

不同品种薄壳山核桃氨基酸组成及营养价值评价

常 君¹, 张潇丹², 姚小华¹,
杨水平², 王开良¹, 任华东¹

1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716

摘要: 比较薄壳山核桃不同品种果实氨基酸组成差异并进行营养评价, 为薄壳山核桃良种选育和生产指导提供一定的理论基础, 以 37 个薄壳山核桃品种为研究对象, 测定其氨基酸组成及质量分数, 采用氨基酸比值系数法进行营养评价. 结果表明: 37 个不同品种薄壳山核桃均检测出 17 种氨基酸, 氨基酸总质量分数介于 41.22~87.60 mg/g 之间, 平均值为 68.78 mg/g; 必需氨基酸质量分数介于 13.88~26.10 mg/g 之间, 平均质量分数为 20.89 mg/g; 不同品种第 1 限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸或赖氨酸, 氨基酸比值系数分介于 68.15~81.19 之间, 平均值为 76.13. 以薄壳山核桃种仁中氨基酸总量、必需氨基酸总量等指标为参照, 对不同品种薄壳山核桃营养价值差异进行系统聚类分析, 37 个薄壳山核桃品种可分为 3 类, 其中以 23 号、14 号等 16 个品种营养价值最高, 可根据不同需求加强薄壳山核桃功能性产品的开发与品种选育.

关键词: 薄壳山核桃; 氨基酸; 营养评价; 聚类分析

中图分类号: S664.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)04-0044-09

薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)又名美国山核桃, 为胡桃科(Julandaceae)山核桃属(*Carya*)的一种落叶乔木^[1-4], 全世界 20 多个国家都有引种或种植^[5], 是世界上著名的干果油料树种之一. 我国已有 13 个省(直辖市)栽培种植, 其中以安徽省、云南省、江苏省和浙江省栽培面积最大. 薄壳山核桃果仁色美味香, 无涩味, 营养丰富, 含对人体有益的 17 种氨基酸, 包括 7 种人体必需的氨基酸^[6], 其油脂组成以油酸、亚油酸等不饱和脂肪酸为主, 不饱和脂肪酸总量在 90% 以上, 可作为高档食用油加以开发利用, 此外还富含维生素 B1, B2, 因此备受人们的喜爱^[7]. 目前关于薄壳山核桃种仁营养成分的研究主要集中在不同薄壳山核桃品种含有丰富的蛋白质、脂肪酸和各种矿质元素等^[8-12]方面, 还未见对薄壳山核桃氨基酸营养评价方面的研究. 蛋白质是薄壳山核桃的重要营养成分, 氨基酸作为蛋白质的分解产物是评价食品质量及营养价值的重要指标, 不同品种薄壳山核桃的营养成分差异很大, 评价并筛选出氨基酸质量分数丰富的薄壳山核桃品种, 对品种选育及指导生产具有重要意义. 本研究选取位于浙江省金华市薄壳山核桃种质资源收集圃内的 37 个薄壳山核桃品种为试验对象, 测定其氨基酸质量分数及组成, 采用氨基酸比值系数法对不同品种薄壳山核桃进行营养评价, 以为薄壳山核桃品种选育及推广种植提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验材料取自浙江省金华市东方红林场8年生薄壳山核桃无性系试验林,试验区属亚热带季候风气候,四季分明,气温适中,雨量充沛.年平均气温 $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,最热月(7月)平均气温为 $29.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温为 $41.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,最冷月(1月)平均气温为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温为 $-9.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,无霜期257 d,年平均降水量1406 mm,相对湿度为77%,年平均蒸发量981.6 mm.试验地为丘陵缓坡地,普通红壤,立地条件较一致,土地肥力一般.试验于2007年12月种植,每年进行常规人工管理,采用随机区组设计,每小区5株,3次重复.

1.2 材料与试剂

参试无性系共37个,于薄壳山核桃果实成熟期,每小区取果实30个,带回实验室将青皮剥去,取出坚果用于果仁氨基酸质量分数测定.

茚三酮、乙酸、乙酸钠、盐酸、氢氧化钠、乙醇等分析纯试剂购自国药集团化学试剂有限公司;柠檬酸、柠檬酸钠等优级纯试剂购自日本和光公司;氨基酸混标购自sigma公司.

1.3 仪器与设备

L-8900氨基酸分析仪,日本日立公司;分析天平,瑞士梅特勒-托利多公司.

1.4 方法

1.4.1 测定方法与样品制备

氨基酸测定参照GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》方法,称取样品 0.1 g (精确至 0.0001 g)于水解管中,加 10 mL 盐酸(6 mol/L),充氮气保护后密封,于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱水解22~24 h,取出冷却,转移定容至 25 mL ,过滤后取滤液 1.00 mL ,沸水浴挥干,用 5 mL 超纯水复溶,过膜待测.

样品制备:取 1 mL 混标于 25 mL 容量瓶,用 0.02 mol/L 盐酸溶液稀释定容.

