

不同品种核桃的氨基酸营养价值评价

杨永涛¹, 潘思源¹, 靳欣欣¹, 高仿¹, 田英姿^{1*}, 丁晓丽²

(1.华南理工大学轻工科学与工程学院, 广东 广州 510640; 2.喀什大学生命与地理科学学院, 新疆 喀什 844006)

摘要: 选取新疆、云南等6个核桃主产区共29个核桃品种, 对其蛋白质组成进行测定。应用模糊识别法计算核桃蛋白与模式蛋白的贴适度, 并结合氨基酸比值系数法对核桃蛋白营养价值进行评价。依据核桃蛋白与模式蛋白的贴适度及氨基酸比值系数分, 采用系统聚类分析法对29个品种核桃进行分类。结果表明: 核桃蛋白总氨基酸含量在343.22~985.99 mg/g pro之间, 必需氨基酸占氨基酸总量30%~41%, 氨基酸比值系数分在67.02~87.98之间, 核桃蛋白的第一限制性氨基酸为Lys。氨基酸营养价值最高的6个核桃品种分别为温185、和田小核桃、新早丰、辽核1号、西林2号和西林3号。对分类结果进行了显著性分析, 显著性水平大于0.05, 系统聚类结果合理。

关键词: 核桃; 氨基酸; 营养评价; 系统聚类分析

Amino Acid Composition and Nutritional Evaluation of Different Varieties of Walnut

YANG Yongtao¹, PAN Siyuan¹, JIN Xinxin¹, GAO Fang¹, TIAN Yingzi^{1*}, DING Xiaoli²

(1. School of Light Industry Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. College of Life and Geography Science, Kashi University, Kashi 844006, China)

Abstract: In this paper, we determined the amino acid composition of proteins from 29 varieties of walnut collected from 6 major producing provinces such as Xinjiang and Yunnan in China. Fuzzy pattern recognition method was applied to calculate the degree of closeness (DC) between walnut protein and model protein (whole egg protein). The nutritional value of walnut protein was evaluated by score of ratio coefficient of amino acid (SRC). According to DC and SRC values, the 29 varieties of walnut were classified by hierarchical cluster analysis. The results showed that the total amino acid content of walnut protein was 343.22–985.99 mg/g protein, with essential amino acids accounting for 30%–41% of the total amino acids. The ratio coefficient of amino acids was 67.02–87.98. The first limiting amino acid in walnut protein was lysine. Among the investigated varieties, Wen185, Hetian Xiaohetao, Xinzaofeng, Liaoh 1, Xilin 1 and Xilin 3 had the highest nutritional value. The classification results were significant at greater than 0.05 level, being reasonable.

Key words: walnut; amino acid; nutritional evaluation; hierarchical cluster analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713034

中图分类号: Q946.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 13-0207-06

引文格式:

杨永涛, 潘思源, 靳欣欣, 等. 不同品种核桃的氨基酸营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 207-212. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713034. <http://www.spkx.net.cn>

YANG Yongtao, PAN Siyuan, JIN Xinxin, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of different varieties of walnut[J]. Food Science, 2017, 38(13): 207-212. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713034. <http://www.spkx.net.cn>

核桃属于被子植物门双子叶植物纲胡桃科植物, 素有“木本油料之王”的称号, 是世界四大干果之一^[1]。由于其具有较高的经济价值和营养价值, 更是被冠以四大干果之首的称号。中国是世界上重要的核桃生产国, 核

桃广泛栽种于我国新疆、云南、山西、陕西以及河北等地区^[2]。核桃仁中含有丰富的蛋白质、脂肪酸和各种微量元素等多种对人体有益的营养物质^[3], 具有很高的药用价值和营养价值^[4]。《本草纲目》记载: 核桃有“黑发、固

收稿日期: 2016-05-27

基金项目: 自治区科技援疆项目 (2016E02043)

作者简介: 杨永涛 (1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物资源综合利用和天然产物提取。E-mail: 969789672@qq.com

