

# 西北干旱半干旱区豌豆种质资源农艺性状的遗传多样性分析

白琳, 肖贵, 曹宁, 墨金萍, 连荣芳  
(定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000)

**摘要:** 通过试验分析西北干旱半干旱区豌豆新品种选育引入不同遗传背景的优异基因, 进一步提升豌豆育种水平, 从而为西北干旱半干旱区豌豆生产提供品种支撑。为了解 50 份来自不同地区的豌豆种质资源农艺性状的遗传多样性, 采用 Shannon-Wiener's 多样性指数和 SPSS 21.0 软件等, 对 50 份供试豌豆种质资源的 19 个农艺性状进行了遗传多样性指数、变异系数、相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明, 株粒重和百粒重遗传多样性指数最高, 为 3.912; 粒色的变异系数最高, 为 46.70%。相关性分析表明, 13 个农艺数量性状之间有相关性, 且部分之间具有极显著的相关性; 主成分分析将 50 份供试豌豆种质资源的 13 个农艺数量性状降维为累计贡献率达 77.873% 的 4 个主成分; 在欧式距离 4 处将供试豌豆种质资源分为 5 个类群, 每个类群具有一定的性状优势。

**关键词:** 豌豆; 农艺性状; 遗传多样性; 种质资源

**中图分类号:** S643.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-2172(2025)03-0250-09

**doi:** 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.03.009

## Genetic Diversity Analysis of Agronomic Traits in Pea Germplasm Resources in the Arid and Semi-arid Regions of Northwest China

BAI Lin, XIAO Gui, CAO Ning, MO Jinping, LIAN Rongfang  
(Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi Gansu 743000, China)

**Abstract:** This study aimed to introduce excellent genes from different genetic backgrounds for pea breeding in the arid and semi-arid regions of Northwest China, thereby improving breeding levels and providing varietal support for pea production. To assess the genetic diversity of agronomic traits in 50 pea germplasm resources from different regions, Shannon-Wiener's diversity index and SPSS 21.0 software were used to analyze the genetic diversity index, coefficient of variation, correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis of 19 agronomic traits. Results showed that plant grain weight and hundred-grain weight had the highest genetic diversity index (3.912), while seed color had the highest coefficient of variation (46.70%). Correlation analysis showed that there was a correlation among the 13 quantitative traits with some showing highly significant correlations. Principal component analysis reduced the 13 agronomic quantitative traits of the 50 pea germplasm resources into 4 principal components, with a cumulative contribution rate of 77.873%. At an Euclidean distance of 4, the tested pea germplasm resources were classified into 5 groups, each possessing specific trait advantages.

**Key words:** Pea; Agronomic trait; Genetic diversity; Germplasm resource

豌豆 (*Pisum sativum* L.) 是一种在春播区一年生、秋冬播区越年的攀援草本植物<sup>[1]</sup>。豌豆最早记载种植于地中海、中亚细亚等地区, 现广泛种植于全世界各个地区, 除了富含蛋白质、淀粉、维生素、蔗糖和脂类之外, 还含有人类所需要的

皂苷、植酸、多酚等微量营养元素<sup>[2-3]</sup>, 是广受欢迎的豆类作物之一。此外, 豌豆既可作为粮食、蔬菜、饲草兼用型作物<sup>[4]</sup>, 也可作为固氮养地作物。我国作为种植面积和产量世界排名第三的豌豆种植大国, 豌豆也是仅次于蚕豆的第二大食用

收稿日期: 2024-10-15; 修订日期: 2024-11-28

基金项目: 国家食用豆产业技术体系(CARS-08); 甘肃省科技计划项目(技术创新引导计划)(23CXNJ0005); 定西市科技计划专项(DX2024AZ06、DX2024BY021)。

作者简介: 白琳(1993—), 女, 甘肃渭源人, 助理研究员, 硕士, 主要从事豆类新品种选育及推广工作。Email: 2456061468@qq.com。

通信作者: 连荣芳(1976—), 女, 甘肃定西人, 研究员, 主要从事豆类新品种选育推广工作。Email: gsdxlianrongfang@163.com。

豆类作物<sup>[5-6]</sup>。目前,我国国家作物种质库保存了近7000余份豌豆种质资源,占全球豌豆种质资源的29%,其中中国特有种质资源达71%<sup>[7]</sup>。特有豌豆资源的保存量最大限度地保护了豌豆种质资源的原始性状,所以进一步挖掘筛选豌豆优异资源对于加强我国豌豆种质资源的筛选、开发利用及培育高产、抗逆、品质佳的豌豆品种具有积极的作用。西北干旱半干旱区豌豆生产中存在品种退化严重,品质差、产量低等问题,亟需为豌豆新品种选育引入不同遗传背景的优异基因,以提升豌豆育种水平,为西北干旱半干旱区豌豆生产提供品种支撑。

