

文章编号:1001-6880(2016)6-0889-09

杜仲雄花氨基酸多样性及营养价值评价

杜庆鑫, 刘攀峰, 魏艳秀, 庆军, 杜红岩*

中国林业科学研究院经济林研究开发中心 国家林业局杜仲工程技术研究中心, 郑州 450003

摘要:为深入探究杜仲雄花氨基酸多样性与营养价值,对193份不同种质雄花的氨基酸含量与组成进行了测定。结果表明:杜仲雄花含有17种氨基酸,总氨基酸平均含量为20.62 g/100 g,天冬氨酸和谷氨酸是主要的2种氨基酸。不同种质杜仲雄花氨基酸含量以蛋氨酸变异系数最大(43.13%),总氨基酸变异系数最小(12.56%)。杜仲雄花蛋白贴近度为0.887。杜仲雄花人体必需氨基酸中仅(Met+Cys)低于FAO/WHO推荐模式的比例,RAA和RC值大都接近于1, SRC值为81.42。杜仲雄花中儿童必需氨基酸含量、味觉氨基酸含量与药用氨基酸含量丰富。不同来源杜仲雄花氨基酸含量差异显著,贵州种质总氨基酸含量(21.32 g/100 g)和必需氨基酸含量(7.50 g/100 g)最高,而不同来源杜仲雄花氨基酸的营养价值差异不显著。聚类分析将193份种质材料分为4个类群,第Ⅱ类群总氨基酸、必需氨基酸、甜味氨基酸和芳香族氨基酸平均含量最高,分别达22.46、7.92、4.10 g/100 g和1.64 g/100 g。杜仲雄花氨基酸具有重要的营养价值,不同种质杜仲雄花氨基酸表现较高的遗传多样性,可为雄花用杜仲良种选育和开发利用提供基础材料。

关键词:杜仲; 雄花; 氨基酸; 多样性; 营养价值

中图分类号:S794.9;TS201.4

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2016.6.013

Diversity and Nutritional Value of Amino Acids in *Eucommia ulmoides* Male Flowers

DU Qing-xin, LIU Pan-feng, WEI Yan-xiu, QING Jun, DU Hong-yan*

Non-timber Forest Research and Development Center of Chinese Academy of Forestry, The Eucommia Engineering Research Center of National Forestry Administration, Zhengzhou 450003, China

Abstract: To comprehensively give insight on the diversity and nutritional level of amino acids in *Eucommia ulmoides* male flowers, the content and composition of amino acids were determined in male flowers of 193 germplasm materials. 17 amino acids were examined in *E. ulmoides* male flowers, in which the average content of total amino acids was 20.62 g/100 g and aspartic acid and glutamic acid were the 2 primary amino acids. In different *E. ulmoides* germplasms, the variation coefficient value of methionine amino acid content was the highest (43.13%) and the total amino acids the lowest (12.56%). The protein closeness degree of *E. ulmoides* male flower was 0.887. Among all the essential amino acids of *E. ulmoides* male flower, the ratio of (Met+Cys) was lower than ratio the FAO/WHO recommended, the RAA and RC value were numerically close to 1 and the average value of SRC was 81.42. The contents of children essential amino acids, taste-active and therapeutic amino acids were evidently higher than the other 6 plant pollens including *G. biloba*. Significant difference of *E. ulmoides* amino acids content was found in different origins, the content of total amino acids and essential amino acids of the Guizhou germplasm were 21.32 g/100 g and 7.50 g/100 g, respectively and were found to be the highest. However, non-significant difference of amino acids nutritional value was found. Cluster analysis results indicated that 193 *E. ulmoides* germplasms were divided into 4 groups, the average contents of the total amino acids, the essential amino acids, the sweet amino acid and aromatic amino acids in the second group were higher than the other 3 groups, and respectively reached to 22.46, 7.92, 4.10 g/100 g and 1.64 g/100 g. The amino acids in *E. ulmoides* male flowers were considered to be of important nutritional value, and high genetic diversity was found in different germplasms. The results of this study provided basic materials for the further research and development of *E. ulmoides* male flowers.

收稿日期:2016-01-19 接受日期:2016-04-06

基金项目:国家“十二五”农村领域科技计划(2012BAD21B0502) 营养价值

* 通讯作者 E-mail: dhy515@126.com

Key words: *Eucommia ulmoides*; male flowers; amino acids; di-

杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)为杜仲科落叶乔木,全科一属一种,是第四纪冰川侵袭后留存于我国的孑遗树种,也是我国特有的经济树种和珍稀二级保护植物,具有很高的药用价值、营养价值和经济价值。杜仲雌雄异株,雄花簇生于当年生枝条基部,花量大,易于采集^[1]。目前对杜仲的研究多集中在皮、叶上,现代研究表明,杜仲雄花中富含与杜仲皮、叶相类似的有效成分,具有降压、降血脂、增强免疫力、抗肿瘤、抗菌、抗病毒、镇静、催眠、保肝利胆、提高人体免疫力等医疗保健作用^[2]。

氨基酸是构成生物体蛋白质及维持生命不可或缺的物质,具有营养、生理、生化等多种功能,能抗菌、抗溃疡、阵痛,人类摄取蛋白质的最终目标是取得机体所需的各种氨基酸^[3]。植物中氨基酸的含量、种类及比例是评价其营养和药用价值优劣的主要指标之一^[4]。已有研究结果表明,杜仲叶、皮中含有17种氨基酸,人体必需氨基酸6种,还含有婴儿生长必需的组氨酸,幼叶中氨基酸总量最高,为13.33%^[5]。杜仲雄花茶含有18种氨基酸,氨基酸总量达21.41%。杜仲花粉中氨基酸总量为21.88 g/100 g,是杜仲皮的4.66倍,杜仲叶的1.45~2.57倍,充分说明杜仲雄花具有很高的营养价值和开发利用潜能^[6,7]。

