

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0254

廖丽, 罗英, 潘佳慧, 罗小燕, 杨虎彪, 丁西朋, 王志勇. 木豆种质资源质量评价. 草业科学, 2020, 37(11): 2293-2308.

LIAO L, LUO Y, PAN J H, LUO X Y, YANG H B, DING X P, WANG Z Y. Study on the quality evaluation of pigeon pea accessions. Pratacultural Science, 2020, 37(11): 2293-2308.

木豆种质资源质量评价

廖丽¹, 罗英¹, 潘佳慧¹, 罗小燕², 杨虎彪², 丁西朋², 王志勇¹

(1. 热带特色林木花卉遗传与种质创新教育部重点实验室/海南大学林学院 & 海南大学热带作物学院, 海南海口 570228;

2. 中国热带农业科学院热带作物种质资源研究所/农业部华南作物基因资源与种质创制重点实验室, 海南海口 571101)

摘要: 木豆 (*Cajanus cajan*) 是一种药食兼用型的豆科植物, 为了对木豆不同种质资源植物形态特征、活性成分和代谢产物进行质量分析, 本研究以叶片含水量、浸出物、总黄酮、多糖与外部形态特征为指标对 10 份木豆种质的质量进行差异比较, 进而对 4 份差异种质 (3-QZ、4-HK、5-DH₃ 和 6-DZ) 进行代谢差异分析。结果表明: 不同种质在形态性状上具有丰富的遗传变异, 变异系数范围在 8.75% (百粒重)~37.96% (分枝); 水分含量与叶长、浸出物与荚果长、叶型指数与花序轴长度、花序轴长度与旗瓣大小和荚果宽以及荚果长与荚果宽和百粒重之间均呈显著相关关系 ($P < 0.05$); 总黄酮含量与旗瓣大小、叶长与叶宽、叶型指数与荚果宽、荚果宽与百粒重均呈极显著相关关系 ($P < 0.01$); 不同品系间活性成分存在显著差异 ($P < 0.05$); 根据外形形态和活性成分分析, 选取 4 份种质进行代谢物质差异分析, 共获得脂类、有机酸、萜类、生物碱、鞣质、氨基酸及其衍生物、酚酸类、核苷酸及其衍生物、黄酮、醌类、木脂素和香豆素及其他类化合物 453 个, 其中黄酮类化合物最多, 不同品系间化合物物质含量差异显著 ($P < 0.05$)。本研究结果可为今后开展木豆新品种选育和药效成分分析提供参考。

关键词: 木豆; 种质资源; 质量评价; 形态性状; 活性成分; 聚类; 代谢物

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2020)11-2293-16

Study on the quality evaluation of pigeon pea accessions

LIAO Li¹, LUO Ying¹, PAN Jiahui¹, LUO Xiaoyan², YANG Hubiao², DING Xipeng², WANG Zhiyong¹

(1. Key Laboratory of Genetics and Germplasm Innovation of Tropical Special Forest Trees and Ornamental Plants, Ministry of Education / College of Forestry & College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, Hainan, China;

2. Institute of Tropical Crop Genetic Resources, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences / Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture, Haikou 571101, Hainan, China)

Abstract: Pigeon pea (*Cajanus cajan*) is a legume species used for both medicine and food. This study compared 10 pigeon pea accessions with respect to leaf water content, active components in extracts, total flavonoids, polysaccharides, and external morphological characteristics and then analyzed the metabolic differences of 4 different accessions (3-QZ, 4-HK, 5-DH₃, and 6-DZ). There was abundant variation in morphological characters, with the variation coefficient ranging from 8.75% (hundred-seed weight) to 37.96% (number of branches). There were significant correlations ($P < 0.05$) between moisture content and leaf length, active components in extracts and pod length, leaf shape index and inflorescence axis length, inflorescence axis length and banner petal size, inflorescence axis length and pod width, pod length and hundred-seed

收稿日期: 2020-05-13 接受日期: 2020-08-16

基金项目: 海南省重点研发计划项目 (现代农业)(ZDYF2020056); 科技基础资源调查专项 (2017FY100600); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金 (1630032020033)

第一作者: 廖丽 (1981-), 女, 江西乐安人, 副教授, 博士, 研究方向为药用植物资源评价与利用。E-mail: liaoli@hainanu.edu.cn

通信作者: 丁西朋 (1982-), 男, 河南封丘人, 副研究员, 博士, 研究方向为热带牧草遗传育种。E-mail: xipding@163.com

共同通信作者: 王志勇 (1979-), 男, 江西乐平人, 教授, 博士, 研究方向为热带草类植物遗传多样性与遗传育种。E-mail: wangzhiyong@hainanu.edu.cn

weight, and pod width and hundred-seed weight. Total flavonoid content was significantly correlated with banner petal size, leaf length and width, leaf shape index, pod width, and hundred-seed weight ($P < 0.01$), and there were significant differences with regard to active components ($P < 0.05$). Four pigeon pea accessions were analyzed to determine their metabolite content, and 453 compounds were obtained, which included lipids, organic acids, terpenes, alkaloids, tannins, amino acids and their derivatives, phenolic acids, nucleotides and their derivatives, flavonoids, quinones, lignans, coumarins, and other compounds, of which flavonoids were the most dominant; there were significant differences among different accessions ($P < 0.05$). This study provides a reference for the breeding of new varieties of pigeon pea and the analysis of active components of this plant.

Keywords: *Cajanus cajan*; germplasm resources; quality evaluation; morphological characters; active ingredients; clustering; metabolites

Corresponding author: DING Xipeng E-mail: xipding@163.com

WANG Zhiyong E-mail: wangzhiyong@hainanu.edu.cn

木豆 (*Cajanus cajan*) 属于豆科植物中的直立灌木, 现已确定了两个变种, 一个是黄花变种 (*C. cajan* var. *flavus*), 另一个是紫纹变种 (*C. cajan* var. *bicolor*)^[1], 极耐瘠薄干旱。木豆原产地为印度, 现产于中国华中、华南等地, 在热带和亚热带地区普遍有栽培^[2]。木豆叶蛋白质含量高, 叶量丰富^[3], 且补饲效果明显, 再生能力较强^[4], 可用作家畜饲料、绿肥, 根入药能清热解毒, 亦为紫胶虫的优良寄主植物^[5-6]。

木豆是一种具有广泛药理活性和食用价值的中药资源, 极具开发潜力。迄今已从木豆中分离到黄酮和芪类等多种化合物^[7-9], 在治疗骨质疏松和股骨头坏死^[10-11]、高血脂和糖尿病^[12-13]、神经损伤保护^[14-16]、心脑血管缺血损伤保护以及抗氧化^[17-18]、抗肿瘤^[19-20]等方面具有较好的药理活性。

前人已对木豆形态学特征、细胞学特征、分子标记、育性、化学成分、药效、抗性等方面开展了大量研究^[9, 21-26]。木豆被划分为 86 个类型^[27], 种质资源间农艺性状存在着丰富的差异^[28-29]; 随着分子技术的发展, 通过利用随机扩增多态性 DNA 标记 (random amplified polymorphic DNA, RAPD)、限制性内切酶片段长度多态性 (restriction fragment length polymorphism, RFLP)、碱性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP)、简单重复序列标记 (simple sequence repeat, SSR) 等标记方法对木豆种质资源、种间亲缘关系、种质鉴定等方面进行研究^[30-34]。国际半干旱地区热带作物研究所 (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, ICRISAT) 利用杂种优势对木豆品种培育研究。尤其是近几年来, 在

抗病育种中取得了一系列进展^[35]。木豆基因组草图的完成^[36], 也为今后开展木豆定向育种提供了支撑。

代谢物是生物体表型的基础, 基于对代谢物的定性定量分析, 能帮助更直观、有效地了解生物学过程及其机理^[37]。前人已对大豆 (*Glycine max*)^[38]、水稻 (*Oryza sativa*)^[39]、西红柿 (*Lycopersicon esculentum*)^[40] 等植物开展代谢研究, 结果表明不同种质间代谢物差异明显。

综上, 前人主要是研究木豆种质资源、栽培生理、育种、活性成分、药效等方面, 主要是对形态多样性、化学成分、药效等方面进行单一分析, 缺乏从统一角度出发进行的比较性分析。因此, 本研究利用前期初步筛选出来的 10 份种质资源为试验材料, 以形态特征、活性成分 (总黄酮、多糖、浸出物等) 为指标对木豆进行比较分析, 旨在为木豆种质资源药材质量评价体系的建立提供科学依据。进而选出形态差异和活性成分具有显著差异的 4 份种质进行代谢差异分析, 这将有助于挖掘木豆更多活性成分进行定性和定量分析, 为今后构建药用成分的代谢通路和木豆产业化提供基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为来自我国木豆分布省区中的 4 个省 (区) 的 10 份种质资源 (表 1)。于 2018 年 7 月种植在海南省儋州市宝岛新村海南大学栽培育种实验基地, 位于 109°29'23" E、19°30'27" N, 海拔高度为 141 m, 土壤为砖红壤, 儋州处于海南西北部, 为

热带季风气候, 年日照时数在 2 000 h 以上, 年平均气温在 23.5 °C 左右, 年平均降水量为 1 823 mm。在相同的生长环境中, 将 10 种不同的种质资源分布种植, 播种方式为直播, 正常灌溉。

表 1 木豆种质资源编号与来源
Table 1 Sources of *Cajanus cajan*

序号 No.	编号 Code	来源 Source
1	1-DH ₁	云南德宏 Dehong, Yunnan
2	2-YJ	广东阳江 Yangjiang, Guangdong
3	6-DZ	江西都昌 Duchang, Jiangxi
4	7-QJ	海南乐东 Ledong, Hainan
5	8-BS	海南白沙 Baisha, Hainan
6	9-CM	云南嵩明 Chongming, Yunnan
7	3-QZ	海南琼中 Qiongzong, Hainan
8	4-HK	海南海口 Haikou, Hainan
9	10-DH ₂	云南德宏 Dehong, Yunnan
10	5-DH ₃	云南德宏 Dehong, Yunnan

