

# 小豆种质资源农艺性状综合鉴定与评价

白 鹏, 程须珍, 王丽侠, 王素华, 陈红霖

(中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:**通过田间观测和室内分析,对来自全国各生态区的 262 份小豆优异种质资源连续 2 年进行了农艺性状鉴定及综合评价。结果表明:262 份小豆微核心种质资源在考察的 16 个形态学性状中均具有丰富的遗传变异类型;不同年份间生态环境尤其是光照条件对小豆农艺性状影响较大;主成分分析确定了 3 类影响因子,表明小豆资源的选育要集中在生长势良好(生育日数较短、株高较矮),单株荚数和单荚粒数多的地方品种;聚类分析结果显示在相似系数为 0.40 时可将参试材料分为 5 大类群,各类群间性状差异明显;群体性状表现与地理来源之间没有直接的关系。

**关键词:**小豆;性状鉴定;主成分分析;聚类分析

## Evaluation in Agronomic Traits of Adzuki Bean Accessions

BAI Peng, CHENG Xu-zhen, WANG Li-xia, WANG Su-hua, CHEN Hong-lin

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

**Abstract:** 262 accessions of adzuki bean from different ecological regions have been evaluated in the experimental field of Beijing for two years. The results indicated that the 16 morphology traits of 262 adzuki bean germplasm had extensive genetic variation types. The ecological environment, especially the lighting conditions in different years had a great effect on the agronomic traits. The main agronomic characters of adzuki bean varieties which showed notability difference were investigated with principal components analysis. Three common factors in every class were calculated. The results demonstrated that the adzuki bean breeding should focus on the local varieties, which had a better growth potential (short growth period and scrubby plant height) and a further more pods and seeds. Cluster analysis showed that 262 representative landraces could be classified into 5 groups with a genetic similarity coefficient as 0.40. Each group had different characteristics and showed abundant genetic diversity. There was no obvious evidence that the groups had direct relationship with the origins of accessions.

**Key words:** adzuki bean; agronomic traits; principal components analysis; cluster analysis

小豆 (*Vigna angularis*) 主要分布在中国、日本、韩国和喜马拉雅山麓<sup>[1]</sup>, 是我国主要食用豆类作物。中国主产区为东北、华北、黄河中游、江淮下游, 最佳生产区是华北及江淮流域<sup>[2]</sup>。随着人民生活水平的提高, 国内外市场对小豆的需求量大幅增加<sup>[3]</sup>, 对小豆遗传育种的研究有待深入, 更有必要广泛收集和鉴定各种种质资源。本研究连续 2 年在北京对来自全国各地的各个类型的小豆优异种质进

行农艺性状综合评价, 分析不同年份各遗传系数的变异程度, 并进行相关分析及主成分分析, 旨在筛选出综合性状优良、遗传稳定的资源, 供各地生产上直接利用或作为育种亲本利用。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

小豆应用型核心样本 262 份, 约占资源总体的

收稿日期: 2014-03-28 修回日期: 2014-05-14 网络出版日期: 2014-10-13

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141013.2033.022.html>

基金项目: 国家食用豆产业技术体系建设项目 (CARS-09); 国家公益性行业 (农业) 科研专项经费 (nyhyzx07-017); 农作物种质资源保护 (NB04-07); 中国农业科学院科技创新工程

第一作者主要从事小豆遗传育种研究。E-mail: bai\_peng02@163.com

通信作者: 程须珍, 主要从事小豆种质资源及遗传育种研究。E-mail: chengxz@caas.net.cn

5%,包括国内种质 257 份和日本引进资源 5 份,其中国内种质来源基本涵盖小豆的主产省份(表 1)。所选参试材料在国家种质库入库清单优异评价中,已经按单一优异性状进行了分类,根据记载数据挑选不同质量性状和数量性状的材料。

表 1 参试小豆的来源与分布

Table 1 The origin and distribution of adzuki bean germplasm

来源 Origin	种质份数 No. of accessions	来源 Origin	种质份数 No. of accessions
安徽	9	内蒙古	21
北京	17	山东	3
广东	1	山西	22
河北	21	陕西	16
河南	20	台湾	1
黑龙江	21	天津	17
湖北	21	云南	13
吉林	30	重庆	1
江苏	9	日本	5
辽宁	14	合计	262

