

4 种胡桃科坚果中氨基酸和脂肪酸组成 分析与营养评价

王 蕤, 汤富彬, 钟冬莲, 沈丹玉, 莫润宏

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 国家林业局经济林产品质量检验检测中心(杭州), 浙江 富阳 311400)

摘要:为对我国不同种类胡桃科坚果的高阶营养(氨基酸和脂肪酸组成)进行比较和评价,选取产自浙江、安徽、甘肃、陕西、四川、新疆6省的4种胡桃科坚果(普通核桃(*Juglans regia* Linn.)、泡核桃(*Juglans sigillata* Dode)、山核桃(*Carya cathayensis* Sarg.)、薄壳山核桃(*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch)),参照国标方法对其氨基酸与脂肪酸组成进行分析,利用必需氨基酸指数、氨基酸匹配度与平衡度评价、氨基酸比值系数评价法和脂肪酸指数评价法分别对氨基酸与脂肪酸组成进行营养评价。结果表明,泡核桃与普通核桃总氨基酸含量较高,4种坚果中必需氨基酸含量占总氨基酸含量的1/3左右,总氨基酸与必需氨基酸含量呈正相关关系。非必需氨基酸中天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸含量较高。新疆阿克苏泡核桃在必需氨基酸指数与氨基酸匹配度的评价结果中为最优,4种胡桃科坚果氨基酸平衡度较为相近。氨基酸比值系数评价法显示浙江临安山核桃最优,新疆阿克苏泡核桃次之。4种胡桃科坚果中山核桃和薄壳山核桃中油酸含量较高;泡核桃和普通核桃中亚油酸含量较高。研究结果为胡桃科坚果的育种、生产与加工提供了一定的基础数据。

关键词:胡桃科坚果;氨基酸;脂肪酸;营养评价

中图分类号:TS225;TS201.4

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2020)04-0086-06

Composition analysis and nutrition evaluation of amino acids and fatty acids in four nuts of Juglandaceae

WANG Rui, TANG Fubin, ZHONG Donglian, SHEN Danyu, MO Runhong

(Quality Testing Center for Non-wood Forest Products of State Forestry Administration(Hangzhou), Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract:In order to compare and evaluate the higher-order nutrients (compositions of amino acid and fatty acid) of different walnut species in China, the compositions of amino acid and fatty acid of four nuts of Juglandaceae (*Juglans regia* Linn., *Juglans sigillata* Dode, *Carya cathayensis* Sarg., and *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) from Zhejiang, Anhui, Gansu, Shaanxi, Sichuan and Xinjiang were analyzed according to the national standard method, and the nutritional evaluation of amino acid and fatty acid components were carried out by using essential amino acid index, matching degree and balance degree of amino acid, amino acid ratio coefficient method and fatty acid index evaluation method. The results showed that the total amino acids contents of *Juglans sigillata* Dode and *Juglans regia* Linn. were higher than the other two nuts. The content of essential amino acids in the four nuts accounted for about 1/3 of

the total amino acid content. There was a positive correlation between total amino acids content and essential amino acids content. The contents of aspartic acid, glutamic acid and arginine in non-essential amino acids were higher. *Juglans sigillata* Dode from Aksu, Xinjiang was the best in the evaluation results of essential amino acid index

收稿日期:2019-07-19;修回日期:2019-11-23

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2017SZ002)

作者简介:王 蕤(1996),男,硕士研究生,主要从事经济林产品质量与安全研究(E-mail)864704638@qq.com。

通信作者:莫润宏,实验师,硕士(E-mail) morunhong@163.com。

and amino acid matching degree, and the amino acid balance degrees of the four nuts were similar. The amino acid ratio coefficient method showed that the *Carya cathayensis* Sarg. from Lin'an, Zhejiang was the best, followed by *Juglans sigillata* Dode from Aksu, Xinjiang. *Carya cathayensis* Sarg. and *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch had higher oleic acid content, while *Juglans sigillata* Dode and *Juglans regia* Linn. had higher linoleic acid content. The results provided some basic data for the breeding, production and processing of Juglandaceae nuts.

