

郝苑汝, 陈芮蝶, 翟梅枝. 不同品种核桃氨基酸组成及营养价值评价 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(16): 281–290. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024080379

HAO Yuanru, CHEN Ruidie, ZHAI Meizhi. Evaluation on Amino Acid Composition and Nutritional Value from Different Walnut Varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(16): 281–290. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024080379

· 分析检测 ·

不同品种核桃氨基酸组成及营养价值评价

郝苑汝¹, 陈芮蝶², 翟梅枝^{1,*}

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100;

2. 四川省洪雅县国有林场, 四川眉山 620300)

摘要: 本研究以 9 个品种核桃坚果为试材, 测定其核仁氨基酸组成及含量, 计算其营养价值评分, 并进行主成分分析及聚类分析, 多角度综合测评氨基酸营养价值。结果表明, 不同品种核桃均检出 17 种氨基酸, 总量 15.33~20.45 g/100 g; 呈味氨基酸占氨基酸总量的 55.25%~58.04%; 药用氨基酸占氨基酸总量的 63.56%~70.16%; 氨基酸评分、化学评分和氨基酸比值系数等多种方法均判定赖氨酸为第一限制氨基酸。基于氨基酸组成及含量的主成分分析表明‘契可’(QK)、“西林 3 号”(XL3)、“香玲”(XL)、“鲁光”(LG)和“清香”(QX)品种表现优良, 综合得分较高; 基于营养价值评测的聚类分析则表明‘契可’、“清香”、“香玲”、“西林 3 号”和“鲁光”品种核桃必需氨基酸指数及生物价较高, 呈味氨基酸和特殊功效氨基酸含量丰富, 品质相对较好。综合分析认为, QK、XL 和 XL3 为氨基酸营养价值较高的优良品种, 适宜推广种植及加工利用。

关键词: 核桃, 不同品种, 氨基酸, 营养评价, 主成分分析, 聚类分析

中图分类号: S664.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)16-0281-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024080379

本文网刊:



Evaluation on Amino Acid Composition and Nutritional Value from Different Walnut Varieties

HAO Yuanru¹, CHEN Ruidie², ZHAI Meizhi^{1,*}

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. State owned Forest Farm in Hongya County, Meishan 620300, China)

Abstract: In this study, nine varieties of walnut nuts were used as test materials to determine the amino acid composition and content, calculate their nutritional value scores, and conduct principal component analysis and cluster analysis to comprehensively evaluate the nutritional value of amino acids from multiple perspectives. The results showed that 17 kinds of amino acids were detected in different varieties of walnuts, with a total amount of 15.33~20.45 g/100 g. Flavor amino acids and medicinal amino acids accounted for 55.25%~58.04% and 63.56%~70.16% of the total amino acids, respectively. Various methods including amino acid scoring, chemical scoring and amino acid ratio coefficient all determined that lysine was the first limiting amino acid. The comprehensive performance and high scores of QK, XL3, XL, LG, and QX varieties were demonstrated by principal component analysis based on amino acid composition and content. Higher essential amino acid index and biological value, rich flavor and functional amino acid contents, and relatively good quality were observed in walnut varieties QK, QX, XL, XL3, and LG through cluster analysis based on nutritional evaluation. Comprehensive analysis showed that QK, XL and XL3 were excellent varieties with high nutritional value of amino acids and were suitable for promotion of planting and processing utilization.

Key words: walnut; different varieties; amino acid; nutritional evaluation; principal component analysis; cluster analysis

收稿日期: 2024-09-04

基金项目: 国家重点研发计划 (2023YFD2200305-2); 陕西省重点研发计划项目 (2023-ZDLNY-18)。

作者简介: 郝苑汝 (1995-), 女, 博士研究生, 研究方向: 经济林, E-mail: 547491699@qq.com。

* 通信作者: 翟梅枝 (1963-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 植物资源利用, E-mail: plum-zhai@163.com。

核桃(*Juglans regia* L.)是世界四大干果之一^[1]。核桃栽培历史悠久,分布地区广泛,在我国主要生长于山地及丘陵地带,以云南、新疆维吾尔自治区、陕西等地最为常见^[2]。核桃富含脂肪酸、蛋白质、黄酮、多酚、甾醇、矿物质等成分^[3-5],营养丰富。有研究已经证实,核桃仁有抗氧化和抗炎的特性,可以通过改善疲劳等达到健脑益智的作用,还能通过调节糖脂代谢改善糖尿病、心脑血管疾病、脂肪肝病等^[6-8],具有极高的食用价值和医疗保健价值^[9-11]。

核桃是我国重要的木本油料树种之一,核仁含油量 65%~70%,有“树上油库”的美誉。核仁中蛋白质含量 15%~20%,仅次于油脂。目前对不同核桃品种坚果的研究主要集中在坚果经济性状评价、含油量及脂肪酸组分分析、核桃油品质研究及核桃副产品加工利用等方面。关于核桃蛋白, Wen 等^[12]研究表明核桃蛋白的主要活性是抗高血压、抗氧化、学习改善和抗癌等,还可应用于功能性食品或膳食补充剂的开发。李俊南等^[13]研究表明 6 个地区的‘娘青’核桃(*Juglans sigillata* Dode)中粗脂肪含量平均 66.30%,粗蛋白含量平均为 13.93%。冯启科等^[14]以河北省 9 个核桃(*Juglans regia* L.)主栽品种为试材,对其营养品质测定表明不同核桃品种的油脂含量 61.13%~65.61%,蛋白质含量为 14.46%~18.35%。徐田和耿树香^[15]选择 9 个有代表性的美国山核桃(*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch)品种进行种仁营养成分分析与评价,9 个品种的蛋白质含量在 4.37~7.96 g/100 g 之间,平均值 5.88 g/100 g;粗脂肪含量在 53.21%~74.91% 之间,平均值 65.9%。由此可见,核桃果实营养品质受核桃品种、立地条件、自然环境和栽培管理等多重因素的影响,不同品种间矿物质元素、脂肪、蛋白质含量等均存在差异^[16]。核桃仁营养品质是核桃最重要的经济性状,是核桃品种选育和市场推广的重要指标。氨基酸是蛋白质的基本单位,其组成及含量是评价核桃品质及营养价值的重要指标。但迄今国内外关于不同核桃品种核仁氨基酸组成及营养评价等研究还相对较少。

本研究选取西北农林科技大学核桃种质资源圃的 9 个核桃品种的坚果为供试材料,去壳后核仁低温烘干测定其氨基酸组成及含量;借助氨基酸评分、化学评分、必需氨基酸指数、氨基酸比值系数评分等对氨基酸营养价值进行多角度评测;利用主成分分析、聚类分析等方法对不同品种核桃坚果氨基酸品质进行综合评价。研究结果将为不同品种核桃品质评价及综合利用提供理论依据,也为核桃新种质创制和推广应用奠定坚实基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

核桃 9 种,分别为‘香玲’(XL)、“西林 3 号”(XL3)、“中林 5 号”(ZL)、“维纳”(VN)、“鲁光”(LG)、“西洛 2 号”(XL2)、“清香”(QX)、“契可”(QK)、“辽核

4 号”(LH4),均为陕西省核桃适生区主栽品种,其中, VN、QK 为美国引进品种, QX 为日本引进品种,其它 6 个品种为国内审定优良品种。2023 年 9 月 5 日核桃果实成熟期在西北农林科技大学种质资源圃采样,每个品种采集大小基本一致、无明显病虫害的果实 30 个,人工去青皮后坚果 45 ℃ 烘干备用。

L-8900 全自动氨基酸分析仪 日立科学仪器(北京)有限公司;CY-SXT-06D 索氏提取器 杭州川一实验仪器有限公司;JT-DCY-12SL 氮吹仪 聚同电子(杭州)有限公司;DHG-9248A 烘箱 上海精宏实验设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 取烘干后坚果,人工去壳后得到核桃仁。将一定量核仁研磨后无损转入滤纸包中,使用六联索氏提取器,以石油醚(沸程 60~90 ℃)为提取溶剂,在 80 ℃ 水浴下提取核桃油 5~6 h。待提取结束取出滤纸包,挥发掉残余溶剂后在 45 ℃ 烘箱中烘干,取纸包中核仁饼粕保存,用于氨基酸含量测定。

1.2.2 氨基酸含量测定 参照 GB/T 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》^[17],采用氨基酸自动分析仪进行测定^[18]。每个品种设 3 次重复,结果取其均值。