## 1.2 试验设计

试验分别于 2012 年 5 月在中国农业科学院作物科学研究所实验基地,2013 年 7 月在昌平种子管理站温室进行。人工条播,每年整个田间试验均控制在 1 d 内播完。供试材料田间随机区组排列,不设重复,每份种质种植 1 行,行长 2 m,行株距 45 cm × 15 cm,播深 3 cm 左右,双粒点播。调查项目及标准严格按照《小豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[4]</sup>进行。观察记载内容包括主要质量性状和数量性状:生长习性、幼茎色、花蕾色、成熟荚色、粒色、粒形、种皮光泽;生育日数(d)、株高(cm)、主茎节数、主茎分枝数、单株荚数、单荚粒数、荚长(cm)、荚宽(cm)、百粒重(g)等(表 2)。

## 1.3 数据分析

各指标性状具有不同的量纲,统计分析时对非数值型性状(质量性状),如粒形、粒色、幼茎色、主茎色和成熟荚色等予以赋值<sup>[5]</sup>(表 2);对数量性状如株高、主茎节数、主茎分枝、单株荚数等进行 10 级分类,1 级  $< X - 2\delta$ , 10 级  $\geq X + 2\delta$  ( $X$  为平均值,  $\delta$  为标准差),中间每级间相差 0.5  $\delta$ 。

标准差与变异系数在 DPS v3.01 软件中完成。Shannon-Weaver 多样性指数 ( $H'$ )<sup>[6-7]</sup>按照下式计算:  $H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$ 。其中,  $n$  为某一性状表型级

别的数目,  $P_i$  为某一性状第  $i$  级别内材料份数占总份数的百分比。参试材料间 Nei78 遗传距离<sup>[8]</sup>计算及不同种质间的相似性系数在 Popgen 1.32 软件<sup>[9]</sup>和 MEGA 4 软件<sup>[10]</sup>中完成,并建立聚类分析图。参试资源主成分分析 (PCA) 及三维作图<sup>[11-12]</sup>在 NT-SYS-pc 2.2<sup>[13]</sup>中完成。其余统计分析均在 EXCEL 表格中完成。

表 2 小豆种质资源描述项目及鉴定标准

Table 2 The main morphological characters and their criteria for adzuki bean germplasm resources

序号 Code	性状 Character	记载标准 Criterion for recording
1	生长习性 GH	1:直立,2:半蔓生,3:蔓生
2	幼茎色 YSC	1:绿,2:紫
3	花蕾色 AC	1:绿,2:绿紫
4	成熟荚色 MPC	1:黄白,2:褐,3:黑
5	粒色 SC	1:白,2:黄,3:绿,4:红,5:褐,6:黑,7:花纹,8:花斑(双色)
6	粒形 GT	1:短圆柱,2:长圆柱,3:球形
7	种皮光泽 STL	1:光亮,2:灰暗
8	生育日数(d) GP	自播种第 2 天至成熟的天数
9	株高(cm) PH	成熟时,从子叶节到植株顶端的距离
10	主茎节数 SNN	成熟时,从子叶节到植株主茎顶端最后一复叶着生节的节数
11	主茎分枝数 BRN	主茎上一级分枝的总数
12	单株荚数 PNP	小豆单个植株上的成熟豆荚数
13	单荚粒数 NSP	小豆单个豆荚内所含的成熟子粒数
14	荚长(cm) PDL	豆荚成熟时,基部至顶端的距离
15	荚宽(cm) PDW	成熟荚最宽处两端的距离
16	百粒重(g) HSW	100 粒小豆干子粒的重量

GH:Growth habit, YSC: Young stem color, AC: Alabastrum color, MPC: Mature pod color, SC: Seed color, GT: Grain type, STL: Seed testa luster, GP: Growth period, PH: Plant height, SNN: Stem node number, BRN: Number of branches on main stem, PNP: Pods number per plant, NSP: Number of seeds per pod, PDL: Length of straight pod, PDW: Maximum width, HSW: 100-seedweight. The same as below