1.2 仪器与试剂

1.2.1 试验仪器

试验仪器包括鼓风干燥烘箱、分析电子天平、水浴锅、蒸发皿、冷凝回流管、真空抽滤机、离心机、分光光度计、超高效液相色谱和串联质谱。

1.2.2 试验试剂

试验试剂包括 60% 乙醇、5% 亚硝酸钠溶液、10% 硝酸铝溶液、芦丁、4% 氢氧化钠溶液、无水葡萄糖、苯酚、浓硫酸、无水乙醇。

1.3 试验方法

1.3.1 植株形态特征测定

分别测量株高 (T₁)、主茎分枝 (T₂)、叶长 (T₃)、叶宽 (T₄)、叶型指数 (T₅)、花序轴长度 (T₆)、旗瓣大小 (T₇)、荚果长 (T₈)、荚果宽 (T₉)、单荚粒数 (T₁₀)、百粒重 (T₁₁)、株型 (Y₁)、小叶叶形 (Y₂)、花色 (Y₃)、旗瓣底色 (Y₄)、旗瓣点缀色 (Y₅)、鲜荚色 (Y₆)、粒色 (Y₇)、干籽粒底色 (Y₈)、干籽粒色斑 (Y₉)、干籽粒脐环色 (Y₁₀) 等形态性状, 重复 15 次。数据测量在营养生长期、花期、成熟期时进行。

1.3.2 水分与浸出物含量测定

水分与浸出物含量参照 2015 版《中国药典》^[41]

进行测定。

1.3.3 总黄酮含量测定

标准曲线的制作: 具体参考廖丽^[42]方法进行, 在 510 nm 处测定吸光度, 以对照品含量的浓度作为横坐标, 一定浓度下对应的吸光度为纵坐标, 做标准曲线。

总黄酮提取: 具体参考廖丽^[42]方法进行, 根据已制作出的标准曲线计算总黄酮的含量^[8]。

1.3.4 多糖含量测定

标准曲线的制备: 准确量取对照品溶液 0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mL, 置于 10 mL 具塞试管中, 加 2 mL 水, 摇匀, 加入 0.6% 苯酚溶液 1 mL, 摇匀, 迅速加入浓硫酸 5 mL, 摇匀, 沸水浴加热 30 min, 冷却至室温, 用分光光度计在 453.5 nm 的波长下测量吸光度。

供试品溶液的制备 取干燥至恒重的供试品粉末 1.2 g 置于磨口锥形瓶中, 加 200 mL 水, 在 85~90 °C 下冷凝回流提取 1.0 h, 取出冷却至室温, 抽滤, 取滤液 25 mL 水浴蒸干, 蒸干后残渣加水置于 10 mL 容量瓶中并定容, 抽滤, 取续滤液 2.5 mL 于 10 mL 离心管中, 加入 7.5 mL 无水乙醇, 摇匀, 放置 30 min, 离心 (4 000 r·min⁻¹) 10~20 min, 倾去上清液, 沉淀物加 2.5 mL 水溶解, 加入 7.5 mL 无水乙醇, 放置 30 min, 再离心 (4 000 r·min⁻¹) 10~20 min, 沉淀物加水溶解并移至 25 mL 容量瓶中, 加水稀释至刻度, 摇匀, 过滤, 取续滤液 5 mL 至 25 mL 容量瓶中, 并定容至刻度, 摇匀即得。

1.3.5 代谢物测定

(1) 样品提取流程

新鲜木豆叶真空冷冻干燥, 利用研磨仪研磨至粉末状后, 称取 100 mg 的粉末溶解于提取液中, 溶解后的样品于 4 °C 冰箱中过夜, 期间涡旋 6 次, 提高提取率, 离心后, 吸取上清液, 用微孔滤膜过滤样品, 并保存于进样瓶中, 用于 UPLC-MS/MS 分析。

(2) 数据采集

1) 液相条件主要包括: 色谱柱: Waters ACQUITY UPLC HSS T3 C18 1.8 μm, 2.1 mm × 100 mm; 流动相: A 相为超纯水 (加入 0.04% 的乙酸), B 相为乙腈 (加入 0.04% 的乙酸); 洗脱梯度: 0.00 min B 相比比例为 5%, 10.00 min 内 B 相比比例线性增加到 95%, 并维持在 95% 1 min, 11.00~11.10 min B 相比比例降

为5%，并以5%平衡至14 min；流速0.35 mL·min⁻¹，柱温40℃，进样量4 μL。

2) 质谱条件主要包括：电喷雾离子源温度550℃，质谱电压5 500 V，帘气30 psi，碰撞诱导电离参数设置为高。在三重四级杆(QQQ)中，每个离子对是根据优化的去簇电压和碰撞能进行扫描检测^[43]。

1.4 数据处理

本研究数据采用IBM SPSS Statistics 19.0统计软件对木豆形态性状数据和活性成分进行方差分析；采用相关性分析探讨木豆主要形态性状与内在活性成分之间的相关性；采用欧式距离对不同品种木豆的形态性状与活性成分进行聚类分析^[44]。

2 结果与分析

2.1 木豆植株形态性状特征分析

除旗瓣大小在不同种质间具有显著差异($P < 0.05$)外，其他形态指标在不同种质间差异极显著($P < 0.01$)，变异系数范围为8.75% (百粒重, T_{11})~37.96% (主茎分枝, T_2)，平均为18.38% (表2)。株高(T_1)、主茎分枝(T_2)、叶长(T_3)、叶宽(T_4)、叶型指数(T_5)、花序轴长度(T_6)、旗瓣大小(T_7)、荚果长(T_8)、荚果宽(T_9)、单荚粒数(T_{10})和百粒重(T_{11})的差异分别为86.29 (3-QZ)~162.24 cm (2-YJ)、8.25 (8-BS)~25.50 枝 (2-YJ)、4.41 (2-YJ)~7.40 mm (7-QJ)、1.66 (6-DZ)~2.90 mm (7-QJ)、2.25 (1-DH₁)~3.35 (4-HK)、16.40 (8-BS)~33.98 cm (4-HK)、16.50 (8-BS)~25.86 mm (3-QZ)、46.52 (8-BS)~80.63 mm (6-DZ)、6.10 (1-DH₁)~11.68 mm (6-DZ)、2.50 (1-DH₁)~5.03 个 (2-YJ) 和 4.15 (2-YJ)~14.07 g (6-DZ)。对于株型可分为紧凑型(1-DH₁和10-DH₂)、半紧凑型(2-YJ、6-DZ、7-QJ、8-BS、9-CM和3-QZ)、松散型(4-HK)和披散型(5-DH₃)；小叶叶形除6-DZ和4-HK为窄菱形外，其他种质均为阔菱形(表3)。因此可看出，不同种质植株形状、花部特征和籽粒特征之间差异明显。

2.2 木豆活性成分差异性分析

不同品系间4个指标均存在显著($P < 0.05$)或极显著差异($P < 0.01$)，指标间的变异范围为9.42% (多糖含量)~19.01% (水分)，均值为13.90% (表4)。

水分、总黄酮、浸出物和多糖含量的变异范围分别为0.61% (6-DZ)~1.06% (8-BS)、2.32 (8-BS)~3.67 mg·mL⁻¹ (3-QZ)、15.33% (7-QJ)~23.33% (5-DH₃)和2.24 (10-DH₂和5-DH₃)~2.89 μg·mL⁻¹ (1-DH₁)。

2.3 木豆质量性质相关性分析

水分含量与叶长(T_3)、浸出物与荚果长(T_8)、叶型指数(T_5)与花序轴长度(T_6)、 T_6 与旗瓣大小(T_7)和荚果宽(T_9)以及 T_8 与 T_9 和百粒重(T_{11})之间均呈显著相关关系($P < 0.05$)；总黄酮含量与旗瓣大小(T_7)、 T_3 与叶宽(T_4)、 T_5 与 T_9 、 T_9 与 T_{11} 均呈极显著相关关系($P < 0.01$)，其他指标间无显著相关性($P > 0.05$) (表5)。

2.4 聚类分析

采用类间平均法，将10份木豆种质进行聚类，形成聚类树状图。由图1可知，在欧氏距离10时，木豆种质可划分为3类：第一类(A)包括2份种质资源，均为来自海南省的种质资源，整体表现为内在活性含量高、植株矮小、荚果较短，属于少分枝矮小型；第二类(B)包括3份种质资源，主要是来自广东、海南海口和江西省的居群，整体表现为内在活性成分含量适中，特征为植株高大、分枝多、荚果长、叶片窄短，属于高大长荚型；第三类(C)包括5份种质资源，来自于海南乐东和云南省，内在活性成分含量适中，表现为株高、分枝、荚果和叶片适中。

2.5 木豆叶片代谢物差异分析

根据前期形态性状和活性成分分析结果，本研究选取4个样品(3-QZ、4-HK、5-DH₃和6-DZ)(图2)进行广泛靶向代谢组技术的代谢分析。结果表明，共检测到453个代谢物，其中脂类、有机酸、萜类、生物碱、鞣质、氨基酸及其衍生物、酚酸类、核苷酸及其衍生物、黄酮、醌类、木脂素和香豆素及其他类分别为54、21、9、23、5、45、60、27、153、1、8和47个化学物质，其中黄酮类化学物质最多，黄酮类主要包括查尔酮(2)、二氢黄酮(9)、二氢黄酮醇(5)、二氢异黄酮(1)、花青素(6)、黄酮(53)、黄酮醇(31)、黄酮碳糖苷(20)、黄烷醇类(9)和异黄酮(17)，不同黄酮类物质间差异显著($P < 0.05$) (表6)。在其他类化学物质中，芪类、维生素、糖醇类和其他分别为4、8、26和9个，芪类为木豆中主要的药用成分，本研究