*通信作者: 田英姿 (1966—), 女, 教授级高级工程师, 硕士, 研究方向为植物资源综合利用和天然产物提取。

E-mail: yztian@scut.edu.cn

精、治燥、调血之功”。常食用核桃，可降低女性患糖尿病的风险^[5]，也可防止细胞老化、延缓衰老^[6]，具有降低人体内胆固醇、降血压的功效^[7]。蛋白质是核桃重要的营养成分，核桃蛋白中含有大量的氨基酸^[8]，除8种人体必需氨基酸（essential amino acid, EAA）外，半必需氨基酸（精氨酸、组氨酸）含量也十分丰富^[9]，还含有鲜味氨基酸（如天冬氨酸）、甜味氨基酸（如甘氨酸、苏氨酸、脯氨酸、丙氨酸）、芳香氨基酸（如酪氨酸、苯丙氨酸）及药效氨基酸（亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸等）^[10]。

不同品种核桃的营养成分差异很大^[11-13]，筛选出氨基酸含量丰富且均衡的核桃品种对于促进核桃资源合理利用，指导品种选育及种植具有重要意义^[14]。目前，关于核桃营养成分分析的研究已有不少报道^[11-21]，但是对不同地区核桃品种的氨基酸营养价值进行深入分析和系统分类还鲜见报道。本实验选取了新疆、云南、山东、山西、河北、陕西6个省份29个品种的核桃进行研究，测定其蛋白质组成。采用模糊识别法和氨基酸比值系数法对核桃蛋白的氨基酸进行营养价值评价^[22]，为合理开发和利用优质核桃蛋白资源提供了理论依据。依据营养评价指标^[23]，采用系统聚类的方法将29个不同品种核桃进行分类。分析得出更符合人体蛋白需求的核桃品种，对核桃品种的选育、种植及推广具有一定的指导意义。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

实验材料为新疆、云南、山西、河北、陕西、山东等地广泛种植的29个核桃品种。核桃果实于2015年10月份采摘，均由当地核桃资源圃提供。每个品种选取生长势较一致、无病虫害的植株4株，在每株树冠的上、中和下层及里外层随机采集果实共20个。然后将4株果实采集后充分混合，用尼龙网袋包装自然风干。随机取20个果实，取仁用于测定核桃蛋白的含量及组成。测定前对样品编号，名称及产地见表1。

表1 核桃样品采集一览
Table 1 List of walnut samples tested

编号	品种	产地
1	新早丰	新疆温宿县
2	扎343	新疆温宿县
3	萃丰	新疆温宿县
4	新2	新疆温宿县
5	温185	新疆温宿县
6	新丰	新疆叶城县
7	和田小核桃	新疆和田县
8	漾杂1号	云南漾濞县
9	三台核桃	云南大姚县
10	大泡核桃	云南漾濞县
11	紫仁1号	云南香格里拉县

续表1

编号	品种	产地
12	紫仁2号	云南华宁县
13	细香核桃	云南昌宁县
14	圆菠萝	云南漾濞县
15	辽宁1号	河北临城县
16	绿岭	河北临城县
17	辽核1号	陕西宜君县
18	辽核3号	陕西宜君县
19	鲁光	山东泰安县
20	香玲	山东泰安县
21	晋龙1号	山西古县
22	晋龙2号	山西古县
23	中林1号	山西汾阳县
24	中林3号	山西汾阳县
25	中林5号	山西汾阳县
26	西扶1号	陕西宜君县
27	西林2号	陕西宜君县
28	西林3号	陕西宜君县
29	薄丰	陕西宜君县

盐酸、硫酸 莱阳经济技术开发区精细化工厂；无水乙醇 天津市富宇精细化工有限公司；苯酚、柠檬酸钠 pH缓冲液 广州化学试剂厂；氨基酸标准液 河南艾文森贸易有限公司；石油醚 深圳市天唯达化工有限公司；正己烷 扬州市华香化工塑胶有限公司。

1.2 仪器与设备

FA2004分析天平 上海天平仪器厂；HH-2数显恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司；电热恒温干燥箱 广州市康恒仪器有限公司；HYP-308消化炉、KDN-102C定氮仪 上海纤检仪器有限公司；L-8800全自动氨基酸分析仪 日本Hitachi公司。

1.3 方法

1.3.1 氨基酸含量测定

按照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》标准检测^[24]。将核桃样品研磨成颗粒状，置于恒温干燥箱60℃干燥24h。取脱脂处理后约2g（精确到0.0001g）核桃样品于水解管中，水解溶液为10mL的6mol/L盐酸溶液，水解温度为135℃。用L-8800型全自动氨基酸分析仪测定样品中的17种氨基酸（其中色氨酸在酸水解中被破坏，未测定），具体检测条件见表2。为保证检测数据的准确性和可靠性，每个样品均进行平行检测，相同条件下获得的2次独立测定结果，绝对差值不超过算术平均值的12%。

