

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

徐晓俞¹, 李爱萍^{1*}, 吴思逢², 李程勋¹, 黄旭旻¹, 郑开斌^{1,3*}

(1. 福建省农业科学院作物研究所, 福州 350013; 2. 福鼎市前岐镇农业技术推广站, 福建 福鼎 355203; 3. 福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建 漳州 363005)

摘要: 为了解木豆(*Cajanus cajan*)叶片的氨基酸含量的变化, 对 19 份种质资源和 1~3 叶龄的木豆叶片氨基酸含量进行研究。结果表明, 不同种质资源和叶龄的木豆叶片中均含有 17 种氨基酸, 必需氨基酸以苏氨酸、异亮氨酸和赖氨酸的含量最高, 分别为 0.67%、0.70% 和 0.48%, 非必需氨基酸以丝氨酸、酪氨酸和组氨酸的含量最高, 分别为 0.69%、0.66% 和 0.44%。除赖氨酸和丙氨酸外, 其余 15 种氨基酸含量在木豆叶片中总体上随着叶龄的增加呈现上升趋势。不同种质资源的木豆叶片中总氨基酸含量差异明显。聚类分析可将 19 个木豆种质资源划分为低氨基酸型(I)、中氨基酸型(II)、中高氨基酸型(III)、高氨基酸型(IV)等 4 大类型。这为高品质木豆叶茶的加工与高氨基酸木豆品种选育提供了理论依据。

关键词: 木豆; 叶片; 氨基酸; 种质资源; 叶龄

doi: 10.11926/jtsb.3895

Effects of Different Germplasms and Leaf Ages on Amino Acid Formation in Pigeonpea Leaves and Cluster Analysis

XU Xiao-yu¹, LI Ai-ping^{1*}, WU Si-feng², LI Cheng-xun¹, HUANG Xu-min¹, ZHENG Kai-bin^{1,3*}

(1. Crop Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. Fuding Qianqizhen Agricultural Technology Extension Station, Fuding 355203, Fujian, China; 3. Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, Fujian, China)

Abstract: In order to understand the changes in amino acid contents of pigeonpea (*Cajanus cajan*) leaves, the amino acid contents from 19 pigeonpea germplasms at 1–3-leaf-old were determined. The results showed that there were 17 kinds of amino acids in leaves of all pigeonpea germplasms at different leaf ages. The contents of threonine, isoleucine and lysine were the highest among the essential amino acids, with amounting to 0.67%, 0.70% and 0.48%, respectively, while those of serine, tyrosine and histidine were the highest among non-essential amino acids, with amounting to 0.69%, 0.66% and 0.44%, respectively. Except lysine and alanine, the other 15 kinds of amino acids in the leaves of pigeonpea generally increased along leaf age. The contents of total amino acids in the leaves were significantly different among different pigeonpea germplasms. Nineteen pigeonpea germplasms could be divided into four types by cluster analysis, such as low amino acid type (I), medium amino acid type (II), medium and high amino acid type (III) and high amino acid type (IV). Therefore, these would provide a theoretical basis for the processing of high-quality leaf tea and breeding of high-amino acid varieties of

收稿日期: 2018-02-28

接受日期: 2018-04-12

基金项目: 福建省农业科学院科技创新团队建设项目(STIT2017-2-11); 福建省公益类科研院所专项(2016R1025-1); 福建省重大专项(2018NZ0003-2); 福建省科技重大专项(2015NZ0002-3)资助

This work was supported by the Project for Scientific and Technological Innovation Team Construction of Fujian Academy of Agricultural Sciences (Grant No. STIT2017-2-11), the Special Project of Public Welfare Research Institutes in Fujian Province (Grant No. 2016R1025-1), the Major Project in Fujian Province (Grant No. 2018NZ0003-2), and the Major Project for Science and Technology in Fujian Province (Grant No. 2015NZ0002-3).

作者简介: 徐晓俞(1985-), 男, 助理研究员, 主要从事食用豆制品育种与天然产物研究。E-mail: 418577787@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: ap1909@163.com; k03163@163.com

pigeonpea.

Key words: *Cajanus cajan*; Leaf; Amino acid; Germplasm; Leaf age

木豆 [*Cajanus cajan* (Linn.) Millsp.] 为豆科 (Leguminosae) 木豆属多年生灌木, 是重要的木本粮食作物, 也是一种重要的药用植物^[1]。木豆叶富含多种生物活性功能成分, 如具有抗骨质疏松作用的芪类和黄酮类成分^[2-4]。木豆叶的营养价值也极高, 木豆叶中含有多种微量元素、蛋白质、糖、维生素、淀粉、纤维、氨基酸等成分^[5-6]。木豆叶因其富含氨基酸和蛋白质, 现主要用于牲畜饲料的开发^[7]以及木豆叶保健茶的制作^[8]。氨基酸是茶叶鲜爽味的主要物质, 是决定茶叶品质的重要生物活性成分。不同的氨基酸成分和组成比例, 是构建不同茶叶滋味与品质的关键因素, 其中谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸等的含量与茶叶的品质呈显著正相关^[9]。而氨基酸的组成和含量又与茶叶的品种、采收季节、叶龄、栽培条件等因素相关^[10]。

目前关于木豆叶氨基酸含量的研究报道较少, 而对其他作物叶片氨基酸含量的研究较多。研究表明, 叶片的发育对其氨基酸含量有影响。符云鹏等对烤烟叶片发育过程中氨基酸含量变化的研究发现, 叶龄与烤烟叶片氨基酸含量呈显著负相关, 随着叶龄的增长, 烤烟叶片氨基酸含量降低显著^[11]。赵志宏等的研究表明, 沙芥叶片中氨基酸含量随着叶龄的增长呈先上升后下降的变化趋势, 以 8 片叶龄时的氨基酸含量最高^[12]。因此, 研究叶龄对木豆叶氨基酸含量的影响, 为指导木豆叶的合理采收具有重要意义。生产上一般以采收 3 片叶以内的叶片用于茶叶的制作^[13], 高于 3 片叶的叶片因粗纤维含量相对较高, 在茶叶的揉捻工艺中不易于茶叶的成型。因此, 在本研究中以 1~3 叶龄的木豆叶作为研究对象。

种质资源是品种选育的物质基础, 木豆种质资源与品质性状间的相关性也是当前研究的热点方向之一。陈燕华等^[14]的研究表明, 木豆种子中可溶性糖含量与淀粉含量呈正相关, 叶片中蛋白质含量与水分含量、可溶性糖含量与单宁含量呈显著正相关。罗高玲等^[15]对 6 份早、中熟组木豆杂交种进行了品质性状分析, 表明早熟组杂交种的粗蛋白、无氮浸出物等品质性状指标高于对照品种。总黄酮是木豆叶中的重要活性成分, 是评价木豆叶质量的重要指标之一。郑菲艳等^[16]对 131 个木豆品种叶片总

黄酮含量的研究表明, 木豆叶总黄酮含量在品种间存在极显著差异。蛋白质作为木豆叶中的重要营养成分, 也是木豆品种选育的重要指标之一。刘秀贤等^[17]对云南 22 个木豆品种叶中蛋白质含量的研究表明, 蛋白质含量在品种间有显著差异。氨基酸是构成蛋白质的重要组成部分, 目前对木豆品种与氨基酸含量的相关性研究还未见报道。本文对 19 个种质资源和 1~3 叶龄的木豆叶中的氨基酸含量进行分析, 了解种质资源与叶龄对木豆叶氨基酸组成和含量的影响并进行聚类分析, 为挖掘优异木豆种质资源, 开发保健茶和提高茶的品质提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

2015 年 8 月于福建省农业科学院作物研究所福州埔垵试验基地, 采集 19 个种质资源 1~3 叶龄的木豆叶片。当木豆苗长至 3 片叶时, 以顶端展开的叶片为 1 叶龄叶片, 依次往下数第二片为 2 叶龄, 第三片为 3 叶龄, 分别进行采集。木豆叶片经 60℃ 干燥至恒重, 粉碎, 过 120 目筛, 保存备用。

1.2 实验仪器和试剂

menbarPureA300 全自动氨基酸分析仪, menbarPure 脱酸设备, BSA124S 电子分析天平。硫酸铜、硫酸钾、硫酸、氢氧化钠、硼酸、辛醇、盐酸等均为分析纯 (AR 级), 100 nmol mL⁻¹ 的混合氨基酸标准液、样品稀释液、流动相、茚三酮染色剂、缓冲液均由德国 menbarPure 公司生产。

