

160 份外引鹰嘴豆种质主要农艺性状的遗传多样性分析

郝曦煜¹, 杨涛², 梁杰¹, 郭文云¹, 肖焕玉¹, 王英杰¹, 马信飞¹, 刘婷婷¹, 宗绪晓²

(¹ 吉林省白城市农业科学院, 白城 137000; ² 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 对引自国际半干旱热带作物研究中心的 160 份鹰嘴豆种质资源的 13 个农艺性状进行了评价鉴定, 并筛选了特异种质, 为我国鹰嘴豆种质资源创新和品种选育提供参考。结果表明, 该批鹰嘴豆种质资源具有较为丰富的遗传多样性, 7 个数量性状的变异系数由大到小分别为主茎分枝数 > 单株荚数 > 百粒重 > 产量 > 株高 > 单荚粒数 > 生育期, 6 个质量性状的 Shannon 多样性指数由大到小分别为粒色 > 株型 > 花色 > 种子表面 > 粒形 > 复叶叶型; 产量与粒形、单株荚数极显著正相关, 与百粒重显著正相关; 前 4 个主成分的累计贡献率为 63.417%, 其中第 1 主成分与产量性状和产量有关, 第 2 主成分与生育期有关, 第 3 主成分与形态性状有关, 第 4 主成分与株高和粒形有关; 聚类分析在遗传距离为 5 时将 160 份资源分为 3 个类群, 其中第 I 类群的株高较高, 第 II 类群的产量较高, 第 III 类群的籽粒较大; 筛选出 63 份早熟、矮秆、无分枝、多荚、荚粒数多、大粒、高产的特异种质资源。

关键词: 鹰嘴豆; 引种; 种质资源; 农艺性状; 遗传多样性

Genetic Diversity Analysis of Major Agronomic Traits in 160 Introduced Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Germplasm Resources

HAO Xi-yu¹, YANG Tao², LIANG Jie¹, GUO Wen-yun¹, XIAO Huan-yu¹,

WANG Ying-jie¹, MA Xin-fei¹, LIU Ting-ting¹, ZONG Xu-xiao²

(¹ Baicheng Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, Baicheng 137000;

² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: In this study, 13 agronomic traits of 160 chickpea germplasm resources induced from ICRISAT were evaluated. Elite germplasms were screened to provide reference for chickpea germplasm resource innovation and breeding in China. The results showed that these chickpea germplasms represented abundant genetic diversity. The variable coefficients of 7 quantitative traits were branches per plant > pods per plant > 100-seed weight > yield > plant height > seeds per pod > growth period, and the genetic diversity index of 6 quality traits were seed color > plant type > flower color > seed surface > seed shape > leaf type. The cumulative contribution of the top 4 principal factors reached 63.417% in the principal factors analysis, as well as the first principal factor was mainly related to the yield traits and yield; the second principal factor was mainly related to the growth period; the third principal factor was mainly related to the plant height and seed shape; the fourth principal factor was mainly related to plant height and seed shape. With cluster analysis, 160 chickpea germplasm resources were classified into 3 groups, the group I showed the highest plant height, the group II showed the highest yield, the group III

收稿日期: 2019-12-12 修回日期: 2020-01-02 网络出版日期: 2020-01-19

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191212002>

第一作者主要研究食用豆育种与栽培技术, E-mail: haoxiyu1990@foxmail.com

通信作者: 梁杰, 主要研究食用豆育种与栽培技术, E-mail: liangjie9669@163.com

宗绪晓, 主要研究食用豆类种质资源, E-mail: zongxuxiao@caas.cn

基金项目: 白城市农业科学院青年发展基金项目 (Q2018002); 国家食用豆产业技术体系 (CARS-08-G4)

Foundation project: Youth Development Foundation of Baicheng Academy of Agricultural Sciences (Q2018002), China Agriculture Research System of Food Legumes (CARS-08-G4)

showed the biggest seed.63 chickpea germplasm resources with elite agronomic traits were screened, which were early maturing, short stem, branchless, more pods per plant, more seed per pod, large seed and high yield.

Key words: chickpea; introduction; germplasm resources; agronomic traits; genetic diversity

鹰嘴豆 (*Cicer arietinum* L.) 是鹰嘴豆属 (*Cicer* L.) 的栽培种, 分为 Desi 和 Kabuli 两个亚种^[1], 富含多种优质蛋白、脂肪、氨基酸、维生素、膳食纤维以及多种微量元素, 营养价值高且具有多种功能活性^[2]。鹰嘴豆在世界各地均有种植, 主要分布在印度、土耳其、巴基斯坦等国家, 其中印度的种植面积和总产量居世界首位^[3], 且具有类型丰富的种质资源^[4]。

鹰嘴豆的根部具共生根瘤菌, 可进行固氮作用^[5], 因此具有一定耐贫瘠的能力^[6]。鹰嘴豆是一种耐旱能力强的作物^[7-9], 适宜在干旱、半干旱地区种植, 包括中国西北、东北等生态区^[10-11]。

前人已经对国家种质资源库的现存资源进行多样性分析, 然而由于采用的试验材料和分析方法不同, 不同研究人员得出的结论也不尽相同, 株高、单荚粒数、百粒重、单株产量等均有丰富的多样性, 而单株荚数、单株粒重、株型、百粒重等也都有较大的变异系数^[10, 12-15], 增加试验材料的数量是获得更精确研究结果的重要途径。因此, 本研究对国外新引进的 160 份鹰嘴豆种质资源进行了农艺性状的评价鉴定, 并通过相关性分析、主成分分析和聚类分析等, 综合评价了这些资源的遗传变异, 以期为我国鹰嘴豆种质资源创新和品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地点