Key words: Juglandaceae nut; amino acid; fatty acid; nutritional evaluation

胡桃科坚果作为世界四大干果之一,含有脂肪酸、蛋白质、微量元素等人体所需的多种营养元素,是理想的保健食品。我国主要食用的胡桃科坚果有普通核桃(*Juglans regia* Linn.)、泡核桃(*Juglans sigillata* Dode)、山核桃(*Carya cathayensis* Sarg.)、薄壳山核桃(*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch)4类。目前,对于各种坚果的研究多集中于经济性状分析和营养成分测定,多数结果显示核桃、山核桃和薄壳山核桃中的基础营养物质(蛋白质、脂肪、碳水化合物等)、氨基酸组成、脂肪酸组成和微量元素均存在显著性差异^[1-4]。当前坚果品质评价的研究多基于经济性状和基础营养方面,而针对不同种类坚果高阶营养(氨基酸和脂肪酸组成),大多数只是较为简单的比较与分析,并未使用相关评价模型或公式进行评价。

脂肪酸和氨基酸是维持人体生长发育和新陈代谢的重要营养素,是脂质与蛋白质等大分子的组成单位,对于机体的新陈代谢有一定的调节作用。研究表明,胡桃科坚果中的氨基酸参与机体内多种生物活性物质的合成,部分氨基酸具有药理作用^[5],谷氨酸可以参与肝脏、肌肉及大脑等组织中的解毒活动,并参与脑组织代谢,天门冬氨酸对于骨骼有一定的保护作用,且两种氨基酸在提升大脑记忆力方面有一定作用^[6]。胡桃科坚果中不饱和脂肪酸含量较高,不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸含量比值越大对于人体血浆内胆固醇含量的降低越有利^[7],其中亚油酸对于人体皮肤有较好的保护作用^[8],亚麻酸具有预防心脑血管疾病及减肥、降血脂的功效^[9]。通过对坚果中氨基酸和脂肪酸含量和分布的研究,能够科学地对其营养品质进行评价。

本文通过对我国4种主要胡桃科坚果中的氨基酸与脂肪酸两类高阶营养成分的分析,有针对性地进行高阶营养评价,为胡桃科坚果的育种、生产与加工提供一定的基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

山核桃样品采自浙江临安(编号A1)和安徽宁国(编号A2)生产基地,薄壳山核桃样品采自浙江金华生产基地(编号A3),泡核桃样品采自新疆阿克苏(编号A4)和四川巴中(编号A5)生产基地,普通核桃样品采自陕西宝鸡(编号A6)和甘肃陇南(编号A7)生产基地。本试验所有测定样品均为储存于4℃冰箱中的鲜样。盐酸、硫酸氢钠、氯化钠、氢氧化钠、氢氧化钾、石油醚(沸程60~90℃)、甲醇、乙醇等,分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司;柠檬酸、柠檬酸钠,优级纯,购自日本和光公司;异辛烷,色谱纯,购自德国默克公司。

1.1.2 仪器与设备

L-8900氨基酸分析仪,日本日立公司;7890A气相色谱仪,美国Agilent公司。

1.2 试验方法

1.2.1 指标测定

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》,脂肪酸测定参照GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》。

1.2.2 评价方法

1.2.2.1 必需氨基酸指数(EAAI)

根据Oser^[10]提出的方法,采用FAO/WHO的模式谱计算EAAI。

1.2.2.2 氨基酸匹配度与平衡度评价

参照何莎莎^[11]的评价方法,从匹配度(DM)及平衡度(DB)两个方面对4种胡桃科坚果的氨基酸营养进行评价,其中坚果每日摄入量参考《中国居民膳食指南(2016)》中所推荐的摄入量为10g左右,每日必需氨基酸需要量参考《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)》。匹配度(DM)与平衡度(DB)按下式计算。

$$\text{匹配度} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{EAA_i}{EAR_i} \times 100\%$$

$$\text{平衡度} = \left(1 - \frac{1}{C_n^2} \sum_{k=1}^{C_n^2} \frac{|u_{ij} - a_{ij}|}{u_{ij} + a_{ij}} \right) \times 100\%$$

式中: n 为EAA种类数; EAA_i 指每10 g坚果样品可食部分某EAA含量; EAR_i 指中国居民对应某EAA的每日平均需要量; u_{ij} 表示样品(果实)中所含的各EAA两两间比值; a_{ij} 表示人体所需的各EAA两两间的比值; C_n^2 表示各EAA两两间的组合数。