1.3 方法

采用酸水解 (常规水解法)。按 GB/T 18246-2000 方法, 精密称取木豆叶粉末 0.2 g 置于顶空瓶中, 加入 1:1 盐酸 10 mL, 将顶空瓶置于 110℃ 烘箱中恒温水解 24 h。水解完成后, 待顶空瓶自然冷却, 定容至 50 mL, 吸取样品 1 mL 置于浓缩管中, 将浓缩管置于试管浓缩仪中于 60℃ 下脱酸至浓缩管中无液体。脱酸完成后, 取出浓缩管冷却至室温, 加入 1 mL pH 2.2 柠檬酸钠缓冲液稀释, 摇晃, 混合均匀, 用注射器吸取混合液, 经 0.22 μm 过滤器过

滤后置入分析瓶中, 上机分析。

工作条件: 色谱柱为阳离子交换树脂钠盐分离柱, 色谱柱工作温度 40℃, Eluent Press 为 7~10 MPa, Reagent Press 值为 0.7~3 MPa。

检测器: 可见光光度检测, 570 nm/440 nm。

1.4 数据分析

每个样品重复测定 3 次, 采用氨基酸分析仪自带软件处理数据。氨基酸含量以平均值 \pm 标准差表示, 采用 SPSS 19.0 软件对数据进行多重比较检验。

2 结果和分析

2.1 木豆叶的氨基酸含量

2.1.1 必需氨基酸含量的变化

随着木豆叶龄的增加, 叶片中必需氨基酸含量呈逐渐上升趋势(表 1), 表明木豆叶氨基酸含量是随着叶片的发育成熟而逐渐累积的。从木豆叶中检测到 7 种必需氨基酸, 除蛋氨酸含量随着叶龄增长变化不明显, 以及赖氨酸含量总体呈下降趋势外, 其余氨基酸含量总体呈上升趋势。3 个叶龄叶片中均以苏氨酸、异亮氨酸、赖氨酸的含量较高, 表明这 3 种氨基酸是构成木豆叶必需氨基酸的主要成分。

不同木豆种质资源叶片中苏氨酸含量在 3 个叶龄间的差异大都显著, 分别为 0.21%~0.87%、0.41%~0.78%、0.66%~0.87%。在木豆叶片的发育过程中, 除 M02-2-4 和 M02-2-6 外, 其余 17 个种质资源的苏氨酸含量均随叶龄的增加呈上升趋势, 其中 M02-18 的苏氨酸含量在 3 个叶龄期均较高, 分别为 0.61%、0.78%和 0.87%; M01-4 在 3 个叶龄的苏氨酸含量变化幅度最大, 从 1 叶龄到 3 叶龄的增幅达 276.19%。

除 M02-2-1 的缬氨酸含量随叶龄的增长呈下降趋势外, 其余 18 个木豆种质资源的缬氨酸含量均呈缓慢上升趋势, 但各种质资源不同叶龄叶片的缬氨酸含量均较低, 变化幅度不太明显。19 个木豆种质资源 3 个叶龄叶片蛋氨酸含量为 0.01%~0.03%, 没有显著的变化。

异亮氨酸和苏氨酸一样, 也是木豆叶中含量较高的一种必需氨基酸。M02-2、M02-4、M02-18 的异亮氨酸含量随叶龄的增长呈下降趋势, M02-7 呈先上升后下降趋势, 其余大多数资源呈上升趋势。其中以 M02-2 的异亮氨酸含量在 3 个叶龄期均较

高, 分别为 0.91%、0.86%和 0.82%; M01-2 的异亮氨酸含量在 3 个叶龄期增长幅度最大, 1 叶龄到 3 叶龄的增幅达 212.00%。

不同木豆种质资源叶片的亮氨酸含量较低, 大部分资源不同叶龄间的差异不显著。M02-7、M02-12、M02-17 的亮氨酸含量随叶片发育逐渐减少, M02-2-1 和 M02-21 的变化规律不明显, 其他资源的亮氨酸含量随叶龄的增加而逐渐上升。木豆叶片的苯丙氨酸含量水平与亮氨酸相近, M01-2、M01-4、M02-7、M02-13、M02-17-4、M02-20 和 M02-21 的苯丙氨酸含量随叶龄的增加而减少, 其他种质资源的苯丙氨酸含量则升高。因此, 大部分木豆种质资源叶的苯丙氨酸含量随叶龄的增加呈上升趋势。

木豆叶片的赖氨酸含量水平也较高, 与苏氨酸、异亮氨酸相近, 且随叶龄的增加而下降。除 M02-2-6、M02-6、M02-13 和 M02-18 的赖氨酸含量随叶片的成熟呈上升趋势外, 其余资源均呈下降趋势, 其中以 M02-17-4 的赖氨酸含量下降幅度最大, 从 1 叶龄到 3 叶龄的降幅达 45.88%。

2.1.2 非必需氨基酸含量的变化

木豆不同叶龄叶片的 10 种非必需氨基酸中, 除甘氨酸、丙氨酸含量随叶龄增长总体呈下降趋势外, 其余氨基酸含量总体呈上升趋势(表 2)。3 个叶龄叶片中均以丝氨酸、酪氨酸、组氨酸含量较高, 说明这 3 种氨基酸是构成木豆叶非必需氨基酸的主要成分。

大部分木豆种质资源叶片的丝氨酸、酪氨酸和组氨酸含量在不同叶龄间差异显著, 这 3 种氨基酸含量在大多数木豆种质资源中均随叶龄的增长而上升, 而 M02-6 的丝氨酸含量则下降, M02-8、M02-12、M02-17-4、M02-18 和 M02-21 的酪氨酸含量也下降。M02-4 的丝氨酸含量在 3 个叶龄期均较高, 分别为 0.83%、0.89%和 0.92%; M02-6 的酪氨酸含量在 3 个叶龄期较高, 分别为 0.64%、0.79%和 0.81%; 而组氨酸含量以 M01-4 较高, 3 个叶龄期分别为 0.66%、0.75%和 0.81%。可见, 这 3 个木豆种质资源具备进一步培育筛选高氨基酸品种的潜质。

至于天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、精氨酸和脯氨酸这 7 种非必需氨基酸, 虽然他们的含量较低, 但却在木豆叶的营养成分中起着不可或缺的作用, 是构成木豆叶蛋白的重要物质基础。除 M02-17-4 和 M02-18 的谷氨酸含量, M01-2、M01-4、

表 1 木豆叶片的必需氨基酸含量(%)

