

外引蚕豆种质资源产量相关性状的遗传变异分析

敏玉霞¹ 张红岩² 毛玉萍¹ 陈玉花¹ 刘玉皎²

(¹ 甘肃省甘南藏族自治州农业科学研究所, 合作 747000; ² 青海大学农林科学院 /

青海大学省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 西宁 810016)

摘要: 为了提高外引蚕豆种质资源的利用效率, 以来自四大洲 17 个国家的 253 份蚕豆种质资源为材料, 通过变异系数、相关性分析、主成分分析、聚类分析, 研究蚕豆种质资源表型性状的多样性水平。结果显示, 12 个农艺性状在不同蚕豆种质资源间存在丰富的变异, 变异系数在 9.97%~58.45% 之间, 其中单株产量的变异系数最大, 粒厚变异系数最小。相关性分析和灰色关联度分析表明, 单株有效籽粒、单株有效荚及百粒重可作为今后选育高产蚕豆品种的指导目标性状。主成分分析结果表明, 前 3 个主成分因子累计贡献率达 75.2578%, 其中百粒重、籽粒表面积、粒长、粒宽、单株有效籽粒、单株有效荚、单株产量等性状是蚕豆表型变异的主要因素。基于 UPGAMA 的聚类分析将 253 份参试蚕豆资源划分为两大类, 第一类群主要特征为籽粒较大, 单株产量高, 是培育大粒高产品种的重要材料来源; 第二类群籽粒较小, 百粒重较小, 是选育粮饲兼用型蚕豆品种的重要材料。综合分析国外种质资源的农艺性状, 为我国蚕豆种质资源创新利用及育种亲本选配提供重要参考。

关键词: 蚕豆; 种质资源; 农艺性状; 主成分分析; 聚类分析

Genetic Variation Analysis of Yield Traits of Foreign Broad Bean Germplasm Resources

MIN Yuxia¹, ZHANG Hongyan², MAO Yuping¹, CHEN Yuhua¹, LIU Yujiao²

(¹ Institute of Agricultural Sciences, Gannan Tibetan Autonomous Prefecture, Hezuo 747000, Gansu ;

² Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University/State Key Laboratory of

Plateau Ecology and Agriculture, Qinghai University, Xining 810016)

蚕豆 (*Vicia faba* L.) 是豆科 (Leguminosae) 野豌豆族 (Vicieae)、野豌豆属 (*Vicia*) 中唯一的栽培种 (*V. faba*)^[1], 别名胡豆、佛豆、罗汉豆等。蚕豆营养丰富, 种植历史悠久, 约公元前 9000–10000 年在近东地区被首次驯化^[2–3]。蚕豆是世界上第三大冷季豆类作物, 耐寒、耐旱、耐贫瘠, 广泛分布于全球 65 个国家, 种植面积达 272 万 hm²。据联合国粮食及农业组织 (FAO) 最新统计, 2021 年全球蚕豆总产量达 590 万 t^[4]。中国是世界上最大的蚕豆生产国, 种植面积和产量均居世界第一, 但是单位面积产量远远低于葡萄牙、阿根廷等国家, 也低于世界平均

水平。

种质资源是品种改良和选育的物质基础, 了解、鉴定种质资源特性是挖掘种质资源利用潜力和种业振兴的关键。卜远鹏等^[5]分析和评价了 379 份菜用大豆种质资源, 利用最长距离法构建了核心种质, 明确了影响食味品质的关键理化指标, 加快了高产、优质大豆品种选育。万述伟等^[6]对 271 份国外豌豆资源遗传多样性进行分析, 发现印度和波兰的豌豆种质资源遗传多样性高, 同时筛选出了一批丰产潜力很高的高秆、大粒、高产种质资源。

目前, 国内对蚕豆种质资源遗传多样性分析大多集中在地方种质材料^[7–10], 而对国外蚕豆种质资源农艺性状遗传多样性分析鲜有报道。因此, 本研究以来自四大洲 17 个国家的 253 份蚕豆种质资源

基金项目: 甘肃省自然科学基金 (22JR5RP1026, 23JRRP0004); 甘南州科技计划项目 (2022JY1NZ008)