准确称取核仁饼粕 200 mg,小心加入水解管中,尽量防止挂壁;加入 1:1 盐酸(AR)溶液 10 mL,氮吹仪不加热吹 15 min 后拧紧瓶盖,置烘箱中于 110 ℃ 水解 24 h;将样品取出冷却至室温,开管后用水系滤纸过滤到 50 mL 容量瓶中,用去离子水洗涤水解管和滤膜各 3 次,洗涤液过滤到容量瓶并定容;吸取定容后的样品 2 mL,置于 70 ℃ 水浴锅上干燥脱酸;脱酸后的样品,加入 2 mL 样品稀释缓冲液,置振荡混合器上混合均匀,过 0.22 μm 滤膜后上机分析。

1.2.3 营养价值评价 参照 1973 年世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)修订的理想蛋白质人体必需氨基酸模式图^[19],按如下公式分别计算不同核桃品种果仁中的滋味活性值 TAV^[20]、氨基酸评分 AAS、化学评分 CS、必需氨基酸指数 EAAI^[21-22]、生物价 BV、氨基酸比值系数 RC^[23]、氨基酸比值系数评分 SRC^[24]。

$$TAV = C/X$$

$$AAS(\%) = Ae/As \times 100$$

$$CS(\%) = Ae/Ai \times 100$$

$$EAAI = \sqrt{\frac{Ae1 \times Ae2 \times \dots \times Aen}{Ai1 \times Ai2 \times \dots \times Ain}} \times 100$$

$$BV = 1.09 \times EAAI - 11.7$$

$$RC = T/Tx$$

$$SRC = 100 - 100 \times (RC \text{ 标准差} / RC \text{ 均值})$$

式中: C—样品中呈味氨基酸含量; X—氨基酸味道阈值; Ae—样品中必需氨基酸含量; As—WHO/FAO 评分模式中必需氨基酸含量; Ai—参考蛋白质或理想模式中必需氨基酸含量; n—必需氨基酸数量; T—样品中某一必需氨基酸与 WHO/FAO 评分模式中必需氨基酸含量的比值; Tx—样品中所有必需氨基酸与模式氨基酸含量比值的平均值。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 进行氨基酸含量数据整理; 采用 SPSS 23.0 软件进行差异性分析和主成分分析, 显著性分析采用单因素 ANOVA 分析方法, $P<0.05$ 表示差异显著; 采用 Origin 2024 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种核桃氨基酸组成分析

对 9 个品种核桃氨基酸组成及含量进行测定, 结果如图 1 和表 1 所示。

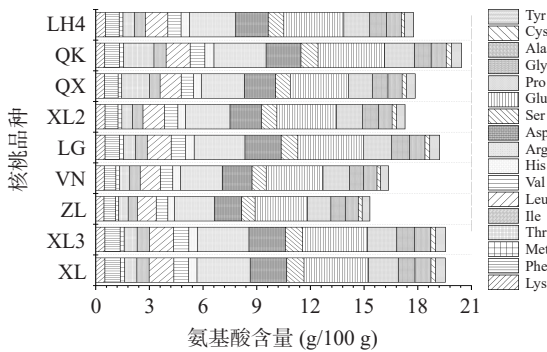


图 1 不同品种核桃氨基酸组成及含量
Fig.1 Amino acid composition and content of different walnut varieties

由图 1 可看出, 9 个核桃品种中均含有 17 种氨基酸, 包括赖氨酸(Lys)、苯丙氨酸(Phe)、甲硫氨酸(Met)、苏氨酸(Thr)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、半胱氨酸(Cys)、酪氨酸(Tyr)和缬氨酸(Val)等 9 种必需氨基酸, 组氨酸(His)和精氨酸(Arg)2 种半必需氨基酸以及天冬氨酸(Asp)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、脯氨酸(Pro)、甘氨酸(Gly)和丙氨酸(Ala)等 6 种非必需氨基酸, 这与薄壳山核桃^[25]和新疆野核桃^[26]的测定结果一致。不同品种的氨基酸组分均以 Glu 含量最高, 为 2.93~3.72 g/100 g, 平均 3.41 g/100 g, 占氨基酸总量的 18.88%; 其次是 Arg 和 Asp,

平均含量分别为 2.63 g/100 g 和 1.84 g/100 g; 其余组分含量均低于 2 g/100 g。周红等^[26]对新疆野核桃的坚果氨基酸评价中测得, 12 种新疆野核桃的氨基酸组分中, Glu 的含量最高, 平均含量为 42.91 mg/g, 与本研究 Glu 含量较接近; 含量次之为 Gly 和 Tyr, 分别为 23.47 和 16.62 mg/g。本研究含量第二和第三高的 Arg 和 Asp, 在 12 种野核桃中的平均含量仅为 9.17 和 3.27 mg/g。

表 1 可看出, 9 个核桃品种中, 氨基酸总量(TAA)为 15.33~20.45 g/100 g, 略低于野生长柄扁桃仁^[27](26.78 g/100 g), 但高于不同树龄漾濞泡核桃^[28](12.61 g/100 g~13.60 g/100 g)。TAA 以 QK 含量最高, ZL 含量最低, 仅为 QK 的 3/4。各品种必需氨基酸(EAA)含量为 4.68 g/100 g~6.96 g/100 g, 半必需氨基酸(HEAA)含量为 2.61~3.44 g/100 g, 两者均为 ZL 含量最低, EAA 和 HEAA 含量最高分别是 QK 和 XL, 二者含量分别是 ZL 的 1.49 和 1.32 倍。非必需氨基酸(NEAA)含量在 8.04 g/100 g~10.17 g/100 g 之间变化, 各品种含量依次为: XL3>XL>QK>LG>LH4>XL2>QX>VN>ZL。

2.2 不同品种核桃呈味氨基酸组成分析

风味是指由摄入口腔的食物对人的感觉器官(味觉、嗅觉、痛觉及触觉等)产生的综合生理效应^[29]。呈味物质一般是指摄入口腔的食物中所含有的使舌头产生感觉印象的物质。在核桃果实中, 丰富的呈味氨基酸的存在为不同品种的核桃仁提供了多样的感官呈现。呈味氨基酸可分为甜味、酸味、苦甜、苦味及咸味等不同口感, 其中甜味氨基酸(SWAA)主要包括 Thr、Ser、Gly、Ala 和 Pro; 鲜味氨基酸(FAA)主要为 Asp 和 Glu; 苦甜氨基酸(BSAA)包含 Lys、His 和 Arg; 苦味氨基酸(BAA)主要包含 Met、Ile、Leu、Tyr、Phe 和 Val; 咸味氨基酸(SAAA)则主要为 Cys^[30-31]。不同的呈味氨基酸具有不同的滋味特点, 共同构成了各品种核桃仁的特征滋味。滋味活性值 TAV 是滋味物质含量与其滋味阈值的比值, 可表示主要滋味物质对食品滋味的贡献程度, TAV>1 时, 氨基酸对呈味有贡献, TAV<1 时, 氨基酸呈味作用不显著, 贡献较小^[32-33]。对 9 个核桃品种种仁中的呈味氨基酸含量进行测定和分析, 结果见表 2。

由表 2 可知, 不同品种核桃种仁中呈味氨基酸

表 1 不同品种核桃氨基酸含量(g/100 g)

Table 1 Amino acid content of different walnut varieties (g/100 g)

氨基酸	XL	XL3	ZL	VN	LG	XL2	QX	QK	LH4
TAA	19.55±0.55 ^b	19.56±0.65 ^b	15.33±0.39 ^c	16.37±0.06 ^d	19.22±0.25 ^b	17.29±0.04 ^c	17.87±0.16 ^c	20.45±0.19 ^a	17.77±0.50 ^c
EAA	5.99±0.11 ^c	6.03±0.12 ^c	4.68±0.05 ^b	4.95±0.07 ^b	5.83±0.06 ^d	5.31±0.08 ^f	6.22±0.10 ^b	6.96±0.11 ^a	5.46±0.11 ^c
HEAA	3.44±0.11 ^a	3.36±0.12 ^a	2.61±0.07 ^d	2.77±0.06 ^d	3.32±0.02 ^a	2.91±0.07 ^{bc}	2.84±0.05 ^{cd}	3.42±0.06 ^a	3.04±0.10 ^b
NEAA	10.11±0.56 ^a	10.17±0.42 ^a	8.04±0.29 ^d	8.65±0.18 ^c	10.07±0.23 ^a	9.06±0.02 ^{bc}	8.81±0.12 ^{bc}	10.07±0.16 ^a	9.27±0.31 ^b
EAA/TAA(%)	30.64	30.83	30.53	30.23	30.33	30.71	34.81	34.03	30.73
EAA/NEAA(%)	59.25	59.29	58.21	57.23	57.89	58.61	70.60	69.12	58.90

注: TAA表示氨基酸总量; EAA表示必需氨基酸; HEAA表示半必需氨基酸; NEAA表示非必需氨基酸; 同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 2 不同品种核桃呈味氨基酸组分含量(g/100 g)