1.2.2.3 氨基酸比值系数评价法

参照文献[12]计算氨基酸比值(RAA)、氨基酸

比值系数(RCAA)、氨基酸比值系数分(SRCAA),将4种胡桃科坚果的氨基酸组成与FAO/WHO的人体必需氨基酸标准模式进行比对,综合评价其氨基酸的营养价值。

1.2.2.4 脂肪酸指数评价法^[13]

通过计算4种坚果中饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)比例评价其营养价值,通过计算致动脉粥样硬化指数(AI)和血栓形成指数(TI)评价其对人类心血管疾病发生的影响。

2 结果与分析

2.1 氨基酸组成(见表1)

表1 4种胡桃科坚果中氨基酸含量

项目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
氨基酸/(g/100 g)							
天冬氨酸 Asp	0.48 ± 0.01 ^c	0.53 ± 0.03 ^c	0.72 ± 0.04 ^c	1.65 ± 0.07 ^a	1.62 ± 0.14 ^a	1.10 ± 0.04 ^b	1.64 ± 0.28 ^a
丝氨酸 Ser	0.28 ± 0.01 ^c	0.29 ± 0.05 ^c	0.40 ± 0.03 ^c	0.77 ± 0.03 ^a	0.76 ± 0.07 ^a	0.57 ± 0.01 ^b	0.77 ± 0.12 ^a
谷氨酸 Glu	0.87 ± 0.04 ^c	1.10 ± 0.04 ^c	1.41 ± 0.08 ^c	3.45 ± 0.17 ^a	3.28 ± 0.28 ^a	2.36 ± 0.07 ^b	3.39 ± 0.60 ^a
脯氨酸 Pro	0.24 ± 0.02 ^{cd}	0.22 ± 0.03 ^d	0.32 ± 0.01 ^{bc}	0.55 ± 0.02 ^a	0.53 ± 0.04 ^a	0.41 ± 0.01 ^b	0.55 ± 0.09 ^a
甘氨酸 Gly	0.27 ± 0.01 ^c	0.28 ± 0.07 ^c	0.36 ± 0.02 ^c	0.78 ± 0.04 ^a	0.77 ± 0.06 ^a	0.56 ± 0.01 ^b	0.75 ± 0.12 ^a
胱氨酸 Cys	0.08 ± 0.00 ^c	0.27 ± 0.06 ^b	0.12 ± 0.01 ^c	0.41 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.02 ^a	0.14 ± 0.00 ^c	0.45 ± 0.07 ^a
丙氨酸 Ala	0.25 ± 0.01 ^c	0.26 ± 0.02 ^c	0.34 ± 0.02 ^c	0.73 ± 0.04 ^a	0.69 ± 0.05 ^a	0.48 ± 0.02 ^b	0.69 ± 0.11 ^a
组氨酸 His	0.14 ± 0.00 ^c	0.15 ± 0.09 ^c	0.19 ± 0.00 ^c	0.41 ± 0.02 ^a	0.40 ± 0.03 ^a	0.27 ± 0.01 ^b	0.40 ± 0.07 ^a
酪氨酸 Tyr	0.19 ± 0.00 ^c	0.16 ± 0.12 ^c	0.28 ± 0.00 ^{bc}	0.57 ± 0.03 ^a	0.49 ± 0.05 ^a	0.37 ± 0.01 ^b	0.54 ± 0.11 ^a
精氨酸 Arg	0.58 ± 0.02 ^c	0.72 ± 0.06 ^c	1.00 ± 0.06 ^c	2.61 ± 0.08 ^a	2.52 ± 0.22 ^a	1.68 ± 0.06 ^b	2.66 ± 0.45 ^a
苏氨酸 Thr	0.24 ± 0.01 ^c	0.24 ± 0.07 ^c	0.30 ± 0.01 ^{bc}	0.59 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.05 ^a	0.35 ± 0.01 ^b	0.57 ± 0.09 ^a
缬氨酸 Val	0.27 ± 0.00 ^{cd}	0.17 ± 0.03 ^d	0.34 ± 0.02 ^c	0.73 ± 0.04 ^a	0.70 ± 0.04 ^a	0.47 ± 0.01 ^b	0.70 ± 0.11 ^a
甲硫氨酸 Met	0.07 ± 0.01 ^c	0.05 ± 0.09 ^d	0.12 ± 0.00 ^b	0.18 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^b	0.20 ± 0.02 ^a
苯丙氨酸 Phe	0.32 ± 0.00 ^c	0.31 ± 0.10 ^c	0.41 ± 0.01 ^{bc}	0.78 ± 0.02 ^a	0.73 ± 0.07 ^a	0.48 ± 0.01 ^b	0.75 ± 0.14 ^a
异亮氨酸 Ile	0.21 ± 0.00 ^c	0.23 ± 0.08 ^c	0.29 ± 0.01 ^c	0.57 ± 0.03 ^a	0.60 ± 0.04 ^a	0.45 ± 0.01 ^b	0.57 ± 0.07 ^a
赖氨酸 Lys	0.26 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.05 ^b	0.28 ± 0.01 ^b	0.53 ± 0.02 ^a	0.47 ± 0.02 ^a	0.31 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.07 ^a
亮氨酸 Leu	0.38 ± 0.01 ^c	0.40 ± 0.09 ^c	0.54 ± 0.02 ^c	1.13 ± 0.06 ^a	1.23 ± 0.09 ^a	0.81 ± 0.02 ^b	1.16 ± 0.15 ^a
TAA	5.13 ± 0.16 ^c	5.61 ± 0.01 ^c	7.41 ± 0.37 ^c	16.44 ± 0.80 ^a	16.01 ± 1.51 ^a	10.92 ± 0.37 ^b	16.28 ± 3.24 ^a
EAA	1.76 ± 0.01 ^c	1.63 ± 0.01 ^c	2.27 ± 0.07 ^c	4.51 ± 0.24 ^a	4.47 ± 0.38 ^a	2.99 ± 0.08 ^b	4.44 ± 0.78 ^a
NEAA	3.37 ± 0.01 ^c	3.98 ± 0.00 ^c	5.15 ± 0.04 ^c	11.93 ± 0.58 ^a	11.53 ± 1.14 ^a	7.92 ± 0.29 ^b	11.84 ± 2.46 ^a
(EAA/TAA)/%	34.3 ± 0.01 ^a	29.1 ± 0.00 ^c	30.6 ± 0.01 ^b	27.4 ± 0.00 ^d	28.0 ± 0.00 ^d	27.4 ± 0.00 ^d	27.3 ± 0.01 ^d
(EAA/NEAA)/%	52.1 ± 0.02 ^a	41.0 ± 0.00 ^c	44.1 ± 0.01 ^b	37.8 ± 0.01 ^d	38.8 ± 0.01 ^d	37.8 ± 0.01 ^d	37.6 ± 0.01 ^d