表 2 10 份木豆种质资源形态性状(数量性状)差异比较
Table 2 Comparison of quantitative morphological differences among 10 *Cajanus cajan* accessions

编号 Code	株高 Plant height (T ₁)/cm	主茎分枝/枝 Main stem branches (T ₂)/branches	叶长 Leaf length (T ₃)/mm	叶宽 Leaf width (T ₄)/mm	叶型指数 Leaf shape index (T ₅)	花序轴长度 Inflorescence axis length (T ₆)/cm	旗瓣大小 Banner petal size (T ₇)/mm	荚果长 Pod length (T ₈)/mm	荚果宽 Pod width (T ₉)/mm	单荚粒数/个 Number of single pods (T ₁₀)/Pc	百粒重 Hundred-seed weight (T ₁₁)/g
1-DH ₁	146.10 ± 0.00	10.00 ± 0.58	5.90 ± 0.11	2.62 ± 0.05	2.25 ± 0.04	16.72 ± 1.10	17.17 ± 0.20	53.52 ± 1.27	6.10 ± 0.00	2.50 ± 0.08	4.46 ± 0.22
2-YJ	162.24 ± 27.91	25.50 ± 2.50	4.41 ± 0.16	1.74 ± 0.06	2.53 ± 0.05	21.69 ± 2.40	17.25 ± 0.23	59.47 ± 1.25	7.71 ± 0.13	5.03 ± 0.13	4.15 ± 0.06
6-DZ	154.66 ± 5.41	13.43 ± 1.65	5.13 ± 0.19	1.66 ± 0.06	3.09 ± 0.10	28.99 ± 2.09	20.10 ± 0.23	80.63 ± 1.39	11.68 ± 0.16	4.13 ± 0.16	14.07 ± 0.43
7-QJ	125.54 ± 13.61	15.86 ± 3.12	7.40 ± 0.21	2.90 ± 0.08	2.56 ± 0.04	17.06 ± 1.04	17.19 ± 0.53	62.48 ± 0.74	8.51 ± 0.12	4.97 ± 0.12	6.47 ± 0.08
8-BS	108.25 ± 21.77	8.25 ± 0.75	6.52 ± 0.16	2.27 ± 0.06	2.87 ± 0.07	16.40 ± 9.20	16.50 ± 0.25	46.52 ± 1.03	8.70 ± 0.11	4.40 ± 0.11	7.58 ± 0.30
9-CM	149.28 ± 16.94	10.00 ± 1.00	5.54 ± 0.13	2.02 ± 0.07	2.74 ± 0.06	29.25 ± 2.41	18.17 ± 0.15	51.36 ± 1.05	9.24 ± 0.13	4.50 ± 0.13	6.64 ± 0.10
3-QZ	86.29 ± 7.46	12.00 ± 1.00	6.78 ± 0.25	2.51 ± 0.09	2.70 ± 0.06	32.65 ± 1.97	25.86 ± 7.10	58.47 ± 105	9.56 ± 0.20	4.53 ± 0.20	8.26 ± 0.13
4-HK	174.83 ± 7.18	16.40 ± 2.14	6.33 ± 0.22	1.89 ± 0.09	3.35 ± 0.08	33.98 ± 1.53	18.34 ± 0.27	63.09 ± 1.18	10.11 ± 0.16	4.97 ± 0.16	8.37 ± 0.13
10-DH ₂	125.07 ± 15.21	15.50 ± 3.14	5.12 ± 0.19	2.04 ± 0.09	2.51 ± 0.10	21.45 ± 1.85	17.88 ± 0.24	59.46 ± 1.47	8.38 ± 0.13	4.20 ± 0.13	11.06 ± 0.20
5-DH ₃	141.00 ± 7.19	8.75 ± 1.31	6.24 ± 0.17	2.23 ± 0.07	2.80 ± 0.06	22.52 ± 1.18	18.24 ± 0.36	56.92 ± 2.08	8.39 ± 0.12	4.93 ± 0.12	7.06 ± 0.15
均值 Mean	137.33	13.57	5.94	2.19	2.74	24.07	18.67	59.19	8.84	4.42	7.81
标准差 Standard deviation, SD	26.46	5.15	0.90	0.40	0.31	6.66	2.71	9.10	1.48	0.75	2.96
变异系数 Coefficient of variation, CV/%	19.27	37.96	15.15	18.14	11.48	27.69	14.51	15.37	16.73	17.00	8.75
F	5.39**	3.42**	23.78**	29.86**	22.52**	12.47**	0.94*	49.00**	64.15**	70.27**	192.54**

编号同表1; *表示在0.05水平上差异显著, **表示在0.01水平上差异极显著; 表4、表5、表6和表7同。
Codes are same as Table 1. * indicate significant differences at the 0.05 level, and ** indicate extremely significant differences at the 0.01 level; this is applicable for Tables 4, 5, 6, and 7 as well.

表 3 10 份木豆种质资源形态性状(质量性状)差异比较
Table 3 Comparison of qualitative morphological differences among 10 *Cajanus cajan* accessions

编号 Code	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
1-DH ₁	紧凑 Compact	阔菱形 Wide rhombus	红 Red	橘黄 Orange	无 Colorless	绿底紫斑 Purple spot on green background	黑 Black	黑 Black	无 Colorless	奶黄 Creamy yellow
2-YJ	半紧凑 Semi-compact	阔菱形 Wide rhombus	红条纹 Red stripe	黄 Yellow	红 Red	绿 Green	橘黄 Orange	浅褐 Light brown	无 Colorless	黑 Black
6-DZ	半紧凑 Semi-compact	窄菱形 Narrow rhombus	红条纹 Red stripe	黄 Yellow	红 Red	绿底紫斑 Purple spot on green background	条纹 Striped	浅灰 Light gray	斑点加斑块 Speckled and blotched	浅褐 Light brown
7-QJ	半紧凑 Semi-compact	阔菱形 Wide rhombus	黄 Yellow	橘黄 Orange	红 Red	绿底紫斑 Purple spot on green background	白 White	奶黄 Creamy yellow	斑块 Blotched	奶黄 Creamy yellow
8-BS	半紧凑 Semi-compact	阔菱形 Wide rhombus	黄 Yellow	橘黄 Orange	红 Red	绿底紫斑 Purple spot on green background	白 White	奶黄 Creamy yellow	斑块 Blotched	奶黄 Creamy yellow
9-CM	半紧凑 Semi-compact	阔菱形 Wide rhombus	红条纹 Red stripe	橘黄 Orange	红 Red	绿 Green	浅褐 Light brown	奶黄 Creamy yellow	无 Colorless	奶黄 Creamy yellow
3-QZ	半紧凑 Semi-compact	阔菱形 Wide rhombus	红条纹 Red stripe	橘黄 Orange	红 Red	绿底紫斑 Purple spot on green background	黑 Black	黑 Black	无 Colorless	奶黄 Creamy yellow
4-HK	松散 Loose	窄菱形 Narrow rhombus	黄 Yellow	橘黄 Orange	红 Red	绿底紫斑 Purple spot on green background	紫 Purple	奶黄 Creamy yellow	斑点 Speckled	奶黄 Creamy yellow
10-DH ₂	紧凑 Compact	阔菱形 Wide rhombus	红 Red	橘黄 Orange	红 Red	绿底紫斑 Purple spot on green background	橘黄 Orange	浅褐 Light brown	斑点 Speckled	橘黄 Orange
5-DH ₃	披散 Scattered	阔菱形 Wide rhombus	黄 Yellow	橘黄 Orange	红 Red	绿底紫斑 Purple spot on green background	白 White	深紫 Deep purple	无 Colorless	白 White

Y₁: 株型; Y₂: 小叶叶形; Y₃: 花色; Y₄: 旗瓣底色; Y₅: 旗瓣点缀色; Y₆: 鲜荚色; Y₇: 粒色; Y₈: 干籽粒底色; Y₉: 干籽粒色斑; Y₁₀: 干籽粒脐环色。

Y₁: plant habit; Y₂: leaflet shape; Y₃: floral color; Y₄: banner petal background color; Y₅: banner petal highlight color; Y₆: fresh pod color; Y₇: seed color; Y₈: dried seed background color; Y₉: dried seed markings; Y₁₀: dried seed hilum color.

表 4 10 个木豆品系活性成分差异性比较
Table 4 Concentration of active components in 10 *Cajanus cajan* strains

编号 Code	水分 Water content/%	总黄酮 Total flavonoids/(mg·mL ⁻¹)	浸出物 Active components in extracts/%	多糖含量 Polysaccharide content/(μg·mL ⁻¹)
1-DH ₁	0.66 ± 0.01d	3.01 ± 0.08c	22.00 ± 1.15ab	2.89 ± 0.10a
2-YJ	0.63 ± 0.02de	2.99 ± 0.11c	18.00 ± 1.15cd	2.54 ± 0.14ab
6-DZ	0.61 ± 0.01e	3.33 ± 0.13b	16.67 ± 1.76d	2.52 ± 0.19ab
7-QJ	0.96 ± 0.02bc	2.60 ± 0.03d	15.33 ± 0.67d	2.87 ± 0.09a
8-BS	1.06 ± 0.01a	2.32 ± 0.01e	22.67 ± 1.33ab	2.78 ± 0.11a
9-CM	0.96 ± 0.02bc	3.05 ± 0.02c	22.00 ± 0.00ab	2.61 ± 0.12ab
3-QZ	1.00 ± 0.01b	3.67 ± 0.05a	20.00 ± 1.15bc	2.41 ± 0.09ab
4-HK	0.95 ± 0.01c	2.62 ± 0.03d	20.00 ± 1.15bc	2.80 ± 0.41a
10-DH ₂	0.91 ± 0.01c	2.92 ± 0.07c	21.33 ± 0.67ab	2.24 ± 0.10b
5-DH ₃	0.92 ± 0.01c	2.55 ± 0.04d	23.33 ± 0.67a	2.24 ± 0.19b
均值 Mean	0.866 7	2.905 7	20.133 3	2.590 4
标准差 Standard deviation	0.164 72	0.402 75	2.681 44	0.244 01
变异系数 Coefficient of variation/%	19.01	13.86	13.32	9.42
F	139.46**	35.15**	6.22**	1.84*

同列不同小写字母表示处理间差异显著(P < 0.05)。

Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between treatments at the 0.05 level.