Table 1 Essential amino acid contents (%) in pigeonpea leaves

种质 Germplasm	叶龄 Leaf age	苏氨酸 Threonine	缬氨酸 Valine	蛋氨酸 Methionine	异亮氨酸 Isoleucine	亮氨酸 Leucine	苯丙氨酸 Phenylalanine	赖氨酸 Lysine	总和 Total
M01-2	1	0.66 ±0.02Bb	0.04 ±0.00Cc	0.01 ±0.00	0.25 ±0.01Cc	0.11 ±0.01Cc	0.18 ±0.01Aa	0.72 ±0.02Aa	1.97 ±0.09Bb
	2	0.69 ±0.02Bb	0.07 ±0.00Bb	0.01 ±0.00	0.51 ±0.02Bb	0.13 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.59 ±0.03Bb	2.13 ±0.07ABb
	3	0.77 ±0.03Aa	0.09 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.78 ±0.03Aa	0.16 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bb	0.47 ±0.02Cc	2.40 ±0.12Aa
M01-4	1	0.21 ±0.01Cc	0.02 ±0.00Cc	0.01 ±0.00	0.42 ±0.01Cc	0.12 ±0.01Bc	0.15 ±0.01Aa	0.77 ±0.02Aa	1.70 ±0.04Cc
	2	0.41 ±0.01Bb	0.07 ±0.00Bb	0.01 ±0.00	0.61 ±0.02Bb	0.15 ±0.01Ab	0.13 ±0.01ABb	0.62 ±0.02Bb	2.00 ±0.04Bb
	3	0.79 ±0.02Aa	0.09 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.85 ±0.02Aa	0.17 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bc	0.50 ±0.02Cc	2.53 ±0.05Aa
M02-2	1	0.55 ±0.02Cc	0.12 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.91 ±0.04Aa	0.13 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Cc	0.65 ±0.03Aa	2.49 ±0.10Aa
	2	0.65 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.02 ±0.00	0.86 ±0.02Aab	0.16 ±0.01Aa	0.17 ±0.01Bb	0.54 ±0.01Bb	2.53 ±0.05Aa
	3	0.79 ±0.03Aa	0.17 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.82 ±0.03Ab	0.16 ±0.01Aa	0.19 ±0.01Aa	0.50 ±0.02Bb	2.64 ±0.11Aa
M02-2-1	1	0.59 ±0.01Cc	0.26 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.52 ±0.01Cc	0.12 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Cc	0.44 ±0.01Aa	2.06 ±0.04Bb
	2	0.64 ±0.02Bb	0.10 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.69 ±0.02Bb	0.16 ±0.01Aa	0.14 ±0.01Bb	0.41 ±0.01ABb	2.15 ±0.07ABb
	3	0.69 ±0.01Aa	0.06 ±0.00Cc	0.01 ±0.00	0.79 ±0.03Aa	0.15 ±0.01Aa	0.18 ±0.01Aa	0.38 ±0.01Bc	2.26 ±0.05Aa
M02-2-4	1	0.83 ±0.03Aa	0.10 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.53 ±0.02Cc	0.17 ±0.01Cc	0.11 ±0.01Cc	0.63 ±0.02Aa	2.38 ±0.07Aa
	2	0.71 ±0.03Bb	0.09 ±0.01Bb	0.02 ±0.00	0.61 ±0.03Bb	0.23 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Bb	0.58 ±0.02Ab	2.41 ±0.10Aa
	3	0.67 ±0.01Bb	0.19 ±0.01Aa	0.02 ±0.00	0.74 ±0.02Aa	0.25 ±0.01Aa	0.19 ±0.01Aa	0.41 ±0.01Bc	2.47 ±0.05Aa
M02-2-6	1	0.87 ±0.02Aa	0.04 ±0.00Bb	0.01 ±0.00	0.67 ±0.01Bc	0.13 ±0.01Cc	0.11 ±0.01Bb	0.23 ±0.01Bb	2.06 ±0.04Bb
	2	0.74 ±0.02Bb	0.11 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.72 ±0.02ABb	0.16 ±0.01Bb	0.12 ±0.01ABab	0.24 ±0.01Bb	2.10 ±0.06Bb
	3	0.73 ±0.03Bb	0.11 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.77 ±0.03Aa	0.19 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Aa	0.39 ±0.02Aa	2.33 ±0.10Aa
M02-4	1	0.59 ±0.02Bc	0.10 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.82 ±0.03Aa	0.17 ±0.01Cc	0.12 ±0.01Cc	0.51 ±0.02Aa	2.32 ±0.09Aa
	2	0.64 ±0.02Bb	0.11 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.81 ±0.03Aa	0.19 ±0.01Bb	0.15 ±0.01Bb	0.44 ±0.02Bb	2.35 ±0.07Aa
	3	0.72 ±0.02Aa	0.24 ±0.01Aa	0.02 ±0.00	0.65 ±0.01Bb	0.23 ±0.01Aa	0.19 ±0.01Aa	0.40 ±0.01Bc	2.45 ±0.05Aa
M02-6	1	0.58 ±0.01Bb	0.10 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.64 ±0.02Bc	0.15 ±0.01Bc	0.12 ±0.01Cc	0.48 ±0.01Bc	2.08 ±0.04Cc
	2	0.61 ±0.02Bb	0.11 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.71 ±0.02Bb	0.19 ±0.01Ab	0.14 ±0.01Bb	0.55 ±0.02Ab	2.32 ±0.07Bb
	3	0.74 ±0.03Aa	0.16 ±0.01Aa	0.02 ±0.00	0.85 ±0.04Aa	0.21 ±0.01Aa	0.16 ±0.01Aa	0.59 ±0.02Aa	2.73 ±0.11Aa
M02-7	1	0.64 ±0.03Cc	0.05 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.69 ±0.03Bb	0.18 ±0.01Aa	0.14 ±0.01Aa	0.61 ±0.03Aa	2.32 ±0.09Aa
	2	0.76 ±0.02Bb	0.06 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.79 ±0.03Aa	0.15 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.51 ±0.02Bb	2.40 ±0.07Aa
	3	0.83 ±0.02Aa	0.08 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.76 ±0.02Aa	0.15 ±0.01Bb	0.11 ±0.01Bb	0.50 ±0.01Bb	2.44 ±0.05Aa
M02-8	1	0.55 ±0.01Cc	0.03 ±0.00Cc	0.01 ±0.00	0.56 ±0.01Bb	0.16 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.55 ±0.01Aa	1.98 ±0.04Cc
	2	0.67 ±0.02Bb	0.09 ±0.01Bb	0.03 ±0.00	0.83 ±0.03Aa	0.17 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.53 ±0.02Aa	2.44 ±0.07Bb
	3	0.84 ±0.03Aa	0.16 ±0.01Aa	0.02 ±0.00	0.87 ±0.04Aa	0.19 ±0.01Aa	0.22 ±0.01Aa	0.47 ±0.02Bb	2.77 ±0.11Aa
M02-10	1	0.71 ±0.03Bb	0.10 ±0.01Cc	0.01 ±0.00	0.76 ±0.03Bb	0.16 ±0.01Cc	0.12 ±0.01Bb	0.49 ±0.02Aa	2.35 ±0.10Aa
	2	0.73 ±0.02ABb	0.13 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.80 ±0.03ABab	0.18 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.39 ±0.01Bb	2.37 ±0.07Aa
	3	0.79 ±0.02Aa	0.17 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.84 ±0.02Aa	0.22 ±0.01Aa	0.15 ±0.01Aa	0.24 ±0.01Cc	2.42 ±0.05Aa
M02-12	1	0.41 ±0.02Cc	0.08 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.51 ±0.02Bc	0.19 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Cc	0.53 ±0.02Aa	1.84 ±0.08Cc
	2	0.53 ±0.02Bb	0.09 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.74 ±0.02Ab	0.17 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.50 ±0.02Aa	2.17 ±0.07Bb
	3	0.71 ±0.02Aa	0.16 ±0.01Aa	0.02 ±0.00	0.80 ±0.02Aa	0.17 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Aa	0.45 ±0.01Bb	2.48 ±0.05Aa
M02-13	1	0.65 ±0.03Bc	0.10 ±0.01Cc	0.01 ±0.00	0.35 ±0.01Cc	0.13 ±0.01Cc	0.16 ±0.01Aa	0.31 ±0.01Bb	1.71 ±0.07Cc
	2	0.78 ±0.03Ab	0.13 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.55 ±0.02Bb	0.15 ±0.01Bb	0.11 ±0.01Bb	0.49 ±0.02Aa	2.22 ±0.07Bb
	3	0.84 ±0.02Aa	0.21 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.77 ±0.02Aa	0.18 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Bb	0.49 ±0.01Aa	2.61 ±0.06Aa
M02-17	1	0.58 ±0.02Bb	0.04 ±0.00Cc	0.01 ±0.00	0.78 ±0.02Aa	0.21 ±0.01Aa	0.10 ±0.01Bb	0.42 ±0.02Aa	2.14 ±0.07Aa
	2	0.62 ±0.03Bb	0.11 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.79 ±0.03Aa	0.18 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Aa	0.37 ±0.02Bb	2.20 ±0.09Aa
	3	0.75 ±0.02Aa	0.18 ±0.01Aa	0.02 ±0.00	0.82 ±0.03Aa	0.17 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Aa	0.21 ±0.01Cc	2.28 ±0.07Aa
M02-17-4	1	0.42 ±0.02Cc	0.08 ±0.01Ab	0.01 ±0.00	0.61 ±0.03Cc	0.14 ±0.01Cc	0.17 ±0.01Aa	0.85 ±0.03Aa	2.28 ±0.09Ab
	2	0.57 ±0.01Bb	0.08 ±0.01Aab	0.01 ±0.00	0.71 ±0.02Bb	0.19 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.63 ±0.01Bb	2.31 ±0.05Aab
	3	0.66 ±0.02Aa	0.09 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.85 ±0.03Aa	0.25 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bb	0.46 ±0.02Cc	2.44 ±0.08Aa
M02-18	1	0.61 ±0.02Cc	0.06 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.73 ±0.03Aa	0.11 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bc	0.41 ±0.02Bb	2.06 ±0.08Bb
	2	0.78 ±0.02Bb	0.08 ±0.01ABa	0.01 ±0.00	0.70 ±0.02Aa	0.13 ±0.01ABa	0.19 ±0.01Ab	0.54 ±0.01Aa	2.43 ±0.05Aa
	3	0.87 ±0.03Aa	0.09 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.69 ±0.02Aa	0.13 ±0.01Aa	0.21 ±0.01Aa	0.54 ±0.02Aa	2.54 ±0.08Aa
M02-20	1	0.59 ±0.03Bb	0.08 ±0.01Cc	0.01 ±0.00	0.40 ±0.02Cc	0.14 ±0.01Bb	0.18 ±0.01Aa	0.51 ±0.02Aa	1.91 ±0.08Bc
	2	0.63 ±0.03Bb	0.10 ±0.01Bb	0.02 ±0.00	0.58 ±0.02Bb	0.16 ±0.01Aa	0.17 ±0.01Aa	0.44 ±0.02Bb	2.10 ±0.09Bb
	3	0.79 ±0.03Aa	0.14 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.82 ±0.03Aa	0.17 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	0.43 ±0.01Bb	2.49 ±0.08Aa
M02-21	1	0.51 ±0.01Cc	0.04 ±0.01Bb	0.01 ±0.00	0.51 ±0.01Cc	0.16 ±0.01ABb	0.15 ±0.01Aa	0.48 ±0.01Aa	1.86 ±0.04Bb
	2	0.68 ±0.02Bb	0.05 ±0.01ABab	0.02 ±0.00	0.61 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bb	0.43 ±0.01Bb	2.08 ±0.04Aa
	3	0.77 ±0.03Aa	0.06 ±0.01Aa	0.02 ±0.00	0.73 ±0.02Aa	0.15 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.31 ±0.01Cc	2.16 ±0.07Aa
M05-2	1	0.58 ±0.02Bc	0.08 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.70 ±0.03Bc	0.15 ±0.01Bb	0.11 ±0.01Bb	0.52 ±0.02Aa	2.15 ±0.09Bb
	2	0.63 ±0.02Bb	0.09 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.76 ±0.02Bb	0.16 ±0.01Bb	0.11 ±0.01Bb	0.49 ±0.02Aa	2.25 ±0.07Bb
	3	0.71 ±0.02Aa	0.09 ±0.01Aa	0.01 ±0.00	0.85 ±0.02Aa	0.22 ±0.01Aa	0.16 ±0.01Aa	0.44 ±0.01Bb	2.48 ±0.05Aa