注:TAA.总氨基酸;EAA.必需氨基酸;NEAA.非必需氨基酸;同一行不同字母表示有显著性差异($P < 0.05$)。下同。

由表1可看出,4种胡桃科坚果中,泡核桃与普通核桃TAA含量较高,最高为16.44 g/100 g,薄壳山核桃次之,山核桃中TAA含量最低,为5.13 g/100 g。EAA含量和TAA含量的变化趋势相近。用SPSS统计分析软件进一步分析二者的相关性,4种胡桃科坚果的TAA与EAA含量呈现正相关关系(相关系数0.997),与杨永涛等^[14]的研究一致。但甘肃陇南与陕西宝鸡的普通核桃品种,在TAA、

EAA、NEAA的含量上表现出显著的差异,这可能是地域、栽培方式、耕种条件等多种因素造成的^[15]。Verardo等^[16]的研究表明,不同的施氮量对于核桃内脂肪酸、酚类等成分含量产生了影响,Li^[17]、Crews^[18]等的研究均发现不同的地理环境导致核桃内脂肪酸组成和含量的差异,因此不同种植条件会对胡桃科坚果内成分的含量产生一定影响。4种坚果中EAA占TAA比例为27.3%~34.3%,其占比

顺序从高到低为山核桃 > 薄壳山核桃 > 泡核桃 ≈ 普通核桃,从氨基酸组成来看,NEAA 中天冬氨酸、谷氨酸和精氨酸含量较高,EAA 中亮氨酸和苯丙氨酸含量略高。

2.2 必需氨基酸指数、必需氨基酸匹配度与平衡度评价结果(见表2)