近几年来,为筛选优异豌豆种质资源,培育优良豌豆品种,针对豌豆农艺性状进行分析。陈志凯等<sup>[8]</sup>对327份豌豆种质资源主要农艺性状进行遗传多样性、主成分及聚类分析,结果筛选出高秆材料4份、高产材料4份、大粒材料4份。崔潇等<sup>[9]</sup>对144份菜用豌豆种质资源的农艺性状进行分析,筛选到遗传变异广泛和遗传多样性丰富的菜用豌豆种质资源13份,为菜用豌豆优质种质资源优良性状精准挖掘奠定了理论基础。张鹏

等<sup>[5]</sup>在高寒区种植150份豌豆种质资源对其农艺性状分析发现,150份豌豆材料可根据产草量、籽粒数量和籽粒大小3个主要指标分为3大类群,为高寒区筛选了可种植的优异豌豆资源,同时对当地豌豆育种材料的筛选提供了理论依据。万述伟等<sup>[10]</sup>通过引进五大洲的57个国家和地区的271份豌豆种质资源,分析其9个主要的农艺性状,发现不同地理位置间的豌豆资源具有丰富的遗传变异,拓宽了国内豌豆育种的遗传背景。本研究对西北干旱半干旱地区种植的50份豌豆种质资源进行农艺性状的调查,分析其遗传多样性,以期对西北干旱半干旱区豌豆种质资源改良和新品种选育筛选材料基础和提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

以从全国各地引进的50份豌豆种质资源为供试材料,具体种质材料名称及来源见表1。

### 1.2 试验方法

试验于2021—2022年在甘肃省定西市农业科学研究所院内试验地(33°32'N、104°45'24"E)进行,当地平均海拔1920m,年降水量350~380

表1 50份豌豆种质资源

序号	编号	种质材料	来源	序号	编号	种质材料	来源
1	WD 1	G0002361	青海省农林科学院	26	WD 26	YP30	云南省农业科学院
2	WD 2	75 白豌豆	山西省农业科学院	27	WD 27	广西 660	广西壮族自治区农业科学院
3	WD 3	YP6	云南省农业科学院	28	WD 28	YP24	云南省农业科学院
4	WD 4	88191	宁夏农林科学院	29	WD 29	YP11	云南省农业科学院
5	WD 5	矮茎无叶豌豆	四川省农业科学院	30	WD 30	YP8	云南省农业科学院
6	WD 6	云豌 7 号	云南省农业科学院	31	WD 31	YP2	云南省农业科学院
7	WD 7	G-定褐	定西市农业科学研究所	32	WD 32	YP19	云南省农业科学院
8	WD 8	草原 2 号	青海省农林科学院	33	WD 33	YP18	云南省农业科学院
9	WD 9	88198	宁夏农林科学院	34	WD 34	99-6	青海省农林科学院
10	WD 10	YP27	云南省农业科学院	35	WD 35	2011-13	中国农业科学院
11	WD 11	青-59	青海省农林科学院	36	WD 36	G0005429	青海省农林科学院
12	WD 12	YP16	云南省农业科学院	37	WD 37	word	中国农业科学院
13	WD 13	YP20	云南省农业科学院	38	WD 38	9671	青海省农林科学院
14	WD 14	YP28	云南省农业科学院	39	WD 39	L2344	云南省农业科学院
15	WD 15	YP17	云南省农业科学院	40	WD 40	G0005752	青海省农林科学院
16	WD 16	水果豆	甘肃省农业科学院	41	WD 41	2002 (6) -2	云南省农业科学院
17	WD 17	YP7	云南省农业科学院	42	WD 42	Gemdy	中国农业科学院
18	WD 18	YP19-1	云南省农业科学院	43	WD 43	88190	宁夏农林科学院
19	WD 19	YP31	云南省农业科学院	44	WD 44	L2338	云南省农业科学院
20	WD 20	YP1	云南省农业科学院	45	WD 45	G0002089	中国农业科学院
21	WD 21	YP29	云南省农业科学院	46	WD 46	草原 23 号	青海省农林科学院
22	WD 22	YP4	云南省农业科学院	47	WD 47	张豌 2 号	张家口市农业科学院
23	WD 23	YP5	云南省农业科学院	48	WD 48	9892	青海省农林科学院
24	WD 24	G0004339	青海省农林科学院	49	WD 49	G0005712	青海省农林科学院
25	WD 25	YP8-1	云南省农业科学院	50	WD 50	定豌 4 号	定西市农业科学研究所



(频数为 0.333), 粒色以淡黄为主(频数为 0.347), 脐色以灰白为主(频数为 0.254)。6 个质量性状遗传多样性指数由高到低依次为荚形、粒形、粒色、花色、复叶叶型、脐色。

## 2.2 数量性状遗传多样性分析

由表 4 可知, 50 份豌豆种质资源 13 个数量性状间遗传多样性指数为 1.087 ~ 3.912, 变异系数为 6.10% ~ 41.50%。除主茎分枝数和最高单荚粒数差异不显著外, 其余数量性状差异均达到显著水平, 且遗传多样性指数均较高, 表明不同资源间遗传变异较大, 亲缘关系较远, 遗传多样性较为丰富。其中单株粒重和百粒重遗传多样性指数最高, 均为 3.912, 由此可知单株粒重和百粒重两个指标在供试豌豆资源中变异范围广, 大部分资源可用于育种亲本。主茎分枝数的遗传多样性指数最低, 为 1.087, 而由于其平均数为 0, 导致变异系数无法计算。最高单荚粒数的遗传多样性指数仅高于主茎分枝数, 为 1.287, 变异系数为 14.80%。这表明主茎分枝数和最高单荚粒数 2 个数量性状的变异性较小, 在供试资源中能相对稳定遗传。