表2 氨基酸含量测定检测条件
Table 2 Working conditions of amino acid analyzer

项目	具体条件	项目	具体条件
检测环境	温度：20℃ 相对湿度：65%	反应柱温	135℃
检测设备	L-8800型全自动氨基酸分析仪	进样流速	洗脱泵：0.40 mL/min 衍生泵：0.35 mL/min
样品处理方法	酸水解法	洗脱液	柠檬酸钠pH缓冲液
色谱柱型号	855-350型	分析时间	59 min
柱温	程序恒温57℃	检测波长	570 nm和440 nm

1.3.2 模糊识别法

根据兰氏距离法^[25]定义对象*u*和标准蛋白模式*a*的贴适度*U(a, u)*，贴适度可以反映评价对核桃蛋白质与模式蛋白的接近程度。贴适度数值越接近1，表明该蛋白与模式蛋白接近程度越高。计算公式为：

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

式中：*a_k*为标准蛋白模式的第*k*种EAA含量/(mg/g)， $1 \leq k \leq 7$ ；*u_{ik}*为第*i*个评价对象的第*k*种EAA含量/(mg/g)， $1 \leq k \leq 7$ 。

1.3.3 氨基酸评分法

氨基酸评分采用氨基酸比值（ratio of amino acid, RAA）法。不同物料蛋白质组成不尽相同，营养学上通常认为，所含的EAA组成比例越接近人体需要，则品质越优。联合国粮农组织（Food and Agriculture Organization of the United, FAO）和世界卫生组织（World Health Organization, WHO）提出了评价蛋白质营养价值的EAA模式（FAO/WHO模式）^[26]。即根据氨基酸平衡理论，计算样品中EAA的RAA。按式（2）计算RAA。

$$RAA_i = \frac{\text{被测食物氮或氨基酸含量} / (\text{mg/g pro})}{\text{模式蛋白质中氮或氨基酸含量} / (\text{mg/g pro})} \quad (2)$$

式中：*RAA_i*为被测食物蛋白质中的第*i*种EAA的RAA， $1 \leq i \leq 7$ ；模式蛋白质采用FAO/WHO模式。

本实验采用全鸡蛋蛋白模式进行计算^[25]，对比FAO/WHO模式及全鸡蛋蛋白模式贴适度差异，两种模式蛋白各种EAA含量如表3所示。

表3 FAO/WHO模式及全鸡蛋蛋白模式中EAA含量
Table 3 EAA contents in FAO/WHO pattern and whole egg protein

	mg/g pro						
蛋白模式	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Val
FAO/WHO模式	40	70	55	35	60	40	50
全鸡蛋蛋白模式	54	86	70	57	93	47	66

1.3.4 氨基酸比值系数测定

氨基酸比值系数（ratio coefficient of amino acid, RC）可以反映食物中氨基酸含量与模式氨基酸的偏离程度^[26]，各种EAA的RC应该等于1。若RC>1表明该EAA相对过剩；若RC<1表明该EAA相对不足。RC值最小，则该EAA为食物中第一限制氨基酸。RC按式（3）计算。

$$RC_i = \frac{RAA_i}{RAA} \quad (3)$$

式中：*RC_i*为被测食物蛋白质的第*i*种EAA的比值系数（ $1 \leq i \leq 7$ ）；*RAA_i*为被测食物蛋白质中的第*i*种EAA

评分值（ $1 \leq i \leq 7$ ）；*RAA*为被测食物蛋白质中的第*i*种EAA评分值的均值。

1.3.5 氨基酸比值系数测定

氨基酸比值系数分（score of RC, SRC）越接近100，表明EAA在氨基酸生理平衡方面所做的贡献越大，蛋白质相对营养价值越高^[26]。SRC按式（4）计算。

$$SRC = 100 - 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (RC_i - \overline{RC})^2}}{\overline{RC}} \quad (4)$$

式中：*RC_i*为被测食物蛋白质中的第*i*种EAA的RC（ $1 < i < 7$ ）；*RC*为被测食物蛋白质中的各RC的均值；*n*为被测食物蛋白质中EAA的数量。

1.4 数据处理

采用Excel 2013软件对测定数据进行整理，计算出氨基酸含量的平均值、标准差以及变异系数、核桃蛋白与模式蛋白的贴适度、RC、SRC值。并绘制出氨基酸总含量（total amino acids, TAA）和EAA含量折线图及EAA平均含量柱形图。采用SPSS 22.0软件对29个品种核桃进行系统聚类分析和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 核桃氨基酸组成分析