## 2 结果与分析

### 2.1 主要农艺性状变异及分析

分别对 2012 年和 2013 年调查的 262 份小豆资源的 16 个农艺性状进行描述性统计分析。在所考察的 7 个质量性状中(图 1),该核心样本包含了所有 23 个变异类型。

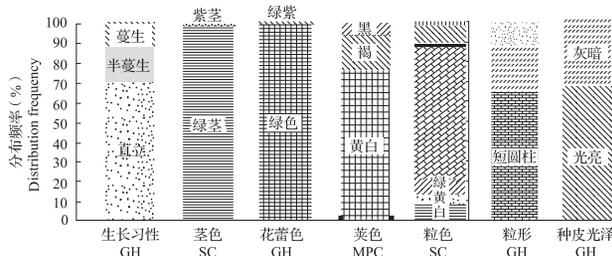


图 1 参试小豆质量性状变异类型的分布频率

Fig. 1 The variation distribution of the qualitative traits in adzuki bean accessions

数量性状的变异分析见表 3。9 个数量性状的平均变异系数分别为 22.30% (2012 年) 和 28.65%

表 3 参试小豆数量性状多样性统计分析

Table 3 The genetic variation and frequency of the quantitative traits in adzuki bean accessions

数量性状 Qualitative character	平均值 Mean	中值 Median	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 SD	变异系数(%) CV	多样性指数 H'
生育日数(d) GP	119.99	118.00	103.00	144.00	14.13	11.78	1.63
	101.31	103.00	58.00	110.00	10.24	10.11	1.33
株高(cm) PH	109.69	108.00	29.75	207.75	35.19	32.08	2.06
	43.73	38.80	17.00	122.00	18.08	41.34	1.76
主茎节数 SNN	19.38	19.40	7.60	29.25	3.74	19.31	2.05
	12.06	12.30	6.80	16.70	1.65	13.70	2.04
主茎分枝 BRN	3.89	3.90	0.75	7.00	1.09	28.14	1.97
	2.58	2.00	0.20	8.30	1.57	63.06	2.04
单株荚数 PNP	53.61	48.60	2.00	166.20	28.32	52.82	1.92
	20.01	18.75	0.80	76.00	11.57	57.80	1.99
荚长(cm) PDL	8.26	8.20	6.20	10.60	0.78	9.49	1.99
	8.81	8.75	2.80	13.60	1.18	13.38	1.97
荚宽(cm) PDW	0.60	0.60	0.50	0.70	0.05	8.39	1.71
	0.67	0.68	0.32	0.92	0.08	12.00	2.01
单荚粒数 NSP	8.01	8.00	5.40	12.40	0.96	12.04	2.00
	7.83	7.80	4.00	11.60	0.98	12.54	2.02
百粒重(g) HSW	10.81	10.97	5.20	19.91	2.88	26.64	2.01
	14.33	14.38	4.84	30.80	4.19	29.25	2.03

每列上行数据为 2012 年结果,下行数据为 2013 年结果,下同

The first row of data was the results from 2012, the second line of data was from 2013, the same as below

(2013 年)。2 年变异系数均小于 15% 的性状有生育日数、荚长、荚宽、单荚粒数,均大于 30% 的有株高、单株荚数,其中主茎分枝的变异系数 2 年差距较大。9 个数量性状的平均多样性指数分别为 1.93 (2012 年) 和 1.91 (2013 年)。2012 年多样性指数最高的为株高(2.06),2013 年最高的为主茎节数(2.04)和主茎分枝(2.04);生育日数的多样性指数 2 年均最低(1.63 和 1.33)。

### 2.2 主要农艺性状间相关性分析

分别对 2012 年和 2013 年调查的 9 个数量性状和 4 个质量性状数据进行相关性分析(表 4)。2 年结果显示单荚粒数均与茎色极显著正相关;生育日数、株高、主茎节数、主茎分枝均与生长习性极显著正相关;百粒重均与成熟荚色极显著负相关,与荚宽极显著正相关;主茎节数、主茎分枝、单株荚数均与株高极显著正相关;主茎分枝、单株荚数均与主茎节数极显著正相关;荚宽、单荚粒数均与荚长极显著正相关。对于粒色,2 年分析结果显示没有共同相关性。