表2 4种胡桃科坚果 EAAI、DM、DB 评价结果 %

项目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
EAAI	30.96	27.74	41.13	78.69	77.68	51.56	77.52
DM	1.82	1.70	2.37	4.62	4.55	3.03	4.53
DB	61.62	56.85	63.59	61.28	60.78	59.66	61.92

由表2可知,7组坚果必需氨基酸指数在27.74%~78.69%之间,新疆阿克苏泡核桃、四川巴中泡核桃、甘肃陇南普通核桃排在前三位,且三者结果较为相近,最低为安徽宁国山核桃。

匹配度是坚果中EAA的含量与人体EAA每日

平均需要量间的匹配程度。EAA含量未超过人体可耐受最高摄入量的情况下,匹配度越高,则该样品中EAA含量越接近人体每日需要量。平衡度是坚果中所含的EAA两两之间的比值与人体所需的EAA两两之间比值的接近度。样品中所含的EAA与人体所需的EAA两两之间的比值越接近,则样品的平衡度越好,其营养价值越高。

由表2可知,新疆阿克苏泡核桃的匹配度最高,为4.62%,四川巴中泡核桃与甘肃陇南普通核桃次之。4种胡桃科坚果的必需氨基酸平衡度相差不大,在56.85%~63.59%之间。

2.3 氨基酸比值系数法评价结果

根据文献[12]计算得到的4种胡桃科坚果氨基酸比值(RAA)及比值系数(RCAA)见表3,氨基酸比值系数分(SRCAA)见表4。

表3 4种胡桃科坚果氨基酸比值及比值系数

样品编号	项目	苏氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸+胱氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	异亮氨酸	赖氨酸	亮氨酸	平均值
A1	RAA	0.061	0.055	0.043	0.084	0.053	0.048	0.054	0.057
	RCAA	1.07	0.96	0.76	1.47	0.92	0.84	0.94	1.00
A2	RAA	0.060	0.033	0.092	0.079	0.058	0.044	0.057	0.060
	RCAA	1.00	0.55	1.53	1.31	0.96	0.73	0.95	1.00
A3	RAA	0.075	0.067	0.068	0.116	0.072	0.051	0.077	0.075
	RCAA	1.00	0.90	0.90	1.54	0.96	0.68	1.02	1.00
A4	RAA	0.147	0.146	0.170	0.225	0.144	0.096	0.161	0.155
	RCAA	0.95	0.94	1.09	1.45	0.93	0.62	1.04	1.00
A5	RAA	0.139	0.140	0.191	0.203	0.150	0.086	0.176	0.155
	RCAA	0.90	0.90	1.23	1.31	0.97	0.55	1.13	1.00
A6	RAA	0.088	0.095	0.076	0.141	0.112	0.056	0.115	0.098
	RCAA	0.90	0.97	0.78	1.44	1.14	0.58	1.18	1.00
A7	RAA	0.143	0.141	0.185	0.215	0.144	0.086	0.165	0.154
	RCAA	0.93	0.91	1.20	1.40	0.93	0.56	1.07	1.00

表4 4种胡桃科坚果氨基酸比值系数分

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
78.42	69.58	75.55	77.14	76.46	73.58	75.69

根据FAO/WHO模式氨基酸比例和含量,若待评价坚果蛋白质氨基酸组成含量比例与其一致,则各种必需氨基酸的RCAA值应等于1;RCAA值大于1,则表明该种必需氨基酸相对过剩,RCAA值小于1,则表明该种必需氨基酸相对不足,RCAA值最小者为第一限制性氨基酸。从表3可见:薄壳山核桃、泡核桃和普通核桃中赖氨酸为第一限制性氨基酸,苯丙氨酸+酪氨酸相对过剩,其他氨基酸的RCAA值接近1;而山核桃比较特殊,浙江临安山核桃中甲硫氨酸+胱氨酸为第一限制性氨基酸,而安徽宁国山

核桃中缬氨酸为第一限制氨基酸。根据RCAA值计算得到SRCAA值,研究认为该值越接近100,其蛋白质营养价值就越高。由表4可知,4种胡桃科坚果的SRCAA值为69.58~78.42,浙江临安山核桃最优,新疆阿克苏泡核桃次之。

