

# 木豆种质资源形态与农艺性状的多样性分析

康智明<sup>1</sup>, 徐晓俞<sup>1\*</sup>, 郑开斌<sup>1,2</sup>, 俞秀红<sup>3</sup>, 李爱萍<sup>1\*\*</sup>

(1. 福建省农业科学院作物研究所, 福州 350013; 2. 福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建 漳州 363005; 3. 福建省科技开发中心, 福州 350003)

**摘要:** 为挖掘优异木豆(*Cajanus cajan*)种质资源, 对 10 份木豆种质资源的 10 个质量性状和 18 个数量性状的遗传多样性进行了研究, 并对其农艺性状进行了聚类分析。结果表明, 质量性状的遗传多样性指数均较大, 以鲜荚色(1.9219)的最高, 其次是旗瓣点缀色、鲜籽粒颜色和干籽粒底色, 多样性指数均为 1.4855; 再次为干籽粒色斑、干籽粒脐环色和有无种阜, 均为 0.8813; 最小的是小叶叶形、旗瓣底色和株型, 均为 0.7219。聚类分析可将 10 份木豆种质资源划分为中茎稀疏型、中茎密生型和粗茎密生型 3 大类型。这为木豆品种选育提供了科学依据。

**关键词:** 木豆; 种质资源; 农艺性状; 遗传多样性; 聚类分析

doi: 10.11926/jtsb.3633

## Diversity Analysis of Morphological and Agronomic Traits in *Cajanus cajan*

KANG Zhi-ming<sup>1</sup>, XU Xiao-yu<sup>1\*</sup>, ZHENG Kai-bin<sup>1,2</sup>, YU Xiu-hong<sup>3</sup>, LI Ai-ping<sup>1\*\*</sup>

(1. Crop Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, Fujian, China; 3. Scientific and Technological Developing Center of Fujian Province, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** In order to explore excellent *Cajanus cajan* (pigeonpea) resource, the genetic diversity of 10 quality traits and 18 quantitative characters of 10 pigeonpea genotypes was studied and the agronomic characters were cluster analyzed. The results showed that the genetic diversity index of all quality traits were high, among which fresh pod color was the highest at 1.9219, and those of upper petal embellishment color, fresh seed color and dry grain color were all 1.4855, those of dry grain stain, dry grain umbilical ring color, and strophiole or not were all 0.8813, those of lobular leaf shape, petal color and plant type were the lowest at 0.7219. Ten genotypes of pigeonpea could be divided into three groups by cluster analysis, such as medium diameter and sparse, medium diameter and dense, and thick diameter and dense. These could provide a scientific basis for the variety breeding of pigeonpea.

**Key words:** Pigeonpea (*Cajanus cajan*); Germplasm resource; Agronomic trait; Genetic diversity; Cluster analysis

木豆(*Cajanus cajan*)是蝶形花科(Papilionaceae)木豆属多年生的常绿灌木, 是世界第六大食用豆类, 也是唯一的木本食用豆类作物<sup>[1]</sup>。木豆具有广泛的用途, 其青籽粒含有丰富的蛋白质可作为优质蔬菜食用<sup>[2]</sup>; 鲜叶的蛋白质含量也较高, 是优质的饲料和绿肥<sup>[3]</sup>; 干熟籽粒不仅可食用, 也可作为动

物的饲料; 茎秆可作为薪柴使用。根据中医药文献记载, 木豆也是一种重要的中药, 尤其是对股骨头坏死具有显著的药效作用<sup>[4-6]</sup>。同时, 木豆作为一种重要的热带作物, 其具有耐干旱、耐贫瘠的优良特性, 是干旱半干旱热带地区植被恢复、水土保持、荒山绿化的先锋作物<sup>[7-8]</sup>。

收稿日期: 2016-05-30 接受日期: 2016-07-15

基金项目: 福建省公益类科研院所专项(2016R1025-1); 福建省科技重大专项(2015NZ0002-3)资助

This work was supported by the Special Project of Public Welfare Research Institutes in Fujian Province (Grant No. 2016R1025-1); and the Special Project for Major Science and Technology in Fujian Province (Grant No. 2015NZ0002-3).