通信作者: 刘玉皎

为材料,对 12 个农艺性状进行相关性、主成分和聚类分析,评价国外种质资源遗传多样性,提高外引蚕豆种质资源的利用效率,为我国蚕豆种质资源创新利用和育种亲本选配提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试蚕豆材料 253 份,为提纯 8 代材料,由中国农业科学院作物科学研究所提供,来源地涉及全球四大洲 17 个国家(表 1)。2022 年 4 月种植于青海大学农林科学院育种基地(36°43'N, 101°45'E,海拔 2268.4m),大田常规管理。

表 1 参试蚕豆来源

分布	样本量	来源地(份数)
亚洲	103	叙利亚(45),伊拉克(14),黎巴嫩(8),土耳其(20),阿富汗(16)
欧洲	98	德国(34),西班牙(12),荷兰(9),英国(27),法国(10),俄罗斯(6)
非洲	29	苏丹(5),埃及(7),阿尔及利亚(5),突尼斯(5),埃塞俄比亚(7)
北美	23	加拿大(23)

1.2 指标测定 于成熟期收获后进行考种,测定粒厚、百粒重、籽粒表面积、籽粒周长、粒长、粒宽、单株有效籽粒、荚长、荚宽、单荚粒数、单株有效荚、单株产量,其中籽粒周长、籽粒表面积、粒厚、粒长、粒宽等表型性状采用杭州万深 SC-G 型自动考种分析及千粒重系统测定。调查方法参考《蚕豆种质资源描述规范和数据标准》^[11] 执行。

1.3 数据分析 采用 Microsoft Excel 2010 对数据进行整理,利用 DPS V9.01 进行相关性、关联度、回归、主成分、聚类等分析。

2 结果与分析

2.1 农艺性状遗传变异分析 253 份蚕豆种质资源的变异分析结果如表 2 所示。12 个农艺性状的变异系数(CV)范围在 9.97%~58.45% 之间,其中,单株产量的变异系数最大,其次为单株有效籽粒、单株有效荚,变异系数均在 49.71% 及以上,说明这些性状具有丰富的遗传变异性,易受环境因素影响,具有较大的选择潜力和改良空间。粒厚变异系数最小,说明该性状相对稳定,遗传变异性小。各性状变异系数依次为单株产量>单株有效籽粒>单株有效荚>百粒重>籽粒表面积>籽粒周长>单荚粒数>荚长>粒长>粒宽>荚宽>粒厚。

表 2 蚕豆种质资源农艺性状的遗传变异特征

性状	平均值	标准差	变幅	CV(%)
粒厚(mm)	8.26	0.82	5.32	9.97
百粒重(g)	104.70	30.33	166.08	28.97
籽粒表面积(mm ²)	167.32	46.52	244.88	27.80
籽粒周长(mm)	56.57	15.31	140.08	27.06
粒长(mm)	16.87	2.63	16.69	15.57
粒宽(mm)	12.36	1.83	11.77	14.84
单株有效籽粒	18.35	9.46	67.00	51.56
荚长(cm)	7.77	1.27	7.70	16.28
荚宽(cm)	1.84	0.22	1.43	12.06
单荚粒数	2.53	0.62	3.33	24.42
单株有效荚	10.46	5.20	31.33	49.71
单株产量(g)	18.88	11.04	83.22	58.45

2.2 蚕豆种质资源农艺性状相关性分析 对 253 份蚕豆种质资源的 12 个农艺性状进行相关性分析(表 3)。结果表明,单株产量与百粒重、单株有效籽粒、单荚粒数、单株有效荚及籽粒表型(包括粒厚、籽粒表面积、籽粒周长、粒长和粒宽)均呈极显著正相关($p<0.01$),与荚长和荚宽无显著相关性,说明提高百粒重、单株有效籽粒、单荚粒数、单株有效荚可以提高产量。籽粒表型性状之间均呈极显著正相关($p<0.01$),且与百粒重呈极显著正相关($p<0.01$),而与单株有效籽粒、荚长、荚宽、单荚粒数及单株有效荚均无显著相关性。单株有效籽粒与荚长呈显著正相关($p<0.05$),与单荚粒数、单株有效荚呈极显著正相关($p<0.01$)。荚长与荚宽呈极显著正相关($p<0.01$),与单荚粒数和单株有效荚呈显著正相关($p<0.05$)。荚宽与单荚粒数之间呈显著负相关($p<0.05$)。