2.1.1 氨基酸的变异分析

表4 核桃EAA含量分布情况（n=29）
Table 4 Distribution of essential amino acids among the walnut varieties (n = 29)

参数	Val	Ile	Leu	Phe	Met	Thr	Lys	Cys	Tyr
最小值/(mg/g pro)	12.47	11.32	20.57	13.29	1.52	12.42	8.56	2.47	2.53
最大值/(mg/g pro)	59.12	48.15	86.46	55.24	13.64	38.46	39.64	28.43	42.65
平均值/(mg/g pro)	38.79	33.20	64.26	38.62	8.41	30.40	28.48	17.16	20.78
标准差/(mg/g pro)	9.23	6.49	14.16	8.54	2.48	4.79	6.55	6.41	12.71
变异系数/%	23.79	19.55	22.04	22.11	29.49	15.76	23.00	37.35	61.16

表5 核桃非必需氨基酸含量分布情况（n=29）
Table 5 Distribution of non-essential amino acids among the walnut varieties (n = 29)

参数	Asp	Ser	Glu	Gly	Ala	His	Arg	Pro
最小值/(mg/g pro)	24.67	19.05	59.24	30.75	2.47	17.63	36.87	9.47
最大值/(mg/g pro)	90.85	53.66	172.63	66.21	54.09	30.37	142.10	39.60
平均值/(mg/g pro)	72.34	39.52	133.43	43.03	38.25	23.42	117.04	24.04
标准差/(mg/g pro)	14.12	7.74	23.93	6.92	6.19	3.90	20.23	8.16
变异系数/%	19.52	19.59	17.93	16.08	16.18	16.65	17.28	33.94

对29个品种核桃的17种不同氨基酸含量进行统计分析，EAA及非必需氨基酸（non-essential amino acid, NEAA）统计结果分别见表4、5所示。29种核桃样品的9种EAA含量均值范围为8.41~64.26 mg/g pro，Tyr变异系数最大，为61.16%；Thr变异系数最小，为15.76%。NEAA

中, Pro变异系数最大, 为33.94%; Gly变异系数最小, 为16.08%, 表明不同品种核桃蛋白质组成差异较大。

2.1.2 必需氨基酸含量与氨基酸总量

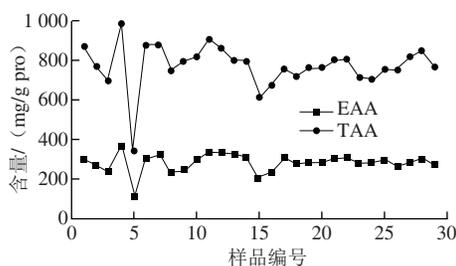


图1 核桃中TAA与EAA含量

Fig. 1 TAA and EAA contents of the walnut varieties

按照FAO/WHO模式或全鸡蛋蛋白模式, EAA分为7类: Val、Ile、Leu、Phe+Tyr、Met+Cys、Thr、Lys^[25]。不同品种的核桃TAA与EAA含量关系见图1。TAA含量最高的是4号新2, 含量为985.99 mg/g pro, 含量最低的是5号温185, 为343.22 mg/g pro。总的来说, 供试核桃的TAA含量都比较高, 但不同品种的核桃样品TAA和EAA含量存在较大差异。

图1中29个样本点波动明显, TAA含量越高, EAA含量也越高。TAA与EAA波动方向基本一致, 离群点少。对TAA和EAA含量进行了Pearson相关性分析, 分析结果见表6。结果显示TAA含量与EAA含量呈现正相关关系, 相关性系数为0.918。从图2可以看出, 不同核桃品种的平均EAA含量和误差线较高。因此有必要根据模式氨基酸计算不同品种核桃蛋白的贴程度, 比较核桃蛋白与模式蛋白之间的差异。