1.4.2 色谱条件

蛋白水解系统:色谱柱为阳离子交换树脂分析柱;梯度洗脱,分离柱柱温 $57\text{ }^{\circ}\text{C}$,反应柱柱温 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$,缓冲液流速 0.40 mL/min ,茚三酮流速 0.35 mL/min ;分析时间32 min;检测器通道1:波长 570 nm ;通道2:波长 440 nm ;进样量 $20\text{ }\mu\text{L}$.

1.4.3 营养评价

利用FAO/WHO(联合国粮食及农业组织/世界卫生组织)提出的评价蛋白质营养价值的人体必需氨基酸模式,根据氨基酸比值法^[13-17]分别计算氨基酸比值(RAA)、氨基酸比值系数(RC)和氨基酸比值系数分(SRC)值,对不同品种薄壳山核桃的营养价值进行评价与探讨.

1.5 数据处理

运用Excel对测定数据进行整理与计算,采用DPS 18.1数据处理软件对37个薄壳山核桃品种进行系统聚类分析.

2 结果与分析

2.1 薄壳山核桃氨基酸组成分析

由表1可知,37个不同品种薄壳山核桃氨基酸总量介于 $41.22\sim 87.60\text{ mg/g}$ 之间,平均值为 68.78 mg/g ,其中23号、14号、21号、65号和9号薄壳山核桃品种氨基酸总量排名前5,其质量分数分别为 87.60 mg/g , 85.20 mg/g , 80.10 mg/g , 79.02 mg/g , 77.50 mg/g ,3号品种氨基酸总量最低,为 41.22 mg/g .所有品种均检测出17种氨基酸,按质量分数从高到低大致为谷氨酸(Glu)、精氨酸(Arg)、天冬氨酸(Asp)、亮氨酸(Leu)、甘氨酸(Gly)、苯基丙氨酸(Phe)、丝氨酸(Ser)、缬氨酸(Val)、丙氨酸(Ala)、脯氨酸(Pro)、异亮氨酸(Ile)、苏氨酸(Thr)、赖氨酸(Lys)、酪氨酸(Tyr)、组氨酸(His)、胱氨酸(Cys)和蛋氨酸(Met),不同品种薄壳山核桃各种类氨基酸质量分数排序基本一

致。谷氨酸和天冬氨酸作为山核桃主要的鲜味氨基酸^[18]，其质量分数排名为第 1 和第 3，分别占氨基酸总量的 19.53% 和 9.45%。

表 1 不同品种薄壳山核桃氨基酸组成与质量分数

/(mg · g⁻¹)