2.3 农艺性状与产量之间的关联度分析 灰色关联度分析是一种多因素统计分析方法,能够反映出性状之间变化趋势的一致性,结合相关性分析能更全面地分析性状之间的关系。通过对 253 份蚕豆种质 11 个农艺性状和单株产量进行灰色关联度分析(表 4),蚕豆农艺性状与单株产量的关联度表现为:单株有效籽粒>单株有效荚>百粒重>粒长>籽粒表面积>籽粒周长>粒宽>粒厚>单荚粒数>荚宽>荚长。上述结果表明,11 个性状中单株有效籽粒与单株产量的变化趋势一致性最好,单株有效荚次之,百粒重第三,荚长最差,与相关性分析结果一致。

表3 蚕豆种质资源各性状间的相关分析

性状	粒厚	百粒重	籽粒 表面积	籽粒 周长	粒长	粒宽	单株有 效籽粒	荚长	荚宽	单荚 粒数	单株 有效荚	单株 产量
粒厚	1											
百粒重	0.71**	1										
籽粒表面积	0.53**	0.87**	1									
籽粒周长	0.39**	0.58**	0.59**	1								
粒长	0.49**	0.84**	0.97**	0.66**	1							
粒宽	0.52**	0.83**	0.97**	0.64**	0.95**	1						
单株有效籽粒	-0.08	-0.11	-0.07	-0.10	-0.05	-0.08	1					
荚长	0	-0.04	-0.06	-0.03	-0.05	-0.06	0.13*	1				
荚宽	0.07	0.06	0.03	-0.02	0.02	0.03	-0.03	0.63**	1			
单荚粒数	-0.11	-0.09	-0.08	-0.06	-0.08	-0.09	0.26**	0.16*	-0.15*	1		
单株有效荚	-0.08	-0.07	-0.03	-0.02	-0.01	-0.04	0.81**	0.13*	0.09	0.09	1	
单株产量	0.25**	0.37**	0.35**	0.16**	0.36**	0.33**	0.85**	0.08	-0.01	0.20**	0.70**	1

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

表4 农艺性状与产量的关联度分析

性状	粒厚	百粒重	籽粒表面积	籽粒周长	粒长	粒宽	单株有效籽粒	荚长	荚宽	单荚粒数	单株有效荚
单株产量	0.5504	0.5658	0.5533	0.5519	0.5569	0.5519	0.6752	0.5370	0.5374	0.5401	0.6090

2.4 主成分分析 为研究蚕豆种质资源产量性状变异的主要来源,对参试蚕豆种质资源的12个农艺性状进行主成分分析。按照特征值大于1的原则,共提取3个主成分,各主成分的特征值分别为4.7515、2.6576、1.6218,方差贡献率分别为39.5961%、22.1463%、13.5154%,累计贡献率达75.2578%,基本包含了原始数据的全部信息,可以较好地评价蚕豆种质资源并进行判断。

第1主成分中,载荷较高的性状有籽粒表面积、粒长、粒宽、百粒重、籽粒周长和粒厚,特征向量值分别为0.4395、0.4374、0.4370、0.4261、0.3277、0.3083,说明第1主成分主要由籽粒表型和百粒重等6个性状决定,表现为籽粒因子;第2主成分主要由单株有效籽粒、单株有效荚和单株产量决定,特征向量值分别为0.5910、0.5430、0.5257,此类性状与产量密切相关,表现为产量因子;第3主成分主要由荚长和荚宽决定,特征向量值分别为0.6724、0.7173,表现为荚果因子。