杜仲雄花目前被批准为新食品原料,以杜仲雄花为原料开发出的茶制品、保健酒、功能饮料等产品在市场上倍受青睐^[8]。探究不同种质杜仲雄花氨基酸含量的变异规律并对其营养价值进行系统评价,可为进一步开发杜仲雄花资源奠定基础,但目前鲜有报道。本研究通过对193份杜仲雄花样品氨基酸含量与组成进行测定,并对其进行多样性分析,利用模糊识别法和氨基酸比值系数法对其营养价值和药用价值进行全面评价,以期为今后杜仲雄花资源开发利用和良种选育提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试杜仲雄花样品共193份,均采自中国林业科学研究院经济林研究开发中心原阳试验基地杜仲基因库,基因库采用6株小区,定植行间距为3 m×3 m。每份试验材料选取6株树,每株树均于2015年3月盛花期分别在树冠中部的东、西、南、北4个方向采摘雄花各约10簇,低温冷藏带回实验室,保存备用。

1.2 氨基酸测定

将采集的杜仲雄花样品于105℃杀青3 min,然后60℃烘干,粉碎过60目筛。称取0.100 g杜仲雄花样品,置于10 mL安瓿瓶中,精密加入6 mol/L盐酸溶液10 mL,抽真空后封口,于110℃烘箱内水解24 h,取出冷却后过滤,定容至50 mL,从中取0.5 mL滤液脱酸,加入2 mL样品稀释液,过0.45 μm微孔滤膜,用A300型氨基酸自动分析仪分析,进样量为20 μL。

1.3 评价方法

为评价分析杜仲雄花与市场上主要植物花粉氨基酸的营养价值,本研究利用模糊识别法与氨基酸比值系数法进行评比,其中银杏花粉、油松花粉、白皮松花粉、山茶花花粉、荞麦花粉氨基酸数据参引已发表文献^[9-12]。

1.3.1 模糊识别法

设U为待评价的植物蛋白,根据兰氏距离法定义杜仲雄花蛋白与标准蛋白(FAO全鸡蛋蛋白)^[13]的贴近度U(a, u_i),即:

$$U(a, u_i) = 1 - 0.09 \sum_{k=1}^7 \frac{|a_k - u_{ik}|}{a_k + u_{ik}}$$

式中,a_k(k=1,2,3……7)为标准蛋白的7种必需氨基酸含量;u_{ik}为第i个评价对象第k种必需氨基酸含量。本实验中,i=1,2,3,4,5,6,分别代表杜仲雄花、银杏花粉、油松花粉、白皮松花粉、山茶花花粉、荞麦花粉。贴近度反应评价对象蛋白质质量与标准蛋白质的接近程度。贴近度的值越接近于1,其蛋白质营养价值相对越高^[13]。

1.3.2 氨基酸比值系数法

采用联合国粮农组织(FAO)/世界卫生组织(WHO)提出的人体必需氨基酸模式^[14]进行对比,并计算样品中必需氨基酸的比值(RAA)、氨基酸比值系数(RC)和氨基酸比值系数分(SRC)。

RAA = 待评蛋白质中某必需氨基酸含量/(FAO/WHO)模式中相应必需氨基酸含量;

RC = 待评蛋白质中某必需氨基酸 RAA/各种氨基酸 RAA 的均值;

SRC = 100-SRD × 100 (SRD为RC的相对标准偏差)

RAA和RC的值越接近于1,表明该必需氨基酸的含量越接近FAO/WHO的推荐值,RC值最低者为第一限制性氨基酸;SRC的值越接近100,表明待评价蛋白质中各种必需氨基酸的含量越均衡,其

营养价值就越高^[15]。

1.4 数据处理与分析

对氨基酸进行分类, 包括总氨基酸(TAA)、人体必需氨基酸(EAA)、非必需氨基酸(NAA)、儿童必需氨基酸、鲜味氨基酸、甜味氨基酸、芳香族氨基酸、药用氨基酸^[16]。采用Excel计算各氨基酸的均值、标准差、变异系数及评价指标。聚类分析采用SPSS 20.0软件, 聚类分析过程中, 先将数据标准化处理, 然后采用欧式平方距离对193份杜仲种质进行系统聚类。对不同来源地和不同类群杜仲雄花氨基酸含量进行单因素方差分析和Duncan多重比较。

2 结果与分析

2.1 杜仲雄花氨基酸含量基本统计

杜仲种质雄花17种氨基酸及总氨基酸含量见表1。杜仲雄花氨基酸含量高, 种类丰富。总氨基酸含量平均为20.62 g/100 g, 17种氨基酸中, 谷氨酸含量最高(4.29 g/100 g), 占总氨基酸含量的20.81%; 其次为天冬氨酸(2.98 g/100 g), 占总氨

基酸含量的14.45%, 表明谷氨酸和天冬氨酸是杜仲雄花中的主要氨基酸; 胱氨酸和蛋氨酸占总氨基酸含量的比例最低, 分别为1.41%和0.73%。杜仲雄花中必需氨基酸含量(6.84 g/100 g), 占总氨基酸含量的33.17%, 7种必需氨基酸中, 亮氨酸含量最高(1.61 g/100 g), 其次是赖氨酸(1.14 g/100 g)和缬氨酸(1.13 g/100 g), 必需氨基酸含量排序依次为: 亮氨酸、赖氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸和异亮氨酸、苏氨酸、蛋氨酸。

不同种质间氨基酸含量存在较大的变异, 其中, 脯氨酸的变异系数最大, 为43.13%, 变异幅度为0.20~2.15 g/100 g, 其次是胱氨酸41.03%, 变异幅度为0.14~20.85 g/100 g; 非必需氨基酸和总氨基酸含量变异系数较低, 分别为13.08%和12.56%。变异幅度分别为9.82~18.62 g/100 g和16.06~25.47 g/100 g。其它氨基酸含量变异系数都在15%以上, 表明杜仲雄花氨基酸有丰富的遗传变异和多样性。