试验材料共 160 份, 2018 年引自国际半干旱热带作物研究中心 (ICRISAT, 印度), 引种编号为 CP18-1~CP18-160。试验地点设于吉林省白城市农业科学院试验地 (45°38'N, 122°50'E), 海拔 155.4 m。生育期内年均气温 18.7 °C, 年均降水量 316 mm, 年均日照时数 1552.1 h。试验地为淡黑钙土, 地势平整, 土壤肥力相同, 2 年试验前茬分别为高粱、小豆。

1.2 试验方法

试验于 2018-2019 年进行, 设置 3 次重复, 小区行长 5 m, 4 行区, 行距 65 cm, 小区面积 13 m²。开花期对试验材料的复叶叶型、花色进行调查, 成熟期每小区取 5 株调查试验材料的株型、株高、主茎分枝数、单株荚数、单荚粒数, 成熟籽粒风干后测量产量、

百粒重, 并同时观测粒形、种子表面、粒色。调查、考种方法参照《鹰嘴豆种质资源描述规范和数据标准》^[16] (表 1)。

表 1 鹰嘴豆农艺性状的描述规范

Table 1 Descriptors standard for agronomic traits of chickpea

性状 Traits	描述规范 Descriptors standard
生育期 GP	播种后第 2 天至成熟期的天数, 单位为 d
株高 PH	成熟期测量从子叶节到植株顶端的长度, 单位为 cm
主茎分枝数 BPP	成熟期观测计数每株主茎上的一级分枝数, 单位为个/株
单株荚数 PPP	成熟期观测计数每株上的成熟荚数, 单位为个/株
单荚粒数 SPP	成熟期观测计数干熟荚果内所含的成熟干籽粒数, 单位为粒/荚
百粒重 HSW	称取 100 粒风干后的成熟干籽粒的质量, 单位为 g
产量 Y	风干后的成熟干籽粒的质量, 单位为 kg/hm ²
复叶叶型 LT	1= 普通
花色 FC	1= 白, 2= 粉红, 3= 紫红, 4= 紫
株型 PT	1= 直立, 2= 半直立, 3= 半披散, 4= 披散
粒形 SS	1= 羊头形, 2= 鹰头形, 3= 球形
种子表面 SeSu	1= 光滑, 2= 粗糙, 3= 凹凸不平
粒色 SeCo	1= 褐, 2= 米色, 3= 黄, 4= 黄褐, 5= 米黄, 6= 浅黄

表中仅对本试验出现的表型进行赋值

Only the phenotypes involved in this experiment were assigned in the table. GP: Growth period, PH: Plant height, BPP: Branches per plant, PPP: Pods per plant, SPP: Seeds per pod, HSW: 100-seed weight, Y: Yield, LT: Leaf type, FC: Flower color, PT: Plant type, SS: Seed shape, SeSu: Seed surface, SeCo: Seed color. The same as below

采用 Shannon 多样性指数分析法对数量性状进行遗传多样性分析, 根据性状表现及相关分析筛选特异种质。

1.3 数据整理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据整理, 对 6 个质量性状分别赋值进行数据分析。

Shannon 多样性指数分析: 先计算试验材料总体平均数 ($\bar{X}$) 和标准差 (σ), 然后划分为 10 级, 从第 1 级 [$X_i < (\bar{X} - 2\sigma)$] 至第 10 级 [$X_i > (\bar{X} + 2\sigma)$], 每 0.5σ 为 1 级, 每级的相对频率用于计算 Shannon 多样性指数。

Shannon 多样性系数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$,

式中 P_i 为该性状第 i 级别内的材料份数占总份数的百分比, $\ln$ 为自然对数^[17]。

采用 SPSS 22.0 进行相关性分析 (Pearson) 和主成分分析, 采用 R 语言的层次聚类法和 “ape” 包进行聚类分析和绘图, R 版本为 3.3.3。

2 结果与分析

2.1 不同鹰嘴豆种质资源数量性状遗传多样性

由表 2 可知, 生育期、株高、主茎分枝数、单株荚

数、单荚粒数、百粒重和产量 7 个数量性状在不同鹰嘴豆种质资源间多样性指数范围为 1.587~2.047, 株高最大为 2.047, 百粒重次之为 2.004, 主茎分枝数最小为 1.587。

7 个数量性状变异系数范围为 5.8%~70.1%。其中, 主茎分枝数最大为 70.1%, 除生育期以外, 其余性状的变异系数均大于 10%, 说明该批鹰嘴豆种质之间存在的差异大, 资源类型丰富, 有利于特异种质材料的比较和筛选。

表 2 160 份鹰嘴豆种质资源的数量性状变异
Table 2 The phenotypic variation of quantitative traits in 160 chickpea germplasm resources

性状 Traits	变异范围 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	Shannon 多样性指数 H'
生育期 (d) GP	64~100	85.5	5.0	5.8	1.983
株高 (cm) PH	29.7~82.7	51.5	10.6	20.5	2.047
主茎分枝数 BPP	0~1.7	0.6	0.4	70.1	1.587
单株荚数 PPP	18~241	64.5	29.7	46.1	1.875
单荚粒数 SPP	1~2	1.3	0.2	18.3	1.937
百粒重 (g) HSW	15.3~51.4	29.7	8.2	27.5	2.004
产量 (kg/hm ²) Y	1035.6~2984.6	1765.0	418.2	23.7	1.996