品种	天冬氨酸	苏氨酸*	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	缬氨酸*	胱氨酸	蛋氨酸*	异亮氨酸*	亮氨酸*	酪氨酸	苯基丙氨酸*	赖氨酸*	组氨酸	精氨酸	脯氨酸	TAA	EAA	NEAA	EAA/TAA/%	EAA/NEAA/%
1号	4.80	2.40	2.70	8.80	2.90	2.80	2.80	0.80	0.64	2.20	3.70	1.70	2.60	2.40	1.40	6.20	2.50	51.34	16.74	34.60	32.61	48.38
3号	4.00	2.10	2.20	7.00	2.30	2.20	2.30	0.64	0.48	1.80	3.10	1.30	2.10	2.00	1.10	4.60	2.00	41.22	13.88	27.34	33.67	50.77
5号	5.70	2.80	3.10	12.10	3.40	2.90	3.10	1.10	0.68	2.50	4.30	2.10	3.20	2.80	1.70	8.40	2.90	62.78	19.38	43.40	30.87	44.65
7号	6.10	3.00	3.40	12.80	3.70	3.30	3.30	1.00	0.73	2.70	4.70	2.20	3.50	2.70	1.80	8.70	2.90	66.53	20.63	45.90	31.01	44.95
8号	7.20	3.20	3.80	14.50	4.00	3.50	3.70	1.20	0.93	3.00	5.30	2.50	3.90	2.80	1.90	10.00	3.40	74.83	22.83	52.00	30.51	43.90
9号	7.30	3.40	4.00	14.70	4.20	3.70	3.80	1.20	1.00	3.10	5.50	2.60	4.00	3.00	2.00	10.60	3.40	77.50	23.80	53.70	30.71	44.32
11号	6.60	2.90	3.60	14.20	3.80	3.30	3.30	1.10	0.81	2.80	4.80	2.30	3.60	2.80	1.90	9.50	3.00	70.31	21.01	49.30	29.88	42.62
12号	5.50	2.60	3.10	11.40	3.40	3.00	3.00	0.95	0.73	2.40	4.30	2.00	3.10	2.60	1.60	7.60	2.80	60.08	18.73	41.35	31.18	45.30
13号	6.50	2.70	3.60	13.70	3.60	3.20	3.40	0.94	0.84	2.80	4.90	2.70	3.50	2.50	1.80	9.60	2.80	69.08	20.64	48.44	29.88	42.61
14号	8.20	3.10	4.40	17.30	4.20	3.90	4.10	1.10	1.10	3.40	6.00	3.20	4.30	3.10	2.10	12.20	3.50	85.20	25.10	60.10	29.46	41.76
16号	6.70	2.80	3.70	13.90	3.60	3.30	3.50	0.90	0.88	2.80	5.10	2.70	3.60	2.60	1.70	9.90	3.00	70.68	21.28	49.40	30.11	43.08
17号	7.30	3.10	3.90	15.00	4.00	3.70	3.70	1.10	1.00	3.00	5.40	2.50	4.00	2.90	2.00	10.40	3.20	76.20	23.10	53.10	30.31	43.50
20号	5.80	2.40	3.10	12.30	3.20	2.80	2.90	0.91	0.75	2.40	4.20	2.00	3.00	2.40	1.60	8.00	2.60	60.36	18.05	42.31	29.90	42.66
21号	7.60	3.20	4.10	16.20	4.20	3.70	3.80	1.20	1.00	3.20	5.60	2.70	4.20	3.00	2.00	11.00	3.40	80.10	24.00	56.10	29.96	42.78
22号	6.30	2.80	3.40	13.60	3.50	3.10	3.20	1.00	0.81	2.60	4.60	2.30	3.40	2.50	1.80	9.20	2.80	66.91	19.91	47.00	29.76	42.36
23号	8.00	3.40	4.50	18.10	4.60	4.10	4.10	1.30	1.10	3.40	6.10	3.00	4.60	3.40	2.30	11.90	3.70	87.60	26.10	61.50	29.79	42.44
26号	7.20	2.90	3.90	14.80	4.00	3.50	3.60	1.20	0.90	3.00	5.50	2.60	4.00	2.80	1.90	10.30	3.50	75.60	22.70	52.90	30.03	42.91
28号	6.90	2.90	3.80	14.00	3.90	3.50	3.50	1.20	0.95	2.90	5.30	2.40	3.70	2.80	1.80	9.60	3.40	72.55	22.05	50.50	30.39	43.66
29号	6.90	2.90	3.70	14.40	3.90	3.40	3.70	1.20	0.82	3.10	5.30	2.40	3.80	2.90	1.90	9.90	3.40	73.62	22.52	51.10	30.59	44.07
30号	5.60	2.40	3.00	11.80	3.30	2.90	3.10	1.00	0.70	2.60	4.40	2.00	3.20	2.50	1.70	8.10	2.90	61.20	18.90	42.30	30.88	44.68
31号	7.20	2.80	3.70	14.60	3.90	3.50	3.70	1.10	0.88	3.10	5.40	2.50	4.00	2.80	1.90	10.10	3.50	74.68	22.68	52.00	30.37	43.62
32号	6.40	2.60	3.50	12.90	3.40	3.10	3.30	0.86	0.83	2.70	4.70	2.50	3.40	2.50	1.70	9.20	2.90	66.49	20.03	46.46	30.12	43.11
34号	5.90	2.40	3.10	11.90	3.20	2.90	3.10	1.00	0.70	2.60	4.40	2.00	3.10	2.40	1.60	8.20	2.90	61.40	18.70	42.70	30.46	43.79
35号	6.40	2.90	3.40	12.30	3.40	3.20	3.40	1.00	0.67	2.80	5.00	2.10	3.40	2.60	1.70	8.70	3.20	66.17	20.77	45.40	31.39	45.75
36号	5.40	2.40	2.80	10.90	3.20	2.60	2.80	0.93	0.33	2.20	3.80	1.90	2.70	2.20	1.60	7.60	2.50	55.86	16.43	39.43	29.41	41.67
42号	6.20	2.60	3.30	13.70	3.60	3.10	3.40	1.10	0.60	2.70	4.70	2.20	3.40	2.80	1.80	9.00	3.00	67.20	20.20	47.00	30.06	42.98
45号	6.20	2.60	3.40	13.30	3.70	3.20	3.40	1.00	0.66	2.80	4.90	2.20	3.50	2.80	1.90	8.90	3.20	67.66	20.66	47.00	30.54	43.96
48号	5.70	2.40	3.10	11.70	3.30	2.90	3.00	0.86	0.65	2.50	4.40	2.00	3.10	2.40	1.50	8.00	2.90	60.41	18.45	41.96	30.54	43.97
52号	6.20	2.60	3.40	12.90	3.50	3.20	3.40	0.95	0.75	2.70	4.90	2.20	3.50	2.70	1.70	8.80	3.10	66.50	20.55	45.95	30.90	44.72
64号	6.90	2.80	3.70	14.90	3.80	3.40	3.60	1.10	0.74	3.00	5.20	2.40	3.70	2.80	1.90	10.20	3.40	73.54	21.84	51.70	29.70	42.24
65号	7.60	2.90	4.00	15.70	4.10	3.80	4.00	1.10	0.82	3.20	6.00	2.60	4.10	3.00	2.00	10.70	3.40	79.02	24.02	55.00	30.40	43.67
66号	7.30	3.00	3.90	15.00	3.90	3.60	3.70	1.00	0.71	3.00	5.40	2.60	3.80	2.90	1.90	10.50	3.40	75.61	22.51	53.10	29.77	42.39
72号	7.30	3.00	3.90	15.00	4.10	3.60	3.80	1.10	0.78	3.10	5.60	2.60	4.00	2.90	2.00	10.40	3.40	76.58	23.18	53.40	30.27	43.41
80号	5.30	2.30	2.90	11.10	2.90	2.60	2.70	0.69	0.40	2.20	4.00	2.20	3.00	2.20	1.40	7.60	2.30	55.79	16.80	38.99	30.11	43.09
99号	6.10	2.50	3.30	12.70	3.40	2.90	3.10	0.84	0.78	2.60	4.60	2.60	3.40	2.40	1.70	8.80	2.80	64.52	19.38	45.14	30.04	42.93
马罕	7.20	3.10	4.00	14.50	4.00	3.70	3.60	1.10	0.97	2.90	5.50	2.60	3.90	2.80	1.90	10.10	3.30	75.17	22.77	52.40	30.29	43.45
威士顿	7.10	2.80	3.90	14.80	4.10	3.70	3.60	1.10	0.93	2.90	5.60	2.60	3.80	2.90	1.90	9.80	3.00	74.53	22.53	52.00	30.23	43.33