表 5 木豆形态性状与内在活性成分相关性比较
Table 5 Correlations between morphological characters of *Cajanus cajan* and intrinsic active ingredients

项目 Item	水分 Water content	总黄酮 Total flavonoids	浸出物 Active components in extracts	多糖含量 Polysaccharide content	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁
					水分 Water content	1.000									
总黄酮 Total flavonoids	-0.367	1.000													
浸出物 Extracts	0.349	-0.246	1.000												
多糖含量 Polysaccharide content	-0.024	-0.312	-0.249	1.000											
T ₁	-0.549	-0.195	-0.145	0.202	1.000										
T ₂	-0.433	0.118	-0.612	-0.016	0.402	1.000									
T ₃	0.685*	-0.280	-0.022	0.377	-0.510	-0.470	1.000								
T ₄	0.392	-0.129	0.004	0.360	-0.581	-0.371	0.788**	1.000							
T ₅	0.234	-0.155	-0.081	0.015	0.302	-0.062	0.111	-0.517	1.000						
T ₆	0.092	0.529	-0.077	-0.252	0.182	0.066	-0.076	-0.463	0.651*	1.000					
T ₇	0.134	0.789**	-0.111	-0.374	-0.497	-0.108	0.196	0.064	0.155	0.659*	1.000				
T ₈	-0.521	0.394	-0.707*	-0.159	0.340	0.349	-0.231	-0.395	0.393	0.395	0.269	1.000			
T ₉	0.110	0.263	-0.360	-0.188	0.071	-0.026	0.012	-0.491	0.822**	0.709*	0.435	0.653*	1.000		
T ₁₀	0.413	-0.247	-0.283	-0.267	0.044	0.395	0.127	-0.246	0.481	0.314	0.075	0.117	0.426	1.000	
T ₁₁	-0.027	0.270	-0.212	-0.393	-0.068	-0.142	-0.135	-0.420	0.520	0.403	0.321	0.679*	0.787**	0.042	1.000

T₁: 株高; T₂: 主茎分枝; T₃: 叶长; T₄: 叶宽; T₅: 叶型指数; T₆: 花序轴长度; T₇: 旗瓣大小; T₈: 荚果长; T₉: 荚果宽; T₁₀: 单荚粒数; T₁₁: 百粒重。

T₁: Plant height; T₂: Main stem branches; T₃: Leaf length; T₄: Leaf width; T₅: Leaf shape index; T₆: Inflorescence axis length; T₇: Banner petal size; T₈: Pod length; T₉: Pod width; T₁₀: Number of single pods; T₁₁: Hundred-seed weight.

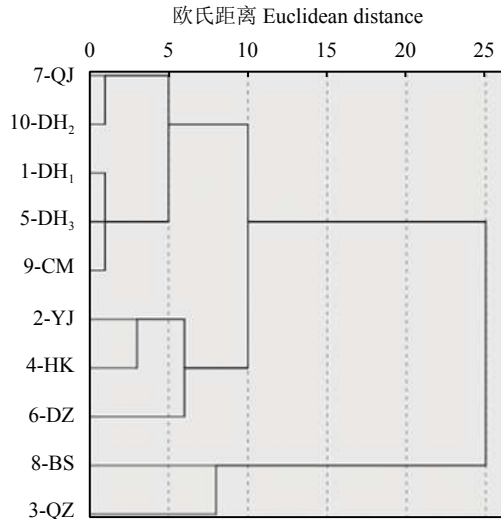


图 1 木豆形态性状与活性成分聚类分析

Figure 1 Cluster analysis of morphological characters and active components of *Cajanus cajan*

共检测到木豆素 A、木豆素 C、白藜芦醇和 2,3,5,4'-四羟基-二苯乙烯-2-O-D-葡萄糖吡喃糖苷 4 个化合物, 4 个代谢物呈显著差异 ($P < 0.05$) (表 7)。

3 讨论与结论

木豆是世界上热带和亚热带地区主要的食用豆类作物之一, 国内外在木豆资源收集、评价等方面开展了大量的研究^[27-28, 45]。国内在野生资源分布、开发利用等方面研究成果显著^[33, 46], 对木豆种质创新、育种等方面都具有重要意义和应用前景。Samal 等^[29]对 23 个木豆突变系 M4 代的研究表明, 3 个性状指标(百粒重、单株荚数和单株产量)对遗传多样性的贡献率达到 76%。Thombre 等^[28]利用 10 个农艺指标对 64 个木豆品种进行多样性分析结果表明, 遗传变异在组群内小于组群间, 遗传差异与地理来源的相关度低。利用随机扩增多态性 DNA 标记 (random amplified polymorphic DNA, RAPD)、限制性内切酶片段长度多态性 (restriction fragment length polymorphism, RFLP)、碱性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP)、简单重复序列标记 (simple sequence repeat, SSR) 等标记方法对木豆种质资源多样性研究表明, 不同种质之间存在丰富的遗传多样性^[30, 34]。闫龙^[27]研究显示, 木豆开花习性、初花天数、全生育日数、株高和主茎分枝数之间存在极显著正相关关系。本研究通过对前期筛选的 10 份木豆种质各生育期 (营养生长、花期和成熟

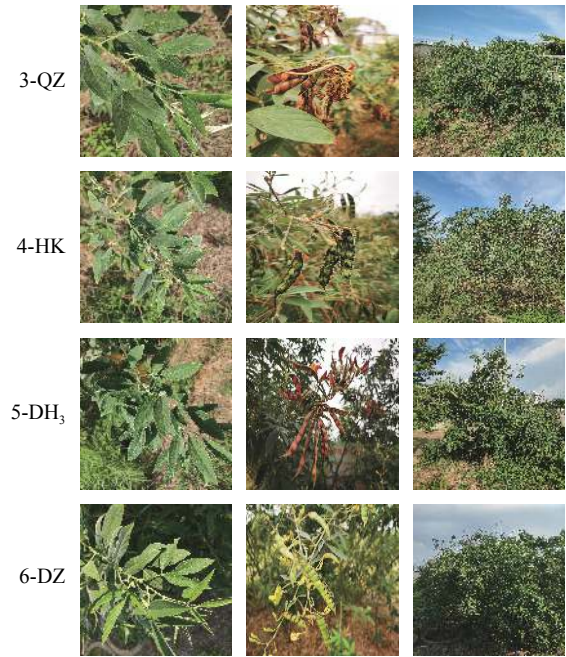


图 2 4 份木豆样品 (3-QZ、4-HK、5-DH3 和 6-DZ) 形态图
Figure 2 Morphological characteristics of 4 *Cajanus cajan* samples (3-QZ, 4-HK, 5-DH3, and 6-DZ)

期) 的形态指标进行观测, 发现木豆种质资源间存在丰富遗传变异, 这与前人研究结果一致^[27-29]。

中药材质量主要决定于其中的活性成分组成和含量, 而不同产地或生境的种质受环境的长期影响, 药效成分或含量存在一定的差异^[46]。目前, 关于木豆的活性成分分析主要集中在单个种质内的化学成分或药效功能等方面的研究, 而对不同种质资源间差异研究甚少。本研究通过对 10 份木豆种质进行差异分析发现, 不同种质间的差异显著, 同一地区不同种质间也存在显著差异, 这与前人对夏枯草 (*Prunella vulgaris*)^[42]、木豆^[47-48]不同种质间多糖、黄酮、氨基酸等成分的研究结果类似。

从外观形态上, 3-QZ (海南琼中) 和 6-DZ (江西都昌) 种质资源株系表现良好。木豆作为一种药用植物, 内在活性物质的含量是评价药材质量的标准, 3-QZ 和 4-HK (海南海口) 种质高大抗病, 水分、总黄酮和多糖含量显著优于其他种质, 而 5-DH₃ (云南德宏) 水分、总黄酮和多糖含量显著低于其他种质, 但浸出物显著高于 3-QZ、4-HK 和 6-DZ (江西都昌) 3 份种质, 其中 3-QZ 含量最低。因此, 本研究将进一步对 3-QZ (海南琼中)、4-HK (海南海口)、5-DH₃ (云南德宏) 和 6-DZ (江西都昌) 4 份材料进行代谢差异分析, 不同种质间的化合物含量均存在显著

表 6 4 份木豆种质黄酮类化合物分析
Table 6 Analysis of flavonoid compounds in four *Cajanus cajan* accessions