表 4 参试资源农艺性状间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of agronomic traits of the adzuki bean accessions

农艺性状 Agronomic traits	幼茎色 YSC	生长习性 GH	成熟荚色 MPC	生育日数 GP	粒色 SC	株高 PH	主茎节数 SNN	主茎分枝 BRN	单株荚数 PNP	荚长 PDL	荚宽 PDW	单荚粒数 NSP
生长习性 GH	-0.177*											
	0.086											
成熟荚色 MPC	0.159*	0.132										
	0.110	0.199**										
生育日数 GP	0.069	0.279**	0.153									
	0.039	0.254**	0.092									
粒色 SC	0.109	-0.036	0.030	-0.080								
	0.094	-0.186**	-0.103	-0.102								
株高 PH	-0.124	0.831**	0.159*	0.331**	-0.108							
	0.208**	0.681**	0.030	0.039	-0.080							
主茎节数 SNN	-0.247**	0.673**	0.019	0.255**	-0.017	0.772**						
	0.075	0.290**	0.076	-0.026	-0.013	0.529**						
主茎分枝 BRN	-0.066	0.367**	0.039	0.128	0.001	0.365**	0.407**					
	0.145*	0.520**	0.166*	0.313**	-0.244**	0.553**	0.526**					
单株荚数 PNP	-0.110	0.199*	-0.036	-0.135	0.149	0.215**	0.240**	0.320**				
	0.029	-0.032	0.069	-0.282**	0.047	0.312**	0.416**	0.102				
荚长 PDL	0.120	0.126	-0.032	0.037	0.137	0.103	-0.013	-0.108	0.083			
	-0.065	0.205**	0.000	0.245**	0.009	0.112	0.053	0.204**	-0.115			
荚宽 PDW	0.040	0.038	0.017	0.257**	0.137	-0.017	-0.015	-0.093	0.030	0.483**		
	-0.316**	-0.161*	-0.064	0.031	0.036	-0.196**	-0.103	-0.227**	-0.113	0.236**		
单荚粒数 NSP	0.376**	-0.001	-0.017	0.064	-0.120	0.047	-0.114	-0.123	0.044	0.211**	-0.053	
	0.257**	0.241**	0.156*	0.083	-0.180**	0.307**	0.199**	0.356**	0.275**	0.369**	-0.082	
百粒重 HSW	0.046	-0.027	-0.187*	-0.075	0.103	-0.117	-0.119	-0.118	0.034	0.576**	0.750**	-0.191*
	-0.096	-0.246**	-0.156*	-0.027	0.203**	-0.228**	-0.133	-0.380**	-0.096	0.120	0.724**	-0.288**

\*、\*\*：分别表示在 0.05、0.01 水平达到差异显著

\* and \*\*: Represent significance at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

### 2.3 主成分分析

对 9 个数量性状进行主成分分析(表 5),结果显示,前 4 个主成分的 2 年累积贡献率分别为 78.156% (2012 年)和 76.234% (2013 年)。其中 2012 年第 1 主成分的特征向量中载荷较大的有株高、主茎节数和主茎分枝,第 2 主成分的特征向量中载荷较大的有荚长、荚宽和百粒重,第 3 主成分的特征向量中载荷较大的有单荚粒数和单株荚数,第 4 主成分的特征向量中载荷较大的有生育日数和单荚粒数。相比较来说 2013 年第 1 主成分的特征向量中载荷较大的为株高、主茎节数、主茎分枝和单荚粒数,第 2 主成分的特征向量中载荷较大的为荚长、荚宽和生育日数,第 3 主成分的特征向量中载荷较大

