分枝数、株高、主茎节数、单株有效荚数、可溶性糖含量性状变异丰富,主成分分析可将 14 个性状简化为 5 个主成分:第 1 个主成分与 500 g 标准荚数、鲜百粒重和标准荚宽有关,贡献率达到 35.214%;第 2 个主成分与株高有关;第 3 个主成分与可溶性糖含量、淀粉含量和蛋白质含量有关;第 4 个主成分与多粒率、标准荚率和标准荚长有关;第 5 个主成分与单株有效荚数、主茎节数和单株荚重有关。利用隶属函数综合评判不同种质得分,浙鲜 9 号 F 值最高(2.32),闽豆 10 号 F 值最低(-2.24)。聚类分析可将不同种质聚为 6 类,其中第 5 类、第 6 类的种质综合性状表现最优。对 5 个主成分归类,可归纳为大粒型因子、株型因子、品质因子、多粒荚因子、产量构成因子。通过分析品种来源,来自上海、黑龙江和浙江的种质资源,较适宜作为重庆市育种的亲本材料。综合不同分析与评价方法,浙鲜 9 号、万鲜 3 号、成鲜豆 2937、交大 33 和浙鲜 2018 等品种具有粒型大、产量高、可溶性糖含量高及品质优的特点,适宜在本地种植,可为本地品种改良提供优良亲本来源。

关键词:重庆;菜用大豆;主成分分析;隶属函数法;聚类分析;综合评价

Identification and Comprehensive Evaluation of Vegetable Soybean Germplasm Resources Suitable for Chongqing

ZENG Xinyu¹, CHEN Jingsheng², XU Qian¹, LI Baozheng¹, XIAO Bo¹, ZHANG Li¹, SUN Xueying¹, TANG Keming³

(1. Chongqing Three Gorges Academy of Agricultural Sciences, Wanzhou 404100, China; 2. College of Biological and Food Engineering, Chongqing Three Gorges University, Wanzhou 404020, China; 3. Chongqing Yongchuan District Grain and Oil Crop Technology Extension Station, Yongchuan 402160, China)

Abstract: In order to fully explore the excellent vegetable soybean germplasm materials, accurately identify the characteristics of different materials, and provide reference for the selection of vegetable soybean varieties and germplasm innovation in Chongqing. 14 vegetable soybean related traits in 63 germplasm resources collected from the regional test and joint identification test in Chongqing by using diversity analysis, principal component analysis, membership function method, cluster analysis and correlation analysis were used to evaluate the soybean germplasm resources and select important characteristics. The results showed that the variation coefficients of 14 traits ranged from 8.37% to 24.90%, and large variations were effective branch number, plant height, main stem node number, effective pod number per plant and soluble sugar content had abundant variations. Principal component analysis could simplify 14 traits into 5 principal components. The first principal component was related to 500 g standard pod number, fresh 100-seed weight and standard pod width, with a contribution rate of 35.214%. The second principal component was related to plant height, the third principal component was related to soluble sugar content, starch content and protein content, the fourth principal component was related to multi-grain rate, standard pod rate and standard pod length, and the fifth principal component was related to effective pod number per plant, main stem node number and pod weight per plant. Zhexian 9 had the highest F value (2.32), and Mindou 10 the lowest F value (-2.24). We clustered different germplasms into 6 categories, among which the comprehensive germplasm of categories 5 and 6 perform optimally. The five principal components were classified into large grain type factor, plant type factor, quality factor, multi-grain pod factor and yield component factor. By analyzing the source of varieties, germplasm resources from Shanghai, Heilongjiang and Zhejiang are more suitable as parent materials for breeding in Chongqing. Based on different analysis and evaluation methods, Zhexian 9, Wanxian 3, Chengxiandou 2937, Jiaoda 33, Zhexian 2018 and other varieties have the characteristics of large seed size, high yield, high soluble sugar content and excellent quality, which are suitable for local planting and can provide excellent parent sources for local variety improvement.

Keywords: Chongqing; vegetable soybean; principal component analysis; membership function method; cluster analysis; comprehensive evaluation

收稿日期:2024-05-05

基金项目:重庆市社会民生一般项目(cstc2018jscx-msybX0249);重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJQN202201212);万州区科技计划项目(wzstc20210207);重庆三峡农业科学院项目(Sxnky2019003)。

第一作者:曾新宇(1986—),男,硕士,高级农艺师,主要从事粮油作物栽培育种研究。E-mail:xinyu523@126.com。

通讯作者:孙学映(1965—),男,高级农艺师,主要从事大豆育种及栽培技术研究。E-mail:53865856@qq.com;

唐科明(1970—),男,高级农艺师,主要从事粮油作物推广研究。E-mail:597052084@qq.com。

大豆原产于中国,资源丰富^[1-3],但因 20 世纪初期对资源收集重视不足,大豆种质资源的评价和利用滞后^[4-5],造成大量种质资源流失^[6-7],为提高大豆种质资源的评价和利用效率,近年来学者通过对不同的生态区域^[8-12]、特异类型^[13-15]、抗逆特性^[16-21]的大豆种质资源进行综合评价,使国内在种质资源鉴定与评价工作上取得了快速进步,但也存在部分特色资源评价、利用不足的问题。我国菜用大豆育种工作起步较晚,资源相对匮乏,大量品种亲本来源较为单一^[22-23]。虽经过多年的本地筛选与应用,在表型上有一定的差异,但亲本遗传距离狭窄依然是目前菜用大豆育种过程中面临的最大问题。

重庆地处西南山区,大豆种植规模分散,机械化、规模化种植应用较少。据曾新宇等^[24-25]研究表明,该地具有种植菜用大豆的优良条件,通过合理的田间管理可取得良好的经济效益,是大豆产业的重要发展方向。近年来,川渝等地不断加强菜用大豆新品种选育,育成万鲜 1 号^[26]、万鲜 3 号、渝浙鲜 1 号、渝蜀鲜 2 号、川鲜豆 2 号等品种,新品种在提高作物产量和品质上作用明显,但高产、优质突破性新品种数量仍显不足。在本地大豆材料中筛选出符合菜用的种质资源,是选育突破性品种的重要手段,然而对地方资源的专业评价任务重、时间长,

品质好、稳产、丰产的性状无法在短期内被发掘利用,难以满足育种家需求。从近年来育出的新品种和品系资源中筛选出适宜重庆生长的种质资源,并确定符合本地菜用大豆育种目标评价标准,选择适宜的育种方向,培育性状适宜的育种目标材料,对于本地区菜用大豆育种方向选择及标准制定具有重要意义。本研究通过 2 年大田试验,对在重庆参加各级区试及联合鉴定试验的 63 份种质资源,进行相关农艺性状、产量、品质鉴定与评价,通过主成分分析与隶属函数法、聚类分析综合评定种质资源优劣,并筛选适合重庆地区种植的菜用大豆育种的种质资源,以期为该地区菜用大豆新品种的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料来源

本试验材料来源于近 5 年内在重庆市参加区域试验及联合鉴定试验的品种与品系。参试材料共计 63 份(表 1),其中浙江省材料 20 份(占比 31.75%),辽宁省 13 份(占比 20.63%),四川省 12 份(占比 19.05%),这 3 个省份分列前三位,在参试材料中共占比 71.43%,重庆市 6 份(占比 9.52),位于第四位,来源于福建省的材料 1 份(1.59%)。

表 1 不同品种及种质来源

Table 1 Different varieties and germplasm sources

| 序号 No. | 品种(系) Variety(line) | 种质来源 Origin | 序号 No. | 品种(系) Variety(line) | 种质来源 Origin | 序号 No. | 品种(系) Variety(line) | 种质来源 Origin |
|-----------|-------------------------|----------------|-----------|-------------------------|----------------|-----------|-------------------------|----------------|
| 1 | 成鲜 03 | 四川成都 | 22 | 辽鲜豆 13 | 辽宁沈阳 | 43 | 浙 74030 | 浙江杭州 |
| 2 | 成鲜 07 | 四川成都 | 23 | 辽鲜豆 14 | 辽宁沈阳 | 44 | 浙 76004 | 浙江杭州 |
| 3 | 成鲜 43 | 四川成都 | 24 | 辽鲜豆 19 | 辽宁沈阳 | 45 | 浙 77003 | 浙江杭州 |
| 4 | 成鲜 53 | 四川成都 | 25 | 辽鲜豆 25 | 辽宁沈阳 | 46 | 浙农 141 | 浙江杭州 |
| 5 | 成鲜豆 2937 | 四川成都 | 26 | 辽鲜豆 26 | 辽宁沈阳 | 47 | 浙农 142 | 浙江杭州 |
| 6 | 成鲜豆 31 | 四川成都 | 27 | 辽鲜豆 29 | 辽宁沈阳 | 48 | 浙农 144 | 浙江杭州 |
| 7 | 成鲜豆 33 | 四川成都 | 28 | 辽鲜豆 30 | 辽宁沈阳 | 49 | 浙农 146 | 浙江杭州 |
| 8 | 成鲜豆 34 | 四川成都 | 29 | 辽鲜豆 31 | 辽宁沈阳 | 50 | 浙鲜 14 | 浙江杭州 |
| 9 | 成鲜豆 35 | 四川成都 | 30 | 辽鲜豆 32 | 辽宁沈阳 | 51 | 浙鲜 15 | 浙江杭州 |
| 10 | 成鲜豆 36 | 四川成都 | 31 | 闽豆 10 号 | 福建福州 | 52 | 浙鲜 20 | 浙江杭州 |
| 11 | 成鲜豆 64 | 四川成都 | 32 | 南农 S5-2 | 江苏南京 | 53 | 浙鲜 2013 | 浙江杭州 |
| 12 | 贡 103 | 四川自贡 | 33 | 南农 S5-3 | 江苏南京 | 54 | 浙鲜 2018 | 浙江杭州 |
| 13 | 交大 13 号 | 上海 | 34 | 万鲜 1 号 | 重庆万州 | 55 | 浙鲜 2019 | 浙江杭州 |
| 14 | 交大 14 号 | 上海 | 35 | 万鲜 2 号 | 重庆万州 | 56 | 浙鲜 39002 | 浙江杭州 |
| 15 | 交大 20 | 上海 | 36 | 万鲜 3 号 | 重庆万州 | 57 | 浙鲜 5 号 | 浙江杭州 |
| 16 | 交大 28 | 上海 | 37 | 油春 18-39 | 湖北武汉 | 58 | 浙鲜 77 | 浙江杭州 |
| 17 | 交大 33 | 上海 | 38 | 渝蜀鲜 1 号 | 重庆永川 | 59 | 浙鲜 9 号 | 浙江杭州 |
| 18 | 辽 07M19-1 | 辽宁沈阳 | 39 | 渝蜀鲜 2 号 | 重庆永川 | 60 | 浙鲜豆 2020 | 浙江杭州 |
| 19 | 辽 07M34-1 | 辽宁沈阳 | 40 | 渝浙鲜 1 号 | 重庆北碚 | 61 | 中豆 5201 | 湖北武汉 |
| 20 | 辽 08M44-1H | 辽宁沈阳 | 41 | 浙 058 | 浙江杭州 | 62 | 中科毛 3 号 | 黑龙江哈尔滨 |
| 21 | 辽鲜 1 号 | 辽宁沈阳 | 42 | 浙 27002 | 浙江杭州 | 63 | 中科毛 1 号 | 黑龙江哈尔滨 |

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2020 和 2021 年春季,在重庆三峡农业科学院甘宁试验基地同一地块实施(108°14'01"E,30°39'51"N)。采用完全随机区组设计,3 月底到 4 月初人工穴播,5 行区 3 次重复,行长 4 m,行距 0.4 m,株距 0.2 m,并于 6 月底前进行采收。田间管理按照当地种植习惯进行。

1.2.2 性状调查 于采收期,对连续生长的 10 株样品进行取样考种,调查株高、主茎节数、有效分枝数、单株有效荚、多粒荚率、单株荚重、500 g 标准荚数、鲜百粒重、标准荚率、标准荚长、标准荚宽的数据;以 2020 和 2021 年及 2 年的平均值进行描述性统计分析,分析不同年份间的差异与联系,为更好分析各品种 2 年间的总体变化规律,更为客观地评价各品种特性,使用 2 年的平均值进行主成分分析、聚类分析、隶属函数和相关性分析,统计分析方法参考盖钧铭的《试验统计方法》^[27]。

1.2.3 品质调查方法 在采收期,进行鲜百粒重调查时,各材料分别取 200 g 鲜籽粒样品进行可溶性糖、淀粉、蛋白质含量测定,采用考马斯亮蓝 G-250 显色法^[28]测定可溶性蛋白含量;采用蒽酮比色法^[28]测定可溶性糖含量;采用水解法^[29]测定淀粉含量。

1.2.4 大豆种质综合评价方法 通过模糊隶属函数法^[30-31]将 63 份大豆种质的 14 个表型性状函数值定义在[0,1]区间内,计算公式: $U_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$ 。 U_{ij} 表示隶属函数值, X_{ij} 为品种 i 在指标 j 的测定值, X_{jmin} 与 X_{jmax} 为试验材料 j 的最小值和最大值。数据模糊隶属函数化处理后进行主成分分析,将标准化表型性状数据乘以相应主成分因

子得分系数,计算各个主成分的得分(F_n),结合主成分因子权重(V_n)计算每份种质的综合得分(F 值), $F = V_1F_1 + V_2F_2 + \dots + V_nF_n^{[32]}$ 。

1.3 数据分析

试验数据使用 Excel 2016 对各农艺性状数据进行统计处理,使用 IBM SPSS 17 进行差异性、相关性、主成分以及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 菜用大豆种质资源的性状表现

如表 2 所示,14 个性状的变异系数分别位于 9.18%~26.16%、9.46%~25.48%、8.37%~24.90% 之间。不同年份与 2 年平均值的有效分枝数变异系数最大分别达到 26.16%、25.48% 和 24.90%,变异幅度分别为 1.0~4.3、1.2~4.5 和 1.1~4.1 个;其中 2020 年标准荚长变幅最小,变幅度为 4.3~6.4 cm,2021 年与 2 年平均值的标准荚宽变幅最小,变幅度分别为 1.10~1.60 cm 和 1.00~1.60 cm。2021 年株高、主茎节数、500 g 标准荚数和蛋白质含量的均值均高于 2020 年,其余 10 个性状的平均值均低于 2020 年,表明不同年份间各品种(系)在不同生长环境下表现存在一定差异。而 2020 年、2021 年及 2 年平均值拥有相同特征,即变异系数较低的性状有标准荚长、标准荚宽、多粒荚率和标准荚率,其变异系数分别在 9.18~12.66%、9.46~14.03% 和 8.37~12.91% 之间,性状较为稳定;变异系数较高的有主茎节数、株高、有效分枝数、单株有效荚和可溶性糖含量,其变异系数在 17.79%~26.16%、19.14%~25.48% 和 18.18%~24.90% 之间,不同年份间的差异较小。

表 2 63 份菜用大豆种质资源的 14 个不同性状表现

| Table 2 The 14 different traits of 63 vegetable soybean germplasm resources | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|------------|--------|--------|--------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|--|
| 性状 Traits | 极小值 | | | 极大值 | | | 平均值 | | | 标准差 | | | 变异系数 | | | |
| | Minimum value | | | Maximum value | | | Mean value | | | Standard deviation | | | Variable coefficient/% | | | |
| | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 | |
| 株高 Plant height/cm | 28.70 | 31.40 | 30.00 | 80.20 | 102.20 | 87.30 | 47.66 | 52.01 | 49.83 | 9.29 | 11.26 | 9.87 | 19.50 | 21.66 | 19.81 | |
| 主茎节数 Main stem nodes | 5.40 | 5.90 | 5.70 | 11.70 | 14.10 | 12.90 | 7.96 | 8.66 | 8.31 | 1.42 | 1.74 | 1.52 | 17.79 | 20.05 | 18.25 | |
| 有效分枝数 Effective branch number | 1.00 | 1.20 | 1.10 | 4.30 | 4.50 | 4.10 | 2.70 | 2.59 | 2.64 | 0.71 | 0.66 | 0.66 | 26.16 | 25.48 | 24.90 | |
| 单株有效荚 Effective pod per plant | 15.00 | 13.80 | 14.40 | 36.80 | 34.20 | 35.50 | 23.95 | 22.05 | 23.00 | 4.31 | 4.22 | 4.18 | 17.98 | 19.14 | 18.18 | |
| 多粒荚率 Multiple pod rate/% | 51.10 | 47.10 | 50.70 | 86.70 | 84.70 | 85.70 | 65.84 | 63.36 | 64.60 | 6.68 | 7.40 | 6.83 | 10.15 | 11.69 | 10.57 | |
| 单株荚重 Pods weight per plant/g | 38.90 | 37.70 | 38.30 | 84.00 | 82.90 | 83.40 | 62.31 | 60.00 | 61.16 | 9.95 | 10.04 | 9.88 | 15.97 | 16.74 | 16.15 | |
| 500 g 标准荚数 Standard pod number per 500 g | 104.30 | 118.30 | 111.30 | 210.60 | 228.60 | 219.60 | 154.78 | 161.40 | 158.09 | 22.55 | 25.58 | 23.73 | 14.57 | 15.85 | 15.01 | |
| 鲜百粒重 100-fresh seeds weight/g | 51.90 | 48.70 | 50.30 | 111.60 | 110.30 | 109.90 | 86.01 | 84.43 | 85.22 | 12.93 | 13.62 | 13.20 | 15.03 | 16.13 | 15.48 | |

表 2(续)

| 性状 Traits | 极小值 | | | 极大值 | | | 平均值 | | | 标准差 | | | 变异系数 | | |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|------------|-------|-------|--------------------|------|------|------------------------|-------|-------|
| | Minimum value | | | Maximum value | | | Mean value | | | Standard deviation | | | Variable coefficient/% | | |
| | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 | 2020 | 2021 | 平均值 |
| 标准荚率 Standard pod rate/% | 48.20 | 45.90 | 48.30 | 89.70 | 82.40 | 85.50 | 66.77 | 63.69 | 65.23 | 8.46 | 8.94 | 8.42 | 12.66 | 14.03 | 12.91 |
| 标准荚长 Standard pod length/cm | 4.30 | 4.10 | 4.20 | 6.40 | 6.30 | 6.30 | 5.36 | 5.27 | 5.31 | 0.49 | 0.55 | 0.51 | 9.18 | 10.51 | 9.65 |
| 标准荚宽 Standard pod width/cm | 1.00 | 1.10 | 1.00 | 1.70 | 1.60 | 1.60 | 1.41 | 1.38 | 1.38 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 9.51 | 9.46 | 8.37 |
| 可溶性糖 Soluble sugar/% | 1.17 | 0.93 | 1.05 | 3.12 | 2.80 | 2.96 | 2.03 | 1.82 | 1.93 | 0.42 | 0.37 | 0.39 | 20.92 | 20.53 | 20.04 |
| 淀粉 Starch/% | 3.30 | 3.60 | 4.15 | 7.23 | 7.01 | 7.12 | 5.49 | 5.18 | 5.34 | 0.84 | 0.84 | 0.78 | 15.38 | 16.15 | 14.53 |
| 蛋白质 Protein/% | 9.20 | 9.70 | 9.90 | 18.50 | 17.90 | 17.60 | 11.84 | 12.08 | 11.96 | 1.94 | 1.79 | 1.76 | 16.38 | 14.80 | 14.75 |

2.2 菜用大豆种质资源不同性状的主成分分析

按照特征值大于 1 的可划定为主成分的原则^[33-34],对 63 份参试大豆种质材料的性状进行主成分分析。由表 3 可知,14 个与菜用大豆相关的性状可转化为 5 个主成分。其对菜用大豆资源的评价累计贡献率达到 80.889%。第 1 个主成分的特征值为 4.93,贡献率为 35.214%,其特征向量以 500 g 标准荚数、鲜百粒重和标准荚宽贡献最大,表明第 1 个主成分主要是与荚型大小相关的性状;第 2 个主成分的特征值为 2.15,贡献率为 15.357%,其特征向量以株高贡献最大,表明第 2 主成分主要是与植

株高度相关的性状;第 3 个主成分的特征值为 1.633,贡献率为 11.664%,其特征向量以可溶性糖含量、蛋白质含量和淀粉含量贡献最大,表明第 3 主成分主要是与内在品质相关的性状;第 4 主成分的特征值为 1.365,贡献率为 9.752%,其特征向量以多粒率、标准荚率和标准荚长贡献最大,表明第 4 个主成分主要是与荚粒数多少相关的性状;第 5 个主成分的特征值为 1.262,贡献率为 9.012%,其特征向量以单株有效荚、主茎节数、单株荚重和有效分枝数最大,表明第 5 个主成分主要产量及产量构成因素相关的性状。

表 3 不同性状的主成分分析结果

Table 3 Principal component analysis results of different characters

| 项目 Item | 主成分 Principal component | | | |
|--|-------------------------|---------------|--------------|---------------|
| | CI1 | CI2 | CI3 | CI4 |
| 特征值 Characteristic value | 4.930 | 2.150 | 1.633 | 1.365 |
| 贡献率 Rate of contribution/% | 35.214 | 15.357 | 11.664 | 9.752 |
| 累计贡献率 Accumulating contribution rate/% | 35.214 | 50.571 | 62.234 | 71.986 |
| 特征向量 Eigenvector | X1 | -0.149 | 0.490 | 0.119 |
| | X2 | -0.184 | 0.391 | 0.083 |
| | X3 | -0.234 | 0.133 | 0.232 |
| | X4 | -0.184 | 0.200 | 0.257 |
| | X5 | 0.151 | 0.428 | 0.127 |
| | X6 | 0.281 | 0.339 | -0.008 |
| | X7 | -0.401 | -0.093 | 0.185 |
| | X8 | 0.391 | 0.014 | -0.200 |
| | X9 | 0.182 | 0.407 | 0.022 |
| | X10 | 0.269 | 0.160 | -0.214 |
| | X11 | 0.377 | -0.029 | -0.114 |
| | X12 | 0.289 | -0.162 | 0.491 |
| | X13 | 0.235 | -0.074 | 0.477 |
| | X14 | -0.231 | 0.138 | -0.491 |

注:加粗数字表示某个指标在各因子中为最大绝对值。X1:株高;X2:主茎节数;X3:有效分枝数;X4:单株有效荚数;X5:多粒荚率;X6:单株荚重;X7:500 g 标准荚数;X8:鲜百粒重;X9:标准荚率;X10:标准荚长;X11:标准荚宽;X12:可溶性糖含量;X13:淀粉含量;X14:蛋白质含量。

Note:The bold number indicates that an indicator is the maximum absolute value in each factor. X1: Plant height; X2: Number of main stem nodes; X3: Number of effective branches; X4: Number of effective pods of a single plant; X5: Multi-seed pod rate; X6: Pod weight per plant; X7: 500 g standard pod number; X8: Fresh 100-seed weight; X9: Standard pod rate; X10: Standard pod length; X11: Standard pod width; X12: Soluble sugar content; X13: Starch content; X14: Protein content.

2.3 菜用大豆种质资源相关性状的综合评价

将得到的特征向量与标准化后的数值相乘,得到主成分得分表达式,其表达式为:

$$F1 = -0.149X1 - 0.184X2 - 0.234X3 - 0.184X4 + 0.151X5 + 0.281X6 - 0.401X7 + 0.391X8 + 0.182X9 + 0.269X10 + 0.377X11 + 0.289X12 + 0.235X13 - 0.231X14$$

$$F2 = 0.490X1 + 0.391X2 + 0.133X3 + 0.200X4 + 0.428X5 + 0.339X6 - 0.093X7 + 0.014X8 + 0.407X9 + 0.160X10 - 0.029X11 - 0.162X12 - 0.074X13 + 0.138X14$$

$$F3 = 0.119X1 + 0.083X2 + 0.232X3 + 0.257X4 + 0.127X5 - 0.008X6 + 0.185X7 - 0.200X8 + 0.022X9 - 0.214X10 - 0.114X11 + 0.491X12 + 0.477X13 - 0.491X14$$

$$F4 = 0.157X1 + 0.249X2 + 0.251X3 + 0.312X4 - 0.497X5 + 0.201X6 - 0.198X7 + 0.136X8 - 0.482X9 + 0.364X10 + 0.093X11 + 0.033X12 + 0.160X13 + 0.088X14$$

$$F5 = -0.409X1 - 0.500X2 + 0.288X3 + 0.517X4 + 0.070X5 + 0.413X6 + 0.018X7 - 0.047X8 + 0.118X9 - 0.013X10 - 0.087X11 - 0.135X12 - 0.087X13 - 0.073X14$$

依据各主成分的特征值及 F1、F2、F3、F4、F5 公

式,各不同主成分的所占权重分别为:F1 = 0.435, F2 = 0.190, F3 = 0.144, F4 = 0.120, F5 = 0.111,得出各品种的主成分综合得分公式: $F = 0.435F1 + 0.190F2 + 0.144F3 + 0.120F4 + 0.111F5$,因 F 值越高则对应材料的综合表现越优^[17],如表 4、5 所示,浙鲜 9 号综合得分 F 值最高(2.32),其多粒荚率 73%,单株荚重 83.4 g,500 g 标准荚数 111.3 个,鲜百粒重 109.9 g,标准荚长 6.3 cm,标准荚宽 1.6,可溶性糖含量 2.48%,综合性状优良。闽豆 10 号综合得分 F 值最低(-2.24),其多粒荚率 58%,单株荚重 38.3 g,500 g 标准荚数 199.5 个,鲜百粒重 62.5 g,标准荚长 5.1 cm,标准荚宽 1.2 cm,可溶性糖含量 1.63%,综合性状较差。31 份材料的综合得分为正值,12 份材料得分大于 1。以参试地平均综合得分进行比较,黑龙江、上海、重庆分列前三,四川、浙江列第四、第五,排名前五的参试区域得分均为正值;辽宁、湖北、福建排后三位,得分均为负值。浙鲜 9 号、万鲜 3 号、成鲜豆 2937、交大 33、浙鲜 2018 综合得分排名前 5,该 5 品种的平均株高 51.5 cm、主茎节数 7.6 个、有效分枝 2.5 个,单株有效荚 22.2 个,多粒荚率 68.5%,单株荚重 83.4 g,500 g 标准荚数 122.7 个,鲜百粒重 104.8 g,标准荚长 5.9 cm,标准荚宽 1.5,可溶性糖含量 2.3%,淀粉含量 5.9%,蛋白质含量 11.0%,综合性状优良。

表 4 菜用大豆种质资源的综合评价

| Table 4 Comprehensive evaluation of vegetable soybean germplasm resources | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|------|------------|
| 品种(系) Variety(line) | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F | 排名 Ranking |
| 浙鲜 9 号 Zhexian 9 | 4.90 | 1.41 | -0.54 | 0.03 | -0.05 | 2.32 | 1 |
| 万鲜 3 号 Wanxian 3 | 2.17 | 2.31 | 1.20 | 2.13 | 0.04 | 1.81 | 2 |
| 成鲜豆 2937 Chengxiandou 2937 | 3.97 | 0.60 | 0.13 | -0.77 | -0.17 | 1.75 | 3 |
| 交大 33 Jiaoda 33 | 2.78 | 1.39 | 1.16 | 0.04 | 0.76 | 1.73 | 4 |
| 浙鲜 2018 Zhexian 2018 | 3.64 | -0.04 | -1.29 | 0.69 | 2.06 | 1.70 | 5 |
| 浙鲜 15 Zhexian 15 | 2.65 | 1.31 | 0.35 | -0.62 | 0.74 | 1.46 | 6 |
| 成鲜豆 64 Chengxiandou 64 | 1.88 | 1.69 | 1.21 | -0.04 | 1.03 | 1.42 | 7 |
| 中科毛 3 号 Zhongkemaos 3 | 2.29 | 1.71 | -0.07 | 0.64 | 0.06 | 1.39 | 8 |
| 交大 14 号 Jiaoda 14 | 2.33 | -0.47 | 1.33 | 0.25 | 0.56 | 1.21 | 9 |
| 成鲜豆 33 Chengxiandou 33 | 2.89 | -0.83 | 0.41 | 0.18 | -0.13 | 1.17 | 10 |
| 成鲜豆 33 | 3.19 | -0.53 | 0.30 | -1.65 | -0.03 | 1.13 | 11 |
| 万鲜 1 号 Wanxian 1 | 1.57 | 1.43 | 0.08 | 0.09 | 1.40 | 1.13 | 12 |
| 渝浙鲜 1 号 Yuzhexian 1 | 2.11 | -0.10 | 0.19 | 0.32 | -0.52 | 0.91 | 13 |
| 浙鲜豆 2020 Zhexiandou 2020 | 1.02 | 0.60 | 1.59 | 0.49 | -0.31 | 0.81 | 14 |
| 浙鲜 2019 Zhexian 2019 | 1.26 | 0.73 | -1.04 | 0.85 | 0.65 | 0.71 | 15 |
| 交大 20 Jiaoda 20 | 1.15 | -1.09 | 2.38 | 2.52 | -2.20 | 0.69 | 16 |
| 交大 28 Jiaoda 28 | 1.11 | -0.32 | 1.15 | 1.80 | -1.47 | 0.64 | 17 |
| 浙 76004 Zhe 76004 | 2.09 | -0.03 | -1.08 | -0.67 | -0.24 | 0.64 | 18 |

表 4(续)

| 品种(系) Variety(line) | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F | 排名 Ranking |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| 成鲜 53 Chengxian 53 | 1.93 | - 1.73 | 1.34 | -0.81 | -0.12 | 0.59 | 19 |
| 浙农 144 Zhenong 144 | 1.47 | 0.63 | - 1.44 | -0.07 | 0.10 | 0.56 | 20 |
| 万鲜 2 号 Wanxian 2 | 1.21 | 0.17 | -0.01 | -0.42 | 0.27 | 0.54 | 21 |
| 浙鲜 20 Zhexian 20 | 0.77 | 0.08 | 0.66 | 0.24 | 0.36 | 0.51 | 22 |
| 中科毛豆 1 号 Zhongkemaο 1 | 1.73 | -0.07 | - 2.04 | -0.34 | 0.13 | 0.42 | 23 |
| 成鲜 43 Chengxian 43 | 0.64 | 1.43 | 0.98 | -3.05 | -0.22 | 0.30 | 24 |
| 成鲜 07 Chengxian 07 | 1.85 | 0.84 | -3.05 | -0.68 | -1.83 | 0.24 | 25 |
| 浙鲜 5 号 Zhexian 5 | 0.66 | - 1.33 | 1.73 | -0.49 | 0.06 | 0.23 | 26 |
| 交大 13 号 Jiaoda 13 | 1.28 | - 1.89 | 0.11 | 0.83 | - 1.15 | 0.18 | 27 |
| 渝蜀鲜 2 号 Yushuxian 2 | 1.48 | - 1.90 | - 1.63 | 0.85 | 0.07 | 0.16 | 28 |
| 浙 77003 Zhe 77003 | -0.38 | 1.70 | - 1.94 | 0.73 | 1.11 | 0.09 | 29 |
| 贡 103 Gong 103 | - 1.75 | 1.52 | 0.94 | 1.28 | 2.15 | 0.06 | 30 |
| 浙鲜 2013 Zhexian 2013 | 0.61 | 0.06 | -2.06 | 1.02 | -0.87 | 0.01 | 31 |
| 浙鲜 14 号 Zhexian 14 | 0.10 | -0.83 | 0.08 | -0.34 | 0.97 | -0.03 | 32 |
| 辽鲜豆 19 Liaoxiandou 19 | 0.07 | -0.69 | 1.00 | -2.58 | 1.42 | -0.11 | 33 |
| 浙 74030 Zhe 74030 | -0.44 | -0.42 | -0.56 | 2.33 | -0.72 | -0.15 | 34 |
| 浙鲜 39002 Zhexian 39002 | 0.21 | - 1.04 | 0.88 | 0.08 | -2.33 | -0.23 | 35 |
| 浙鲜 77 Zhexian 77 | -0.88 | -0.29 | 0.24 | 0.49 | 0.70 | -0.27 | 36 |
| 辽鲜豆 30 Liaoxiandou 30 | - 1.23 | -0.63 | 0.45 | 1.88 | 0.54 | -0.30 | 37 |
| 辽鲜豆 25 Liaoxiandou 25 | - 1.76 | 1.53 | 0.68 | 0.10 | 0.07 | -0.36 | 38 |
| 成鲜豆 35 Chengxiandou | -0.91 | - 1.47 | 1.05 | 1.73 | -0.68 | -0.39 | 39 |
| 成鲜豆 36 Chengxiandou 36 | -0.36 | -0.07 | -2.66 | -0.37 | 1.58 | -0.42 | 40 |
| 辽鲜豆 26 Liaoxiandou 26 | - 1.38 | 0.56 | -0.22 | 0.47 | 0.36 | -0.43 | 41 |
| 浙 27002 Zhe 27002 | - 1.84 | 1.44 | 2.62 | -0.44 | -2.51 | -0.48 | 42 |
| 成鲜 03 Chengxian 03 | - 1.59 | 0.47 | 1.93 | -1.55 | -0.11 | -0.52 | 43 |
| 成鲜豆 31 号 Chengxiandou 31 | -0.33 | - 1.82 | 0.61 | - 1.90 | 0.63 | -0.56 | 44 |
| 渝蜀鲜 1 号 Yushuxian 1 | -0.87 | 0.19 | - 1.60 | -0.71 | 0.41 | -0.61 | 45 |
| 辽鲜豆 31 Liaoxiandou 31 | -0.80 | -0.43 | 0.09 | -0.28 | -1.98 | -0.67 | 46 |
| 浙农 146 Zhenong 146 | -0.60 | -0.32 | - 1.53 | -0.63 | -0.67 | -0.69 | 47 |
| 辽鲜豆 29 Liaoxiandou 29 | - 1.54 | - 1.01 | 0.64 | 0.00 | 0.11 | -0.75 | 48 |
| 辽鲜豆 32 Liaoxiandou 32 | - 1.02 | - 1.13 | 0.14 | - 1.25 | 0.15 | -0.77 | 49 |
| 南农 S5-2 Nannong S5-2 | - 1.56 | 2.54 | -2.05 | -0.11 | -2.50 | -0.78 | 50 |
| 辽鲜 1 号 Liaoxian 1 | -0.72 | -3.53 | 2.02 | - 1.52 | 0.68 | -0.80 | 51 |
| 中豆 5201 Zhongdou 5201 | -4.08 | 2.10 | 1.27 | 1.51 | 1.80 | -0.81 | 52 |
| 浙农 142 Zhenong 142 | -2.00 | 0.38 | 0.07 | 0.93 | -1.30 | -0.82 | 53 |
| 辽鲜豆 13 Liaoxiandou 13 | - 1.91 | -0.99 | - 1.02 | 0.83 | 1.30 | -0.92 | 54 |
| 浙 058 Zhe 058 | -0.73 | - 1.31 | - 1.13 | - 1.18 | -0.65 | -0.94 | 55 |
| 辽鲜豆 14 号 Liaoxiandou 14 | - 1.46 | - 1.71 | -0.68 | -0.72 | 0.45 | - 1.09 | 56 |
| 浙农 141 Zhenong 141 | -2.10 | -0.95 | - 1.01 | -0.94 | -0.48 | - 1.40 | 57 |
| 南农 S5-3 Nannong S5-3 | -4.91 | 5.42 | 0.59 | -2.73 | -0.55 | - 1.41 | 58 |
| 辽 07M19-1 Liao 07M19-1 | -3.20 | - 2.68 | 0.28 | -0.17 | 1.79 | - 1.68 | 59 |
| 油春 18-39 Youchun 18-39 | -5.78 | 1.32 | 0.66 | 1.37 | 1.02 | - 1.89 | 60 |
| 辽 07M34-1 Liao 07M34-1 | -3.48 | - 2.14 | -0.74 | 0.25 | 0.86 | - 1.90 | 61 |
| 辽 08M44-1H Liao08M44-1H | -4.00 | -0.80 | -2.00 | 1.11 | -0.06 | -2.05 | 62 |
| 闽豆 10 号 Mindou 10 | -3.41 | -0.96 | - 1.17 | - 1.03 | -2.56 | - 2.24 | 63 |

表 5 主成分综合得分 F 值排名前 5 的菜用大豆种质资源 14 个性状表现

Table 5 The performance of 14 traits of vegetable soybean germplasm resources ranked in the top 5 of principal component comprehensive score F value

| 品种名称 variety | 株高 Plant height/ cm | 主茎 节数 Main stem mode number | 有效 | 单株 | 多粒 | 单株 | 500 g | | 标准 | 鲜百 | 标准 | 标准 | 标准 | 可溶 | 淀粉 | 蛋白质 |
|-------------------------------|------------------------------|--|-----------|-----------|---------|---------|----------|--------------|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 分枝数 | 有效荚 | 荚率 | 荚重 | 标准 | 鲜百 | | | | | | | | |
| | | | Effective | Effective | Multi- | Yield | Standard | 100-fresh | Standard | Standard | Standard | Standard | Standard | Soluble | Starch | Protein |
| | | | branch | pod per | pod | per | pod | seed | pod | pod | pod | pod | pod | sugar | content/ | content/ |
| | | | number | plant | ratio/% | plant/g | number | weight/ g | rate/ % | length/ cm | width/ cm | width/ cm | width/ cm | content/ % | content/ % | content/ % |
| | | | | | | | 500 g | | | | | | | | | |
| 浙鲜 9 号 Zhexian 9 | 51.5 | 7.4 | 2.3 | 17.2 | 73 | 83.4 | 111.3 | 109.9 | 75.9 | 6.3 | 1.6 | 2.48 | 5.34 | 10.3 | | |
| 万鲜 3 号 Wanxian 3 | 65.4 | 9.7 | 3.1 | 26.6 | 68.2 | 83.2 | 123.4 | 100.5 | 65.5 | 5.5 | 1.5 | 2.45 | 6.62 | 12.9 | | |
| 成鲜豆 2937 Chengxiandou 2937 | 46.2 | 7.3 | 2.3 | 17.4 | 69.8 | 71.3 | 127.5 | 107.9 | 81.7 | 5.9 | 1.5 | 2.34 | 6.14 | 10.2 | | |
| 交大 33 Jiaoda 33 | 53.1 | 7.5 | 2.5 | 25.8 | 71.5 | 73.9 | 129.9 | 101.4 | 77.4 | 5.7 | 1.4 | 2.38 | 6.42 | 10.9 | | |
| 浙鲜 2018 Zhexian 2018 | 36.4 | 5.9 | 2.5 | 23.8 | 59.8 | 82.1 | 121.5 | 104.5 | 76.2 | 6.1 | 1.6 | 1.92 | 5.15 | 10.8 | | |
| 平均 Mean | 50.5 | 7.6 | 2.5 | 22.2 | 68.5 | 78.8 | 122.7 | 104.8 | 75.3 | 5.9 | 1.5 | 2.3 | 5.9 | 11.0 | | |

2.4 菜用大豆种质资源各性状的相关性分析

由表 6 可知,对参试材料的 14 个农艺、产量、品质性状进行相关性分析表明。各不同性状之间相关性存在不同程度的相关性。单株荚重与多粒荚率、百粒鲜重、标准荚率、标准荚长、标准荚宽呈极显著正相关,相关系数分别为 0.418,0.579,0.435,0.497 和 0.475,与 500 g 标准荚数呈极显著负相关,相关系数为 -0.661;500 g 标准荚数与有效分枝数、单株有效荚呈极显著正相关,相关系数分别为 0.421 和 0.338,与鲜百粒重、标准荚长、标准荚宽、可溶性糖含量、淀粉含量呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.868、-0.686、-0.779、-0.409 和 -0.340。

2.5 菜用大豆种质资源 14 个表型性状的聚类分析

为更好地分析不同材料间的联系,对 63 个菜用大豆材料进行聚类,结果表明,在欧式距离为 10 时,可将参试材料分为 6 类,如表 7 和图 1 所示,第 1 类包含 20 份材料,其多粒荚率和标准荚率小,500 g 标准荚数、标准荚长和标准荚宽较适宜,为中间类型;

第 2 类包含 18 份材料,其多粒荚率和标准荚率小,标准荚长和 500 g 标准荚数低;第 3 类包含 2 份材料,其株高、主茎节数和分枝数均最高,但有效荚数、单株荚重和标准荚长最低;第 4 类包含 4 份材料,主成分综合得分排名后 10 位的品种中包含 3 个,占比高达 75%,其株高、主茎节数、分枝数较高,单株有效荚、500 g 标准荚数、蛋白质含量最高、百粒鲜重和标准荚宽最小;第 5 类包含 2 份材料,材料中包含主成分综合得分排第 1 位、第 5 位的浙鲜 9 号与浙鲜 2018,其单株荚重、百粒鲜重、标准荚率、标准荚长、标准荚宽、可溶性糖最高,株高和主茎节数 500 g 标准荚数最低,该材料品质好、产量高;第 6 类包含 17 份材料,该类材料主成分综合得分均排名前 20 位,包括万鲜 3 号、交大 33、万鲜 1 号、成鲜豆 2937、浙鲜 2019、交大 14 和渝浙鲜 1 号等品种,其平均多粒荚率、淀粉含量最高,平均单株荚重、百粒鲜重、标准荚率、标准荚长和标准荚宽排第二。第 5 类、第 6 类材料综合性状良好,符合本地种质菜用大豆种质需求。

表 6 菜用大豆种质资源 14 个性状的相关性
Table 6 Correlation of 14 traits in vegetable soybean germplasm resources

| 性状 Properties | 株高 Plant height | 主茎节数 Mainstem node number | 有效分枝数 Effective branch number | 单株有效荚 Effective pod per plant | 多粒荚率 Multi-pod ratio | 单株荚重 Yield per plant | 标准荚数 Standard pod number per 500 g | 鲜百粒重 100-fresh seed weight | 标准荚率 Standard pod rate | 标准荚长 Standard pod length | 标准荚宽 Standard pod width | 可溶性糖 含量 Soluble sugar content | 淀粉 含量 Starch content | 蛋白质 含量 Protein content |
|--------------------------|--------------------|------------------------------------|--|--|----------------------------|----------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|---------------------------------|
| 株高 | 1.000 | | | | | | | | | | | | | |
| Plant height | | | | | | | | | | | | | | |
| 主茎节数 | 0.788 ** | 1.000 | | | | | | | | | | | | |
| Main-stem section number | | | | | | | | | | | | | | |
| 有效分枝数 | 0.329 ** | 0.183 | 1.000 | | | | | | | | | | | |
| Effective branch number | | | | | | | | | | | | | | |
| 单株有效荚 | 0.161 | 0.198 | 0.441 ** | 1.000 | | | | | | | | | | |
| Effective pod per plant | | | | | | | | | | | | | | |
| 多粒荚率 | 0.204 | 0.024 | -0.133 | -0.080 | 1.000 | | | | | | | | | |
| Multi-pod ratio | | | | | | | | | | | | | | |
| 单株荚重 | -0.011 | -0.152 | -0.024 | 0.203 | 0.418 ** | 1.000 | | | | | | | | |
| Yield per plant | | | | | | | | | | | | | | |
| 500g 标准荚数 | 0.174 | 0.238 | 0.421 ** | 0.338 ** | -0.215 | -0.661 ** | 1.000 | | | | | | | |
| Standard pod number/500g | | | | | | | | | | | | | | |
| 鲜百粒重 | -0.208 | -0.328 ** | -0.383 ** | -0.456 ** | 0.203 | 0.579 ** | -0.868 ** | 1.000 | | | | | | |
| 100-fresh seeds weight | | | | | | | | | | | | | | |
| 标准荚率 | 0.120 | -0.052 | -0.211 | -0.093 | 0.737 ** | 0.435 ** | -0.294 * | 0.206 | 1.000 | | | | | |
| Standard pod rate | | | | | | | | | | | | | | |
| 标准荚长 | -0.060 | 0.015 | -0.370 ** | -0.043 | 0.048 | 0.497 ** | -0.686 ** | 0.537 ** | 0.198 | 1.000 | | | | |
| Standard pod length | | | | | | | | | | | | | | |
| 标准荚宽 | -0.231 | -0.299 * | -0.340 ** | -0.448 ** | 0.135 | 0.475 ** | -0.779 ** | 0.793 ** | 0.257 * | 0.432 ** | 1.000 | | | |
| Standard pod width | | | | | | | | | | | | | | |
| 可溶性糖 | -0.207 | -0.226 | -0.252 * | -0.189 | 0.136 | 0.243 | -0.409 ** | 0.414 ** | 0.074 | 0.147 | 0.454 ** | 1.000 | | |
| Soluble sugar | | | | | | | | | | | | | | |
| 淀粉 | -0.097 | -0.128 | -0.092 | -0.077 | 0.117 | 0.254 * | -0.340 ** | 0.326 ** | 0.064 | 0.169 | 0.367 ** | 0.686 ** | 1.000 | |
| Starch | | | | | | | | | | | | | | |
| 蛋白质 | 0.207 | 0.218 | 0.213 | 0.094 | -0.155 | -0.118 | 0.257 * | -0.230 | -0.177 | -0.189 | -0.311 * | -0.731 ** | -0.451 ** | 1.000 |
| Protein | | | | | | | | | | | | | | |

注：* 和 ** 分别表示在 $P \leq 0.05$ 和 $P \leq 0.01$ 水平上显著差异。
Note: * and ** indicated significant differences at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ levels, respectively.

表 7 菜用大豆种质资源 14 个性状平均值
Table 7 The average value of 14 traits of vegetable soybean germplasm resources

| 类群 Group | 株高 Plant height/ cm | 主茎节数 Mainstem node number | 有效分枝数 Effective branch number | 单株有效荚 Effective pod per plant | 多粒荚率 Multi-pod ratio/% | 单株荚重 Yield per plant/g | 500 g 标准荚数 Standard pod number per 500g | 鲜百粒重 100-fresh seed weight/g | 标准荚率 Standard pod rate/% | 标准荚长 Standard pod length/cm | 标准荚宽 Standard pod width/cm | 可溶性糖 含量 Soluble sugar content/ % | 淀粉 含量 Starch content/ % | 蛋白质 含量 Protein content/ % |
|-------------|---------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 49.6 | 8.3 | 2.7 | 22.1 | 62.5 | 59.8 | 155.9 | 88.6 | 60.8 | 5.3 | 1.4 | 2.0 | 5.4 | 12.0 |
| 2 | 45.5 | 8.0 | 2.8 | 24.1 | 61.8 | 55.1 | 177.0 | 74.4 | 62.9 | 5.0 | 1.3 | 1.8 | 5.2 | 12.3 |
| 3 | 74.1 | 11.6 | 3.3 | 18.9 | 67.9 | 50.9 | 161.1 | 81.5 | 69.2 | 4.9 | 1.4 | 1.8 | 5.0 | 12.8 |
| 4 | 66.0 | 10.7 | 3.2 | 29.1 | 65.6 | 53.9 | 204.2 | 56.1 | 67.4 | 5.2 | 1.1 | 1.4 | 4.2 | 13.2 |
| 5 | 44.0 | 6.7 | 2.4 | 20.5 | 66.4 | 82.8 | 116.4 | 107.2 | 76.1 | 6.2 | 1.6 | 2.2 | 5.2 | 10.6 |
| 6 | 48.7 | 7.9 | 2.3 | 22.3 | 69.3 | 69.6 | 134.3 | 97.4 | 70.7 | 5.7 | 1.5 | 2.1 | 5.7 | 11.4 |
| 平均值 Mean | 48.2 | 7.8 | 2.3 | 22.1 | 69.0 | 71.0 | 132.4 | 98.5 | 71.2 | 5.7 | 1.5 | 2.1 | 5.6 | 11.3 |

注:表中平均值为第5类群和第6类群的平均值;加粗数字表示单个指标中的最大值,倾斜数字表现单个指标中的最小值。
Note: The average values in the table are the average values of Group 5 and Group 6; The bold number indicates the maximum value in a single indicator, and the inclined number indicate the minimum value in a single indicator.

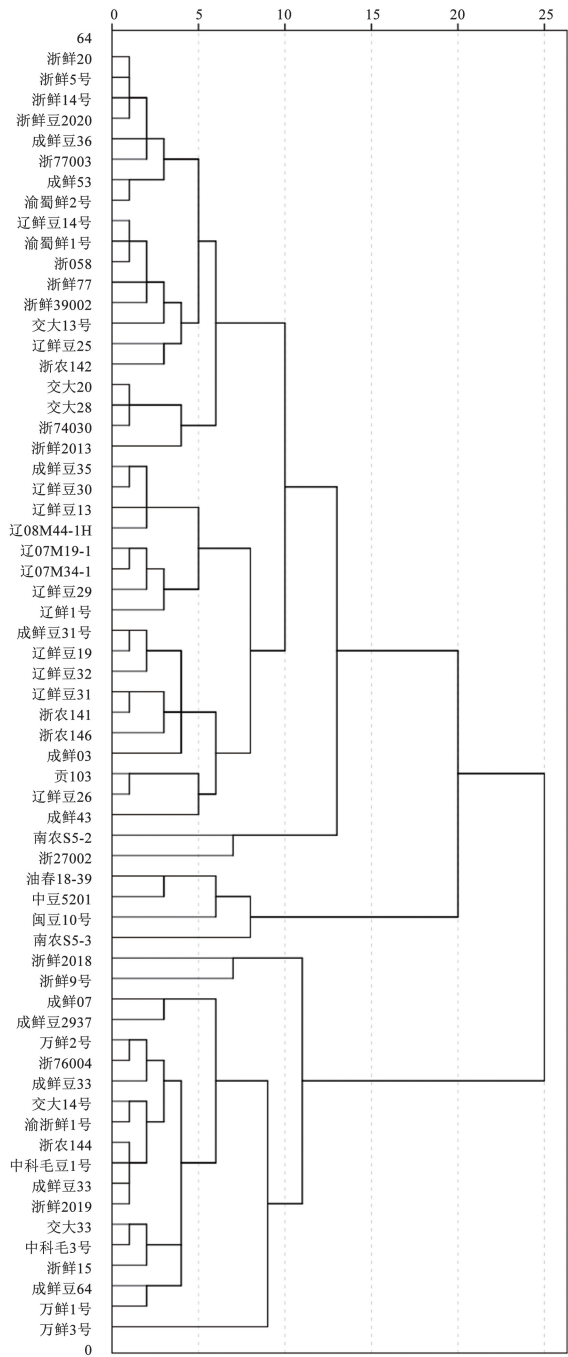


图 1 菜用大豆种质资源 14 个不同性状的聚类图

Fig.1 The diagram of 14 different traits of vegetable soybean germplasm resources

3 讨论

菜用大豆越来越受到育种家重视。汪桂凤等^[17]为拓宽菜用大豆的育种材料来源,在普通种质资源中,筛选出适宜作为菜用的育种材料。种质资源综合分析、评价是种质创新的基础,是品种改良的关键^[35]。从本地参试材料来源分析,浙江省参试最多,与该省菜用大豆育种水平领先相符合,辽宁省参试材料较多,与该地区为种子生产基地、育种者人数较多有关。重庆育种工作起步较晚,通过近

年来努力参试材料逐年增长,育种工作取得积极进展。本研究遗传多样性分析表明,变异系数较高的为主茎节数、株高、单株有效荚、单株荚重和可溶性糖含量,这与陈宏伟等^[36]的研究结果基本一致;变异系数较低的性状有多粒荚率和标准荚率,该结果与汪桂凤等^[17]的研究结果不同,这可能与试验选择的种质材料类型不同有关。标准荚长和标准荚宽的变异系数较低,结果与汪桂凤等^[17]的研究一致,表明普通型与菜用型的标准荚长和荚宽遗传变异并不大。

主成分分析能将多个变量转化为几个综合指标进行分析,可简化筛选与评价程序^[37]。本研究将评价菜用大豆种质资源的 14 个主要目标性状转化为 5 个主成分,累计贡献率为 80.889%。第 1 个主成分的特征值为 4.93,贡献率为 35.214%,500 g 标准荚数、鲜百粒重和标准荚宽贡献最大,表明选择荚大粒大型育种材料是菜用大豆种质创新的主要方向。5 个主成分对应特性分别归类,依次可归纳为大粒型因子、株型因子、品质因子、多粒荚因子和产量构成因子。这与李艳花等^[38]选出的产量因子、生长势因子和籽粒性状因子,与赵朝森等^[13]归纳的产量构成因子、粒荚因子、株高因子、品质因子和生育期因子存在差异,也有相似之处,这与本研究选取的目标对象为特殊菜用类型有关。本研究提出的大粒型因子、品质因子和多粒荚因子与张秋英等^[39-42]研究的菜用大豆品质主要指外观品质、食用品质和营养品质类似,为后续育种方向和思路选择提供了出路。

采用主成分分析与隶属函数法相结合,对不同农作物进行评价已经得到了广泛应用,为明确不同种质资源的优劣提供了参考依据^[22,31-32,36,43-45]。本研究选取了与菜用标准评价有关的 14 个性状,应用隶属函数法,对不同种质进行综合评判,确定出在本地表现最优的菜用大豆种质材料。试验结果表明,浙江省农业科学院育成的浙鲜 9 号^[46]综合得分最高,重庆三峡农业科学院新育成品种万鲜 3 号,综合得分排名第 2,闽豆 10 号、辽 08M44-1H 和辽 07M34-1 的综合得分最低,田间表现差。

为明确不同种质的内在联系,采用聚类分析,可将不同种质分为 6 个类别,这与陈宏伟等^[37]研究的聚类一致,其中第 5 类中的 2 份材料,包含隶属函数综合评分第 1 的浙鲜 9 号,可作为菜用大豆育种的优良亲本。在聚类中第 5、6 类的 19 个材料在隶属函数中得分排名均在前 20,两者的综合结果一致,证明综合不同方法进行种质资源评价,能更客观地对品种进行评价。

综合主成分分析综合得分及聚类分析结果,结合田间产量表现,浙鲜 9 号、万鲜 3 号、浙鲜 2018、交大 14、交大 33、浙鲜 15、交大 14 等 19 个品种主成分分析 F 值在 0.59~2.34 之间,聚类分析将该类品种聚类到第 5 类、第 6 类,其平均株高 48.2 cm,主茎节数 7.8 个、分枝数 2.3 个,多粒荚率 69.0%、单株荚重 71.0 g、500 g 标准荚数 134.3、鲜百粒重 98.5 g、标准荚长 5.7 cm、标准荚宽 1.5 cm,可溶性糖含量 2.48%,该类品种综合表现良好,适宜在重庆种植,符合生产需求,是良好的种质创新材料来源。

其中浙鲜 9 号的主成分分析综合得分最高,该品种株高中等(51.5 cm),单株荚重在各材料中最大(83.4 g),500 g 标准荚数最小(111.3 个),鲜百粒重最大(109.9 g),为航天育种成果,中熟类型,春播产量可达 1 350 kg·hm⁻²以上,荚型、粒型大,籽粒饱满,商品性好且适应性强,在海拔 1 300 m 左右可进行夏播表现稳定,适宜在当地推广。本地新育成品种万鲜 3 号单株荚重 83.2 g,500 g 标准荚数 123.4 个,鲜百粒重较高(100.5 g),可溶性糖含量较高(2.48%),综合得分排名第二,为 2021 年重庆市审定的菜用大豆新品种,适宜在当地进行春播,以上品种均具有荚大、粒大、产量高、品质优的特点。

4 结论

本研究对近年 5 来在重庆参试的菜用大豆品种材料进行筛选与综合评价,选取与菜用指标相关的 14 个性状进行评估。结果表明,各性状的变异系数在 8.37%~24.90%之间,通过主成分分析将 14 个性状简化为 5 个主成分,第 1 主成分贡献最大,主要与 500g 标准荚数、鲜百粒重和标准荚宽相关,可将主成分归纳为大粒型、株型、品质、多粒荚和产量构成等 5 个因子。隶属函数综合评判种质得分,浙鲜 9 号得分最高(2.32),闽豆 10 号得分最低(-2.24)。相关性分析表明,单株荚重与多粒荚率、百粒鲜重、标准荚率、标准荚长、标准荚宽呈极显著正相关。聚类分析可将不同种质聚为 6 类,其中第 5 类、第 6 类的种质综合性状表现最优。综合不同分析与评价方法,浙鲜 9 号、万鲜 3 号、成鲜豆 2937、交大 33、浙鲜 2018 等品种具有粒型大、产量高及可溶性糖含量高品质优的特点,适宜在本地种植,可为本地品种改良提供优良亲本来源。

参考文献

[1] CARTER T E JR, NELSON R L, SNELLER C H, et al. Genetic diversity in soybean[M]//Agronomy Monographs. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 2016: 303-416.

[2] LI Y, GUAN R, LIU Z, et al. Genetic structure and diversity of cultivated soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) landraces in China[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2008, 117(6): 857-871.

[3] 周恩远. 大豆种质资源遗传多样性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009. (ZHOU E Y. Genetic diversity of germplasm resources on soybean[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009.)

[4] 邱丽娟, 常汝镇, 陈可明, 等. 中国大豆(*Glycine max*)品种资源保存与更新状况分析[J]. 植物遗传资源科学, 2002, 3(2): 34-39. (QIU L J, CHANG R Z, CHEN K M, et al.

- Analysis of conservation and regeneration statues for Chinese soybean germplasm [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2002, 3(2): 34-39.)
- [5] 邱丽娟, 常汝镇, 袁翠平, 等. 国外大豆种质资源的基因挖掘利用现状与展望[J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(1): 1-6. (QIU L J, CHANG R Z, YUAN C P, et al. Prospect and present statue of gene discovery and utilization for introduced soybean germplasm[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(1): 1-6.)
- [6] 燕惠民. 我国野生大豆资源保护管理问题[J]. *中国野生植物资源*, 2007, 26(6): 37-39. (YAN H M. Discussion on the protection and administration of wild soybean resources in China [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2007, 26(6): 37-39.)
- [7] 普官秀. 我国“野生大豆流失案”的法律思考[C]. 2015 年全国环境资源法学研讨会(年会)论文集, 2016: 803-806. (PU G X. Legal thinking on the case of ‘loss of wild soybeans’ in China [C]. 2015 National Symposium on Environmental Resources Law (Annual Meeting), 2016: 803-806.)
- [8] 谭千军, 吴雨珊, 刘卫国, 等. 西南夏大豆种质资源的筛选与鉴定[J]. *大豆科学*, 2015, 34(6): 921-926. (TAN Q J, WU Y S, LIU W G, et al. Screening and identification of summer sowing soybean varieties in southwest China [J]. *Soybean Science*, 2015, 34(6): 921-926.)
- [9] 赵朝森, 王瑞珍, 李英慧, 等. 江西大豆种质资源表型及品质性状综合分析与评价[J]. *大豆科学*, 2019, 38(5): 686-693. (ZHAO C S, WANG R Z, LI Y H, et al. Comprehensive analysis and evaluation of the phenotype and quality traits of Jiangxi soybean germplasm resources [J]. *Soybean Science*, 2019, 38(5): 686-693.)
- [10] 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[J]. *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 [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(3): 665-673.)
- [11] 田中艳, 宗春美, 杨柳, 等. 东北大豆种质群体在大庆的表现及其育种意义[J]. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(4): 694-704. (TIAN Z Y, ZONG C M, YANG L, et al. Performance and breeding potential of the Northeast China soybean germplasm population in Daqing, China [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(4): 694-704.)
- [12] 曾维英, 赖振光, 谭玉荣, 等. 广西地方大豆种质资源的收集与评价鉴定筛选[J]. *大豆科学*, 2021, 40(3): 354-361. (ZENG W Y, LAI Z G, TAN Y R, et al. Collection, evaluation and screening of local soybean germplasm in Guangxi [J]. *Soybean Science*, 2021, 40(3): 354-361.)
- [13] 胡凯凤, 张勇, 董全中, 等. 大豆早熟优异种质资源的耐密性评价[J]. *黑龙江农业科学*, 2020(12): 7-13, 18. (HU K F, ZHANG Y, DONG Q Z, et al. Evaluation on density tolerance of early-maturing superior germplasm resources of soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2020(12): 7-13, 18.)
- [14] 汪桂凤, 钟宣伯, 查霆, 等. 菜用大豆种质资源评价与筛选[J]. *大豆科学*, 2019, 38(2): 169-180. (WANG G F, ZHONG X B, ZHA T, et al. Evaluation and screening of fresh soybean germplasm [J]. *Soybean Science*, 2019, 38(2): 169-180.)
- [15] 胡刘涛, 卢婧妍, 赵洪锟, 等. 东北地区大豆种质资源对大豆白粉病抗性评价[J]. *东北农业科学*, 2021, 46(3): 15-19. (HU L T, LU J Y, ZHAO H K, et al. Evaluation of soybean germplasm from Northeast China for resistance to powdery mildew [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2021, 46(3): 15-19.)
- [16] 王兴荣, 张彦军, 李玥, 等. 干旱胁迫对大豆生长的影响及抗旱性评价方法与指标筛选[J]. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(1): 49-56. (WANG X R, ZHANG Y J, LI Y, et al. Effects of drought stress on growth and screening methods and indexes for drought-resistance in soybean [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(1): 49-56.)
- [17] 王燕平, 任海洋, 孙晓环, 等. 不同基因型大豆花荚期抗旱性综合评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(1): 37-44. (WANG Y P, REN H X, SUN X H, et al. Comprehensive evaluation on drought resistance of different soybean cultivars at flowering-podding stage [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16(1): 37-44.)
- [18] 王兴荣, 刘章雄, 张彦军, 等. 大豆种质资源不同生育时期抗旱性鉴定评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(6): 1582-1594. (WANG X R, LIU Z X, ZHANG Y J, et al. Evaluation on drought resistance of soybean germplasm resources at multiple growth periods [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(6): 1582-1594.)
- [19] 李灿东. 大豆种质资源耐密性评价及鉴定指标筛选[J]. *大豆科学*, 2020, 39(5): 688-695. (LI C D. Evaluation of density-tolerance in soybean germplasm resources and screening of its identification indexes [J]. *Soybean Science*, 2020, 39(5): 688-695.)
- [20] 靳路真, 王洋, 张伟, 等. 大豆品种(系)耐热性鉴定及分级评级[J]. *中国油料作物学报*, 2016, 38(1): 77-87. (JIN L Z, WANG Y, ZHANG W, et al. Grading evaluation on heat-tolerance in soybean and identification of heat-tolerant cultivars [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2016, 38(1): 77-87.)
- [21] 郑莉萍, 张云峰, 蒋洪蔚, 等. 大豆种质资源芽期耐低温综合评价及筛选[J]. *大豆科学*, 2020, 39(6): 833-847. (ZHENG L P, ZHANG Y F, JIANG H W, et al. Comprehensive evaluation and screening on low temperature tolerance of soybean germplasm resources at bud stage [J]. *Soybean Science*, 2020, 39(6): 833-847.)
- [22] 白琼岩. 菜用大豆品种农艺性状遗传多样性特点分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006. (BAI Q Y. Genetic diversity of agronomic characters of vegetable soybean cultivars [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2006.)
- [23] 田艺心, 高会, 汪自强. 菜用大豆生产及产业化前景[J]. *世界农业*, 2008(10): 57-58, 64. (TIAN Y X, GAO H, WANG Z Q. Production and industrialization prospect of vegetable soybean [J]. *World Agriculture*, 2008(10): 57-58, 64.)
- [24] 曾新宇, 孙学映, 宗洪霞, 等. 重庆市鲜食大豆产业发展优势、问题与对策分析[J]. *南方农业*, 2018, 12(1): 41-45. (ZENG X Y, SUN X Y, ZONG H X, et al. Advantages, problems and countermeasures of fresh soybean industry in Chongqing [J]. *South China Agriculture*, 2018, 12(1): 41-45.)
- [25] 曾新宇, 宗洪霞, 张莉, 等. 重庆市菜用大豆高产品种筛选与配套栽培技术[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(3): 91-95. (ZENG X Y, ZONG H X, ZHANG L, et al. Screening and supporting cultivation techniques of high-yield varieties of vegetable soybean in Chongqing city [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(3): 91-95.)

[26] 曾新宇, 傅旭军, 孙学映, 等. 春播鲜食大豆新品种万鲜 1 号选育及关键栽培技术[J]. 大豆科学, 2021, 40(3): 430-432. (ZENG X Y, FU X J, SUN X Y, et al. Breeding and key cultivation technology of a new vegetable soybean variety Wanxian 1 [J]. Soybean Science, 2021, 40(3): 430-432.)

[27] 盖钧镒. 试验统计方法:《田间实验和统计方法》重编版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 111-115. (GAI J Y. Methods of experimental statistics [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 111-115.)

[28] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007. (CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidance on postharvest physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.)

[29] 郭冬生, 彭小兰. 蒽酮比色法和酶水解法两种淀粉测定方法的比较研究[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2007, 19(3): 34-36, 48. (GUO D S, PENG X L. Comparative study on antrone chromametry and enzymatic hydrolysisfor assay starch method [J]. Journal of Hunan University of Arts and Science (Science and Technology), 2007, 19(3): 34-36, 48.)

[30] 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. (YANG T, HUANG Y J, LI S M, et al. Genetic diversity and comprehensive evaluation of phenotypic traits in sea-island cotton germplasm resources [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(12): 2499-2509.)

[31] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 等. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(5): 865-874. (SUN D L, BIAN N F, CHEN Z D, et al. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(5): 865-874.)

[32] 孙珍珠, 李秋月, 王小柯, 等. 宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(22): 4362-4383. (SUN Z Z, LI Q Y, WANG X K, et al. Comprehensive evaluation and phenotypic diversity analysis of germplasm resources in mandarin [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(22): 4362-4383.)

[33] 纪龙, 申红芳, 徐春春, 等. 基于非线性主成分分析的绿色超级稻品种综合评价[J]. 作物学报, 2019, 45(7): 982-992. (JI L, SHEN H F, XU C C, et al. Comprehensive evaluation of green super rice varieties based on nonlinear principal component analysis [J]. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(7): 982-992.)

[34] 李慧琴, 于娅, 王鹏, 等. 270 份陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 903-910. (LI H Q, YU Y, WANG P, et al. Genetic diversity analysis of the main agronomic and fiber quality characteristics in 270 upland cotton germplasm resources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(4): 903-910.)

[35] 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. (XU Z J, QI Y J, XING X H, et al. Analysis and evaluation of agronomic and quality traits in soybean germplasms from Huang-Huai-Hai region [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(2): 468-479.)

[36] 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. Genetic diversity analysis of agronomic traits of fresh soybean germplasm resources [J]. South China Agriculture, 2019, 13(29): 177-179, 182.)

[37] 季彪俊. 田间试验的 SPSS 统计分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014. (JI B J. SPSS statistical analysis of field experiment [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.)

[38] 李艳花, 杜成章, 陈红, 等. 重庆大豆地方资源多样性评价及群体表型特点研究[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6): 1025-1030. (LI Y H, DU C Z, CHEN H, et al. Study of genetic diversity and population morphological characteristics of soybean landraces in Chongqing [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(6): 1025-1030.)

[39] 张秋英, 李彦生, 王国栋, 等. 菜用大豆品质及其影响因素研究进展[J]. 大豆科学, 2010, 29(6): 1065-1070. (ZHANG Q Y, LI Y S, WANG G D, et al. Quality and factors involved in vegetable soybean production [J]. Soybean Science, 2010, 29(6): 1065-1070.)

[40] 李之国, 张彩英, 常文锁. 不同来源菜用大豆的品质研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 183-187. (LI Z G, ZHANG C Y, CHANG W S. Study on quality properties in vegetable soybeans of various sources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(2): 183-187.)

[41] 李彦生, 南海洋, 杜明, 等. 菜用大豆籽粒不同部位蔗糖积累及关键酶活性研究[J]. 作物学报, 2013, 39: 2099-2105. (LI Y S, NAN H Y, DU M, et al. Sucrose accumulation and key enzyme activities in different parts of vegetable soybean seeds [J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39: 2099-2105.)

[42] 王素, 徐兆生, 魏民. 菜用大豆种质资源园艺性状鉴定和优异资源筛选[J]. 作物品种资源, 1996(2): 14-16. (WANG S, XU Z S, WEI M. Identification of horticultural traits of vegetable soybean germplasm resources and screening of excellent resources [J]. Crop Variety Resources, 1996, (2): 14-16.)

[43] 胡标林, 万勇, 李霞, 等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839. (HU B L, WAN Y, LI X, et al. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment [J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(5): 829-839.)

[44] 代攀虹, 孙君灵, 何守朴, 等. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3694-3708. (DAI P H, SUN J L, HE S P, et al. Comprehensive evaluation and genetic diversity analysis of phenotypic traits of core collection in upland cotton [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(19): 3694-3708.)

[45] 葛平珍, 王昭礼, 余莉, 等. 粒用菜豆种质资源表型遗传多样性分析及综合性评价[J]. 西南农业学报, 2021, 34(7): 1386-1394. (GE P Z, WANG Z L, YU L, et al. Phenotypic genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of dry bean germplasm [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(7): 1386-1394.)

[46] 傅旭军, 杨清华, 袁凤杰, 等. 浙鲜 9 号的航天选育与特征特性分析[J]. 核农学报, 2019, 33(5): 841-847. (FU X J, YANG Q H, YUAN F J, et al. Breeding of Zhexian No. 9 by space mutation and variation analysis of its characters [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(5): 841-847.)