

杜庆鑫, 魏艳秀, 刘攀峰, 等. 杜仲雄花氨基酸主成分分析与综合评价[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(1): 76-81.

杜仲雄花氨基酸主成分分析与综合评价

杜庆鑫, 魏艳秀, 刘攀峰, 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, 河南 郑州 450003)

摘要:【目的】研究不同种质杜仲 *Eucommia ulmoides* 雄花氨基酸含量差异, 评价杜仲雄花基于氨基酸构成的综合品质。【方法】利用自动氨基酸分析仪对 193 份杜仲种质雄花氨基酸含量及组成进行测定, 采用主成分分析法对杜仲雄花氨基酸进行客观评价, 计算综合得分及排名。【结果】193 份杜仲种质雄花中均含有 17 种氨基酸, 总氨基酸和必需氨基酸质量分数分别为 206.23 和 68.37 mg · g⁻¹, 天冬氨酸和谷氨酸是主要的 2 种氨基酸。经主成分分析提取了 6 个主成分, 且第 1 和第 2 主成分(必需氨基酸因子)对杜仲雄花氨基酸影响较大。按 5% 入选率确定了氨基酸性状优良的 6 种雄花资源, 综合评价得出 9 个种质(10419x、10519x、10345x、10444x、10370x、10552x、10589x、10339x 和 10515x) 杜仲雄花氨基酸品质较好。【结论】主成分分析法可以有效比较不同种质杜仲雄花氨基酸综合质量。

关键词: 杜仲雄花; 氨基酸; 主成分分析; 综合评价
中图分类号: S727.3; TS207.3 文献标志码: A 文章编号: 1001-411X(2017)01-0076-06

Principal component analysis and overall evaluation of amino acids in *Eucommia ulmoides* male flowers

DU Qingxin, WEI Yanxiu, LIU Panfeng, QING Jun, DU Hongyan

(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:【Objective】To study the difference in amino acid content among male flowers of different *Eucommia ulmoides* germplasm, and evaluate the comprehensive quality of *E. ulmoides* male flowers based on amino acid composition. 【Method】The contents and compositions of amino acids in male flowers of 193 *E. ulmoides* germplasm resources were determined by automatic amino acid analyzer, then the qualities based on amino acid contents were evaluated objectively by principal component analysis, and overall scores and rankings were calculated. 【Result】There were 17 kinds of amino acids in male flowers of 193 *E. ulmoides* germplasm resources. The contents of total amino acids and essential amino acids were 206.23 and 68.37 mg · g⁻¹ respectively, among which aspartic acid and glutamic acid were the two major amino acids. Six principal components were extracted, and the first and second principal components (factors of essential amino acids) had relatively high influence on amino acid contents in *E. ulmoides* male flowers. Six types of *E. ulmoides* germplasm with superior amino acid traits of male flowers were chosen by selecting the top 5%, and the male flowers of nine *E. ulmoides* germplasm resources including 10419x, 10519x, 10345x, 10444x, 10370x, 10552x, 10589x, 10339x and 10515x were evaluated as having the best quality based on their amino acid compositions. 【Conclusion】The principal component analysis could be used to analyze the comprehensive quality of male flowers among diverse *E. ulmoides* germplasm based on amino acid compositions.

Key words: *Eucommia ulmoides* male flower; amino acid; principal component analysis; overall evaluation

杜仲 *Eucommia ulmoides* 又名思仙、思仲、扯丝皮、丝绵树等,是我国特有的经济树种和珍稀二级保护植物。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^[1-2]。杜仲雄花富含多种氨基酸、维生素、多糖、微量元素等营养物质,同时具有很高的药用价值^[3-4],目前,杜仲雄花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^[5-6]。