2.4 脂肪酸组成

4种胡桃科坚果脂肪酸组成及含量见表5。

由表5可知,4种胡桃科坚果中的脂肪酸主要为C16~C18脂肪酸,其中油酸和亚油酸为主要脂肪酸。山核桃和薄壳山核桃单不饱和脂肪酸含量较为丰富,其中油酸含量较高,为65.90%~81.30%;泡核桃和普通核桃多不饱和脂肪酸含量较为丰富,其中亚油酸含量较高,为61.40%~65.21%。棕榈

烯酸和花生酸在山核桃中有少量检出,而在泡核桃和普通核桃中含量甚微。4种胡桃科坚果中 $\omega-6$ 脂肪酸与 $\omega-3$ 脂肪酸比值为5.64~25.46。

表5 4种胡桃科坚果中脂肪酸组成

项目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
脂肪酸含量/%							
棕榈酸 C16:0	5.12 ± 0.01 ^c	5.47 ± 0.02 ^{bc}	5.93 ± 0.12 ^{ab}	6.06 ± 0.50 ^a	5.79 ± 0.19 ^{ab}	6.16 ± 0.17 ^a	5.20 ± 0.08 ^c
硬脂酸 C18:0	2.23 ± 0.06 ^{bcd}	1.69 ± 0.01 ^d	2.17 ± 0.25 ^{cd}	2.78 ± 0.53 ^{ab}	2.43 ± 0.11 ^{abc}	2.96 ± 0.39 ^a	2.56 ± 0.03 ^{abc}
油酸 C18:1	66.79 ± 0.16 ^b	81.30 ± 0.03 ^a	65.90 ± 0.82 ^b	20.78 ± 8.37 ^c	21.11 ± 6.74 ^c	17.86 ± 1.25 ^c	17.28 ± 1.06 ^c
亚油酸 C18:2	23.30 ± 0.36 ^b	10.01 ± 0.05 ^c	24.60 ± 1.06 ^b	61.40 ± 4.56 ^a	62.47 ± 5.30 ^a	61.85 ± 1.28 ^a	65.21 ± 0.61 ^a
亚麻酸 C18:3	2.06 ± 0.12 ^b	0.96 ± 0.02 ^b	1.03 ± 0.29 ^b	8.83 ± 3.14 ^a	8.17 ± 1.45 ^a	11.00 ± 0.74 ^a	9.75 ± 1.18 ^a
棕榈烯酸 C16:1	0.15 ± 0.00 ^a	0.18 ± 0.04 ^a	-	0.05 ± 0.08 ^b	-	-	-
花生酸 C20:0	0.15 ± 0.00 ^b	0.16 ± 0.00 ^a	0.10 ± 0.00 ^c	-	-	-	-
顺-11-二十碳烯酸 C20:1	0.20 ± 0.00 ^{ab}	0.23 ± 0.00 ^{ab}	0.27 ± 0.06 ^a	0.11 ± 0.10 ^c	-	0.17 ± 0.01 ^{bc}	-
饱和脂肪酸	7.50 ± 0.08 ^d	7.32 ± 0.01 ^d	8.20 ± 0.17 ^{bc}	8.83 ± 0.60 ^{ab}	8.23 ± 0.25 ^{bc}	9.12 ± 0.46 ^a	7.77 ± 0.09 ^{cd}
单不饱和脂肪酸	67.14 ± 0.16 ^b	81.71 ± 0.01 ^a	66.17 ± 0.76 ^b	20.94 ± 8.24 ^c	21.11 ± 6.75 ^c	18.03 ± 1.25 ^c	17.28 ± 1.06 ^c
多不饱和脂肪酸	25.36 ± 0.23 ^b	10.97 ± 0.00 ^c	25.63 ± 1.00 ^b	70.23 ± 7.67 ^a	70.62 ± 6.69 ^a	72.85 ± 1.52 ^a	74.96 ± 1.00 ^a
$\omega-6/\omega-3$	11.32 ± 0.85 ^b	10.42 ± 0.00 ^b	25.46 ± 8.92 ^a	7.60 ± 2.72 ^b	7.74 ± 0.82 ^b	5.64 ± 0.41 ^b	6.75 ± 0.83 ^b

注:“-”为未检出。

2.5 脂肪酸 AI 和 TI

通过文献[13]计算4种坚果中所含脂肪酸的致动脉粥样硬化指数(AI)和血栓形成指数(TI)见表6。

表6 4种胡桃科坚果 AI 与 TI

项目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
AI	0.055	0.059	0.065	0.066	0.063	0.068	0.056
TI	0.143	0.147	0.167	0.130	0.124	0.125	0.110