表6 TAA与EAA含量相关性分析

Table 6 Correlation analysis between TAA and EAA contents

指标	Pearson相关系数	显著性(双尾)	n(样本数量)
TAA含量与EAA含量	0.918	0.000	29

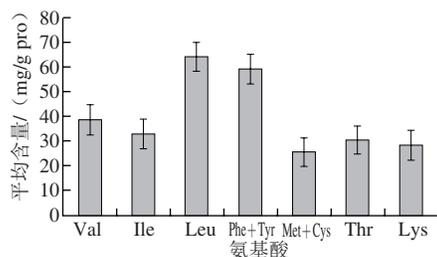


图2 核桃EAA平均含量柱形图

Fig. 2 Average EAA contents of walnut

2.1.3 EAA与模式蛋白贴程度比较

计算29种核桃蛋白的7种必需氨基酸FAO/WHO模式、全鸡蛋蛋白模式的贴程度, 计算结果见表7。

表7 核桃蛋白相对于模式蛋白的贴程度

Table 7 Closeness degree of amino acids between walnut protein and whole egg protein

品种名称	FAO/WHO模式	全鸡蛋蛋白模式
新早丰	0.85	0.84
扎343	0.77	0.82
萃丰	0.66	0.78
新2	1.05	0.91
温185	0.30	0.59
新丰	0.87	0.85
和田小核桃	0.91	0.86
漾杂1号	0.65	0.77
三台核桃	0.69	0.79
大泡核桃	0.86	0.85
紫仁1号	0.96	0.88
紫仁2号	0.94	0.88
细香核桃	0.91	0.87
圆菠萝	0.88	0.86
辽宁1号	0.58	0.75
绿岭	0.66	0.79
辽核1号	0.88	0.85
辽核3号	0.78	0.83
鲁光	0.80	0.83
香玲	0.80	0.83
晋龙1号	0.86	0.85
晋龙2号	0.89	0.86
中林1号	0.79	0.83
中林3号	0.80	0.83
中林5号	0.84	0.85
西扶1号	0.76	0.81
西林2号	0.80	0.82
西林3号	0.86	0.84
薄丰	0.78	0.83

由表7可知, 29种核桃蛋白质的2种模式贴程度基本一致。其中, 新2、和田小核桃、紫仁1号、紫仁2号和细香核桃的蛋白质贴程度更高, 接近1, 高于大豆蛋白(FAO/WHO模式贴程度0.896)^[27], 新2、紫仁1号和紫仁2号更高于猪瘦肉蛋白(FAO/WHO模式贴程度0.919)^[28], 可作为优质蛋白质来源。温185品种核桃两种模式的贴程度都最低, 分别为0.30和0.59, 表明该品种核桃蛋白质与模式蛋白质的差异较大。其他品种核桃FAO/WHO模式贴程度在0.58~1.05之间, 全鸡蛋蛋白模式贴程度在0.75~0.91之间, 与FAO/WHO模式蛋白质的差异不大。

2.1.4 RC与SRC分析

如表8所示, 比较不同品种核桃EAA的RC值, 得出29个不同品种核桃的第一限制性氨基酸。其中, 紫仁1号的第一限制性氨基酸为Met+Cys, 中林3号的第一限制性氨基酸是Val, 其余27个品种的第一限制性氨基酸均为Lys。另外, 各品种的含硫氨基酸Met+Cys及生糖氨基酸Val含量相对于模式蛋白较高, 可根据蛋白质互补法^[29]