化合物 Compound	3-QZ	4-HK	5-DH ₃	6-DZ	F
柚皮甙 Naringin	280 000	205 000	261 000	280 000	*
圣草次苷 Eriodictyol	1 230 000	1 490 000	1 770 000	769 000	*
松属素(二氢黄芩苷) Pinoembrin (dihydrochrysin)	9 290 000	9 180 000	14 200 000	6 080 000	*
乔松酮 Pinostrobin	5 280 000	4 820 000	5 040 000	4 660 000	*
柚皮素-7-O-葡萄糖苷 Naringenin-7-O-glucoside	6 310 000	5 710 000	6 040 000	5 840 000	*
雌三醇 C-己糖苷 Eriodictyol C-hexoside	563 000	403 000	861 000	627 000	*
柚皮素 Naringenin	1 090 000	317 000	729 000	1 230 000	*
芸香甙 Butin	1 240 000	393 000	868 000	1 410 000	*
去甲酸酐 Noranhydrocaritin	1 780 000	179 000	328 000	4 320 000	*
黄杉素 Taxifolin	547 000	104 000	323 000	187 000	*
二氢山柰酚 Dihydrokaempferol	110 000	31 700	73 800	59 900	*
黄杞苷 Engeletin	124 000	55 800	77 700	70 600	*
橙皮素 O-己糖基-O-己糖苷 Hesperetin O-hexosyl-O-hexoside	68 500	52 300	49 700	82 100	*
橙皮素 5-O-葡萄糖苷 Hesperetin 5-O-glucoside	857 000	502 000	698 000	879 000	*
球松素查尔酮 Pinostrobin chalcone	7 760 000	2 760 000	4 700 000	12 200 000	*
柚配基查尔酮(4',2',4',6'-四羟基查尔酮) Naringenin chalcone (4',2',4',6'-Tetrahydroxychalcone)	1 600 000	1 790 000	2 210 000	1 340 000	*
黄烷酮 Licoisoflavanone	1 800 000	193 000	339 000	4 140 000	*
花青素 3-芸香苷(花青素鼠李葡萄糖苷) Cyanidin 3-rutinoside (keracyanin chloride)	266 000	201 000	233 000	346 000	*
氯化花青苷 Cyanin chloride	2 340 000	1 370 000	1 940 000	4 990 000	*
氯化花翠素 Delphinidin chloride	63 700	68 600	50 800	95 800	*
芍药色素 Peonidin	18 100	19 400	17 500	21 900	*
锦葵花素双葡萄糖苷(锦葵色素苷) Malvidin 3,5-diglucoside (malvin)	14 100	12 200	11 400	10 100	*
棕矢车菊素 Jaceosidin	1 480 000	154 000	131 000	3 410 000	*
槲皮素 3-O-甲醚 Quercetin 3-O-methyl ether	321 000	178 000	164 000	740 000	*
白杨素 Chrysin	16 100	6 080	4 100	18 100	*
黄芩素 Baicalein	13 000	10 400	12 500	22 000	*
刺槐素 Acacetin	797 000	656 000	639 000	1 670 000	*
香叶木素 Diosmetin	6 470 000	10 300 000	11 400 000	11 200 000	*
芹菜素 4-O-鼠李糖苷 Apigenin 4-O-rhamnoside	84 500	192 000	215 000	39 900	*
芹菜素 5-O-葡萄糖苷 Apigenin 5-O-glucoside	6 010 000	12 500 000	12 600 000	4 800 000	*
三粒小麦黄酮 Tricetin	219 000	102 000	181 000	174 000	*
芹菜素 6,8-C-二葡萄糖苷 Apigenin 6,8-C-diglucoside	1 120 000	1 030 000	1 080 000	1 210 000	*
木犀草素 O-阿魏酰己糖苷 Luteolin O-feruloylhexoside	18 700	13 400	10 700	32 000	*
木犀草素 O-己糖基-O-戊糖苷 Luteolin O-hexosyl-O-pentoside	41 300	95 200	96 900	50 900	*
芹菜素 O-己糖基-O-戊糖苷 Apigenin O-hexosyl-O-pentoside	31 600	15 600	13 100	21 900	*
木犀草素 O-芥子基己糖苷 Luteolin O-sinapoylhexoside	14 100	1 910	2 660	19 100	*

续表 6

Table 6 (Continued)

化合物 Compound	3-QZ	4-HK	5-DH ₃	6-DZ	F
木犀草素3',7-二-O-葡萄糖苷 Luteolin 3',7-di-O-glucoside	171 000	212 000	176 000	160 000	*
芹菜素6-C-己糖基-8-C-己糖基-O-己糖苷 Apigenin 6-C-hexosyl-8-C-hexosyl-O-hexoside	112 000	159 000	152 000	106 000	*
二-C, C-己糖芹菜素 Di-C,C-hexosyl-apigenin	927 000	1 780 000	1 780 000	1 040 000	*
芹菜素二-C, C-戊糖苷 Apigenin di-C,C-pentoside	64 100	71 700	73 400	56 500	*
木犀草素8-C-己糖基-O-己糖苷 Luteolin 8-C-hexosyl-O-hexoside	62 200	62 100	63 300	78 400	*
芹菜素8-C-戊糖苷 Apigenin 8-C-pentoside	491 000	703 000	844 000	371 000	*
麦黄酮 O-丙二酸己糖苷 Tricin O-malonylhexoside	34 900	75 500	61 500	118 000	*
麦黄酮7-邻己糖苷 Tricin 7-O-hexoside	240 000	168 000	145 000	371 000	*
木犀草素6-己糖基8-己糖基-O-己糖苷 Luteolin 6-C-hexoside 8-C-hexosyl-O-hexoside	30 400	42 700	32 500	19 100	*
麦黄酮4'-O-丁香酸 Tricin 4'-O-syringic acid	61 800	42 500	60 300	118 000	*
芹菜素7-O-葡萄糖苷(波斯菊甙) Apigenin 7-O-glucoside (cosmosiin)	4 430 000	2 100 000	2 170 000	2 520 000	*
金圣草黄素7-O-己糖苷 Chrysoeriol 7-O-hexoside	334 000	759 000	449 000	556 000	*
木犀草素 C-己糖苷 Luteolin C-hexoside	3 240 000	5 240 000	5 340 000	2 440 000	*
槲皮素 O-乙酰己糖苷 Quercetin O-acetylhexoside	5 700	8 960	8 680	7 730	*
麦黄酮邻甘油 Tricin O-glycerol	7 330	8 570	16 800	6 280	*
麦黄酮邻糖酸 Tricin O-saccharic acid	153 000	206 000	286 000	193 000	*
木犀草素 Luteolin	7 940 000	8 190 000	10 300 000	5 940 000	*
芹菜素7-芸香苷(异野漆树苷) Apigenin 7-rutinoside (isorhoifolin)	7 010	1 140 000	962 000	23 100 000	*
木犀草素7-O-葡萄糖苷(木犀草苷) Luteolin 7-O-glucoside (cynaroside)	43 500 000	35 200 000	31 400 000	35 400 000	*
氯化芹菜定 Apigeninidin chloride	2 040 000	656 000	1 020 000	1 330 000	*
芹菜素-3-O- α -L-鼠李糖苷 Apigenin-3-O- α -L-rhamnoside	405 000	299 000	335 000	485 000	*
木犀草素-7-O- β -D-葡萄糖苷酸 Luteolin-7-O- β -D-glucuronide	1 720 000	9 290 000	9 670 000	1 010 000	*
木犀草素-7-O- β -D-芸香苷 Luteolin-7-O- β -D-rutinoside	11 000 000	10 700 000	10 200 000	11 700 000	*
高车前素 Hispidulin	3 910 000	5 990 000	6 930 000	6 310 000	*
泽兰黄酮 Nepetin	70 400	127 000	161 000	110 000	*
异泽兰黄素 Eupatilin	21 300	1 140	796	40 200	*
木犀草素-6,8-二-C-葡萄糖苷 Luteolin-6,8-di-C-glucoside	1810 000	1900 000	1 690 000	1 590 000	*
木犀草素7-O- β -D-葡萄糖基-6-C- α -L-阿拉伯糖 Luteolin 7-O- β -D-glucosyl-6-C- α -L-arabinose	2 480 000	2 550 000	2 240 000	2 520 000	*
木犀草素-6-C-5-葡萄糖醛酸甲酰亚胺 Luteolin-6-C-5-glucuronylxyloside	6 380 000	8 920 000	9 120 000	7 640 000	*
木犀草素-6-C-2-葡萄糖醛酸葡糖苷 Luteolin-6-C-2-glucuronylglucoside	116 000	90 700	92 400	224 000	*
芹菜素 Apigenin	578 000	556 000	794 000	345 000	*
香叶木素-7-O-半乳糖苷 Diosmetin-7-O-galactoside	19 800 000	27 200 000	22 100 000	35 400 000	*
芹菜素-7-O-(6'-O-乙酰基)- β -D-葡萄糖苷 Apigenin-7-O-(6'-O-acetyl)- β -D-glucoside	99 200	53 600	50 600	91 000	*

续表 6

Table 6 (Continued)