表1 杜仲雄花氨基酸含量基本统计(g/100 g)

Table 1 Basic statistic parameters of amino acids content in *E. ulmoides* male flowers (g/100 g)

| 氨基酸 Amino acids | 平均值 Mean | 最大值 Max. | 最小值 Min. | 标准差 SD | 变异系数 CV(%) |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| 天冬氨酸(Asp) | 2.98 | 4.18 | 1.44 | 0.585 | 19.63 |
| 苏氨酸(Thr)* | 0.89 | 1.30 | 0.52 | 0.164 | 18.43 |
| 丝氨酸(Ser) | 1.02 | 1.77 | 0.67 | 0.164 | 16.08 |
| 谷氨酸(Glu) | 4.29 | 7.56 | 2.18 | 1.109 | 25.85 |
| 甘氨酸(Gly) | 0.88 | 1.17 | 0.54 | 0.136 | 15.45 |
| 丙氨酸(Ala) | 1.05 | 1.53 | 0.64 | 0.189 | 18.00 |
| 胱氨酸(Cys) | 0.29 | 0.85 | 0.14 | 0.119 | 41.03 |
| 缬氨酸(Val)* | 1.13 | 1.61 | 0.72 | 0.188 | 16.64 |
| 蛋氨酸(Met)* | 0.15 | 1.02 | 0.07 | 0.053 | 35.33 |
| 异亮氨酸(Ile)* | 0.96 | 1.46 | 0.66 | 0.160 | 16.67 |
| 亮氨酸(Leu)* | 1.61 | 2.43 | 1.13 | 0.295 | 18.32 |
| 酪氨酸(Tyr) | 0.46 | 0.84 | 0.24 | 0.104 | 22.61 |
| 苯丙氨酸(Phe)* | 0.96 | 1.87 | 0.56 | 0.207 | 21.56 |
| 组氨酸(His) | 0.63 | 1.09 | 0.36 | 0.112 | 17.78 |
| 赖氨酸(Lys)* | 1.14 | 2.07 | 0.36 | 0.442 | 38.77 |
| 精氨酸(Arg) | 1.38 | 3.14 | 0.63 | 0.465 | 33.70 |
| 脯氨酸(Pro) | 0.80 | 2.15 | 0.20 | 0.345 | 43.13 |
| 必需氨基酸(EAA) | 6.84 | 9.43 | 5.06 | 1.107 | 16.18 |
| 非必需氨基酸(NAA) | 13.78 | 18.62 | 9.82 | 1.802 | 13.08 |
| 总氨基酸(TAA) | 20.62 | 25.47 | 16.06 | 2.590 | 12.56 |

注: *代表必需氨基酸。

Note: * indicated essential amino acids.

2.2 杜仲雄花氨基酸营养价值评价

2.2.1 模糊识别法评价分析

由模糊识别法计算得出的杜仲雄花和其它植物花粉蛋白的贴近度见表2。杜仲雄花蛋白贴近度为

0.887, 高于松花粉和银杏花粉, 略低于山茶花花粉的营养价值。说明杜仲雄花蛋白有很高的营养价值。

表2 杜仲雄花和其它植物花粉蛋白的贴近度

Table 2 Closeness degrees of *E. ulmoides* male flowers and other pollen proteins

| 待评价蛋白 For evaluation of protein | 编号 Codes | 贴近度 Closeness degree |
|--------------------------------------|----------|----------------------|
| 杜仲雄花 <i>E. ulmoides</i> male flowers | u_1 | 0.887 |
| 银杏花粉 <i>G. biloba</i> pollen | u_2 | 0.792 |
| 油松花粉 <i>P. tabulaeformis</i> pollen | u_3 | 0.875 |
| 白皮松花粉 <i>P. bungeana</i> pollen | u_4 | 0.875 |
| 山茶花花粉 <i>Camellia</i> pollen | u_5 | 0.965 |
| 荞麦花粉 <i>Fagopyrum</i> pollen | u_6 | 0.884 |

2.2.2 氨基酸比值系数法评价分析

2.2.2.1 人体必需氨基酸的组成比例

食品中蛋白质的营养价值主要取决于其含有的必需氨基酸种类、数量及组成比例, 其组成比例越接近人体必需氨基酸组成比例, 就说明其质量越优良。FAO/WHO 规定的理想蛋白质的标准为 EAA/TAA = 40%, EAA/NEAA = 60%^[14]。本实验中杜仲雄花 EAA/TAA 值为 33.17%, EAA/NEAA 值为 49.64%, 接近 FAO/WHO 规定值。

杜仲雄花与其它植物花粉人体必需氨基酸的比例与氨基酸模式谱的比较见表3。仅(蛋氨酸 + 胱氨酸)中度缺乏, 其它必需氨基酸占氨基酸的比例均符合氨基酸模式谱, 与松花粉相近, 但是松花粉总氨基酸含量明显低于杜仲雄花总氨基酸含量; 荞麦花粉必需氨基酸与标准模式谱差距较大, 因此杜仲雄花蛋白中必需氨基酸的组成比例较为均衡, 可作为优质的蛋白质资源。

表3 人体必需氨基酸与氨基酸模式谱的比较(g/100 g)

Table 3 Comparison of essential amino acids and amino acids pattern spectrum (g/100 g)

| 植物 Plants | Thr | Val | Met + Cys | Ile | Leu | Phe + Tyr | Lys |
|--------------------------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|
| FAO/WHO 模式 FAO/WHO pattern spectrum | 4.0 | 5.0 | 3.5 | 4.0 | 7.0 | 6.0 | 5.5 |
| 杜仲雄花 <i>E. ulmoides</i> male flowers | 4.3 | 5.5 | 2.2 | 4.7 | 7.8 | 6.9 | 5.5 |
| 银杏花粉 <i>G. biloba</i> pollen | 5.4 | 3.0 | 3.3 | 2.4 | 7.3 | 4.9 | 2.3 |
| 油松花粉 <i>P. tabulaeformis</i> pollen | 4.5 | 5.4 | 1.1 | 4.4 | 7.6 | 6.5 | 7.6 |
| 白皮松花粉 <i>P. bungeana</i> pollen | 4.8 | 5.3 | 1.3 | 4.5 | 7.6 | 6.3 | 8.3 |
| 山茶花花粉 <i>Camellia</i> pollen | 4.5 | 6.1 | 5.2 | 5.2 | 8.1 | 8.0 | 7.3 |
| 荞麦花粉 <i>Fagopyrum</i> pollen | 4.2 | 5.2 | 1.0 | 4.1 | 6.7 | 7.4 | 4.3 |