和其他果蔬蛋白质混合食用，从而有效利用不同食物的营养价值。

表8 核桃品种的RC和SRC
Table 8 RC and SRC values of the walnut cultivars

品种名称	RC							SRC
	Val	Ile	Leu	Phe+Tyr	Met+Cys	Thr	Lys	
新早丰	1.07	1.00	1.13	1.59	0.78	0.92	0.52*	69.00
扎343	1.07	1.04	1.11	1.36	0.93	0.95	0.54*	76.96
萃丰	1.00	1.00	1.13	1.33	1.03	0.98	0.57*	79.13
新2	1.08	1.03	1.12	1.45	0.89	0.93	0.52*	74.10
温185	0.86	0.98	1.02	1.57	1.12	1.07	0.54*	71.61
新丰	1.06	0.99	1.07	1.28	1.15	0.91	0.52*	77.92
和田小核桃	1.06	1.08	1.15	1.43	0.72	0.99	0.55*	71.94
漾杂1号	1.07	1.19	1.32	0.96	0.68	1.09	0.69*	77.96
三台核桃	1.04	1.24	1.26	1.01	0.61	1.18	0.69*	76.10
大泡核桃	0.82	1.42	1.31	0.98	0.73	1.04	0.72*	74.05
紫仁1号	1.26	1.17	1.28	1.01	0.66*	0.92	0.69	75.97
紫仁2号	1.11	1.03	1.34	1.11	0.83	0.88	0.69*	79.97
细香核桃	1.02	0.94	1.25	1.15	0.99	0.91	0.72*	83.93
圆菠萝	1.03	1.01	1.12	1.11	1.08	0.88	0.76*	87.98
辽宁1号	0.91	1.06	0.90	1.29	1.16	0.95	0.74*	83.01
绿岭	0.89	0.92	0.85	1.09	1.39	1.20	0.63*	76.89
辽核1号	0.82	0.97	1.32	1.40	1.15	0.89	0.48*	71.08
辽核3号	0.86	1.13	1.04	1.28	1.14	0.89	0.71*	82.11
鲁光	1.03	1.16	1.08	1.24	0.83	0.96	0.72*	83.03
香玲	0.91	0.92	0.99	1.41	1.16	0.93	0.69*	79.04
晋龙1号	0.99	0.96	1.11	1.39	0.94	0.94	0.70*	80.08
晋龙2号	0.99	1.03	1.14	1.35	0.85	0.89	0.71*	80.92
中林1号	0.86	1.00	1.33	1.08	0.91	1.12	0.85*	84.33
中林3号	0.75*	1.07	1.33	1.07	0.79	1.06	0.92	82.00
中林5号	0.87	0.99	1.28	1.07	0.93	1.06	0.83*	86.07
西扶1号	0.94	1.10	1.33	1.23	0.76	0.94	0.65*	76.88
西林2号	1.08	0.96	1.00	1.63	0.80	0.96	0.54*	69.91
西林3号	1.04	1.01	1.17	1.64	0.87	0.75	0.52*	67.02
薄丰	0.87	1.13	1.13	1.02	1.26	0.99	0.63*	81.09

注：RC与SRC的计算采用FAO/WHO必需氨基酸参考模式；*：第一限制性氨基酸。

2.2 核桃品种的聚类分析

2.2.1 不同核桃品种的系统聚类分析

为对不同品种核桃蛋白营养价值的差异进行研究，对29个品种进行了系统聚类分析^[30-34]。通过标准差标准化方法对FAO/WHO模式贴近度、全鸡蛋蛋白模式贴近度及SRC共3项指标的数据进行处理。采用欧氏距离测定29个不同品种之间的组内连接距离，得出最短距离聚类谱系图，如图3所示。从最大组内连接距离中值12.5处进行划分，将29个品种分为3类。第1类为28号（西林3号）、27号（西林2号）、1号（新早丰）、17号（辽核1号）、7号（和田小核桃）、5号（温185），该类核桃蛋白质品质评价最好；第二类为14号（圆菠萝）、25号（中林5号），该类核桃蛋白品质次之；其余21种核桃为第3类核桃品种，蛋白质品质较为一般。

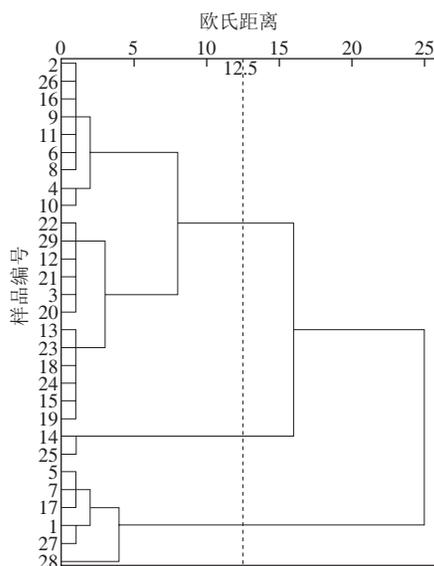


图3 核桃品种的系统聚类分析

Fig. 3 Hierarchical cluster analysis of the walnut varieties

新疆、河北、山西、陕西、云南、山东是我国核桃的重要产区，根据聚类分析得出6种优质核桃品种。在气候、土壤等条件适宜的情况下，可以尝试推广种植西林3号、西林2号、辽核1号、和田小核桃、新早丰、温185等优质品种。

2.2.2 分类结果的显著性分析

为评价分类结果的合理性，及检验不同类别之间的差异显著性，实验利用SPSS 22.0软件对3个组别的FAO/WHO模式贴近度、全鸡蛋蛋白模式贴近度及SRC 3个指标进行了单因素方差分析，分析结果见表9。设置显著性水平为 $\alpha=0.05$ ，选用Tukey和R-E-G-WQ方法检验不同指标的方差齐性，结果分别为0.578、0.622、0.494，均高于设定的显著性水平0.05，结果不显著，说明这3个指标方差是齐性的。3个指标F值的显著性 $P<0.001$ ，说明依据这3个指标划分的聚类组别有显著性差异，分类结果可靠。