2.2 不同鹰嘴豆种质资源质量性状遗传多样性

由表 3 可知, 160 份鹰嘴豆种质资源的复叶叶型均为普通型; 花色以粉红色为主, 占 59.4%, 其次为白色, 占 33.7%; 株型以半直立为主, 其次为半披散; 粒形以羊头形居多, 其次为鹰头形; 种子表面大

多为凹凸不平; 粒色以米色居多, 其次为黄褐。

6 个质量性状的多样性指数范围为 0~1.385, 其中粒色的多样性指数最大, 表明该性状遗传多样性最丰富, 可为鹰嘴豆育种和遗传改良提供物质基础。

表 3 160 份鹰嘴豆种质资源的质量性状频率
Table 3 The distribution of frequency of qualitative traits in 160 chickpea germplasm resources

性状 Traits	Shannon 多样性指数 H'	频率 (%) Frequency					
		1	2	3	4	5	6
复叶叶型 LT	0.000	100.0					
花色 FC	0.905	33.7	59.4	2.5	4.4		
株型 PT	1.119	19.5	45.3	33.3	1.9		
粒形 SS	0.412	51.2	46.9	1.9			
种子表面 SeSu	0.772	1.9	12.5	85.6			
粒色 SeCo	1.385	13.8	32.5	21.3	31.2	0.6	0.6

2.3 不同鹰嘴豆种质资源农艺性状相关性分析

12 个主要农艺性状相关性分析结果表明 (表 4), 产量与粒形、单株荚数呈极显著正相关, 与百粒重呈显著正相关, 与株高、种子表面呈极显著负相

关; 花色与株型、粒形、粒色呈极显著正相关, 与单株荚数呈显著正相关, 与种子表面、百粒重呈极显著负相关; 株型与粒色、单株荚数呈极显著正相关, 与粒形呈显著相关, 与种子表面呈极显著负相关; 粒

形与粒色、单株荚数呈极显著正相关,与种子表面、株高呈极显著负相关,与百粒重呈显著负相关;综合其他性状间的相关性可知,粒形、单荚粒数、百粒重、种子表面、粒色、单荚粒数都不同程度直接或间接与产量正相关,花色表现为负相关。

表 4 160 份鹰嘴豆种质资源主要农艺性状的相关性分析

Table 4 The correlation analysis of main agronomic traits in 160 chickpea germplasm resources

相关系数 Correlation coefficient	产量 Y	花色 FC	株型 PT	粒形 SS	种子表面 SeSu	粒色 SeCo	生育期 GP	株高 PH	主茎 分枝数 BPP	单株荚数 PPP	单荚粒数 SPP
花色 FC	0.079										
株型 PT	-0.045	0.248**									
粒形 SS	0.210**	0.433**	0.185*								
种子表面 SeSu	-0.250**	-0.581**	-0.424**	-0.527**							
粒色 SeCo	0.053	0.333**	0.217**	0.264**	-0.343**						
生育期 GP	-0.187*	0.120	0.138	0.014	0.016	-0.064					
株高 PH	-0.404**	-0.148	-0.143	-0.351**	0.399**	-0.014	-0.005				
主茎分枝数 BPP	-0.100	-0.175*	0.143	-0.034	0.177*	-0.066	0.095	0.126			
单株荚数 PPP	0.262**	0.203*	0.349**	0.226**	-0.419**	0.134	-0.012	-0.188*	0.245**		
单荚粒数 SPP	0.111	-0.026	-0.138	0.133	-0.178*	-0.163*	-0.031	-0.245**	-0.091	-0.072	
百粒重 HSW	0.178*	-0.586**	-0.106	-0.190*	0.388**	-0.172*	-0.053	-0.123	0.318**	0.012	0.039

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著
*and **mean significant ($P<0.05$) and extremely significant ($P<0.01$) correlation

表 5 160 份鹰嘴豆种质资源主要农艺性状的主成分分析

Table 5 The principal components analysis of main agronomic traits in 160 chickpea germplasm resources

性状 Traits	因子 1 Factor1	因子 2 Factor2	因子 3 Factor3	因子 4 Factor4
花色 FC	-0.277	0.050	0.001	-0.194
株型 PT	-0.089	0.111	-0.013	0.358
粒形 SS	0.102	0.086	0.083	0.422
种子表面 SeSu	-0.032	-0.042	-0.136	0.008
粒色 SeCo	-0.186	-0.427	-0.142	-0.165
生育期 GP	-0.194	0.686	-0.519	0.104
株高 PH	-0.451	-0.197	0.321	0.626
主茎分枝数 BPP	0.117	0.122	0.366	-0.234
单株荚数 PPP	0.198	-0.095	0.186	-0.128
单荚粒数 SPP	0.304	0.434	0.538	0.078
百粒重 HSW	0.489	-0.036	-0.187	0.111
产量 Y	0.494	-0.266	-0.300	0.369
特征值 Eigenvalue	3.116	1.771	1.575	1.147
贡献率 (%) Contribution rate	25.966	14.761	13.128	9.562
累计贡献率 (%) Cumulative contribution rate	25.966	40.727	53.855	63.417