$n=3$; 同一种质同列数据后不同大、小写字母分别表示差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)。下表同。

$n=3$; Data followed different capital and small letters within column of the same germplasm indicate significant differences at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

The same is following Tables.

表 2 木豆叶的非必需氨基酸含量(%)

Table 2 Non-essential amino acid contents (%) in pigeonpea leaves

种质 Germplasm	叶龄 Leaf age	天冬氨酸 Aspartic acid	丝氨酸 Serine	谷氨酸 Glutamic acid	甘氨酸 Glycine	丙氨酸 Alanine	胱氨酸 Cystine
M01-2	1	0.15 ±0.01Bb	0.62 ±0.01Cc	0.13 ±0.01Bc	0.15 ±0.01Aa	0.22 ±0.01Aa	0.23 ±0.01Cc
	2	0.16 ±0.01ABab	0.73 ±0.02Bb	0.15 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Bb	0.29 ±0.01Bb
	3	0.17 ±0.01Aa	0.85 ±0.03Aa	0.20 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Bc	0.14 ±0.01Cc	0.32 ±0.01Aa
M01-4	1	0.18 ±0.01Cc	0.43 ±0.01Cc	0.20 ±0.01Cc	0.17 ±0.01Aa	0.18 ±0.01Aa	0.26 ±0.01Bb
	2	0.21 ±0.01Bb	0.68 ±0.02Bb	0.23 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.17 ±0.01aA	0.27 ±0.01Bb
	3	0.25 ±0.01Aa	0.87 ±0.03Aa	0.25 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Bb	0.14 ±0.01Bb	0.34 ±0.02Aa
M02-2	1	0.18 ±0.01Bb	0.50 ±0.02Cc	0.18 ±0.01Aa	0.10 ±0.01Ab	0.17 ±0.01Aa	0.26 ±0.01Bb
	2	0.19 ±0.01Bb	0.61 ±0.01Bb	0.19 ±0.01Aab	0.10 ±0.01Ab	0.14 ±0.01Bb	0.28 ±0.01ABa
	3	0.23 ±0.01Aa	0.86 ±0.03Aa	0.19 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	0.29 ±0.01Aa
M02-2-1	1	0.20 ±0.01Bb	0.63 ±0.03Bb	0.18 ±0.01Bc	0.11 ±0.01Bb	0.15 ±0.01Aa	0.23 ±0.01Bc
	2	0.25 ±0.01Aa	0.64 ±0.02Bb	0.21 ±0.01Ab	0.12 ±0.01Bb	0.14 ±0.01ABab	0.25 ±0.01ABb
	3	0.26 ±0.01Aa	0.81 ±0.03Aa	0.24 ±0.01Aa	0.35 ±0.02Aa	0.13 ±0.01Bb	0.28 ±0.01Aa
M02-2-4	1	0.21 ±0.01Cc	0.45 ±0.02Cc	0.23 ±0.01Bb	0.10 ±0.01Cc	0.15 ±0.01Aa	0.24 ±0.01Cc
	2	0.23 ±0.01Bb	0.52 ±0.01Bb	0.24 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.14 ±0.01ABb	0.27 ±0.01Bb
	3	0.25 ±0.01Aa	0.62 ±0.01Aa	0.27 ±0.01Aa	0.34 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	0.29 ±0.01Aa
M02-2-6	1	0.12 ±0.01Cc	0.65 ±0.02Bb	0.17 ±0.01Bb	0.11 ±0.01Bc	0.15 ±0.01Aa	0.30 ±0.01Bc
	2	0.14 ±0.01Bb	0.74 ±0.03Aa	0.21 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.32 ±0.01ABb
	3	0.16 ±0.01Aa	0.78 ±0.02Aa	0.22 ±0.01Aa	0.31 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bb	0.34 ±0.01Aa
M02-4	1	0.25 ±0.01Bb	0.83 ±0.02Ab	0.21 ±0.01Bb	0.11 ±0.01Cc	0.14 ±0.01Aa	0.25 ±0.01Ab
	2	0.28 ±0.01ABa	0.89 ±0.03Aa	0.24 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.26 ±0.01Aab
	3	0.29 ±0.01Aa	0.92 ±0.04Aa	0.25 ±0.01Aa	0.35 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Bb	0.27 ±0.01Aa
M02-6	1	0.19 ±0.01Ab	0.69 ±0.02Aa	0.22 ±0.01Bc	0.11 ±0.01Cc	0.16 ±0.01Aa	0.23 ±0.01Cc
	2	0.20 ±0.01Aab	0.51 ±0.02Bb	0.26 ±0.01Ab	0.13 ±0.01Bb	0.15 ±0.01ABab	0.31 ±0.01Bb
	3	0.21 ±0.01Aa	0.43 ±0.02Cc	0.28 ±0.01Aa	0.17 ±0.01Aa	0.14 ±0.01Bb	0.36 ±0.02Aa
M02-7	1	0.20 ±0.01Bb	0.51 ±0.01Cc	0.22 ±0.01Bb	0.10 ±0.01Bb	0.16 ±0.01Aa	0.35 ±0.02Ab
	2	0.25 ±0.01Aa	0.69 ±0.02Bb	0.23 ±0.01Bb	0.11 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	0.36 ±0.01Ab
	3	0.24 ±0.01Aa	0.76 ±0.03Aa	0.28 ±0.01Aa	0.35 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bb	0.39 ±0.01Aa
M02-8	1	0.19 ±0.01Cc	0.50 ±0.01Cc	0.18 ±0.01Bb	0.10 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Aa	0.35 ±0.01Aa
	2	0.23 ±0.01Bb	0.67 ±0.02Bb	0.22 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Bb	0.15 ±0.01Bb	0.28 ±0.01Bb
	3	0.26 ±0.01Aa	0.77 ±0.03Aa	0.23 ±0.01Aa	0.21 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Cc	0.21 ±0.01Cc
M02-10	1	0.15 ±0.01Cc	0.53 ±0.01Cc	0.15 ±0.01Cc	0.10 ±0.01Cc	0.14 ±0.01Aa	0.23 ±0.01Bb
	2	0.21 ±0.01Bb	0.65 ±0.02Bb	0.19 ±0.01Bb	0.14 ±0.01Bb	0.13 ±0.01ABa	0.24 ±0.01Bb
	3	0.29 ±0.01Aa	0.76 ±0.02Aa	0.26 ±0.01Aa	0.21 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bb	0.38 ±0.01Aa
M02-12	1	0.16 ±0.01Bb	0.44 ±0.01Cc	0.16 ±0.01Cc	0.13 ±0.01Cc	0.16 ±0.01Aa	0.42 ±0.01Aa
	2	0.26 ±0.01Aa	0.53 ±0.02Bb	0.23 ±0.01Bb	0.18 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.37 ±0.01Bb
	3	0.27 ±0.01Aa	0.80 ±0.02Aa	0.25 ±0.01Aa	0.31 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Cc	0.23 ±0.01Cc
M02-13	1	0.13 ±0.01Bb	0.71 ±0.02Bb	0.17 ±0.01Bc	0.37 ±0.01Aa	0.15 ±0.01Aa	0.27 ±0.01Cc
	2	0.21 ±0.01Aa	0.76 ±0.03Bb	0.21 ±0.01Ab	0.11 ±0.01Bb	0.14 ±0.01ABab	0.32 ±0.01Bb
	3	0.22 ±0.01Aa	0.93 ±0.04Aa	0.23 ±0.01Aa	0.10 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.39 ±0.01Aa
M02-17	1	0.19 ±0.01Bc	0.61 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Bb	0.15 ±0.01Cc	0.15 ±0.01Aa	0.27 ±0.01Bc
	2	0.23 ±0.01Ab	0.79 ±0.03Aa	0.18 ±0.01ABab	0.21 ±0.01Bb	0.14 ±0.01Aab	0.33 ±0.01Ab
	3	0.25 ±0.01Aa	0.81 ±0.03Aa	0.19 ±0.01Aa	0.34 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Ab	0.35 ±0.01Aa
M02-17-4	1	0.15 ±0.01Bc	0.43 ±0.01Cc	0.25 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Cc	0.19 ±0.01Aa	0.40 ±0.01Aa
	2	0.21 ±0.01Ab	0.53 ±0.02Bb	0.23 ±0.01Bb	0.14 ±0.01Bb	0.16 ±0.01Bb	0.37 ±0.01Ab
	3	0.23 ±0.01Aa	0.71 ±0.03Aa	0.19 ±0.01Cc	0.25 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Cc	0.32 ±0.01Bc
M02-18	1	0.19 ±0.01Bb	0.51 ±0.02Cc	0.24 ±0.01Aa	0.36 ±0.02Aa	0.17 ±0.01Aa	0.39 ±0.02Aa
	2	0.23 ±0.01Aa	0.68 ±0.02Bb	0.21 ±0.01Bb	0.21 ±0.01Bb	0.16 ±0.01Aa	0.32 ±0.01Bb
	3	0.24 ±0.01Aa	0.79 ±0.02Aa	0.18 ±0.01Cc	0.12 ±0.01Cc	0.12 ±0.01Bb	0.29 ±0.01Bc
M02-20	1	0.13 ±0.01Cc	0.63 ±0.02Cc	0.16 ±0.01Bb	0.33 ±0.01Aa	0.18 ±0.01Aa	0.28 ±0.01Bb
	2	0.18 ±0.01Bb	0.83 ±0.02Bb	0.23 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Aa	0.29 ±0.01Bb
	3	0.22 ±0.01Aa	0.92 ±0.03Aa	0.24 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Bb	0.15 ±0.01Bb	0.34 ±0.01Aa
M02-21	1	0.22 ±0.01Bb	0.61 ±0.03Bc	0.20 ±0.01Bb	0.10 ±0.01Bb	0.18 ±0.01Aa	0.32 ±0.01Aa
	2	0.25 ±0.01Aa	0.71 ±0.03Ab	0.22 ±0.01ABa	0.11 ±0.01Bb	0.16 ±0.01Bb	0.28 ±0.01Bb
	3	0.25 ±0.01Aa	0.77 ±0.03Aa	0.23 ±0.01Aa	0.38 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Cc	0.25 ±0.01Bc
M05-2	1	0.17 ±0.01Cc	0.82 ±0.02Ab	0.18 ±0.01Bb	0.22 ±0.01Bc	0.18 ±0.01Aa	0.23 ±0.01Cc
	2	0.23 ±0.01Bb	0.85 ±0.03Aab	0.19 ±0.01Bb	0.36 ±0.01Ab	0.15 ±0.01Bb	0.33 ±0.01Bb
	3	0.27 ±0.01Aa	0.89 ±0.04Aa	0.27 ±0.01Aa	0.38 ±0.02Aa	0.13 ±0.01Cc	0.41 ±0.02Aa