2.5 蚕豆种质资源聚类分析 将每个国家的参试

蚕豆资源作为一个群体,对数据标准化之后,采用欧式距离和类平均法(UPGAMA)进行聚类分析,绘制树状图(图1)。结果表明(表6),所有参试蚕豆种

表5 蚕豆种质资源主成分分析

项目	第1主成分	第2主成分	第3主成分
粒厚	0.3083	-0.0456	0.0673
百粒重	0.4261	-0.0414	0.0258
籽粒表面积	0.4395	-0.0292	-0.0073
籽粒周长	0.3277	-0.0590	-0.0195
粒长	0.4374	-0.0158	-0.0125
粒宽	0.4370	-0.0365	-0.0058
单株有效籽粒	-0.0106	0.5910	-0.1040
荚长	-0.0215	0.1592	0.6724
荚宽	0.0195	0.0546	0.7173
单荚粒数	-0.0465	0.2040	-0.0822
单株有效荚	0.0061	0.5430	-0.0282
单株产量	0.1932	0.5257	-0.0956
特征值	4.7515	2.6576	1.6218
贡献率	39.5961	22.1463	13.5154
累计贡献率	39.5961	61.7424	75.2578

质资源群体被划分为两大类。第Ⅰ类群包含 226 份种质资源,占参试材料的 89.33%,由来自英国、西班牙、叙利亚、荷兰、突尼斯、加拿大、法国、伊拉克、黎巴嫩、德国、埃及、土耳其、阿尔及利亚和埃塞俄比亚的蚕豆种质资源构成,该类群籽粒较大,单株产量高,相应的粒厚、籽粒表面积、籽粒周长、粒长、粒宽及单株有效籽粒、单荚粒数较大,百粒重平均为 106.70g,是培育大粒高产品种的重要材料来源;第Ⅱ类群包含 27 份种质资源,占参试材料的 10.67%,由俄罗斯、苏丹、阿富汗的种质资源构成,该类群种子较小,平均百粒重为 72.40g,是选择粮饲兼用型蚕豆品种的重要材料。

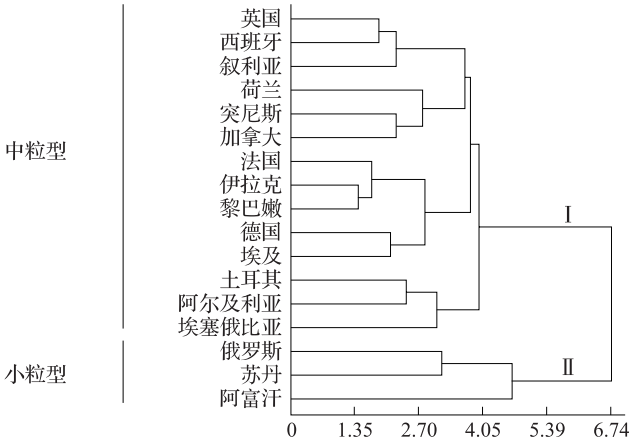


图 1 蚕豆种质资源聚类分析

表 6 各类群蚕豆农艺性状平均值

类群	样本量	粒厚 (mm)	百粒重 (g)	籽粒表面积 (mm ²)	籽粒周长 (mm)	粒长 (mm)	粒宽 (mm)	单株有 效籽粒	荚长 (cm)	荚宽 (cm)	单荚 粒数	单株 有效荚	单株产量 (g)
I	226	8.28	106.70	171.04	57.18	17.12	12.51	18.54	7.66	1.83	2.53	10.41	19.27
II	27	7.51	72.40	121.72	46.28	14.16	10.62	13.42	6.97	1.71	2.30	8.23	9.95

3 结论与讨论

变异系数通常被用于评价种质资源遗传多样性^[12],研究表明,变异系数较大的性状遗传背景丰富^[13]。对四大洲 17 个国家的 253 份蚕豆种质资源的 12 个主要数量性状的变异程度进行分析,结果表明,变异系数最高的是单株产量,其变异系数为 58.45%,变异潜力较高的农艺性状还有单株有效籽粒和单株有效荚,该结论与吕春雨^[14]、张炯等^[15]的研究结果相似。一般认为,变异系数大于 10%,表示样本间差异较大^[16-17]。本研究中除粒厚之外,其余 11 个农艺性状的变异系数均大于 10%,说明这 253 份外引蚕豆种质资源类型丰富,具有较大的遗传差异,有利于特异种质挖掘。