2.4 不同鹰嘴豆种质资源农艺性状主成分分析

利用 SPSS 22.0 对 160 份鹰嘴豆种质资源的 12 个主要农艺性状进行主成分分析,结果表明主要信息集中在前 4 个主成分中,累计贡献率为 63.417% (表 5)。

第 1 主成分特征值为 3.116,贡献率为 25.966%。载荷较高的性状有产量、百粒重、单荚粒数和单株荚数,特征向量值分别为 0.494、0.489、0.304、0.198。百粒重和单株荚数对产量表现出显著和极显著相关,表明该主成分与植物的产量性状和产量有关,其数值的增加会增加产量。

第 2 主成分特征值为 1.771,贡献率为 14.761%。生育期的特征向量值明显高于其他性状,为 0.686。此类型主要反映种质的生育期,表明生育期较长的种质其单荚粒数虽然较多,但较少的单株荚数和较小的百粒重影响了产量的提升。

第 3 主成分特征值为 1.575,贡献率为 13.128%。载荷较高的性状有单荚粒数、主茎分枝数和株高,特征向量值为 0.538、0.366、0.321。此类型主要反映种质的形态性状,株高更高、分枝更多的种质虽然获得更多的单株荚数和单荚粒数,但其百粒重的下降影响了产量。

第 4 主成分特征值为 1.147,贡献率为 9.562%,主要反映了株高、粒形的影响。鹰头形籽粒的种质大多表现出株高较高,同时单荚粒数较多,百粒重较大,进而提升了产量。

2.5 不同鹰嘴豆种质资源农艺性状聚类分析

通过聚类分析显示, 160 份鹰嘴豆种质资源可

在遗传距离为 5 时分为 3 个类群(图 1), 各类群的资源数、性状的平均值和变异系数见表 6。

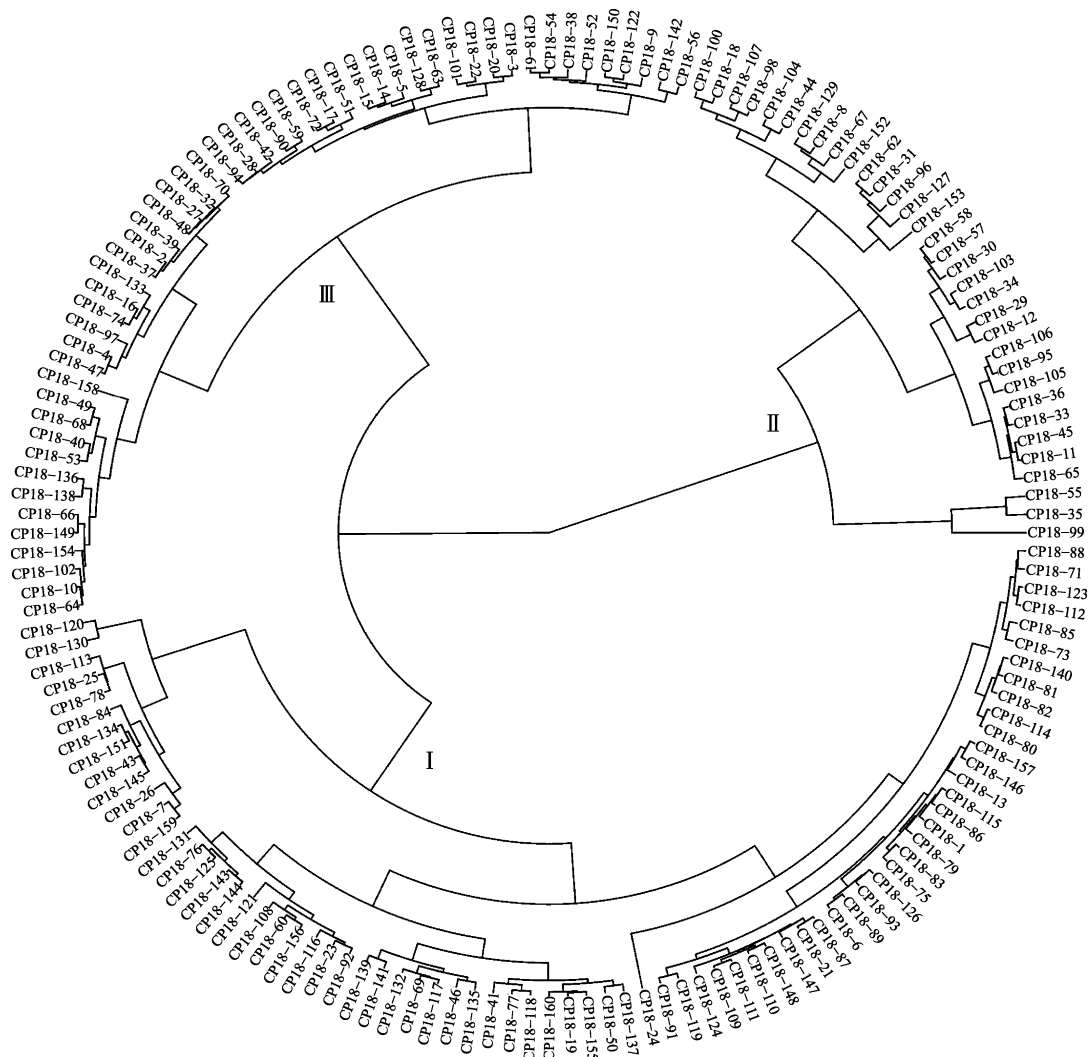


图 1 160 份鹰嘴豆种质资源聚类图

Fig.1 Cluster analysis in 160 chickpea germplasm resources map

第 I 类群包括 75 份资源, 其主要特征是生育期最长, 株高最高, 主茎分枝数较少, 单株荚数最少, 单荚粒数最少, 百粒重最小, 产量最低。其中, 主茎分枝数的变异系数最高, 其次为单株荚数, 生育期的变异系数最低。综合各性状, 该类群资源为生育期稍长、株高较高、分枝较少的鹰嘴豆资源。