化合物 Compound	3-QZ	4-HK	5-DH ₃	6-DZ	F
芹菜素-7-O-(6-O-丙二酰葡萄糖苷) Apigenin-7-O-(6-O-malonyl glucoside)	191 000	176 000	145 000	215 000	*
木犀草素-7-O-(6'-O-丙二酰)-β-D-葡萄糖苷 Luteolin-7-O-(6'-O-malonyl)-β-D-glucoside	314 000	704 000	528 000	448 000	*
芹菜素-葡萄糖苷-葡萄糖苷 Apigenin-glucoside-glucoside	9 000	5 390	10 400	11 900	*
木犀草素-7-O-芸香糖苷 Luteolin-7-O-rutinoside	2 450	101 000	72 500	7780 000	*
木犀草素-7,3'-二-O-β-D-葡萄糖苷 Luteolin-7,3'-Di-O-β-D-glucoside	62 000	101 000	81 000	68 000	*
黄芩素 Wogonin	803 000	656 000	641 000	1 670 000	*
芹菜素-7,4'-二甲醚 Apigenin-7,4'-dimethylether	63 800	16 600	27 700	65 600	*
槲皮素-O-芸香苷-己糖 Quercetin-O-rutinoside-hexose	16 200	20 900	16 000	16 300	*
异鼠李素-3-O-芸香苷 Isorhamnetin-3-O-rutinoside	608 000	623 000	607 000	934 000	*
山奈酚-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷 Kaempferol-3-O-glucoside-7-O-rhamnoside	25 100	104 000	85 000	7330 000	*
槲皮素-3-O-鼠李糖基半乳糖苷 Quercetin 3-O-rhanosylgalactoside	3 430	11 500	10 100	482 000	*
槲皮素 Quercitrin	31 100	4 300	7 420	39 500	*
芦丁 Rutin	2 580 000	2 330 000	2 340 000	3 130 000	*
金丝桃甙 Hyperin	2 250 000	1 080 000	936 000	2 310 000	*
异鼠李素 Isorhamnetin	193 000	49 900	49 800	393 000	*
山奈酚-7-O-葡萄糖苷 Kaempferol 7-O-glucoside	2 260 000	1 290 000	1 520 000	1 990 000	*
异槲皮素 Isoquercitrin	305 000	221 000	260 000	468 000	*
绣线菊苷 Spiraeoside	767 000	471 000	565 000	654 000	*
三叶草素 Trifolin	36 000 000	31 200 000	28 100 000	22 100 000	*
3,7-二氧甲基槲皮素 3,7-Di-O-methylquercetin	551 000	71 100	64 700	1 210 000	*
鼠李素(7-邻甲基槲皮素) Rhamnetin (7-O-methxyl quercetin)	192 000	37 400	77 800	174 000	*
棉籽苷 Gossypitrin	1 010 000	716 000	889 000	1 050 000	*
黄芪甲素 Astragalin	2 610 000	1 950 000	2 380 000	2 580 000	*
柽柳黄素 Tamarixetin	426 000	78 700	107 000	739 000	*
槲皮素-3-O-α-L-阿拉伯吡喃糖苷(愈创木苷) Quercetin-3-O-α-L-arabinopyranoside (guaijaverin)	68 700	11 000	15 800	89 100	*
山奈酚-3-O-芸香苷(烟酰胺) Kaempferol 3-O-rutinoside (nicotiflorin)	5 490	482 000	390 000	28 800 000	*
山奈酚-3-O-刺槐二糖苷(鼠李糖甙) Kaempferol 3-O-robinobioside (biorobin)	5 920	444 000	435 000	28 700 000	*
槲皮黄酮 Quercetin	249 000	387 000	297 000	263 000	*
3-羟基黄酮 3-Hydroxyflavone	56 800	38 200	41 200	56 500	*
生物槲皮素 Bioquercetin	2 610 000	2 660 000	3 210 000	4 250 000	*
山奈酚-3,7-O-α-L-鼠李糖苷 Kaempferol-3,7-O-α-L-rhamnoside	31 800	10 500	8 970	21 000	*
山奈酚-3-O-β-(2"-O-乙酰基-β-D-葡萄糖醛酸盐) Kaempferol 3-O-β-(2"-O-acetyl-β-D-glucuronide)	873 000	1 450 000	1 500 000	2 810 000	*
3,5,6,7,8,3',4'-七甲氧基黄酮 3,5,6,7,8,3',4'-Heptamethoxyflavone	1 050	5 730	1 990	2 330	*

续表 6

Table 6 (Continued)

化合物 Compound	3-QZ	4-HK	5-DH ₃	6-DZ	F
槲皮素-7-O-(6'-O-丙二酰)-β-D-葡萄糖苷 Quercetin-7-O-(6'-O-malonyl)-β-D-glucoside	3 520	11 300	7 830	7 870	*
槲皮素3,7-双-O-β-D-葡萄糖苷 Quercetin 3,7-bis-O-β-D-glucoside	2 960 000	1 790 000	2 220 000	2 160 000	*
6-羟基羰基丙烯-7-O-葡萄糖苷 6-Hydroxykaempferol-7-O-glucoside	86 000	13 600	14 000	227 000	*
6-羟基卡伯醇-3,6-O-二葡萄糖苷 6-Hydroxykaempferol-3,6-O-diglucoside	7 330	7 560	7 070	9 430	*
6-羟基卡伯醇-7,6-O-二葡萄糖苷 6-Hydroxykaempferol-7,6-O-diglucoside	3 260 000	1 980 000	2 620 000	2 340 000	*
牡荆素 Vitexin	1 610 000	1 460 000	1 580 000	1 050 000	*
荭草素 Orientin	470 000	981 000	905 000	306 000	*
异牡荆素 Isovitexin	1 570 000	1 260 000	1 510 000	1 000 000	*
异荭草素 Homoorientin	23 000 000	32 100 000	33 700 000	16 500 000	*
夏佛塔苷 Schaftoside	3 060 000	2 630 000	2 460 000	3 110 000	*
C-己糖基木犀草素 O-己糖基-O-戊糖苷 C-Hexosyl-luteolin O-hexosyl-O-pentoside	9 870	17 200	14 100	7 610	*
8-C-己基橙皮素 O-己糖苷 8-C-Hexosyl-hesperetin O-hexoside	1 360 000	813 000	942 000	985 000	*
C-己糖基木犀草素 O-己糖苷 C-Hexosyl-luteolin O-hexoside	1 780 000	1 950 000	1 650 000	1 550 000	*
6-C-己糖基木犀草素 O-己糖苷 6-C-Hexosyl-luteolin O-hexoside	438 000	459 000	436 000	391 000	*
C-己糖基木犀草素 C-戊糖苷 C-Hexosyl-luteolin C-pentoside	24 600 000	22 400 000	20 000 000	24 100 000	*
6-C-己糖基木犀草素 O-戊糖苷 6-C-Hexosyl luteolin O-pentoside	16 200 000	15 700 000	13 700 000	17 500 000	*
8-C-己糖基芹菜素 O-己糖基-O-己糖苷 8-C-Hexosyl-apigenin O-hexosyl-O-hexoside	25 600	43 300	34 300	47 600	*
8-C-己糖基木犀草素 O-戊糖苷 8-C-Hexosyl-luteolin O-pentoside	6 460 000	5 990 000	5 230 000	6 570 000	*
C-己糖基芹菜素 O-戊糖苷 C-Hexosyl-apigenin O-pentoside	4 940 000	3 800 000	3 990 000	5 000 000	*
异牡荆素7-O-葡萄糖苷(皂甙) Isovitexin 7-O-glucoside (saponarin)	585 000	499 000	599 000	660 000	*
牡荆素2"-O-β-L-鼠李糖苷 Vitexin 2"-O-β-L-rhamnoside	69 400	83 300	70 200	104 000	*
金雀异黄素8-C-葡萄糖苷 Genistein 8-C-glucoside	736 000	1 390 000	1 510 000	548 000	*
牡荆素-2-O-D-吡喃葡萄糖苷 Vitexin-2-O-D-glucopyranoside	27 900 000	24 900 000	24 600 000	32 500 000	*
芹菜素-6-C-β-D-木糖苷-8-C-β-阿拉伯糖苷 Apigenin-6-C-β-D-xyloside-8-C-β-darabinoside	9 160 000	7 350 000	8 030 000	9 490 000	*
橙皮素 C-丙二酰己糖苷 Hesperetin C-malonylhexoside	7 140 000	5 180 000	5 350 000	7 890 000	*
(-)-表儿茶素 (-)-Epigallocatechin	19 100 000	12 300 000	21 700 000	23 200 000	*
(+)-表没食子儿茶素 (+)-Gallocatechin	66 800 000	47 700 000	65 600 000	87 900 000	*
儿茶素 Catechin	686 000	293 000	500 000	1 350 000	*
原儿茶酸 Protocatechuic acid	4 860 000	4 200 000	2 750 000	6 350 000	*
(-)-儿茶素没食子酸盐 (-)-Catechin gallate	194 000	576 000	514 000	461 000	*
4-甲基儿茶酚 4-Methylcatechol	36 600	34 600	20 800	70 200	*
(-)-表儿茶素没食子酸盐 (-)-Epicatechin gallate	200 000	630 000	584 000	476 000	*
表儿茶素 L-Epicatechin	101 000	255 000	178 000	283 000	*
原儿茶醛 Protocatechuic aldehyde	32 400	37 800	31 100	39 200	*

续表 6

Table 6 (Continued)

化合物 Compound	3-QZ	4-HK	5-DH ₃	6-DZ	F
2'-羟基异黄酮 2'-Hydroxygenistein	1 260 000	1 390 000	1 660 000	960 000	*
二氢异黄酮 Cajanol	8 530 000	693 000	1 860 000	9 810 000	*
香豌豆甙元 Orobol	758 000	844 000	1 040 000	586 000	*
染料木黄酮 Genistein	27 700	29 600	40 100	18 800	*
黄豆黄素 Glycitin	41 500	70 300	33 800	105 000	*
金雀异黄酮-7-葡萄糖苷(金雀异黄素) Genistein 7-glucoside (genistin)	160 000	436 000	468 000	120 000	*
大豆黄素 Glycitein	80 100	108 000	99 500	98 900	*
三羟基异黄酮 Demethyltaxasin	13 100	45 800	57 500	9 350	*
黄豆苷元 Daidzein	53 500	114 000	130 000	36 200	*
大豆苷元-7-O-葡萄糖苷(大豆苷元) Daidzein 7-O-glucoside (daidzin)	893 000	560 000	659 000	1 130 000	*
鹰嘴豆芽素 Abiochanin A	553 000	457 000	463 000	1 170 000	*
印度黄檀苷 Sissotrin	928 000	381 000	357 000	988 000	*
芒柄花素-7-O-葡萄糖苷(刺芒柄花苷) Formononetin 7-O-glucoside (ononin)	173 000	102 000	82 800	111 000	*
丙二酸 Malonyldaidzin	17 200	53 500	52 100	40 200	*
丙二酸甘氨酸 Malonylglycitin	45 400	116 000	89 300	77 300	*
3'-甲氧基大豆苷 3'-Methoxydaidzin	328 000	124 000	188 000	271 000	*
大豆苷元-4'-葡萄糖苷 Daidzein-4'-glucoside	144 000	46 000	78 000	118 000	*