综合表 3、表 4 可以看出, 50 份供试材料遗传多样性指数方面以单株粒重和百粒重最高, 均为 3.912; 脐色最低, 为 0.530; 平均遗传多样性指数为 2.337。生育期、株高、主茎节数、果节数、初荚节位、单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重、荚长、荚宽等 11 个性状的遗传多样性指数均大于 2.000, 由此可知这 11 个性状的遗传多

样性广泛<sup>[9]</sup>。分析 19 个农艺性状遗传多样性指数和变异系数发现二者没有一致性, 变异范围波动也较大, 如变异系数最小(6.10%)的生育期, 变异范围为 82 ~ 102 d, 波动较大; 遗传多样性指数(2.800)也较高。脐色的遗传多样性指数最低(0.530), 但变异系数较高(34.90%)。由此可见, 50 份供试豌豆资源可作为西北干旱半干旱地区杂交育种有利的亲本材料, 为新品种的选育与创质拓宽种质基础。

## 2.3 数量性状间相关性分析

由表 5 可知, 50 份供试豌豆种质资源 13 个数量性状间生育期与主茎节数、初荚节位呈显著正相关, 表明豌豆生育期越长, 主茎节数越多, 初荚节位越高, 与其他指标相关性不显著或呈负相关。株高与 12 个数量性状的相关性更为明显, 其中与主茎节数、果节数、初荚节位、单株荚数、单株粒数呈极显著正相关, 与单株粒重呈显著正相关, 与百粒重呈显著负相关, 这说明为不影响植株籽粒营养物质的积累, 应适当控制植株高度。主茎节数、主茎分枝数、果节数、初荚节位、单株荚数以及单株粒数相互之间呈正相关, 且大部分呈极显著正相关。最高单荚粒数与 12 个数量性状指标有相关性, 但都不显著。单株粒重与果节数、单株荚数、单株粒数呈极显著正相关, 由此说明, 果节数越多单株所结荚数也越多, 单株粒重越重。百粒重与 12 个指标性状大部分呈极显著负相关, 一个重要原因是实际生产收获过程中裂

表 4 供试豌豆种质资源数量性状的遗传多样性<sup>①</sup>

性状	最大值	最小值	平均值	标准差	极差	显著性	变异系数(CV) /%	遗传多样性 指数
生育期/d	102.0	82.0	92.0	5.644	20.0	*	6.10	2.800
株高/cm	81.6	14.0	43.1	14.86	67.6	**	34.40	3.791
主茎节数/节	22.8	9.4	14.8	2.306	13.4	*	15.50	3.266
果节数/节	7.0	1.4	2.8	1.093	5.6	*	39.00	2.811
主茎分枝数/个	1.2	0	0	0.315	1.2			1.087
初荚节位/节	19.6	7.4	12.8	2.407	12.2	*	18.80	3.259
单株荚数/个	11.8	2.0	4.0	1.662	9.8	*	41.50	3.016
单株粒数/粒	33.8	11.5	17.0	5.079	22.3	*	29.80	3.586
最高单荚粒数/粒	8.0	4.0	6.0	0.893	4.0		14.80	1.287
单株粒重/g	7.7	2.5	4.5	1.101	5.2	**	24.40	3.912
百粒重/g	37.7	14.2	27.6	4.940	23.5	**	17.80	3.912
荚长/cm	8.5	4.3	5.9	0.593	4.2	*	10.00	3.635
荚宽/cm	1.9	0.8	1.2	0.201	1.1	*	16.70	3.215

① “\*”表示差异显著( $P < 0.05$ ), “\*\*”表示差异极显著( $P < 0.01$ ), 未标注的为差异不显著, 下同。



表 5 供试豌豆种质资源主要表型数量性状间的相关性分析

性状	生育期	株高	主茎节数	果节数	主茎分枝数	初荚节位	单株荚数	单株粒数	最高单荚粒数	单株粒重	百粒重	荚长	荚宽
生育期	1.000												
株高	0.130	1.000											
主茎节数	0.290*	0.626**	1.000										
果节数	0.134	0.589**	0.354*	1.000									
主茎分枝数	0.091	0.122	0.142	0.623**	1.000								
初荚节位	0.331*	0.424**	0.916**	0.085	0.108	1.000							
单株荚数	0.093	0.421**	0.380**	0.838**	0.631**	0.188	1.000						
单株粒数	0.009	0.502**	0.479**	0.691**	0.381**	0.284*	0.717**	1.000					
最高单荚粒数	-0.187	0.028	-0.167	-0.113	-0.168	-0.194	-0.133	0.196	1.000				
单株粒重	-0.060	0.293*	0.105	0.495**	0.135	-0.086	0.476**	0.736**	0.211	1.000			
百粒重	-0.003	-0.327*	-0.550**	-0.433**	-0.397**	-0.473**	-0.529**	-0.597**	-0.011	0.002	1.000		
荚长	0.061	-0.146	-0.286*	-0.400**	-0.311*	-0.191	-0.563**	-0.356*	0.077	0.016	0.576**	1.000	
荚宽	0.233	-0.142	-0.270	-0.384**	-0.163	-0.113	-0.416**	-0.488**	-0.148	-0.212	0.564**	0.738**	1.000