Table 2 Content of flavored amino acid components in different walnut varieties (g/100 g)

呈味氨基酸		XL	XL3	ZL	VN	LG	XL2	QX	QK	LH4
SWAA	Thr	0.69±0.03 ^{cd}	0.72±0.03 ^c	0.53±0.03 ^f	0.58±0.03 ^{ef}	0.67±0.03 ^{cde}	0.60±0.03 ^{def}	1.56±0.07 ^b	1.69±0.12 ^a	0.65±0.04 ^{cde}
	Ser	0.96±0.04 ^a	0.97±0.02 ^a	0.75±0.03 ^d	0.79±0.02 ^{cd}	0.93±0.04 ^a	0.86±0.03 ^b	0.83±0.02 ^{bc}	0.95±0.04 ^a	0.86±0.04 ^b
	Gly	0.94±0.04 ^{ab}	1.00±0.04 ^a	0.83±0.06 ^{cd}	0.81±0.06 ^d	1.01±0.01 ^a	0.89±0.06 ^{bc}	0.86±0.04 ^{bcd}	0.94±0.04 ^{ab}	0.94±0.02 ^{ab}
	Ala	0.89±0.02 ^{ab}	0.91±0.01 ^a	0.71±0.03 ^e	0.74±0.01 ^{de}	0.85±0.04 ^{ab}	0.76±0.03 ^{de}	0.79±0.06 ^{cd}	0.85±0.05 ^{abc}	0.84±0.04 ^{bc}
	Pro	1.67±0.14 ^a	1.64±0.02 ^{ab}	1.31±0.10 ^d	1.47±0.07 ^{bcd}	1.57±0.02 ^{abc}	1.47±0.13 ^{bcd}	1.35±0.14 ^d	1.66±0.14 ^a	1.44±0.02 ^{cd}
	总量	5.14±0.19 ^{bc}	5.23±0.10 ^{bc}	4.12±0.14 ^f	4.38±0.01 ^e	5.03±0.10 ^c	4.57±0.02 ^{de}	5.40±0.08 ^b	6.09±0.30 ^a	4.73±0.14 ^d
FAA	Asp	2.05±0.06 ^a	2.04±0.05 ^a	1.53±0.04 ^f	1.67±0.04 ^e	2.03±0.02 ^a	1.77±0.01 ^d	1.73±0.02 ^d	1.95±0.03 ^b	1.83±0.03 ^c
	Glu	3.60±0.23 ^a	3.62±0.19 ^a	2.93±0.06 ^c	3.18±0.11 ^b	3.68±0.14 ^a	3.33±0.07 ^b	3.24±0.14 ^b	3.72±0.07 ^a	3.36±0.14 ^b
	总量	5.65±0.29 ^a	5.66±0.24 ^a	4.46±0.10 ^d	4.85±0.15 ^c	5.71±0.12 ^a	5.10±0.06 ^{bc}	4.97±0.16 ^{bc}	5.67±0.09 ^a	5.19±0.16 ^b
BSAA	Lys	0.52±0.04 ^{ab}	0.51±0.05 ^{ab}	0.47±0.02 ^b	0.48±0.01 ^b	0.53±0.02 ^{ab}	0.52±0.05 ^{ab}	0.50±0.04 ^{ab}	0.51±0.02 ^{ab}	0.54±0.03 ^a
	His	0.48±0.02 ^{abc}	0.49±0.04 ^{ab}	0.37±0.03 ^d	0.42±0.03 ^{cd}	0.48±0.04 ^{ab}	0.43±0.03 ^{bc}	0.42±0.03 ^{cd}	0.51±0.03 ^a	0.46±0.03 ^{abc}
	Arg	2.97±0.10 ^a	2.87±0.08 ^{ab}	2.24±0.04 ^f	2.34±0.03 ^{ef}	2.84±0.05 ^b	2.48±0.05 ^{cd}	2.42±0.02 ^{de}	2.91±0.08 ^{ab}	2.58±0.07 ^c
	总量	3.96±0.15 ^a	3.87±0.09 ^a	3.07±0.05 ^c	3.24±0.06 ^d	3.85±0.03 ^a	3.43±0.06 ^c	3.34±0.07 ^{cd}	3.93±0.08 ^a	3.58±0.11 ^b
BAA	Met	0.24±0.04 ^a	0.22±0.04 ^a	0.16±0.03 ^b	0.20±0.02 ^{ab}	0.22±0.03 ^a	0.21±0.03 ^{ab}	0.19±0.04 ^{ab}	0.23±0.02 ^a	0.21±0.03 ^{ab}
	Ile	0.69±0.03 ^a	0.70±0.02 ^a	0.53±0.02 ^c	0.58±0.03 ^b	0.67±0.03 ^a	0.59±0.02 ^b	0.60±0.03 ^b	0.69±0.04 ^a	0.61±0.03 ^b
	Leu	1.38±0.03 ^a	1.35±0.03 ^a	1.04±0.03 ^c	1.14±0.05 ^d	1.33±0.04 ^a	1.20±0.01 ^c	1.18±0.02 ^{cd}	1.34±0.02 ^a	1.25±0.04 ^b
	Tyr	0.56±0.03 ^a	0.56±0.06 ^a	0.43±0.03 ^b	0.45±0.04 ^b	0.55±0.04 ^a	0.47±0.04 ^b	0.50±0.03 ^{ab}	0.57±0.05 ^a	0.50±0.03 ^{ab}
	Phe	0.86±0.04 ^a	0.86±0.02 ^a	0.65±0.04 ^c	0.65±0.04 ^c	0.80±0.03 ^{abc}	0.73±0.02 ^d	0.76±0.04 ^{cd}	0.82±0.03 ^{ab}	0.78±0.02 ^{bcd}
	Val	0.82±0.02 ^{ab}	0.84±0.04 ^a	0.64±0.02 ^c	0.68±0.03 ^d	0.80±0.03 ^b	0.75±0.02 ^c	0.70±0.02 ^d	0.83±0.02 ^{ab}	0.75±0.02 ^c
	总量	4.54±0.09 ^a	4.53±0.20 ^a	3.46±0.11 ^c	3.71±0.03 ^d	4.38±0.05 ^a	3.94±0.04 ^{bc}	3.92±0.07 ^c	4.48±0.04 ^a	4.09±0.09 ^b
SAAA	Cys	0.25±0.05 ^{ab}	0.27±0.05 ^{ab}	0.22±0.04 ^{ab}	0.19±0.04 ^{ab}	0.26±0.04 ^{ab}	0.25±0.06 ^{ab}	0.24±0.05 ^{ab}	0.28±0.07 ^a	0.18±0.04 ^b
	总量	0.25±0.05 ^{ab}	0.27±0.05 ^{ab}	0.22±0.04 ^{ab}	0.19±0.04 ^{ab}	0.26±0.04 ^{ab}	0.25±0.06 ^{ab}	0.24±0.05 ^{ab}	0.28±0.07 ^a	0.18±0.04 ^b

注: SWAA表示甜味氨基酸; FAA表示鲜味氨基酸; BSAA表示苦甜氨基酸; BAA表示苦味氨基酸; SAAA表示咸味氨基酸; 同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

含量各不相同。9 个品种核仁 FAA 平均含量 5.25 g/100 g, LG 含量最高, 达到 5.71 g/100 g; SWAA 平均含量 4.97 g/100 g, QK 含量最高, 达到 6.10 g/100 g; FAA 和 SWAA 共占呈味氨基酸总量的 55.24%~58.69%, 且均为 ZL 含量最低; 各品种 BAA 总量均高于 BSAA, 且两种呈味氨基酸总量在品种间差异较显著; SAAA 是含量最低的呈味氨基酸, 且品种间差异较小。呈味氨基酸平均含量依次为: FAA>SWAA>BAA>BSAA>SAAA, 姜仲茂等^[27]研究表明, 不同产地长柄扁桃仁中味觉氨基酸的含量表现为: 鲜味氨基酸>甜味氨基酸>芳香族氨基酸(Tyr 和 Phe), 本研究结果与之一致。对各呈味氨基酸的滋味活性值进行计算, 结果见图 2。

由图 2 可看出, SWAA 中 Ala, FAA 中 Glu 和 Asp, BSAA 中 His 和 Arg, BAA 中 Val 以及 SAAA 中 Cys 的 TAV 值均大于 1, 表明其对核桃果仁的呈味贡献较显著。咸味是 5 种基本味道之一, 可赋予食品丰富风味, 改善食物的品质特性^[34]。鲜味则是最能激发食欲的味道, 咸味与鲜味叠加, 可带来更有层次感的咸鲜体验, 提高核桃种仁整体的口感和风味。9 个核桃品种种仁中 Cys 的 TAV 值最高, 为 9.00~14.17, 其次是 Glu, 为 9.76~12.41。Glu 是核桃氨基酸的主要成分, 可抑制味觉受体的信号传递, 具有掩盖苦味的功效^[35], 能有效降低 Val 的苦味强度。Arg 的 TAV 为 4.47~5.93, 但由于其特殊的呈味性, 可降低对苦味的感知和苦味强度^[36-39]。也有研究表