2.2.2.2 人体必需氨基酸的 RAA、RC、SRC

人体必需氨基酸的 RAA、RC、SRC 见表4。杜仲雄花必需氨基酸的 RAA 和 RC 值均接近 1, 表明这些必需氨基酸接近于 FAO/WHO 的推荐值; 山茶花花粉必需氨基酸 RAA 值明显高于 1, 表明山茶花花粉中必需氨基酸相对过剩, 松花粉(蛋氨酸 + 胱氨酸)较缺乏; 杜仲雄花(蛋氨酸 + 胱氨酸)的 RC 值最小, 表明(蛋氨酸 + 胱氨酸)为杜仲雄花的第一限

制氨基酸, 而山茶花花粉中(蛋氨酸 + 胱氨酸)含量较高, 因此可将杜仲雄花与山茶花花粉互补, 提高营养价值。

杜仲雄花 SRC 值分别为 81.42, 低于山茶花花粉(90.30), 明显高于银杏花粉、松花粉和荞麦花粉, 接近羊肉(81.83)^[16]、猪肉(85.84)^[16]等动物蛋白, 可视为营养价值较高的植物蛋白。

表4 各种人体必需氨基酸 RAA、RC、SRC
Table 4 RAA, RC and SRC of essential amino acids

| 植物 Plants | RAA RC | Thr | Val | Met + Cys | Ile | Leu | Phe + Tyr | Lys | SRC |
|--------------------------------------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|-------|
| 杜仲雄花 <i>E. ulmoides</i> male flowers | RAA | 1.07 | 1.09 | 0.61 | 1.17 | 1.12 | 1.15 | 1.00 | 81.42 |
| | RC | 1.04 | 1.06 | 0.60 | 1.13 | 1.08 | 1.12 | 0.97 | |
| 银杏花粉 <i>G. biloba</i> pollen | RAA | 1.36 | 0.60 | 0.95 | 0.59 | 1.04 | 0.81 | 0.42 | 61.11 |
| | RC | 1.65 | 0.73 | 1.16 | 0.72 | 1.26 | 0.98 | 0.51 | |
| 油松花粉 <i>P. tabulaeformis</i> pollen | RAA | 1.14 | 1.07 | 0.31 | 1.09 | 1.08 | 1.08 | 1.39 | 67.42 |
| | RC | 1.11 | 1.05 | 0.30 | 1.07 | 1.05 | 1.05 | 1.36 | |
| 白皮松花粉 <i>P. bungeana</i> pollen | RAA | 1.20 | 1.07 | 0.38 | 1.13 | 1.08 | 1.05 | 1.50 | 68.15 |
| | RC | 1.13 | 1.01 | 0.36 | 1.07 | 1.02 | 0.99 | 1.42 | |
| 山茶花花粉 <i>Camellia</i> pollen | RAA | 1.12 | 1.21 | 1.49 | 1.30 | 1.16 | 1.34 | 1.33 | 90.30 |
| | RC | 0.88 | 0.95 | 1.16 | 1.02 | 0.91 | 1.04 | 1.04 | |
| 荞麦花粉 <i>Fagopyrum</i> pollen | RAA | 1.07 | 1.03 | 0.30 | 1.03 | 0.96 | 1.23 | 0.78 | 66.79 |
| | RC | 1.16 | 1.31 | 0.33 | 1.13 | 1.05 | 1.35 | 0.85 | |

2.2.3 儿童必需氨基酸、味觉氨基酸和药用氨基酸组成分析

儿童必需氨基酸、味觉氨基酸和药用氨基酸含量见表5、图1。杜仲雄花儿童必需氨基酸(His + Arg)含量为2.01 g/100 g, 占总氨基酸含量的9.75%, 明显高于其它植物花粉; 杜仲雄花鲜味氨基酸(Asp + Glu)含量为7.27 g/100 g, 占总氨基酸含量的35.26%, 与银杏花粉相当; 甜味氨基酸(Ser + Gly + Ala + Pro)含量中等, 为3.75 g/100 g, 占总氨基酸含量的18.19%; 芳香族氨基酸(Tyr + Phe)含量为1.42 g/100 g, 占总氨基酸含量的6.89%, 略低于山茶花花粉, 明显高于银杏花粉、松花粉和荞麦花粉。杜仲雄花味觉氨基酸含量从高到低依次为: 鲜味氨基酸、甜味氨基酸、芳香族氨基酸。杜仲雄花茶、雄花酒中独特的气味可能与高含量的味觉氨基酸有密切联系。

杜仲雄花中药用氨基酸含量极高, 平均为13.86 g/100 g, 在所比较的植物中处于第一位, 占氨基酸总量的67.22%, 与部分中药相比, 含量仅次于党参(70%)^[16], 高于枇杷(56%)^[16]、西藏产冬虫夏草(57.54%)^[17]。说明杜仲雄花可作为药用价值较高的植物蛋白。

2.3 不同来源杜仲种质雄花氨基酸含量的差异分析

不同来源杜仲种质雄花各类氨基酸含量见表6。不同来源杜仲雄花各类氨基酸含量差异有统计学意义。贵州种质总氨基酸含量最高(21.32 g/100 g), 显著高于广东地区种质; 必需氨基酸含量也以贵州地区最高(7.50 g/100 g), 显著高于广东地区种质; 儿童必需氨基酸以广东(2.28 g/100 g)、贵州(2.27 g/100 g)含量最高, 显著高于浙江和安徽种质; 鲜味氨基酸以广东地区最低(4.78 g/100 g), 显