氨基酸是重要的生物活性物质,参与人体内正常的代谢和生理活动,具有营养、生理、生化等多种重要功能^[7-8]。植物中氨基酸的含量、种类是评价其营养和药用价值优劣的主要指标之一^[9]。因此,杜仲雄花中氨基酸的种类和含量对杜仲雄花产品品质有显著影响,分析其种类和含量则显得尤为重要,然而,氨基酸种类较多,分析困难,科学的选择统计分析方法也至关重要。主成分分析(Principal component analysis, PCA)是采用降维的方法,从多个存在一定相关关系的变量中选出几个新的综合变量,而新的综合变量又能反映原来多个变量所提供的主要信息,从而简化数据结构,寻找变量间的线性关系^[10-11]。利用主成分分析产品品质的方法已经展开研究,马云明等^[12]通过对云南烤烟主要化学成分的主成分分析得到3个主成分。王沛等^[13]通过主成分分析对中早熟苹果脆片进行品质评价。薛敏等^[14]对不同品种猕猴桃果实游离氨基酸进行主成分分析与综合评价。目前对杜仲雄花中氨基酸主成分分析的研究鲜见报道。本文以193份雄花用杜仲为材料,利用氨基酸自动分析仪对雄花中氨基酸含量进行测定,并以氨基酸作为分析变量,对不同种质杜仲雄花氨基酸品质进行主成分分析与综合评价,为评价杜仲雄花品质及选择优良育种材料提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

供试材料共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(113°36'E, 34°55'N)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。

17种氨基酸标准品购自于美国Sigma公司,高纯氮气购自于河南源正科技发展有限公司,茛三酮、抗坏血酸、盐酸等均为分析纯。

A300型自动氨基酸分析仪(德国曼默博尔公司

产品);FA1204B型万分之一电子分析天平(上海精密仪器仪表有限公司产品);ND200-1氮吹仪(杭州瑞诚仪器有限公司产品);DHG-91013SA型电热恒温鼓风干燥箱(上海三发科学仪器有限公司产品)。

1.2 色谱条件

阳离子交换树脂分析柱,检测波长570和440 nm,缓冲液流速0.4 mL·min⁻¹,改变5次,柱压9.8~10.2 kPa,柱温57℃;茛三酮溶液流速0.4 mL·min⁻¹,泵压2.8~3.0 kPa,柱压9.6~9.8 kPa,分析时间40 min,进样量20 μL,标准品浓度100 nmol·mL⁻¹,氮气压0.4 kPa。

1.3 样品测定及含量计算

氨基酸含量测定参照GB/T5009.124-2003《食品中氨基酸的测定》^[15]方法,并略有改动。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⁻¹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。

1.4 分析方法

1.4.1 适用性检验 适用性检验采用相关系数矩阵检验,计算氨基酸之间的Pearson相关系数,根据相关系数的大小确定氨基酸含量之间的线性关系来进行适用性检验。

1.4.2 主成分分析 特征值和贡献率是选择主成分的依据。首先对原始数据进行标准化处理,然后计算性状相关矩阵的特征值和特征向量,以及各个主成分的方差贡献率和累积方差贡献率,以累积贡献率大于85%且特征值大于1为提取主成分的标准^[16-17]。

1.4.3 杜仲雄花氨基酸品质综合评价 杜仲雄花氨基酸的综合评价得分(Z)按照下式进行计算:

$$Z = \sum Z_i \times y_i, \quad (1)$$

$$Z_i = \sum A_i \times X_j, \quad (2)$$

式中, Z_i 为各主成分得分值, $i=1\sim6$, y_i 为各主成分对应的方差贡献率, A 为主成分向量值, $j=1\sim17$, X_j 为各主成分对应的性状。

2 结果与分析

2.1 杜仲雄花17种氨基酸测定结果

氨基酸混合标准品色谱图见图1,17种氨基酸在80 min内得到很好的分离;杜仲雄花水解氨基酸

色谱图见图 2,17 种氨基酸在 80 min 内依次出峰,基线平稳,峰间距较为合理。杜仲雄花 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。总氨基酸质量分数平均为 $206.23\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,17 种氨基酸中,谷氨酸质量分数最高 ($42.91\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),占总氨基酸含量的 20.81%;其次为天冬氨酸 ($29.84\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),占总氨基酸质量分数的 14.47%,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 1.40% 和 0.75%。杜仲雄花中必需氨基酸质量分数 ($68.37\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),占总氨基酸含量的 33.15%,7 种必需氨基酸中,亮氨酸质量分数最高 ($16.11\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),其次是赖氨酸 ($11.36\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 和缬氨酸 ($11.29\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),必需氨基酸含量由高到低排序依次为:亮氨酸、赖氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸和蛋氨酸。