表9 核桃品种的单因素方差分析 (n=29)

项目	参数	平方和	自由度	平均值平方	F	显著性
FAO/WHO模式贴近度	组间距离	0.548	28	0.020	43.647	0.000
	组内距离	0.000	0	0.000		
	合计	0.548	28			
全鸡蛋蛋白模式贴近度	组间距离	0.091	28	0.003	51.735	0.000
	组内距离	0.000	0	0.000		
	合计	0.091	28			
SRC	组间距离	786.335	28	28.083	70.589	0.000
	合计	786.335	28			

3 结论

29个不同品种核桃蛋白的氨基酸种类齐全,都含有17种氨基酸。其TAA含量范围为343.22~985.99 mg/g, EAA占TAA比例为30%~41%。对TAA含量和EAA含量进行相关性分析,两者呈显著正相关关系,相关系数为0.918, TAA含量越高, EAA含量越高。

对29种核桃的17种氨基酸含量进行差异性分析,变异系数为15.76%~61.16%,氨基酸含量差异显著,即不同品种核桃蛋白质组成差异显著。参照FAO/WHO和全鸡蛋蛋白模式,核桃蛋白与FAO/WHO模式贴进度在0.30~1.05之间,与全鸡蛋蛋白模式贴进度在0.59~0.91之间。其中贴进度最高的是4号新2核桃,贴进度最低的是5号温185核桃。

对比不同品种核桃蛋白EAA的RC,可知紫仁1号核桃蛋白的第一限制性氨基酸为Met+Cys,中林5号核桃蛋白的第一限制性氨基酸是Val,其余品种核桃蛋白的第一限制性氨基酸是Lys。实验对核桃的FAO/WHO模式贴进度、全鸡蛋蛋白模式贴进度及SRC 3项指标数据进行了系统聚类分析,将29个不同品种核桃分为3类。第一类核桃品种蛋白质组成更符合人体蛋白营养需求,分别为西林3号、西林2号、新早丰、辽核1号、和田小核桃、温185这6个品种。