作者简介: 康智明(1991~), 男, 研究实习生, 主要从事木豆资源鉴定和品种选育研究。E-mail: kangzhiming56@163.com

\* 同等贡献作者

\*\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: ap1909@163.com

目前,木豆在我国种植面积较小,主要集中于云南、福建、广西、广东和台湾等热带亚热带地区。同时,我国对木豆的研究相对较少,尤其是优质木豆品种选育方面。据报道,我国大多数木豆品种主要是通过引种栽培,再经过单株选育或杂交育种而成<sup>[9-12]</sup>。种质资源是品种改良和选育的物质基础,是进行生理、生化遗传及生物技术研究的重要材料<sup>[13]</sup>。因此,对木豆种质资源的征集、鉴定和评价势在必行。本研究以福建省农业科学院作物研究所保存的 10 份木豆种质资源为材料,调查分析其 10 个质量性状和 18 个农艺性状表现,对他们进行遗传多样性研究,为挖掘优异木豆种质材料,拓宽木豆品种改良和种质资源创新基础提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

10 份木豆(*Cajanus cajan*)种质资源种植于福建省农业科学院作物研究所福州埔垵实验基地,4 月份左右播种,采取随机区组设计,10 份木豆种质资源在同一块实验地里分成小区种植,每小区 3 行,行长 10~12 m,行距 1~1.5 m,重复 3 次,田间管

表 1 形态学性状的量化

Table 1 Quantification of morphological characters

性状 Character	特征 Feature
小叶叶形 Lobular leaf shape	1. 披针形; 2. 窄菱形; 3. 阔菱形; 4. 心形
旗瓣底色 Petal color	1. 白; 2. 浅黄; 3. 黄; 4. 橘黄
旗瓣点缀色 Petal embellishment color	0. 无; 1. 红; 2. 紫
鲜荚色 Fresh pod color	1. 黄; 2. 绿; 3. 绿底紫斑纹; 4. 紫; 5. 紫黑
鲜籽粒颜色 Fresh seed color	1. 绿; 2. 绿底紫斑; 3. 红; 4. 红底紫斑; 5. 紫; 6. 奶白
株形 Plant shape	1. 紧凑; 2. 半紧凑; 3. 松散; 4. 披散
干籽粒底色 Dry grain color	1. 白; 2. 奶黄; 3. 橘黄; 4. 浅褐; 5. 红褐; 6. 浅灰; 7. 灰; 8. 深灰; 9. 紫; 10. 深紫; 11. 黑
干籽粒色斑 Dry grain stain	1. 无; 2. 斑点; 3. 斑块; 4. 斑点加斑块; 5. 色环
干籽粒脐环色 Dry grain umbilical ring color	1. 白; 2. 奶黄; 3. 橘黄; 4. 浅褐; 5. 红褐; 6. 浅灰; 7. 灰; 8. 深灰; 9. 紫; 10. 深紫; 11. 黑
种阜 Strophiole	1. 有; 2. 无

## 2 结果和分析

### 2.1 质量性状的遗传多样性

从表 2 可以看出,10 份木豆种质资源大多具有窄菱形小叶、旗瓣黄底色、旗瓣紫色点缀色、鲜荚紫黑色、鲜籽粒绿色、半紧凑株型、干籽粒奶黄底色、干籽粒无色斑、干籽粒脐环橘黄色和无种阜等形态特征。

理按照常规模式进行。

### 1.2 性状统计

根据《木豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[14]</sup>,对木豆种质资源进行 10 个主要质量性状调查,包括:小叶叶形、旗瓣底色、旗瓣点缀色、鲜荚色、鲜籽粒颜色、株型、干籽粒底色、干籽粒色斑、干籽粒脐环色和种阜等,分析质量性状的频率分布和遗传多样性指数。同时,统计木豆的茎粗、单株花序数、每花絮花数、鲜荚长、鲜荚宽、鲜荚重、鲜荚出籽率、株高、主茎节数、一级分枝数、二级分枝数、三级分枝数、单株荚数、荚长、荚宽、单荚粒数、百粒重和单株产量等 18 个数量性状。所有性状统计采用 2012-2014 年共 3 年的试验数据,取平均值。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件以及 Microsoft Excel 2013 进行数据统计分析。其中,遗传多样性分析采用 Shannon-Wiener 指数,计算公式为:  $H' = -\sum P_i \log_2 P_i$ ,其中  $P_i$  为某一个性状的第  $i$  级出现的概率。为了方便统计和量化分析数据,对质量性状进行赋值(表 1)。同时,采用系统聚类法中的 Ward 法(离差平方和法),遗传距离采用欧式平方距离对材料进行类群划分。