表5 儿童必需氨基酸、味觉氨基酸和药用氨基酸含量(g/100 g)

Table 5 Content of children essential amino acids, tasteactive and therapeutic amino acids (g/100 g)

| 氨基酸 Amino acids | 杜仲雄花 <i>E. ulmoides</i> male flowers | 银杏花粉 <i>G. biloba</i> pollen | 油松花粉 <i>P. tabulaeformis</i> pollen | 白皮松花粉 <i>P. bungeana</i> pollen | 山茶花花粉 <i>Camellia</i> pollen | 荞麦花粉 <i>Fagopyrum</i> pollen |
|--|--|---------------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 儿童必需氨基酸 Children essential amino acids | 2.01 | 1.13 | 1.58 | 1.35 | 1.57 | 0.85 |
| 鲜味氨基酸 Umami amino acids | 7.27 | 7.42 | 2.53 | 3.13 | 4.19 | 4.59 |
| 甜味氨基酸 Sweet amino acids | 3.75 | 8.31 | 2.79 | 2.46 | 5.12 | 4.15 |
| 芳香族氨基酸 Aromatic amino acids | 1.42 | 1.15 | 0.71 | 0.71 | 1.57 | 1.06 |
| 药用氨基酸 Therapeutic amino acids | 13.86 | 12.77 | 6.83 | 7.37 | 11.39 | 8.61 |

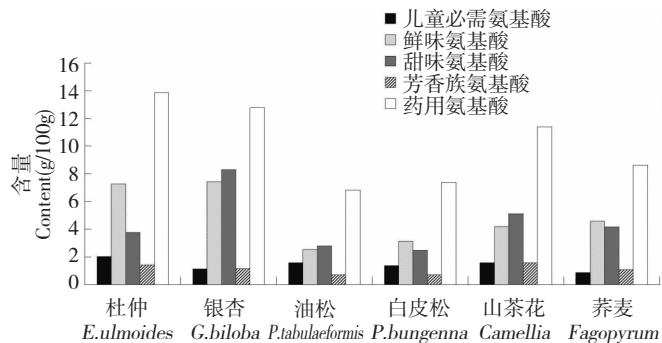


图 1 儿童必需氨基酸、味觉氨基酸和药用氨基酸含量

Fig. 1 Content of children essential amino acids, taste-active and therapeutic amino acids

著低于其他地区种质,湖南(7.76 g/100 g)和北京(7.54 g/100 g)最高;甜味氨基酸以四川地区含量最高(4.48 g/100 g),北京、江苏、湖南等6个地区;芳香族氨基酸贵州(1.57 g/100 g)、北京(1.46 g/

100 g)含量较高,显著高于安徽地区种质;来自北京、贵州和湖南的种质药用氨基酸含量最高,分别达到了15.20 g/100 g、14.30 g/100 g和14.24 g/100 g,显著高于广东地区种质。

表 1 不同来源间杜仲雄花氨基酸含量比较(g/100 g)

Table 1 Comparison of amino acids content among different origins (g/100 g)

| 来源地 Origins | 总氨基酸 TAA | 必需氨基酸 EAA | 儿童必需 氨基酸 Children essential amino acids | 鲜味氨基酸 Umami amino acids | 甜味氨基酸 Sweet amino acids | 芳香族氨基酸 Aromatic amino acids | 药用氨基酸 Therapeutic amino acids |
|----------------|-----------------|---------------|--|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 北京 | 21.10 ± 4.88ab | 6.96 ± 3.33ab | 2.09 ± 0.54ab | 7.54 ± 1.73b | 3.74 ± 0.86ab | 1.46 ± 0.32ab | 14.35 ± 3.46b |
| 江苏 | 18.73 ± 4.02 ab | 6.49 ± 1.36ab | 1.64 ± 0.50ab | 6.48 ± 1.28b | 3.41 ± 0.66a | 1.33 ± 0.32ab | 12.31 ± 2.72ab |
| 湖南 | 20.83 ± 4.10 ab | 6.72 ± 1.51ab | 1.99 ± 0.54ab | 7.76 ± 1.25b | 3.62 ± 0.57ab | 1.37 ± 0.29ab | 14.24 ± 2.92b |
| 贵州 | 21.32 ± 5.11 b | 7.50 ± 1.52b | 2.27 ± 0.81b | 6.87 ± 1.72b | 3.84 ± 0.77abc | 1.57 ± 0.21b | 14.30 ± 3.66b |
| 浙江 | 18.72 ± 2.79 ab | 6.17 ± 1.18ab | 1.56 ± 0.26a | 6.86 ± 0.79b | 3.47 ± 0.48a | 1.22 ± 0.16ab | 12.28 ± 1.86ab |
| 河北 | 20.33 ± 4.99 ab | 6.66 ± 1.52ab | 1.97 ± 0.52ab | 7.28 ± 1.81b | 3.70 ± 0.93ab | 1.38 ± 0.37ab | 13.67 ± 3.44ab |
| 四川 | 19.71 ± 0.99 ab | 6.09 ± 0.68ab | 1.88 ± 0.28ab | 6.31 ± 0.65b | 4.48 ± 0.75c | 1.38 ± 0.28ab | 12.36 ± 0.61ab |
| 广东 | 17.73 ± 1.87a | 5.66 ± 0.23a | 2.28 ± 0.07b | 4.78 ± 0.52a | 4.33 ± 1.00bc | 1.42 ± 0.03ab | 11.14 ± 0.77a |
| 安徽 | 18.71 ± 1.72 ab | 6.03 ± 0.34ab | 1.54 ± 0.10a | 6.53 ± 0.99b | 4.01 ± 0.23abc | 1.16 ± 0.05a | 11.83 ± 1.41ab |
| 河南 | 20.65 ± 4.61 ab | 6.89 ± 1.48ab | 1.98 ± 0.60ab | 7.30 ± 1.62b | 3.75 ± 0.73ab | 1.41 ± 0.27ab | 13.82 ± 3.30ab |

