

四川省82份蚕豆种质资源的农艺性状鉴定与评价

杨梅¹, 钟小娟¹, 范元芳¹, 李欣², 王娴淑¹, 项超¹

(¹四川省农业科学院作物研究所(四川省种质资源中心)/粮油作物绿色种质创新与遗传改良四川省重点实验室, 成都610066;

²四川省种子站, 成都610041)

摘要: 四川省是蚕豆资源遗传多样性较为丰富的省份之一, 本研究以82份四川省蚕豆地方种质资源为试验材料, 通过遗传多样性指数、变异系数、相关性分析、聚类分析和主成分分析鉴定评价四川蚕豆地方资源的多样性水平, 并筛选优异种质资源。结果表明, 82份蚕豆种质资源的叶形、鲜茎色、赤斑病抗性与褐斑病抗性遗传多样性丰富; 除荚宽和生育日数外的11个数量性状变异系数在11.70%~38.39%之间, 每荚粒数、结荚节数、单株荚数和单株粒数的变异系数较大。相关性分析结果显示, 株高、百粒重、有效分枝、结荚节数、单株荚数和单株粒数均与单株粒重呈显著或极显著正相关。聚类分析将82份蚕豆种质资源分为四类, 其中第I、IV类资源的与产量正相关的性状表现较好。主成分分析提取到5个主成分, 累计贡献率达79.858%, 有效分枝、结荚节数、单株荚数对主成分1贡献较大, 为优异资源评价的关键农艺性状, 进一步筛选了主成分因子加权得分大于1的7份种质资源作为优异资源。本研究结果反映了四川省蚕豆地方种质资源的综合表现, 为优异资源保护、挖掘和利用提供了数据支撑。

关键词: 蚕豆; 种质资源; 鉴定评价; 遗传多样性; 农艺性状

Identification and Evaluation of Agronomic Traits of 82 Faba Bean Germplasm Resources in Sichuan Province

YANG Mei¹, ZHONG Xiaojuan¹, FAN Yuanfang¹, LI Xin², WANG Xianshu¹, XIANG Chao¹

(¹Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences (Sichuan Provincial Germplasm Resources Center)/

Environment-friendly Crop Germplasm Innovation and Genetic Improvement Key Laboratory of Sichuan Province,

Chengdu 610066; ²Sichuan Seed Station, Chengdu 610041)

Abstract: Sichuan was one of the provinces with rich genetic diversity of faba bean resources. In this paper, 82 Sichuan faba bean local germplasm resources were used as the research object. The diversity level of Sichuan faba bean local resources was identified and evaluated by genetic diversity index, variation coefficient, correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis, and excellent germplasm resources were screened. The results showed that the genetic diversity of shape of the leaflets, color of the fresh stem, resistance of chocolate spot and resistance to ascochyta blight of faba bean germplasm resources was rich. The variation coefficient of 11 quantitative traits except pod width and growth days ranged from 11.70% to 38.39%, and the variation coefficient of seeds per pod, number of pod nodes, pods per plant and seeds per plant were larger. The correlation analysis results showed that plant height, 100-seed weight, number of effective branches, number of

收稿日期: 2024-12-31 网络出版日期: 2025-03-31

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20241231001>

第一作者研究方向为蚕豆种质资源鉴定与新品种选育, E-mail: yangmeitong2012@163.com

通信作者: 项超, 研究方向为豆类种质资源与遗传育种, E-mail: xc2011cib@163.com

基金项目: 四川省蔬菜育种攻关项目(2021YFYZ0022); 国家现代农业产业技术体系项目(SCCXTD-2022-20); 第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(111821301354052034); 四川省农业科学院“1+9 揭榜挂帅”项目(1+9KJGG001); 四川省财政专项(1+3ZYGG001)

Foundation projects: The Key Project of Vegetable Breeding of Sichuan(2021YFYZ0022); National Modern Agricultural Industry Technology System Project (SCCXTD-2022-20); The Third National Campaign of Crop Germplasm Census and Collection (111821301354052034); Sichuan Academy of Agricultural Sciences Project "1+9 Unveiling the List" (1+9KJGG001); Sichuan Provincial Finance Department (1+3ZYGG001)

pod nodes, pods per plant and seeds per plant were significantly or extremely significantly positively correlated with seed weight per plant. Cluster analysis clustered 82 faba bean germplasm resources into four categories, and yield-related traits of class I and IV performed better. Five principal component factors with a cumulative percentage of 79.858% were extracted by principal component analysis. The effective branch number, number of pod nodes and pods per plant contributed greatly to principal component 1, which were the key agronomic traits for excellent resource evaluation. Seven germplasm resources with a weighted score of principal component factor>1 were selected as excellent germplasm. The results of this study reflected the comprehensive performance of faba bean local germplasm resources in Sichuan, and provided data support for the protection, excavation and utilization of excellent resources.

Key words: faba bean; germplasm resources; identification and evaluation; genetic diversity; agronomic traits

蚕豆(*Vicia faba* L.)是豆科(Leguminosae)蝶形花亚科(Papilionoideae)野蚕豆族(Viceae)蚕豆属(*Vicia* L.)下唯一的栽培种^[1]。蚕豆是人们日常食物中重要的植物蛋白来源,籽粒蛋白质含量在 20.3%~41.0%之间,是除大豆、四棱豆和羽扇豆外的高蛋白作物^[2]。蚕豆在我国分布范围十分广阔,从海拔 4000 m 的西藏拉萨到 10 m 以下的东海之滨,东起东经 121°、西至东经 76°,南起北纬 22°、北至北纬 47°均有种植,是我国栽培面积较大、总产较高的食用豆类作物^[2-3]。

种质资源是作物新品种选育和农业科技原始创新的物质基础,是农业的“芯片”^[4]。种质资源的鉴定与评价是研究遗传多样性最直接的方法,对拓宽现有资源的遗传背景、挖掘优异性状和提高育种效率具有重要意义^[5]。石晗等^[6]对来自中国河北、上海、安徽和日本的 54 份蚕豆种质资源主要农艺性状进行鉴定与评价,发现单荚粒数和分枝数的遗传多样性最高,筛选到 3 份优异种质资源,可用作改良蚕豆产量的材料。崔永梅等^[7]对 246 份青稞种质资源的抗旱性进行鉴定评价,鉴定出 3 份极强抗旱或强抗旱的材料,可作亲本材料用。辛佳佳等^[8]对江西食用豆种质资源进行多样性分析,根据农艺性状、品质、抗性

和产量的综合表现,获得了 30 份具有挖掘潜力的优异食用豆资源。范元芳等^[9]对四川省 192 份大豆种质资源进行鉴定评价,筛选出 7 份优异大豆种质资源。

四川省是中国蚕豆主产区之一,常年种植蚕豆约 14 万 hm²,总产约 30 万 t,以蚕豆为原料的“川菜之魂”郫县豆瓣酱名扬国内外^[10],因此,四川省蚕豆对全国蚕豆产业的发展影响极大。2018 年四川省启动了“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”,新收集蚕豆种质资源 353 份,2020-2021 年对其中的 82 份进行了连续鉴定。本研究采用相关分析、聚类分析与主成分分析等方法对 82 份蚕豆种质资源的农艺性状进行综合评价,旨在为丰富蚕豆育种亲本基因库及蚕豆种质资源的挖掘开发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为四川省“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”征集或收集的 82 份蚕豆地方资源,所鉴定蚕豆资源已入四川省豆类种质资源库,蚕豆种质资源基本信息详见表 1。

表 1 82 份蚕豆地方资源的基本信息

Table 1 Basic information of 82 faba bean local germplasms

编号 No.	征集或 收集编号 Collect No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	征集或 收集编号 Collect No.	名称 Name	来源地 Origin
SJ01	P513426004	蚕豆	凉山州会东县	SJ05	P511621022	米胡豆	广安市岳池县
SJ02	P511903017	本地胡豆	巴中市恩阳县	SJ06	P512022030	小胡豆	资阳市乐至县
SJ03	P510781042	阳亭胡豆	绵阳市江油市	SJ07	P511323030	老胡豆	南充市蓬安县
SJ04	P510781010	白胡豆	绵阳市江油市	SJ08	P511323021	小白胡豆	南充市蓬安县