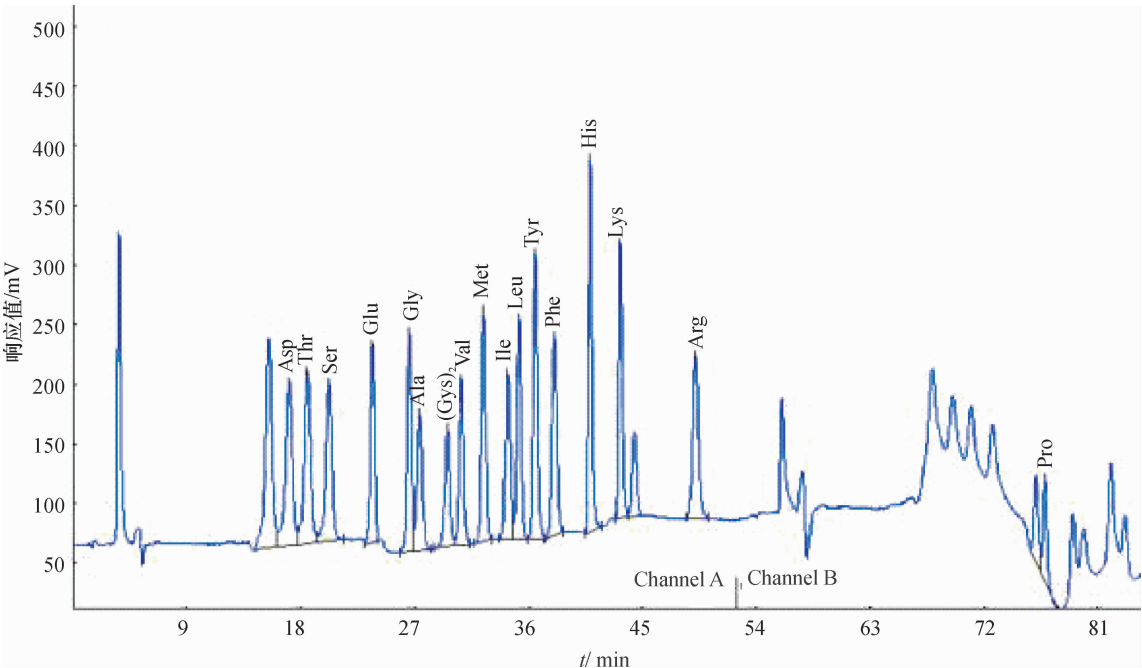


图 1 氨基酸标准品色谱图

Fig. 1 Spectrum of standard samples of amino acids

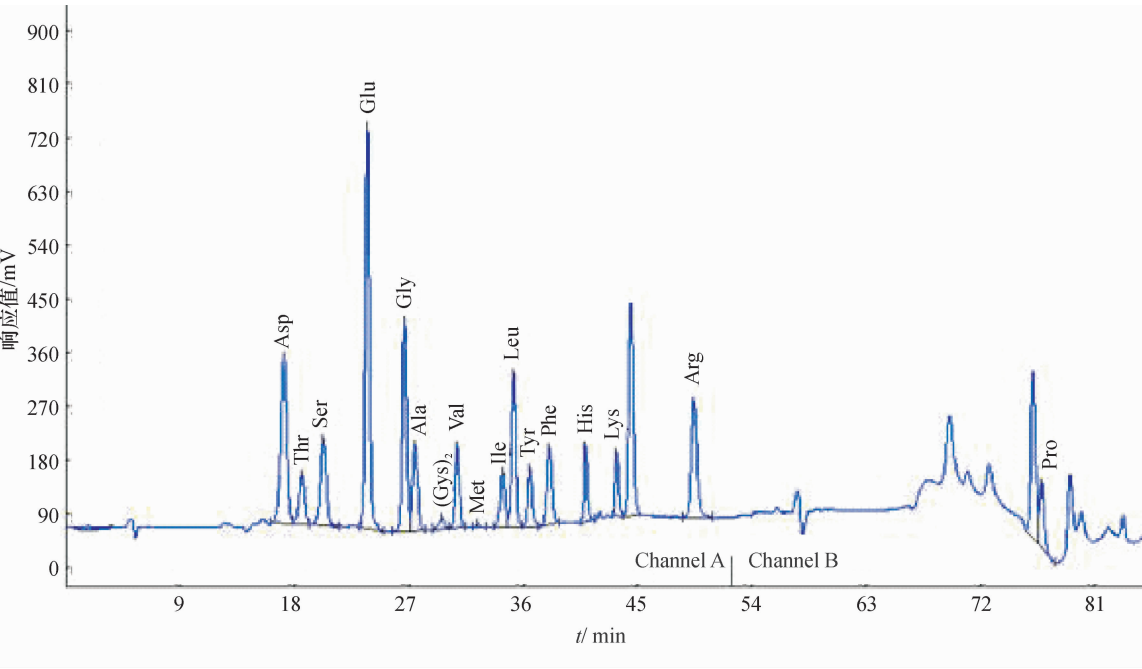


图 2 杜仲雄花样品氨基酸色谱图

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

表 1 杜仲雄花氨基酸含量基本统计¹⁾

Tab.1 Basic statistic parameters of amino acid contents in <i>Eucommia ulmoides</i> male flowers							<i>w</i> /(mg · g ⁻¹)	
氨基酸种类	平均值 ± 标准差	变异幅度	极差	氨基酸种类	平均值 ± 标准差	变异幅度	极差	
Asp	29.84 ± 5.85	14.37 ~ 41.76	27.39	Leu *	16.11 ± 2.95	11.32 ~ 24.28	12.96	
Thr *	8.85 ± 1.64	5.15 ~ 13.03	7.88	Tyr	4.64 ± 1.04	2.40 ~ 8.37	5.97	
Ser	10.23 ± 1.64	6.67 ~ 17.66	10.99	Phe *	9.59 ± 2.07	5.62 ~ 18.73	13.11	
Glu	42.91 ± 11.09	21.83 ~ 75.59	53.76	His	6.28 ± 1.12	3.62 ~ 10.85	7.23	
Gly	8.79 ± 1.36	5.40 ~ 11.73	6.33	Lys *	11.36 ± 4.42	3.61 ~ 20.70	17.09	
Ala	10.48 ± 1.89	6.40 ~ 15.26	8.86	Arg	13.84 ± 4.65	6.30 ~ 31.37	25.07	
Cys	2.89 ± 1.19	1.37 ~ 8.48	7.11	Pro	7.96 ± 3.45	2.01 ~ 21.47	19.46	
Val *	11.29 ± 1.88	7.23 ~ 16.06	8.83	EAA ²⁾	68.37 ± 11.07	50.61 ~ 94.32	43.71	
Met *	1.54 ± 0.53	0.68 ~ 3.59	2.91	TAA ³⁾	206.23 ± 25.90	154.26 ~ 254.66	100.40	
Ile *	9.62 ± 1.60	6.64 ~ 14.63	7.99					