同时,木豆种质资源质量性状的遗传多样性指数均较高,其中以鲜荚色的最高,为 1.9219;旗瓣点缀色、鲜籽粒颜色和干籽粒底色的次之,均为 1.4855;再次为干籽粒色斑、干籽粒脐环色和种阜等,均为 0.8813;而小叶叶形、旗瓣底色和株型等的最低,均为 0.7219。这可能与木豆种质资源大多都是半紧凑株型、窄菱形小叶和旗瓣黄底色有关。

表 2 10 份木豆种质资源 10 个质量性状的遗传多样性指数

Table 2 Diversity index of 10 quality traits in 10 germplasms of pigeonpea

性状 Character	多样性指数 Diversity index	频率分布 Frequency distribution						
		0	1	2	3	4	5	6
小叶叶形 Lobular leaf shape	0.7219			0.8	0.2			
旗瓣底色 Petal color	0.7219			0.2	0.8			
旗瓣点缀色 Petal embellishment color	1.4855	0.2	0.3	0.5				
鲜荚色 Fresh pod color	1.9219			0.2	0.2	0.2	0.4	
鲜籽粒颜色 Fresh seed color	1.4855		0.5	0.3				0.2
株形 Plant shape	0.7219			0.8	0.2			
干籽粒底色 Dry grain color	1.4855		0.3	0.5			0.2	
干籽粒色斑 Dry grain stain	0.8813		0.7			0.3		
干籽粒脐环色 Dry grain umbilical ring color	0.8813				0.7		0.3	
种阜 Strophiole	0.8813		0.7	0.3				

## 2.2 农艺性状的遗传多样性

对 10 份木豆种质资源的 18 个数量指标进行分析(表 3)。结果表明,木豆种质资源数量指标的变异程度较大,18 个数量指标的变异系数为 11.46%~83.98%,其中最大的为单株荚数,为 83.98%;其次为三级分枝数,为 80.59%,说明这两个性状的变异程度较大,其性状分离较为明显。单株产量、单株花序数和鲜荚出籽率的变异系数较高,分别为 64.16%、57.46%和 56.18%;随后,主茎节数、鲜荚重、二级分枝数、百粒重、一级分枝数、茎粗和每花序花数的变异系数分别为 36.74%、32.37%、29.70%、29.53%、27.09%、26.57%和 21.69%;荚宽的变异系数最小,仅为 11.46%,说明木豆荚宽在种质间较稳定,变异程度小。

对木豆种质资源的 17 个农艺性状指标进行相关性分析(表 4)。茎粗与三级分枝数呈极显著正相关关系(0.876<sup>\*\*</sup>);单株花序数与鲜荚长、荚长、单荚粒数呈显著负相关,与一级分枝数呈显著正相关;每花序花数与鲜荚长、荚长呈极显著正相关,与二级分枝数呈显著负相关;鲜荚长与荚长、单荚粒数呈极显著正相关,与二级分枝数呈极显著负相关;鲜荚宽与鲜荚重呈极显著正相关,与单株荚数呈极显著负相关;鲜荚重与百粒重呈极显著正相关,与单株荚数呈显著负相关;株高与百粒重呈极显著正相关,与主茎节数、二级分枝数呈显著正相关;主茎节数与二级分枝数呈极显著正相关;一级分枝数与单荚粒数呈显著负相关;二级分枝数与单荚粒数呈显著负相关;单株荚数与单株产量呈极显著正相