表 1 (续)

编号 No.	征集或 收集编号 Collect No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	征集或 收集编号 Collect No.	名称 Name	来源地 Origin
SJ09	P511323081	红胡豆	南充市蓬安县	SJ46	P511381044	土蚕豆	南充市阆中市
SJ10	P511325013	洞滨小胡豆	南充市西充县	SJ47	P510132002	大白胡豆	成都市新津县
SJ11	P511325014	洞滨大胡豆	南充市西充县	SJ48	P511622011	本地红胡豆	广安市武胜县
SJ12	P510723001	胡豆	绵阳市盐亭县	SJ49	P510521054	蚕豆	泸州市路泸县
SJ13	P511603022	本地胡豆	广安市前锋区	SJ50	2018512084	胡豆	成都市彭州市
SJ14	P510322002	大白胡豆	自贡市富顺县	SJ51	P511523068	本地小胡豆	宜宾市江安县
SJ15	P510322001	青胡豆	自贡市富顺县	SJ52	P513334009	胡豆	甘孜州理塘县
SJ16	P513326029	扁胡豆	甘孜州道孚县	SJ53	P511725023	豆科	达州市渠县
SJ17	P513326028	胡豆	甘孜州道孚县	SJ54	2018517046	胡豆	乐山市峨边县
SJ18	P513333005	本地胡豆	甘孜州色达县	SJ55	P511324043	胡豆	南充市仪陇县
SJ19	P510704028	大胡豆	绵阳市游仙区	SJ56	2018514077	蚕豆	攀枝花市盐边县
SJ20	P511622003	本地红皮胡豆	广安市武胜县	SJ57	2019515185	胡豆	眉山市洪雅县
SJ21	P511622002	本地紫皮胡豆	广安市武胜县	SJ58	2018514103	胡豆	攀枝花市盐边县
SJ22	P510824004	本地胡豆	广元市苍溪县	SJ59	P511324059	胡豆	南充市仪陇县
SJ23	P513228010	红胡豆	阿坝州黑水县	SJ60	2018512076	瓣胡豆	成都市彭州市
SJ24	P513228001	本地白胡豆	阿坝州黑水县	SJ61	2019515181	洪雅县本地胡豆	眉山市洪雅县
SJ25	P511623023	大蚕豆	广安市邻水县	SJ62	P513323071	红胡豆	甘孜州丹巴县
SJ26	P513321057	本地胡豆	甘孜州康定市	SJ63	2019511007	胡豆	绵阳市北川县
SJ27	2018516085	蚕豆	泸州市古蔺县	SJ64	P511526035	蚕豆	宜宾市珙县
SJ28	2018516006	小胡豆	泸州市古蔺县	SJ65	P513232007	大白胡豆	阿坝州若尔盖县
SJ29	2018516002	大胡豆	泸州市古蔺县	SJ66	P513433001	泸宁蚕豆	凉山州冕宁县
SJ30	P510183020	胡豆	成都市邛崃市	SJ67	P511723050	胡豆	达州市开江县
SJ31	P511921011	胡豆	巴中市通江县	SJ68	P511011008	胡豆	内江市东兴区
SJ32	P510112003	大白胡豆	成都市龙泉驿区	SJ69	P510922042	大胡豆	遂宁市射洪县
SJ33	P511622010	本地白胡豆	广安市武胜县	SJ70	P513333005	本地胡豆	甘孜州色达县
SJ34	P511425018	小青皮胡豆	眉山市青神县	SJ71	P513224011	胡豆	阿坝州松潘县
SJ35	P510112009	二白胡豆	成都市龙泉驿区	SJ72	P511825004	石家本地小胡豆	雅安市天全县
SJ36	P510503020	本地葫豆	泸州市纳溪区	SJ73	P511781027	胡豆	达州市万源市
SJ37	P510185045	小葫豆	成都市简阳市	SJ74	P510321017	本地小葫豆	自贡市荣县
SJ38	P511124034	七粒豆	乐山市井研县	SJ75	P513424029	本地胡豆	凉山州德昌县
SJ39	P513232001	小白胡豆	阿坝州若尔盖县	SJ76	P511923024	本地蚕豆	巴中市平昌县
SJ40	P511124033	大白胡豆	乐山市井研县	SJ77	P513225006	红胡豆	阿坝州九寨沟县
SJ41	P511303020	蚕豆	南充市高坪区	SJ78	P513225007	白胡豆	阿坝州九寨沟县
SJ42	P513232010	小红胡豆	阿坝州若尔盖县	SJ79	P511526062	胡豆	宜宾市珙县
SJ43	P510132003	二板子胡豆	成都市新津县	SJ80	P513323056	胡豆	甘孜州丹巴县
SJ44	P510683015	胡豆	德阳市绵竹县	SJ81	P513225016	本地胡豆	阿坝州九寨沟县
SJ45	P510504022	本地胡豆	泸州市龙马潭区	SJ82	2019516042	本地胡豆	广元市青川县

1.2 试验方法

供试材料于2020-2021年连续2年在四川省农业科学院现代农业科技创新示范园内(30°40'N, 103°54'E)秋播种植,播种时间分别为2020年10月25日、2021年10月23日。试验采用完全随机区组排列,2次重复。机械开沟条播,小区宽2.5 m,长2 m,行距0.5 m,每小区种植材料4行,每行播种30粒。在植株5-9叶期时按株距0.12 m每行定苗20株,田间管理按常规管理方法。

按照《蚕豆种质资源描述规范和数据标准》^[1]进行农艺性状观察记载。田间观测记载包括生育期,生态习性、叶色、叶形、鲜茎色、花旗瓣颜色、花翼瓣颜色、开花习性,赤斑病、褐斑病和锈病抗性质量

性状。干籽粒成熟期每小区随机选取10株进行室内考种,考察数量性状株高、主茎节数、分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、单株粒数、单株粒重、每荚粒数、荚长、荚宽、百粒重,干籽粒收获后计算生育日数(播种后第二天至干籽粒收获时的天数)。根据NY/T 2345-2013《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 蚕豆》(<http://www.nybjkfzx.cn/Detail.aspx?T=AT&I=5302&N=163&tp=zn&ID=910bab13-2560-4d5b-a83e-11740cf7620a>)和《蚕豆种质资源描述规范和数据标准》^[1]为质量性状赋值,赋值标准见表2;调查的数量性状取2次重复的平均值作为年度鉴定结果,2年鉴定结果的平均值作为最终鉴定结果。

表2 蚕豆质量性状赋值标准
Table 2 Assignment standards of qualitative traits of faba bean

性状 Traits	赋值标准 Assignment standards									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
生态习性 EH	春性	冬性								
叶色 LC	浅绿	绿	深绿							
叶形 SL	长圆形	椭圆形	卵圆形							
鲜茎色 FS	绿	紫	紫斑纹							
花旗瓣颜色 SPC	纯白	白带紫纹	白带褐纹	浅红	红	黄	浅褐	深褐	紫	黑
花翼瓣颜色 WPC	纯白	浅红	红	黄	浅褐	深褐	紫	黑	斑纹	
开花习性 FH	有限	无限								
锈病抗性 RR	高抗		抗		中抗		感		高感	
赤斑病抗性 CSR	高抗		抗		中抗		感		高感	
褐斑病抗性 ABR	高抗		抗		中抗		感		高感	

EH: Ecological habit; LC: Leaf color; SL: Shape of the leaflets; FS: Fresh stem color; SPC: Ground color of standard petal; WPC: Wing petal color; FH: Flowering habit; RR: Resistance to rust; CSR: Resistance to chocolate spot; ABR: Resistance to ascochyta blight; The same as below