注：TAA 为氨基酸总量，EAA 为必需氨基酸总量，NEAA 为非必需氨基酸总量；* 为必需氨基酸。

2.2 EAA 营养价值评价

由表1可知,所有薄壳山核桃品种均未检测出色氨酸(Trp),其余7种EAA齐全。EAA质量分数介于13.88~26.10 mg/g之间,平均质量分数为20.89 mg/g,其中23号、14号、65号、21号和9号品种EAA质量分数排名较高,分别为26.10 mg/g,25.10 mg/g,24.02 mg/g,24.00 mg/g和23.80 mg/g,3号品种EAA质量分数最低。EAA中亮氨酸质量分数最高,占TAA的7.16%,占EAA的23.53%。

评价食品蛋白质的营养价值,一方面要充分满足人体必需氨基酸所需要的数量,另一方面还必须注意各种氨基酸之间的比例。按照FAO/WHO规定的EAA/TAA=40%,EAA/NEAA=60%的标准,目前还未发现一种植物蛋白完全符合这一标准^[14-15],不同品种薄壳山核桃EAA占TAA比例范围为29.41%~33.67%,平均值为30.44%,EAA占NEAA比例范围为41.67%~50.77%,平均值为43.77%,与FAO/WHO标准值还有一定的差距,所有参试的薄壳山核桃品种中,3号品种虽然TAA,EAA总量最低,但其EAA/TAA=33.67%,EAA/NEAA=50.77%,最接近FAO/WHO规定的标准。

按照FAO和WHO提出的评价蛋白质营养价值的EAA模式及百姓日常餐桌较为常见的牛奶、鸡蛋EAA质量分数参考值^[14],对薄壳山核桃EAA成分进行分析(表2),37个薄壳山核桃品种平均值Phe+Tyr质量分数低于牛奶、鸡蛋,接近FAO/WHO标准模式,Thr,Val,Met+Cys,Ile,Leu和Lys质量分数与FAO/WHO标准模式仍有一定的差距,与牛奶、鸡蛋差距更大,37个薄壳山核桃品种最高值Phe+Tyr质量分数高于FAO/WHO标准模式,但仍低于牛奶、鸡蛋。Thr,Val,Ile和Leu质量分数均有大幅度提升,与FAO/WHO标准模式差距减小,Met+Cys和Lys质量分数仍与标准模式有一定差距。

表2 薄壳山核桃EAA组成的比较分析

/(mg·g⁻¹)

种类	Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys
FAO/WHO标准模式	4.0	5.0	3.5	4.0	7.0	6.0	5.5
牛奶	4.4	6.4	3.3	4.7	9.5	10.2	7.8
鸡蛋	4.7	6.6	5.7	5.4	8.6	9.3	7.0
37个薄壳山核桃品种平均值	2.8	3.4	1.8	2.8	4.9	5.9	2.7
37个薄壳山核桃品种最高值	3.4	4.1	2.4	3.4	6.1	7.6	3.4

2.3 氨基酸比值系数法

根据薄壳山核桃EAA质量分数及比例按照氨基酸比值法分别计算RAA,RC和SRC值(表3),对不同品种薄壳山核桃营养价值进行直观评价。RC值大于或小于1都表示偏离标准模式,RC值大于1表示该氨基酸相对过剩,小于1表示该氨基酸相对不足,RC值最小的氨基酸为限制氨基酸^[13],不同品种薄壳山核桃RC值差异较大,35号和65号两个薄壳山核桃品种Met+Cys和Lys的RC值相同且最小,同为第1限制性氨基酸。其他品种可分为两类,其中1号、3号、5号、36号、42号、45号、48号、52号、66号和80号等10个品种Met+Cys的RC值最小,为第1限制性氨基酸,其他25个品种Lys的RC值最小,为第1限制性氨基酸;37个薄壳山核桃品种SRC值介于68.15~81.19之间,平均值为76.13。