表 3 木豆资源农艺性状的变异系数

Table 3 Coefficient variances of agronomic traits of pigeonpea

	最大值 Max.	最小值 Min.	变异幅度 Range	平均值 Mean	标准差 Standard error	变异系数 (%) Coefficient variance
茎粗 Stem diameter (cm)	7.90	3.80	4.10	5.34	1.42	26.57
单株花序数 Inflorescence number per plant	732.00	96.00	636.00	421.20	242.00	57.46
每花序花数 Flower number per inflorescence	5.00	3.00	2.00	3.50	0.76	21.69
鲜荚长 Fresh pod length (cm)	9.86	6.74	3.12	7.76	1.12	14.44
鲜荚宽 Fresh pod width (cm)	1.66	1.05	0.61	1.40	0.19	13.93
鲜荚重 Fresh pod weight (g)	3.90	1.68	2.22	2.62	0.85	32.37
鲜荚出籽率 Seed yield rate of fresh pod (%)	64.29	0.54	63.75	43.74	24.57	56.18
株高 Plant height (cm)	304.00	179.00	125.00	228.20	42.22	18.50
主茎节数 Node number of stem	99.00	28.00	71.00	64.50	23.70	36.74
一级分枝数 Primary branch number	42.00	19.00	23.00	27.70	7.50	27.09
二级分枝数 Secondary branch number	161.00	61.00	100.00	120.60	35.82	29.70
三级分枝数 Tertiary branch number	186.00	19.00	167.00	67.70	54.56	80.59
单株荚数 Pod number per plant	3370.00	145.00	3225.00	1335.40	1121.41	83.98
荚长 Pod length (cm)	8.95	5.44	3.51	6.86	1.12	16.34
荚宽 Pod width (cm)	1.24	0.88	0.36	1.11	0.13	11.46
单荚粒数 Grain number per pod	6.05	4.33	1.72	4.95	0.64	13.02
单株产量 Yield per plant (g)	1546.83	154.56	1392.27	739.80	474.67	64.16
百粒重 100-grain weight (g)	20.90	10.00	10.90	13.23	3.91	29.53

表 4 木豆资源农艺性状间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between agronomic traits of pigeonpea

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
X1	1																
X2	0.452	1															
X3	-0.120	-0.380	1														
X4	-0.165	-0.721*	0.774**	1													
X5	-0.237	-0.321	0.261	0.527	1												
X6	0.231	-0.177	0.527	0.618	0.786**	1											
X7	0.431	0.427	-0.307	-0.427	0.228	0.396	1										
X8	0.160	0.469	-0.207	-0.601	-0.160	-0.013	0.744*	1									
X9	-0.013	0.704*	-0.154	-0.685*	-0.403	-0.362	0.284	0.594	1								
X10	0.376	0.601	-0.713*	-0.877**	-0.428	-0.347	0.688*	0.769**	0.459	1							
X11	0.876**	0.375	-0.018	-0.064	-0.446	0.031	0.074	-0.010	-0.132	0.246	1						
X12	0.237	0.599	-0.459	-0.608	-0.790**	-0.696*	-0.184	0.159	0.368	0.482	0.495	1					
X13	-0.036	-0.697*	0.795**	0.824**	0.142	0.441	-0.310	-0.242	-0.481	-0.598	0.080	-0.423	1				
X14	-0.360	-0.589	0.634*	0.565	0.413	0.516	0.088	0.131	-0.101	-0.393	-0.479	-0.687*	0.725*	1			
X15	0.023	-0.742*	0.721*	0.905**	0.309	0.572	-0.263	-0.411	-0.638*	-0.662*	0.084	-0.548	0.949**	0.678*	1		
X16	0.296	0.603	-0.483	-0.573	-0.742*	-0.628	-0.160	0.108	0.337	0.453	0.514	0.981**	-0.407	-0.664*	-0.499	1	
X17	0.322	0.056	0.077	0.107	0.609	0.782**	0.829**	0.373	-0.043	0.191	-0.045	-0.615	0.057	0.407	0.200	-0.558	1

\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ . X1: 茎粗; X2: 单株花序数; X3: 每花序花数; X4: 鲜荚长; X5: 鲜荚宽; X6: 鲜荚重; X7: 株高; X8: 主茎节数; X9: 一级分枝数; X10: 二级分枝数; X11: 三级分枝数; X12: 单株荚数; X13: 荚长; X14: 荚宽; X15: 单荚粒数; X16: 单株产量; X17: 百粒重。

\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ . X1: Stem diameter; X2: Inflorescence number per plant; X3: Flower number per inflorescence; X4: Fresh pod length; X5: Fresh pod width; X6: Fresh pod weight; X7: Plant height; X8: Node number of stem; X9: Primary branch number; X10: Secondary branch number; X11: Tertiary branch number; X12: Pod number per plant; X13: Pod length; X14: Pod width; X15: Grain number per pod; X16: Yield per plant; X17: 100-grain weight.