1.3 数据分析

利用Microsoft Excel 2016处理各性状的数据,并计算各性状的遗传多样性指数、最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数,遗传多样性指数采用Shannon-weaver信息指数($H' = -\sum P_i \times \ln P_i$)计算, P_i 指某一性状第*i*个级别出现的频率。利用Origin 2021软件作图,基迪奥生物OmicShare工具(<https://www.omicshare.com/tools>)制作相关性热图,在微信信平台(<https://www.bioinformatics.com.cn>)采用欧氏距离Ward.D法进行聚类分析。利用DPS 18.0对标准化后的性状进行主成分分析,用标准化性状数据乘以主成分因子得分系数,计算各主成分的得分(F_n)^[11],结合主成分因子的贡献率(V_n)计算每份资源的综合得分($F = V_1F_1 + V_2F_2 + \dots + V_nF_n$)。

2 结果与分析

2.1 蚕豆地方种质的分布情况

四川省是我国地貌类型相对丰富和地势最复杂的省份之一,地势高差巨大,地貌类型以山地为主,占全省的67.9%,平原与台地最小,占比不足10.0%^[12]。82份蚕豆地方资源收集于四川省21个市(州),其中20份来自甘孜藏族自治州、阿坝藏族自治州、凉山彝族自治州三州春播区,62份来自秋播区。从图1可以看出,阿坝州、南充市资源份数最多,成都市、甘孜州、广安市次之,德阳市、内江市、遂宁市、雅安市和资阳市最少。分析资源收集地的地理信息,82份蚕豆地方资源海拔分布在223.0~3419.0 m之间,经度、纬度分别在100.2~

115.3 °E 与 26.3~34.2 °N 之间。春播区资源在海拔 1085.0~3419.0 m、经度 100.2~105.0 °E 及纬度 26.3~34.2 °N 之间分布;秋播区资源在海拔 223.0~1725.0 m、

经度 101.2~115.3 °E 及纬度 27.0~32.3 °N 之间分布,其中海拔 500 m 以下、经度 104.1~106.0 °E 及纬度 30.1~32.0 °N 之间分布的资源最多(图 2)。

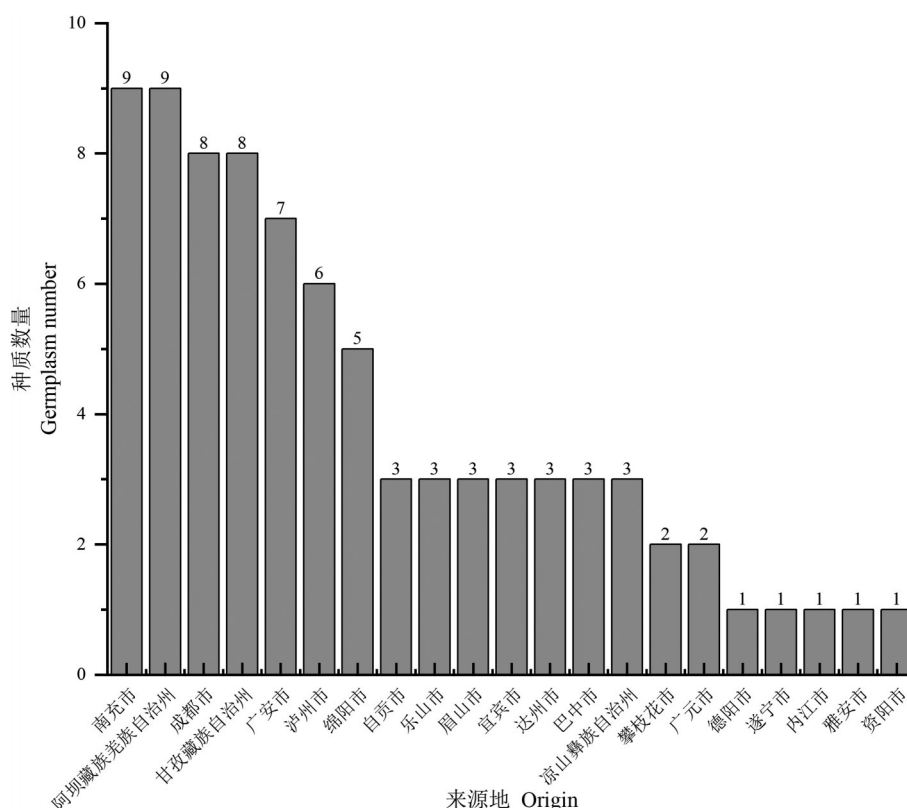


图 1 82 份蚕豆地方资源分布

Fig. 1 The distribution of 82 faba bean germplasms

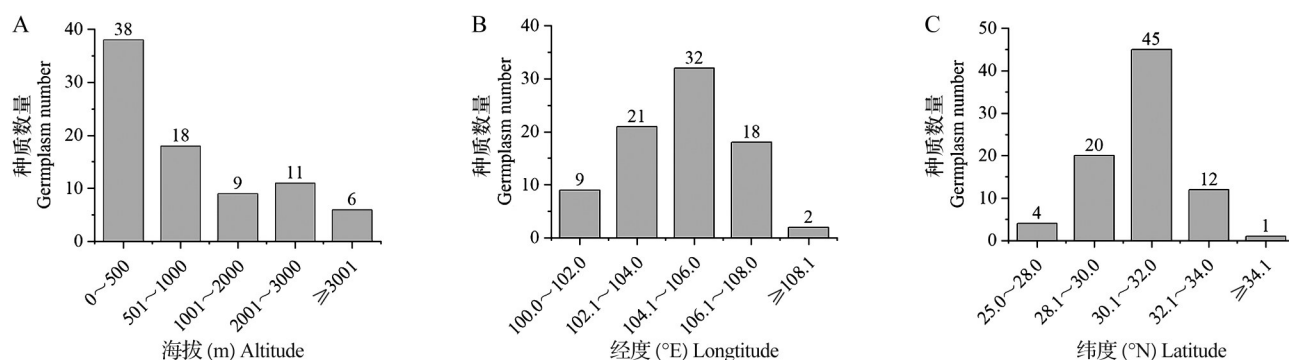


图 2 蚕豆地方资源地理信息分析

Fig. 2 Geographical information analysis of faba bean germplasms

2.2 蚕豆种质资源农艺性状多样性分析

分析 82 份种质资源质量性状的遗传多样性,结果如表 3 所示。82 份资源的鲜茎色主要分布在 3 级,赤斑病抗性、褐斑病抗性主要分布在 5 级,生态习性、叶色、叶形、花旗瓣颜色主要分布在 2 级,锈病抗性主要分布在 1 级,花翼瓣颜色主要分布在 8 级,开花习性集中分布在 2 级。10 个质量性状的遗传多样性指数范围在 0.659~1.574 之间,其中鲜茎色遗传

多样性指数最高,其次是叶形、赤斑病抗性与褐斑病抗性,说明这 4 个性状的遗传多样性较丰富。生态习性、叶色、花旗瓣颜色、花翼瓣颜色以及锈病抗性的遗传多样性指数较小,说明这 5 个性状的遗传多样性不足。

变异系数是衡量种间差异的重要指标^[9,13],范元芳等^[9]认为变异系数 > 10% 即品种间变异程度较大。分析数量性状数据发现(表 4),除荚宽和生育

日数外,株高、主茎节数、分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、荚长、单株粒数、每荚粒数、单株粒重、百粒重等 11 个性状的变异系数在 11.70%~38.39%之间,说明这 11 个性状在种间差异均较大。结荚节数、单株荚数、单株粒数和每荚粒数 4 个性状的变异系数均大于 32%,高于其他性状,其中每荚粒数的变异系数最大,为 38.39%。分枝数、有效分枝、单株粒重和百粒重 4 个性状的变异系数在 20.62%~29.05%之间,株高、主茎节数、荚长的变异系数在 11.70%~15.68%之间。荚宽变幅为 1.35~2.10 cm,变异系数为 9.05%;生育日数变幅为 172.50~178.50 d,变异系数为 0.53%,表明这 2 个性状的种间差异较小。

表3 蚕豆种质资源 10 个质量性状的遗传多样性指数分析
Table 3 Genetic diversity index analysis of 10 qualitative traits of faba bean germplasms