注:同列不同字母表示在0.05水平上差异显著。

Note: Different letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

2.4 不同来源间杜仲雄花氨基酸营养价值评价

不同来源杜仲雄花氨基酸营养价值评价表见表7。不同来源地杜仲雄花必需氨基酸RAA、RC值相差不大,大多接近1,表明这些必需氨基酸接近于FAO/WHO的推荐值;各地区第一限制氨基酸均为Met+Cys。贵州、河北、湖南、北京、江苏地区的SRC值均较高,贴近度以贵州、江苏、河南、北京、浙江地区较高,均在0.886以上。

2.5 杜仲雄花氨基酸含量聚类分析

对17种氨基酸标准化处理后,采用欧式平方距

离进行系统聚类,在遗传距离5.5处将193份杜仲种质资源聚为4大类群(图2),各类群的特征见表8,4个类群各氨基酸含量差异有统计学意义。第Ⅰ类群包括41份种质,该类群种质儿童必需氨基酸、鲜味氨基酸和药用氨基酸含量均较高,分别达到2.39 g/100 g、8.74 g/100 g和15.87 g/100 g,在4个类群中位居第一位,且氨基酸含量相对比较稳定,该类群种质氨基酸含量较高,开发利用价值较大。第Ⅱ类群包括68份种质,该类群种质总氨基酸含量、必需氨基酸含量、甜味氨基酸和芳香族氨基酸含量

表 7 不同来源地杜仲雄花必需氨基酸 RAA、RC、SRC 及贴近度

Table 7 RAA, RC, SRC and closeness degrees of essential amino acids among different origins

| 来源地 Origins | RAA RC | Thr | Val | Met + Cys | Ile | Leu | Phe + Tyr | Lys | SRC | 贴近度 Closeness degree |
|----------------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|-------|----------------------------|
| 北京 Beijing | RAA | 1.02 | 1.08 | 0.61 | 1.15 | 1.10 | 1.16 | 1.05 | 81.71 | 0.886 |
| | RC | 0.99 | 1.06 | 0.60 | 1.13 | 1.07 | 1.13 | 1.03 | | |
| 江苏 Jiangsu | RAA | 1.21 | 1.12 | 0.67 | 1.21 | 1.20 | 1.18 | 0.96 | 81.17 | 0.899 |
| | RC | 1.12 | 1.04 | 0.61 | 1.12 | 1.11 | 1.10 | 0.89 | | |
| 湖南 Hunan | RAA | 1.02 | 1.06 | 0.61 | 1.11 | 1.09 | 1.09 | 1.01 | 82.14 | 0.878 |
| | RC | 1.02 | 1.07 | 0.60 | 1.11 | 1.09 | 1.09 | 1.00 | | |
| 贵州 Guizhou | RAA | 1.06 | 1.10 | 0.72 | 1.18 | 1.22 | 1.23 | 1.12 | 83.93 | 0.900 |
| | RC | 0.97 | 1.01 | 0.66 | 1.08 | 1.12 | 1.12 | 1.03 | | |
| 浙江 Zhejiang | RAA | 1.25 | 1.14 | 0.64 | 1.26 | 1.17 | 1.08 | 0.67 | 74.50 | 0.886 |
| | RC | 1.21 | 1.10 | 0.62 | 1.22 | 1.14 | 1.05 | 0.65 | | |
| 河北 Hebei | RAA | 1.08 | 1.09 | 0.62 | 1.10 | 1.07 | 1.13 | 1.01 | 82.60 | 0.884 |
| | RC | 1.06 | 1.07 | 0.61 | 1.08 | 1.05 | 1.12 | 1.00 | | |
| 四川 Sichuan | RAA | 1.22 | 0.93 | 0.68 | 1.31 | 0.91 | 1.18 | 0.76 | 75.64 | 0.872 |
| | RC | 1.22 | 0.93 | 0.67 | 1.31 | 0.91 | 1.18 | 0.76 | | |
| 广东 Guangdong | RAA | 0.93 | 1.16 | 0.50 | 1.19 | 1.07 | 1.33 | 0.75 | 70.88 | 0.875 |
| | RC | 0.93 | 1.17 | 0.50 | 1.19 | 1.08 | 1.34 | 0.77 | | |
| 安徽 Anhui | RAA | 1.40 | 1.06 | 0.51 | 1.23 | 1.22 | 1.03 | 0.54 | 65.26 | 0.865 |
| | RC | 1.40 | 1.06 | 0.51 | 1.23 | 1.22 | 1.03 | 0.54 | | |
| 河南 Henan | RAA | 1.08 | 1.07 | 0.56 | 1.14 | 1.09 | 1.10 | 0.94 | 79.75 | 0.888 |
| | RC | 1.07 | 1.08 | 0.55 | 1.14 | 1.10 | 1.11 | 0.94 | | |