关, 与荚宽呈显著负相关; 荚长与单荚粒数呈极显著正相关; 荚宽与单荚粒数、单株产量呈显著正相关。

### 2.3 聚类分析

选用 18 个主要数量性状指标进行聚类分析(图 1), 在欧式遗传距离为 5.0 时, 10 份种质资源可划分为 3 大类(表 5), 可见他们的农艺性状差异明显。

I 中茎稀疏型: 该类型有 M06、M07、M09 和 M10 共 4 份材料, 表现为茎粗 5.65 cm 左右, 主茎节数平均为 62.50, 单株花序数只有 272.25, 单株产量也仅有 428.82 g, 群体长势较弱, 丰产潜力小。

II 中茎密生型: 该类型有 M02、M04、M05 和 M08 共 4 份材料, 表现为茎粗 4.68 cm 左右, 主茎节数平均为 61.00, 单株花序数平均为 459.75, 单株产量达为 678.20 g, 群体长势一般, 丰产潜力有待进一步提高。

III 粗茎密生型: 该类型有 M01 和 M03 共 2 份材料, 表现为植株茎粗平均达到 6.05 cm, 主茎节数平均达到 75.50, 单株花序数平均为 642.00, 单株产量达到了 1484.98 g, 群体长势旺盛, 高产潜力大, 且农艺性状好。

## 3 讨论

对作物种质资源的遗传多样性进行调查和分析, 是种质资源研究和作物育种的重要基础工作。同时, 种质资源的研究也为新品种的选育提供了原始材料, 为开展种质资源分子生物学研究提供基因来源。本研究表明, 木豆种质资源形态性状多样性较为丰富, 是对我国现有木豆品种的有利补充, 可进一步拓宽木豆品种的遗传背景。木豆鲜荚色、旗瓣点缀色、鲜籽粒颜色和干籽粒底色等 4 个质量性状变异明显(多样性指数  $> 1.0$ ), 以颜色多样为主; 而其他 6 个质量性状变异不明显(多样性指数  $< 1.0$ )。数量性状的变异也较为明显, 特别是单株荚数和三级分枝数两个性状。由此可以推断质量性状比数量性状可能更易受到基因型或种质类型的影响。分析表明, 所选择的 10 个质量性状和 18 个数量指标很好地反映了我国木豆种质的表型变异, 其中大部分性状在育种上有丰富的可供选择的材料, 遗传改良的潜力较大。

本研究的聚类分析是以 18 个主要的农艺性状进行的, 聚类结果将 10 份木豆种质资源材料划分为中茎稀疏型、中茎密生型和粗茎密生型 3 大类型。

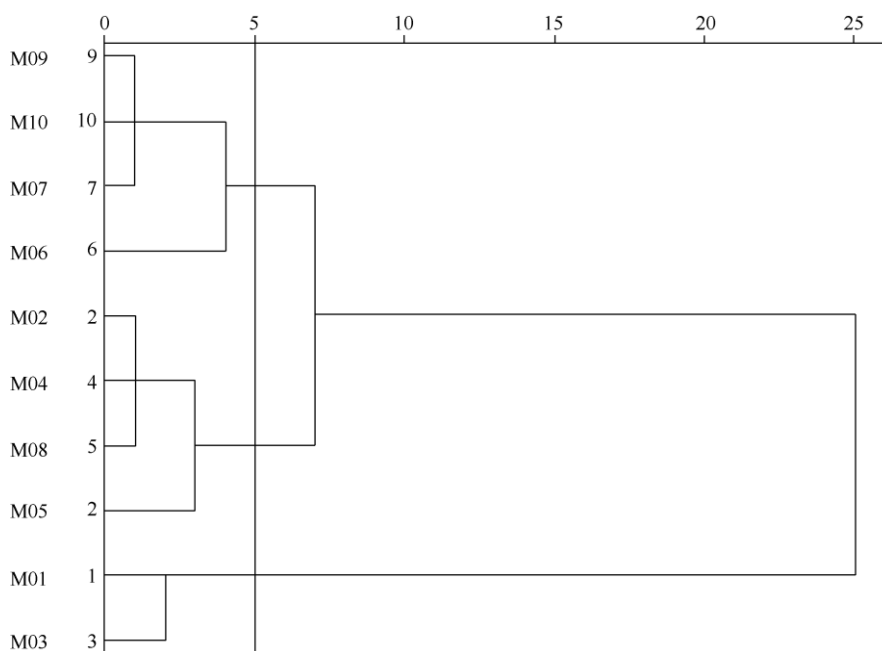


图 1 木豆种质资源的聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of pigeonpea germplasms