性 状 Traits	赋值分布频率(%) Distribution frequency of assignment criterion									遗传多样性指数 H'
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
生态习性 EH	24.39	75.61	—	—	—	—	—	—	—	0.801
叶色 LC	17.07	82.93	—	—	—	—	—	—	—	0.659
叶形 SL	29.27	48.78	21.95	—	—	—	—	—	—	1.504
鲜茎色 FS	34.15	28.05	37.80	—	—	—	—	—	—	1.574
花旗瓣颜色 SPC	—	58.54	41.46	—	—	—	—	—	—	0.971
花翼瓣颜色 WPC	1.22	—	—	—	—	15.85	—	82.93	—	0.723
开花习性 FH	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—
锈病抗性 RR	69.51	—	29.27	—	1.22	—	—	—	—	0.961
赤斑病抗性 CSR	—	—	2.44	—	48.78	—	39.02	—	9.76	1.493
褐斑病抗性 ABR	—	—	8.54	—	62.20	—	25.61	—	3.66	1.407

—:无数据
—: No data

表4 蚕豆种质资源数量性状的统计分析
Table 4 Statistical analysis of quantitative traits of faba bean germplasms

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
株高(cm) PH	64.50	133.50	107.98	12.64	11.70
主茎节数 MSN	14.40	30.40	18.84	2.95	15.68
分枝数 PB	1.70	5.60	3.34	0.69	20.67
有效分枝 EBN	1.70	5.20	2.82	0.58	20.62
结荚节数 PN	3.80	19.00	9.63	3.38	35.09
单株荚数 PP	3.80	22.65	10.59	3.80	35.89
荚长(cm) PL	5.80	15.00	7.45	1.15	15.43
荚宽(cm) PW	1.35	2.10	1.74	0.16	9.05
单株粒数 SPP	6.10	31.30	17.24	5.61	32.54
每荚粒数 SP	0.95	5.39	1.78	0.68	38.39
单株粒重(g)SWP	7.10	31.50	18.73	5.44	29.05
百粒重(g)100-SW	65.12	177.80	110.39	23.10	20.93
生育日数(d)GP	172.50	178.50	176.33	0.93	0.53

PH: Plant height; MSN: The main stem of nodes number; PB: Number of primary branches; EBN: Effective branches number; PN: Pod nodes number; PP: Pods per plant; PL: Pod length; PW: Pod width; SPP: Seeds per plant; SP: Seeds per pod; SWP: Seed weigh per plant; 100-SW: 100-seed weight; GP: Growth period; The same as below

由图3可知,82份资源的生育日数分布比较集中,有67份资源在176~177 d之间,占资源总数的81.7%。株高主要分布在100~120 cm之间,主茎节数主要分布在16~20节之间,有效分枝主要在2.5~3.5个之间,结荚节数主要在8~10节,单株荚数主要

在5.5~12荚,荚长主要在6.0~8.0 cm,荚宽主要在1.7~1.9 cm,单株粒数主要在10.0~22.0粒,每荚粒数主要在1.5~2.0粒,单株粒重主要在16.0~22.0 g。这些地方资源的百粒重主要在80.0~130.0 g之间,其中110.0~120.0 g的份数最多,有16份。

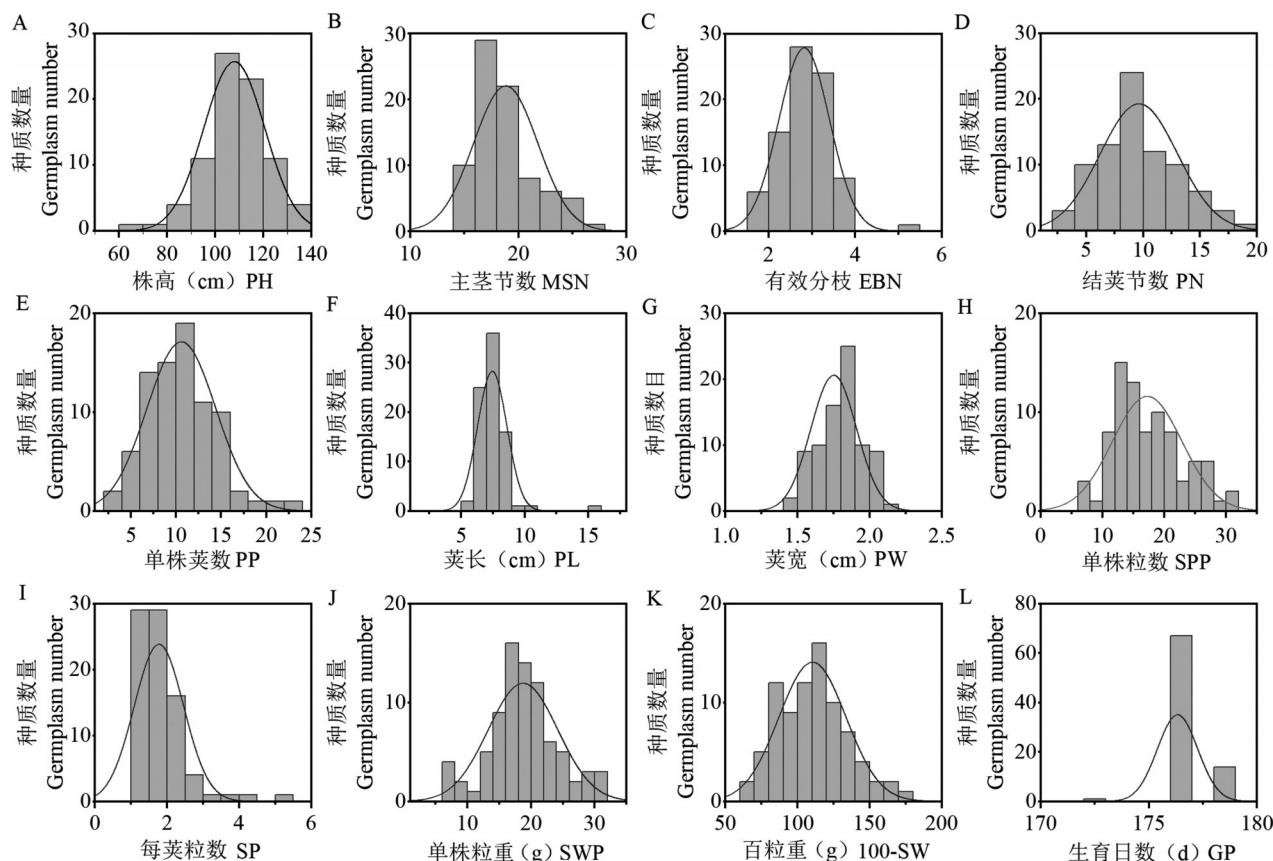


图3 蚕豆地方资源数量性状分布

Fig. 3 Distribution of quantitative traits of faba bean local resources

2.3 数量性状相关性分析

由图4可以看出,株高与主茎节数、荚宽均呈极显著正相关,与荚长、单株粒重均呈显著正相关;荚长与荚宽呈极显著正相关,与百粒重呈显著正相关;荚宽与百粒重呈极显著正相关,与单株粒数呈显著负相关;百粒重与生育日数、单株粒重均呈显著正相关,分别与每荚粒数、单株粒数呈显著、极显著负相关;每荚粒数与单株粒数呈显著正相关,与分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数均呈极显著负相关;分枝数与有效分枝、结荚节数、单株荚数呈显著或极显著正相关;有效分枝与结荚节数、单株荚数、单株粒数、单株粒重呈显著或极显著正相关;单株荚数、单株粒数、单株粒重三者间互相呈极显著正相关。在上述关系中,株高、百粒重、有效分枝、结荚节数、单株荚数和单株粒数均与单株粒重呈显著或极显著正相关,因此这6个性状均与产量

呈正相关。从性状聚类结果看,13个数量性状可以分为2类,第I类为株高、主茎节数、荚长、荚宽、百粒重、每荚粒数、生育日数7个性状,以与产量呈负相关关系的性状为主;第II类为分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、单株粒数和单株粒重6个性状,主要由与产量呈正相关关系的性状组成。