本实验重点分析了EAA对核桃营养价值的影响,后续研究可以结合核桃中的脂肪酸组成及含量、碳水化合物含量等营养指标进行更深入全面的探讨。我国核桃品种繁多,可进一步扩大实验样本量,丰富并验证营养评价和品种分类结果。为深度挖掘和开发我国优质核桃资源、拓宽核桃产品深加工领域、指导核桃的合理种植提供一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 王晓燕,张志华,李月秋,等.核桃品种中脂肪酸的组成与含量分析[J].营养学报,2004,26(6):499-501. DOI:10.3321/j.issn:0512-7955.2004.06.023.
- [2] 郝荣庭,张毅萍.中国果树志:核桃卷[M].北京:中国林业出版社,1996:1-12.
- [3] SZE-TAO K W C, SATHE S K. Walnuts (*Juglans regia* L): proximate composition, protein solubility, protein amino acid composition and protein *in vitro* digestibility[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(9): 1393-1401.
- [4] RAJARAM S, HADDAD E H, MEJIA A, et al. Walnuts and fatty fish influence different serum lipid fractions in normal to mildly hyperlipidemic individuals: a randomized controlled study[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2009, 89(Suppl 5): 1657-1663. DOI:10.3945/ajcn.2009.26736S.
- [5] PAN A, SUN Q, MANSON J A E, et al. Walnut consumption is associated with lower risk of type 2 diabetes in women[J]. The Journal of Nutrition, 2013, 143(4): 512-518. DOI:10.3945/jn.112.172171.
- [6] LIU Shuang, LIU Fuguo, XUE Yanhui, et al. Evaluation on oxidative stability of walnut beverage emulsions[J]. Food Chemistry, 2006, 203: 409-416. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.02.037.
- [7] KRIS-ETHERTON P M. Walnuts decrease risk of cardiovascular disease: a summary of efficacy and biologic mechanisms[J]. The Journal of Nutrition, 2014, 144(Suppl 4): 547-554. DOI:10.3945/jn.113.182907.
- [8] 张琦,程滨,赵瑞芬,等.不同品种核桃仁的脂肪酸与氨基酸含量分析[J].山西农业科学,2011,39(11):1165-1169. DOI:10.3969/j.issn.1002-2481.2011.11.09.
- [9] 郝艳宾,王克建,王淑兰,等.几种早实核桃坚果中蛋白质、脂肪酸组成成分分析[J].食品科学,2002,23(10):123-125. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2002.10.033.
- [10] 田贝贝,高疆生,赵明,等.新疆核桃品种脂肪酸及氨基酸的营养评价[J].新疆农业科学,2009,46(5):970-974.
- [11] 张强,虎海防,李西萍.七个新疆良种核桃品质评价分析[J].北方园艺,2010(19):16-17. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201504020.
- [12] 肖良,毛云玲,吴涛,等.云南紫仁核桃必需氨基酸含量及营养评价[J].食品科学,2015,36(4):106-109. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201308041.
- [13] 潘学军,张文娥,李琴琴,等.核桃感官和营养品质的主成分及聚类分析[J].食品科学,2013,34(8):195-198.
- [14] 高焕章,吴楚,李申如,等.综合指数法在核桃选种中的应用研究[J].林业科学,2002,38(3):171-176.
- [15] 张建华,黎其万,杨晓洪,等.大姚核桃的主要营养成分分析[J].西南农业学报,2008,21(4):1048-1052.
- [16] 冯春艳,荣瑞芬,历重先.不同核桃品种脂肪酸的气相色谱分析比较[J].食品科学,2009,30(24):262-265.
- [17] 包怡红,于阳阳,赵若诗.酶解山核桃蛋白制备降血压肽的工艺[J].食品科学,2013,34(1):220-224.
- [18] 付苗苗.核桃的营养保健功能及药用价值研究进展[J].中国食物与营养,2014(10):74-76.
- [19] 苏彦彦,赵爽,李保国,等.6个新疆核桃优良核仁营养评价[J].中国粮油学报,2017(1):59-66;73.
- [20] 王新平,孙慧英,茹慧玲,等.核桃的营养药用价值及加工利用[J].现代园艺,2017(4):20.
- [21] 王中奎,王超,关法春.不同产地核桃坚果的综合性状评价[J].食品科学,2013,34(15):100-103. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201315021.
- [22] 赵凤敏,李树君,张小燕,等.不同品种马铃薯的氨基酸营养价值评价[J].中国粮油学报,2014,29(9):13-18.
- [23] 李敏,刘媛,孙翠,等.核桃营养价值研究进展[J].中国粮油学报,2009,24(6):166-170.
- [24] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所.食品中氨基酸的测定:GB/T 5009.124—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [25] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价:氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988,10(2):187-190.
- [26] ASTERMARK J, HOGG P J, BJÖRK I, et al. Effects of gamma-carboxyglutamic acid and epidermal growth factor-like modules of factor IX on factor X activation. Studies using proteolytic fragments of bovine factor IX[J]. Journal of Biological Chemistry, 1992, 267(5): 3249-3256.
- [27] 赵法仪,郭俊生,陈洪章,等.大豆平衡氨基酸营养价值的研究[J].营养学报,1986,8(2):153-159.
- [28] 张龙期,张庭芳,李令媛,等.生化实验方法和技术[M].北京:北京人民教育出版社,1981:55-59.
- [29] 钱爱萍,林虬,余亚白,等.闽产柑橘果肉中氨基酸组组成及营养评价[J].中国农学通报,2008,24(6):86-90.
- [30] 周丹蓉,廖汝玉,方智振,等.李果实蛋白质的营养评价与聚类分析[J].福建果树,2012(4):1-6.
- [31] 蒋卉,韩爱芝,蔡雨晴,等.新疆引进红枣中微量元素和重金属含量的测定与聚类分析[J].食品科学,2016,37(6):199-203. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201606036.
- [32] 韩斯,孟宪军,汪艳群,等.不同品种蓝莓品质特性及聚类分析[J].食品科学,2015,36(6):140-144. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201506026.
- [33] 刘美迎,李小龙,梁茁,等.基于模糊数学和聚类分析的鲜食葡萄品种综合品质评价[J].食品科学,2015,36(13):57-64. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201513012.
- [34] 宋江峰,刘春泉,姜晓青,等.基于主成分与聚类分析的菜用大豆品质综合评价[J].食品科学,2015,36(13):12-17. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201513003.