荚落粒或为避免裂荚落粒，收获时控制在 80%~90%的荚成熟时，这样会造成部分籽粒没有完全成熟或不饱满，这会导致单株粒数和单株粒重相应增高而百粒重却不高。由荚长和荚宽来看，其与百粒重均呈现出极显著正相关，说明籽粒越大，荚也约大，百粒重也越大，与其他大多数指标呈极显著负相关或显著负相关。

2.4 数量性状间主成分分析及综合评价

对 13 个数量性状进行主成分分析，从表 6 可知，前 4 个成分的累计贡献率 77.873%，说明 4 个主成分代表了 50 份豌豆种质资源 13 个数量性状 77.873%的信息。

第一主成分的特征值为 5.059，贡献率为 38.981%。第一主成分中单株荚数、单株粒数、果节数、主茎节数、株高正载荷量较高，载荷量分别为 0.859、0.853、0.822、0.677、0.621，第一主成分也代表了豌豆资源的生物产量。最高单荚粒数、荚宽、荚长、百粒重的载荷量为负，分别为 -0.045、-0.610、-0.626、-0.750，由此可知这 4 个性状在高产育种中不能作为最主要的性状进行过度追求。

第二主成分的特征值为 2.098，贡献率为 16.136%。初荚节位、主茎节数、生育期是第二主成分中载荷较高的有 3 个性状，分别为 0.793、0.646、0.560，这 3 个性状主要直接影响豌豆资源的株高和早晚熟。第二主成分中载荷量为负有果节数、主茎分枝数、单株荚数、单株粒数、最高单荚粒数、单株粒重和百粒重。这表明初荚节位、主茎节数和生育期在育种中可直接影响豌豆资源

表 6 供试豌豆种质资源 13 个数量性状的主成分分析

性状	主成分因子			
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
生育期	0.026	0.560	0.189	0.347
株高	0.621	0.132	0.422	-0.252
主茎节数	0.677	0.646	0.175	-0.235
果节数	0.822	-0.293	0.150	0.280
主茎分枝数	0.558	-0.111	-0.112	0.614
初荚节位	0.477	0.793	0.097	0.163
单株荚数	0.859	-0.181	0.022	0.340
单株粒数	0.853	-0.233	0.272	-0.131
最高单荚粒数	-0.045	-0.428	0.130	-0.040
单株粒重	0.453	-0.506	0.580	-0.623
百粒重	-0.750	-0.181	0.360	-0.217
荚长	-0.626	0.048	0.655	0.037
荚宽	-0.610	0.247	0.524	0.341
特征值	5.059	2.098	1.550	1.408
贡献率/%	38.981	16.136	11.923	10.833
累计贡献率/%	38.981	55.117	67.040	77.873

的产量，且在育种中要控制这 3 个性状，若过高时会影响产量。

第三主成分的特征值为 1.550，贡献率为 11.923%，载荷量较大为荚长、单株粒重、荚宽分别为 0.655、0.580、0.524，这 3 个性状数值与单株产量相关。所以，可以选择此类性状较高的豌豆资源作为培育高产品种的优良亲本。在第三主成分因子中只有主茎分枝数为负载荷量，因此为了获得高产，不可过分追求此性状。

第四主成分的特征值为 1.408，贡献率为 10.833%。负有最高载荷为主茎分枝数，所以第四主成分为控制主茎分枝数的因子。各性状之间的数量关系表明主茎分枝越多，单株荚数越多，但会严重影响单株粒重和百粒重，即单株产量越低。

因此, 为了获得高产, 在育种中要适度控制主茎分枝数。

### 2.5 供试豌豆资源农艺性状聚类分析

为更好地研究 50 份豌豆种质资源的亲缘关系, 采用系统聚类 Ward 法, 在欧式距离为 4 时, 将 19 个表型性状划分为 5 个类群(图1)。

第 I 类群有 14 份豌豆材料, 为最大的类群。花色均为白色(表 7), 植株主茎分枝数少, 在 13 个数量性状中, 除主茎节数均值最小外, 其他 12 个数量性状的均值处于中间, 变异系数除生育期最低, 株高、主茎节数、荚长较低外, 其他 9 个数量