的为单株荚数和百粒重,第 4 主成分的特征向量中载荷较大的有主茎节数和生育日数。

### 2.4 聚类分析

利用 Popgen 软件根据农艺性状数据计算材料间的欧氏距离及相似性系数,再利用 Mega 软件以完全联结法对 262 份种质材料进行聚类分析(图 2),在遗传相似系数约为 0.40 时参试材料大致分为 5 个类群。品种类群组成、分类特点及各类主要农艺性状的平均值如表 6。

其中,第 1 类群包含 87 份种质,多为晚熟、矮秆、半蔓生品种,生育日数平均为 104.4 d,但株高较矮;荚长较长但单荚粒数少,但百粒重中等,属大粒型子粒;主要包括安徽 4 份、北京 7 份、河北 11 份、

表 5 试验材料主成分分析中前 4 个主成分的特征值及特征向量描述

Table 5 The eigenvalues and eigenvectors of the first four principal components in principal component analysis

农艺性状 Agronomic traits	2012 年				2013 年			
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$
生育日数 GP	0.241	0.120	-0.569	0.580	0.116	0.509	-0.575	0.299
株高 PH	0.710	0.515	0.000	0.295	0.741	0.119	0.209	0.267
主茎节数 SNN	0.749	0.508	-0.096	0.060	0.704	0.079	0.406	0.302
主茎分枝 BRN	0.597	0.273	0.016	-0.308	0.778	0.252	-0.172	0.294
单株荚数 PNP	0.388	0.405	0.486	-0.415	0.454	-0.238	0.629	-0.246
荚长 PDL	-0.473	0.625	0.307	0.313	0.147	0.755	-0.113	-0.376
荚宽 PDW	-0.584	0.662	-0.171	-0.033	-0.457	0.637	0.442	0.057
单荚粒数 NSP	0.000	-0.141	0.715	0.600	0.549	0.287	-0.039	-0.664
百粒重 HSW	-0.611	0.678	-0.092	-0.132	-0.561	0.479	0.508	0.206
特征根 Eigenvalues	2.568	2.085	1.213	1.171	2.716	1.687	1.432	1.027
贡献率(%) Variance	28.525	23.154	13.468	13.009	30.174	18.733	15.919	11.408
累计贡献率(%) Cumulative	28.525	51.679	65.147	78.156	30.174	48.907	64.826	76.234

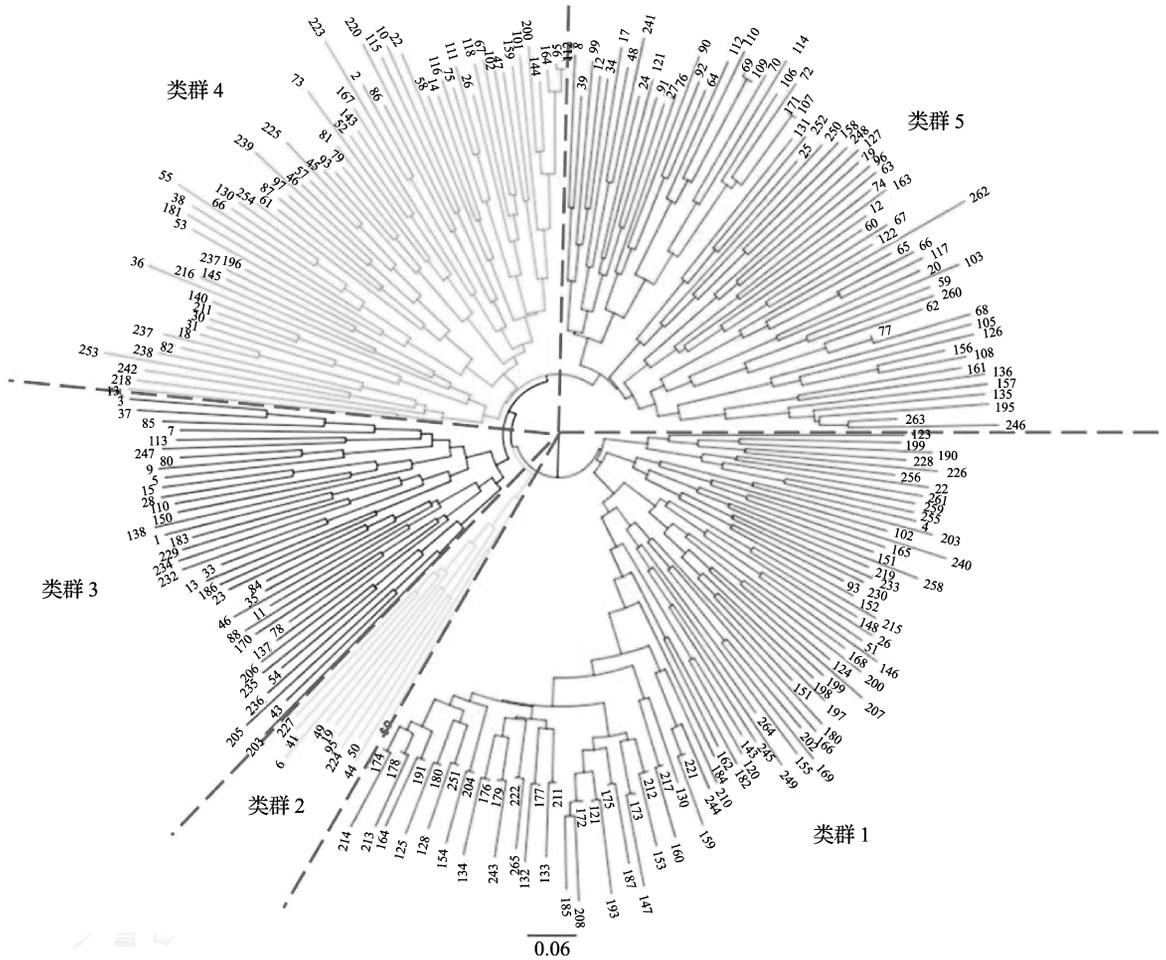


图 2 小豆种质基于表型数据的 UPGMA 聚类图

Fig. 2 UPGMA dendrogram based on phenotypic characteristics of the adzuki bean accessions

表 6 各类群表型性状平均表现

Table 6 The average performance of phenotypic traits to each group

类群 Group	份数 Issues	幼茎 色 YSC	生长 习性 GH	成熟 荚色 MPC	粒色 SC	生育 日数 GP	株高 PH	主茎 节数 SNN	主茎 分枝 BRN	单株 荚数 PNP	荚长 PDL	荚宽 PDW	单荚 粒数 NSP	百粒 重 HSW
1	87	1.0	1.5	1.2	3.9	104.4	40.5	11.8	2.3	15.9	8.9	0.7	7.4	15.01
2	10	1.0	1.3	1.2	3.9	93.0	49.0	13.3	2.2	32.3	8.6	0.7	7.6	16.04
3	38	1.0	1.2	1.1	4.1	96.2	43.3	12.3	2.1	24.7	8.7	0.7	8.0	15.53
4	63	1.0	1.2	1.1	3.8	98.3	36.3	11.5	1.4	17.0	8.5	0.7	7.7	14.91
5	64	1.0	1.8	1.2	3.5	104.5	54.0	12.6	3.6	22.8	9.1	0.6	8.4	11.57

河南 1 份、黑龙江 5 份、湖北 9 份、吉林 13 份、江苏 4 份、辽宁 5 份、内蒙古 5 份、日本 3 份、山西 3 份、陕西 5 份、台湾 1 份、天津 6 份、云南 4 份和重庆 1 份。

第 2 类群包含 10 份种质,均为早熟、高秆品种,生育日数最短,主茎节数最多但分枝少,株型比较紧凑,单株荚数也最多,百粒重最大,属大粒高产型;主要包括河北 1 份、吉林 4 份、辽宁 2 份、内蒙古 1 份、山西 1 份和天津 1 份。

第 3 类群包含 38 份种质,多为早熟、直立品种,该类群种质变异类型范围比较广泛,但株型较紧凑,单株荚数较多,百粒重较大;主要包括北京 4 份、河北 5 份、河南 1 份、黑龙江 5 份、湖北 2 份、吉林 5 份、辽宁 1 份、内蒙古 3 份、日本 1 份、山西 4 份、天津 6 份和云南 1 份。