明 Leu、Phe 等苦味氨基酸含量低于味道阈值时, 可增强其他氨基酸的呈味贡献^[40-42]。

由图 2 还可知, 在 9 个核桃品种中, QK 核仁的总 TAV 值最高, 达到 47.31; 其次为 XL3 和 LG, 总 TAV 值分别为 45.90 和 45.33; ZL 的 TAV 总值最低, 仅为 QK 的 77.17%, 总值为 36.51。甜味氨基酸中, 仅 Ala 的 TAV 大于 1, 说明 Ala 对甜味的贡献较大, 其中 TAV 较高的前 4 个品种分别为 XL3、XL、LG 和 QK; 鲜味氨基酸中, Asp 和 Glu 的 TAV 均大于 1, 其中 Glu 鲜味最强, QK、LG、XL3 和 XL 的 TAV 值较高; 苦味氨基酸中 Val 的呈味贡献较大, TAV 值较高的品种亦为 XL3、QK、XL 和 LG, 但这 4 个品种核仁的整体口感中没有明显的苦味, 可能是由于在复杂的基质中呈味物质的协调相互作用产生了拮抗现象, 使其他化合物的存在掩盖或抑制了苦味的呈现^[43]。综上所述, 本研究中的 9 个不同品种核桃仁呈味活性表现不同, 整体呈现鲜味口感, 夹杂着不同程度的苦味或甜味。

2.3 不同品种核桃特殊功效氨基酸组成分析

氨基酸是构成人体的基本物质之一, 除在呈味方面有显著作用外, 在生理调节和医疗健康等方面也发挥着不容忽视的重要作用^[44]。药用氨基酸(MAA)是指具有药理学作用的氨基酸, 可增强免疫力、协助治疗心脏疾病、改善肝功能等, 包括 Asp、Glu、Gly、Met、Leu、Phe、Tyr、Lys 和 Arg。由图 3 可得, 9 个品种核桃的 5 种特殊功效氨基酸中, MAA 含量最

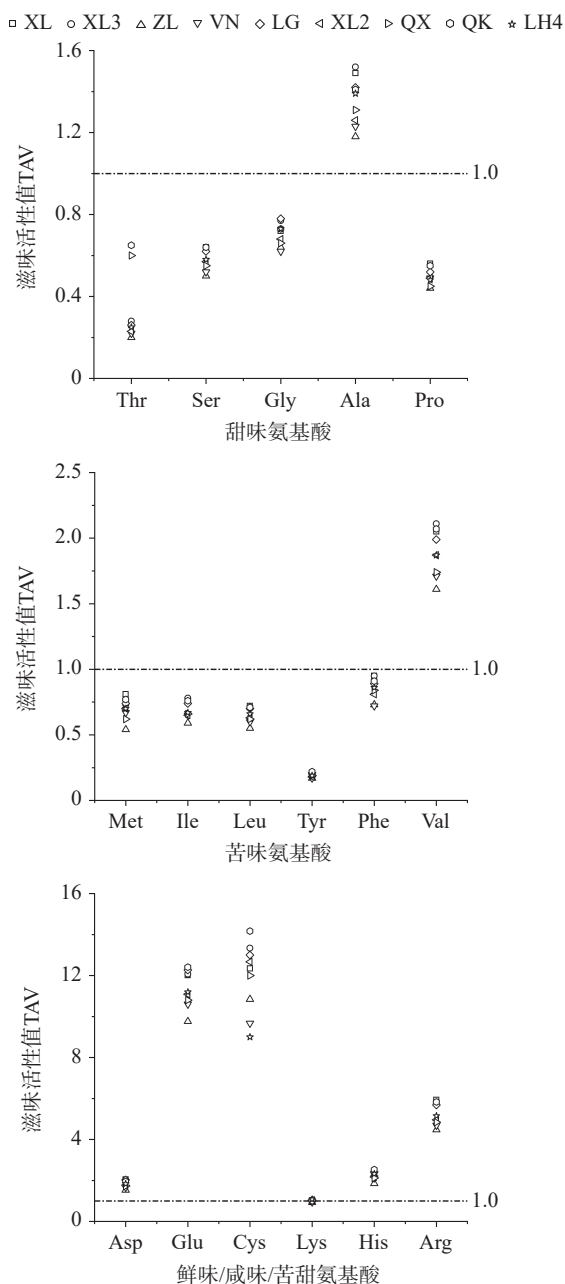


图 2 不同品种核桃呈味氨基酸滋味活性值

Fig.2 Taste amino acid flavor activity values of different walnut varieties

高, 达到 10.27~13.11 g/100 g, 平均含量占氨基酸总量的 66.70%, XL 是含量最高的品种, ZL 含量最低。丰富的 MAA 含量进一步证实了核桃坚果核仁中极高的药用价值。增香与着色氨基酸(FCAA)中氨基可与还原糖的羰基产生美拉德反应生成具有愉快香味的褐色物质, 促进食品的增香与着色, 主要包括 Glu、Cys、Val、Leu、Lys、His 和 Arg。图 3 显示, FCAA 含量仅次于 MAA, 为 7.90~10.10 g/100 g, 平均含量占氨基酸总量的 51.18%, QK 含量最高, ZL 亦是含量最低的品种。高含量的 FCAA 增加了核桃果仁的香气, 满足了直接食用核桃坚果或者加工市场的消费需求。

儿童必需氨基酸(CEAA)还包括 His 和 Arg。His 为 10 岁以下儿童不能合成, 但对儿童的成长尤

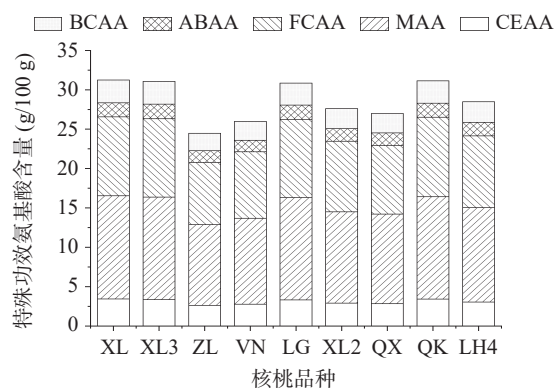


图 3 不同品种核桃特殊功效氨基酸含量

Fig.3 Content of special functional amino acids of different walnut varieties

其重要, 可促进孩子的神经系统和机体发育; Arg 则为“婴儿必需氨基酸”, 具有免疫调节功能, 与 His 结合可促进婴幼儿神经系统和机体发育和功能系统的完善。抗菌氨基酸(ABAA)主要有 Phe、Trp 和 Gly 等, 一定浓度的 ABAA 可对引起食物腐败的微生物产生抑制作用。支链氨基酸(BCAA)中含有 Ile、Leu 和 Val 等, 是糖类、脂肪缺乏或代谢障碍时的重要能量物质, 具有调节蛋白合成与分解、防治肝肾肾功能衰竭等功能。由图 3 可看出, 9 个品种核桃的 CEAA、ABAA 及 BCAA 的含量分别为 2.61~3.44、1.46~1.85、2.22~2.89 g/100 g, 平均占氨基酸总量的 17.06%、9.32% 和 14.57%。其中, XL 的 CEAA 和 BCAA 含量均最多, XL3 的 ABAA 和 BCAA 含量最丰富, 表明 XL 核仁氨基酸的组成结构更能满足儿童的生长发育需求, XL3 核仁则在抗菌抑菌方面效果更佳。差异性分析表明, CEAA、BCAA 和 ABAA 这 3 种特殊功效氨基酸中, XL 和 XL3 之间无显著性差异, 而二者与 ZL 和 VN 则差异性显著 ($P<0.05$)。

2.4 不同品种核桃氨基酸营养价值评价

2.4.1 必需氨基酸营养价值评价

食物中蛋白质营养价值的优劣主要取决于其中所含必需氨基酸的种类、数量和组成比例^[27]。1973 年世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)修订了人类理想的蛋白质模型, 并提出了评价食物的必需氨基酸模式图。理想模式中 EAA/TAA=40%, EAA/NEAA=60%, 食物中氨基酸组成比例越接近 FAO/WHO 氨基酸模式要求, 食物中蛋白质和氨基酸营养价值越高, 与人体需求越相符^[44]。