性状的均值处于中等状态(表 8)。总体来说该类群属早熟中秆种质。

第 II 类群有 12 份豌豆材料, 该类群豌豆种质资源的生育期(96.50 d)、百粒重(29.09 g)、荚长(6.14 cm)和荚宽(1.31 cm)均值最高, 果节数(33.16%)、单株荚数(42.59%)、百粒重(19.75%)、荚长(16.71%)变异系数最高, 且荚宽的变异系数(20.15%)在 5 个类群中排第 2 位(表 8), 综合分析该类群种质质量性状的表型最为丰富, 荚最大, 有利于培育大荚高产豌豆品种。

第 III 类群也有 12 份豌豆材料, 荚形均为直形

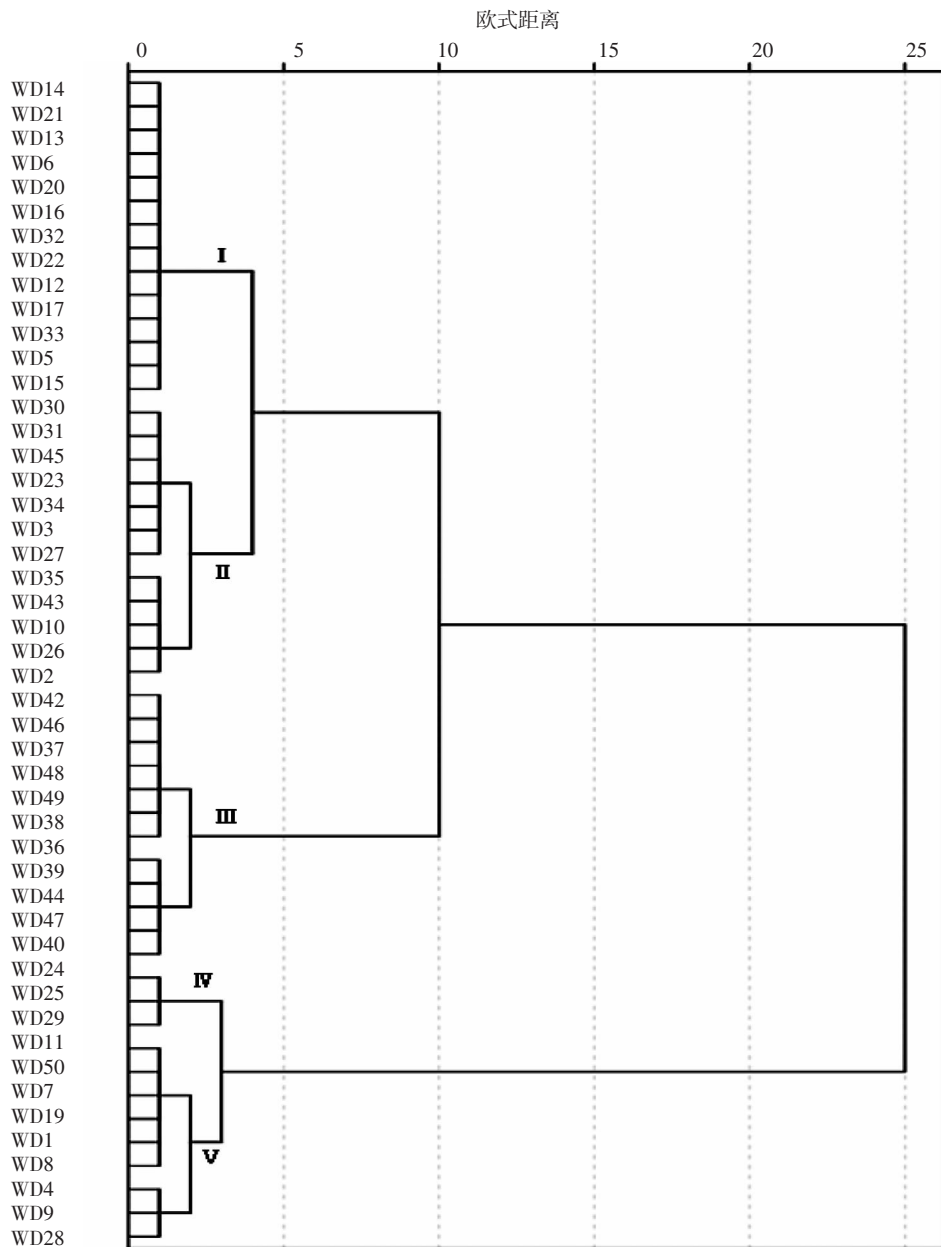


图 1 供试豌豆种质资源的聚类分析

表 7 供试豌豆种质资源类群的质量性状分析

性状	不同种质类群				
	I	II	III	IV	V
花色	白	白/紫	白/紫	白/紫	白/紫
复叶叶型	普通叶、半无叶	普通叶、半无叶	普通叶、半无叶	普通叶、半无叶	普通叶、半无叶
荚形	直形、连珠形	直形、连珠形、马刀形、镰刀形	直形	直形、连珠形	直形、连珠形、马刀形
粒色	淡黄、浅绿、绿、麻绿	淡黄、绿、麻绿	淡黄、浅绿、绿、麻	淡黄、麻	淡黄、紫麻、麻
粒形	圆、扁圆、柱形	圆、柱形	圆	圆	圆、柱形
脐色	灰白	灰白、黑	灰白	黑、褐	灰白、黑、褐