第 II 类群包括 33 份资源, 其主要特征是生育期适中, 株高最矮, 主茎分枝数最少, 单株荚数最多, 单荚粒数最多, 百粒重适中, 产量最高。其中, 分枝数的变异系数最高, 其次为单株荚数, 生育期最低。综合各性状, 该类群为株高较矮、分枝数较少、产量较高的鹰嘴豆资源。

第 III 类群包括 52 份资源, 其主要特征是生育期

最短, 株高适中, 主茎分枝数最多, 单株荚数适中, 单荚粒数适中, 百粒重最大, 产量适中。其中, 主茎分枝数的变异系数最高, 其次为单株荚数, 生育期最低。综合各性状, 该类群为生育期较短、籽粒较大的鹰嘴豆资源。

2.6 鹰嘴豆特异种质筛选

根据性状鉴定结果, 初步筛选出早熟、矮秆、无分枝、多荚、荚粒数多、大粒、高产的特异种质资源 63 份(表 7)。其中早熟种质 1 份, 生育期 64 d; 矮秆种质 1 份, 株高 29.7 cm; 无分枝种质 32 份; 多荚种质 3 份, 单株荚数为 162.7~241.0 个; 单荚粒数多种质 8 份, 单荚粒数为 1.78~2.00 粒; 大粒种质 20 份, 百粒重为 40.63~51.36 g; 高产种质 8 份, 产量 2507.69~2984.62 kg/hm²。

表 6 160 份鹰嘴豆种质资源不同类群数量性状的特征

Table 6 The average and coefficient variation amount of quantitative traits in germplasm groups of chickpea

性状 Traits	项目 Item	种质类群 Germplasm groups		
		I	II	III
生育期 (d) GP	均值	87.08	85.42	83.72
	变异系数 (%)	6.52	4.39	5.80
株高 (cm) PH	均值	54.77	45.11	49.52
	变异系数 (%)	18.07	15.21	18.25
主茎分枝数 BPP	均值	0.64	0.54	0.65
	变异系数 (%)	62.53	83.62	67.60
单株荚数 PPP	均值	54.87	77.24	65.35
	变异系数 (%)	34.01	39.29	39.00
单荚粒数 SPP	均值	1.25	1.31	1.28
	变异系数 (%)	17.58	22.84	19.28
百粒重 (g) HSW	均值	26.97	30.08	33.44
	变异系数 (%)	25.78	24.23	26.04
产量 (kg/hm ²) Y	均值	1370.38	2399.53	1884.50
	变异系数 (%)	12.12	7.48	7.50

表 7 63 份鹰嘴豆特异种质资源

Table 7 63 chickpea germplasm resources with elite agronomic traits

编号 No.	名称 Name	特异性状 Elite traits	生育期 (d) GP	株高 (cm) PH	主茎分 枝数 BPP	单株 荚数 PPP	单荚粒 数 SPP	百粒重 (g) HSW	产量 (kg/hm ²) Y
CP18-142	ICCX-110055-F3-P58-BP	早熟、无分枝	64	56.0	0.0	26.3	1.11	15.30	1846.15
CP18-40	ICCV 15305	矮秆、大粒	81	29.7	0.7	77.0	1.11	43.03	1923.08
CP18-32	ICCV 15115	无分枝	84	33.0	0.0	53.7	1.56	23.16	2107.69
CP18-30	ICCV 15113	无分枝、荚粒数多	87	34.0	0.0	58.0	1.89	22.71	2261.54
CP18-34	ICCV 15117	无分枝、荚粒数多	90	34.7	0.0	71.3	2.00	24.72	2292.31
CP18-33	ICCV 15116	无分枝	87	35.7	0.0	46.7	1.22	29.22	2200.00
CP18-119	ICCV 07101	无分枝	80	37.7	0.0	80.7	1.33	15.47	1353.85
CP18-56	ICCV 16104	无分枝	82	37.7	0.0	44.7	1.11	21.78	1846.15
CP18-97	ICCX-100090-1-37-1-P1-BP	无分枝	80	38.0	0.0	98.0	1.22	22.6	2046.15
CP18-104	ICCX-100091-F4 (2) -P75-BP	无分枝	84	38.7	0.0	46.0	1.44	33.95	2430.77
CP18-100	ICCX-100090-F4 (2) -P20-BP	无分枝	90	38.7	0.0	60.7	1.22	35.31	2476.92
CP18-54	ICCV 16102	无分枝	89	40.3	0.0	72.7	1.56	26.20	1846.15
CP18-101	ICCX-100090-F4 (2) -P2-BP	无分枝	80	40.7	0.0	119.3	1.44	21.72	1738.46
CP18-99	ICCX-100090-F4 (2) -P1-BP	无分枝、高产	87	40.7	0.0	117.3	1.00	33.00	2984.62
CP18-85	ICCV 16315	无分枝	86	41.7	0.0	38.3	1.33	29.10	1400.00
CP18-18	ICCV 15101	无分枝	78	42.0	0.0	55.0	1.56	26.74	2461.54
CP18-35	ICCV 15118	无分枝、高产	80	43.0	0.0	37.3	1.56	33.20	2692.31
CP18-96	ICCX-100090-1-32-1-P1-BP	无分枝、高产	87	43.3	0.0	73.7	1.11	24.28	2569.23
CP18-93	ICCX-100025-F4-P43-BP	无分枝	81	45.3	0.0	88.3	1.22	26.41	1307.69
CP18-64	ICCV 16112	无分枝、荚粒数多	82	45.3	0.0	67.7	1.89	28.48	1969.23
CP18-66	ICCV 16114	无分枝	87	45.3	0.0	64.7	1.56	36.44	2000.00