由表 1 可知, 不同品种核桃仁中 EAA/TAA 的范围为 30.23%~34.81%, 平均比值为 31.67%; EAA/NEAA 在 57.23%~70.60% 之间变化, 平均比值为 61.04%。有研究报道, 不同品种薄壳山核桃 EAA/TAA 比例范围为 29.41%~33.67%, 平均值为 30.44%, EAA/NEAA 比例范围为 41.67%~50.77%, 平均值为 43.77%^[45]; 不同类型新疆野核桃 EAA/TAA 比值变

化为 22.3%~31.4%, EAA/NEAA 比值变化为 28.8%~45.7%^[26]。对比分析表明, 本研究的核仁氨基酸组成比例与 FAO/WHO 氨基酸模式要求更贴近, 更能满足人体营养需求。不同核桃品种的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 两比值均为 VN 最小, QX 最大; EAA/TAA 占比依次为: QX>QK>XL3>LH4>XL2>XL>ZL>LG>VN; 与 EAA/TAA 相比, 不同品种 EAA/NEAA 的顺序略有不同, 依次为: QX>QK>XL3>XL>LH4>XL2>ZL>LG>VN。与 FAO/WHO 氨基酸模式相比, 9 个品种核桃核仁中 EAA/TAA 均低于标准模式; 除 QX 和 QK 的 EAA/NEAA 比值高于标准模式, 达 70% 左右外, 其余品种的比值均与标准模式相近。

2.4.2 氨基酸评分和化学评分 氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)分别指样品蛋白质中某一必需氨基酸占 WHO/FAO 评分模式和全鸡蛋蛋白模式中相应氨基酸含量的百分比, 是判定各种必需氨基酸营养价值高低的重要指标。评分越接近 100%, 待测样品中必需氨基酸的种类、数量及比例等越与人体蛋白或标准鸡蛋蛋白接近, 其营养价值就越高^[46-47]。由表 3 可以看出, 不同品种核桃的 AAS 和 CS 总评分分别为 91.70%~142.28% 和 67.98%~108.08%, 总评分最高的核桃品种是 QK, 评分最低的是 ZL。必需氨基酸各组分的 AAS 和 CS 均低于 100%, 表明核桃果实中各 EAA 均为限制氨基酸, 其中 Lys 为第 1 限制氨基酸, 其 AAS 和 CS 分别平均为 9.22% 和 7.24%。有研究显示, 新疆 22 个玉米品种 AAS 和 CS 表明第 1 限制氨基酸是 Lys, 其评分分值分别为 41.76% 和 35.89%^[23]; 9 个小米品种的 AAS 中 Lys 分值最低, 仅为 25.89%~31.93%, 判定其为第 1 限制氨基酸^[48]。根据蛋白质互补法, 建议食用核桃、玉米

等时选择与 Lys 含量相对过剩的白色藜麦^[49]或树莓^[50]等食物搭配, 提高机体对蛋白质的利用率。

2.4.3 氨基酸比值系数和比值系数评分 当样品中氨基酸组成比例与模式氨基酸一致, 各必需氨基酸比值系数(RC)等于 1; 若 RC<1 表明该种 EAA 含量相对不足, RC>1 则该种 EAA 相对过剩, 氨基酸不足或过剩均会对食物中营养价值产生影响。氨基酸比值系数评分(SRC)是食物中各必需氨基酸与模式氨基酸偏离的离散度的综合评价, 表示样品蛋白质的相对营养价值, 若与模式氨基酸组成比例一致, 则 SRC 等于 100, 故 SRC 越接近 100, 其营养价值相对越高。如表 4 所示, 根据 RC 可判定核桃中第 1 限制氨基酸为 Lys, 与 AAS 和 CS 判定结果一致。杨永涛等^[51]选取 6 个省份共 29 个品种核桃氨基酸进行营养价值评价, 结果表明, RC 和 SRC 数据判定除紫仁 1 号和中林 3 号外, 其余 27 个品种的第一限制性氨基酸均为 Lys, 本研究结果与之基本一致。而不同品种薄壳山核桃通过 RC 判定 1 号等 11 个品种中 Met+Cys 为第 1 限制氨基酸, 其他 26 个品种中 Lys 为第 1 限制氨基酸^[45]; 12 种新疆野核桃则通过 RC 值得出, 卵圆形的第 1 限制氨基酸为 Val, 尖果型的第 1 限制氨基酸为 Lys, 其他类型的第 1 限制氨基酸均为 Thr^[26]。以上研究结果也体现了不同种属和品种间的第 1 限制氨基酸相似性和差异性。本研究 9 个核桃品种中, Thr、Phe+Tyr 的 RC 值大于 1, 表明这些必需氨基酸含量相对过剩; Val、Met+Cys, Lys 的 RC 值小于 1, 表明其含量相对不足; Ile 和 Leu 则表现为仅在 QX 和 QK 两个品种中相对不足。杨永涛等^[51]的研究中则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, 本研究与之略有差别。本研究 9 个品种的 SRC 分值不等, 介

表 3 不同品种核桃氨基酸评分及化学评分

Table 3 Amino acid score and chemical score of different walnut varieties

指标		评分(%)						
		Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys
AAS	XL	17.17±0.51	16.40±0.33	14.00±0.84	17.25±0.61	19.67±0.36	23.56±0.21	9.39±0.52
	XL3	18.08±0.51	16.87±0.57	13.90±1.98	17.50±0.35	19.29±0.35	23.56±1.06	9.33±0.70
	ZL	13.25±0.54	12.87±0.25	10.86±1.53	13.33±0.31	14.86±0.31	18.06±0.82	8.48±0.31
	VN	14.42±0.62	13.67±0.50	11.24±0.71	14.58±0.62	16.24±0.53	18.39±0.48	8.67±0.09
	LG	16.75±0.54	15.93±0.41	13.81±0.36	16.67±0.51	19.05±0.41	22.61±0.44	9.58±0.23
	XL2	15.00±0.54	14.93±0.25	13.24±0.59	14.67±0.31	17.14±0.12	19.94±0.79	9.45±0.74
	QX	39.08±1.50	13.93±0.34	12.19±0.36	14.92±0.51	16.81±0.18	21.00±0.72	9.03±0.52
	QK	42.33±2.38	16.53±0.34	14.67±1.89	17.17±0.72	19.14±0.23	23.22±0.28	9.21±0.34
	LH4	16.17±0.72	14.93±0.25	11.14±1.21	15.17±0.51	17.90±0.41	21.28±0.55	9.82±0.39
	XL	14.61±0.44	12.42±0.25	8.60±0.52	12.78±0.45	16.01±0.29	15.20±0.13	7.38±0.41
CS	XL3	15.39±0.44	12.78±0.43	8.54±1.22	12.96±0.26	15.70±0.28	15.20±0.68	7.33±0.55
	ZL	11.28±0.46	9.75±0.19	6.67±0.94	9.88±0.23	12.09±0.25	11.65±0.53	6.67±0.24
	VN	12.27±0.53	10.35±0.38	6.90±0.44	10.80±0.46	13.22±0.43	11.86±0.31	6.81±0.07
	LG	14.26±0.46	12.07±0.31	8.48±0.22	12.35±0.38	15.50±0.33	14.59±0.28	7.52±0.18
	XL2	12.77±0.46	11.31±0.19	8.13±0.36	10.86±0.23	13.95±0.09	12.87±0.51	7.43±0.58
	QX	33.26±1.28	10.56±0.26	7.49±0.22	11.05±0.38	13.68±0.15	13.55±0.46	7.10±0.41
	QK	36.03±2.03	12.53±0.26	9.01±1.16	12.72±0.53	15.58±0.19	14.98±0.18	7.24±0.27
	LH4	13.76±0.61	11.31±0.19	6.84±0.74	11.23±0.38	14.57±0.33	13.73±0.35	7.71±0.31

表 4 不同品种核桃必需氨基酸比值系数、比值系数评分、必需氨基酸指数和生物价

Table 4 Essential amino acid ratio coefficients, ratio coefficient scores, essential amino acid index and biological value of different walnut varieties

品种	RC							SRC	EAAI	BV
	Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys			
XL	1.02	0.98	0.83	1.03	1.17	1.40	0.56	75.63	24.30	14.79
XL3	1.07	1.00	0.82	1.03	1.14	1.39	0.55	75.76	24.47	14.97
ZL	1.01	0.98	0.83	1.02	1.13	1.38	0.65	78.78	20.21	10.33
VN	1.04	0.98	0.81	1.05	1.17	1.32	0.62	78.76	21.12	11.32
LG	1.02	0.97	0.85	1.02	1.17	1.38	0.59	76.96	23.89	14.34
XL2	1.01	1.00	0.89	0.98	1.15	1.34	0.63	79.89	22.38	12.69
QX	2.15	0.77	0.67	0.82	0.93	1.16	0.50	49.17	24.48	14.98
QK	2.08	0.81	0.72	0.84	0.94	1.14	0.45	51.72	26.84	17.55
LH4	1.06	0.98	0.73	1.00	1.18	1.40	0.65	76.32	22.58	12.91