续表(Continued)

种质 Germplasm	叶龄 Leaf age	酪氨酸 Tyrosine	组氨酸 Histidine	精氨酸 Arginine	脯氨酸 Proline	总和 Total
M01-2	1	0.46 ±0.01Bc	0.38 ±0.01Cc	0.24 ±0.01Cc	0.13 ±0.01Bb	2.71 ±0.06Cc
	2	0.61 ±0.02Ab	0.57 ±0.02Bb	0.33 ±0.01Bb	0.18 ±0.01Aa	3.32 ±0.10Bb
	3	0.65 ±0.03Aa	0.70 ±0.03Aa	0.37 ±0.02Aa	0.19 ±0.01Aa	3.70 ±0.15Aa
M01-4	1	0.55 ±0.02Bc	0.66 ±0.02Bc	0.11 ±0.01Cc	0.13 ±0.01Bc	2.87 ±0.09Cc
	2	0.59 ±0.01Bb	0.75 ±0.02Ab	0.15 ±0.01Bb	0.20 ±0.01Ab	3.37 ±0.07Bb
	3	0.66 ±0.03Aa	0.81 ±0.03Aa	0.29 ±0.01Aa	0.22 ±0.01Aa	3.94 ±0.16Aa
M02-2	1	0.52 ±0.02Bc	0.12 ±0.01Cc	0.19 ±0.01Aa	0.11 ±0.01Cc	2.33 ±0.07Cc
	2	0.57 ±0.01Bb	0.39 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	2.73 ±0.06Bb
	3	0.65 ±0.02Aa	0.43 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Aa	3.19 ±0.10Aa
M02-2-1	1	0.59 ±0.03Bb	0.32 ±0.01Bc	0.21 ±0.01Aa	0.13 ±0.01Bb	2.75 ±0.11Bc
	2	0.65 ±0.02ABa	0.52 ±0.02Ab	0.15 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Aa	3.10 ±0.10Bb
	3	0.69 ±0.03Aa	0.57 ±0.02Aa	0.12 ±0.01Cc	0.18 ±0.01Aa	3.63 ±0.15Aa
M02-2-4	1	0.63 ±0.02Cc	0.23 ±0.01Cc	0.13 ±0.01Cc	0.15 ±0.01Bb	2.52 ±0.08Cc
	2	0.72 ±0.02Bb	0.36 ±0.01Bb	0.15 ±0.01Bb	0.16 ±0.01Bb	2.91 ±0.06Bb
	3	0.78 ±0.02Aa	0.66 ±0.02Aa	0.18 ±0.01Aa	0.35 ±0.01Aa	3.87 ±0.08Aa
M02-2-6	1	0.60 ±0.02Bb	0.46 ±0.01Bc	0.12 ±0.01Cc	0.17 ±0.01Cc	2.85 ±0.09Cc
	2	0.68 ±0.03Aa	0.51 ±0.02Bb	0.44 ±0.02Bb	0.29 ±0.01Bb	3.59 ±0.14Bb
	3	0.69 ±0.02Aa	0.65 ±0.02Aa	0.64 ±0.02Aa	0.37 ±0.01Aa	4.28 ±0.13Aa
M02-4	1	0.63 ±0.02Bb	0.29 ±0.01Bb	0.50 ±0.01Cc	0.14 ±0.01Cc	3.35 ±0.07Cc
	2	0.69 ±0.02ABa	0.31 ±0.01Bb	0.59 ±0.02Bb	0.28 ±0.01Bb	3.79 ±0.11Bb
	3	0.72 ±0.03Aa	0.41 ±0.01Aa	0.65 ±0.03Aa	0.33 ±0.01Aa	4.30 ±0.17Aa
M02-6	1	0.64 ±0.01Bb	0.14 ±0.01Bc	0.68 ±0.01Aa	0.20 ±0.01Bc	3.26 ±0.07Aa
	2	0.79 ±0.03Aa	0.20 ±0.01Ab	0.61 ±0.02Bb	0.23 ±0.01Ab	3.39 ±0.10Aa
	3	0.81 ±0.03Aa	0.22 ±0.01Aa	0.55 ±0.02Cc	0.25 ±0.01Aa	3.42 ±0.14Aa
M02-7	1	0.59 ±0.01Bb	0.26 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Cc	0.15 ±0.01Bb	2.71 ±0.11Cc
	2	0.68 ±0.02Aa	0.42 ±0.01Aa	0.26 ±0.01Bb	0.25 ±0.01Aa	3.37 ±0.10Bb
	3	0.69 ±0.03Aa	0.44 ±0.02Aa	0.38 ±0.01Aa	0.26 ±0.01Aa	3.91 ±0.16Aa
M02-8	1	0.79 ±0.02Aa	0.36 ±0.01Bb	0.27 ±0.01Aa	0.10 ±0.01Ab	3.01 ±0.06Aa
	2	0.73 ±0.02Bb	0.38 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Bb	0.10 ±0.01Aab	3.04 ±0.09Aa
	3	0.63 ±0.03Cc	0.43 ±0.02Aa	0.14 ±0.01Cc	0.11 ±0.01Aa	3.12 ±0.13Aa
M02-10	1	0.56 ±0.01Cc	0.33 ±0.01Cc	0.16 ±0.01Cc	0.11 ±0.01Bb	2.46 ±0.05Cc
	2	0.64 ±0.01Bb	0.46 ±0.01Bb	0.20 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Bb	2.98 ±0.06Bb
	3	0.71 ±0.02Aa	0.53 ±0.02Aa	0.29 ±0.01Aa	0.19 ±0.01Aa	3.74 ±0.11Aa
M02-12	1	0.89 ±0.02Aa	0.21 ±0.01Cc	0.25 ±0.01Ab	0.12 ±0.01Cc	2.94 ±0.08Bc
	2	0.71 ±0.03Bb	0.41 ±0.01Bb	0.26 ±0.01Aab	0.16 ±0.01Bb	3.24 ±0.13Bb
	3	0.60 ±0.01Cc	0.65 ±0.01Aa	0.27 ±0.01Aa	0.37 ±0.01Aa	3.86 ±0.08Aa
M02-13	1	0.51 ±0.02Bb	0.21 ±0.01Cc	0.21 ±0.01Aa	0.12 ±0.01Aa	2.85 ±0.09Bb
	2	0.54 ±0.02Bb	0.31 ±0.01Bb	0.14 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Aa	2.87 ±0.12Bb
	3	0.66 ±0.03Aa	0.35 ±0.02Aa	0.13 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Aa	3.27 ±0.13Aa
M02-17	1	0.61 ±0.01Bb	0.32 ±0.01Cc	0.17 ±0.01Bc	0.12 ±0.01Bb	2.76 ±0.06Cc
	2	0.67 ±0.02Aa	0.39 ±0.01Bb	0.25 ±0.01Ab	0.14 ±0.01Aa	3.33 ±0.10Bb
	3	0.71 ±0.03Aa	0.48 ±0.02Aa	0.27 ±0.01Aa	0.15 ±0.01Aa	3.68 ±0.15Aa
M02-17-4	1	0.71 ±0.02Aa	0.16 ±0.01Cc	0.12 ±0.01Cc	0.16 ±0.01Bc	2.69 ±0.06Bb
	2	0.62 ±0.02Bb	0.24 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Bb	0.18 ±0.01Bb	2.85 ±0.09Bb
	3	0.60 ±0.03Bb	0.41 ±0.02Aa	0.25 ±0.01Aa	0.23 ±0.01Aa	3.32 ±0.13Aa
M02-18	1	0.75 ±0.03Aa	0.52 ±0.02Bc	0.18 ±0.01Cc	0.15 ±0.01Bb	3.46 ±0.14Aa
	2	0.73 ±0.02Aa	0.57 ±0.02ABb	0.25 ±0.01Bb	0.17 ±0.01Aa	3.53 ±0.11Aa
	3	0.58 ±0.01Bb	0.61 ±0.01Aa	0.48 ±0.01Aa	0.18 ±0.01Aa	3.59 ±0.07Aa
M02-20	1	0.53 ±0.01Bc	0.54 ±0.01Bb	0.31 ±0.01Cc	0.11 ±0.01Cc	3.20 ±0.07Cc
	2	0.65 ±0.02Ab	0.68 ±0.02Aa	0.36 ±0.01Bb	0.13 ±0.01Bb	3.65 ±0.08Bb
	3	0.70 ±0.02Aa	0.71 ±0.02Aa	0.39 ±0.01Aa	0.16 ±0.01Aa	3.95 ±0.12Aa
M02-21	1	0.76 ±0.03Aa	0.45 ±0.02Bb	0.15 ±0.01Cc	0.13 ±0.01Cc	3.12 ±0.13Bc
	2	0.70 ±0.03Ab	0.50 ±0.02ABa	0.21 ±0.01Bb	0.28 ±0.01Bb	3.42 ±0.14ABb
	3	0.58 ±0.02Bc	0.51 ±0.02Aa	0.33 ±0.01Aa	0.36 ±0.01Aa	3.78 ±0.12Aa
M05-2	1	0.64 ±0.01Bc	0.53 ±0.01Cc	0.45 ±0.01Bb	0.12 ±0.01Cc	3.54 ±0.07Cc
	2	0.72 ±0.02Ab	0.61 ±0.02Bb	0.57 ±0.02Aa	0.16 ±0.01Bb	4.17 ±0.13Bb
	3	0.77 ±0.03Aa	0.68 ±0.03Aa	0.59 ±0.03Aa	0.22 ±0.01Aa	4.61 ±0.19Aa