表 7(续)

编号 No.	名称 Name	特异性状 Elite traits	生育期 (d) GP	株高 (cm) PH	主茎分 枝数 BPP	单株 荚数 PPP	单荚粒 数 SPP	百粒重 (g) HSW	产量 (kg/hm ²) Y
CP18-55	ICCV 16103	无分枝、高产	92	46.3	0.0	82.3	1.11	23.68	2753.85
CP18-69	ICCV 16117	无分枝	78	46.7	0.0	66.7	1.67	24.30	1646.15
CP18-140	ICCX-110055-F3-P4-BP	无分枝	88	48.7	0.0	27.0	1.33	18.68	1384.62
CP18-147	ICCV 16505	无分枝	93	48.7	0.0	39.3	1.56	16.52	1353.85
CP18-90	ICCX-100023-F4-P77-BP	无分枝	86	50.3	0.0	48.3	1.00	33.06	1692.31
CP18-144	ICCX-110055-F3-P62-BP	无分枝	97	53.3	0.0	30.7	1.00	18.32	1492.31
CP18-82	ICCV 16312	无分枝	86	60.3	0.0	40.7	1.22	31.95	1384.62
CP18-143	ICCX-110055-F3-P61-BP	无分枝	81	63.0	0.0	27.3	1.11	19.17	1492.31
CP18-84	ICCV 16314	无分枝	80	63.7	0.0	28.7	1.44	30.25	1276.92
CP18-63	ICCV 16111	无分枝	87	67.0	0.0	48.7	1.33	28.34	1753.85
CP18-141	ICCX-110055-F3-P51-BP	无分枝	86	68.7	0.0	44.3	1.22	19.38	1661.54
CP18-114	ICCV 03201	无分枝	89	73.3	0.0	44.3	1.00	21.97	1400.00
CP18-24	ICCV 15107	多荚	87	56.3	1.0	241.0	1.22	37.22	1415.38
CP18-158	ICCV 16519	多荚	86	50.3	1.7	172.7	1.11	32.49	1953.85
CP18-153	ICCV 16514	多荚、高产	90	57.0	1.0	162.7	1.00	25.29	2507.69
CP18-67	ICCV 16115	荚粒数多	78	39.0	0.3	72.7	1.89	21.05	2369.23
CP18-27	ICCV 15110	荚粒数多	79	44.3	0.3	61.7	1.89	28.79	2107.69
CP18-113	ICCV 03112	荚粒数多	86	59.3	0.3	18.0	1.78	22.73	1169.23
CP18-152	ICCV 16513	荚粒数多	87	49.7	1.3	133.7	1.78	25.63	2400.00
CP18-19	ICCV 15102	荚粒数多	85	45.0	1.0	85.0	1.78	25.84	1600.00
CP18-15	ICCV 14316	大粒	85	44.0	1.0	45.0	1.44	51.36	1769.23
CP18-38	ICCV 15303	大粒	85	62.7	0.3	71.7	1.67	50.66	1846.15
CP18-16	ICCV 14317	大粒	80	48.0	0.7	37.3	1.33	47.86	2046.15
CP18-37	ICCV 15302	大粒	87	51.7	0.7	60.7	1.33	47.45	2107.69
CP18-12	ICCV 14313	大粒	91	51.0	1.0	59.0	1.56	47.15	2353.85
CP18-11	ICCV 14312	大粒	88	44.0	1.0	44.7	1.56	46.45	2215.38
CP18-43	ICCV 15308	大粒	86	55.7	1.3	55.7	1.44	46.44	1246.15
CP18-14	ICCV 14315	大粒	90	50.3	1.3	49.3	1.67	46.02	1753.85
CP18-17	ICCV 14318	大粒	85	45.0	1.0	49.0	1.33	45.5	1723.08
CP18-2	ICCV 14302	大粒	88	41.7	1.0	68.3	1.33	45.14	2107.69
CP18-1	ICCV 14301	大粒	85	60.0	0.7	56.7	1.00	44.93	1323.08
CP18-8	ICCV 14309	大粒	83	55.0	1.0	96.0	1.22	44.82	2384.62
CP18-72	ICCV 16302	大粒	82	40.3	0.7	57.3	1.11	43.35	1723.08
CP18-41	ICCV 15306	大粒	87	44.0	1.0	87.0	1.33	42.00	1553.85
CP18-10	ICCV 14311	大粒	85	54.3	1.3	60.7	1.33	41.69	1969.23
CP18-42	ICCV 15307	大粒	88	43.3	0.7	69.0	1.22	41.07	1707.69
CP18-45	ICCV 15311	大粒	84	47.3	0.7	42.7	1.22	41.00	2215.38
CP18-49	ICCV 15315	大粒	80	47.7	0.3	49.0	1.22	40.92	1907.69
CP18-39	ICCV 15304	大粒	83	41.3	0.3	72.7	1.22	40.63	2092.31
CP18-31	ICCV 15114	高产	79	43.7	0.7	55.3	1.44	26.97	2553.85
CP18-62	ICCV 16110	高产	86	48.3	0.3	54.7	1.33	29.73	2538.46
CP18-127	ICCX-110049-F3-P23-BP	高产	90	65.0	1.0	78.3	1.11	27.21	2523.08