1) * 代表必需氨基酸; 2)EAA 为总的必需氨基酸; 3)TAA 为总氨基酸。

2.2 适用性检验

依据相关系数矩阵的直观检验原则,计算杜仲雄花氨基酸含量之间的相关系数,结果见表 2。杜仲雄花氨基酸含量之间有正相关,也有负相关。除脯

氨酸与其他氨基酸之间相关性不显著外,其他氨基酸之间大都存在显著或极显著相关性。氨基酸含量间较强的相关性说明,可以通过主成分分析杜仲雄花氨基酸间的复杂关系。

表 2 杜仲雄花氨基酸含量相关性¹⁾

Tab.2 Correlation between amino acid contents in <i>Eucommia ulmoides</i> male flowers																	
氨基酸	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Cys	Val	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Arg	Pro
Asp	1.000																
Thr	0.252 **	1.000															
Ser	0.345 **	0.739 **	1.000														
Glu	0.167 *	-0.175 *	-0.033	1.000													
Gly	0.297 **	0.427 **	0.552 **	0.196 **	1.000												
Ala	0.087	0.454 **	0.468 **	0.076	0.759 **	1.000											
Cys	0.235 **	-0.073	0.137	0.179 *	0.184 **	0.072	1.000										
Val	0.291 **	0.262 **	0.380 **	0.281 **	0.661 **	0.464 **	0.013	1.000									
Met	0.110	0.184 **	0.194 **	-0.013	0.277 **	0.325 **	0.081	0.093	1.000								
Ile	0.334 **	0.244 **	0.446 **	0.149 *	0.661 **	0.512 **	0.376 **	0.606 **	0.197 **	1.000							
Leu	0.212 **	0.286 **	0.453 **	0.201 **	0.653 **	0.585 **	0.246 **	0.611 **	0.158 *	0.836 **	1.000						
Tyr	0.252 **	0.100	0.382 **	0.108	0.584 **	0.380 **	0.274 **	0.444 **	0.256 **	0.670 **	0.489 **	1.000					
Phe	0.458 **	0.113	0.315 **	0.173 *	0.555 **	0.330 **	0.387 **	0.647 **	0.132	0.640 **	0.570 **	0.535 **	1.000				
His	0.640 **	0.086	0.333 **	0.300 **	0.465 **	0.183 *	0.338 **	0.402 **	0.258 **	0.452 **	0.304 **	0.471 **	0.583 **	1.000			
Lys	0.214 **	-0.102	0.157 *	0.300 **	0.325 **	0.148 *	0.339 **	0.604 **	-0.080	0.581 **	0.522 **	0.501 **	0.747 **	0.345 **	1.000		
Arg	0.107	-0.137	-0.018	0.464 **	0.254 **	0.164 *	0.286 **	0.504 **	0.015	0.404 **	0.259 **	0.331 **	0.582 **	0.266 **	0.663 **	1.000	
Pro	-0.001	0.116	0.035	-0.128	0.074	0.069	-0.119	0.100	-0.060	-0.001	-0.118	0.007	0.111	0.045	-0.029	0.135	1.000

1) ** 和 * 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上显著相关(Pearson 法)。

2.3 主成分分析

对杜仲雄花 17 种氨基酸含量进行主成分分析,结果见表 3、表 4。由表 3 可知,前 6 个主成分的累积方差贡献率达到了 88.592%,基本包括了全部氨基酸具有的信息,因此可以将原来的 17 种氨基酸转化为 6 个主成分。第 1 主成分的特征值为 5.835,方差

贡献率为 39.326%,代表了 17 种氨基酸全部性状 39.326%的信息;第 2 主成分的特征值为 2.478,方差贡献率为 16.701%,代表了 17 种氨基酸全部性状 16.701%的信息;第 3 主成分的特征值为 1.513,方差贡献率为 10.197%;第 4 主成分的特征值为 1.261,方差贡献率为 8.498%;第 5 主成分的特征值

为 1.048,方差贡献率为 7.063%;第 6 主成分的特征值为 1.010,方差贡献率为 6.807%。

表 3 杜仲雄花氨基酸的主成分分析
Tab. 3 Principal component analysis of amino acids in *Eucommia ulmoides* male flowers

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
PC-1	5.835	39.326	39.326
PC-2	2.478	16.701	56.027
PC-3	1.513	10.197	66.224
PC-4	1.261	8.498	74.722
PC-5	1.048	7.063	81.785
PC-6	1.010	6.807	88.592

由表 4 可知,第 1 主成分包括了 Gly、Cys、Val、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys 和 Arg 9 个氨基酸指标变量;第 2 主成分包括了 Thr、Ser、Gly 和 Ala 4 个氨基酸指标变量;第 3 主成分包括了 Asp 和 His 2 个氨基酸指标变量;第 4 主成分只包括了 Glu 1 个氨基酸指标变量;第 5 主成分只包括了 Met 1 个氨基酸指标变量;第 6 主成分只包括了 Pro 1 个氨基酸指标变量。

2.4 综合评价

经过主成分分析提取 6 个主成分,计算 193 份种质杜仲雄花在各个主成分中的得分,并按照 5% 入选率确定 6 种类型氨基酸性状优良的雄花资源,即

得分前 9 位的为优良资源,结果见表 5。综合得分前 9 位的种质有 10419x、10519x、10345x、10444x、10370x、10552x、10589x、10339x 和 10515x。