2.4 蚕豆种质资源聚类分析

基于13个数量性状,采用欧式距离 Ward.D 法对82份蚕豆种质资源进行聚类分析,结果表明该82份资源可分为4类(图5),4类资源的农艺性状均值和变异系数见表5。第I类包括26份资源,来自成都市、达州市、广安市等13个市(州);该类资源的分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、单株粒数、每荚粒数、单株粒重和百粒重等8个性状的变异系数在13.66%~43.40%之间,每荚粒数的变异系数最大;除生育日数外,株高变异系数最小(6.91%)。第

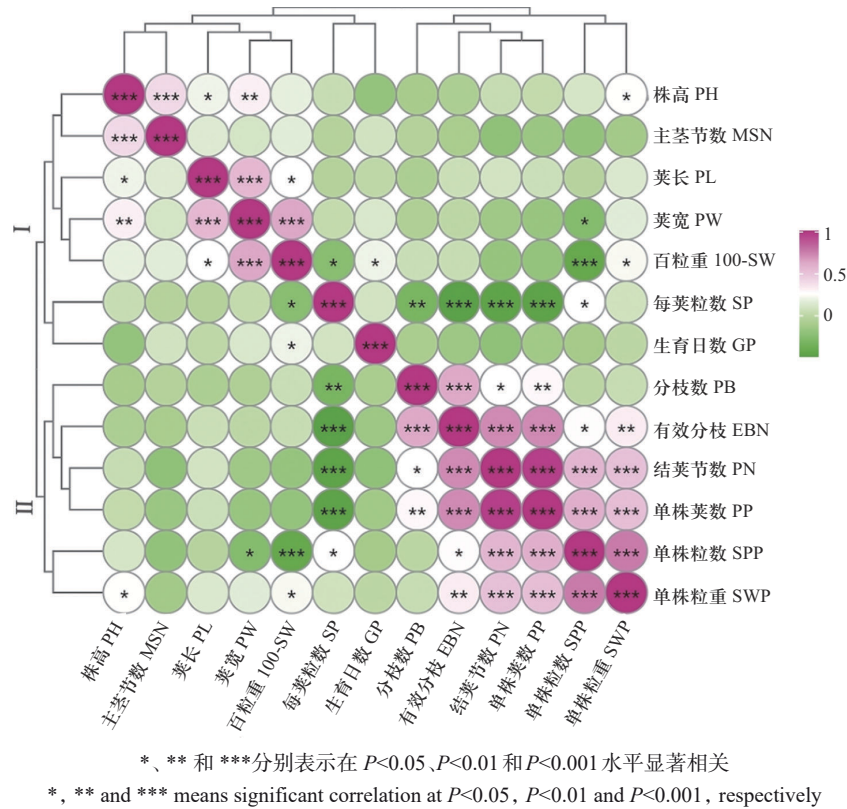
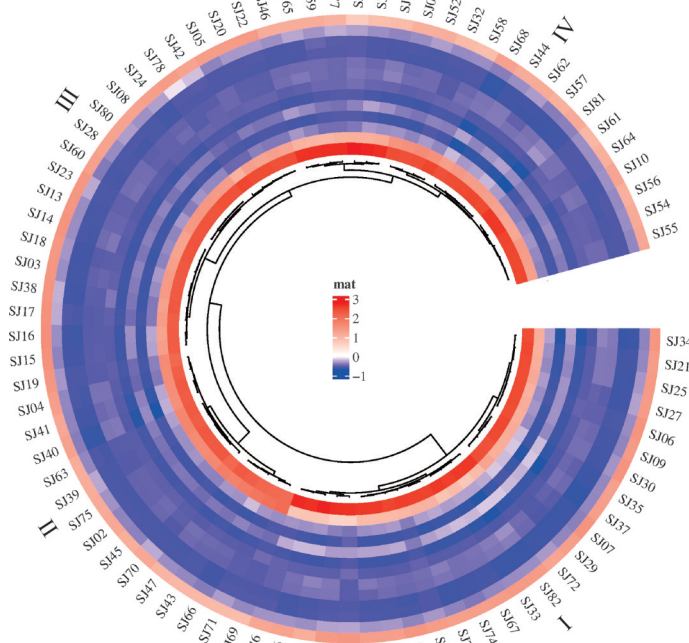


图4 蚕豆地方资源数量性状相关热图

Fig. 4 The correlation heatmap of faba bean's quantitative traits



由内到外不同圈层分别代表生育日数、百粒重、单株粒重、每荚粒数、单株荚数、荚宽、荚长、单株荚数、结荚节数、有效分枝、分枝数、主茎节数和株高; 编号同表 1

Different circles from the inside to outside represent growth period, 100-seed weight, seed weigh per plant, seeds per pod, seeds per plant, pod width, pod length, pods per plant, pod nodes number, effective branches number, primary branches number, nodes number of the main stem and plant heigh, respectively; The numbers are the same in table 1

图5 82 份蚕豆种质资源聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of 82 faba bean germplasm resources

II类包括15份资源,来自绵阳市、阿坝州、凉山州等10个市(州);该类资源的主茎节数、分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、荚长、单株粒数、每荚粒数和单株粒重等9个性状变异系数在12.72%~40.18%之间,结荚节数的变异系数最大;除生育日数外,荚宽变异系数最小(5.25%)。第III类包含19份资源,来自阿坝州、甘孜州、广安市等10个市(州),阿坝州、甘孜州资源主要分布在这一类(8份);该类资源主茎节数、分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、荚长、单株粒数、每荚粒数和单株粒重等9个性状的变异系数在19.42%~30.41%之间,结荚节数、单株荚数、单株粒重的变异系数较大,分别为29.22%、30.41%、29.58%;除生育日数外,百粒重变异系数最小。第IV类包含22份资源,来自南充市、阿坝州、眉山市等13个市(州),南充市份数最多(4份);该类

资源除生育日数和荚宽外,其他11个性状的变异系数均较大,在11.11%~38.79%之间,单株荚数、每荚粒数、结荚节数的变异系数较大,分别为38.79%、37.82%、37.42%;除生育日数外,荚宽变异系数最小(8.73%)。有13份春播区资源分布在第II、III类中,占春播区资源总数的65%。

从均值看,第I类资源的结荚节数、单株荚数、单株粒数、每荚粒数均最多,单株粒重最重;分枝数最少,荚长、荚宽、百粒重均最小。第II类资源单株粒数、每荚粒数均最少,百粒重最大。第III类资源株高、荚长均最大,主茎节数最多,有效分枝、结荚节数、单株荚数均最少,单株粒重最小。第IV类资源分枝数与有效分枝均最多,结荚节数、单株荚数和单株粒数3个性状仅次于第I类资源,株高最矮、主茎节数最少。

表5 聚类分析4个类群数量性状的均值与变异系数

Table 5 Mean and variable coefficient of four groups quantitative traits by cluster analysis

性状 Traits	I		II		III		IV	
	均值	变异系数(%)	均值	变异系数(%)	均值	变异系数(%)	均值	变异系数(%)
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
株高(cm) PH	110.68	6.91	108.97	8.59	119.45	6.94	94.22	11.11
主茎节数 MSN	18.40	9.82	19.25	15.02	20.74	19.42	17.43	12.81
分枝数 PB	3.24	15.60	3.40	20.65	3.27	21.77	3.50	24.80
有效分枝 EBN	2.82	17.10	2.88	18.71	2.67	21.60	2.91	25.11
结荚节数 PN	10.98	29.33	8.93	40.18	7.98	29.22	9.92	37.42
单株荚数 PP	12.15	30.47	9.69	37.88	8.71	30.41	10.97	38.79
荚长(cm) PL	7.18	8.91	7.68	12.72	7.80	24.16	7.32	11.73
荚宽(cm) PW	1.67	8.93	1.89	5.25	1.78	7.87	1.70	8.73
单株粒数 SPP	22.80	20.39	13.84	24.14	13.96	26.00	15.81	28.33
每荚粒数 SP	2.11	43.40	1.57	28.34	1.67	21.41	1.63	37.82
单株粒重(g)SWP	20.69	25.46	20.56	23.22	16.50	29.58	17.11	33.38
百粒重(g)100-SW	89.70	13.66	146.82	9.71	115.39	6.22	105.70	13.43
生育日数(d)GP	176.10	0.28	176.70	0.58	176.11	0.26	176.55	0.79