3 讨论

160 份外引鹰嘴豆种质资源的 7 个数量性状的变异系数范围为 5.8%~70.1%, 主茎分枝数具有较大的变异系数, 6 个质量性状的多样性指数范围为 0~1.385, 粒色和株型的多样性指数较高, 除复叶叶型均表现为普通型外, 各农艺性状间差异较大, 表明 160 份鹰嘴豆种质资源类型多样, 可为鹰嘴豆的种质创新和育种提供丰富材料。试验材料中 CP18-99 产量最高为 2984.6 kg/hm², 低于新疆地区鹰嘴豆产量^[10], 可能是因为试验中的栽培密度小于新疆生产上的种植密度。在东北地区对鹰嘴豆的栽培研究中发现, 由于鹰嘴豆耐寒能力较强, 可于每年 4 月初与麦类同期播种, 7 月上中旬收获后下茬可种植早熟的绿豆、荞麦等作物。因此, 在鹰嘴豆育种工作中, 适当缩短鹰嘴豆的生育期可在该地区实现一年两茬的复种栽培模式, 同时注重对高产或大粒型特异种质的筛选, 通过有性杂交等育种手段进行种质创新, 可为培育出早熟、高产、大粒鹰嘴豆品种提供种质基础。

通过对主要农艺性状进行相关分析, 产量与粒形、单株荚数呈极显著正相关, 与百粒重呈显著正相关, 且株高、主茎分枝数、单株荚数、单荚粒数和百粒重 5 个性状之间存在显著相关, 这与邵千顺等^[14]、张金波等^[15]的研究相一致。其他性状的相关性与前人研究的差异, 可能是由于所选的农艺性状及样本数不同, 增加试验样本数可获得更精确分析结果。通过对 160 份鹰嘴豆种质资源的综合评价, 8 份高产鹰嘴豆种质(表 7)的单株荚数分别为 37.3~162.7 个, 单荚粒数为 1.00~1.56 粒, 百粒重为 23.68~33.2 g, 单株荚数的变异范围较大, 而单荚粒数和百粒重位于该批材料变异范围中段, 因此在筛选高产鹰嘴豆种质时, 应综合考虑各性状表现。其他农艺性状的相关分析还表现出, 粒形更圆、百粒重更大、表面更光滑的资源产量普遍较高, 这与生产上的表现相一致; 随着花色加深, 植株的披散程度、粒形的圆度、粒色的深度和单荚粒数增大, 种子表面的粗糙程度和百粒重减小; 粒形较圆、粒色较浅、种子表面较光滑的资源表现出单荚粒数较多、株高较高、百粒重较大; 种子表面越光滑、粒色越浅, 百粒重就越大。

对 160 份鹰嘴豆资源进行主成分分析, 将 12 个主要农艺性状分为 4 个主成分, 分别反映了鹰嘴豆的产量性状与产量的特征、生育期的特征、形态性状

的特征和株高、粒形的特征。这 4 个主要特征是决定鹰嘴豆种质性状多样的主要因素。邵千顺等^[13]通过对 151 份鹰嘴豆资源进行分析, 得到 6 个主成分, 分别影响了产量性状、植株形态、粒形与花色、株高、株型和种皮。聂石辉等^[10]的研究同样得到 4 个主成分, 分别影响了产量性状、粒形、产量和百粒重。两人的研究结果与本研究相似但不完全相同, 可能是由于国内外鹰嘴豆材料之间存在不同, 且各类型的鹰嘴豆材料占比不同, 导致结果出现一定差异。

聚类分析可用于反应鹰嘴豆资源亲缘关系和遗传距离^[18]。使用聚类分析的方法对 160 份鹰嘴豆资源进行划分, 3 个类群间具有明显差异, 可以初步明确试验材料的大致类型, 根据不同育种目标可较大程度提高育种效率。其中第Ⅱ类群为株高较矮、分枝数较少、产量较高的鹰嘴豆资源; 第Ⅲ类群为生育期较短、籽粒较大的鹰嘴豆资源; 这 2 个类群分别为高产和早熟、大粒类型的资源, 具有较大的利用价值, 为鹰嘴豆杂交育种提高了优质亲本材料。而第Ⅰ类群的鹰嘴豆资源生育期稍长, 有助于营养物质的积累, 可以用做高营养含量、有一定增产潜力的亲本材料。

本试验对 160 份外引鹰嘴豆资源的主要农艺性状进行了鉴定和遗传多样性分析, 然而作物的形态学标记容易受到自然条件和其他环境因素的影响造成改变。因此, 应结合分子标记技术对该批资源进行多年份、多点次的试验及测定, 以精确其农艺性状的表现, 同时综合其商品性、品质分析等方面的评价, 最终确定该批材料的最佳用途。