第 4 类群包含 63 份种质,多为早熟、矮秆直立品种,株高、主茎节数、主茎分枝都是最短,单株荚数较少,植株较矮,分枝少且株型紧凑;主要包括北京 5 份、广东 1 份、河北 2 份、河南 7 份、黑龙江 11 份、吉林 6 份、辽宁 3 份、内蒙古 10 份、日本 1 份、山东 1 份、山西 5 份、陕西 6 份、天津 4 份、云南 1 份。

第 5 类群包含 64 份种质,多为晚熟、高秆、蔓生品种,生育日数最长,株高最高主茎节数较长且分枝最多,单株荚数较少但单荚粒数最多,且荚长最长,百粒重最小,属长荚小粒型子粒;主要包括安徽 5 份、北京 1 份、河北 2 份、河南 11 份、湖北 10 份、吉林 2 份、江苏 5 份、辽宁 3 份、内蒙古 2 份、山东 2 份、山西 9 份、陕西 5 份、云南 7 份。

分析发现,这些核心样本的聚类与其地理来源没有一定的对应关系。

## 2.5 主成分三维图

采用参试资源间欧氏距离,利用 NTsys-pc 软件进行的主成分三维作图分析表明,第 1 主成分的贡

献率为 27.95%,第 2 主成分的贡献率为 21.71%,第 3 主成分的贡献率为 15.16%,合计为 64.82%。将所有参试资源作为一个混合群体,以每份材料的三维主成分数据绘制三维聚类图(图 3)。所有种质在 PCA 三维空间图上并没有呈现显著的空间结构分化,与聚类分析结果一致,进一步验证了国内小豆资源的表型性状分布没有明显的生态地域性。

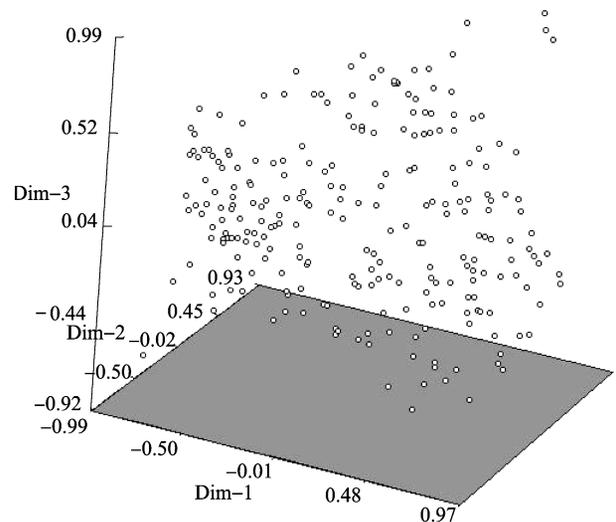


图 3 小豆资源的主成分分析三维散点图

Fig.3 Three dimensional principle component plot based on phenotypic characteristics of the adzuki bean accessions

## 3 讨论

本试验对 254 份绿豆资源的 14 对表型性状进行了形态多样性分析,结果显示该核心样本质量性状涵盖了所有的变异类型,数量性状的平均多样性指数分别为 1.93(2012 年)和 1.91(2013 年),变异系数分别为 22.30%(2012 年)和 28.65%(2013 年),这表明所选种质资源间的性状差异明显,变异范围大,多样性丰富。

不同年份间生态环境尤其是光照条件对小豆农艺性状影响较大。本研究中,2012年5-9月的平均气温高于2013年7-11月,2013年生育期内的日照时数明显短于2012年(气象资料未列出)。2年的重复试验气温、日照时数不同直接导致生育期不同,2013年参试材料平均生育日数较2012年短10d左右;株高差异较大,2012年株高普遍高于2013年的;主茎节数、主茎分枝、单株荚数都有明显不同,2012年的数据明显高于2013年的;但荚长、荚宽、单荚粒数及百粒重差别不大。小豆属短日照作物,对光周期反应很敏感,不同的光照条件对生育期有一定影响,而其生育周期对小豆植株形态建成具有重要作用<sup>[14]</sup>,生育期长短与株高、主茎节数、单株荚数呈显著正相关,因此导致农艺性状差异较大。