M02-13、M02-18 和 M02-20 的甘氨酸含量, M02-8、M02-12、M02-17-4、M02-18 和 M02-21 的胱氨酸含量, M02-2、M02-2-1、M02-6、M02-8 和 M02-13 的精氨酸含量随叶片的成熟呈下降趋势外, 其余资源均随叶龄的增加而逐渐上升。丙氨酸是所有种质资源木豆叶中随叶龄增加而含量下降的非必需氨基酸, 但下降幅度很小, 从 1 叶龄到 3 叶龄仅相差 0.02%~0.08%。

甘氨酸是一种具有独特甜味的氨基酸, 能缓和酸、碱味, 掩盖苦涩味, 可增加茶叶的甜味口感。19 个木豆种质资源中有 11 个的甘氨酸含量从 2 叶

龄到 3 叶龄的增长明显, 增幅达 50.00%~245.45%, 其中 9 个种质资源的 3 叶龄叶片甘氨酸含量在 0.30% 以上。因此, 3 叶龄的叶片有助于木豆叶茶口感的改善, 提高适口性。

2.2 叶片总氨基酸含量的变化

由图 1 可知, 1~3 叶龄木豆叶片的总氨基酸含量为 5.18%~6.40%。种质资源不同, 总氨基酸含量也不同, 其中 M05-2 总氨基酸含量在各叶龄期都较高。M02-13 在 1 叶龄和 2 叶龄期含量最低, M02-17-4 在 3 叶龄期含量最低。

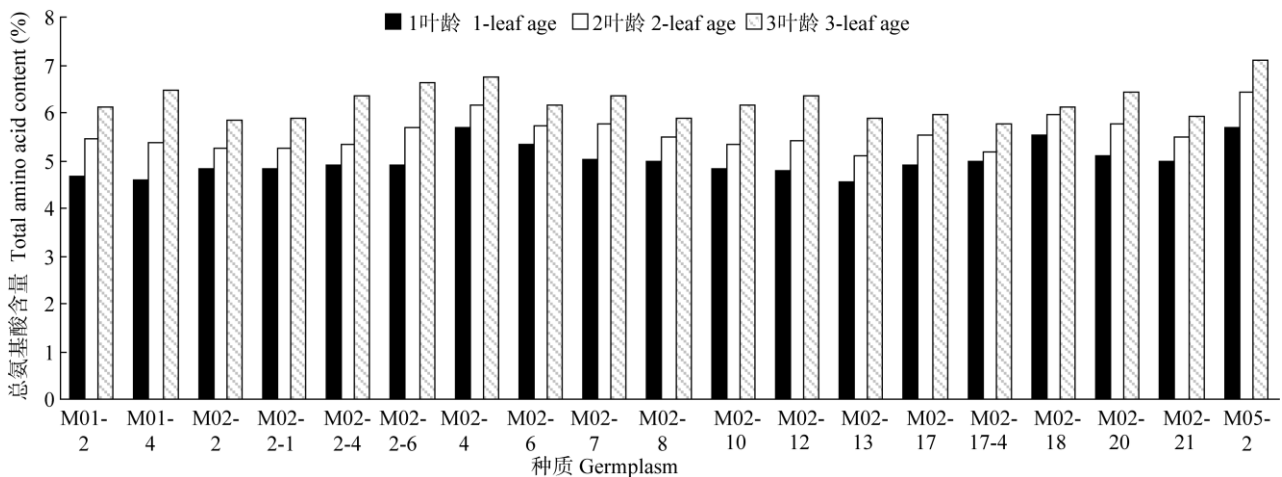


图 1 木豆叶片中的总氨基酸含量

Fig. 1 Total amino acid contents in pigeonpea leaves

木豆叶片中总氨基酸含量的差异, 对木豆茶叶的品质有着重要的影响。19 个木豆种质资源叶片中的总氨基酸含量随叶龄的增加均表现为上升趋势, 以 M05-2 的上升趋势最为明显。

2.3 聚类分析

本研究选用 17 种氨基酸、必需氨基酸、非必需氨基酸、总氨基酸含量共 20 个指标进行聚类分析(图 2)。结果表明, 在欧式遗传距离为 5.0 时, 19 个供试木豆种质资源可划分为 4 大类(表 3)。