参考文献

- [1] 龙静宜, 林黎奋, 侯修身, 段醒男, 段宏义. 食用豆类作物. 北京: 科学出版社, 1989: 305
Long J Y, Lin L F, Hou X S, Duan X N, Duan H Y. Food legumes. Beijing: Science Press, 1989: 305
- [2] 张旭娜, 么杨, 崔波, 任贵兴. 鹰嘴豆功能活性及应用研究进展. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(9): 1983-1988
Zhang X N, Yao Y, Cui B, Ren G X. Research advance on the biological activity and application of chickpea. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(9): 1983-1988
- [3] 郑卓杰. 中国食用豆类学. 北京: 中国农业出版社, 1997: 285
Zheng Z J. Chinese food legumes. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 285
- [4] Pundir R P S, Reddy K N, Mengesha M H. ICRI SAT chickpea germplasm catalog: evaluation and analysis. India: International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics, 1988: 1-11
- [5] Knudsen J C. Effect of high hydrostatic pressure on the conformation of beta-lactoglobulin A as assessed by proteolytic peptide profiling. International Dairy Journal, 2002, 12(10):

- 791-803
- [6] 张俊杰, 郭晨, 杨旭, YOUNG J. P. W. 鹰嘴豆根瘤菌多样性研究进展. 轻工学报, 2016, 31(6): 1-7
Zhang J J, Guo C, Yang X, YOUNG J. P. W. Research progress of the chickpea rhizoibal diversity. Journal of Light Industry, 2016, 31(6): 1-7
- [7] Varshmey R K, Thudi M, Nagak S N, Gaur P M, Viswanatha K P. Genetic dissection of drought tolerance in chickpea(*Cicer arietinum* L.). Theoretical and Applied Genetics, 2014, 127(11): 445-462
- [8] Bhattarai T, Fettig S. Isolation and characterization of a dehydrin gene from *Cicer pinnatifidum*, a drought-resistant wild relative of chickpea. Physiologia Plantarum, 2005, 123(4): 452-458
- [9] Shukla R K, Raha S, Tripathi V, Chattopadhyay D. Expression of CAP2, an AP-ETALA2-family transcription factor from chickpea, enhances growth and tolerance to dehydration and salt stress in transgenic tobacco. Plant Physiology, 2006, 142(1): 113-123
- [10] 聂石辉, 彭琳, 王仙, 季良. 鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 64-70
Nie S H, Peng L, Wang X, Ji L. Genetic diversity of agronomic traits in chickpea(*Cicer arietinum* L.) germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(1): 64-70
- [11] 郝曦煜, 梁杰, 郭文云, 王英杰, 肖焕玉, 尹凤祥. 白城市特色食用豆产业发展优势分析. 东北农业科学, 2019, 44(1): 87-90
Hao X Y, Liang J, Guo W Y, Wang Y J, Xiao H Y, Yin F X. Analysis of advantages of development of characteristic food legumes industry in Baicheng. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2019, 44(1): 87-90
- [12] 陈文晋, 孔庆全, 赵存虎, 贺小勇, 田晓燕, 张向前, 席先梅. 鹰嘴豆种质资源主要农艺性状遗传多样性分析. 北方农业学报, 2018, 46(5): 9-18
Chen W J, Kong Q Q, Zhao C H, He X Y, Tian X Y, Zhang X Q, Xi X M. Analysis of genetic diversity of the main agronomic traits of chickpea germplasm resources. Journal of Northern Agriculture, 2018, 46(5): 9-18
- [13] 邵千顺, 关耀兵, 程炳文, 撒金东, 周丽蕾, 牛永岐, 赵永峰, 李玉莲. 鹰嘴豆种质资源多样性评价. 西北农业学报, 2017, 26(12): 1803-1812
Shao Q S, Guan Y B, Cheng B W, Sa J D, Zhou L L, Niu Y Q, Zhao Y F, Li Y L. Diversity evaluation of germplasm resources of chickpea. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2017, 26(12): 1803-1812
- [14] 邵千顺, 杨琳. 鹰嘴豆种质资源筛选及多样性分析. 安徽农业科学, 2017, 45(34): 16-19, 31
Shao Q S, Yang L. Screening of *Cier arietinum* germplasm resources and their diversity analysis. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(34): 16-19, 31
- [15] 张金波, 李利民, 苗昊翠, 王威, 肖菁, 热依拉. 鹰嘴豆种质资源主要农艺性状遗传多样性研究. 新疆农业科学, 2014, 51(1): 110-117
Zhang J B, Li L M, Miao H C, Wang W, Xiao J, Re Y L. Genetic diversity analysis of the chickpea germplasm resources based on agronomic traits. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51(1): 110-117
- [16] 宗绪晓, 关建平, 李玲, 王晓鸣. 鹰嘴豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012
Zong X X, Guan J P, Li L, Wang X M. Descriptors and data standard for chickpea(*Cier* spp.). Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 2012
- [17] 李鸿雁. 扁蓿豆种质资源遗传多样性的研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008
Li H Y. Genetic diversity research of germplasm resources in *Medicago ruthenica*. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008
- [18] 张金波, 苗昊翠, 王威, 肖菁, 李利民. 应用 SSR 标记分析鹰嘴豆种质资源遗传多样性. 植物遗传资源学报, 2015, 16(5): 1027-1034
Zhang J B, Miao H C, Wang W, Xiao J, Li L M. Genetic diversity analysis of chickpea(*Cicer arinuml* L.) germplasm resources by SSR markers. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(5): 1027-1034