表 8 供试豌豆种质资源类群的数量性状分析

性状	不同种质类群均值					不同种质类群变异系数/%				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
生育期/d	86.50	96.50	94.00	94.00	85.00	2.40	3.89	2.46	3.84	7.53
株高/cm	40.00	48.50	26.10	66.60	65.20	8.55	7.01	23.32	13.27	6.17
主茎节数/节	13.90	16.00	14.60	19.00	16.60	7.99	10.33	15.97	16.45	12.20
果节数/节	2.70	2.33	2.40	5.60	3.80	27.78	33.06	24.88	28.64	18.32
主茎分枝数/个	0	0	0	1.20	0				57.75	
初荚节位/节	12.40	13.40	12.00	17.00	14.20	12.50	14.25	21.71	18.31	17.69
单株荚数/个	3.90	3.70	3.90	7.60	5.40	27.69	42.59	24.26	39.42	17.86
单株粒数/粒	17.00	16.60	14.30	31.80	18.40	24.29	21.52	25.97	7.58	17.40
最高单荚粒数/粒	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	12.60	10.37	16.60	16.67	20.03
单株粒重/g	4.70	4.34	4.08	6.88	4.95	21.00	18.82	24.13	26.35	21.12
百粒重/g	27.7	29.09	28.54	20.27	25.92	12.10	19.75	15.09	17.93	19.07
荚长/cm	6.02	6.14	5.84	5.10	5.46	9.80	16.71	7.67	8.94	16.15
荚宽/cm	1.26	1.31	1.28	1.18	21.12	14.68	20.15	5.24	5.33	20.80

且粒形为圆形(表 7),株高、初荚节位、单株粒数、单株粒重等 4 个数量性状的均值较低,但株高(23.32%)、初荚节位(21.71%)、单株粒数(25.97%) 3 个数量性状的变异系数却最高,且单株粒重变异系数(24.13%)在 5 个类群中排第 2(表 8)。综合分析可以看出,该类群豌豆种质的遗传变异多样性较为丰富。

第 IV 类群仅有 3 份豌豆材料,即 WD24、WD25 和 WD29,该类群也是一个主茎分枝数均值不为零的类群,且有 7 个性状的均值为各类群中最大,分别为株高(66.60 cm)、主茎节数(19.00 节)、果节数(5.60 节)、初荚节位(17.00 节)、单株荚数(7.60 个)、单株粒数(31.80 粒)、单株粒重(6.88 g)。单株粒数的变异系数为 5 个类群中最小,其余性状变异系数均处中等偏上(表 8)。综合分析该类群有优质种质的基础,适于作为豌豆育种中控制分枝的亲本材料。

第 V 类群有 9 份豌豆材料,各数量性状的均值均处于五大类群的中间数值,生育期(7.53%)、最高单荚粒数(20.02%)、荚宽(20.80%)的变异系数最大,株高(6.17%)、单株荚数(17.86%)、果节数(18.32%)变异系数最低,其他农艺数量性状数

据均偏低(表 8)。但该类群材料的脐色类型最丰富(表 7),可作为控制脐色的豌豆育种材料。

### 3 讨论与结论

遗传多样性代表了一个物种对环境压力的适应能力和进化潜力,其核心是物种多样性和生态多样性,同时也是能够反映同一种群内部和不同种群间遗传变异程度<sup>[13-14]</sup>。也就是说一个物种遗传多样性越高,其内部基因变化就越丰富,对环境的适应能力和进化潜力也越强<sup>[15]</sup>。农艺性状作为种质资源最直观,最基础的性状,其测定和评价可直接在作物的生长发育期间进行。简单直接的记载田间表型性状、考种记载数量性状,便可通过分析,对不同种质资源的性状进行挖掘,进而选择出优异种质资源,这种传统的分析方法不仅依靠农艺表型性状对种质资源的遗传多样性进行描述,同时也对综合性状进行鉴定评价。对育种工作者来说,只有充分了解育种材料的遗传多样性和变异程度信息,才能够在培育优异品种和获得优良变异时选择杂交亲本有依据,且能够最大限度减少育种工作的盲目性<sup>[16]</sup>。因此,有效利用农艺性状的鉴定和描述是豌豆育种中种质资源筛选和改良的关键,也是拓宽豌豆遗传基础最