2.5 主成分分析

对蚕豆种质资源的13个数量性状进行主成分分析(表6),前5个主成分的特征值大于1或接近1,累计贡献率为79.585%,接近80%,综合反映了82份蚕豆资源13个数量性状的绝大部分信息。第1主成分贡献率最大,为29.251%,其中有效分枝(0.411)、结荚节数(0.485)、单株荚数(0.486)特征向量值较大,这3个性状均与产量正相关。第2主成分特征值为2.408,贡献率为18.526%,其中荚长(0.419)、荚宽(0.538)、百粒重(0.510)3个性状特征向量值较大,贡献最大的是荚宽。第3主成分特征

值为1.906,贡献率为14.663%,其中单株粒数(0.474)、每荚粒数(0.496)、单株粒重(0.414)特征向量值较大,贡献最大的是每荚粒数,主要反映2个产量正相关性状和1个产量负相关性状。第4主成分特征值为1.246,贡献率为9.586%,其中株高(-0.519)、主茎节数(-0.505)、生育日数(0.551)3个性状特征向量值较大,贡献最大的是生育日数,株高、结荚节数的效应为负。第5主成分特征值为0.983,接近1,贡献率为7.560%,其中主茎节数(0.572)、生育日数(0.621)特征向量值较大,生育日数贡献最大。

表6 蚕豆种质资源农艺性状主成分分析

Table 6 Principal component analysis of agronomic traits of faba bean germplasm

性状 Traits	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	主成分 5 PC5
株高 PH	0.007	0.318	0.314	-0.519	0.116
主茎节数 MSN	-0.125	0.243	0.023	-0.505	0.572
分枝数 PB	0.223	0.056	-0.391	-0.004	0.170
有效分枝 EBN	0.411	0.132	-0.263	0.030	0.054
结荚节数 PN	0.485	0.035	-0.003	-0.037	-0.051
单株荚数 PP	0.486	0.026	-0.002	-0.015	0.051
荚长 PL	0.015	0.419	0.132	0.024	-0.377
荚宽 PW	-0.100	0.538	0.075	0.176	-0.246
单株粒数 SPP	0.346	-0.156	0.474	0.059	0.099
每荚粒数 SP	-0.204	-0.172	0.496	0.144	0.011
单株粒重 SWP	0.315	0.179	0.414	0.225	0.134
百粒重 100-SW	-0.094	0.510	-0.116	0.253	0.080
生育日数 GP	-0.121	0.082	0.002	0.551	0.621
特征值 Eigenvalue	3.803	2.408	1.906	1.246	0.983
贡献率(%)Contribution rate	29.251	18.526	14.663	9.586	7.560
累计贡献率(%)Cumulative contribution rate	29.251	47.776	62.439	72.025	79.585

2.6 蚕豆资源的综合评价

以主成分对应的贡献率作为权重,将标准化后的 13 个数量性状值代入 5 个主成分得到 82 份蚕豆资源的综合得分 F 值,即 $F=0.293F_1+0.185F_2+0.147F_3+0.096F_4+0.076F_5$ 。以 F 值的大小综合评价 82 份蚕豆种质资源,F 值越大,农艺性状综合表现越好。由表 7 可知,82 份蚕豆资源的综合得分 F 值在 -1.74~1.65 之间,综合得分 F 值大于 1 的资源包括 SJ37(小葫豆,P510185045)、SJ40(大白胡豆,P511124033)、SJ57(胡豆,2019515185)、SJ66(泸宁蚕豆,P513433001)、SJ68(胡豆,P511011008)、SJ81(本地胡豆,P513225016)、SJ82(本地胡豆,2019516042)共 7 份。其中 SJ37(小葫豆)单株结荚节数多(15.6 节)、单株荚数多(18.6 荚)、单株粒数多(30.2 粒);SJ40(大白胡豆)荚大(荚宽 2.0 cm)、籽粒

大(百粒重 122.2 g);SJ57(胡豆)有效分枝多(3.2 个);SJ66(泸宁蚕豆)荚长长(9.0 cm)、荚大(荚宽 2.2 cm)、籽粒大(百粒重 156.3 g);SJ68(胡豆)荚长长(8.6 cm)、单株粒数多(24.8 粒)、单株粒重大(26.0 g);SJ81(本地胡豆)有效分枝多(3.4 个)、单株荚数多(14.3 荚);SJ82(本地胡豆)有效分枝多(3.2 个)、单株荚数多(18.4 荚)、单株粒数多(27.0 粒)。这 7 份优异资源中 SJ66(泸宁蚕豆)、SJ81(本地胡豆)来自于春播区,其余 5 份来自于秋播区,SJ81(本地胡豆)综合得分最高。结合聚类分析结果,7 份优异资源中,SJ37(小葫豆)、SJ82(本地胡豆)2 份来自第 I 类,SJ40(大白胡豆)、SJ66(泸宁蚕豆)2 份资源来自第 II 类,SJ57(胡豆)、SJ68(胡豆)、SJ81(本地胡豆)3 份资源来自第 IV 类。

表7 82 份蚕豆种质资源综合得分

Table 7 Comprehensive scores of 82 faba bean germplasm

编号 No.	综合得分 Synthesis score	位次 Ranking	类群 Group	编号 No.	综合得分 Synthesis score	位次 Ranking	类群 Group
SJ01	0.00	41	IV	SJ05	-0.54	70	III
SJ02	0.01	39	II	SJ06	-0.26	56	I
SJ03	0.22	28	III	SJ07	0.35	24	I
SJ04	0.13	32	II	SJ08	-0.49	65	III

表 7 (续)

编号 No.	综合得分 Synthesis score	位次 Ranking	类群 Group	编号 No.	综合得分 Synthesis score	位次 Ranking	类群 Group
SJ09	0.16	30	I	SJ46	-0.42	62	IV
SJ10	-0.12	51	IV	SJ47	0.68	11	II
SJ11	-1.07	76	I	SJ48	-0.39	60	IV
SJ12	0.10	36	I	SJ49	-1.74	82	IV
SJ13	-0.10	49	III	SJ50	0.16	31	I
SJ14	0.33	25	III	SJ51	0.10	35	IV
SJ15	0.49	18	III	SJ52	0.30	27	IV
SJ16	0.10	34	III	SJ53	0.42	22	I
SJ17	-0.57	71	III	SJ54	-0.44	64	IV
SJ18	-0.02	42	III	SJ55	-0.42	61	IV
SJ19	-0.28	57	II	SJ56	-0.35	59	IV
SJ20	-1.01	75	III	SJ57	1.08	6	IV
SJ21	0.56	14	I	SJ58	0.11	33	IV
SJ22	-0.92	74	III	SJ59	-1.26	78	IV
SJ23	-0.06	46	III	SJ60	0.70	10	III
SJ24	-0.09	48	III	SJ61	-0.44	63	IV
SJ25	0.38	23	I	SJ62	0.56	15	IV
SJ26	-0.50	66	I	SJ63	-0.09	47	II
SJ27	-0.04	45	I	SJ64	-1.10	77	IV
SJ28	-0.32	58	III	SJ65	-0.26	55	IV
SJ29	0.06	38	I	SJ66	1.11	5	II
SJ30	0.08	37	I	SJ67	0.53	17	I
SJ31	0.00	40	I	SJ68	1.29	4	IV
SJ32	-0.54	69	IV	SJ69	-0.02	43	II
SJ33	0.55	16	I	SJ70	-0.57	72	II
SJ34	0.95	9	I	SJ71	0.20	29	II
SJ35	0.45	21	I	SJ72	0.46	20	I
SJ36	-0.19	53	I	SJ73	-0.50	67	I
SJ37	1.35	3	I	SJ74	0.48	19	I
SJ38	0.33	26	III	SJ75	-0.11	50	II
SJ39	-0.53	68	II	SJ76	-0.74	73	I
SJ40	1.48	2	II	SJ77	-1.60	81	IV
SJ41	0.98	8	II	SJ78	-1.32	79	III
SJ42	-1.37	80	III	SJ79	0.57	13	I
SJ43	-0.03	44	II	SJ80	-0.12	52	III
SJ44	0.60	12	IV	SJ81	1.65	1	IV
SJ45	-0.22	54	II	SJ82	1.06	7	I