表 7 4 份木豆种质芪类化合物分析

Table 7 Analysis of stilbene compounds in 4 *Cajanus cajan* accessions

编号 Code	木豆素 A Longistylin A	木豆素 C Longistylin C	白藜芦醇 Resveratrol	2,3,5,4'-四羟基-二苯乙烯-2-O-D-葡萄糖吡喃糖苷 2,3,5,4'-Tetrahydroxy-stilbene-2-O-D-glucopyranoside
3-QZ	4.790 000	5 150 000	12 800	6 840 000
4-HK	3 390 000	3 340 000	10 900	8 050 000
5-DH ₃	2 340 000	2 640 000	6 530	6 720 000
6-DZ	4 580 000	6 230 000	7 310	4 580 000
F	*	*	*	*

差异。

木豆是一种药食兼用植物,主要化学成分为黄酮和芪类化合物^[7-9],具有解毒消肿之功,可用于治疗小儿水痘、股骨头坏死以及痈疽肿毒等疾病^[9,49]。目前针对黄酮类和芪类物质化合物的相关研究已成为国际上的研究热点。已报道分离鉴定的黄酮类化合物有 35 个^[9]。黄酮类化合物在植物的生长、发育、开花、结果以及抗菌防病等方面起着重要的作用,其药用价值高,主要应用于防治心脑血管疾病,

具有抗自由基和抗氧化等作用。本研究初步鉴定出黄酮类化合物 153 个,不同种质间差异显著;芪类物质作为植物天然防御素,具有抗菌、降血脂、降压、抗过敏、抗肿瘤等作用;芪类物质化合物作为木豆成分之一,本研究共检测到 4 份化合物,且其含量在 4 份种质间差异显著。

综上,本研究结果可为今后开展木豆优异品种选育、杂交育种、药效成分鉴定等方面的工作提供参考。

参考文献 References:

- [1] 郑卓杰. 中国食用豆类学. 北京: 中国农业出版社, 1997.
ZHENG Z J. Chinese Edible Beans. Beijing: China Agricultural Press, 1997.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志. 北京: 科学出版社, 2004.
Editorial Committee of Chinese Journal of Plant of Chinese Academy of Sciences. Flora of China. Beijing: Science Press, 2004.
- [3] 姚娜, 易显凤, 丘金花, 庞天德, 赖志强, 韦锦益. 四种南方豆科灌木饲料在华南地区的比较试验. *草业科学*, 2017, 34(4): 772-776.
YAO N, YI X F, QIU J H, PANG T D, LAI Z Q, WEI J Y. Comparison of four fodder species of leguminous shrubs in southern China. *Pratacultural Science*, 2017, 34(4): 772-776.
- [4] 蓝芙宁, 蒋忠诚, 谢运球, 张敏. 岩溶峰丛山地几种植物营养价值及饲喂效果研究. *草业科学*, 2008, 25(11): 84-87.
LAN F N, JAING Z C, XIE Y Q, ZHANG M. Studies on the nutrition value and feeding effect of several forage cultivars in karst mountainous region. *Pratacultural Science*, 2008, 25(11): 84-87.
- [5] 李正红, 周朝鸿, 谷勇, 张建云. 中国木豆研究利用现状及开发前景. *林业科学研究*, 2001, 4(6): 674.
LI Z H, ZHOU C H, GU Y, ZHANG J Y. The present status of study and utilization of pigeonpea in China and its prospects. *Forest Research*, 2001, 4(6): 674.
- [6] 付玉杰, 祖元刚, 吴楠, 孔羽, 刘威, 华欣. 木豆叶中木豆芪酸及球松素在制备抗疱疹病毒药物中的应用: 中国, CN200910071471.0. 2009-03-03.
FU Y J, ZU Y G, WU N, KONG Y, LIU W, HUA X. The application of oleosolic acid and coccinin in pigeon pea leaves in the preparation of anti-herpes virus drugs: China, CN200910071471. 0. 2009-03-03.
- [7] LI X L, ZHAO B X, HUANG X J, ZHANG D M, YE W C. (+)- and (-)-cajanusine, a pair of new enantiomeric stilbene dimers with a new skeleton from the leaves of *Cajanus cajan*. *Organic Letters*, 2014, 16(1): 224.
- [8] WU G Y, ZHANG X, GUO X Y, HUO L Q, LIU H X, SHAN X L, QIU S X, HU Y J, TAN H B. Prenylated stilbenes and flavonoids from the leaves of *Cajanus cajan*. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2019, 17(5): 381-386.
- [9] 蔡佳仲, 戴湾, 张嫩玲. 木豆化学成分和药理活性研究进展. *天然产物研究与开发*, 2020, 32(3): 515-524, 506.
CAI J Z, DAI W, ZHANG N L. Advance on chemical constituents and pharmacological activities of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Natural Product Research and Development*, 2020, 32(3): 515-524, 506.
- [10] LIU S, LUO Z H, JI G M, GUO W, CAI J Z, FU L C, ZHOU J, HU Y J, SHEN X L. Cajanolactone A from *Cajanus cajan* promoted osteoblast differentiation in human bone marrow mesenchymal stem cells via stimulating Wnt/LRP5/ β -catenin signaling. *Molecules*, 2019, 24(2): 271.
- [11] 刘少军, 陈小俊, 冯丽敏, 赵瑞芝. 通络生骨胶囊对大鼠应力缺失性骨质疏松的防治作用. *中国实验方剂学杂志*, 2011, 17(6): 170-173.
LIU S J, CHEN X J, FENG L M, ZHAO R Z. Effect of tongluo shenggu capsules on osteoporosis induced by stress absence. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2011, 17(6): 170-173.
- [12] CHANG H Y, WU J R, GAO W Y, LIN H R, CHEN P Y, CHEN C I, WU M J, YEN J H, WENG C F. The cholesterol-modulating effect of methanol extract of pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] leaves on regulating LDLR and PCSK9 expression in HepG2 cells. *Molecules*, 2019, 24(2): 493.
- [13] YANG R Y, WANG L, XIE J, LI X, LIU S, QIU S X, HU Y J, SHEN X L. Treatment of type 2 diabetes mellitus via reversing insulin resistance and regulating lipid homeostasis in vitro and in vivo using cajanonic acid A. *International Journal of Molecular Medicine*, 2018, 42(5): 2329.
- [14] LIU Y M, SHEN S N, LI Z Y, JIANG Y M, SI J Y, CHANG Q, LIU X M, PAN R L. Cajaninstilbene acid protects corticosterone-induced injury in PC12 cells by inhibiting oxidative and endoplasmic reticulum stress-mediated apoptosis. *Neurochemistry International*, 2014, 78: 43.
- [15] JIANG B P, LIU Y M, LE L, LI Z Y, SI J Y, LIU X M, CHANG Q, PAN R L. Cajaninstilbene acid prevents corticosterone-induced apoptosis in PC12 cells by inhibiting the mitochondrial apoptotic pathway. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 2014, 34(3): 1015-1026.
- [16] 姜保平, 刘亚旻, 李宗阳, 宋波, 潘瑞乐. 木豆叶醇提物对皮质酮诱导的 PC12 细胞损伤的保护作用. *天然产物研究与开发*, 2012, 24(9): 1270.
JIANG B P, LIU Y M, LI Z Y, SONG B, PAN R L. Protective effect of alcohol extract of *Cajanus cajan* on corticosterone-induced