由表6可知,4种胡桃科坚果的脂肪酸 AI 范围为0.055~0.068, TI 范围为0.110~0.167,远低于鱼肉、羊肉、牛肉和猪肉(AI 分别为0.50、1.00、0.72、0.60; TI 分别为0.23、1.58、1.06、1.37)^[19]。

2.6 胡桃科坚果氨基酸营养评价结果

必需氨基酸指数评价法利用几何平均数模型比较目标蛋白与模式蛋白的氨基酸营养价值,根据表2评价结果,必需氨基酸指数与氨基酸匹配度表明新疆阿克苏泡核桃的氨基酸组成最佳,而平衡度评价结果表明4种胡桃科坚果的氨基酸组成较为均衡,可以作为一种良好的膳食来源。氨基酸比值系数法评价结果显示浙江临安山核桃、新疆阿克苏泡核桃 SCRAA 排在前两位,说明两者的氨基酸营养价值较优,且 EAA/NEAA、EAA/TAA 比值均显示浙江临安山核桃最高,体现其必需氨基酸所占整体的比重较大,但其必需氨基酸、总氨基酸含量较低。故

综合分析来看,无论从必需氨基酸指数、氨基酸匹配度,还是氨基酸比值系数分,均表明新疆阿克苏泡核桃的氨基酸组成最具营养价值。

2.7 胡桃科坚果脂肪酸营养评价结果

脂肪酸组成是评价产品油用价值的重要标准,4种胡桃科坚果中,油酸在山核桃与薄壳山核桃中的含量最高,油酸作为单不饱和脂肪酸的代表,其氧化稳定性高于亚油酸、亚麻酸等多不饱和脂肪酸,可以延长商品货架期并且可以耐受较高的烹饪温度^[20],且油酸对人体的循环系统具有一定的保护功能。泡核桃和普通核桃中亚油酸含量较高,亚油酸作为多不饱和脂肪酸的一类,在体内可以合成花生四烯酸^[21],作为必需脂肪酸,其有助于儿童生长、发育,并且可降低总胆固醇和低密度脂蛋白-胆固醇复合物的水平^[22]。

根据4种胡桃科坚果脂肪酸 AI 和 TI 的评价结果来看,胡桃科坚果所含脂肪酸对人体产生心脑血管疾病的风险指数远低于动物脂肪,说明胡桃科坚果油相比于动物油脂而言,长期食用所产生的风险较小。

3 结论

就氨基酸组成而言,本文研究的4种胡桃科坚果样品中,新疆阿克苏泡核桃氨基酸类营养成分评价结果为最佳。4种胡桃科坚果所含氨基酸种类齐

全,且必需氨基酸含量与非必需氨基酸含量比例均衡。就脂肪酸组成而言,4种胡桃科坚果不饱和脂肪酸含量较高,食用4种胡桃科坚果造成心脑血管疾病的风险较低。综上所述,4种胡桃科坚果具有良好的膳食价值与油用价值。

本文主要针对4种胡桃科坚果中的氨基酸与脂肪酸组分进行分析评价,并未对同一立地环境的不同产品和不同立地环境的同一产品间的差异性进行深入分析,在接下来的研究中将进一步完善。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 夏玉洁, 姚小华, 任华东, 等. 22个山核桃无性系果实营养成分的比较分析[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(4): 49-55.
- [3] 常君, 任华东, 姚小华, 等. 山核桃不同无性系果实性状及营养成分分析[J]. 林业科学研究, 2017, 30(1): 166-173.
- [4] TAPIA M I, SÁNCHEZ - MORGADO J R, GARCÍA - PARRA J, et al. Comparative study of the nutritional and bioactive compounds content of four walnut (*Juglans regia* L.) cultivars [J]. J Food Comp Anal, 2013, 31(2): 232-237.
- [5] 贺娜, 耿树香, 宁德鲁, 等. 云南漾濞泡核桃必需氨基酸含量及综合评价[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版), 2018, 34(3): 64-68.
- [6] 钱爱萍, 林虬, 余亚白, 等. 闽产柑橘果肉中氨基酸组成及营养评价[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 86-90.
- [7] MURADOGLU F, OGUZ H I, YİLDİZ K, et al. