

# 513 份蚕豆种质资源主要农艺性状遗传多样性分析

李文俊<sup>1,2</sup> 郭延平<sup>1</sup> 杨生华<sup>1</sup> 邵扬<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>甘肃省临夏回族自治州农业科学院, 731100, 甘肃临夏; <sup>2</sup>临夏现代职业学院, 731100, 甘肃临夏)

**摘要** 对国内外 513 份蚕豆种质资源的主要农艺性状进行分析, 结果显示, 15 个农艺性状的变异系数分布在 13.09%~53.58%, 具有较大的遗传变异; 其中, 株荚数的变异系数最大, 为 53.58%, 变异幅度为 1.00~42.00; 荚宽变异系数最小, 为 13.09%, 变异幅度为 0.80~2.23 cm。相关性研究显示, 分枝数、有效分枝数、株荚数、株粒数、株高以及末荚高度等性状是培育高产蚕豆品种的关键。主成分分析提取到的 5 个主成分累计贡献率达 72.098%, 可体现蚕豆种质的特征特性。通过计算隶属函数值得出综合评价, 确定了综合性状排名前 30 位的种质资源。聚类分析将 513 份蚕豆种质资源分成了 3 类, 类群 I 有 160 份资源, 占总资源的 31.19%, 属于株型高大、高产种质; 类群 II 有 221 份资源, 占总资源的 43.08%, 适宜用作亲本选择与优良基因筛选的种质; 类群 III 有 132 份资源, 占总资源的 25.73%, 属于特异性种质。

**关键词** 蚕豆; 种质资源; 农艺性状; 遗传多样性

蚕豆 (*Vicia faba* L.) 属豆科蝶形花亚科巢菜属一年生或越年生作物<sup>[1]</sup>, 在我国已有 2100 余年的种植历史<sup>[2]</sup>。我国是世界上蚕豆种植面积最大的国家, 种植区域主要分布在甘肃、内蒙古、青海等北方春播区, 以及湖北、云南、浙江和四川等南方秋播区<sup>[3]</sup>。蚕豆在不同的气候和地理环境中孕育出了多种多样的类型和各具特色的遗传差异。

种质资源构成了农作物品种改良和培育的核心物质基础。当前, 在种质资源鉴定评价中, 基于重要农艺性状的表型研究是最常见的鉴定手段<sup>[4]</sup>。吕春雨等<sup>[5]</sup>对来源于我国湖北省以及非洲地区的 41 份蚕豆材料进行全面的鉴定与评估, 发现株荚数、株有效荚数、百粒重、分枝数、单株重量和荚长等产量相关指标是衡量蚕豆产量的关键因素, 并且聚类分析将种质资源分为 3 个类群。李程勋等<sup>[6]</sup>对引进福建地区种植的大粒蚕豆种质资源鉴定评价后发现, 单荚鲜质量、荚宽、鲜籽粒百粒质量与鲜荚单位面积产量呈极显著正相关; 分枝数、每个植株的实荚数与新鲜荚果产量之间存在显著正相关。石晗等<sup>[7]</sup>对 54 份蚕豆种质资源主要农艺性状的综合鉴定与评价后发现, 这些蚕豆资源表型性状表现出较大的遗传差异, 25 个性状特征的变异系数为 10.18%~45.02%; 遗传多样性指数为 1.417~2.070, 单株鲜荚产量和籽粒产量

之间表现出显著的正相关性。辛佳佳等<sup>[8]</sup>对江西省 57 份地方蚕豆样本进行了鉴定和分析, 发现这些蚕豆样本具有丰富的遗传多样性, 并且单株分枝数、单株总荚数和籽粒大小之间存在显著的负相关关系, 聚类分析种质资源分为两大类。杨生华等<sup>[9]</sup>利用国内外的 554 份蚕豆资源, 开展了全面的综合研究, 发现种子表型具有广泛的变异性和丰富的遗传多样性; 通过聚类分析, 所有测试材料被分为 3 个类别, 百粒重、种子面积、种子周长、种子直径、粒长和粒宽 6 个性状之间显示出了显著的相关性。刘玉皎等<sup>[10]</sup>对从青海省收集的 153 种蚕豆遗传资源进行了形态学多样性研究, 发现形态多样性丰富, 其平均指数为 0.8033, 青海地区的地方品种展现出最高的多样性, 其平均指数为 0.8288, 并根据这些资源的特征将它们分成了 3 个主要的类群。敏玉霞等<sup>[11]</sup>对 253 份国外引进的蚕豆样本开展评估, 发现这些蚕豆样本之间展现出显著的多样性, 变异系数在 9.97%~58.45%, 单株有效荚数、有效粒数以及百粒重是育种上提高蚕豆产量的关键特征。

近年来, 随着市场对蚕豆需求的多元化, 蚕豆的商品价值正在不断提升。为了满足市场需求, 培育具有优良性状的蚕豆新品种, 特别需要加强对来源广泛、多样性丰富的蚕豆种质资源的系统

作者简介: 李文俊, 主要从事蚕豆新品种选育及栽培技术研究, E-mail: 513532445@qq.com

邵扬为通信作者, 主要从事蚕豆新品种选育及栽培技术研究, E-mail: Shaoyang1201@163.com

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-08); 甘肃省科技计划 (25CXNN001)

收稿日期: 2024-07-17; 修回日期: 2024-09-27; 网络出版日期: 2024-09-30

鉴定与评价研究。因此,本研究对临夏回族自治州农业科学院蚕豆研究所收集并保存的 513 份蚕豆样本的 15 个关键农艺特征进行了遗传多样性的分析,旨在深入探究蚕豆的形态差异,识别和利用优良的遗传资源,以促进蚕豆品种的改良和遗传资源的创新,为发现和利用优质蚕豆样本提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

513 份蚕豆种质资源均来自临夏回族自治州农业科学院蚕豆研究所种质资源库。其中包括国内资源 361 份,国外引进资源 152 份(北美洲 13 份、亚洲 36 份、非洲 6 份、欧洲 90 份、大洋洲 7 份),具体信息见表 1。

### 1.2 试验设计

试验于 2022-2023 年和 2023-2024 年在国家食用豆产业技术体系临夏综合试验站试验田进行,试验田位于临夏县北塬镇前石村,该地平均海拔 2035 m,年均降水量 450 mm,年均气温 7.2 °C,年均日照时长 2323.5 h,全年无霜期 155 d。土壤类型为垆土、质地为中壤。耕层土壤性质:有机质 1.33%~1.76%,全氮 0.12%~0.13%,全磷 0.09%~0.18%,全钾 1.94%~2.60%,碱解氮 55.20~93.00 mg/kg,速效磷 70.20~73.30 mg/kg,速效钾 112.00~154.00 mg/kg, pH 7.80~8.45。试验采用顺序排列,重复 2 次,每份种质资源种植 1 行,行

表 1 蚕豆种质资源信息

Table 1 Information of faba bean germplasm resource

编号 Code	来源 Origin	数目 Number	编号 Code	来源 Origin	数目 Number
1	中国北京	27	19	英国	21
2	中国福建	1	20	日本	9
3	中国甘肃	179	21	黎巴嫩	8
4	中国河南	1	22	荷兰	26
5	中国湖南	1	23	印度	5
6	中国吉林	2	24	德国	6
7	中国江苏	23	25	西班牙	8
8	中国宁夏	1	26	伊拉克	12
9	中国青海	57	27	乌克兰	6
10	中国陕西	5	28	埃及	1
11	中国上海	11	29	埃塞俄比亚	2
12	中国四川	26	30	突尼斯	2
13	中国云南	21	31	葡萄牙	1
14	中国浙江	4	32	塞尔维亚	1
15	中国重庆	1	33	法国	13
16	中国内蒙古	1	34	土耳其	6
17	伊朗	2	35	匈牙利	3
18	加拿大	13	36	新西兰	7

长 3.75 m, 行宽 0.80 m, 面积 3.00 m<sup>2</sup>。

### 1.3 测定项目与方法

依据《蚕豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[12]</sup>开展性状的观察和记录,包括株高、茎粗、分枝数、有效分枝数、始荚节位、最高茎节数、始荚高度、末荚高度、株荚数、株粒数、荚长、荚宽、小叶数目、初花节位和每花序花数,共计 15 个农艺性状(表 2)。

表 2 蚕豆种质资源形态多样性鉴定项目及标准

Table 2 Identification items and standards for morphological diversity of faba bean germplasm resources

序号 Code	性状 Trait	记载标准 Standard of documentation
1	株高	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个个体,测量从子叶节到最高茎枝顶端生长点的距离
2	茎粗	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个个体,测量主茎 4~5 节的直径
3	分枝数	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个个体,目测观察每个个体上的所有一级分枝数(包括主茎)
4	有效分枝数	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个个体,目测观察每个个体上所有结荚的一级分枝数(包括主茎)
5	始荚节位	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,目测观察个体最高茎枝上最下部荚所在节位
6	最高茎节数	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,目测观察每个个体从子叶节到个体最高茎枝顶端的节数
7	始荚高度	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,测量从地面至个体第一层荚的高度
8	末荚高度	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,测量从地面至个体最后一层荚的高度
9	株荚数	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,目测观察每个个体上的所有结荚数
10	株粒数	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,目测观察每个个体上的所有成熟的子粒数
11	荚长	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,对 10 个任意挑选的干熟荚果进行测量,记录从荚果尖端到尾部的距离
12	荚宽	成熟期:以试验区域的群体为研究样本,任意选取 10 个完整的个体,对 10 个任意挑选的干熟荚果进行测量,记录荚果最宽处的直线长度

续表 2 Table 2 (continued)

序号 Code	性状 Trait	记载标准 Standard of documentation
13	小叶数目	开花期：以试验区域的群体为研究样本，任意选取 10 片初花节位上的复叶，计数复叶上的小叶数目，计算平均值
14	初花节位	开花期：以试验区域的群体为研究样本，任意选取 10 个已开花的个体，计量主枝上第 1 个花序所在的节位，计算平均数
15	每花序花数	开花期：以试验区域的群体为研究样本，任意挑取最高茎枝，从地面往上数第 2、3、4 个花节上的花序，计数花序上的花朵数，计算平均数

### 1.4 数据处理

使用 Microsoft Excel 对 513 份种质的主要性状进行统计处理，利用 SPSS 27.0 软件进行相关性分析和主成分分析，运用 Origin Pro 2021 软件进行聚类分析，采用 Ward 法进行分类。

## 2 结果与分析

### 2.1 513 份蚕豆种质农艺性状的遗传变异分析

遗传变异分析结果（表 3）显示，513 份蚕豆种质 15 个农艺性状间的变异系数分布在 13.09%~

53.58%，其中，株荚数的变异系数最大，变异幅度为 1.00~42.00；荚宽变异系数最小，变异幅度为 0.80~2.23 cm。其他性状的变异系数从高到低依次为有效分枝数、株粒数、分枝数、始荚高度、末荚高度、初花节位、始荚节位、小叶数目、株高、茎粗、荚长、每花序花数和最高茎节数。513 份蚕豆种质资源 15 个农艺性状变异系数均大于 10%，平均为 31.80%。其中，变异系数高于 50% 的有株荚数、有效分枝数、株粒数和分枝数。结果表明 513 份蚕豆种质资源显示出丰富的遗传变异。

表 3 513 份蚕豆种质资源农艺性状变异分析  
Table 3 Variation analysis of agronomic traits in 513 faba bean germplasm resources

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV (%)
株高 PH (cm)	141.67	32.67	109.00	85.47	20.61	24.12
茎粗 SD (cm)	2.44	0.37	2.07	0.72	0.17	23.90
分枝数 BN	5.00	0.00	5.00	1.40	0.73	52.19
有效分枝数 EBN	5.00	0.00	5.00	1.22	0.65	52.99
始荚节位 FPN	14.00	3.00	11.00	6.66	1.74	26.09
最高茎节数 HSNN	31.33	10.33	21.00	21.23	3.38	15.92
始荚高度 FPH (cm)	60.33	4.00	56.33	21.58	8.42	39.00
末荚高度 LPH (cm)	100.30	14.33	85.97	44.46	13.94	31.35
株荚数 PNPP	42.00	1.00	41.00	10.36	5.55	53.58
株粒数 GNPP	72.33	1.00	71.33	19.35	10.11	52.26
荚长 PL (cm)	15.33	4.00	11.33	8.40	1.56	18.60
荚宽 PW (cm)	2.23	0.80	1.43	1.76	0.23	13.09
小叶数目 NOSL	4.00	2.00	2.00	2.46	0.64	25.86
初花节位 FFN	9.00	2.00	7.00	3.52	1.06	30.18
每花序花数 NOFPI	7.00	2.00	5.00	4.11	0.73	17.83

PH: plant height; SD: stem diameter; BN: branch number; EBN: effective branch number; FPN: first pod node; HSNN: highest stem node number; FPH: first pod height; LPH: last pod height; PNPP: pod number per plant; GNPP: grain number per plant; PL: pod length; PW: pod width; NOSL: number of small leaves; FFN: first flower node; NOFPI: number of flowers per inflorescence. The same below.

### 2.2 513 份蚕豆种质农艺性状的相关性分析

2.2.1 整体性状 对 15 个主要农艺性状进行相关性分析，结果（表 4）表明，株高与每花序花数、始荚节位相关性不显著，而与其余 12 个性状表现出极显著的正相关；茎粗与有效分枝数、小叶数目、每花序花数的相关性不显著，而与另外 10 个性状呈极显著正相关；分枝数与荚宽之间呈显著正相关，与始荚节位、始荚高度、小叶数目、初花节位和每花序花数相关性不显著，与其余 6 个性状呈极

显著正相关；有效分枝数与末荚高度、株荚数、株粒数、荚长、最高茎节数、初花节位、荚宽之间呈显著或极显著正相关，但与始荚节位呈显著负相关；始荚节位则与最高茎节数、始荚高度、末荚高度之间表现出极显著正相关，而与株荚数、株粒数呈极显著负相关；最高茎节数与每花序花数之间相关性不显著，与小叶数目之间呈显著正相关，与其余 7 个性状呈极显著正相关；始荚高度与荚长、小叶数目相关性不显著，与每花序花数呈显著相关

表 4 513 份蚕豆材料农艺性状的相关性分析  
Table 4 Correlation analysis of agronomic traits among 513 faba beans materials

性状 Trait	株高 PH	茎粗 SD	分枝数 BN	有效分枝数 EBN	始荚节位 FPN	最高茎节数 HSNN	始荚高度 FPH	末荚高度 LPH	株荚数 PNPP	株粒数 GNPP	荚长 PL	荚宽 PW	小叶数目 NOSL	初花节位 FFN	每花序花数 NOFPI
株高 PH	1.000														
茎粗 SD	0.444**	1.000													
分枝数 BN	0.199**	0.131**	1.000												
有效分枝数 EBN	0.301**	0.047	0.876**	1.000											
始荚节位 FPN	0.043	0.138**	-0.037	-0.112*	1.000										
最高茎节数 HSNN	0.566**	0.403**	0.146**	0.098*	0.390**	1.000									
始荚高度 FPH	0.440**	0.252**	0.030	0.057	0.645**	0.241**	1.000								
末荚高度 LPH	0.828**	0.385**	0.182**	0.249**	0.214**	0.557**	0.553**	1.000							
株荚数 PNPP	0.401**	0.151**	0.484**	0.519**	-0.246**	0.322**	-0.142**	0.400**	1.000						
株粒数 GNPP	0.392**	0.192**	0.487**	0.504**	-0.247**	0.320**	-0.176**	0.359**	0.874**	1.000					
荚长 PL	0.384**	0.300**	0.114**	0.149**	-0.063	0.181**	0.054	0.236**	0.055	0.189**	1.000				
荚宽 PW	0.365**	0.276**	0.092*	0.113*	0.057	0.181**	0.185**	0.291**	-0.059	-0.072	0.498**	1.000			
小叶数目 NOSL	0.150**	0.018	-0.019	-0.012	-0.019	0.113*	0.020	0.139**	0.043	0.054	0.115**	0.103*	1.000		
初花节位 FFN	0.511**	0.148**	0.018	0.102*	0.016	0.226**	0.248**	0.405**	0.166**	0.179**	0.189**	0.161**	0.383**	1.000	
每花序花数 NOFPI	0.073	0.028	-0.014	-0.020	0.055	0.004	0.102*	0.072	0.010	0.007	0.000	0.064	0.026	0.075	1.000

“\*” 和 “\*\*” 分别表示显著相关 ( $P < 0.05$ ) 和极显著相关 ( $P < 0.01$ )，下同。

“\*” and “\*\*” indicate significant and extremely significant correlation at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively, the same below.

外，与其余 5 个性状呈极显著相关（与末荚高度、荚宽、初花节位之间呈极显著正相关，与株荚数和株粒数则表现出极显著负相关）；末荚高度与荚长、株荚数、小叶数目、株粒数、初花节位和荚宽之间也呈极显著正相关。

2.2.2 株型性状 分析结果（表 4）显示，9 个株型性状（株高、茎粗、分枝数、有效分枝数、始荚节位、最高茎节数、始荚高度、末荚高度和初花节位）之间存在不同程度的相关关系。株高与始荚节位无显著相关性，但与其余 8 个特征呈极显著正相关；茎粗与有效分枝数无显著相关性，却与其余 6 个性状呈极显著正相关；分枝数与有效分枝数、最高茎节数、末荚高度之间呈显著正相关，而与始荚节位、始荚高度、初花节位无显著相关性；有效分枝数与末荚高度呈极显著正相关，与始荚节位、初花节位之间呈显著正相关。

2.2.3 产量性状 对供试材料的产量性状（株荚数和株粒数）进行相关性分析，2 个产量性状之间的相关系数达到 0.874，具有极强的正相关关系（表 4）。

2.2.4 荚果性状 供试材料 4 个荚果性状（荚长、荚宽、小叶数目和每花序花数）相关性分析结果（表 4）显示，荚长与荚宽和小叶数目之间呈极显著正相关，但与每花序花数无相关性；荚宽与小

叶数目显著相关，而与每花序花数无相关性。

通过上述分析发现，分枝数与有效分枝数之间相关性系数最大，为 0.876，表明分枝数对有效分枝数起决定性作用；株荚数与株粒数相关性次之，相关系数为 0.874，表明株荚数对株粒数起决定性作用；株高与末荚高度相关系数为 0.828，表明株高对末荚高度起决定性作用。因此，在开发新蚕豆品种过程中，要综合考虑蚕豆的各种特性相互影响、相互协调的关系。

### 2.3 513 份蚕豆种质农艺性状的主成分分析

对 513 份蚕豆样本的 15 个农艺性状进行主成分分析（表 5），依据特征值高于 1 的筛选准则选出了前 5 个主成分，这些主成分的累计贡献率高达 72.098%。

第 1 主成分的特征值为 4.264，其贡献率为 28.430%。在该主成分的主轴向量中，株高的向量值最高，达到 0.862。其次是末荚高度和最高茎节数，向量值分别为 0.819 和 0.647，这些因素是体现蚕豆垂直生长和结构特征的重要指标。因此认为第 1 主成分主要代表了蚕豆的植株高度与结构特征。

第 2 主成分的特征值为 2.614，其贡献率为 17.427%。在这一主成分的主轴向量中，始荚高度向量值最高，为 0.659。其次是始荚节位，向量值

表 5 513 份蚕豆材料的 15 个农艺性状的主成分分析  
Table 5 Principal component analysis of 15 agronomic traits in 513 faba bean materials

性状 Trait	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
株高 PH	0.862	0.215	-0.126	-0.085	-0.067
茎粗 SD	0.520	0.256	-0.051	0.192	-0.419
分枝数 BN	0.515	-0.538	0.329	0.344	0.329
有效分枝数 EBN	0.555	-0.548	0.257	0.305	0.392
始荚节位 FPN	0.121	0.637	0.587	0.021	0.080
最高茎节数 HSNN	0.647	0.251	0.171	-0.174	-0.355
始荚高度 FPH	0.389	0.659	0.422	0.032	0.253
末荚高度 LPH	0.819	0.280	0.082	-0.159	-0.052
株荚数 PNPP	0.631	-0.608	0.072	-0.255	-0.164
株粒数 GNPP	0.636	-0.610	0.002	-0.205	-0.194
荚长 PL	0.433	0.116	-0.517	0.488	-0.076
荚宽 PW	0.380	0.319	-0.393	0.573	0.093
小叶数目 NOSL	0.200	0.120	-0.456	-0.397	0.433
初花节位 FFN	0.491	0.213	-0.349	-0.402	0.342
每花序花数 NOFPI	0.074	0.120	-0.002	-0.088	0.303
特征值 Eigenvalue	4.264	2.614	1.507	1.312	1.117
贡献率 Contribution rate (%)	28.430	17.427	10.049	8.748	7.444
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	28.430	45.857	55.906	64.654	72.098

为 0.637。始荚高度和始荚节位直接决定豆荚开始形成的部位和高度，结荚位置的高低会影响光照、通风和营养分配等。因此，始荚高度和始荚节位对于蚕豆的产量和品质都有重要影响。株粒数、株荚数、有效分枝数以及分枝数的主轴向量值均为负数，表明当蚕豆植株将始荚部位提高时，会牺牲部分分枝数和株荚数。在培育新品种追求高产的同时，需要关注结荚位置对产量的潜在影响。因此，第 2 主成分主要代表了蚕豆的结荚位置与分枝—产量权衡特征。

第 3 主成分特征值为 1.507，其贡献率为 10.049%。在这一主成分的主轴向量中，始荚节位的主轴向量值最大，为 0.587。其次始荚高度为 0.422，荚长、小叶数目和荚宽的主轴向量值较大，分别为 -0.517、-0.459 和 -0.393。始荚节位和始荚高度共同反映了蚕豆植株上豆荚开始形成的位置和高度。荚长、小叶数目和荚宽为负相关，说明当豆荚在较高的节位和较大的高度上开始形成时，其长度和宽度可能会受到限制，同时小叶数目也会因为营养分配或生长竞争的原因而减少。因此，第 3 主成分主要代表了蚕豆结荚位置与荚的形态特征。

第 4 主成分的特征值为 1.312，其贡献率为 8.748%。在这一主成分的主轴向量中，荚宽的主轴向量值最高，达到 0.573。紧随其后的是荚长，其主轴向量值为 0.488。初花节位和小叶数目的主轴向量值也相对较高，分别为 -0.402 和 -0.397，说明初花节位越低，小叶数目越少，对荚宽和荚长的影响越积极。初花节位低意味着植株较早进入生殖生长阶段，而小叶数目少有利于更多的营养分配给生殖器官（豆荚），从而促进了豆荚的生长和发育。因此，第 4 主成分主要代表了蚕豆的荚型与生长特征。

第 5 主成分的特征值为 1.117，其贡献率为 7.444%。在这一主成分的主轴向量中，小叶数目的主轴向量值最高，达到 0.433，其次是有效分枝数、初花节位和分枝数，主轴向量值分别为 0.392、0.342 和 0.329，茎粗和最高茎节数的主轴向量值较大，分别为 -0.419 和 -0.355。说明蚕豆植株在保持一定的茎粗、最高茎节数的同时，增加其小叶数目、有效分枝数和分枝数有利于生长和产量形成；但茎秆过粗和节数过多可能会抑制这些正面特征的发展。因此，第 5 主成分主要代表蚕豆株型与繁茂程度特征。

依据主成分的方差贡献率，第 1 至第 5 主成分的性状个数分别为 4、2、1、1 和 1。第 1 主成分为株高、末荚高度、最高茎节数、株粒数；第 2 主成分为始荚高度、始荚节位；第 3 主成分为始荚节位；第 4 主成分为荚宽；第 5 主成分为小叶数目；以上选取的性状在后期新品种选育与高产栽培时应给予重点关注。

#### 2.4 513 份蚕豆种质农艺性状的综合评价

通过隶属函数法对 513 份蚕豆样本进行性状标准化处理，提取出 5 个主要成分。根据主成分的方差贡献率确定了权重系数，计算出综合评分值  $(F) = 0.281F_1 + 0.232F_2 + 0.187F_3 + 0.160F_4 + 0.140F_5$ 。513 份材料的综合评价值分布在 -1.23~1.28，评分越高，意味着该材料的表现越佳<sup>[13]</sup>。排名前 30 位的种质资源综合评价值在 0.72~1.28（表 6），平均株高 111.76 cm、茎粗 0.83 cm、分枝数 2.09、有效分枝数 1.91、株荚数 14.51、株粒数 27.08，综合表现优异。

#### 2.5 513 份蚕豆种质农艺性状的聚类分析

将 513 份蚕豆样本进行聚类分析，所有蚕豆样本被划分成 3 个类群，各类群的具体特点参见表 7。

表 6 供试材料综合评价价值 (排名前 30)  
Table 6 Comprehensive evaluation value of test materials (Top 30)

排名 Ranking	编号 Code	材料 Material	综合评价价值 Comprehensive evaluation value	排名 Ranking	编号 Code	材料 Material	综合评价价值 Comprehensive evaluation value	排名 Ranking	编号 Code	材料 Material	综合评价价值 Comprehensive evaluation value
1	138	杂巴山蚕蚕	1.28	11	91	ZNY-12540	0.89	21	239	荷兰 171-4	0.78
2	139	荷兰 168	1.21	12	233	ZN-2540	0.88	22	253	法娃长荚-1	0.78
3	177	蚕豆 H-1	1.16	13	181	235-1-1-2-6-4	0.87	23	448	共和蚕	0.77
4	204	东德 63180	1.08	14	2	10-XHQ	0.86	24	346	Pi-7	0.76
5	473	加拿大 321-1-1	1.07	15	90	匈牙利 75-9	0.85	25	180	近缘 4 号	0.75
6	428	ZP-1-2	1.01	16	161	青海 83-26-12	0.81	26	340	8-1-1	0.75
7	382	土耳其 22-3-1	0.98	17	369	QBZP	0.81	27	484	9454	0.75
8	170	红胡豆	0.92	18	137	Z23630-4	0.80	28	328	黑皮 11009-3	0.74
9	71	宕昌蚕	0.91	19	372	2-1-1	0.80	29	11	加拿大 321-5	0.73
10	8	和政蚕蚕豆	0.90	20	467	荷兰 183-1	0.79	30	152	启东 1 号	0.72

表 7 蚕豆种质资源不同类群农艺性状分析  
Table 7 Analysis of agronomic traits in different clusters of faba bean germplasm resources

性状 Trait	类群 I Cluster I			类群 II Cluster II			类群 III Cluster III		
	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV (%)	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV (%)	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV (%)
株高 PH (cm)	107.80	10.51	9.72	84.83	9.07	10.66	59.47	9.88	16.56
茎粗 SD (cm)	0.81	0.19	23.31	0.73	0.14	19.23	0.61	0.13	21.24
分枝数 BN	1.57	0.68	43.39	1.43	0.68	47.16	1.14	0.80	70.20
有效分枝数 EBN	1.44	0.60	41.66	1.23	0.59	47.63	0.93	0.69	73.28
始荚节位 FPN	6.83	1.54	22.49	6.79	1.93	28.37	6.23	1.55	24.83
最高茎节数 HSNN	23.11	3.02	13.01	21.56	2.51	11.62	18.39	3.22	17.42
始荚高度 FPH (cm)	26.73	7.93	29.58	21.43	8.05	37.47	15.59	4.81	30.74
末荚高度 LPH (cm)	58.06	10.70	18.38	44.44	7.13	16.00	28.02	6.07	21.60
株荚数 PNPP	12.77	5.18	40.42	10.27	5.22	50.67	7.59	5.24	68.68
株粒数 GNPP	23.47	9.45	40.12	19.24	9.13	47.33	14.52	10.35	70.98
荚长 PL (cm)	8.87	1.42	15.95	8.57	1.51	17.62	7.55	1.48	19.55
荚宽 PW (cm)	1.86	0.18	9.43	1.77	0.21	11.93	1.63	0.26	15.82
小叶数目 NOSL	2.62	0.70	26.62	2.39	0.60	24.94	2.39	0.59	24.55
初花节位 FFN	4.28	1.17	27.29	3.27	0.82	25.15	3.02	0.74	24.25
每花序花数 NOFPI	4.24	0.95	22.46	4.00	0.61	15.12	4.14	0.58	13.97

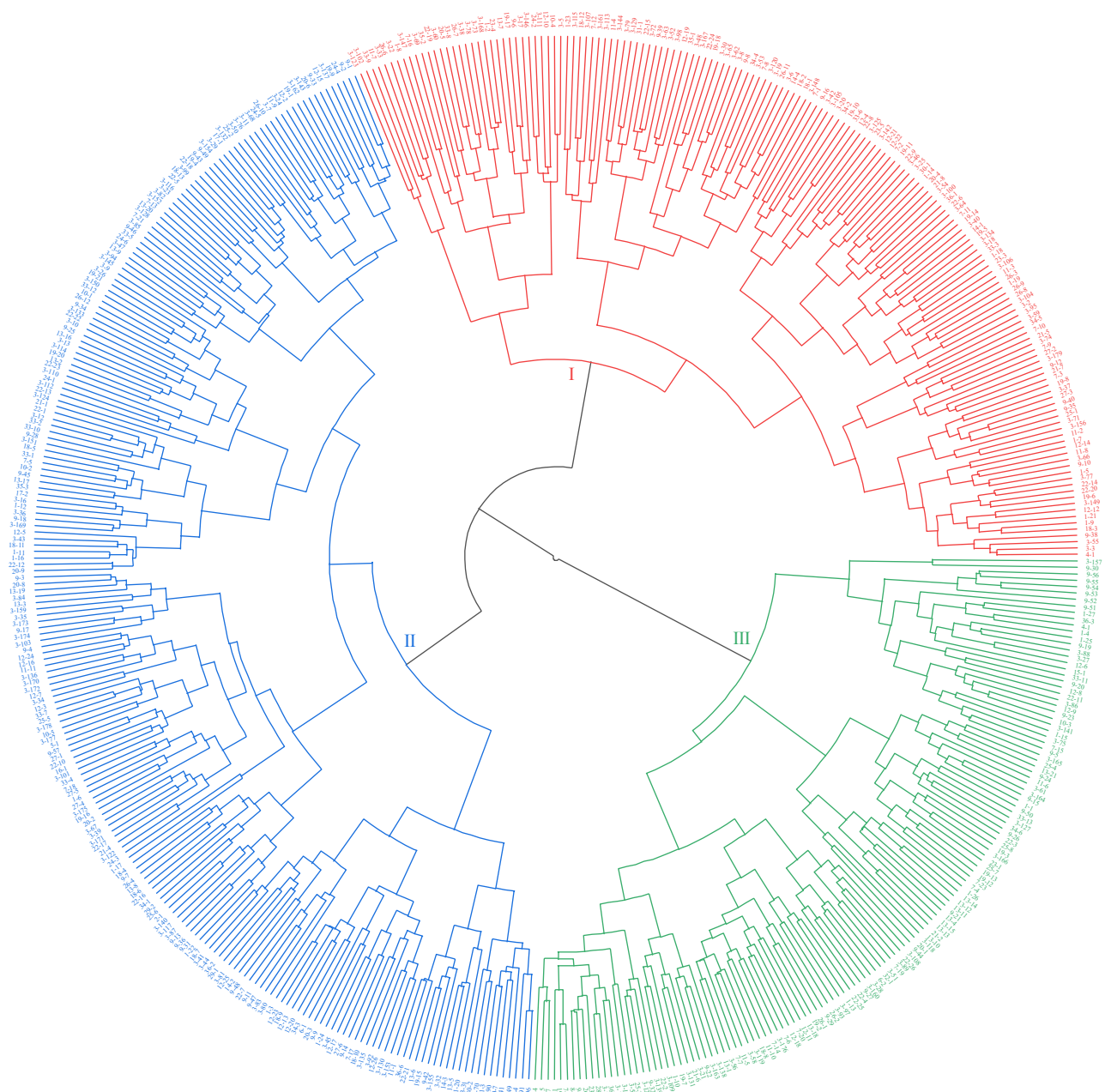
由图 1 可知, 类群 I 有 160 份种质, 占总种质数的 31.19%; 包含国内资源 110 份, 国外资源 50 份, 其比例为 2.2:1; 资源遍布五大洲, 具体为亚洲 124 份、欧洲 30 份、非洲 1 份、大洋洲 1 份和北美洲 4 份。此类群表现为植株高大且整齐、茎秆粗壮、分枝数和有效分枝数多、单株结荚多、豆荚长且宽、单株籽粒多, 属于株型高大、高产种质。

类群 II 有 221 份种质, 占总种质数的 43.08%; 包含国内资源 152 份, 国外资源 69 份, 其比例为 2.2:1; 该类群和第 I 类群一样, 资源同样遍布五大洲, 具体为亚洲 166 份、欧洲 41 份、非洲 3 份、大洋洲 3 份和北美洲 8 份。此类群表现为株高适宜, 茎粗、分枝数、株荚数和株粒数等其他性状在

3 个类群中处于中间位置, 适宜用作亲本选择与优良基因筛选的种质。

类群 III 有 132 份种质, 占总种质数的 25.73%; 此类群包含国内资源 99 份, 国外资源 33 份, 其比例为 3:1; 该类群和第 I 类群、第 II 类群一样, 资源亦遍布五大洲, 具体为亚洲 107 份、欧洲 19 份、非洲 2 份、大洋洲 3 份和北美洲 1 份。类群 III 表现为植株矮小、茎秆较细、初花节位低且集中、始荚节位低、始荚高度和末荚高度低、荚短且窄, 属于特异性种质。

3 个类群均包含低、中、高纬度地区和低、中、高海拔地区的种质资源, 且未表现出明显的地理聚类特点。如本研究中非洲资源 6 份中, 类群 I 有 1



“-”前的数字代表种质资源来源地区；“-”后的数字代表地区的份数。  
The number before the “-” represents the source region of the germplasm; the number after the “-” represents the number of regions.

图 1 蚕豆种质资源聚类图

Fig.1 Cluster diagram of bean germplasm resources

份，类群II有 3 份，类群III有 2 份。其他地区也存在类似情况。

### 3 讨论

农作物种质资源特征特性的遗传变异分析可以揭示出不同地理区域间农作物种源特征特性的遗传差异，有助于识别出综合特征特性卓越的种源，对于提升种质资源的利用效率和推动品种改良具有重要意义<sup>[14]</sup>。吕伟等<sup>[15]</sup>认为，样本之间的

显著差异可以由变异系数是否大于 10%来判断。本研究中，对 513 份蚕豆样本的多个特征特性开展了探究，发现这些特征的变异系数范围为 13.08%~53.58%，显示出较大的变化幅度。这说明不同种类的蚕豆在这些特征上存在明显的差异。其中，变异系数高于 50%的有株荚数、有效分枝数、株粒数和分枝数。513 份蚕豆种质资源的 15 个农艺特征的变异系数均超过 10%，与石晗等<sup>[7]</sup>的研究发现相似，说明本研究中使用的 513 份蚕

豆样本具有显著的多样性, 这为未来筛选出优质蚕豆品种提供了丰富的资源。

分析数量性状之间的关联性有助于评估次要性状对主要性状遗传贡献的影响, 为育种过程中对多个性状进行选择提供依据。因此, 全面考量多个性状的遗传特征, 能够为作物育种提供更为周全的指导, 从而实现对作物品种的全方位优化。在本研究中, 对 513 份蚕豆样本的整体性状、株型性状、产量性状和荚果性状分别进行了相关性分析, 揭示了这些特征之间存在显著或极显著的相关性。特别是株高与其他多数性状呈现出了极显著的正相关性, 这与徐东旭<sup>[16]</sup>的研究结论相一致; 株荚数与分枝数、有效分枝数、株粒数之间存在极显著的正相关性, 这与张炯等<sup>[17]</sup>和康智明等<sup>[18]</sup>的分析结果一致; 因此, 在进行优质、高产蚕豆新品种选育与改良时, 优先考虑有效分枝数多, 株荚数、株粒数和株高相协调, 且具有优良性状的种质作为杂交的亲本。

本研究成功确定了 5 个主成分, 累计贡献率达到 72.097%, 第 1 主成分主要为株高、末荚高度和最高茎节数等株型特征, 第 2 主成分主要由始荚的节位和高度决定, 前 2 个主成分的总贡献率达到 45.857%, 在新品种选育时应重点考虑株高、末荚与始荚高度的关系。本研究中负主轴向量最大的为株粒数 (-0.610) 和荚长 (-0.517), 二者分别是产量和植株性状方面的特异性性状, 在以后的育种中应重点关注。本研究依据主成分的方差贡献率, 通过主轴向量的正值大小筛选出了前 5 个主成分的代表性状, 包括株高、末荚高度、最高茎节数、株粒数、始荚高度、始荚节位、荚宽和小叶数目。

在作物表型性状的综合评估中, 通常应用一种将主成分分析与隶属函数法相结合的综合性的数据分析方法, 它结合了主成分分析的降维能力和隶属函数法处理模糊数据的能力<sup>[19]</sup>。这种方法通过主成分分析提取数据的主要特征, 然后利用隶属函数法对这些特征进行模糊评价, 从而得到一个综合的评价结果<sup>[20-22]</sup>。这种方法在处理复杂数据集时能够减少数据的复杂性, 同时保持数据的关键信息。通过隶属函数法标准化 15 个农艺性状, 提取前 5 个主成分得分。根据方差贡献率计算权重, 得到综合评价并把这些资源进行排序。蚕豆在全球范围内广泛种植和分布, 其中本研究中综合评价价值排名前 30 的蚕豆种质分布范围广泛, 涉及地区有低、中和

高纬度地区, 这表明该批蚕豆种质资源的遗传基础较为丰富, 材料之间的变异性较大, 可以为集产量、品质和抗性为一体的蚕豆育种和特异性材料的利用提供丰富的筛选来源和骨干亲本。

在探究植物的遗传关系和起源时, 聚类分析是一种常用的分析方法。该方法能够帮助我们清晰地观察到不同植物种质资源之间的亲缘关系, 并对它们进行分类。通过聚类分析, 我们可以直观地看到种质资源之间的相似性和差异性, 从而更好地理解它们的起源和发展历程<sup>[23]</sup>。本研究运用系统聚类方法, 把 513 份蚕豆样本划分为 3 个不同的类群, 吕春雨等<sup>[5]</sup>、杨生华等<sup>[9]</sup>和刘玉皎等<sup>[10]</sup>同样将蚕豆聚为 3 大类, 而辛佳佳等<sup>[8]</sup>聚为 2 类、张炯等<sup>[18]</sup>聚为 4 类。本研究 3 个类群在地域上未表现出明显的聚类特点, 这与石晗等<sup>[7]</sup>、康智明等<sup>[19]</sup>和赵娜等<sup>[24]</sup>的研究结果相似, 在同一个群体内, 包含了来自全球各地的种质资源, 这表明蚕豆种质资源在形态上具有较高的相似性。这是由于蚕豆在全球范围内广泛种植和分布, 不同地区的种质资源之间发生了广泛的基因交流和遗传渗透。此外, 人类在长期的种植和选育过程中也对蚕豆进行了跨地域的引种和杂交, 尤其是对产量、品质和抗逆性等性状有显著影响的基因位点, 使得不同地理区域的蚕豆材料在遗传上趋于一致。蚕豆种质资源的亲缘关系复杂, 既受到自然选择的影响, 也受到人类活动的干预。蚕豆在漫长的进化历程中, 逐渐发展出适应多种生态环境的遗传多样性。同时, 随着种子贸易、科研合作和农民间的自发交流等活动也促进了不同地理种群之间的基因混合, 从而模糊了原有的地理界限, 增强了蚕豆的遗传多样性, 为蚕豆品种的改进和培育带来了更多选择。

## 4 结论

513 份蚕豆样本 15 个农艺性状在遗传上呈现出丰富的多样性、在地域上未表现出明显的聚类特点; 通过计算隶属函数值分析, 筛选出综合性状优异的 30 份种质资源。

### 参考文献

- [1] 郑卓杰, 王述民, 宗绪晓. 中国食用豆类学. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [2] 马钰. 蚕豆 SSR 标记的开发及遗传连锁图谱的构建. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [3] 王海飞, 关建平, 马钰, 等. 中国蚕豆种质资源 ISSR 标记遗传多样性分析. 作物学报, 2011, 37(4): 595-602.

- [4] 王洋, 张明生, 李祥栋, 等. 不同高粱种质资源形态多样性及其形态标记聚类分析. 贵州农业科学, 2014, 42(6): 1-5.
- [5] 吕春雨, 廖芳丽, 陈宏伟, 等. 41 份非洲地区和我国湖北蚕豆种质资源产量性状的鉴定与评价. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2356-2363.
- [6] 李程勋, 李爱萍, 徐晓俞, 等. 福建鲜籽粒大粒蚕豆种质资源的引进及评价. 福建农业学报, 2021, 36(4): 394-401.
- [7] 石晗, 陈子义, 陈珏, 等. 54 份蚕豆种质资源主要农艺性状的综合鉴定与评价. 江苏农业科学, 2023, 51(20): 67-76.
- [8] 辛佳佳, 张南峰, 程华萍, 等. 江西省地方蚕豆种质资源遗传多样性分析及优异资源挖掘. 江苏农业学报, 2022, 38(1): 20-29.
- [9] 杨生华, 刘荣, 杨涛, 等. 蚕豆种质资源种子表型性状精准评价. 中国蔬菜, 2016(10): 32-40.
- [10] 刘玉皎, 宗绪晓. 青海蚕豆种质资源形态多样性分析. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1): 79-83.
- [11] 敏玉霞, 张红岩, 毛玉萍, 等. 外引蚕豆种质资源产量相关性状的遗传变异分析. 中国种业, 2023(10): 75-79.
- [12] 宗绪晓. 蚕豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [13] 侯献飞, 张云, 刘雨馨, 等. 基于主要农艺性状的 686 份红花种质资源遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2024, 25(9): 1468-1479.
- [14] 张向前, 刘景辉, 齐冰洁, 等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 168-174.
- [15] 吕伟, 任果香, 韩俊梅, 等. 干旱胁迫对芝麻幼苗生理生化指标的影响. 作物杂志, 2021(5): 172-175.
- [16] 徐东旭. 蚕豆种质资源形态性状遗传多样性分析. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [17] 张炯, 严斌, 高营, 等. 蚕豆种质资源主要农艺性状遗传多样性分析. 浙江农业科学, 2020, 61(6): 1109-1114, 1118.
- [18] 康智明, 郑开斌, 徐晓俞, 等. 不同蚕豆品种农艺及品质性状的遗传多样性分析. 福建农业学报, 2015, 30(3): 249-252.
- [19] 王秀秀, 邢爱双, 杨茹, 等. 陆地棉种质资源表型性状综合评价. 中国农业科学, 2022, 55(6): 1082-1094.
- [20] 王海岗, 贾冠清, 智慧, 等. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价. 作物学报, 2016, 42(1): 19-30.
- [21] 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. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3694-3708.
- [22] 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. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
- [23] 李颖, 张树航, 郭燕, 等. 211 份板栗种质资源花序表型多样性和聚类分析. 中国农业科学, 2020, 53(22): 4667-4682.
- [24] 赵娜, 缪亚梅, 姚梦楠, 等. 蚕豆种质资源籽粒表型与营养成分性状的多样性分析. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 597-604.

## Analysis of Genetic Diversity of Main Agronomic Traits of 513 Faba Bean Germplasm Resources

Li Wenjun<sup>1,2</sup>, Guo Yanping<sup>1</sup>, Yang Shenghua<sup>1</sup>, Shao Yang<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Gansu Linxia Hui Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Sciences, Linxia 731100, Gansu, China;

<sup>(2)</sup>Linxia Modern Vocational College, Linxia 731100, Gansu, China)

**Abstract** The main agronomic traits of 513 faba bean germplasm resources at home and abroad were analyzed. The results showed that the coefficient of variation of 15 agronomic traits ranged from 13.09% to 53.58%, indicating that there was a large genetic variation. The coefficient of variation for the number of pods per plant reached the highest value of 53.58%, with a variation range of 1.00 to 42.00, whereas pod width exhibited the lowest coefficient of variation at 13.09%, varying from 0.80 to 2.23 cm. Correlations among traits highlighted that the number of branches, number of effective branches, number of pods per plant, number of grains per plant, plant height, and height of the last pod are key for developing high-yielding faba bean varieties. The principal component analysis extracted five principal components, with the cumulative contribution rate reaching 72.098%, effectively representing the phenotypic characteristics of these germplasm resources. By calculating the membership function values, a comprehensive score (*F*-value) was derived, and the top 30 germplasm resources with the best comprehensive traits were identified. The cluster analysis subsequently divided the 513 faba bean germplasm resources into three groups: Cluster I included 160 resources (31.19% of the total), characterized by high plant height and yield; Cluster II comprised 221 resources (43.08% of the total), suitable as parental selection and screening of excellent genes; and Cluster III contained 132 resources (25.73% of the total), representing specific germplasm.

**Key words** Faba bean; Germplasm resources; Agronomic traits; Genetic diversity