表 8 不同类群各类氨基酸含量比较

Table 8 Comparison of amino acids content among four groups

| 氨基酸 Amino acids | 项目 Item | 类群 Groups | | | |
|---|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 类群 I Group I | 类群 II Group II | 类群 III Group III | 类群 IV Group IV |
| 总氨基酸 TAA | 均值 ± 标准差 变异系数(%) | 22.44 ± 1.50b 6.68 | 22.46 ± 1.73b 7.02 | 18.23 ± 1.43a 7.84 | 18.26 ± 1.34a 7.34 |
| 必需氨基酸 EAA | 均值 ± 标准差 变异系数(%) | 7.00 ± 0.52b 7.43 | 7.92 ± 0.78c 9.85 | 6.01 ± 0.67a 11.15 | 5.76 ± 0.41a 7.12 |
| 儿童必需氨基酸 Children essential amino acids | 均值 ± 标准差 变异系数(%) | 2.39 ± 0.42c 17.57 | 2.24 ± 0.44c 19.64 | 1.74 ± 0.31b 17.82 | 1.53 ± 0.25a 16.34 |
| 鲜味氨基酸 Umami amino acids | 均值 ± 标准差 变异系数(%) | 8.74 ± 1.07c 12.24 | 7.35 ± 1.11b 15.10 | 6.60 ± 0.99a 15.00 | 6.40 ± 0.76a 11.88 |
| 甜味氨基酸 Sweet amino acids | 均值 ± 标准差 变异系数(%) | 3.50 ± 0.34b 9.71 | 4.10 ± 0.39c 9.51 | 3.21 ± 0.31a 9.66 | 3.95 ± 0.56c 14.18 |
| 芳香族氨基酸 Aromatic amino acids | 均值 ± 标准差 变异系数(%) | 1.52 ± 0.16b 10.53 | 1.64 ± 0.23c 14.02 | 1.22 ± 0.17a 13.93 | 1.18 ± 0.15a 12.71 |
| 药用氨基酸 Therapeutic amino acids | 均值 ± 标准差 变异系数(%) | 15.87 ± 1.32d 8.31 | 15.01 ± 1.03c 6.86 | 12.38 ± 1.18b 9.53 | 11.53 ± 0.92a 7.98 |

注: 同行不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: Different letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level.

在 4 个类群中最高, 分别为 22.46 g/100 g、7.92 g/100 g、4.10 g/100 g 和 1.64 g/100 g, 显著高于第

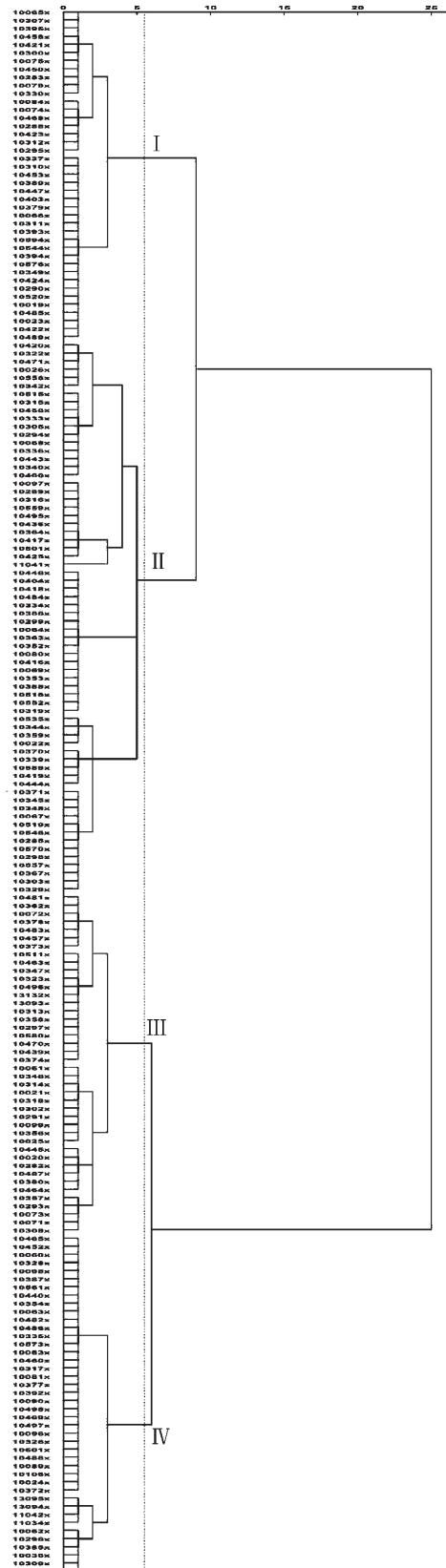


图 2 杜仲种质雄花氨基酸聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of amino acids in *Eucommia ulmoides* male flowers

III、第IV类群种质,儿童必需氨基酸、鲜味氨基酸和药用氨基酸含量在4各类群中处于第二位,该类群种质属于高氨基酸含量性,在杜仲雄花营养成分尤其是氨基酸开发利用上可以着重考虑该类群种质。第III类群和包括42份种质,第IV类群包括42份种质,这2个类群种质各类氨基酸含量相对较低,表现较差,可对其进行改良后再开发利用。

3 结论与讨论

杜仲的营养品质主要体现在杜仲雄花的营养成分,尤其是雄花中的蛋白质氨基酸含量及组分^[18],但还没有人对数量庞大的杜仲种质雄花氨基酸含量及组分进行分析,并进行营养价值评价。本研究通过对193份杜仲种质雄花中17种氨基酸含量及组成进行测定分析,结果表明供试材料间氨基酸含量、必需氨基酸及总氨基酸含量差异较大,变异程度高,表现出丰富的多样性。其中,总氨基酸含量平均为20.62 g/100 g,17种氨基酸中,谷氨酸含量(4.29 g/100 g)最高,其次为天冬氨酸(2.98 g/100 g)。不同种质间各氨基酸含量及组分存在较大的变异,氨酸的变异系数最大,为43.13%,其次是脯氨酸41.03%。较高的变异和丰富的遗传多样性为杜仲种质雄花氨基酸含量改良提供了可能。

通过模糊识别法和氨基酸比值系数法对杜仲雄花氨基酸进行营养价值评价,结果表明,杜仲雄花EAA/TAA值为33.17%,EAA/NEAA值为49.64%,接近FAO/WHO规定值,且必需氨基酸组成比例大部分符合FAO/WHO推荐的人体必需氨基酸含量模式,仅(蛋氨酸+胱氨酸)中度缺乏;杜仲雄花蛋白的贴近度为0.887,接近标准蛋白,高于松花粉和银杏花粉;RAA及RC的数值大都接近于1, SRC均值为81.42,说明杜仲雄花中必需氨基酸的含量越接近FAO/WHO的推荐值,且含量较均衡;此外,杜仲雄花中味觉氨基酸和药用氨基酸含量丰富,尤其是药用氨基酸含量,明显高于其它植物花粉中药用氨基酸含量。表明杜仲雄花蛋白有较高的营养价值和药用价值。