基本的方法和途径<sup>[17]</sup>。

目前国内特有豌豆资源的保存量大,农艺性状遗传多样性研究能够弥补种质资源某些农艺性状挖掘方面的不足,进一步拓宽豌豆育种的遗传基础。前人研究表明,来自不同地区的豌豆资源具有丰富的遗传多样性<sup>[9,18]</sup>,这与本研究对50份豌豆种质资源19个农艺性状的研究结果一致。50份豌豆种质资源的6个农艺质量性状遗传多样性指数为0.530~1.422,变异系数为4.43%~46.70%,其花色主要以白色为主,复叶叶型主要以普通叶为主,荚形主要以直形为主,粒色主要以淡黄和绿色为主,粒形以圆形表面光滑居多,脐色以灰白为主。50份豌豆种质资源的13个农艺数量性状的遗传多样性指数介于1.087~3.912,变异系数为6.10%~41.50%。当农艺性状的变异系数大于10%时,说明种质资源的农艺性状之间存在显著差异,即存在丰富的遗传多样性<sup>[19-20]</sup>。本研究中仅有质量性状中复叶叶型的变异系数(4.43%)和数量性状中生育期的变异系数(6.10%)小于10%,造成这一现象的原因可能是50份豌豆种质资源中叶型仅有普通叶和半无叶两种,且大部分为普通叶;同时由于干旱地区的气候条件会影响资源的生育期,造成部分种质资源早熟。其余17个农艺性状中变异系数均大于10%,其中以粒形最大,为46.70%,说明50份豌豆资源的内部基因有丰富的遗传多样性,能够为豌豆高产育种提供较好的遗传材料。

各农艺性状的相关性也证明,50份豌豆种质资源13个农艺数量性状间存在一定的相关性。这一结果与前人研究结果相似<sup>[5,21]</sup>。株高、主茎节数、果节数、初荚节位、单株荚数、单株粒数以及单株粒重等7个指标之间相互呈正相关,且大部分之间存在极显著正相关。其他呈极显著正相关的有单株粒重分别与单株荚数、单株粒数之间,百粒重与9个数量性状之间负相关或极显著负相,与单株粒重、荚长、荚宽之间呈正相关或极显著正相关。以上结果表明,50份豌豆种质资源的13个农艺数量性状间的关联较为紧密,且它们之间有遗传的不可预知性和复杂性,从而增加了育种杂交亲本选择的不确定性<sup>[22]</sup>。主成分分析法是利用指标转化将多个指标转化为简洁的几个综合性

指标,使得综合性指标既保持原有信息特点又彼此独立的一种分析方法<sup>[22]</sup>。对13个农艺数量性状进行主成分分析,结果显示前4个主成分累计贡献率达到了77.873%,这说明13个农艺数量性状均可影响豌豆种质特征,能够充分涵盖供试豌豆种质资源13个农艺数量性状之间的相关信息。对供试豌豆种质资源特征贡献较高的主成分因子(大于0.600)由大到小依次是单株荚数、单株粒数、果节数、初荚节位、主茎节数、株高、主茎分枝数,同时各主成分的载荷值较为客观地反映了豌豆各性状对于选择不同育种目标的潜力<sup>[23]</sup>。

聚类分析是通过种质资源农艺性状的综合表现对资源间亲缘关系进行能粗略反映的一种聚类手段<sup>[24-26]</sup>,能够表明各地培育的种质资源遗传多样性丰富程度,但此种分析方法有同质化趋势并且同属于同一类群的种质能在同一地区有较好的适应性<sup>[9]</sup>。本研究对50份供试豌豆种质资源的19个农艺性状进行聚类分析发现,可将其农艺性状相似的供试豌豆种质资源分为5大类群,且每个类群之间存在明显差异。第Ⅰ类群花色均为白色,主茎节数均值最小,此类群的各类数据表现一般,在育种中可以择优选择;第Ⅱ类群生育期、百粒重、荚长和荚宽均最高,果节数、单株荚数、百粒重、荚长的变异系数最高,作为培育高产、大粒的优质资源,综合分析该类群种质质量性状的表型最为丰富;第Ⅲ类群株高、初荚节位、单株粒数,单株粒重4个性状的变异系数最高,在丰产方面遗传变异多样性丰富;第Ⅳ类群分枝数最多,可以作为选育高产豌豆的优良亲本。第Ⅴ类群脐色类型丰富,可作为控制脐色的材料<sup>[8]</sup>。50份豌豆资源引自不同地区,且聚类结果表明,各省份的种质资源相互交叉,聚类组与地域来源没有明显的相关性,这与万述伟等<sup>[10]</sup>和崔潇等<sup>[9]</sup>对国内外引进豌豆资源的聚类分析研究结果一致。

本研究立足于西部干旱半干旱地区特殊的地理位置,对50份供试豌豆种质资源进行了农艺性状研究,发现供试豌豆种质资源的19个农艺性状具有广泛的遗传变异和丰富的遗传多样性,其中以株粒重和百粒重遗传多样性指数最高,为3.912;粒形的变异系数最高,为46.70%。相关性分析表明,13个农艺数量性状之间有相关性,且



部分之间具有极显著的相关性；主成分分析将 50 份供试豌豆种质资源的 13 个农艺数量性状降维为累计贡献率达 77.873% 的 4 个主成分。根据聚类分析，在欧式距离 4 处将 50 份豌豆种质资源分为 5 个类群，每个类群具有一定的性状优势。今后要进一步充分挖掘供试豌豆种质资源潜在价<sup>[25-28]</sup>，可为西北干旱半干旱地区优质豌豆种质资源筛选、种质创新及保护利用奠定基础，进一步拓宽西北干旱半干旱地区豌豆育种的遗传背景。