3 讨论

中国是世界蚕豆第一生产大国,据联合国粮食及农业组织统计数据库(Food and Agriculture Organization of the United Nation, Database, <https://www.fao.org/faostat/en/#data>)数据显示,2023年中国蚕豆收获面积167.07万hm²,总产378.15万t,占世界总面积和总产的43.22%、39.38%,均居世界首位。我国蚕豆因适应不同的生态环境而表现出丰富的遗传多样性^[14-15],因此,鉴定评价、筛选蚕豆种质资源是优异种质资源有效利用、选育蚕豆新品种的基础。本研究82份蚕豆种质资源收集于四川省,分布在海拔223.0~3419.0 m、经度100.2~115.3 °E、纬度26.3~34.2 °N的区域。四川省蚕豆在生产上分为秋播区和春播区,春播区主要在甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州、凉山彝族自治州等三州地区,该区域平均海拔高度在2000 m以上^[11]。本研究鉴定的种质资源中,秋播区资源较多,主要分布在海拔500 m以下,经度、纬度跨度分别在104.1~106.0 °E、30.1~32.0 °N之间。四川省是蚕豆资源遗传多样性较为丰富的省份之一^[5],本研究82份蚕豆种质资源在叶形、鲜茎色、赤斑病抗性、褐斑病抗性遗传多样性丰富,表明这4个性状可作为田间观察记载区分蚕豆种间差异的主要性状。赤斑病是危害我国东南沿海和长江流域蚕豆产区的重要病害,产量损失可达50%~100%^[16]。本研究的蚕豆种质资源中,赤斑病抗性表现为抗或中抗的资源有42份,达到抗赤斑病的资源只有2份,因此创制抗病材料、选育抗病品种以及推广抗病新品种是提高四川省蚕豆整体产量水平的途径之一。

蚕豆数量性状间存在丰富的遗传变异,敏玉霞等^[17]认为百粒重、单株有效籽粒、荚长、荚宽、单荚粒数、单株有效荚、单株产量等7个性状遗传变异丰富,单株产量变异系数最大,单株有效籽粒、单株有效荚及百粒重可作为选育高产蚕豆品种的指导目标性状。已有研究结果发现蚕豆单株粒数、单株荚数、分枝数和有效分枝的变异程度显著,具有较高的遗传改良潜力^[18-19]。在本研究中,除生育日数和荚宽外,每荚粒数、荚长和分枝数等11个性状的变异系数在11.70%~38.39%之间,每荚粒数变异系数最大,该结果与石晗等^[6]结果相似。欧阳裕元等^[20]发现单株荚数、单株粒数、株高、结荚节数与单株产量相关系数较大,在选育高产蚕豆时应重点关注这些性状的筛选。本研究相关性分析结果表明,株

高、百粒重、有效分枝、结荚节数、单株荚数、单株粒数与单株粒重呈显著或极显著正相关,这与朱吉凤等^[21]研究结果一致。结合性状聚类分析结果,分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、单株粒数和单株粒重聚为一类,因此在选择高产亲本时,需重点考虑分枝数、有效分枝、结荚节数、单株荚数、单株粒数和单株粒重这6个性状。聚类分析常用于大量样本的数据分析^[22-24],本研究聚类分析将82份蚕豆资源分为4类,第I类资源分枝数、结荚节数、单株荚数、单株粒数、每荚粒数、单株粒重和百粒重7个性状变异较丰富,与产量呈正相关关系的性状综合表现最好,第IV类次之,这两类资源中有30份资源中抗或抗赤斑病,因此具有较高的改良利用价值;第II类资源结荚节数变异较大,百粒重最重;第III类资源结荚节数、单株荚数和单株粒重变异较大,产量正相关性状综合表现较差;这两类资源中仅有12份中抗或抗赤斑病的资源。65%的春播区资源分布在第II、III类群中,因此春播区资源的综合表现较秋播区差,这可能与春播区资源在秋播区进行鉴定时种植环境差异较大有关。主成分分析用降维的方法评价关键农艺性状和筛选优异资源^[12-13,25],本研究采用主成分分析将参试资源的大量农艺性状信息综合反映在5个主成分中,累计贡献率达79.585%。有效分枝、结荚节数、单株荚数对第1主成分贡献最大,表明这3个性状为优异资源评价的关键农艺性状。进一步计算82份资源的综合得分,筛选出7份优异资源,其中阿坝县九寨沟本地胡豆(P513225016)综合得分最高,说明该份资源的综合表现最好。7份优异资源中5份来自于秋播区,说明春播区优异资源较少。综合考量聚类分析与主成分分析结果,第I、IV类资源可为高产蚕豆新品种的选育提供备选材料。

综上,本研究系统阐释了82份四川省蚕豆地方种质资源农艺性状的遗传多样性,明确了两类资源具有利用价值,筛选出阿坝县九寨沟本地胡豆(P513225016)等7份优异种质资源,为蚕豆地方资源的保护、挖掘以及新种质创制与品种培育提供了参考依据。

参考文献

- [1] 宗绪晓,包世英,关建平.蚕豆种质资源描述规范和数据标准.第1版.北京:中国农业出版社,2006
Zong X X, Bao S Y, Guan J P. Descriptors and data standard for faba bean (*Vicia faba* L.). 1st edition. Beijing: China Agricultural Press, 2006