表 4 杜仲雄花氨基酸的主成分特征向量
Tab. 4 Feature vector of principal component of amino acids in *Eucommia ulmoides* male flowers

氨基酸	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5	PC-6
Asp	0.089	0.214	0.861	0.070	-0.056	-0.025
Thr	-0.082	0.867	0.082	-0.150	0.014	0.079
Ser	0.197	0.788	0.254	-0.155	0.038	-0.065
Glu	0.110	-0.195	0.169	0.823	0.017	-0.224
Gly	0.529	0.552	0.074	0.215	0.390	0.046
Ala	0.359	0.570	-0.234	0.153	0.475	0.028
Cys	0.579	-0.254	0.359	-0.261	0.083	-0.344
Val	0.611	0.369	0.056	0.471	-0.026	0.212
Met	-0.006	0.059	0.122	-0.031	0.878	-0.028
Ile	0.829	0.275	0.100	-0.027	0.157	-0.127
Leu	0.720	0.422	-0.085	0.111	0.095	-0.269
Tyr	0.679	0.092	0.173	-0.094	0.339	-0.005
Phe	0.783	0.075	0.387	0.108	0.007	0.167
His	0.308	0.029	0.787	0.161	0.255	0.036
Lys	0.839	-0.094	0.142	0.223	-0.225	0.011
Arg	0.621	-0.268	0.068	0.461	-0.038	0.233
Pro	0.027	0.008	0.011	-0.121	-0.005	0.905

表 5 杜仲种质的主成分得分和综合得分
Tab. 5 Principal component scores and overall scores of *Eucommia ulmoides* germplasms

排名	PC-1		PC-2		PC-3		PC-4		PC-5		PC-6		综合型	
	编号	得分	编号	得分	编号	得分	编号	得分	编号	得分	编号	得分	编号	得分
1	10419x	14.07	10419x	8.14	11041x	7.42	10079x	5.88	11041x	9.96	11041x	4.15	10419x	8.53
2	10345x	11.26	10333x	7.35	10419x	6.36	10295x	4.97	10419x	6.71	10446x	3.06	10519x	6.30
3	10519x	10.79	10552x	6.95	10519x	6.30	10330x	4.95	10370x	6.54	10419x	2.77	10345x	6.12
4	10552x	10.14	10515x	6.66	10303x	5.93	10022x	4.52	10339x	6.36	10418x	2.75	10444x	5.90
5	10371x	10.03	10417x	6.56	10589x	5.72	10288x	4.36	10022x	5.66	10080x	2.68	10370x	5.84
6	10444x	10.02	11041x	6.30	10546x	5.25	10423x	4.12	10359x	4.95	10330x	2.67	10552x	5.72
7	10456x	9.83	10370x	6.27	10330x	5.12	10453x	3.91	10079x	4.25	10444x	2.53	10589x	5.70
8	10333x	9.69	10519x	5.80	10485x	5.12	10419x	3.89	10344x	4.15	10319x	2.53	10339x	5.29
9	10589x	9.50	10456x	5.44	10079x	5.03	10389x	3.70	10589x	4.13	10329x	2.45	10515x	5.26

3 讨论与结论

主成分分析中各主成分是一个相对独立的指标体系,彼此各不相关,同时研究对象在各主成分上存在明显差异,便于对研究对象做出较直观的分析判断与评价^[17]。本文通过对 193 份杜仲种质雄花氨基酸进行主成分分析,从检测出的 17 种氨基酸中提取了 6 个主成分,将多维指标降维,简化选择程序,其累积方差贡献率达到了 88.592%,包含了所有氨基

酸绝大部分信息。研究还发现必需氨基酸因子对杜仲雄花氨基酸含量影响较大,且主要集中在第 1 和第 2 主成分,这与李晓杰^[18]对陕西银杏栽培品种氨基酸评价标准相类似。

以方差贡献率为权重,根据各主成分得分值和对应的方差贡献率构建综合评价模型,得到不同种质杜仲雄花氨基酸含量的综合得分,为衡量杜仲雄花氨基酸性状指标提供理论依据。综合得分的高低表明了杜仲雄花氨基酸综合质量的高低。本文按照