低氨基酸型(I): 有 M02-8、M02-10、M02-2-4、M02-2、M02-17-4 和 M02-13 共 6 个种质资源, 氨基酸含量较低, 必需氨基酸含量为(2.38±0.12)%, 非必需氨基酸含量为(2.99±0.13)%, 总氨基酸含量为(5.37±0.13)%, 叶片中各种氨基酸和总氨基酸含量均较低, 总体营养价值偏低。

中氨基酸型(II): 有 M01-2、M01-4、M02-12、M02-21、M02-2-1 和 M02-17 共 6 个种质资源, 表现为组氨酸含量高, 达(0.51±0.12)%, 必需氨基酸含量为(2.14±0.07)%, 非必需氨基酸含量为(3.31±0.10)%, 总氨基酸含量为(5.44±0.07)%, 叶片中富含组氨酸, 总氨基酸含量中等, 总体营养价值中等。

中高氨基酸型(III): 有 M02-18、M02-20、M02-2-6、M02-6 和 M02-7 共 5 个种质资源, 表现为苏氨酸含量高, 达(0.72±0.06)%, 必需氨基酸含量为(2.29±0.11)%, 非必需氨基酸含量为(3.48±0.12)%, 总氨基酸含量为(5.77±0.06)%, 叶片中富含苏氨酸, 非必需氨基酸和总氨基酸含量均较高, 总体营养价值较高。

高氨基酸型(IV): 有 M02-4 和 M05-2 两个种质资源, 表现为丝氨酸、甘氨酸和精氨酸含量高, 分别为(0.87±0.02)%、(0.26±0.08)%和(0.56±0.03)%,

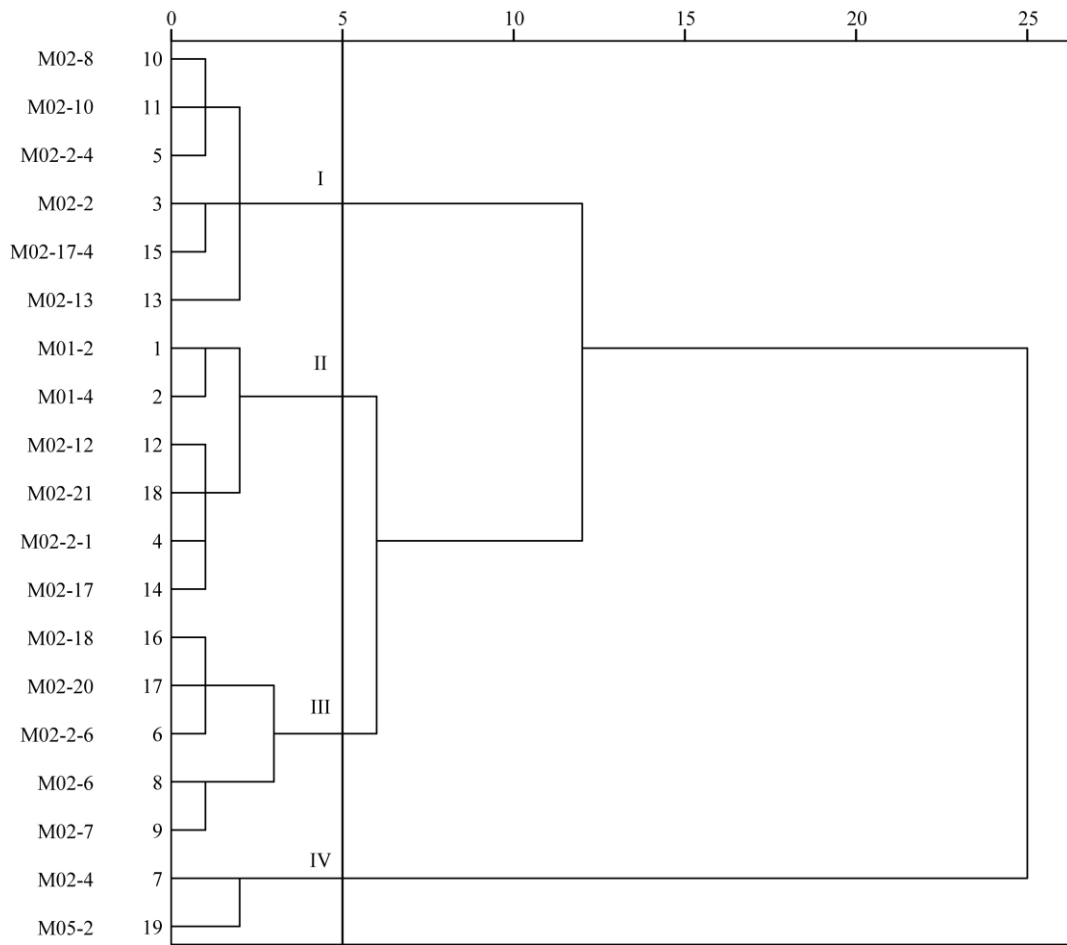


图 2 木豆叶基于氨基酸含量的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of pigeonpea leaf based on amino acid content

表 3 4 种类型木豆的氨基酸含量(%)

Table 3 Amino acid content (%) of four types of pigeonpea

氨基酸 Amino acid	类型 Type			
	I	II	III	IV
苏氨酸 Threonine	0.69 ±0.08	0.61 ±0.09	0.72 ±0.06	0.65 ±0.01
缬氨酸 Valine	0.12 ±0.03	0.09 ±0.04	0.09 ±0.02	0.12 ±0.04
蛋氨酸 Methionine	0.01 ±0.01	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00
异亮氨酸 Isoleucine	0.72 ±0.11	0.65 ±0.09	0.70 ±0.06	0.77 ±0.01
亮氨酸 Leucine	0.18 ±0.03	0.16 ±0.02	0.16 ±0.02	0.19 ±0.01
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.15 ±0.01	0.14 ±0.01	0.14 ±0.03	0.14 ±0.01
赖氨酸 Lysine	0.51 ±0.10	0.48 ±0.12	0.47 ±0.10	0.47 ±0.02
天冬氨酸 Aspartic acid	0.21 ±0.02	0.22 ±0.03	0.19 ±0.04	0.25 ±0.04
丝氨酸 Serine	0.64 ±0.09	0.69 ±0.05	0.67 ±0.09	0.87 ±0.02
谷氨酸 Glutamic acid	0.21 ±0.02	0.20 ±0.03	0.22 ±0.02	0.22 ±0.01
甘氨酸 Glycine	0.16 ±0.03	0.18 ±0.04	0.19 ±0.03	0.26 ±0.08
丙氨酸 Alanine	0.15 ±0.01	0.15 ±0.02	0.15 ±0.02	0.14 ±0.02
胱氨酸 Cystine	0.30 ±0.04	0.29 ±0.03	0.32 ±0.03	0.29 ±0.04
酪氨酸 Tyrosine	0.64 ±0.06	0.65 ±0.06	0.68 ±0.05	0.70 ±0.02
组氨酸 Histidine	0.35 ±0.07	0.51 ±0.12	0.46 ±0.18	0.48 ±0.19
精氨酸 Arginine	0.18 ±0.03	0.23 ±0.05	0.39 ±0.13	0.56 ±0.03
脯氨酸 Proline	0.15 ±0.04	0.19 ±0.04	0.21 ±0.06	0.21 ±0.06
必需氨基酸 Essential amino acid	2.38 ±0.12	2.14 ±0.07	2.29 ±0.11	2.33 ±0.06
非必需氨基酸 Non-essential amino acid	2.99 ±0.13	3.31 ±0.10	3.48 ±0.12	3.96 ±0.21
总和 Total	5.37 ±0.13	5.44 ±0.07	5.77 ±0.06	6.30 ±0.15

必需氨基酸含量为(2.33±0.06)%, 非必需氨基酸含量为(3.96±0.21)%, 总氨基酸含量为(6.30±0.15)%, 叶片中富含各种氨基酸, 非必需氨基酸和总氨基酸含量最高, 必需氨基酸含量也较高, 总体营养价值高。

3 讨论和结论

3.1 木豆叶的营养价值评价

不同种质资源和不同叶龄木豆叶中均含有 17 种氨基酸, 7 种必需氨基酸占总氨基酸含量的 40.80%, 达到了 FAO/WHO 提出的理想蛋白质标准(必需氨基酸含量/氨基酸总含量为 40%), 表明木豆叶片可作为优质的营养食品原料。苏氨酸、异亮氨酸和赖氨酸是木豆叶片中必需氨基酸的主要成分, 且对人体具有重要的生理作用, 是木豆叶发挥营养作用的重要成分, 苏氨酸和异亮氨酸含量均以 3 叶龄叶片最高。木豆叶中主要的 3 种非必需氨基酸成分丝氨酸、酪氨酸和组氨酸含量均以 3 叶龄叶片最高, 其他氨基酸组分也是在 3 叶龄期最高。随叶龄的增长, 粗纤维的增加使茶叶的制作在揉捻工艺中不易于茶叶的成型。因此, 考虑到人工采摘的因素, 提高效率, 应选择 1~3 叶龄的木豆叶作为茶叶的加工原料, 既可以充分保留木豆叶中的大部分氨基酸组分, 也利于茶叶的制作成型。