于 49.17~79.89 之间, 平均值为 71.44, 分值超过 75 的有 7 个品种, 表明大多数供试核桃品种核仁的氨基酸组成比例与模式氨基酸更接近, 营养价值相对较高。杨永涛等^[51]的研究中与本研究相同品种但不同产区的 LG(山东泰安)、XL(山东泰安)、ZL(山西汾阳)和 XL3(陕西宜君)的 SRC 分别为 83.03、79.04、86.07 和 67.02, 分值与本研究略有差距, 体现出了环境、气候和生态条件等对相同品种的影响。

必需氨基酸指数(EAAI)指待测样品中全部必需氨基酸相对于 FAO/WHO 标准蛋白模式中必需氨基酸的比率; 生物价(BV)则体现食物中蛋白质经消化吸收后的利用率^[52]。由表 4 可知, 9 个核桃品种坚果核仁 EAAI 在 20.21~24.48 变化, 其中 QX 的 EAAI 值最高, ZL 的最低。与标准模式相比, 所有品种均表现出较大差距。王蕤等^[53]在对胡桃科坚果中氨基酸进行组成分析与营养评价时, 分析得出 4 种胡桃科共 7 组坚果的 EAAI 在 27.74~78.89 之间, 该测定结果高于本研究数据。这可能是由于种属差异大和栽植环境不同, 使得核仁氨基酸组成及含量存在较大差异。就 BV 而言, 不同核桃品种 BV 在 10.33~14.98 之间变化, 最高和最低的品种亦为 QX 和 ZL, 表明 QX 核桃核仁中蛋白质被消化后的利用率相对较高, ZL 的利用率相对较低, 但两个品种的利用率差别不大。新疆不同品种玉米的 BV 平均为 69.95^[23], 4 种颜色藜麦共 16 个样品的 BV 平均为 53.10^[54], 云南常见 12 种野生食用菌的 BV 评分平均为 48.03^[55], 均高于本研究核桃样品数据。这可能是由于不同物种间差异较大所致。

2.5 不同品种核桃氨基酸营养综合评价

2.5.1 主成分分析评价 对 9 个核桃品种的 17 种

氨基酸含量进行主成分分析^[56], 结果见表 5。由表 5 可知, 以特征值大于 1 为筛选阈值, 共提取到 2 个主成分, 第 1 主成分贡献率 82.063%, 第 2 主成分贡献率为 7.852%, 累积方差贡献率为 89.915%, 高于阈值 85%, 故这 2 个主成分可代替 17 个指标对 9 个品种核桃的氨基酸进行分析。

表 5 不同品种核桃氨基酸主成分特征值和贡献率

Table 5 Eigenvalues and contributions of amino acid principal components from different walnut varieties

主成分	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	13.951	82.063	82.063
2	1.335	7.852	89.915
3	0.679	3.996	93.911
4	0.504	2.967	96.878
5	0.302	1.778	98.657

以 Z_1 、 Z_2 分别代表表 2 个主成分, X_1 (Lys)、 X_2 (Phe)、 X_3 (Met)、 X_4 (Thr)、 X_5 (Ile)、 X_6 (Leu)、 X_7 (Val)、 X_8 (His)、 X_9 (Arg)、 X_{10} (Asp)、 X_{11} (Ser)、 X_{12} (Glu)、 X_{13} (Pro)、 X_{14} (Gly)、 X_{15} (Ala)、 X_{16} (Cys)、 X_{17} (Tyr)分别代表 17 个氨基酸指标, 可得到如下线性方程。

$$Z_1=0.049X_1+0.068X_2+0.066X_3+0.018X_4+0.071X_5+0.071X_6+0.071X_7+0.069X_8+0.071X_9+0.071X_{10}+0.071X_{11}+0.07X_{12}+0.065X_{13}+0.064X_{14}+0.068X_{15}+0.047X_{16}+0.07X_{17}$$

$$Z_2=-0.34X_1+0.032X_2-0.094X_3+0.631X_4+0.063X_5-0.048X_6-0.012X_7+0.012X_8+0.004X_9-0.086X_{10}+0.011X_{11}+0.029X_{12}-0.167X_{14}-0.08X_{15}+0.403X_{16}+0.118X_{17}$$

以各主成分对应方差贡献率为权重, 构建综合评价模型: $Z=0.821Z_1+0.079Z_2$ 。最终获得 9 个核桃

表 6 不同品种核桃氨基酸成分得分和综合得分

Table 6 Principal component scores and comprehensive assessment of different walnut varieties

得分	XL	XL3	ZL	VN	LG	XL2	QX	QK	LH4
Z1	1.306	1.304	1.022	1.093	1.284	1.153	1.145	1.316	1.185
Z2	0.123	0.150	0.076	0.087	0.110	0.093	0.714	0.795	0.071
Z	1.082	1.083	0.845	0.904	1.063	0.954	0.996	1.144	0.979
排名	3	2	9	8	4	7	5	1	6

品种的综合评价分值及排名(表 6)。由表 6 可知, 9 个核桃品种氨基酸综合品质从高到低依次为: QK、XL3、XL、LG、QX、LH4、XL2、VN、ZL, 即表明从氨基酸组成及含量来看, QK、XL3、XL、LG 和 QX 品种表现优良, 氨基酸综合评价较高, 且主成分因子 Z1 对氨基酸的综合评价影响较大。

2.5.2 聚类分析评价 对 9 个核桃品种中 EAA/TAA、EAA/NEAA、SRC、EAAI 和 BV 5 个氨基酸营养价值评价指标进行系统聚类分析, 结果见图 4。如图 4 所示, 9 个品种可判定为两大类, 第 I 类包含 QX 和 QK 两品种, 第 II 类为 XL、XL3、LG、XL2、LH4、ZL 和 VN。I 类中两个品种的必需氨基酸含量最高, 氨基酸总量丰富, EAA/TAA 及 EAA/NEAA 值最接近标准模型, EAAI 及 BV 也较高, 综合评价品质相对较好。对 II 类品种进行二阶聚类, XL、XL3、LG、XL2、LH4 为 II-1 类, ZL、VN 为 II-2 类。II-2 类中两个品种仅氨基酸比值系数评分 SRC 相对较高, 其余指标均低于剩余 7 个品种, 且综合评价评分排名靠后。II-1 类 5 个品种中, XL、XL3 和 LG 品种的氨基酸总量及必需氨基酸含量较高, 呈味氨基酸和特殊功效氨基酸含量丰富, 各指标均优于 XL2 和 LH4, 故在三阶聚类中分为两个亚类。从氨基酸营养价值评价来看, QX、QK、XL、XL3 和 LG 各指标相对较优, 品质较好。聚类结果反映了氨基酸营养价值在不同核桃品种间的遗传差异, 这为 9 个品种的营养评价、新品种创制及加工利用等提供了重要参考。

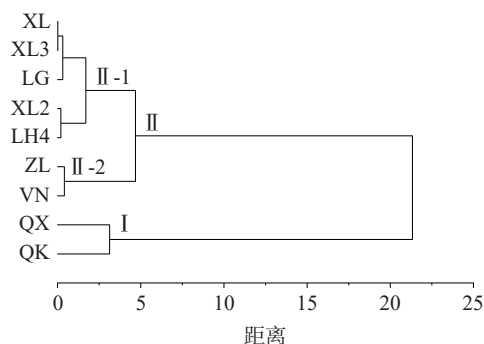


图 4 不同品种核桃氨基酸营养价值评价指标的聚类树状图
Fig.4 Cluster tree diagram of amino acid nutritional value evaluation index from different walnut varieties

3 结论

供试 9 个品种核桃均含有 17 种氨基酸, 氨基酸总量为 15.33~20.45 g/100 g; 其中 Glu、Arg、Asp、Pro 及 Leu 为主要氨基酸组分, 含量均高于 1.00 g/100 g, 平均含量约占氨基酸总量的 58.29%。呈味氨基酸占氨基酸总量的 55.25%~58.04%; 药用氨基酸占氨基酸总量的 63.56%~70.16%, 这表明核桃果实兼具食用和药用两大功用, 可进行多用途合理开发利用。供试核桃的必需氨基酸含量为 4.03~6.11 g/100 g, 品种间差异显著; AAS、CS 和 RC 等多种评测方法均判定 Lys 为第一限制氨基酸。主成分分析表明, 从氨

基酸组成和含量来看, QK、XL3、XL、LG 和 QX 表现优良, 综合得分较高; 聚类分析则表明, 从氨基酸营养价值评价指标看, QK、QX、XL、XL3 和 LG 品种 EAAI 及 BV 较高, 呈味氨基酸和特殊功效氨基酸含量丰富, 综合评价品质相对较好。

