

林文磊, 吕美琴, 李明松, 等. 47 份福建省鲜食春大豆种质资源的遗传分析及综合评价 [J]. 福建农业学报, 2024, 39 (3): 276–289.

LIN W L, LV M Q, LI M S, et al. Genetics and Quality of Germplasms of Spring Soybeans for Fresh Consumption [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 39 (3): 276–289.

## 47 份福建省鲜食春大豆种质资源的遗传分析及综合评价

林文磊, 吕美琴, 李明松, 施迎迎, 康蓉蓉, 曾红英

(泉州市农业科学研究所, 福建 泉州 362212)

**摘要:**【目的】为更好地利用鲜食春大豆种质资源, 筛选优良品种(系)应用于福建省鲜食大豆育种和生产上。

【方法】对 47 份鲜食春大豆种质资源的 7 个表型性状进行描述统计, 对 13 个主要农艺性状进行变异分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析, 并进行综合评价。【结果】描述统计结果表明, 除了株型和结荚习性的表现一致外, 其他表型性状存在差异。变异分析结果表明, 13 个主要农艺性状间存在丰富的变异, 变异系数范围为 7.49%~38.07%, 底荚高度的变异系数最大, 标准荚长的变异系数最小。相关性分析结果表明, 株高与底荚高度、有效分枝数、单株荚重、标准荚产量均呈极显著正相关; 茎粗与单株荚重、标准荚产量、有效分枝数均呈极显著正相关, 有效分枝数与单株荚重、标准荚产量、鲜荚产量均呈极显著正相关; 单株有效荚数、单株标准荚数均与单株荚重呈极显著正相关, 单株荚重与标准荚产量、鲜荚产量均呈极显著正相关。凯撒正态化最大方差法旋转主成分分析结果表明, 可用荚产量因子、荚数因子、株型因子、荚形因子等 4 个主因子描述 13 个主要农艺性状 73.677% 的信息量; 根据主因子特征向量及其对应特征根计算各品种的综合主成分得分, 用离差平方和系统聚类分析方法分别基于综合主成分得分和 13 个主要农艺性状标准化数据测定 47 份种质的欧氏距离, 前者将参试材料分成 2 个大类 2 个亚类, 后者将参试材料分成 3 个大类 2 个亚类, 两种聚类分析方法结果基本一致; 将综合主成分得分前 10 名的种质与其标准荚产量、鲜荚产量进行综合分析, 鉴定得到南农 1821、闽豆 14、兴化豆 8 号、兴化豆 618、闽豆 10 号、兴化豆 9 号、兴化豆 4 号、兴化豆 3 号等 8 份综合性状优良且高产的优质鲜食春大豆种质资源。【结论】47 份鲜食春大豆具有较高的遗传多样性, 筛选出的 8 份优异的鲜食春大豆种质资源可为鲜食春大豆育种提供优良的亲本或中间材料。

**关键词:** 鲜食春大豆; 表型鉴定; 遗传分析; 综合评价

中图分类号: S565.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2024) 03-0276-14

### Genetics and Quality of Germplasms of Spring Soybeans for Fresh Consumption

LIN Wenlei, LV Meiqin, LI Mingsong, SHI Yingying, KANG Rongrong, ZENG Hongying

(Quanzhou Institute of Agricultural Sciences, Quanzhou, Fujian 362212, China)

**Abstract:** 【Objective】Genetics and quality of a variety of germplasms of spring soybeans for fresh consumption were studied and evaluated for breeding and production in Fujian province. 【Method】Descriptive statistics and analyses of variation, correlation, principal components, and clustering were applied to study the genetics of 47 germplasms. Seven phenotypic and 13 agronomic traits were selected to evaluate the quality of the spring soybeans for fresh consumption.

【Result】Aside from plant type and podding habit, phenotypic traits differentiated significantly among the 47 germplasms. There were distinctive differences on 13 agronomic traits with variation coefficients ranging from 7.49% to 38.07%. Among them, the coefficient on the bottom pod height was the largest and that on the standard pod length the smallest. Significant correlations were found between (1) plant height and bottom pod height, number of effective branches, pod weight per plant, and standard pod yield, (2) stem girth and pod weight per plant, standard pod yield, and number of effective branches, (3) count of effective branches and pod weight per plant, standard pod yield, and fresh pod yield, (4) effective and standard pod counts

收稿日期: 2023-07-10 修回日期: 2024-01-15

作者简介: 林文磊 (1990—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事大豆品种选育与推广应用研究, E-mail: lwlskydy@126.com

基金项目: 福建省星火科技计划项目 (2020S0030)

per plant and pod weight per plant, and (5) pod weight per plant and standard and fresh pod yields. The CASAR normalized maximum variance rotational principal component analysis indicated that the 13 agronomic traits provided 73.677% information describing 4 major factors on pod yield, pod number, plant type, and pod shape of the plants. Based on the principal factor characteristic vector and corresponding characteristic root and the comprehensive principal component score on each of and the Euclidean distances among the 47 germplasms calculated from the standardized data on 13 agronomic traits, the method of the sum of squared deviations divided the 47 germplasms into 2 major categories and 2 sub-categories, whereas the cluster analysis classified them into 3 major categories and 2 sub-categories. The two methods drew a generally agreeable conclusion. Based on the scores of top 10 principal components, standard pod yield, and fresh pod yield of the cultivars, Nannong 1821, Mindou No. 14, Xinghuadou No. 8, Xinghua 618, Mindou No. 10, Xinghuadou No. 9, Xinghuadou No. 4, and Xinghuadou No. 3 were the choice high-quality, high-yield germplasms of spring soybeans for fresh consumption.

【Conclusion】Of 47 spring soybean germplasms, 8 stood out as the most desirable cultivars for fresh consumption. They were also highly diversified genetically for being used as parents or intermediate materials in breeding new varieties.

**Key words:** Spring soybean for fresh consumption; phenotypic analysis; genetic analysis; comprehensive evaluation

## 0 引言

【研究意义】鲜食大豆属豆科, 大豆属, 栽培大豆种 [*Glycine max* (L.) Merr.], 又称菜用大豆、毛豆、枝豆等<sup>[1-2]</sup>, 通常是指在大豆 R6 (鼓粒期) ~ R7 (成熟初期), 豆荚鼓粒饱满、荚色和籽粒均呈翠绿色, 在籽粒未达到完全成熟、籽粒填充达到标准荚长的 80%~90% 时采青剥仁的一种特用大豆的总称<sup>[3-4]</sup>。菜用大豆既是我国南方传统特色蔬菜, 也是我国出口创汇蔬菜<sup>[5]</sup>, 它富含植物蛋白质、不饱和脂肪酸、各种矿物质、维生素、植物粗纤维及植物雌激素等多种营养物质, 广受人们的喜爱, 已成为闽南地区的一道餐前零食<sup>[6-7]</sup>。目前, 福建省在生产上应用的品种仍然是以台湾引进种为主, 这些品种存在种性易退化、种子成本高、适应范围小等缺点<sup>[8]</sup>。对鲜食大豆种质资源的遗传多样性进行研究, 挖掘可利用的优异种质, 加快选育适宜我省气候条件种植的优质高产鲜食大豆新品种以满足生产上的需求, 对缓解当前我省鲜食大豆的供需矛盾具有重要意义。【前人研究进展】主成分分析<sup>[9-11]</sup>、聚类分析<sup>[12-13]</sup>、相关性分析<sup>[14-16]</sup>、通径分析<sup>[17-19]</sup>、灰色关联度分析<sup>[20-23]</sup>等研究方法已被广泛应用在大豆种质资源的多样性、抗逆性等研究及种质评价上。李炜等<sup>[24]</sup>利用主成分分析方法用 3 个指标描述了 9 个农艺性状 73% 的信息量。林文磊等<sup>[25]</sup>利用主成分分析方法用 2 个主因子描述了 7 个农艺性状 64.246% 的信息量, 并基于主成分得分将 39 份春大豆种质资源聚类成 3 个大类 2 个亚类; 刘迎春等<sup>[26]</sup>利用主成分分析方法用 3 个指标描述了 9 个农艺性状 83.159% 的信息量, 并将 20 份大豆品种聚类为 4 个大类。杜世坤等<sup>[27]</sup>利用主成分分析方法用 5 个新指标描述了 8 个农艺性状及 2 个品质性状 85.24% 的信息量, 并将

38 份大豆材料聚类成 4 个大类。【本研究切入点】目前, 针对鲜食春大豆的遗传多样性研究已有报道, 但这些报道也仅是对农艺性状进行多样性分析、主成分分析和聚类分析, 基于农艺性状及产量性状的综合评价的研究鲜见报道。【拟解决的关键问题】本研究通过描述统计、变异分析、相关性分析、主成分分析及聚类分析等多元数据分析方法, 对 47 份鲜食春大豆种质资源的 7 个表现型性状和 13 个主要农艺性状进行综合分析, 分别基于综合主成分得分值和农艺性状标准化数据进行系统聚类分析, 对两种聚类分析方法的结果进行比较分析, 并对聚类得到的每个类群的资源进行综合评价。以综合主成分得分值排名前 10 位、鲜荚产量与标准荚产量增幅均为正作为标准挖掘综合性状优良且高产的鲜食春大豆种质, 旨在为培育优质鲜食春大豆新品种提供育种亲本材料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

田间试验以多年来福建省鲜食春大豆区域试验中参试的 47 份种质资源为材料, 对照为毛豆 3 号 (编号 47), 材料名称及其来源如表 1 所示。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验设计

本试验于 2021 年 3 月和 2022 年 3 月在泉州市农业科学研究所紫帽试验基地 (24°53'N, 118°29'E) 进行, 采用随机区组试验设计, 3 次重复, 每个小区 2 行, 行长 6.7 m, 行距 0.5 m, 株距 0.18 m, 小区面积 6.7 m<sup>2</sup>, 双行穴播, 每穴播种 3 粒, 出苗后 20 d 定苗, 每穴留苗 2 株。试验地四周分别设不少于 2 m 宽的保护行, 保护行采用同品种延伸方式种植。治虫不治病, 其他田间管理同大田。

表 1 47 份鲜食春大豆种质资源名称及来源  
Table 1 Names and sources of 47 spring soybean germplasms

| 编号<br>No. | 资源名称<br>Name of resources | 来源<br>Source                                                     | 编号<br>No. | 资源名称<br>Name of resources | 来源<br>Source                                   |
|-----------|---------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------------------|
| 1         | 沪鲜6号<br>Huxian 6          | 台湾88/青酥1号<br>Taiwan 88/Qingsu 1                                  | 25        | 苏成3号<br>Sucheng 3         | 辽鲜3号/日本青3号<br>Liaoxian 3/Ribenqing 3           |
| 2         | 交大23号<br>Jiaoda 23        | 晋豆39/交大09-3<br>Jindou 39/Jiaoda 09-3                             | 26        | 苏成7号<br>Sucheng 7         | 台湾75/LR8517<br>Taiwan 75/LR8517                |
| 3         | 交大29<br>Jiaoda 29         | 沪鲜6号/交大10-332<br>Huxian 6/Jiaoda 10-332                          | 27        | 苏成闽1号<br>Suchengmin 1     | 高雄6号/开95036<br>Gaoxiong 6/Kai 9506             |
| 4         | 交大32<br>Jiaoda 32         | 东农49/交大133<br>Dongnong 49/Jiaoda 133                             | 28        | 苏成闽2号<br>Suchengmin 2     | 台湾75/开95036<br>Taiwan 75/Kai 95036             |
| 5         | 交大35<br>Jiaoda 35         | 辽00136/晋豆39<br>Liao 00136/Jindou 39                              | 29        | 苏奎2号<br>Sukui No.2        | 辽鲜1号/早生白鸟<br>Liaoxian 1/Zaoshengbainiao        |
| 6         | 交大37<br>Jiaoda 37         | 交大09-5/浙鲜89010<br>Jiaoda 09-5/Zhexian 89010                      | 30        | 苏奎3号<br>Sukui No.3        | 0118-1-1-2/辽鲜1号<br>0118-1-1-2/Liaoxian 1       |
| 7         | 交大127<br>Jiaoda 127       | (2676×2698) F1/ (2679×2680) F1<br>(2676×2698) F1/ (2679×2680) F1 | 31        | 苏奎6号<br>Sukui No.6        | 辽鲜1号/日本晴3号<br>Liaoxian 1/Ribenqing 3           |
| 8         | 交大957<br>Jiaoda 957       | 交大02-89/交大05-133<br>Jiaoda 02-89/Jiaoda 05-133                   | 32        | 苏奎7号<br>Sukui No.7        | 辽鲜1号/95-1-3<br>Liaoxian 1/95-1-3               |
| 9         | 闽豆7号<br>Mindou No.7       | 抚鲜5号/云豆9号<br>Fuxian 5/Yundou 9                                   | 33        | 苏闽鲜1号<br>Suminxian 1      | 南农06C-1/南农12-1<br>Nannong 06C-1/Nannong 12-1   |
| 10        | 闽豆8号<br>Mindou No.8       | 福豆234/AGS452<br>Fudou 234/AGS452                                 | 34        | 兴化豆1号<br>Xinghuadou No.1  | 浙98002/浙88005-7<br>Zhe 98002/Zhe 88005-7       |
| 11        | 闽豆9号<br>Mindou No.9       | 闽豆6号/08B4-1<br>Mindou 6/08B4-1                                   | 35        | 兴化豆2号<br>Xinghuadou No.2  | 闽豆1711/闽豆06B12-1<br>Mindou 1711/Mindou 06B12-1 |
| 12        | 闽豆10号<br>Mindou No.10     | 抚鲜5号/K丰72-2<br>Fuxian 5/K Feng 72-2                              | 36        | 兴化豆3号<br>Xinghuadou No.3  | 闽豆1711/闽豆06B12-1<br>Mindou 1711/Mindou 06B12-1 |
| 13        | 闽豆11号<br>Mindou No.11     | AGS454/丹波黑<br>AGS454/Danbohei                                    | 37        | 兴化豆4号<br>Xinghuadou No.4  | H0427-82/沪选26-19<br>H0427-82/Huxuan 26-19      |
| 14        | 闽豆12号<br>Mindou No.12     | 浙鲜3号/K丰72-1<br>Zhexian 3/K Feng 72-1                             | 38        | 兴化豆5号<br>Xinghuadou No.5  | 浙98002/毛豆389<br>Zhe 98002/Maodou 389           |
| 15        | 闽豆13号<br>Mindou No.13     | 浙鲜12号/交大18<br>Zhexian 12/Jiaoda 18                               | 39        | 兴化豆6号<br>Xinghuadou No.6  | 浙鲜豆2号/沪选26-19<br>Zhexiandou No.2/Huxuan 26-19  |
| 16        | 闽豆14号<br>Mindou 14        | 沪选23-9/毛豆292<br>Huxuan 23-9/Maodou 292                           | 40        | 兴化豆8号<br>Xinghuadou No.8  | 闽豆06B12-1/闽豆1711<br>Mindou 06B12-1/Mindou 1711 |
| 17        | 闽豆15号<br>Mindou 15        | 首豆38号/辽06M19<br>Shoudou 38/Liao 06M19                            | 41        | 兴化豆9号<br>Xinghuadou No.9  | 闽豆06B12-1/H0427-82<br>Mindou 06B12-1/H0427-82  |
| 18        | 闽豆16号<br>Mindou 16        | 浙农6号/K丰7-2<br>Zhenong 6/K Feng 7-2                               | 42        | 兴化豆614<br>Xinghuadou 614  | 浙98002/毛豆389<br>Zhe 98002/Maodou 389           |
| 19        | 南农15-2<br>Nannong 15-2    | 南农X54022/南农X6530<br>Nannong X54022/Nannong X6530                 | 43        | 兴化豆618<br>Xinghuadou 618  | 浙98002/毛豆389<br>Zhe 98002/Maodou 389           |
| 20        | 南农1821<br>Nannong 1821    | 小寒王/海选大豆<br>Xiaohanwang/Haixuandahuangdou                        | 44        | 兴化豆713<br>Xinghuadou 713  | 浙鲜豆2号/沪选26-19<br>Zhexiandou No.2/Huxuan 26-19  |
| 21        | 南农88026<br>Nannong 88026  | 丹波黑诱变选育<br>Mutation Breeding of Danbohei                         | 45        | 早熟王<br>Zaoshuwang         | 极早生/H75801系选<br>Jizaosheng/H75801 Xixuan       |
| 22        | 南农NF19<br>Nannong NF19    | 90C00-1/95C-13<br>90C00-1/95C-13                                 | 46        | 浙鲜1027<br>Zhexian 1027    | 品系H0427/浙鲜豆4号<br>Pinxi H0427/Zhexiandou 4      |
| 23        | 衢春豆1号<br>Quchundou 1      | 浙农6号/沈鲜3号<br>Zhenong 6/Shenxian 3                                | 47        | 毛豆3号<br>Maodou 3          | 从台湾引进<br>Imported from Taiwan                  |
| 24        | 苏成2号<br>Sucheng 2         | 辽鲜3号/苏豆10号<br>Liaoxian 3/Sudou 10                                |           |                           |                                                |

1.2.2 性状调查与考种

田间性状调查参照福建省鲜食春大豆区域试验记载标准进行，在大豆整个生育期内考察 47 份参试材料的叶形、叶色、幼茎颜色、花色、茸毛色、株型、结荚习性等 7 个描述型表型性状。成熟后，选取连续的 10 株连根拔起带回室内进行考种，以株高、底荚高度、茎粗、有效分枝数、标准荚长、标准荚宽、单株有效荚数、单株标准荚数、单株荚重、鲜百粒重、标准荚产量、鲜荚产量、采收日数等 13 个数值型性状作为鲜食春大豆种质资源主要农艺性状进行分析。各农艺性状指标代号及名称见表 2。

1.2.3 数据处理

上述 13 个主要农艺性状指标数据用 Excel 2013 进行整理，原始数据按公式（1）进行标准化处理，得到 13 组新的标准化数据  $zx_1 \sim zx_{13}$ ；再将 13 个性状旋转后的因子特征向量分别与相对应的标准化数据相乘再求和，得到 4 个主成分函数  $F_1 \sim F_4$  [公式（2）~公式（5）]；以每个主成分特征值占提取的 4 个主成分特征值总和的比例作为权重分别与相对应的标准化数据相乘再求和，得到综合主成分函数  $F$  [公式（6）]。

用 SPSS 26.0 进行相关性、主成分和聚类分析，并计算各个材料的主成分得分值和综合主成分值，

表 2 13 个主要农艺性状指标代号及名称  
Table 2 Codes and names of 13 major agronomic indicators

| 代号<br>No.      | 性状名称<br>Name of characteristic            | 代号<br>No.       | 性状名称<br>Name of characteristic           |
|----------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|
| X <sub>1</sub> | 株高 Plant height                           | X <sub>8</sub>  | 单株标准荚数 Number of standard pods per plant |
| X <sub>2</sub> | 底荚高度 Bottom pod height                    | X <sub>9</sub>  | 单株荚重 Pods weight per plant               |
| X <sub>3</sub> | 茎粗 Stem diameter                          | X <sub>10</sub> | 鲜百粒重 100-seed fresh weight               |
| X <sub>4</sub> | 有效分枝数 Number of effective branches        | X <sub>11</sub> | 标准荚产量 Standard pods yield                |
| X <sub>5</sub> | 标准荚长 Standar pod length                   | X <sub>12</sub> | 鲜荚产量 Fresh pods yield                    |
| X <sub>6</sub> | 标准荚宽 Standar pod width                    | X <sub>13</sub> | 采收日数 Days of harvesting                  |
| X <sub>7</sub> | 单株有效荚数 Number of effective pods per plant |                 |                                          |

采用离差平方和法系统聚类分析方法分别基于综合主成分值和 13 个主要农艺性状标准化数据计算 47 份参试材料的欧氏距离，绘制系统聚类树状图。

$$ZX = \frac{X - \bar{X}}{SD} \tag{1}$$

$$F1 = 0.164ZX_1 + 0.094ZX_2 + 0.225ZX_3 + 0.356ZX_4 + 0.183ZX_5 + 0.141ZX_6 + 0.108ZX_7 + 0.010ZX_8 + 0.396ZX_9 - 0.152ZX_{10} + 0.497ZX_{11} + 0.530ZX_{12} + 0.121ZX_{13} \tag{2}$$

$$F2 = 0.118ZX_1 + 0.075ZX_2 + 0.253ZX_3 + 0.133ZX_4 + 0.028ZX_5 - 0.005ZX_6 + 0.582ZX_7 + 0.577ZX_8 + 0.258ZX_9 - 0.023ZX_{10} + 0.063ZX_{11} + 0.031ZX_{12} + 0.393ZX_{13} \tag{3}$$

$$F3 = 0.568ZX_1 + 0.618ZX_2 + 0.109ZX_3 + 0.271ZX_4 - 0.006ZX_5 - 0.202ZX_6 + 0.031ZX_7 + 0.082ZX_8 + 0.172ZX_9 + 0.082ZX_{10} + 0.161ZX_{11} + 0.027ZX_{12} + 0.314ZX_{13} \tag{4}$$

$$F4 = 0.034ZX_1 - 0.087ZX_2 + 0.203ZX_3 - 0.208ZX_4 + 0.538ZX_5 + 0.426ZX_6 - 0.057ZX_7 - 0.075ZX_8 + 0.187ZX_9 + 0.594ZX_{10} + 0.094ZX_{11} + 0.068ZX_{12} + 0.163ZX_{13} \tag{5}$$

$$F = 0.221ZX_1 + 0.177ZX_2 + 0.202ZX_3 + 0.173ZX_4 + 0.161ZX_5 + 0.074ZX_6 + 0.191ZX_7 + 0.166ZX_8 + 0.269ZX_9 + 0.072ZX_{10} + 0.228ZX_{11} + 0.194ZX_{12} + 0.248ZX_{13} \tag{6}$$

2 结果与分析

2.1 鲜食春大豆种质资源表型性状表现分析

7 个表型性状记载统计结果如表 3 所示，47 份参试材料的株型、结荚习性表现一致，均为收敛型、

有限结荚习性；叶形分为椭圆形和卵圆形，其中卵圆形有 2 份，其余均为椭圆形；叶色分为淡绿色、绿色和浓绿色，其中淡绿色有 3 份，浓绿色有 2 份，其余均为绿色；幼茎颜色分为绿色和紫色，其中紫色有 10 份，其余均为绿色；花色分为紫色和白色，其中紫色有 15 份，其余均为白色；茸毛色分为白色和灰色，其中白色有 14 份，其余均为灰色。由此可见，47 份参试材料在表型性状上存在着丰富的差异。

2.2 鲜食春大豆种质资源主要农艺性状变异分析

由表 4 可知，47 份材料的 13 个主要农艺性状存在着丰富的变异，其中，底荚高度的变异系数最大，为 38.07%，其次为有效分枝数（37.49%）、株高（29.12%）、单株荚重（25.03%）、单株标准荚数（22.57%）、单株有效荚数（20.38%）、鲜荚产量（18.96%）、标注荚产量（18.61%）、茎粗（17.17%）、标准荚宽（10.55%）、鲜百粒重（9.58%）、采收日数（8.80%），标准荚长的变异系数最小，为 7.49%，这说明，47 份参试材料在 13 个主要农艺性状表现上也存在巨大差异，且差异主要是由底荚高度、有效分枝数、株高和单株荚重等引起的。

2.3 鲜食春大豆种质资源主要农艺性状相关性分析

对 47 份参试材料的 13 个主要农艺性状进行皮尔逊双尾相关性分析，结果如表 5 所示，由表可知，13 个主要农艺性状间存在复杂的相关性。

株高与底荚高度、有效分枝数、单株荚重、标准荚产量均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.839、0.440、0.458、0.396，与茎粗、单株有效荚数、单株标准荚数、鲜荚产量均呈显著正相关，由此可见，株高不仅对鲜食大豆的株型有影响，同时对产量也有显著或极显著的影响；茎粗与有效分枝数、单株荚重、标准荚产量均呈极显著正相关，相

表 3 47 份鲜食春大豆种质资源 7 个表型性状表现  
Table 3 Seven phenotypic traits of 47 spring soybean germplasms

| 编号<br>No. | 叶形<br>Leaf shape | 叶色<br>Leaf colour | 幼茎颜色<br>Young stem colour | 花色<br>Flower colour | 茸毛色<br>Pubescence colour | 株型<br>Plant type | 结荚习性<br>Podding habit |
|-----------|------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|
| 1         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 2         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 3         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 4         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 5         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 6         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 7         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 8         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 9         | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 10        | 椭圆形 Oval         | 淡绿色 Light green   | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 11        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 12        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 13        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 14        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 15        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 16        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 17        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 18        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 紫色 Purple           | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 19        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 20        | 卵圆形 Ovate        | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 21        | 卵圆形 Ovate        | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 22        | 椭圆形 Oval         | 浓绿色 Light green   | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 23        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 紫色 Purple           | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 24        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 25        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 26        | 椭圆形 Oval         | 淡绿色 Light green   | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 27        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 28        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 29        | 椭圆形 Oval         | 浓绿色 Dense green   | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 30        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 31        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 32        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 33        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 34        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 35        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 36        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |

续上表

| 编号<br>No. | 叶形<br>Leaf shape | 叶色<br>Leaf colour | 幼茎颜色<br>Young stem colour | 花色<br>Flower colour | 茸毛色<br>Pubescence colour | 株型<br>Plant type | 结荚习性<br>Podding habit |
|-----------|------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|
| 37        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 38        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 39        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 40        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 白色 White                 | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 41        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 42        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 43        | 椭圆形 Oval         | 淡绿色 Light green   | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 44        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 紫色 Purple                 | 紫色 Purple           | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 45        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 46        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |
| 47        | 椭圆形 Oval         | 绿色 Green          | 绿色 Green                  | 白色 White            | 灰色 Gray                  | 收敛 Convergence   | 有限 Limited            |

表 4 47 份鲜食春大豆种质资源 13 个主要农艺性状数据的统计分析  
Table 4 Statistical analysis on 13 agronomic traits of 47 spring soybean germplasms

| 性状<br>Trait    | 变异幅度<br>Range  | 均值<br>Mean | 标准偏差<br>SD | 变异系数<br>CV / % | 性状<br>Trait     | 变异幅度<br>Range                        | 均值<br>Mean                  | 标准偏差<br>SD                  | 变异系数<br>CV / % |
|----------------|----------------|------------|------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| X <sub>1</sub> | 15.67~55.67 cm | 29.25 cm   | 8.52 cm    | 29.12          | X <sub>8</sub>  | 6.96~23.96 个                         | 16.78 个                     | 3.79 个                      | 22.57          |
| X <sub>2</sub> | 3.00~15.00 cm  | 6.57 cm    | 2.50 cm    | 38.07          | X <sub>9</sub>  | 32.00~91.02 g                        | 54.79 g                     | 13.72 g                     | 25.03          |
| X <sub>3</sub> | 0.32~0.96 cm   | 0.72 cm    | 0.12 cm    | 17.17          | X <sub>10</sub> | 63.40~97.80 g                        | 81.07 g                     | 7.77 g                      | 9.58           |
| X <sub>4</sub> | 0.60~4.60 个    | 2.47 个     | 0.93 个     | 37.49          | X <sub>11</sub> | 4299.94~10099.50 kg·hm <sup>-2</sup> | 7202.76 kg·hm <sup>-2</sup> | 1340.41 kg·hm <sup>-2</sup> | 18.61          |
| X <sub>5</sub> | 4.90~6.61 cm   | 5.67 cm    | 0.42 cm    | 7.49           | X <sub>12</sub> | 6184.72~13666.25 kg·hm <sup>-2</sup> | 9985.40 kg·hm <sup>-2</sup> | 1893.09 kg·hm <sup>-2</sup> | 18.96          |
| X <sub>6</sub> | 1.20~2.20 cm   | 1.40 cm    | 0.15 cm    | 10.55          | X <sub>13</sub> | 65.00~102.00 d                       | 80.29 d                     | 7.06 d                      | 8.80           |
| X <sub>7</sub> | 13.09~32.50 个  | 22.23 个    | 4.53 个     | 20.38          |                 |                                      |                             |                             |                |

关系数分别为 0.382、0.405、0.406，与单株有效荚数、鲜荚产量均呈显著正相关，茎粗与大豆的抗倒伏能力及产量紧密相关，倒伏会造成大豆减产甚至绝收，茎秆粗壮的植株抗倒伏能力更强，也更容易获得高产。

有效分枝数不仅是一个表现大豆植株株型的性状，同时也是一个大豆产量性状。由表可知，有效分枝数与单株荚重、标准荚产量、鲜荚产量均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.548、0.559、0.435，与单株有效荚数呈显著正相关，这说明，有效分枝数对大豆植株的株型和产量均有显著或极显著的正面影响。单株有效荚数、单株标准荚数与单株荚重均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.535、0.390；单株荚重与标准荚产量、鲜荚产量均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.721、0.678。这说明，大豆单株产量对大豆群体产量也会产生显著或极显著的正面影响。

综上所述，在育种上，选择植株高、茎秆粗壮、有效分枝数多、单株有效荚数多、单株标准荚数多的资源作为亲本材料配置杂交组合，有利于选育出高产的鲜食春大豆新品种（系）。

**2.4 鲜食春大豆种质资源基于主要农艺性状的主成分分析及其综合评价**

**2.4.1 主成分分析**

对 47 份参试材料 13 个主要农艺性状指标进行因子分析，由表 6 球形度检验以及上述的相关性分析可知，13 个主要农艺性状指标间存在着复杂的相关性，且某些性状间的相关性达到显著或极显著水平，存在着信息重叠，适宜作因子分析。

采用凯撒正态化最大方差法旋转做主成分分析，结果如表 7 和表 8 所示。获得 4 个特征值大于 1 的主成分因子，这说明 47 份参试材料 13 个农艺性状信息主要集中在前 4 个主成分因子中，将原来的 13 个农艺性状指标转化为 4 个新指标，分别命名为

表 5 13 个主要农艺性状的相关系数矩阵  
Table 5 Correlation coefficient matrix on 13 agronomic traits

| 性状 Trait        | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> | X <sub>11</sub> | X <sub>12</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| X <sub>2</sub>  | 0.839**        |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |
| X <sub>3</sub>  | 0.349*         | 0.185          |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |
| X <sub>4</sub>  | 0.440**        | 0.505**        | 0.382**        |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |
| X <sub>5</sub>  | 0.169          | 0.020          | 0.174          | -0.037         |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |
| X <sub>6</sub>  | -0.069         | -0.170         | 0.285          | -0.048         | 0.349*         |                |                |                |                |                 |                 |                 |
| X <sub>7</sub>  | 0.308*         | 0.201          | 0.364*         | 0.357*         | 0.067          | -0.031         |                |                |                |                 |                 |                 |
| X <sub>8</sub>  | 0.306*         | 0.295*         | 0.252          | 0.233          | 0.077          | -0.100         | 0.912**        |                |                |                 |                 |                 |
| X <sub>9</sub>  | 0.458**        | 0.336*         | 0.405**        | 0.548**        | 0.370*         | 0.109          | 0.535**        | 0.390**        |                |                 |                 |                 |
| X <sub>10</sub> | -0.050         | -0.106         | 0.031          | -0.233         | 0.303*         | 0.144          | -0.095         | -0.121         | 0.130          |                 |                 |                 |
| X <sub>11</sub> | 0.396**        | 0.349*         | 0.406**        | 0.559**        | 0.267          | 0.119          | 0.259          | 0.143          | 0.721**        | 0.011           |                 |                 |
| X <sub>12</sub> | 0.364*         | 0.164          | 0.289*         | 0.435**        | 0.414**        | 0.144          | 0.243          | 0.110          | 0.678**        | -0.148          | 0.825**         |                 |
| X <sub>13</sub> | 0.495**        | 0.462**        | 0.520**        | 0.391**        | 0.156          | 0.021          | 0.557**        | 0.546**        | 0.556**        | 0.115           | 0.422**         | 0.245           |

\*和\*\*分别表示在0.05和0.01水平显著相关（双尾）。  
\* and \*\* indicate significant differences at 0.05 and 0.01 level, respectively (double tails).

表 6 KMO 和巴特利特的球形度检验  
Table 6 KMO and Bartlett's sphericity tests

| KMO 取样适切性量数<br>KMO sampling suitability quantity | 巴特利特球形度检验<br>Bartlett's sphericity test |                             |                     |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------------|
|                                                  | 近似卡方<br>Approximate<br>chi-square       | 自由度<br>Degree of<br>freedom | 显著性<br>Significance |
| 0.616                                            | 398.423                                 | 78                          | 0.000               |

PCF<sub>1</sub>~PCF<sub>4</sub>，4 个新的指标反映了原始 13 个性状指标 73.677% 的信息量，PCF<sub>1</sub> 的特征值和方差贡献率最大，分别为 3.012 和 23.168%，PCF<sub>2</sub>~PCF<sub>4</sub> 的特征值分别为 2.626、2.204、1.736，方差贡献率分别为 20.198%、16.958%、13.353%。将主成分 PCF<sub>1</sub>~PCF<sub>4</sub> 作为评价这 47 份鲜食春大豆种质资源的综合指标。

由表 8 可知，主成分 PCF<sub>1</sub> 主要由因子载荷分别为 0.919、0.863、0.687 的鲜荚产量、标准荚产量、单株荚重构成，鲜荚产量、标准荚产量和单株荚重主要与鲜食大豆荚产量有关，称为荚产量因子；主成分 PCF<sub>2</sub> 主要由因子载荷分别为 0.944、0.934、0.636 的单株有效荚数、单株标准荚数、采收日数构成，单株有效荚数、单株标准荚数主要与单株荚数量有关，称为荚数因子；主成分 PCF<sub>3</sub> 主要由因子载荷分别为 0.918、0.843、0.467、0.402 的底荚高度、株高、采收日数、有效分枝数构成，底荚高度、株高、有效分枝数主要与大豆株型有关，称为株型因子；主成分 PCF<sub>4</sub> 主要由因子载荷分别为 0.782、0.708、0.561 的鲜百粒重、标准荚长、标准荚宽构成，标准荚长、标准荚宽主要与荚的大小有关，称为荚形因子。综上所述，可将 47 份参试材料的 13 个

主要农艺性状分成 4 个主因子，4 个主因子对鲜食春大豆主要农艺性状的贡献率由大到小依次为荚产量因子 > 荚数因子 > 株型因子 > 荚形因子，因此，在育种上利用这 47 份材料时，应该将荚产量因子、荚数因子作为首选条件进行筛选，同时协调好各因子之间的关系。

2.4.2 主成分函数

将表 8 中的数据分别除以提取的 4 个主成分对应的旋转后的特征值（3.012、2.626、2.204、1.736）的算术平方根<sup>[28]</sup>，得到 4 个主成分中 13 个因子所对应的特征向量 PCF<sub>11</sub>~PCF<sub>44</sub>，如表 9 所示。

根据公式（2）~公式（6）计算每份材料的主成分得分及综合主成分值，并根据综合主成分值排名，选取综合主成分值排名前 10 的资源数据，如表 10 所示。

2.4.3 鲜食春大豆的综合评价

47 份鲜食春大豆的标准荚产量、鲜荚产量及其综合主成分得分值排名如表 11 所示，综合主成分值前 10 名，标准荚产量增幅为正值的有闽豆 10 号、闽豆 14、南农 1821、南农 88026、兴化豆 3 号、兴化豆 4 号、兴化豆 8 号、兴化豆 9 号、兴化豆 618 等 9 份材料，其增幅分别为 16.3%、12.5%、35.9%、5.8%、8.6%、10.7%、10.1%、10.2%、9.3%；鲜荚产量增幅为正值的材料有闽豆 10 号、闽豆 14、南农 1821、兴化豆 3 号、兴化豆 4 号、兴化豆 8 号、兴化豆 9 号、兴化豆 618 等 8 份材料，其增幅分别为 2.8%、18.9%、1.5%、2.4%、18.5%、21.3%、17.5%、5.2%；标准荚产量增幅与鲜荚产量增幅均为正值的材料有闽豆 10 号、闽豆 14、南农 1821、兴化豆

表 7 主成分因子的方差贡献率  
Table 7 Variance contribution rates of principal components

| 主成分<br>Major factor   | 初始特征值<br>Initial eigenvalue |                                   |                                                           | 旋转载荷平方和<br>Sum of squares after rotation |                                   |                                                           |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                       | 特征值<br>Characteristic root  | 方差百分比<br>Percentage of variance/% | 累计总方差贡献率<br>Cumulative total variance contribution rate/% | 特征值<br>Characteristic root               | 方差百分比<br>Percentage of variance/% | 累计总方差贡献率<br>Cumulative total variance contribution rate/% |
| 1 (PCF <sub>1</sub> ) | 4.880                       | 37.537                            | 37.537                                                    | 3.012                                    | 23.168                            | 23.168                                                    |
| 2 (PCF <sub>2</sub> ) | 1.959                       | 15.071                            | 52.607                                                    | 2.626                                    | 20.198                            | 43.366                                                    |
| 3 (PCF <sub>3</sub> ) | 1.535                       | 11.809                            | 64.416                                                    | 2.204                                    | 16.958                            | 60.324                                                    |
| 4 (PCF <sub>4</sub> ) | 1.204                       | 9.261                             | 73.677                                                    | 1.736                                    | 13.353                            | 73.677                                                    |
| 5                     | 0.948                       | 7.292                             | 80.970                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 6                     | 0.782                       | 6.013                             | 86.983                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 7                     | 0.496                       | 3.813                             | 90.795                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 8                     | 0.396                       | 3.049                             | 93.844                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 9                     | 0.336                       | 2.581                             | 96.425                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 10                    | 0.220                       | 1.694                             | 98.119                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 11                    | 0.152                       | 1.170                             | 99.289                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 12                    | 0.058                       | 0.445                             | 99.734                                                    |                                          |                                   |                                                           |
| 13                    | 0.035                       | 0.266                             | 100.000                                                   |                                          |                                   |                                                           |

表 8 旋转后因子载荷矩阵  
Table 8 Factor loading matrix after rotation

| 性状因子<br>Trait factor                         | 主成分<br>Major factor |                  |                  |                  |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                              | PCF <sub>1</sub>    | PCF <sub>2</sub> | PCF <sub>3</sub> | PCF <sub>4</sub> |
| 株高 Plant height                              | 0.284               | 0.191            | 0.843            | 0.045            |
| 底荚高度 Bottom pod height                       | 0.162               | 0.122            | 0.918            | -0.114           |
| 茎粗 Stem diameter                             | 0.390               | 0.410            | 0.161            | 0.267            |
| 有效分枝数 Number of effective branches           | 0.617               | 0.215            | 0.402            | -0.275           |
| 标准荚长 Standar pod length                      | 0.317               | 0.045            | -0.009           | 0.708            |
| 标准荚宽 Standar pod width                       | 0.245               | -0.008           | -0.300           | 0.561            |
| 单株有效荚数<br>Number of effective pods per plant | 0.188               | 0.944            | 0.046            | -0.075           |
| 单株标准荚数<br>Number of standard pods per plant  | 0.017               | 0.934            | 0.121            | -0.099           |
| 单株荚重Pods weight per plant                    | 0.687               | 0.418            | 0.256            | 0.247            |
| 鲜百粒重 100-seed fresh weight                   | -0.264              | -0.037           | 0.122            | 0.782            |
| 标准荚产量 Standard pods yield                    | 0.863               | 0.101            | 0.239            | 0.124            |
| 鲜荚产量 Fresh pods yield                        | 0.919               | 0.050            | 0.039            | 0.090            |
| 采收日数 Days of harvesting                      | 0.210               | 0.636            | 0.467            | 0.215            |

表 9 旋转后因子特征向量矩阵  
Table 9 Matrix after rotation of factor eigenvector load

| 性状因子<br>Trait                                | 主成分<br>Major factor |                   |                   |                   |
|----------------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                              | PCF <sub>11</sub>   | PCF <sub>22</sub> | PCF <sub>33</sub> | PCF <sub>44</sub> |
| 株高 Plant height                              | 0.164               | 0.118             | 0.568             | 0.034             |
| 底荚高度 Bottom pod height                       | 0.094               | 0.075             | 0.618             | -0.087            |
| 茎粗 Stem diameter                             | 0.225               | 0.253             | 0.109             | 0.203             |
| 有效分枝数 Number of effective branches           | 0.356               | 0.133             | 0.271             | -0.208            |
| 标准荚长 Standar pod length                      | 0.183               | 0.028             | -0.006            | 0.538             |
| 标准荚宽 Standar pod width                       | 0.141               | -0.005            | -0.202            | 0.426             |
| 单株有效荚数<br>Number of effective pods per plant | 0.108               | 0.582             | 0.031             | -0.057            |
| 单株标准荚数<br>Number of standard pods per plant  | 0.010               | 0.577             | 0.082             | -0.075            |
| 单株荚重Pods weight per plant                    | 0.396               | 0.258             | 0.172             | 0.187             |
| 鲜百粒重 100-seed fresh weight                   | -0.152              | -0.023            | 0.082             | 0.594             |
| 标准荚产量 Standard pods yield                    | 0.497               | 0.063             | 0.161             | 0.094             |
| 鲜荚产量 Fresh pods yield                        | 0.530               | 0.031             | 0.027             | 0.068             |
| 采收日数 Days of harvesting                      | 0.121               | 0.393             | 0.314             | 0.163             |

3 号、兴化豆 4 号、兴化豆 8 号、兴化豆 9 号、兴化豆 618 等 8 份材料。在育种上，可将这 8 份材料作为选育综合性状优良、高产的鲜食春大豆的亲本材料加以利用。

2.5 聚类分析及其综合评价  
2.5.1 基于综合主成分得分值的聚类分析及其综合评价  
用 47 份鲜食春大豆种质资源基于 13 个主要农艺性状的综合主成分得分值数据，选用欧氏距离、

表 10 综合主成分值排名前 10 的鲜食春大豆种质资源各主成分值

Table 10 Principal component scores of top 10 spring soybean germplasms

| 资源编号<br>Germplasms No. | PCF11 | PCF22 | PCF33  | PCF44  | F     | 排名<br>Ranking |
|------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| 6                      | 1.176 | 3.353 | -0.377 | -0.236 | 1.160 | 10            |
| 12                     | 1.873 | 1.905 | 1.514  | 0.090  | 1.476 | 6             |
| 16                     | 2.868 | 2.549 | 1.665  | 0.392  | 2.055 | 3             |
| 20                     | 4.164 | 4.660 | 6.446  | 2.209  | 4.471 | 1             |
| 21                     | 2.295 | 2.698 | 4.862  | 1.047  | 2.770 | 2             |
| 36                     | 1.715 | 2.189 | 1.446  | -1.317 | 1.234 | 9             |
| 37                     | 1.948 | 1.810 | 0.173  | 1.396  | 1.401 | 8             |
| 40                     | 2.646 | 1.061 | 2.836  | -0.716 | 1.646 | 4             |
| 41                     | 2.340 | 1.217 | 1.083  | 0.565  | 1.421 | 7             |
| 43                     | 2.147 | 2.765 | 0.453  | -0.183 | 1.504 | 5             |

离差平方和法进行系统聚类分析，构建树状图，如图 1 所示。由图可知，在欧氏距离为 15 处可将 47 份种质分成 2 个大类，在欧氏距离为 9 处可将第 1 大类分成 2 个亚类，第 1 个亚类有 36 份种质，第 2 个亚类有 10 份种质；第 2 大类只有 1 份种质，即南农 1821，这说明南农 1821 与其他 46 份种质的遗传距离最大，亲缘关系最远。各类群材料 13 个主要农艺性状的均值如表 12 所示。由表可知，I-i 类群的标准荚长（均值 5.79 cm）、标准荚宽（均值 1.41 cm）高于其他类群，其他农艺性状均处于中等水平，综合性状一般；I-ii 类群所有农艺性状均值均是 3 个类群中最小的，综合性状差；II 类群所有农艺性状均是 3 个类群中最大的，综合性状优良。

2.5.2 基于农艺性状标准化数据的聚类分析及其综合评价

用 47 份鲜食春大豆种质资源的 13 个主要农艺性状标准化数据，选用欧氏距离、离差平方和法进行系统聚类分析，构建树状图，如图 2 所示。由图可知，在欧氏距离为 19 处可将 47 份材料分成 3 个大类，在欧氏距离为 16 处可将第 1 个大类分成 2 个亚类，第 1 个亚类共 38 份种质，第 2 个亚类共 6 份种质；第 2 个大类共 2 份种质，即南农 1821 和南农 88026；第 3 个大类共 1 份种质，即苏成 2 号。这说明苏成 2 号与其余的 46 份种质遗传距离最大，亲缘关系最远，而南农 1821 和南农 88026 与其余种质 44 份种质遗传距离也很大，亲缘关系也很远。各类群材料 13 个主要农艺性状的均值如表 13 所示，由表可知，I-i 类群的标准荚长（均值 5.77 cm）、鲜荚产

表 11 综合主成分值排名前 10 的鲜食春大豆种质资源产量表现

Table 11 Yields of top 10 spring soybean germplasms ranked by comprehensive principal component scores

| 资源编号<br>Germplasms No. | 综合主成分<br>值排名<br>Comprehensive<br>Ranking | 标准荚<br>Standard pod                    |                          | 鲜荚<br>Fresh pod                        |                          |
|------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
|                        |                                          | 产量<br>Yield/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 增幅<br>Increase<br>rate/% | 产量<br>Yield/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 增幅<br>Increase<br>rate/% |
| 6                      | 10                                       | 7279.50                                | -2.0                     | 10260.00                               | -2.9                     |
| 12                     | 6                                        | 8641.50                                | 16.3                     | 10856.25                               | 2.8                      |
| 16                     | 3                                        | 8361.30                                | 12.5                     | 12562.50                               | 18.9                     |
| 20                     | 1                                        | 10099.50                               | 35.9                     | 10725.00                               | 1.5                      |
| 21                     | 2                                        | 7861.50                                | 5.8                      | 9750.00                                | -7.7                     |
| 36                     | 9                                        | 8065.50                                | 8.6                      | 10811.25                               | 2.4                      |
| 37                     | 8                                        | 8227.05                                | 10.7                     | 12512.50                               | 18.5                     |
| 40                     | 4                                        | 8182.50                                | 10.1                     | 12815.00                               | 21.3                     |
| 41                     | 7                                        | 8187.30                                | 10.2                     | 12408.75                               | 17.5                     |
| 43                     | 5                                        | 8123.48                                | 9.3                      | 11112.50                               | 5.2                      |

量（均值 10348.84 kg·hm<sup>-2</sup>）等 2 个农艺性状均高于其他类群，其他农艺性状均处于中等水平，综合性状处于中上水平；I-ii 类群的茎粗（均值 0.59 cm）、标准荚长（均值 5.06 cm）、标准荚宽（均值 1.30 cm）、单株有效荚数（16.10 个）、单株标准荚数（均值 11.54 个）、单株荚重（均值 36.94 g）、鲜百粒重（均值 77.42 个）等 7 个农艺性状均低于其他类群，其他农艺性状相较于其他类群均处于中下水平，综合性状差；II 类群除了标准荚长（均值 5.61 cm）、鲜荚产量（均值 10 237.50 kg·hm<sup>-2</sup>）以外的 11 个农艺性状均高于其他类群，且标准荚长、鲜荚产量均排在 4 个类群中的第 2 位，该类群综合性状优良；III 类群只有标准荚宽（均值 2.20 cm）高于其他类群，其他农艺性状均处于 4 个类群中的中等或中下水平，综合性状差，表现为植株矮（均值 19.40 cm）、有效分枝数少（均值 1.60 个）、标准荚产量低（均值 5599.50 kg·hm<sup>-2</sup>）、单株产量低（均值 39.30 g）、鲜荚产量低（均值 7 025.00 kg·hm<sup>-2</sup>）、生育期短（均值 72 d）。

3 讨论

3.1 表型性状统计分析与农艺性状变异分析

47 份鲜食春大豆种质资源的 7 个表型性状统计结果表明，参试材料间在株型和结荚习性等 2 个性状上的表现无差异，在叶形、叶色、幼茎颜色、花色、茸毛色等 5 个性状上的表现存在差异，这与黎

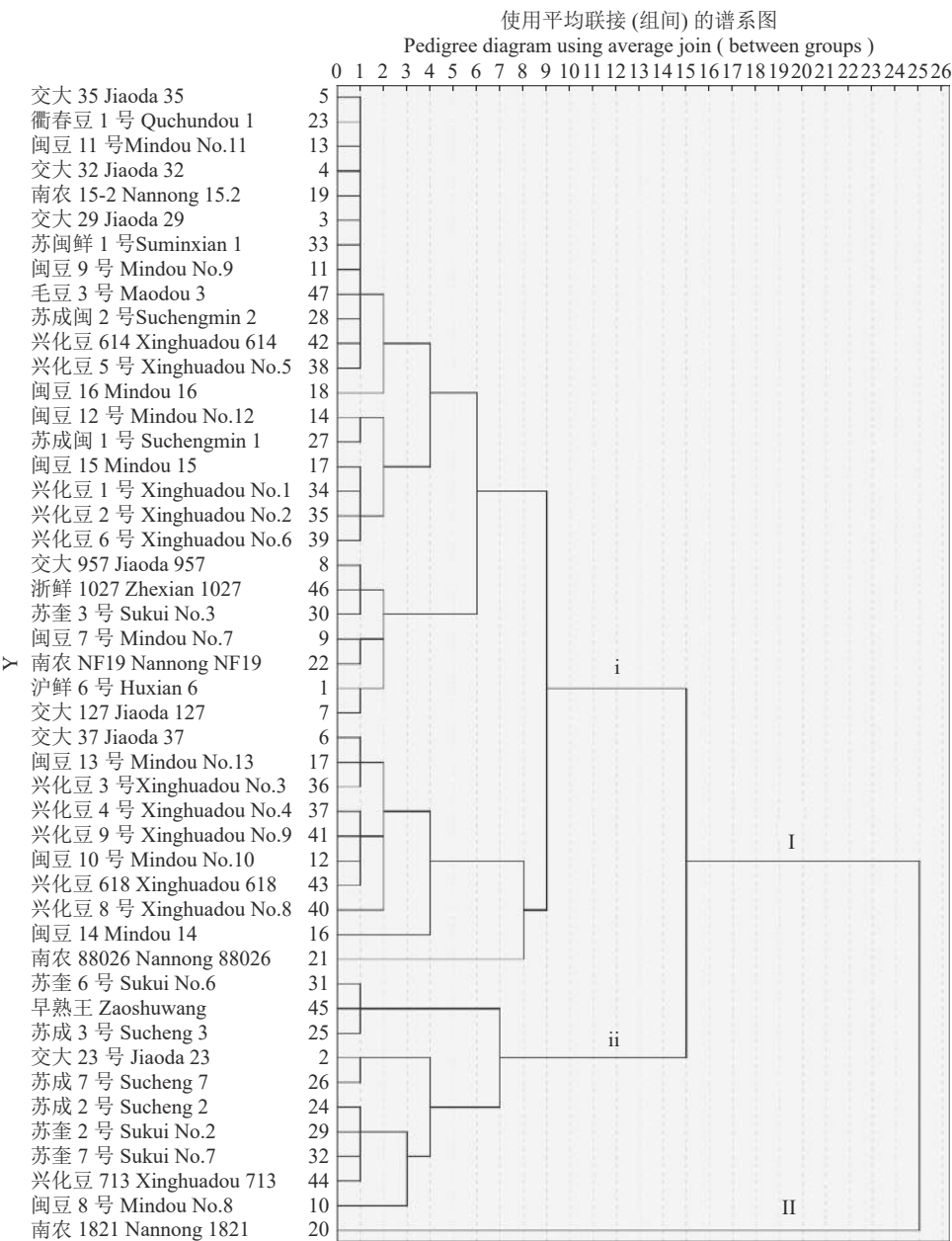


图 1 基于综合主成分得分值的聚类分析  
Fig. 1 Clustering based on comprehensive principal component scores

表 12 鲜食春大豆种质资源 3 个类群的 13 个主要农艺性状差异  
Table 12 Differences in 13 agronomic traits among 3 categories of spring soybean germplasm

| 类群<br>Group | X <sub>1</sub> /cm | X <sub>2</sub> /cm | X <sub>3</sub> /cm | X <sub>4</sub> /个 | X <sub>5</sub> /cm | X <sub>6</sub> /cm | X <sub>7</sub> /个 | X <sub>8</sub> /个 | X <sub>9</sub> /g | X <sub>10</sub> /g | X <sub>11</sub> /(kg·hm <sup>-2</sup> ) | X <sub>12</sub> /(kg·hm <sup>-2</sup> ) | X <sub>13</sub> /d |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|
| I-i         | 30.46              | 6.74               | 0.74               | 2.64              | 5.79               | 1.41               | 23.35             | 17.73             | 58.07             | 80.70              | 7 514.70                                | 10 551.98                               | 81.83              |
| I-ii        | 22.26              | 5.11               | 0.62               | 1.74              | 5.21               | 1.38               | 17.62             | 12.86             | 39.47             | 80.83              | 5 790.11                                | 7 871.77                                | 72.55              |
| II          | 55.67              | 15.00              | 0.93               | 3.56              | 5.70               | 1.40               | 27.93             | 21.60             | 90.00             | 97.00              | 10 099.50                               | 10 725.00                               | 102.00             |

松松等<sup>[29]</sup>的研究结果类似。47 份材料的 13 个主要农艺性状的变异分析结果表明，13 个农艺性状的变异幅度为 7.49%~38.07%，底荚高度的变异系数最大，为 38.07%，这与李琼等<sup>[30]</sup>、贺礼英等<sup>[31]</sup>的研究结果一致；标准荚长变异系数最小，为 7.49%，这与

李清华<sup>[32]</sup>的研究结果类似；有效分枝数、株高、单株荚重、单株标准荚数等 4 个农艺性状的变异系数较大，这与刘迎春等<sup>[26]</sup>、徐传富等<sup>[33]</sup>的研究结果类似。这说明，这 47 份参试材料在表型性状和农艺性状上均存在着丰富的变异，遗传多样性丰富。在育



数、单株标准荚数、鲜荚产量均呈显著正相关,这与郭数进等<sup>[34]</sup>的研究结果类似;茎粗与有效分枝数、单株荚重、标准荚产量均呈极显著正相关,与单株有效荚数、鲜荚产量均呈显著正相关;有效分枝数与单株荚重、标准荚产量、鲜荚产量均呈极显著正相关,与单株有效荚数呈显著正相关,这与王桂梅等<sup>[9]</sup>的研究结果类似;单株有效荚数、单株标准荚数均与单株荚重呈极显著正相关;单株荚重与标准荚产量、鲜荚产量均呈极显著正相关。由此可见,13个数值型农艺性状间存在着复杂的相关性,在育种利用这些材料时,应该选择植株高、茎秆粗壮、有效分枝数多、单株有效荚数多、单株标准荚数多、单株荚重大的材料作为亲本材料。

### 3.3 主成分分析及综合评价

对47份材料13个农艺性状的主成分分析结果表明,可用荚产量因子、荚数因子、株型因子、荚形因子等4个主因子描述原来13个性状指标73.677%的信息量,主成分PCF<sub>1</sub>包含鲜荚产量、标准荚产量、单株荚重;主成分PCF<sub>2</sub>包含单株有效荚数、单株标准荚数、采收日数;主成分PCF<sub>3</sub>包含底荚高度、株高、采收日数、有效分枝数;主成分PCF<sub>4</sub>包含鲜百粒重、标准荚长、标准荚宽。通过构建4个主成分函数F1~F4和综合主成分函数F,计算47份参试材料的主成分得分和综合主成分得分值。得到综合主成分得分值从高到低排前10位的材料依次为南农1821、南农88026、闽豆14、兴化豆8号、兴化豆618、闽豆10号、兴化豆9号、兴化豆4号、兴化豆3号、交大37。南农1821的综合主成分得分值最高,为4.471,苏成3号的综合主成分得分值最低,为-3.117。综合主成分得分值越大说明种质的综合性状越优良,在育种上可优先选择作为育种材料加以应用。综合主成分得分值前10位且标准荚产量和鲜荚产量的增幅均为正值的材料有南农1821、闽豆14、兴化豆8号、兴化豆618、闽豆10号、兴化豆9号、兴化豆4号、兴化豆3号等8份,可在生产或育种中加大研究利用。

### 3.4 聚类分析

基于综合主成分得分值的聚类分析将47份参试材料在欧氏距离为15处分2个大类,在欧氏距离为9处将第1大类分成2个亚类。第1个亚类有36份材料,该类群标准荚长、标准荚宽比其他2个类群大,其他农艺性状均处于中等水平,综合性状一般;第2个亚类有10份材料,该类群所有农艺性状均值在3个类群中均是最小的,综合性状差;第2大类仅有1份材料,即南农1821,该品种所有农艺

性状均是3个类群中最大的,综合性状优良。基于农艺性状标准化数据的聚类分析将47份参试材料在欧氏距离为19处分3个大类,在欧氏距离为16处将第1大类分成2个亚类,第1个亚类有38份材料,该类群标准荚长、鲜荚产量均高于其他类群,其他农艺性状均处于中等水平,综合性状处于中上水平;第2个亚类有6份材料,该类群综合性状差,表现为茎粗小、荚形小、单株有效荚数少、单株标准荚数少、单株荚重小、鲜百粒重小,其他农艺性状相较于其他类群均处于中下水平;第2大类仅有2份材料,即南农1821和南农88026,该类群除了标准荚长、鲜荚产量以外的11个农艺性状均高于其他类群,且标准荚长、鲜荚产量均排在4个类群中的第2位,该类群综合性状优良;第3大类仅有1份材料,即苏成2号,该品种综合性状差,表现为植株矮、有效分枝数少、标准荚产量低、单株产量低、鲜荚产量低、生育期短,其他农艺性状也均处于4个类群中的中等或中下水平。

两种聚类分析方法的结果存在异同,相同点:两种聚类方法均将苏奎6号、早熟王、苏成3号、交大23号、苏成7号、兴化豆713等6份材料归在同一个亚类中,这说明这6份材料的遗传距离较近;均将除了上述6份材料以及苏成2号、苏奎2号、苏奎7号、闽豆8号、南农1821、南农88026等共12份材料以外的其他35份材料归为同一个亚类,这说明,这35份材料遗传距离较近。不同点:第一种聚类方法将苏成2号、苏奎2号、苏奎7号、闽豆8号等4份材料与苏成3号、苏奎6号、早熟王、交大23号、苏成7号、兴化豆713等6份材料归为同一个亚类,而第二种聚类方法则将苏成2号单独归为一个大类;第一种聚类方法将南农1821单独归为一个大类,而第二张方法则将它与南农88026一起归为一个大类。综上所述,两种聚类分析方法的结果虽然存在不同之处,但总体上都能将遗传距离较近的35份参试材料归为同一个类中。

## 4 结论

通过本试验可知,47份鲜食春大豆种质资源存在丰富的遗传变异,在育种上具有利用价值。结合聚类分析结果,可将聚类为不同类群中的材料作为亲本配置杂交组合;结合主成分分析及标准荚产量、鲜荚产量的表现可知,在育种上可加大对南农1821、闽豆14、兴化豆8号、兴化豆618、闽豆10号、兴化豆9号、兴化豆4号、兴化豆3号等8份材料的利用,特别是南农1821与其他材料的遗

传距离较远,且综合性状优良,可作为亲本材料与其他具有优良性状的材料配置杂交组合,以期培育出高产、优质的鲜食春大豆新品种(系)。

#### 参考文献:

- [1] 杨加银,徐海风,程保山,等.菜用大豆新品种淮鲜豆5号的选育[J].*中国蔬菜*,2016,(1):78-80.  
YANG J Y, XU H F, CHENG B S, et al. A new vegetable soybean variety—'Huaixiandou No. 5' [J]. *China Vegetables*, 2016(1): 78-80. (in Chinese)
- [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*,2002,18(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, 18(2): 45-48. (in Chinese)
- [3] 胡润芳,林栩松,王志纯,等.菜用大豆闽豆6号的选育[J].*福建农业学报*,2016,31(7):714-718.  
HU R F, LIN X S, WANG Z C, et al. Breeding a soybean variety for vegetable-Mindou No. 6 and its yield characteristics [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 31(7): 714-718. (in Chinese)
- [4] 白琼岩,杨恩庶,冯桂真,等.中国菜用大豆研究进展[J].*中国农学通报*,2006,22(8):377-380.  
BAI Q Y, YANG E S, FENG G Z, et al. Research advances of China vegetable soybean [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(8): 377-380. (in Chinese)
- [5] 李清华,蒋文广,林海峰,等.菜用大豆新品种'兴化豆1号'的选育[J].*福建农业学报*,2018,33(6):587-590.  
LI Q H, JIANG W G, LIN H F, et al. Breeding of new soybean variety, xinghuadou No. 1, for green pods [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33(6): 587-590. (in Chinese)
- [6] 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*,2003,18(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, 18(4): 311-315. (in Chinese)
- [7] 于存浩,王彪,姚陆铭,等.鲜食大豆新品种交大29选育及其高产栽培技术[J].*大豆科技*,2022,(3):55-58.  
YU C H, WANG B, YAO L M, et al. Breeding and cultivation technology of new edamame cultivar jiaoda 29 [J]. *Soybean Science & Technology*, 2022(3): 55-58. (in Chinese)
- [8] 胡润芳,张玉梅,王志纯,等.菜用大豆新品种'闽豆5号'的选育及高产稳产特性[J].*福建农业学报*,2014,29(8):741-744.  
HU R F, ZHANG Y M, WANG Z C, et al. Breeding and characteristics of high-steady yield of vegetable soybean new variety Mindou No. 5 [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 29(8): 741-744. (in Chinese)
- [9] 王桂梅,邢宝龙.大豆农艺性状相关性主成分分析[J].*安徽农学通报*,2021,27(24):46-48,87.  
WANG G M, XING B L. Correlation and Principal Component Analysis of Agronomic Traits in Soybean [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2021, 27(24): 46-48, 87. (in Chinese)
- [10] 韩秉进,潘相文,金剑,等.大豆农艺及产量性状的主成分分析[J].*大豆科学*,2008,27(1):67-73.  
HAN B J, PAN X W, JIN J, et al. Principal component analysis of agronomic and yield-related traits in soybean [J]. *Soybean Science*, 2008, 27(1): 67-73. (in Chinese)
- [11] 石惠,许海涛.大豆主要农艺性状的遗传变异及相关性和主成分分析[J].*黑龙江农业科学*,2008,(2):29-32.  
SHI H, XU H T. Genetic variation, correlation and principal component analysis on major agronomic trait of soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2008(2): 29-32. (in Chinese)
- [12] 赵银月,耿智德,保丽萍,等.云南省大豆地方品种资源的主成分分析及聚类分析[J].*湖南农业大学学报(自然科学版)*,2007,33(S1):120-122.  
ZHAO Y Y, GENG Z D, BAO L P, et al. Principal component analysis and cluster analysis of soybean local variety resources in Yunnan Province [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2007, 33(S1): 120-122. (in Chinese)
- [13] 张玉革,胡绪彬.基于主成分和聚类分析的大豆品种生物学性状的比较研究[J].*大豆科学*,2004,23(3):178-183.  
ZHANG Y G, HU X B. A comparative study on biological characters of soybean varieties using principal component analysis and cluster analysis [J]. *Soybean Science*, 2004, 23(3): 178-183. (in Chinese)
- [14] 王新凤,富健,孟凡刚,等.大豆高蛋白组合杂交F<sub>3</sub>与亲本蛋白质含量的相关性分析[J].*安徽农业科学*,2009,37(24):11492-11493.  
WANG X F, FU J, MENG F G, et al. Analysis on the correlation of protein contents between F<sub>3</sub> hybrid progeny from high protein combination of soybean and its parents [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(24): 11492-11493. (in Chinese)
- [15] 陈学珍,谢皓,郑晓宇,等.菜用大豆的农艺及品质性状评价与相关性分析[J].*北京农学院学报*,2005,20(1):23-26.  
CHEN X Z, XIE H, ZHENG X Y, et al. Relation analysis and evaluation on agronomic and quality characters in vegetable soybean [J]. *Journal of Beijing Agricultural College*, 2005, 20(1): 23-26. (in Chinese)
- [16] 陈学珍,谢皓,李婷婷,等.菜用大豆鲜荚粒性状的遗传潜力分析[J].*中国蔬菜*,2005,(8):4-6.  
CHEN X Z, XIE H, LI T T, et al. Heritability of fresh pod and seed characteristics on vegetable soybean [J]. *China Vegetables*, 2005(8): 4-6. (in Chinese)
- [17] 常世豪,李金花,李琼,等.不同大豆类型产量及相关性状的逐步回归与通径分析[J].*种子*,2022,41(4):96-99,105.  
CHANG S H, LI J H, LI Q, et al. Stepwise regression and path analysis of yield and related traits in different soybean types [J]. *Seed*, 2022, 41(4): 96-99, 105. (in Chinese)
- [18] 邓俊才,雷婷,钟蕾,等.大豆主要农艺性状与收获期籽粒田间霉变抗性的相关及通径分析[J].*大豆科学*,2015,34(5):837-842.  
DENG J C, LEI T, ZHONG L, et al. The correlation and path analysis between the main agronomic traits and the resistance of soybean to seed mildew in field during harvest season [J]. *Soybean Science*, 2015, 34(5): 837-842. (in Chinese)
- [19] 伍新龄,张旭,莫家琪,等.鲜食大豆农艺性状鉴定及通径分析[J].*华北农学报*,2014,29(6):106-112.  
WU X L, ZHANG X, MO J Q, et al. Agronomic trait and path analysis of agronomic traits of vegetable soybean [J]. *Acta Agriculturae*

- Boreali-Sinica*, 2014, 29(6): 106–112. (in Chinese)
- [20] 乔海涛, 刘学, 高林. 大豆分枝与产量、农艺性状的相关性及灰色关联度分析 [J]. 辽宁农业科学, 2016, (1): 36–40.
- QIAO H T, LIU X, GAO L. Correlation and grey relation analysis of soybean branch and yield, agronomic traits [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2016(1): 36–40. (in Chinese)
- [21] 苟升学, 肖金平. 陕西省夏大豆产量与主要农艺性状的通径及灰色关联度分析 [J]. 江西农业学报, 2016, 28 (9): 18–22.
- GOU S X, XIAO J P. Analysis of path coefficient and grey relational degree between yield and main agronomic traits of summer soybean in Shaanxi Province [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2016, 28(9): 18–22. (in Chinese)
- [22] 成雪峰. 黄淮海大豆高产优质育种的灰色关联分析 [J]. 大豆科学, 2010, 29 (5): 751–755.
- CHENG X F. Grey correlation analysis on agronomic traits of high yield and quantity soybean in Huang-Huai-Hai region [J]. *Soybean Science*, 2010, 29(5): 751–755. (in Chinese)
- [23] 缪亚梅, 王学军, 汪凯华, 等. 鲜食大豆农艺性状与鲜荚产量的灰色关联分析 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (36): 15809–15810, 15813.
- MIAO Y M, WANG X J, WANG K H, et al. Gray correlation analysis between the agronomic trait and the yield of fresh soybean pod [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(36): 15809–15810, 15813. (in Chinese)
- [24] 李炜, 毕影东, 刘建新, 等. 寒地野生大豆资源农艺性状的相关性和主成分分析 [J]. 土壤与作物, 2022, 11 (1): 10–17.
- LI W, BI Y D, LIU J X, et al. Correlation and principal component analysis for agronomic traits of wild soybean in cold region [J]. *Soils and Crops*, 2022, 11(1): 10–17. (in Chinese)
- [25] 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, LÜ 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. (in Chinese)
- [26] 刘迎春, 赵玉山, 周学超, 等. 20个大豆品种主要农艺性状的综合评价与利用 [J]. 贵州农业科学, 2022, 50 (11): 6–12.
- LIU Y C, ZHAO Y S, ZHOU X C, et al. Comprehensive evaluation and application on main agronomic traits of 20 soybean cultivars [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2022, 50(11): 6–12. (in Chinese)
- [27] 杜世坤, 赵宝颢, 赵振宇, 等. 间作用大豆亲本的相关性、主成分及聚类分析 [J]. 分子植物育种, 2022, 20 (1): 266–275.
- DU S K, ZHAO B X, ZHAO Z N, et al. Correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis in parent selection of intercropping soybean [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(1): 266–275. (in Chinese)
- [28] 张文霖. 主成分分析在 SPSS 中的操作应用 [J]. 市场研究, 2005, (12): 31–34.
- ZHANG W L. Application of principal component analysis in SPSS [J]. *Marketing Research*, 2005(12): 31–34. (in Chinese)
- [29] 黎松松, 赖建军, 张红梅, 等. 江苏鲜食春大豆种质资源表型鉴定及综合评价 [J]. 大豆科学, 2022, 41 (4): 385–396.
- LI S S, LAI J J, ZHANG H M, et al. Phenotyping identification and comprehensive evaluation of fresh spring soybean germplasms in Jiangsu Province [J]. *Soybean Science*, 2022, 41(4): 385–396. (in Chinese)
- [30] 李琼, 常世豪, 舒文涛, 等. 黄淮海地区夏大豆 (南片) 46 份大豆品种 (系) 农艺性状综合分析 [J]. 新疆农业科学, 2021, 58 (10): 1765–1774.
- LI Q, CHANG S H, SHU W T, et al. Comprehensive analysis of agronomic characters of 46 soybean varieties (lines) of summer soybeans (south) in Huang-Huai-Hai region [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2021, 58(10): 1765–1774. (in Chinese)
- [31] 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. (in Chinese)
- [32] 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. (in Chinese)
- [33] 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. Principal component evaluation of fresh pod characters of vegetable soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2009(4): 30–32. (in Chinese)
- [34] 郭数进, 杨凯敏, 霍瑾, 等. 大豆不同性状与产量的相关性及其主成分分析 [J]. 山西农业科学, 2015, 43 (5): 505–508.
- GUO S J, YANG K M, HUO J, et al. Correlation and principal component analysis between traits and yield in soybean [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43(5): 505–508. (in Chinese)

(责任编辑: 于洪杰)