#### 参考文献：

- [1] 林汝法, 柴岩, 廖琴, 等. 中国小杂粮 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
- [2] ARNODRI A, ZANONI C, LAMMI C, et al. The role of grain legumes in the prevention of hypercholesterolemia and hypertension[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2015, 34(1-3): 144-168.
- [3] MARLES M A, WARKENTIN T D, BETT K E. Genotypic abundance of carotenoids and polyphenolics in the hull of field pea (*Pisum sativum* L.) [J]. *Sci. Food Agric.*, 2013, 93(3): 463-470.
- [4] 王娜, 马绍英, 马蕾, 等. 肉桂酸和棕榈酸对豌豆种子萌发和幼苗生长的化感效应[J]. *植物生理学报*, 2021, 57(8): 1657-1667.
- [5] 张鹏, 鲍根生, 贾志锋, 等. 高寒区 150 份豌豆种质资源农艺性状的遗传多样性分析[J]. *草地学报*, 2023, 31(7): 2116-2127.
- [6] 葛长军, 闫良, 徐丽荣, 等. 食荚豌豆品种比较试验[J]. *湖南农业科学*, 2021(7): 11-13.
- [7] RUBIAIES D, FONDEVILLA S, FERNANDEZ-APARICIO M. Development of pea breeding lines with resistance to *Orobanche crenata* derived from pea landraces and wild *Pisum* spp[J]. *Agronomy*, 2020, 11(1): 36.
- [8] 陈志凯, 侯万伟. 豌豆种质资源农艺性状评价及优异资源筛选[J]. *作物杂志*, 2023(4): 38-43.
- [9] 崔潇, 张晓艳, 郝俊杰, 等. 菜用豌豆资源农艺性状遗传多样性分析[J]. *四川农业大学学报*, 2022, 40(4): 489-497; 590.
- [10] 万述伟, 宋风景, 郝俊杰, 等. 271 份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(1): 10-18.
- [11] 宗绪晓. 豌豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [12] 南铭, 马宁, 刘彦明, 等. 燕麦种质资源农艺性状的遗传多样性分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(1): 262-267.
- [13] 谢文辉, 赵文武, 王雷挺, 等. 22 份百脉根种质资源表型数量性状的遗传多样性分析[J]. *草地学报*, 2023, 31(1): 173-179.
- [14] 郭丽芬, 张跃, 徐宁生, 等. 红花种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. *热带作物学报*, 2015, 36(1): 83-91.
- [15] 涂敏, 王云月, 卢宝荣, 等. 云南省不同地理位置水稻品种遗传多样性分析[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(6): 998-1003.
- [16] 李晶, 南铭. 俄罗斯和乌克兰引进冬小麦在我国西北地区的农艺性状表现和遗传多样性分析[J]. *作物杂志*, 2019(5): 9-14.
- [17] 刘金, 关建平, 徐东旭, 等. 小扁豆种质资源形态标记遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(2): 173-179.
- [18] 孙敏杰, 张天静, 沈宝宇, 等. 菜用豌豆种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. *种子*, 2017, 36(8): 60-62; 68.
- [19] 吕伟, 韩俊梅, 文飞, 等. 不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2020, 21(1): 234-242; 251.
- [20] 董博文, 李继东, 郑先波, 等. 山菜蕨种质资源表型性状多样性及相关性分析[J]. *经济林研究*, 2014, 32(2): 163-166.
- [21] 李莉, 万正煌, 焦春海, 等. 外引豌豆资源的鉴定及主要数量性状的主成分分析[J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(23): 5643-5648.
- [22] 李资文, 周伟, 李岩, 等. 199 份高粱种质资源农艺性状综合分析[J]. *种子*, 2023, 42(1): 70-78.
- [23] 贾瑞玲, 赵小琴, 南铭, 等. 64 份苦荞种质资源农艺性状遗传多样性分析与综合评价[J]. *作物杂志*, 2021(3): 19-27.
- [24] 夏利娟, 蔡鲲鹏, 马莉娟, 等. 小麦品质相关分析和聚类分析[J]. *农学学报*, 2021, 11(8): 1-7.
- [25] 王兴珍, 卯旭辉, 贾秀苹, 等. 基于主成分和系统聚类分析法对 23 个观赏向日葵株系农艺性状的综合评价[J]. *寒旱农业科学*, 2024, 3(11): 1019-1024.
- [26] 李旭华, 牟丽明, 令鹏, 等. 149 份春小麦种质资源遗传多样性分析[J]. *寒旱农业科学*, 2024, 3(6): 531-537.
- [27] 屈建军, 凌裕泉, 俎瑞平, 等. 半隐蔽格状沙障的综合防护效益观测研究[J]. *中国沙漠*, 2005(3): 329-335.
- [28] 连荣芳, 曹宁, 白琳, 等. 高产稳产旱地豌豆新品种定豌 12 号选育报告[J]. *寒旱农业科学*, 2023, 2(8): 719-72.