相关性分析显示,单株产量与百粒重、单株有效籽粒、单荚粒数、单株有效荚、粒厚、粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积均呈极显著正相关,籽粒表型性状(即粒厚、粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积)之间呈极显著正相关,与欧阳裕元等^[18]、杨生华等^[19]的研究结果相似。为进一步明确 11 个农艺性状对产量的相对重要性,进行了灰色关联度分析,单株产量与各性状的关联度大小顺序依次为:单株有效籽粒>单株有效荚>百粒重>粒长>籽粒表面积>籽粒周长>粒宽>粒厚>单荚粒数>荚宽>荚长。

说明对单株产量贡献最大的是单株有效籽粒,其次为单株有效荚,该结果与李艳花等^[20]对蚕豆高代材料单株产量与农艺性状的相关分析结果一致。在蚕豆育种实践中,若以提高籽粒产量为主要目标时,应以单株有效籽粒、单株有效荚为首选目标性状,兼顾百粒重。

相关性分析发现,参试蚕豆种质资源多个性状之间存在显著或极显著相关性,因此采用主成分分析将多个变量降维为少数不相关的综合指标,以便更好地描述总变异构成特征。本研究共提取出 3 个主成分,其中,第 1 主成分为籽粒因子,是籽粒表型和百粒重的综合反映;第 2 主成分由单株有效籽粒、单株有效荚、单株产量决定,代表产量因子;第 3 主成分为荚果因子,主要由荚长和荚宽组成。主成分分析结果表明籽粒表型性状、百粒重、单株有效籽粒、单株有效荚、单株产量、荚长、荚宽等载荷值高的性状对蚕豆种质资源农艺性状差异有较大的贡献。

聚类分析是研究作物种质资源亲缘关系和起源的重要方法,本研究通过聚类分析将参试蚕豆种质资源划分为两类。第Ⅰ类群主要特征为籽粒较大,单株产量高,是培育大粒高产品种的重要材料来源;第Ⅱ类群籽粒较小,百粒重较小,是选择粮饲兼用型蚕豆品种的重要材料。

表型性状是植物的外部性状,能够直观有效地反映种质资源的特征,因此,农艺性状的描述和分析是研究作物种质资源的基本方法和途径^[21]。然而,表型性状易受环境因素影响,单一基于表型性状对种质资源进行分析和遗传研究,对结果有一定的影响。因此,今后需结合分子标记技术深入研究蚕豆种质资源遗传多样性,才能准确评价种质资源遗传多样性的本质。