3.2 种质资源对木豆叶茶的影响

氨基酸含量对茶叶香气的鲜爽度和茶汤滋味的鲜醇度有重要的影响, 叶片中的高氨基酸含量可使木豆叶茶表现出较好的鲜爽风味。M05-2 资源 1~3 叶龄叶片的总氨基酸含量最高, 且甘氨酸含量也最高, 尤其是 2 叶龄和 3 叶龄叶片。甘氨酸是具有独特甜味, 能缓和酸、碱味, 掩盖苦味的氨基酸。因此, 该资源作为木豆叶茶材料, 不仅营养丰富而且甜味增强, 口感良好, 是制作木豆叶茶的良好品种。

3.3 氨基酸对木豆叶茶泡制的影响

木豆叶中大多数氨基酸成分易溶于水, 在茶叶的泡制过程中可以快速溶解到水中。但谷氨酸和苏氨酸不易溶于冷水, 易溶于热水。在茶叶的泡制过程中宜选用温度较高的开水冲泡, 以促进谷氨酸和含量较高的苏氨酸溶出。亮氨酸、酪氨酸和胱氨酸

在水中的溶解度较低, 在热水中也不易溶解, 但在酸水中极易溶解。因此, 在木豆叶茶中适当添加枸杞, 通过枸杞中的枸橼酸来增加水溶液的酸性, 以促进这类氨基酸的溶出, 增加茶汤的风味。

3.4 聚类分析

本研究以 17 种氨基酸、必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量共 20 个指标进行聚类分析, 结果表明, 19 个木豆种质资源可划分为 4 大类型: 低氨基酸型(I)、中氨基酸型(II)、中高氨基酸型(III)和高氨基酸型(IV)。其中高氨基酸型(IV)木豆资源 M02-4 和 M05-2 的叶片富含各种氨基酸, 总氨基酸含量最高, 营养价值最高, 可作为高氨基酸含量的种质资源选育木豆新品种。

综上所述, 木豆叶片中氨基酸种类丰富, 必需氨基酸含量高, 营养价值高, 作为木豆叶茶开发具有良好的应用前景。在制作木豆叶茶时, 应采摘 1~3 叶龄的木豆叶, 有利于茶叶的制作成型和保证茶叶的品质。考虑到木豆叶茶中氨基酸组成的特性, 可以在木豆叶茶中适当添加枸杞, 选用开水冲泡, 以提高茶汤的营养, 增加茶汤的风味。不同种质资源木豆叶片的氨基酸含量有一定差异, 选择优良种质资源进行育种和开发是未来的研究重点方向。在本研究中, M02-4 和 M05-2 是潜在的具有高氨基酸含量的种质资源, 可作为目标性状资源进一步观察, 为高氨基酸含量木豆品种选育提供优良材料。

参考文献

- [1] ZHONG X R. The value in use of semen cajan [J]. Res Inf Trad Chin Med, 2001, 3(8): 47. doi: 10.3969/j.issn.1673-4890.2001.08.023.
钟小荣. 木豆的利用价值 [J]. 中药研究与信息, 2001, 3(8): 47. doi: 10.3969/j.issn.1673-4890.2001.08.023.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] ZHENG Y Y, YANG J, CHEN D H, et al. Effects of the extracts of *Cajanus cajan* L. on cell functions in human osteoblast-like TE85 cells and the derivation 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]. 药学学报, 2007, 42(4): 386–391. doi: 10.3321/j.issn:0513-4870.2007.04.008.
- [5] ZHANG J Y, QIU J, LI Z H, et al. The preliminary technological research on extraction of leaf protein concentrate from *Cajanus cajan* [J]. J SW For Coll, 2001, 21(1): 40–44. doi: 10.3969/j.issn.2095-1914.2001.01.008.
- 张建国, 邱坚, 李正红, 等. 木豆叶蛋白提取工艺的初步研究 [J]. 西南林学院学报, 2001, 21(1): 40–44. doi: 10.3969/j.issn.2095-1914.2001.01.008.
- [6] DOU Z J, LIU H, LI M. Adaptability of pigeon pea (*Cajanus cajan*) introduced in the arid areas of Xinjiang [J]. Chin For Sci Technol, 2008, 22(2): 60–63. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2008.02.017.
- 窦中江, 刘辉, 李铭. 新疆干旱区木豆引种适应性研究 [J]. 林业科技开发, 2008, 22(2): 60–63. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2008.02.017.
- [7] LIN M. A promising woody forage: Pigeonpea [J]. Feed Res, 1986(3): 10. doi: 10.13557/j.cnki.issn1002-2813.1986.03.005.
- 林茂. 一个有发展前途的木本饲料——木豆 [J]. 饲料研究, 1986(3): 10. doi: 10.13557/j.cnki.issn1002-2813.1986.03.005.
- [8] CHEN Y X, ZHENG Z X, LI Z H. Tea from pigeonpea leaves and processing method: China, CN102630785A [P]. 2012-08-15.
- 陈昱璇, 郑子熙, 李振华. 一种木豆叶茶及其加工方法: 中国, CN102630785A [P]. 2012-08-15.
- [9] RUAN Y C, WANG Y G. Biochemical basis on mellow, fresh, dense taste quality of green tea [J]. Tea Commun, 1987(4): 1–4,15.
- 阮宇成, 王月根. 绿茶滋味品质醇、鲜、浓的生化基础 [J]. 茶叶通讯, 1987(4): 1–4,15.
- [10] WANG Y, LI C H. Studies on the variation of amino acid content and affecting factors in quality tea [J]. SW China J Agric Sci, 2006, 19(6): 1121–1126. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2006.06.031.
- 王云, 李春华. 名优茶氨基酸含量变化规律及其影响因素研究 [J]. 西南农业学报, 2006, 19(6): 1121–1126. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2006.06.031.
- [11] FU Y P, ZHENG X B, LIU G S, et al. Studies on the changes in amino acids contents in flue-cured tobacco during leaf development [J]. J Chin Agric Univ, 1998, 3(5): 95–96.
- 符云鹏, 郑宪滨, 刘国顺, 等. 烤烟叶片发育过程中氨基酸含量变化的研究 [J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(5): 95–96.
- [12] ZHAO Z H, HE Y P. Studies on the changes in nutrient contents in leaves of *Pugionium cornutum* L. at different age [J]. Friends Farm, 2014(7): 127–128.
- 赵志宏, 贺勇鹏. 沙芥不同叶龄营养成分含量变化规律的研究 [J]. 农民致富之友, 2014(7): 127–128.
- [13] ZHOU H L. Collecting and retention leaves of tea trees [J]. J Anhui Agric Sci, 1962(1): 68–71. doi: 10.13989/j.cnki.0517-6611.1962.01.014.
- 周海龄. 茶树的採叶和留叶 [J]. 安徽农业科学, 1962(1): 68–71. doi: 10.13989/j.cnki.0517-6611.1962.01.014.
- [14] CHEN Y H, LUO R H, WU Z K, et al. Analysis of genetic parameters and correlation in agronomic traits and quality characteristics in pigeonpea germplasm resources [J]. Guangxi Agric Sci, 2009, 40(11): 1397–1402. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2009.11.002.
- 陈燕华, 罗瑞鸿, 吴子恺, 等. 木豆种质资源农艺与品质性状的相关性及遗传参数分析 [J]. 广西农业科学, 2009, 40(11): 1397–1402. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2009.11.002.
- [15] LUO G L, ZHOU Z G, LUO R H, et al. Analysis of agronomic and quality traits of pigeonpea CMS hybrids [J]. J Plant Gent Res, 2007, 8(4): 481–485. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2007.04.021.
- 罗高玲, 周作高, 罗瑞鸿, 等. 木豆 CMS 杂交种资源农艺性状及品质性状分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(4): 481–485. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2007.04.021.
- [16] ZHENG F Y, QIU S L, WU W J, et al. Study on the total flavonoids of the pigeonpea leaves in different growth periods [J]. Chin Agric Sci Bull, 2016, 32(28): 110–115. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb16050062.
- 郑菲艳, 邱珊莲, 吴维坚, 等. 木豆不同生长期叶片总黄酮含量研究 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(28): 110–115. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb16050062.
- [17] 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.