表3 不同品种薄壳山核桃EAA的RAA,RC和SRC

品种	参数	Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys	SRC值
1号	RAA	0.60	0.56	0.41	0.55	0.53	0.72	0.44	81.19
	RC	1.10	1.03	0.76	1.01	0.97	1.32	0.80	
3号	RAA	0.53	0.46	0.32	0.45	0.44	0.57	0.36	80.91
	RC	1.17	1.03	0.72	1.01	0.99	1.27	0.81	
5号	RAA	0.70	0.62	0.51	0.63	0.61	0.88	0.51	79.90
	RC	1.10	0.97	0.80	0.98	0.96	1.39	0.80	

续表 3

品种	参数	Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys	SRC 值
7 号	RAA	0.75	0.66	0.49	0.68	0.67	0.95	0.49	76.58
	RC	1.12	0.98	0.74	1.01	1.00	1.42	0.73	
8 号	RAA	0.80	0.74	0.61	0.75	0.76	1.07	0.51	76.77
	RC	1.07	0.99	0.81	1.00	1.01	1.43	0.68	
9 号	RAA	0.85	0.76	0.63	0.78	0.79	1.10	0.55	77.38
	RC	1.09	0.98	0.81	1.00	1.01	1.41	0.70	
11 号	RAA	0.73	0.66	0.55	0.70	0.69	0.98	0.51	77.62
	RC	1.06	0.96	0.79	1.02	1.00	1.43	0.74	
12 号	RAA	0.65	0.60	0.48	0.60	0.61	0.85	0.47	79.34
	RC	1.07	0.98	0.79	0.98	1.01	1.39	0.78	
13 号	RAA	0.68	0.68	0.51	0.70	0.70	1.03	0.45	72.71
	RC	0.99	1.00	0.75	1.03	1.03	1.52	0.67	
14 号	RAA	0.78	0.82	0.63	0.85	0.86	1.25	0.56	73.14
	RC	0.94	1.00	0.77	1.04	1.04	1.52	0.69	
16 号	RAA	0.70	0.70	0.51	0.70	0.73	1.05	0.47	72.96
	RC	1.01	1.01	0.73	1.01	1.05	1.51	0.68	
17 号	RAA	0.78	0.74	0.60	0.75	0.77	1.08	0.53	76.61
	RC	1.03	0.99	0.80	1.00	1.03	1.45	0.70	
20 号	RAA	0.60	0.58	0.47	0.60	0.60	0.83	0.44	78.46
	RC	1.02	0.98	0.81	1.02	1.02	1.41	0.74	
21 号	RAA	0.80	0.76	0.63	0.80	0.80	1.15	0.55	75.76
	RC	1.02	0.97	0.80	1.02	1.02	1.47	0.70	
22 号	RAA	0.70	0.64	0.52	0.65	0.66	0.95	0.45	75.90
	RC	1.07	0.98	0.79	1.00	1.01	1.46	0.70	
23 号	RAA	0.85	0.82	0.69	0.85	0.87	1.27	0.62	75.76
	RC	1.00	0.96	0.81	1.00	1.02	1.49	0.73	
26 号	RAA	0.73	0.72	0.60	0.75	0.79	1.10	0.51	75.05
	RC	0.98	0.97	0.81	1.01	1.06	1.48	0.69	
28 号	RAA	0.73	0.70	0.61	0.73	0.76	1.02	0.51	78.40
	RC	1.01	0.97	0.85	1.01	1.05	1.41	0.71	
29 号	RAA	0.73	0.74	0.58	0.78	0.76	1.03	0.53	77.79
	RC	0.99	1.01	0.79	1.06	1.03	1.41	0.72	
30 号	RAA	0.60	0.62	0.49	0.65	0.63	0.87	0.45	78.24
	RC	0.98	1.01	0.79	1.06	1.02	1.41	0.74	

续表 3

品种	参数	Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys	SRC 值
31号	RAA	0.70	0.74	0.57	0.78	0.77	1.08	0.51	74.84
	RC	0.95	1.01	0.77	1.05	1.05	1.47	0.69	
32号	RAA	0.65	0.66	0.48	0.68	0.67	0.98	0.45	73.63
	RC	0.99	1.01	0.74	1.03	1.03	1.50	0.70	
34号	RAA	0.60	0.62	0.49	0.65	0.63	0.85	0.44	78.28
	RC	0.98	1.02	0.80	1.07	1.03	1.39	0.72	
35号	RAA	0.73	0.68	0.48	0.70	0.71	0.92	0.47	76.94
	RC	1.08	1.02	0.71	1.05	1.07	1.37	0.71	
36号	RAA	0.60	0.56	0.36	0.55	0.54	0.77	0.40	75.21
	RC	1.11	1.04	0.67	1.02	1.01	1.42	0.74	
42号	RAA	0.65	0.68	0.49	0.68	0.67	0.93	0.51	77.74
	RC	0.99	1.03	0.74	1.03	1.02	1.42	0.77	
45号	RAA	0.65	0.68	0.47	0.70	0.70	0.95	0.51	76.68
	RC	0.98	1.02	0.71	1.05	1.05	1.43	0.76	
48号	RAA	0.60	0.60	0.43	0.63	0.63	0.85	0.44	76.37
	RC	1.01	1.01	0.72	1.05	1.05	1.43	0.73	
52号	RAA	0.65	0.68	0.49	0.68	0.70	0.95	0.49	76.47
	RC	0.98	1.03	0.73	1.02	1.06	1.44	0.74	
64号	RAA	0.70	0.72	0.53	0.75	0.74	1.02	0.51	76.18
	RC	0.99	1.02	0.74	1.06	1.05	1.43	0.72	
65号	RAA	0.73	0.80	0.55	0.80	0.86	1.12	0.55	74.53
	RC	0.94	1.04	0.71	1.04	1.11	1.45	0.71	
66号	RAA	0.75	0.74	0.49	0.75	0.77	1.07	0.53	73.97
	RC	1.03	1.02	0.67	1.03	1.06	1.47	0.72	
72号	RAA	0.75	0.76	0.54	0.78	0.80	1.10	0.53	74.43
	RC	1.00	1.01	0.72	1.03	1.07	1.47	0.70	
80号	RAA	0.58	0.54	0.31	0.55	0.57	0.87	0.40	68.15
	RC	1.06	0.99	0.57	1.01	1.05	1.59	0.73	
99号	RAA	0.63	0.62	0.46	0.65	0.66	1.00	0.44	71.05
	RC	0.98	0.97	0.73	1.02	1.03	1.57	0.69	
马罕	RAA	0.78	0.72	0.59	0.73	0.79	1.08	0.51	75.55
	RC	1.05	0.97	0.80	0.98	1.06	1.46	0.69	
威士顿	RAA	0.70	0.72	0.58	0.73	0.80	1.07	0.53	76.13
	RC	0.96	0.98	0.79	0.99	1.09	1.46	0.72	

2.4 不同品种薄壳山核桃聚类情况分析

对不同品种薄壳山核桃氨基酸质量分数及其组成进行分析比较和 EAA 营养价值予以评价等, 得出各品种间氨基酸营养价值优良程度并不一致. 单一指标分析比较薄壳山核桃营养价值具有一定的局限性. 为对不同品种薄壳山核桃营养价值差异进行综合研究, 以薄壳山核桃种仁中 TAA, EAA, EAA/TAA, EAA/NEAA 等指标, 采用欧氏距离测定 37 个薄壳山核桃品种之间的组内连接距离, 得出聚类树状图(图 1). 37 个品种可分为 3 类, 第 1 类为 23 号、14 号、29 号、28 号、9 号、64 号、66 号、26 号、21 号、65 号、72 号、31 号、威士顿、马罕、17 号和 8 号, 该类薄壳山核桃蛋白质品质评价最好, 第 2 类为 80 号、36 号、99 号、32 号、16 号、13 号、22 号、42 号、11 号、35 号、45 号、52 号、7 号、48 号、34 号、20 号、30 号、12 号和 5 号, 该类薄壳山核桃蛋白质品质次之, 第 3 类为 3 号和 1 号, 该类薄壳山核桃蛋白质品质评价一般.

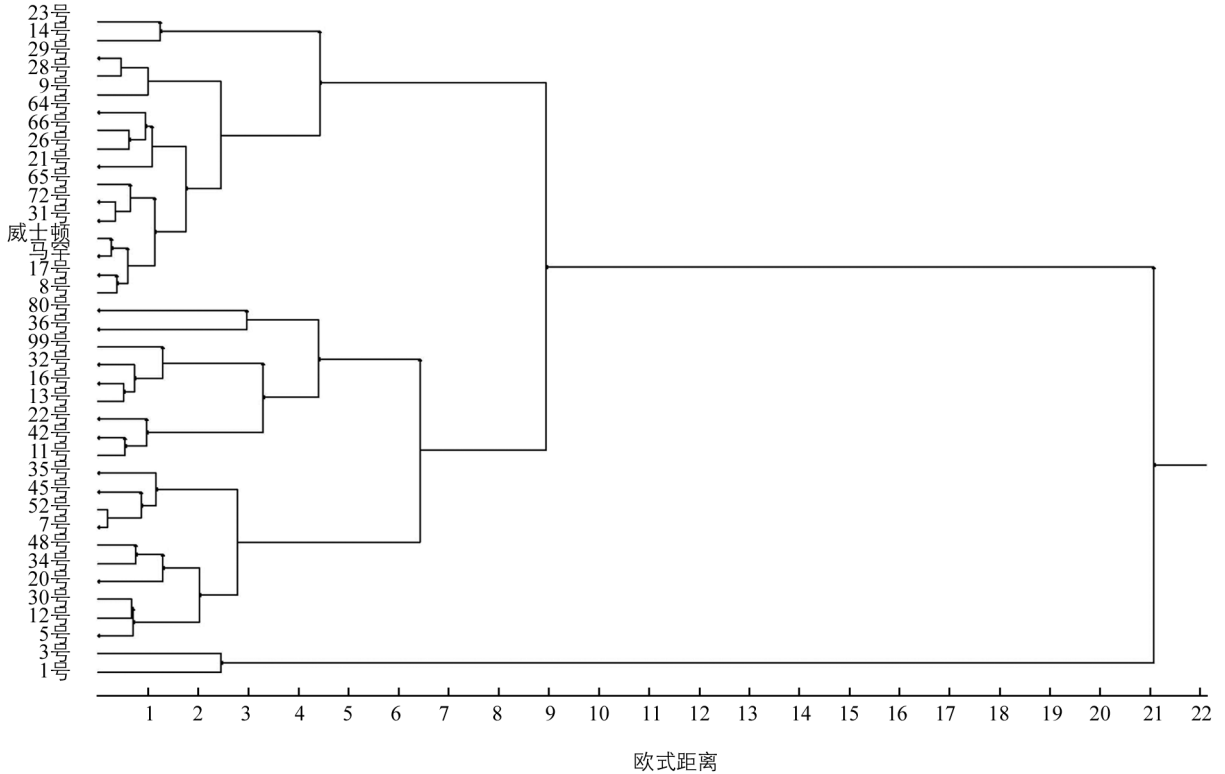


图 1 不同品种薄壳山核桃聚类树状图

3 结 论

37 个品种薄壳山核桃蛋白的氨基酸种类齐全, 均检测出 17 种氨基酸, TAA 质量分数介于 41.22~87.60 mg/g 之间, 平均值为 68.78 mg/g, EAA 质量分数介于 13.88~26.10 mg/g 之间, 平均质量分数为 20.89 mg/g, 高于长柄扁桃^[14]、党参^[19]和澳洲坚果^[20], 氨基酸质量分数在不同品种薄壳山核桃间有较大差异. 对大豆鲜味研究结果表明, 大豆鲜味品质与天冬氨酸和谷氨酸质量分数显著正相关^[21], 天冬氨酸和谷氨酸也是山核桃的主要鲜味氨基酸^[18]. 本试验测定的薄壳山核桃谷氨酸和天冬氨酸等鲜味氨基酸质量分数较高, 占氨基酸总量的 28.98%, 可将谷氨酸和天冬氨酸的质量分数作为评价薄壳山核桃鲜味的主要指标, 加强薄壳山核桃鲜食型品种的选育.

根据薄壳山核桃 EAA 质量分数及比例按照氨基酸比值法分别计算 RAA, RC 和 SRC 值, 结果表明不同品种薄壳山核桃 RC 值差异较大, 大致可分为两类, Met+Cys 和 Lys 质量分数最小, 分别为每一类薄壳山核桃的第 1 限制性氨基酸, 37 个薄壳山核桃品种 SRC 值介于 68.15~81.19 之间, 平均值为 76.13, 超过长柄扁桃(67.79~73.68)^[14]、党参(70.58~76.11)^[19]、澳洲坚果(58~82)^[20]、新疆野核桃(39.75~50.51)^[22]、红枣(68.04~74.88)^[23]和马铃薯(76.9)^[24]等植物蛋白, 接近核桃(67.02~87.98)蛋白^[16], 与

兔肉(79.16)、羊肉(81.33)、牛肉(82.55)、鸡肉(85.07)、猪肉(85.84)、鹅肉(86.03)和鸭肉(91.50)等动物蛋白^[25]相比,更接近于我们常见的牛肉、羊肉、鸡肉和猪肉等.以薄壳山核桃种仁中TAA,EAA,EAA/TAA,EAA/NEAA等指标,对不同品种薄壳山核桃营养价值差异进行系统聚类分析,37个薄壳山核桃品种可分为3类,其中23号、14号、29号、28号、9号、64号、66号、26号、21号、65号、72号、31号、威士顿、马罕、17号和8号等16个品种为第1类,为营养价值较高的植物蛋白品种,可进一步加强筛选与评价,以市场需求为导向,加大推广种植比例并加工利用.

薄壳山核桃作为一个引进树种,适宜在山地、河滩地种植,我国市场销售的薄壳山核桃均为进口加工,以炒制产品居多.在当前耕地日益紧张、传统农作物植物蛋白供给难以满足人们消费需求时,不与粮争地的薄壳山核桃具有较好的互补作用.通过本试验发现不同品种薄壳山核桃氨基酸组成存在较大差异,宜选择营养价值较高的植物蛋白源加以开发利用,同时应重视薄壳山核桃资源的深度挖掘,研发高氨基酸质量分数的功能性食品,加强适宜炒制型、鲜食型品种的筛选、评价与选育工作,以满足多元化市场需求.