- lesion in cultured PC12 cells. [Natural Product Research and Development](#), 2012, 24(9): 1270.
- [17] 孙琳, 马艳苗, 严维花, 张娜, 柴智. 木豆叶对心肌缺血-再灌注损伤大鼠心功能的影响及其作用机制初探. [中药材](#), 2017, 40(4): 916.
SUN L, MA Y M, YAN W H, ZHANG N, CHAI Z. Effects and mechanism of *Cajanus cajan* leaves on functional influence of rat hearts induced by ischemia-reperfusion. [Journal of Chinese Medicinal Materials](#), 2017, 40(4): 916.
- [18] 孙琳, 张涛, 柴智. 木豆叶提取物对心肌缺血再灌注损伤大鼠的保护作用. [中草药](#), 2015, 46(22): 3382.
SUN L, ZHANG T, CHAI Z. Protection of extract from pigeonpea leaves on myocardial ischemia reperfusion injury in rats. [Chinese Traditional and Herbal Drugs](#), 2015, 46(22): 3382.
- [19] ZHANG N L, SHE X C, JIANG X F, CAI J Z, SHEN X L, HU Y J, QIU S X. Two new cytotoxic stilbenoid dimers isolated from *Cajanus cajan*. [Journal of Natural Medicines](#), 2018, 72(1): 304.
- [20] ZHANG N L, ZHU Y H, HUANG R M, FU M Q, SU Z W, CAI J Z, HU Y J, QIU S X. Two new stilbenoids from *Cajanus cajan*. [Zeitschrift Für Naturforschung B](#), 2012, 67(12): 1314-1318.
- [21] DEODIKER G B, THAKER C V. Cyto-taxonomic evidence for the affinity between *Cajanus indicus* Spreng. and certain erect species of *Atylosia* W. & A. [Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Section A](#), 1956, 43(1): 37-45.
- [22] 毕玉芬, 姜华, 许岳飞. 干热河谷草地灌草组合模式的研究. [草业科学](#), 2009, 26(9): 95-98.
BI Y F, JIANG H, XU Y F. Study on shrub-grass combined mode in the hot-arid valley grassland. [Pratacultural Science](#), 2009, 26(9): 95-98.
- [23] PUNDIR R P S, SINGH R B. Biosystematic relationships among *Cajanus*, *Atylosia* and *Rhynehosia* species and evolution of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. [Theoretical and Applied Genetics](#), 1985, 69(5/6): 531-534.
- [24] 吴涛, 姚红艳, 莫本田, 龙忠富, 罗充. 8 种豆科灌木栽培种丛枝菌根真菌种类及分布. [草业科学](#), 2016, 33(2): 210-218.
WU T, YAO H Y, MO B T, LONG Z F, LUO C. The category and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of eight cultivat leguminous shrubs. [Pratacultural Science](#), 2016, 33(2): 210-218.
- [25] 洗芸轩. 用发根农杆菌介导转化的方法探究木豆耐铝基因的特性. 南宁: 广西大学硕士学位论文, 2017.
XIAN Y X. *Agrobacterium rhizogenes*-mediated transformation for characterizing Al tolerance genes. Master Thesis. Nanning: Guangxi University, 2017.
- [26] 韩蓉蓉, 文亦芾, 史亮涛. 牧草磷素营养及其耐低磷特性. [草业科学](#), 2014, 31(8): 1549-1555.
HAN R R, WEN Y P, SHI L T. Advances in grass phosphorus nutrition and tolerance to low phosphorus. [Pratacultural Science](#), 2014, 31(8): 1549-1555.
- [27] 闫龙. 木豆种质资源遗传多样性分析. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 2005.
YAN L. Assessment of genetic diversity of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh] germplasm resources. Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2005.
- [28] THOMBER B B, AHER R P, DAHAT D V. Genetic diversity in pigeonpea. [Indian Journal of Agricultural Research](#), 2000, 34(2): 126.
- [29] SAMAL K M, SENAPATI N, PATNAIK H E. Genetic divergence in mutant lines of pigeon pea. [Legume Research](#), 2001, 24(3): 186.
- [30] SIVARAMAKRISHNAN S, SEETHA K, NAGESHWAR R A, SINGH L. RFLP analysis of cytoplasmic male-sterile lines of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] developed by interspecific crosses. [Euphytica](#), 1997, 93(3): 307-312.
- [31] SOUFHMANIEN J, MANJAVA J G, KRISHNA T G, PAWAR S E. Random amplified polymorphic DNA analyses of cytoplasmic male sterile and male fertile Pigeonpea. [International Journal of Dairy Technology](#), 2003, 129(3): 293.
- [32] BUMS M J, EDWARDS K J, NEWBURY H J. Development of simple sequence repeat (SSR) markers for assessment of gene flow and genetic diversity in pigeonpea. [Molecular Ecology Resources](#), 2001, 1(4): 283-285.
- [33] 蒋慧萍. 不同木豆品种亲缘关系及生理生化指标的研究. 南宁: 广西大学硕士学位论文, 2002.
JIANG H P. Study on genetic relationship and physiological and biochemical parameters in different pigeonpea varieties. Master Thesis. Nanning: Guangxi University, 2002.
- [34] 闫龙, 关建平, 宗绪晓. 木豆种质资源 AFLP 标记遗传多样性分析. [作物学报](#), 2007, 33(5): 790.
YAN L, GUAN J P, ZONG X X. Genetic diversity analysis of pigeonpea germplasm resources by AFLP. [Acta Agronomica Sinica](#), 2007, 33(5): 790.
- [35] SHARMA H C, SHARMA K K, SEETHARAMA N, ORTIZ R. Prospects for using transgenic resistance to insects in crop improvement. [Electronic Journal Biotechnology](#), 2000, 3(2): 21-22.

- [36] YARSHNEY R K, CHEN W B, LI Y P, BHARTI A K, SAXENA R K, SCHLUETER J A, DONOGHUE M T A, AZAM S, FAN G Y, WHALEY A M, FARMER A D, SHERIDAN J, LWATA A, TUTEJA R, PENMETS A R V, WU W, UPADHYAYA H D, YANG S P, SHAH T, SAXENA K B, MICHAEL T, MCCOMBIE W R, YANG B C, ZHANG G Y, YANG H M, WANG J, SPILLANE C, COOK D R, MAY G D, XU X, JACKSON S A. Draft genome sequence of pigeonpea (*Cajanus cajan*), an orphan legume crop of resource-poor farmers. *Nature Biotechnology*, 2012, 30(1): 83.
- [37] 李鳌, 孙宏伟, 崔彦. 代谢组学应用与研究进展. 医学研究杂志, 2020, 49(1): 168.
LI A, SUN H W, CUI Y. Application and research progress of metabolomics. *Journal of Medical Research*, 2020, 49(1): 168.
- [38] 高燕. 不同大豆中异黄酮含量的差异性分析. 化学工程与装备, 2019(5): 9-11.
GAO Y. Difference analysis of isoflavone content in different soybeans. *Chemical Engineering and Equipment*, 2019(5): 9-11.
- [39] CHEN J, WANF J L, CHEN W, SUN W Q, PENG M, YUAN Z Y, SHEN S Q, XIE K, JIN C, SUN Y Y, LIU X Q, FERNIE A R, YU S B, LUO J. Metabolome analysis of multi-connected biparental chromosome segment substitution line population. *Plant Physiology*, 2018, 178(2): 612.
- [40] ZHU G T, WANG S C, HUANG Z J, ZHANG S Z, LIAO Q G, ZHANG C, LIN T, QIN M, PENG M, YANG C K, CAO X, HAN X, WANG X X, KNAAP E, ZHANG Z G, CUI X, KLEE H, FERNIE A R, LUO J, HUANG S W. Rewiring of the fruit metabolome in tomato breeding. *Cell*, 2018, 172(1/2): 249.
- [41] 国家药典委员会. 中国药典. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
National Pharmacopoeia Commission. *Chinese Pharmacopoeia*. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2015.
- [42] 廖丽. 夏枯草种质资源与药材质量评价研究. 南京: 南京农业大学博士学位论文, 2009.
LIAO L. Study on germplasm resources of *Prunella vulgaris* and its quality evaluation. PhD Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [43] CHEN W, GONG L, GUO Z L, WANG W S, ZHANG H Y, LIU X Q, YU S B, XIONG L Z, LUO J. A novel integrated method for large-scale detection, identification, and quantification of widely targeted metabolites: Application in the study of rice metabolomics. *Molecular Plant*, 2013, 6(6): 1769.
- [44] FRAGA C G, CLOWERS B, MOORE R J, ZINK E M. Signature-discovery approach for sample matching of a nerve-agent precursor using liquid chromatography-mass spectrometry, XCMS, and chemometrics. *Analytical Chemistry*, 2010, 82(10): 4165.
- [45] 康智明, 徐晓俞, 郑开斌, 俞秀红, 李爱萍. 木豆种质资源形态与农艺性状的多样性分析. *热带亚热带植物学报*, 2017, 25(1): 51.
KANG Z M, XU X Y, ZHENG K B, YU X H, LI A P. Diversity analysis of morphological and agronomic traits in *Cajanus cajan*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2017, 25(1): 51.
- [46] 高桂娟, 李志丹. 45份木豆种质资源物候期及形态多样性分析. *生态科学*, 2017, 36(2): 100.
GAO G J, LI Z D. Study on morphological features diversity and phenological period of pigeonpea germplasm materials. *Ecological Science*, 2017, 36(2): 100.
- [47] 郑菲艳, 鞠玉栋, 邱珊莲, 吴维坚, 张树河, 郑开斌. 木豆种质不同部位总黄酮含量研究. *福建农业学报*, 2016, 31(7): 733.
ZHENG F Y, JU Y D, QIU S L, WU W J, ZHANG S H, ZHENG K B. Study on total flavonoid content in different parts from different kinds of pigeonpea. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 31(7): 733.
- [48] 徐晓俞, 李爱萍, 吴思逢, 李程勋, 黄旭旻, 郑开斌. 木豆不同品种和叶龄对叶片氨基酸形成的影响和聚类分析. *热带亚热带植物学报*, 2018, 26(6): 617.
XU X Y, LI A P, WU S F, LI C X, HUANG X M, ZHENG K B. Effects of different germplasms and leaf ages on amino acid formation in pigeonpea leaves and cluster analysis. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2018, 26(6): 617.
- [49] 元唯安, 杜炯, 闻辉, 刘又文, 沈霖, 韩永台, 杨凤云, 葛京华, 谷福顺, 张建新, 宁亚功, 陈卫衡, 姜益常, 张杰, 余桦, 董晓俊, 于浩, 詹红生. 通络生骨胶囊治疗股骨头坏死(筋脉瘀滞证)的多中心随机、双盲、双模拟、阳性药对照临床研究. *上海中医药杂志*, 2019, 53(8): 53-59.
YUAN W A, DU J, WEN H, LIU Y W, SHEN L, HAN Y T, YANG F Y, GE J H, GU F S, ZHANG J X, NING Y G, CHEN W H, JIANG Y C, ZHANG J, YU H, DONG X J, YU H, ZHAN H S. A multi-center, randomized, double-blind, double-dummy, positive-controlled clinical study on Tongluo Shenggu Capsule in treatment of osteonecrosis of femoral head (syndrome of stagnation of sinews and vessels). *China Academic Journal Electronic Publishing House*, 2019, 53(8): 53-59.

(责任编辑 魏晓燕)