综上所述, QK、XL 和 XL3 等 3 个品种核桃核仁氨基酸组成及含量丰富, 氨基酸营养价值评价较高, 综合评价其为优良品种, 是新种质创制及核桃产品加工利用的优势资源。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] SONG Huaying, CONG Zhufeng, WANG Changlin, et al. Research progress on Walnut oil: Bioactive compounds, health benefits, extraction methods, and medicinal uses[J]. J Food Biochem, 2022, 46(12): e14504.
- [2] 张玉壮, 雷舒雯, 刘志晨, 等. 不同贮藏温度对冷榨核桃油关键香气成分的影响研究[J/OL]. 中国油脂: 1-19[2025-06-09]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240324>.
- [3] ZHANG Yuzhuang, LEI Shuwen, LIU Zhichen et al. Effects of different storage temperatures on the key aroma compounds of cold-pressed walnut oil[J/OL]. China Oils and Fats: 1-19[2025-06-09]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240324>.
- [4] 李述刚, 霍嘉颖, 周琦, 等. 核桃油风味物质与生物活性关联分析[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(4): 11-21. [LI Shugang, HUO Jiaying, ZHOU Qi, et al. Correlation analysis between flavor substances and biological activity of walnut oil[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(4): 11-21.]
- [5] 白玉英, 解静, 彭麟杰, 等. 核桃粕酶解物抑制脂质积累的机制[J]. 中国食品学报, 2024, 24(7): 193-200. [BAI Yuying, XIE Jing, PENG Linjie, et al. The mechanism of walnut meal enzymatic hydrolysate inhibiting lipid accumulation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(7): 193-200.]
- [6] 徐丽, 巩芳娥, 虎云青, 等. ‘强特勒’脱青皮鲜核桃冻藏过程中品质的变化情况[J]. 中国油脂, 2024, 49(6): 117-123. [XU Li, GONG Fang'e, HU Yunqing, et al. Changes in quality of peeled fresh Chandler walnut during freezing storage[J]. China Oils and Fats, 2024, 49(6): 117-123.]
- [7] CROITORU A, FICAI D, CRACIUN L, et al. Evaluation and exploitation of bioactive compounds of walnut, *Juglans regia*[J]. Curr Pharm Des, 2019, 25(2): 119-131.
- [8] NI Zhijing, ZHANG Yige, CHEN Shengxiong, et al. Exploration of walnut components and their association with health effects[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2022, 62(19): 5113-5129.
- [9] WANG Lei, LI Wenjing, LI Xuanyue, et al. Antimicrobial activity and mechanisms of walnut green husk extract[J]. Molecules, 2023, 28(24): 7981.
- [10] 胡霞, 弘子姍, 代晶晶, 等. 核桃蛋白抗炎成分的筛选及其活性比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(6): 29-42. [HU Xia, HONG Zishan, DAI Jingjing, et al. Screening and activity comparison of anti-inflammatory components of walnut proteins[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(6): 29-42.]
- [11] 门德盈, 代佳和, 汤木果, 等. 核桃肽制备及生物活性的研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(23): 367-376. [MEN Deying, DAI

- Jiahe, TANG Mugu, et al. Preparation and bioactivity of walnut peptides: a review[J]. *Food Science*, 2022, 43(23): 367–376.]
- [11] PRIBIS P, BAILEY R N, RUSSELL A A, et al. Effects of walnut consumption on cognitive performance in young adults[J]. *British Journal of Nutrition*, 2012, 107(9): 1393–401.
- [12] WEN Chaoting, ZHANG Zhiyi, CAO Liyan, et al. Walnut protein: A rising source of high-quality protein and its updated comprehensive review[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71(28): 10525.
- [13] 李俊南,熊新武,张雨,等.不同地区‘娘青’核桃坚果品质综合评价分析[J]. *中国油脂*, 2024, 49(5): 114–119. [LI Junnan, XIONG Xinwu, ZHANG Yu, et al. Comprehensive evaluation and analysis of nut quality of Niangqing walnut from six regions[J]. *China Oils and Fats*, 2024, 49(5): 114–119.]
- [14] 冯启科,王芳,李津津,等.河北省核桃主栽品种坚果特征分析与评价[J]. *林业与生态科学*, 2022, 37(4): 378–383. [FENG Qike, WANG Fang, LI Jinjin, et al. Analysis and evaluation of main *Juglans regia* cultivars characteristics in Hebei Province[J]. *Forestry and Ecological Sciences*, 2022, 37(4): 378–383.]
- [15] 徐田,耿树香.9个品种美国山核桃油脂品质综合评价分析[J/OL]. *中国油脂*: 1–11[2025-06-09]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220729>. [XU Tian, GENG Shuxiang. Comprehensive evaluation and analysis of oil quality of 9 Pecan varieties[J/OL]. *China Oils and Fats*: 1–11[2025-06-09]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220729>.]
- [16] 杨旭昆,刘振环,米艳华,等.云南省不同产地核桃品质分析与综合评价[J]. *农产品质量与安全*, 2024(1): 79–84. [YANG Xukun, LIU Zhenhuan, MI Yanhua, et al. Quality analysis and comprehensive evaluation of walnut from different origins in Yunnan[J]. *Quality and Safety of Agro-Products*, 2024(1): 79–84.]
- [17] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB/T 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: [S]. 北京:中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission, The State Food and Drug Administration. GB/T 5009.124-2016 National food safety standards. Determination of amino acids in food[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016.]
- [18] 张婷,王雪艳,郭勤卫,等.提取溶剂和取样时间对辣椒游离氨基酸品质的影响[J]. *北方园艺*, 2024(16): 87–95. [ZHANG Ting, WANG Xueyan, HUANG Jinzhi, et al. Effects of extractant and sampling time on the quality of free amino acids in pepper[J]. *Northern Horticulture*, 2024(16): 87–95.]
- [19] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirements[R]. Rome: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973.
- [20] 彭佳佳,张小军,田鑫,等.核桃内种皮游离氨基酸呈味特征及其营养评价[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(22): 226–232. [PENG Jiajia, ZHANG Xiaojun, TIAN Xin, et al. Study on flavor characteristics and nutritional evaluation of free amino acids in walnut pellicle[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(22): 226–232.]
- [21] OSER B L. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein[J]. *J Am Diet Assoc*, 1951, 27(5): 396–402.
- [22] 陈宏靖,阳丽君,宋涛.闽产 25 种蔬菜氨基酸含量及营养评价[J]. *卫生研究*, 2020, 49(6): 978–983. [CHEN Hongjing, YANG Lijun, SONG Tao. Amino acid composition analysis and nutritional evaluation of vegetables from Fujian Province[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2020, 49(6): 978–983.]
- [23] 徐鑫,毛红艳,韩登旭,等.新疆不同玉米品种氨基酸营养价值评价[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(6): 244–249. [XU Xin, MAO Hongyan, HAN Dengxu, et al. Nutritional value evaluation of amino acids of different corn cultivars in Xinjiang[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(6): 244–249.]
- [24] 温立香,袁冬寅,欧淑琼,等.广西三个产区虫茶主要茶特征成分、挥发性成分分析及氨基酸营养评价[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(20): 329–336. [WEN Lixiang, YUAN Dongyin, OU Shuqiong, et al. Analysis of main tea characteristic components and volatile components and amino acid nutrition evaluation of insect tea from three producing areas in Guangxi[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(20): 329–336.]
- [25] 常君,张潇丹,王开良,等.不同薄壳山核桃无性系种仁氨基酸组成的比较[J]. *经济林研究*, 2020, 38(4): 125–133. [CHANG Jun, ZHANG Xiaodan, WANG Kailiang, et al. Comparison of amino acid composition of different clones of pecan[J]. *Non-wood Forest Research*, 2020, 38(4): 125–133.]
- [26] 周红,张萍.新疆野核桃坚果氨基酸含量及营养评价[J]. *西北林学院学报*, 2019, 34(2): 148–153. [ZHOU Hong, ZHANG Ping. Amino acid composition and nutritional evaluation of xinjiang wild walnut[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(2): 148–153.]
- [27] 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. [JIANG Zhongmao, WUYUN Tana, WANG Sen, et al. Amino acid composition and nutritional quality evaluation of wild *Amygdalus pedunculatus* Pall. kernels from different growing regions[J]. *Food Science*, 2016, 37(4): 77–82.]
- [28] 杨建华,李淑芳,习学良,等.不同树龄漾濞泡核桃氨基酸营养价值评价[J]. *中国食物与营养*, 2021, 27(7): 41–44. [YANG Jianhua, LI Shufang, XI Xueliang, et al. Nutritional evaluation on yangbi walnut of different ages[J]. *Food and Nutrition in China*, 2021, 27(7): 41–44.]
- [29] 于梓苒,李宁阳,弓志青,等.食用菌呈味物质及其检测技术、应用的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(2): 373–379. [YU Zipeng, LI Ningyang, GONG Zhiqing, et al. Research progress on edible fungus flavor substances and their detection technology and application[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(2): 373–379.]
- [30] FANG Wei, LI Youyuan, SUN Donghui, et al. Odor, tastes, nutritional compounds and antioxidant activity of fresh-eating walnut during ripening[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 293: 110744.
- [31] 柯宇鑫,张建华,童雯,等.施肥对毛竹鞭笋营养成分、呈味物质及氨基酸组分的影响[J]. *经济林研究*, 2023, 41(4): 237–244. [KE Yuxin, ZHANG Jianhua, TONG Wen, et al. Effects of fertilization on nutrient composition, flavoring substances and amino acid composition of *Phyllostachys edulis* rhizomes shoots[J]. *Non-wood Forest Research*, 2023, 41(4): 237–244.]
- [32] 马建荣,潘腾,王振宇,等.传统炭烤羊肉特征滋味成分解析[J]. *食品科技*, 2019, 44(4): 110–116. [MA Jianrong, PAN Teng, WANG Zhenyu, et al. Analysis of taste components of traditional charcoal roast mutton[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(4): 110–116.]
- [33] 资璐熙,李为兰,杨豪,等.云南省不同产地美味牛肝菌主要滋味品质评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(12): 91–99. [ZI Luxi, LI Weilan, YANG Hao, et al. Quality evaluation of the main tastes of *Boletus edulis* from different origins in Yunnan Province[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(12): 91–99.]
- [34] 汪少芸,黄心澄,高婷婷,等.咸味感知与咸味肽的研究进展