对不同来源杜仲雄花氨基酸含量的比较结果表明,不同来源间杜仲雄花氨基酸差异有统计学意义,其中,来自贵州、北京地区的雄花中总氨基酸、必需氨基酸、味觉氨基酸和药用氨基酸含量均较高,表现最佳,其次是河南、湖南。进一步对不同来源地杜仲

雄花氨基酸营养价值评价,发现不同来源间杜仲雄花必需氨基酸 RAA、RC 值相差不大,大多接近 1;但贵州、河北、湖南、北京、江苏地区的 SRC 值均较高,贴近度以贵州、江苏、河南、北京、浙江地区较高,均在 0.886 以上。综合各类氨基酸含量及其营养价值,来源于贵州、北京、河南、湖南地区的杜仲雄花氨基酸含量及营养价值相对较高。

本研究对杜仲种质雄花氨基酸含量进行系统聚类,将含量相近的聚为一类,以便系统地分析杜仲种质雄花氨基酸含量及组分。193 份杜仲种质在遗传距离 5.5 处聚为 4 类。第 I 类群种质儿童必需氨基酸、鲜味氨基酸和药用氨基酸含量均最高;第 II 类群种质总氨基酸含量、必需氨基酸含量、甜味氨基酸和芳香族氨基酸含量最高,其它氨基酸含量都处于第二位;第 III 类群和第 IV 类群种质各类氨基酸含量相对较低。综合来看,第 II 类群种质氨基酸含量较高,可为杜仲育种及雄花资源开发利用提供宝贵的材料。

参考文献

- Du HY(杜红岩). China *Eucommia* Pictorial (中国杜仲图志). Beijing: China Forestry Publishing House, 2014. 76-79.
- He JJ(赫锦锦). Studies on variation of secondary metabolites in Eucommia bark and Eucommia male flower. Kaifeng: Henan University(河南大学), MSc. 2010.
- Zhang XJ(章希娟), Jiang JM(蒋际谋), Deng ZJ(邓朝军), et al. The content and composition of amino acids in 31 loquat germplasms. *Chin J Tropic Crop* (热带作物学报), 2013, 34: 2090-2096.
- Wang F(王芳), Gao YL(高瑜珑), Ruan Q(阮琴), et al. Amino acids composition and nutritional value in *Camellia japonica* L. *J Zhejiang Normal Univ* (浙江师范大学学报), 2015, 38(3): 342-347.
- Zhang KJ(张康健), Wang L(王蓝), Zhang FY(张凤云), et al. A comparison between active component contents in the bark and leaves of *Eucommia ulmoides*. *J Normal For Coll* (西北林学院学报), 1996, 2: 42-46.
- Du HY(杜红岩), Li Q(李钦), Du LY(杜兰英), et al. Analysis of nutritional components from *Eucommia ulmoides* male flower drink. *J Central Sou Univ Forest Technol* (中南林业科技大学学报), 2007, 27(6): 88-91.
- Du HY(杜红岩), Hu WZ(胡文臻), Yu R(俞锐), et al. Green Book of *Eucommia* Industry. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2013. 188-190.
- Chen QL(陈千良), Shi ZY(石张燕), Gao Y(高扬), et al. Study on quality standard of *Eucommia Fructus* of Shaanxi province. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2014, 26: 289-293.
- Wang GX(王国霞), Cao FL(曹福亮). Comparative study on nutrient components of *Ginkgo biloba* pollen from 4 major production areas. *J Zhejiang Forest Sci Technol* (浙江林业科技), 2007, 27(3): 8-11.
- Zhi CY(支崇远), Wang KF(王开发). Study on the nutrient components of four kinds of pollen in China. *Chin J Nat Med* (中国自然医学杂志), 2004, 6(2): 81-83.
- Dong WB(董文滨), Wu XB(吴小波), Liu F(刘锋), et al. Composition of amino acids, fatty acids and miner for different regions of Rape pollen, Camellia pollen. *Apic Chin* (中国蜂业), 2013, 64: 50-54.
- Yang HB(杨寒冰), Yin KQ(殷客卿), Chen J(陈晶), et al. Analysis of nutrition composition on four pollens. *Apic Chin* (中国蜂业), 2010, 61(6): 11-14.
- Wang F(王芳), Qiao L(乔璐), Zhang QQ(张庆庆), et al. Amino acid composition and nutritional evalution of mulberry leaves. *Food Sci* (食品科学), 2015, 36: 225-228.
- FAO/WHO. Energy and protein requirements [C]// FAO Nutrition Meeting Report Series. Roma: FAO, 1973. 52-63.
- Zheng XJ(郑小江), Xiang DS(向东山), Xiao H(肖浩). Amino acid composition analysis and nutritional evaluation of Jingyang fowl. *Food Sci* (食品科学), 2010, 31: 373-375.
- Jiang ZM(姜仲茂), Wu Yu TN(乌云塔娜), Wang S(王森), et al. Amino acid composition and nutritional quality evaluation of wild *Amygdalus pedunculatus* Pall. kernels from different regions. *Food Sci* (食品科学), Accepted.
- Yan D(严冬), Yang XY(杨鑫嵎). Analysis of amino acid composition and evaluation of nutritional quality in *Cordyceps sinensis* from different regions of Tibet. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2014, 30: 281-284.
- Ma RP(马仁萍). Study on the primary metabolites and secondary metabolites in pollen of *Eucommia ulmoides* Oliv. Yangling: Northwest Agricultural Forestry University (西北农林科技大学), MSc. 2008.