参考文献

- [1] 叶茵. 中国蚕豆学. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [2] Cubero J I. On the evolution of *Vicia faba* L. Theoretical and Applied Genetics, 1974, 45: 47-51
- [3] Lynn A K, Fouad M, Abdulqader J. Genomic regions associated with herbicide tolerance in a worldwide faba bean (*Vicia faba* L.) collection. Scientific Reports, 2022, 12: 158
- [4] FAOSTAT. 粮农组织统计数据库. <https://www.fao.org/faostat/zh/#data/QCL>
- [5] 卜远鹏, 刘娜, 张古文, 冯志娟, 王斌, 龚亚明, 许林英. 菜用大豆种质资源的农艺性状多样性评价及核心种质与食味品质评价体系的构建. 浙江农业学报, 2023, 35 (6): 1307-1314
- [6] 万述伟, 宋凤景, 郝俊杰, 张晓艳, 李红卫, 邵阳, 赵爱鸿. 271 份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18 (1): 10-18
- [7] 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
- [8] 李莉, 刘昌燕, 陈宏伟, 万正煌, 刘良军, 伍广洪, 黎大革. 湖北蚕豆地方种质资源鉴定和主要农艺性状评价. 农业科学与技术: 英文版, 2017, 18 (12): 2219-2222, 2228
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 宗绪晓, 包世英, 关建平. 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
- [12] 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 严娟, 马瑞娟, 俞明亮. 观赏桃种质资源表型性状多样性评价. 中国农业科学, 2021, 54 (11): 2406-2420
- [13] Alizadeh K, Fatholahi S, Silvaj A T D. Variation in the fruit characteristics of local pear (*Pyrus* spp.) in the Northwest of Iran. Genetic Resources and Crop Evolution, 2015, 62 (5): 635-641
- [14] 吕春雨. 基于产量性状和 SSR 分析 41 份非洲和湖北蚕豆种质资源的遗传多样性. 荆州: 长江大学, 2019
- [15] 张炯, 严斌, 高营, 薛晨晨, 陈新, 袁星星. 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
- [16] 吕伟, 韩俊梅, 文飞, 任果香, 王若鹏, 刘文萍. 不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (1): 234-242, 251
- [17] 李赢, 刘海翠, 石晓旭, 石吕, 韩笑, 刘建, 魏亚凤. 398 份裸大麦种质资源表型性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2023, 24 (5): 1-13
- [18] 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
- [19] 杨生华, 刘荣, 杨涛, 张红岩, 杜萌莹, 宗绪晓. 蚕豆种质资源种子表型性状精准评价. 中国蔬菜, 2016 (10): 32-40
- [20] 李艳花, 陈红, 王萍, 杜成章, 张继君. 蚕豆高代材料单株产量与农艺性状的相关和通径分析. 江苏农业科学, 2018, 46 (20): 79-81
- [21] 张佳欣, 李静妍, 朱少文, 盛云燕, 纪鹏. 引进豌豆种质资源遗传多样性分析. 北方园艺, 2021 (2): 1-9
- (收稿日期: 2023-07-20)
- ~~~~~
- (上接第 74 页)
- [8] 卢柏山, 王荣焕, 王风格, 张华生, 李瑞媛, 赵久然. 基于 DUS 测试性状的玉米自交系形态多样性分析. 植物遗传资源学报, 2010, 11 (1): 103-107
- [9] 陈海荣, 杨华, 王加红, 顾晓君, 李寿国, 黄志城, 邓姗, 顾可飞, 褚云霞. 基于 DUS 测试性状的玉米标准品种形态多样性分析. 玉米科学, 2015, 23 (2): 46-51
- [10] 赖运平, 周会, 袁金娥, 李春龙, 岳进, 吴祥西. 基于 DUS 测试的四川联合区试玉米品种多样性分析. 玉米科学, 2022, 30 (3): 40-46
- [11] 赵洪, 张靖立, 褚云霞, 叶小燕, 章毅颖, 邓姗, 李寿国, 陈海荣, 任丽. 基于 DUS 测试性状的上海鲜食玉米遗传多样性分析. 玉米科学, 2022, 30 (3): 24-31
- [12] 豆丹丹, 孙建军, 郭玉玺, 王德新, 郭新海, 丁超明. 基于 DUS 测试性状的黄淮海地区玉米自交系的遗传多样性及群体结构分析. 河南农业科学, 2023, 52 (5): 24-32
- [13] 赖运平, 张浙峰, 王丽容, 何巧林, 张新明, 堵苑苑, 余毅. 同名甘蓝型油菜品种比较分析. 中国油料作物学报, 2013, 35 (4): 364-371, 383
- [14] 温雯, 韩瑞玺, 唐浩. 品种 DUS 测试对农作物种业发展的重要性分析. 中国种业, 2021 (5): 1-5
- [15] 王有芳, 李东源. 玉米自交系选系方法的改进. 山东农业科学, 1994 (4): 20-22
- [16] 乔善宝, 王玉花, 杨克诚, 荣廷昭, 潘光堂, 高世斌. 不同供体及不同回交次数对玉米自交系 R08 的改良效应. 作物学报, 2009, 35 (12): 2187-2196
- [17] 赵长云, 石海春, 罗婷, 许秀兰, 余学杰, 柯永培. 不同供体及回交次数对玉米自交系性状的改良效应. 种子, 2022, 41 (11): 10-16, 24
- (收稿日期: 2023-07-23)