5%的入选率筛选出得分前 9 位的氨基酸性状优良的雄花资源。以 10419x 杜仲为例,第 1、第 2 主成分得分和综合得分均最高,且较大程度地超出其他种质的得分,其总氨基酸和必需氨基酸质量分数分别为 224.86 和 90.74 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,明显高于 193 份杜仲种质雄花总氨基酸质量分数(206.23 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)和必需氨基酸质量分数均值(68.37 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),说明 10419x 杜仲雄花氨基酸综合质量较高。

主成分分析法可以有效地比较不同种质间杜仲雄花氨基酸综合质量,对优良育种材料的选择及开发利用有较大的应用价值。通过主成分分析,发现不同杜仲种质间雄花氨基酸综合质量存在差异,这也将导致杜仲雄花茶、杜仲雄花酒、杜仲雄花功能饮料风味和营养价值不同,经比较可以筛选出氨基酸品质较优的雄花资源。

本文仅研究了杜仲雄花氨基酸综合质量,如需筛选出综合品质较优的杜仲雄花资源,还需对其他性状,如树体生长因子、雄花形态性状及雄花活性成分含量进行综合分析,这也将是今后研究的重点,以便从中选出各性状指标均优良的种质,为杜仲育种及开发利用奠定基础。

参考文献:

[1] 杜红岩. 杜仲活性成分与药理研究的新进展[J]. 经济林研究, 2003, 21(2): 58.

[2] 杜红岩. 中国杜仲图志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014: 76-79.

[3] 刘严. 杜仲雄花功能成分的提取、分离及活性研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2012.

[4] 郭洋静, 丁艳霞, 许兰波, 等. HPLC 法同时测定杜仲雄花中 5 种活性成分[J]. 中成药, 2014, 36(10): 2131-2134.

[5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 关于批准壳寡糖等 6 种新食品原料的公告[EB/OL]. (2014-05-15). [2016-02-24]. <http://www.moh.gov.cn/sps/s7890/201405/367ce408981e4807809e107417b3d361.Shtml>.

[6] DONG J E, MA X H, ZHUO R F, et al. Effects of microwave drying on the contents of functional constituents

of *Eucommia ulmoides* flower tea [J]. Ind Crop Prod, 2011, 34(1): 1102-1110.

[7] 姜小苓, 关西贞, 茹振钢, 等. 中国小麦微核心种质籽粒氨基酸含量分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(11): 1-5.

[8] 章希娟, 蒋际谋, 邓朝军, 等. 31 份枇杷种质资源的果实氨基酸含量及组分分析[J]. 热带作物学报, 2013, 34(11): 2090-2096.

[9] 王芳, 高瑜珑, 阮琴, 等. 山茶花氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2015, 38(3): 342-347.

[10] VANESA G C, NOELIA R C, MRAL' A EUGENIA L G, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food [J]. J Food Compos Anal, 2011, 24(3): 456-464.

[11] 张文倩, 胡林, 陈立, 等. 基于主成分分析和聚类分析的红火蚁毒腺生物碱的比较研究[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(6): 76-81.

[12] 马云明, 王伟明, 王冰莹, 等. 云南烤烟主要化学成分因子分析与综合评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(29): 18247-18249.

[13] 王沛, 刘璇, 毕金峰, 等. 基于主成分分析的中早熟苹果脆片品质评价[J]. 中国食品学报, 2012, 12(6): 204-211.

[14] 薛敏, 高贵田, 赵金梅, 等. 不同品种猕猴桃果实游离氨基酸主成分分析与综合评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 294-298.

[15] 中华人民共和国卫生部. 食品中氨基酸的测定: GB/T5009.124-2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 115-119.

[16] 武俊瑞, 岳喜庆, 张苗, 等. 东北传统发酵豆酱中游离氨基酸分析及综合评价[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(2): 158-164.

[17] 莫昭展, 曹福亮, 符韵林. 银杏栽培品种种子性状的变异及主成分分析[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11096-11100.

[18] 李晓杰. 陕西主要银杏栽培品种氨基酸变异规律研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.

【责任编辑 李晓卉】