- [J]. 食品科学, 2023, 44(1): 1-13. [WANG Shaoyun, HUANG Xincheng, GAO Tingting, et al. Progress in research on saltiness perception and salty peptides[J]. Food Science, 2023, 44(1): 1-13.]
- [35] WANG Wenli, ZHOU Xirui, LIU Yuan. Characterization and evaluation of umami taste: A review[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2020, 127: 115876.
- [36] AKITOMI H, TAHARA Y, YASUURA M, et al. Quantification of tastes of amino acids using taste sensors[J]. *Sensors & Actuators B Chemical*, 2013, 179: 276-281.
- [37] OGAWA T, NAKAMURA T, TSUJI E, et al. The combination effect of L-arginine and NaCl on bitterness suppression of amino acid solutions[J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 2004, 52(2): 172-177.
- [38] MELIS M, ARCA M, ARAGONI M C, et al. Dose-dependent effects of L-arginine on PROP bitterness intensity and latency and characteristics of the chemical interaction between PROP and Larginine[J]. *PLoS One*, 2015, 10(6): e0131104.
- [39] ADAMCZYK B, ADAMCZYK S, SMOLANDER A, et al. Tannic acid and Norway spruce condensed tannins can precipitate various organic nitrogen compounds[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(3): 628-637.
- [40] LIOE H N, APRIYANTONO A, TAKARA K, et al. Umami taste enhancement of MSG/NaCl mixtures by subthreshold l- α -aromatic amino acids[J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(7): 401-405.
- [41] 时羽杰, 邹晓勇, 糜加轩, 等. 核桃内种皮苦涩味品质代谢组学分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(6): 54-64. [SHI Yujie, WU Xiaoyong, MI Jiaxuan, et al. Metabonomics of bitter taste quality of walnut kernel pellicle[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2021, 49(6): 54-64.]
- [42] 帕尔哈提·柔孜, 则拉莱·司马依, 刘源, 等. 3种甘草种子蛋白游离氨基酸组成及呈味特性的对比分析[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(8): 53-60, 218. [ROZI Parhat, SIMAYI Zelalail, LIU Yuan, et al. Comparative analysis of free amino acid composition in proteins of seeds of three *Glycyrrhiza* species and the flavor characteristics[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(8): 53-60, 218.]
- [43] 赵卿宇, 胡锦蓉, 沈群. 四种大米味感品质研究[J]. *中国粮油学报*, 2019, 34(4): 17-23. [ZHAO Qinyu, HU Jinrong, SHEN Qun. Taste quality of four kinds of rice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34(4): 17-23.]
- [44] 罗睿雄, 魏玲, 王光瑛, 等. 20份黄皮种质资源果肉游离氨基酸对风味品质和药用价值的影响及其评价[J]. *热带作物学报*, 2024, 45(3): 485-494. [LUO Ruixiong, WEI Ling, WANG Guangying, et al. Effect of free amino acids of 20 wampee germplasm resources pulp on flavor quality and medicinal value and its evaluation[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2024, 45(3): 485-494.]
- [45] 常君, 张潇丹, 姚小华, 等. 不同品种薄壳山核桃氨基酸组成及营养价值评价[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(4): 44-52. [CHANG Jun, ZHANG Xiaodan, YAO Xiaohua, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of different varieties of thin shelled walnuts[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2021, 43(4): 44-52.]
- [46] 周静, 刘敦华, 张同刚, 等. 宁夏羊肉中氨基酸含量的测定与分析[J]. *食品科技*, 2014, 39(6): 129-133. [ZHOU Jing, LIU Dunhua, ZHANG Tonggang, et al. Measurement and analysis of amino acids in Ningxia lamb[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(6): 129-133.]
- [47] 贾青慧, 沈奇, 陈莉. 紫苏籽蛋白质与氨基酸的含量测定及营养评价[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(10): 6-9. [JIA Qinghui, SHEN Qi, CHEN Li. The content determination and nutritional evaluation of Perilla seed protein and amino acids[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(10): 6-9.]
- [48] 冯小磊, 史高雷, 张晓磊, 等. 不同小米品种氨基酸与脂肪酸营养含量分析[J]. *食品工业*, 2020, 41(7): 340-344. [FENG Xiaolei, SHI Gaolei, ZHANG Xiaolei, et al. Analysis of amino acid and fatty acid contents in different varieties of millet[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(7): 340-344.]
- [49] 文莉芳, 杨超, 张学俭, 等. 不同产地白色藜麦营养成分及氨基酸含量评价[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(19): 257-264. [WEN Lifang, YANG Chao, ZHANG Xuejian, et al. Evaluation of nutrient composition and amino acid content of white quinoa of different origins[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50(19): 257-264.]
- [50] 黄永桥, 高亮, 张群英, 等. 树莓中氨基酸、矿物元素及维生素含量分析与营养评价[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(15): 295-302. [HUANG Yongqiao, GAO Liang, ZHANG Qunying, et al. Quantitative analysis and nutritional evaluation of amino acids, mineral elements and vitamins in raspberry[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(15): 295-302.]
- [51] 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. [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.]
- [52] 黄玉琴. 榎木银耳、普通银耳和本草银耳子实体蛋白质营养价值评价比较[J]. *食品安全导刊*, 2023(35): 130-135. [HUANG Yuqin. Comparison of nutritional value of protein in the fruiting bodies of basswood *T. fuciformis*, common *T. fuciformis* and materia medica *T. fuciformis*[J]. *China Food Safety Magazine*, 2023(35): 130-135.]
- [53] 王蕊, 汤富彬, 钟冬莲, 等. 4种胡桃科坚果中氨基酸和脂肪酸组成分析与营养评价[J]. *中国油脂*, 2020, 45(4): 86-91. [WANG Rui, TANG Fubin, ZHONG Donglian, et al. Composition analysis and nutrition evaluation of amino acids and fatty acids in four nuts of Juglandaceae[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(4): 86-91.]
- [54] 刘建垒, 张东, 杨维巧, 等. 4种颜色藜麦的氨基酸组成及蛋白质营养价值的比较[J]. *中国粮油学报*, 2025, 40(4): 32-40. [LIU Jianlei, ZHANG Dong, YANG Weiqiao, et al. Comparison of amino acid composition and protein nutritional value of four colors of quinoa[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2025, 40(4): 32-40.]
- [55] 邓雅元, 游金坤, 代秋琼, 等. 云南常见市售野生食用菌的蛋白质营养价值评价[J]. *中国食用菌*, 2023, 42(5): 76-82. [DENG Yayuan, YOU Jinkun, DAI Qiuqiong, et al. Evaluation of protein nutritional value of common commercial wild edible fungi in Yunnan[J]. *Edible Fungi of China*, 2023, 42(5): 76-82.]
- [56] WANG Qi, LI Xiaonan, CHEN Hongwei, et al. Mapping combined with principal component analysis identifies excellent lines with increased rice quality[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 5969.