表 5 3 个类型的农艺性状

Table 5 Agronomic traits of three types

特征 Character	类型 Type		
	I	II	III
茎粗 Stem diameter (cm)	5.65 ±0.92	4.68 ±0.92	6.05 ±1.85
单株花序数 Inflorescence number per plant	272.25 ±171.68	459.75 ±214.65	642.00 ±55.00
每花序花数 Flower number per inflorescence	4.00 ±0.71	3.25 ±0.43	3.00 ±0
鲜荚长 Fresh pod length (cm)	8.65 ±0.94	7.31 ±0.38	6.86 ±0.11
鲜荚宽 Fresh pod width (cm)	1.49 ±0.04	1.40 ±0.15	1.19 ±0.14
鲜荚重 Fresh pod weight (g)	3.38 ±0.37	2.22 ±0.62	1.91 ±0.19
鲜荚出籽率 Seed yield rate of fresh pod (%)	53.76 ±8.10	40.59 ±23.37	29.99 ±29.44
株高 Plant height (cm)	236.50 ±56.16	221.00 ±6.48	226.00 ±2.00
主茎节数 Node number of stem	62.50 ±26.63	61.00 ±15.23	75.50 ±8.50
一级分枝数 Primary branch number	24.00 ±4.06	30.25 ±7.63	30.00 ±2.00
二级分枝数 Secondary branch number	105.00 ±39.67	119.75 ±13.20	153.50 ±7.50
三级分枝数 Tertiary branch number	72.25 ±9.26	38.00 ±19.33	118.00 ±68.00
单株荚数 Pod number per plant	524.25 ±222.79	1253.00 ±237.63	3122.50 ±247.50
荚长 Pod length (cm)	7.78 ±0.75	6.16 ±0.44	6.43 ±0.01
荚宽 Pod width (cm)	1.21 ±0.03	1.07 ±0.07	0.99 ±0.11
单荚粒数 Grain number per pod	5.58 ±0.39	4.52 ±0.20	4.55 ±0.04
单株产量 Yield per plant (g)	428.82 ±180.89	678.20 ±12.35	1484.98 ±61.85
百粒重 100-grain weight (g)	15.75 ±3.94	12.08 ±1.35	10.50 ±0.50

其中粗茎密生型木豆种质资源具有群体长势旺盛, 高产潜力大, 且农艺性状好的优点, 可从中筛选优质木豆种质资源作为大田生产后备品种, 以丰富我国木豆品种较为单一的现状。未来还可在营养学、遗传学等方面加强对木豆种质资源的研究, 筛选出抗性强、营养成分高等优异种质资源作为育种中间

材料加以创新利用, 以满足木豆品种选育对种质资源遗传多样性的需求。

参考文献

[1] ZHENG K B, XU M, LI A P, et al. Cultivation technique of pigeon pea in mountainous areas [J]. Fujian Agri Sci Techn, 2012(3/4): 59-60. doi:

- 10.3969/j.issn.0253-2301.2012.03.034.  
郑开斌, 许明, 李爱萍, 等. 木豆山地栽培技术 [J]. 福建农业科技, 2012(3/4): 59-60. doi: 10.3969/j.issn.0253-2301.2012.03.034.
- [2] LIU X X, LI Z H, ZHANG J Y, et al. Study on content of protein and starch in pigeon pea seeds of different coat colors [J]. Chem Ind For Prod, 2002, 22(3): 49-53. doi: 10.3321/j.issn:0253-2417.2002.03.012.  
刘秀贤, 李正红, 张建云, 等. 不同种皮色木豆蛋白质淀粉含量的研究 [J]. 林产化学与工业, 2002, 22(3): 49-53. doi: 10.3321/j.issn:0253-2417.2002.03.012.
- [3] LIU X X, LI Z H, DENG J, et al. Study on protein content in pigeon pea leaves of different breeds and individuals [J]. Biomass Chem Eng, 2006, 40(4): 19-21. doi: 10.3969/j.issn.1673-5854.2006.04.006.  
刘秀贤, 李正红, 邓疆, 等. 不同品种及单株木豆叶蛋白质含量的研究 [J]. 生物质化学工程, 2006, 40(4): 19-21. doi: 10.3969/j.issn.1673-5854.2006.04.006.
- [4] ZHENG Y Y, YANG J, CHEN D H, et al. Effects of the extracts osteoblast-like TE85 of *Cajanus cajan* L. on cells and the derivation cell functions in human of osteoclast-like cells [J]. Acta Pharm Sin, 2007, 42(4): 386-391. doi: 10.3321/j.issn:0513-4870.2007.04.008.  
郑元元, 杨京, 陈迪华, 等. 木豆叶提取物对人的类成骨细胞 TE85 成骨功能和体外破骨细胞分化的影响 [J]. 药学报, 2007, 42(4): 386-391. doi: 10.3321/j.issn:0513-4870.2007.04.008.
- [5] ZU Y G, FU Y J, LIU W, et al. Simultaneous determination of four flavonoids in pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] leaves using RP-LC-DAD [J]. Chromatographia, 2006, 63(9/10): 499-505. doi: 10.1365/s10337-006-0784-z.
- [6] FU Y J, ZU Y G, LIU W, et al. Preparative separation of vitexin and isovitexin from pigeonpea extracts with macroporous resins [J]. J Chromatogr A, 2007, 1139(2): 206-213. doi: 10.1016/j.chroma.2006.11.015.
- [7] LI W M. Application of pigeon pea plantation in water and soil conservation project [J]. Guangxi Water Res Hyd Eng, 2014(1): 63-65. doi: 10.3969/j.issn.1003-1510.2014.01.017.  
李维孟. 木豆种植在水土保持项目中的应用 [J]. 广西水利水电, 2014(1): 63-65. doi: 10.3969/j.issn.1003-1510.2014.01.017.
- [8] XU X Y, LI A P, ZHENG F Y, et al. The role of *Cajanus cajan* for soil erosion control in Southern and development countermeasures [J]. Fujian Agri Sci Techn, 2015(9): 52-54. doi: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2015.09.022.  
徐晓俞, 李爱萍, 郑菲艳, 等. 木豆在南方水土流失治理中的作用及发展对策 [J]. 福建农业科技, 2015(9): 52-54. doi: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2015.09.022.
- [9] MA H, LI Z H, LIU X X, et al. An elite *Cajanus cajan* variety 'ICP12746' [J]. Sci Silv Sin, 2013, 49(4): 164. doi: 10.11707/j.1001-7488.20130425.  
马宏, 李正红, 刘秀贤, 等. 木豆良种 'ICP12746' [J]. 林业科学, 2013, 49(4): 164. doi: 10.11707/j.1001-7488.20130425.
- [10] LIU X X, LI Z H, MA H, et al. A new *Cajanus cajan* cultivar 'CAF9' [J]. Sci Silv Sin, 2012, 48(6): 178.  
刘秀贤, 李正红, 马宏, 等. 木豆新品种 'CAF9' [J]. 林业科学, 2012, 48(6): 178.
- [11] WAN Y M, LI Z H, MA H, et al. A new *Cajanus cajan* cultivar 'CAF10' [J]. Sci Silv Sin, 2012, 48(7): 192. doi: 10.11707/j.1001-7488.20120730.  
万友名, 李正红, 马宏, 等. 木豆新品种 'CAF10' [J]. 林业科学, 2012, 48(7): 192. doi: 10.11707/j.1001-7488.20120730.
- [12] CHEN Y H, PANG W, CAI Q S, et al. Breeding and application of pigeon pea variety Guimu 9 [J]. Guangxi Agri Sci, 2006, 37(5): 515-516. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2006.05.012.  
陈燕华, 庞雯, 蔡庆生, 等. 桂木 9 号的选育与应用 [J]. 广西农业科学, 2006, 37(5): 515-516. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2006.05.012.
- [13] KANG Z M, ZHENG K B, XU X Y, et al. Genetic diversity of faba bean varieties in agronomic and quality traits [J]. Fujian J Agri Sci, 2015, 30(3): 249-252. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2015.03.008.  
康智明, 郑开斌, 徐晓俞, 等. 不同蚕豆品种农艺及品质性状的遗传多样性分析 [J]. 福建农业学报, 2015, 30(3): 249-252. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2015.03.008.
- [14] ZONG X X, GUAN J P, LI Z H, et al. Descriptors and Data Standard for Pigeonpea (*Cajanus* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 45-52.  
宗绪晓, 关建平, 李正红, 等. 木豆种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 45-52.