参考文献:

- [1] 刘雨,常君,任华东,等.薄壳山核桃雌花发育的解剖学研究[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(6):32-37.
- [2] 常君,任华东,刘雨,等.薄壳山核桃雄花花芽分化的解剖学研究[J].西南大学学报(自然科学版),2019,41(2):33-38.
- [3] ZHANG C, YAO X, REN H, et al. Characterization and Development of Genomic SSRs in Pecan (*Carya illinoensis*) [J]. Forests, 2020, 11(1): 61.
- [4] ZHANG C, YAO X, REN H, et al. RNA-Seq Reveals Flavonoid Biosynthesis-Related Genes in Pecan (*Carya illinoensis*) Kernels [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67: 148-158.
- [5] Fabrizio Giuseppe Casales, Elmarie Van der Watt, Gesine Maria Coetzer. Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A Review [J]. African Journal of Biotechnology, 2018, 17(18): 586-605.
- [6] 张汇慧,吴彩娥,李永荣,等.不同品种薄壳山核桃营养成分比较[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(3):55-58.
- [7] 张日清,吕芳德.美国山核桃在原产地分布、引种栽培区划及主要栽培品种分类研究概述[J].经济林研究,2002,20(3):53-55.
- [8] 陈文静,刘翔如,邓秋菊,等.薄壳山核桃果实发育及脂肪酸累积变化规律[J].经济林研究,2016,34(2):50-55.
- [9] 常君,李川,姚小华,等.薄壳山核桃无性系含油率及脂肪酸组成分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2017,42(8):51-57.
- [10] 常君,任华东,姚小华,等.薄壳山核桃果实发育后期油脂和矿质养分动态变化分析[J].林业科学研究,2019,32(6):122-129.
- [11] 常君,任华东,姚小华,等.薄壳山核桃'Mahan'品种果实动态发育分析及营养物质积累规律研究[J].经济林研究,2019,37(3):90-94,127.
- [12] 陈芬,姚小华,滕建华,等.薄壳山核桃无性系果实经济性状与品质比较[J].中国粮油学报,2016,31(8):68-74.
- [13] 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.
- [14] 姜仲茂,乌云塔娜,王森,等.不同产地野生长柄扁桃仁氨基酸组成及营养价值评价[J].食品科学,2016,37(4):77-82.
- [15] 侯娜,赵莉莉,魏安智,等.不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J].食品科学,2017,38(18):113-118.
- [16] 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):206-212.
- [17] 周丹蓉,王小安,叶新福,等.辣木氨基酸分析与营养评价研究[J].热带作物学报,2017,38(2):278-282.
- [18] 常君,任华东,姚小华,等.山核桃不同无性系脂肪酸及氨基酸组成分析[J].中南林业科技大学学报,2018,38(4):20-26.
- [19] 杨鲜,祝慧凤,王涛,等.重庆巫山等多地党参氨基酸及营养价值比较与分析[J].食品科学,2014,35(15):251-257.
- [20] 宋海云,张涛,贺鹏,等.不同日期采收的不同品种澳洲坚果的氨基酸分析[J].经济林研究,2019,37(2):

82-88, 113.

- [21] 汪自强, 艾麦里, 苏贤坤. 鲜食大豆食味品质的评价指标研究 [J]. 中国粮油学报, 2004, 19(3): 47-50.
- [22] 周红, 张萍. 新疆野核桃氨基酸含量及营养评价 [J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 148-153.
- [23] 王成, 何伟忠, 乔坤云, 等. 新疆主栽红枣氨基酸组成比较分析 [J]. 新疆农业科学, 2014, 51(12): 2196-2200.
- [24] 张泽生, 刘素稳, 郭宝芹, 等. 马铃薯蛋白质的营养评价 [J]. 食品科技, 2007, 32(11): 219-221.
- [25] 钱爱萍, 颜孙安, 林香信, 等. 家禽肉中氨基酸组成及营养评价 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(13): 94-97.

Amino Acid Composition and Nutritional Value Evaluation of Different Varieties of Pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)

CHANG Jun¹, ZHANG Xiao-dan², YAO Xiao-hua¹,
YANG Shui-ping², WANG Kai-liang¹, REN Hua-dong¹

1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou Zhejiang 311400, China;

2. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: In order to provide a theoretical basis and guidance for the breeding and production of pecan (*Carya illinoensis* K. Koch), 37 pecan varieties were used as the research object, amino acid content and composition in them were determined, and the amino acid ratio coefficient method was used for nutritional evaluation. The results showed that 17 kinds of amino acids were detected in all the 37 varieties with a total amino acid content between 41.22 mg/g and 87.60 mg/g, averaging 68.78 mg/g. Their essential amino acid content ranged from 13.88 mg/g to 26.10 mg/g, averaging 20.89 mg/g. The first limited amino acid of these varieties was Met + Cys or Lys, and their score of ratio coefficient of amino acid (SRC) ranged from 68.15 to 81.19, with an average value of 76.13. Based on such indicators as total amino acids and total essential amino acids in the pecan kernels, a systematic clustering analysis of the differences in nutrient value of different varieties of pecans was conducted. The 37 pecan varieties were clustered into 3 categories, of which 16 varieties including No. 23 and No. 14 had the highest nutritional value. Development of pecan functional products and variety selection can be strengthened according to different needs.

Key words: pecan (*Carya illinoensis* K. Koch); amino acid; nutrition evaluation; cluster analysis

责任编辑 周仁惠