主成分分析作为一种有效的多元分析方法,在很多多样性分析中都有应用<sup>[15]</sup>。本研究利用主成分分析方法研究参试小豆资源数量性状间的相关性,前4个主成分的累积信息量分别为78.156%(2012年)和76.234%(2013年),累计贡献率没有达到85%,可能原因是没有考虑质量性状间联系。根据各主成分的载荷值大小,可以将第1和第4主成分合并为第1因子,反映植株生长势;第2主成分作为第2因子,反映荚的特征;第3主成分作为第3因子,直接反映与产量相关的经济性状。试验证明,利用这3个因子对小豆的综合性状进行优劣评价,得知小豆的选育要集中在生长势良好(生育日数较短、株高较矮),单株荚数和单荚粒数多的地方品种。

本研究中基于各农艺性状的聚类将所有材料分为5大类群,各类群间差异明显。对于育种选育工作,应着重选育第3类早熟、茎秆直立、百粒重大、产量高的资源。聚类分析结果及主成分三维图显示,聚类与地理来源没有一定的对应关系,主要是因为数量性状大部分由微效多基因控制,受环境影响大,表现形式在不同生态条件下会出现多样化<sup>[16]</sup>。

表型性状是遗传因素和环境因素协同作用的结

果。本研究的性状数据虽然是在不同环境条件(不同种植时间、不同地点)下获得,但依然有一定局限性。因此,为更准确地评价小豆种质的起源进化与遗传差异,DNA分子标记已广泛应用于其研究<sup>[17]</sup>。这不仅将为亲本材料选择和规划新的育种程序等提供可靠信息,也可以用于标记辅助选择育种,从而缩短育种进程。

#### 参考文献

- [1] Yoon M S, Lee J, Kim C Y, et al. Genetic relationships among cultivated and wild *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi and relatives from Korea based on AFLP markers [J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2007, 54: 875-883
- [2] 金文林. 中国小豆生态气候资源分区初探 [J]. *北京农业科学*, 1995, 13(6): 1-4
- [3] 程须珍, 王述民. 中国食用豆类品种志 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1-106
- [4] 程须珍, 王素华, 王丽侠. 小豆种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 1-79
- [5] 贺晨邦, 宗绪晓. 豌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*, 2011, 12(1): 42-48
- [6] Pielou E C. *An Introduction to mathematical ecology* [M]. New York: Wiley-Interscience, 1969
- [7] Lewontin R C. The apportionment of human diversity [J]. *Evol Biol*, 1972, 6: 381-398
- [8] Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals [J]. *Genetics*, 1978, 89: 583-590
- [9] Yeh F C, Yang R C, Boyle T. *PopGene Version 1.31 Quick User Guide* [M]. Canada: University of Alberta, and Centre for International Forestry Research, 1999
- [10] Tamura K, Dudley J, Nei M, et al. MEGA4: molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0 [J]. *Mol Biol Evol*, 2007, 24: 1596-1599
- [11] Flury B N. Common principal components in k groups [J]. *J Am Stat Assoc*, 1984, 79: 892-898
- [12] Flury B N, Constantine G. The F-G diagonalization algorithm [J]. *Appl Stat*, 1985, 34: 177-183
- [13] Rohlf F J. *NTSYS-pe numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.2* [M]. New York: Applied biostatistics, 2004
- [14] 郑卓杰. 中国食用豆类学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 141-166
- [15] 向长萍, 谢军. 23个苦瓜品种(系)农艺性状的主成分分析 [J]. *华中农业大学学报*, 2001, 20(4): 378-381
- [16] 王丽侠, 程须珍, 王素华, 等. 中国绿豆应用型核心样本农艺性状的分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(4): 589-593
- [17] Zong X X, Kaga A, Tomooka N, et al. The genetic diversity of the *Vigna angularis* complex in Asia [J]. *Genome*, 2003, 46: 647-658