- [2] 包世英, 宗绪晓, 朱振东. 蚕豆生产技术. 第1版. 北京: 北京教育出版社, 2016: 11-15
Bao S Y, Zong X X, Zhu Z D. Production technology of faba bean. 1st edition. Beijing: Beijing Education Press, 2016: 11-15
- [3] 程须珍, 田静, 王丽侠, 陈红霖. 中国食用豆类品种志: 第二辑. 第1版. 北京: 科学出版社, 2023: 1-7
Cheng X Z, Tian J, Wang L X, Chen H L. Records of edible bean varieties in China: 2nd series. 1st edition. Beijing: Science Press, 2023: 1-7
- [4] 杨武云, 吕季娟, 项超. 中国作物种质资源科学调查与研究报告: 四川卷. 第1版. 北京: 科学出版社, 2024: 111-112, 116-117
Yang W Y, Lyu J J, Xiang C. Scientific investigation and research report on crop germplasm resources in China: Sichuan Volume. 1st edition. Beijing: Science Press, 2024: 111-112, 116-117.
- [5] 张红岩, 敏玉霞, 滕长才, 彭小星, 陈志凯, 周仙莉, 娄树宝, 刘玉皎. 利用130K液相芯片分析中国蚕豆种质资源遗传多样性. 作物学报, 2024, 50(8): 1989-2000
Zhang H Y, Min Y X, Teng C C, Peng X X, Chen Z K, Zhou X L, Lou S B, Liu Y J. Genetic diversity analysis of Chinese faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm resources using 130K liquid phase chips. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(8): 1989-2000
- [6] 石晗, 陈子义, 陈珏, 邹丹蓉. 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
Shi H, Chen Z Y, Chen Y, Zou D Y. Comprehensive identification and evaluation of main agronomic traits of 54 faba bean germplasm resources. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(20): 67-76
- [7] 崔永梅, 李洁, 张丽, 姚有华, 姚晓华, 吴昆仑. 青稞种质资源抗旱性鉴定评价. 植物遗传资源学报, 2025, 26(3): 519-529
Cui Y M, Li J, Zhang L, Yao Y H, Yao X H, Wu K L. Drought-resistance evaluation of Qingke germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2025, 26(3): 519-529
- [8] 辛佳佳, 张南峰, 涂玉琴, 张洋, 关峰, 汤洁. 江西食用豆种质资源调查分析与优异资源筛选. 植物遗传资源学报, 2025, 26(3): 441-454
Xin J J, Zhang N F, Tu Y Q, Zhang Y, Guan F, Tang J. Investigation and analysis of edible bean germplasm resources in Jiangxi and screening of excellent resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2025, 26(3): 441-454
- [9] 范元芳, 王嫻淑, 杨梅, 钟小娟, 项超. 四川省大豆种质资源收集与鉴定评价. 植物遗传资源学报, 2024, 25(6): 931-944
Fan Y F, Wang X S, Yang M, Zhong X J, Xiang C. Collection, identification and evaluation of soybean germplasm resources in Sichuan province. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(6): 931-944
- [10] 杨梅, 陈新, 袁星星, 鲜东锋, 余东梅, 项超. 不同除草剂对蚕豆田间杂草及蚕豆生长和根瘤的影响. 中国农学通报, 2020, 36(25): 106-114
Yang M, Chen X, Yuan X X, Xian D F, Yu D M, Xiang C. The influence of several herbicides on weeds and broad bean growth and nodules in field. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(25): 106-114
- [11] 饶庆琳, 姜敏, 刘选轶, 吕建伟, 胡廷会, 成良强, 王金花, 王军. 贵州296份花生种质资源遗传多样性及综合评价. 植物遗传资源学报, 2024, 25(3): 373-385
Rao Q L, Jiang M, Liu X Y, Lyu J W, Hu T H, Cheng L Q, Wang J H, Wang J. Genetic diversity and comprehensive evaluation of 296 peanuts germplasm resources in Guizhou. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(3): 373-385
- [12] 曾超. 基于典型地形指标和地貌实体单元的四川省地貌形态自动分类及分区. 山地学报, 2021, 39(4): 587-599
Zeng C. Classification and regionalization of geomorphological types based on typical terrain indicators and landform unit for Sichuan province, China. Mountain Research, 2021, 39(4): 587-599
- [13] 李鸿雁, 李悦煊, 李俊, 武自念, 黄帆, 朱琳, 郭茂伟, 李志勇, 辛霞. 内蒙古143份冰草属种质资源表型多样性分析与综合评价. 植物遗传资源学报, 2024, 25(8): 1254-1267
Li H Y, Li Y X, Li J, Wu Z N, Huang F, Zhu L, Guo M W, Li Z Y, Xin X. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 143 agropyron germplasm resources in Inner Mongolia, China. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(8): 1254-1267
- [14] 杨新, 吕梅媛, 胡朝芹, 杨峰, 王玉宝, 代正明, 于海天, 郑爱清, 张玉荣, 唐永生, 王丽萍, 李琼, 何玉华. 低纬高原生态条件下环境与基因型对蚕豆产量的影响. 土壤与作物, 2024, 13(4): 479-490
Yang X, Lyu M Y, Hu C Q, Yang F, Wang Y B, Dai Z M, Yu H T, Zheng A Q, Zhang Y R, Tang Y S, Wang L P, Li Q, He Y H. Effects of environment and genotype on grain yields of faba bean under ecological conditions of low latitude plateau. Soils and Crops, 2024, 13(4): 479-490
- [15] 杨生华, 邵扬, 李文俊, 郭延平. 国内春蚕豆种质资源种子表型性状多样性分析. 贵州农业科学, 2022, 50(10): 1-6
Yang S H, Shao Y, Li W J, Guo Y P. Diversity analysis of phenotypic traits of germplasm resources of spring *Vicia faba* seeds in China. Guizhou Agricultural Sciences, 2022, 50(10): 1-6
- [16] 龙珏臣, 杜成章, 王萍, 武云霞, 张志良, 邓豪, 王强, 李沅根, 唐明双, 张继君. 蚕豆种质资源抗赤斑病鉴定与评价. 植物保护, 2025, 51(1): 218-225
Long J C, Du C Z, Wang P, Wu Y X, Zhang Z L, Deng H, Wang Q, Li Y G, Tang M S, Zhang J J. Identification and evaluation of faba bean germplasm resources for resistance to chocolate spot. Plant Protection, 2025, 51(1): 218-225
- [17] 敏玉霞, 张红岩, 毛玉萍, 陈玉花, 刘玉皎. 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

- Min Y X, Zhang H Y, Mao Y P, Chen Y H, Liu Y J. Genetic variation analysis of yield traits of foreign broad bean germplasm resources. *China Seed Industry*, 2023 (10): 75-79
- [18] 辛佳佳, 张南峰, 程华萍, 戴兴临, 张洋, 涂玉琴, 涂伟凤, 谷德平, 关峰, 汤洁. 江苏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
- Xin J J, Zhang N F, Cheng H P, Dai X L, Zhang Y, Tu Y Q, Tu W F, Gu D P, Guan F, Tang J. Genetic diversity analysis and excellent resources mining of local broad bean germplasm resources in Jiangsu province. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 38(1): 20-29
- [19] 李文俊, 郭延平, 杨生华, 邵扬. 513 份蚕豆种质资源主要农艺性状遗传多样性分析. *作物杂志*, 2024, <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20240930.1130.002>
- Li W J, Guo Y P, Yang S H, Shao Y. Analysis of genetic diversity of main agronomic traits of 513 faba bean germplasm resources. *Crops*, 2024, <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20240930.1130.002>
- [20] 欧阳裕元, 余东梅, 杨梅. 蚕豆主要农艺性状与单株产量的相关及通径分析. *江苏农业学报*, 2016, 32(4): 763-768
- Ouyang Y Y, Yu D M, Yang M. Path analysis and correlation analysis between agronomic traits and yield in broad bean. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 32 (4) : 763-768
- [21] 朱吉凤, 周熙荣, 王伟荣, 孙滨, 雷蕾, 曹黎明. 上海蚕豆地方资源鉴定评价与遗传多样性分析. *上海农业学报*, 2024, 40(2): 1-6
- Zhu J F, Zhou X R, Wang W R, Sun B, Lei L, Cao L M. Evaluation and genetic diversity analysis of Shanghai faba bean germplasm resources. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2024, 40(2): 1-6
- [22] 范元芳, 王嫻淑, 何芳, 吕季娟, 陶磊, 刘波, 郭佳, 项超. 四川省大豆种质资源表型性状鉴定及综合评价. *大豆科学*, 2024, 43(3): 295-302
- Fan Y F, Wang X S, He F, Lyu J J, Tao L, Liu B, Guo J, Xiang C. Phenotypic identification and evaluation of soybean germplasm resources in Sichuan province. *Soybean Science*, 2024, 43(3): 295-302
- [23] 陈志凯, 周仙莉, 张红岩, 滕长才, 侯万伟. 320 份蚕豆蛋白质含量的 SSR 关联分析. *作物学报*, 2024, 50(11): 2775-2786
- Chen Z K, Zhou X L, Zhang H Y, Teng C C, Hou W W. SSR association analysis of the protein content of 320 faba bean germplasms. *Acta Agronomica Sinica*, 2024, 50(11): 2775-2786
- [24] 金文海, 王慧, 范惠玲, 张红岩, 李萍, 侯万伟, 滕长才, 武学霞. 107 份青海高原耐盐碱蚕豆种质筛选及评价. *种子*, 2024, 43(10): 20-26
- Jin W H, Wang H, Fan H L, Zhang H Y, Li P, Hou W W, Teng C C, Wu X X. Screening and evaluation of 107 salt-alkali tolerant *Vicia faba* germplasms from the Qinghai plateau. *Seeds*, 2024, 43(10): 20-26
- [25] 范惠玲, 白生文, 路妍, 彭小星, 周仙莉, 张红岩, 滕长才, 武学霞, 刘玉皎. 155 份蚕豆种质资源全生育期耐盐碱性鉴定与综合评价. *作物学报*, 2024, 50(12): 3035-3045
- Fan H L, Bai S W, Lu Y, Peng X X, Zhou X L, Zhang H Y, Teng C C, Wu X X, Liu Y J. Identification and comprehensive evaluation of salt-alkali tolerance throughout the growth period of 155 faba bean germplasms. *Acta Agronomica Sinica*, 2024, 50(12): 3035-3045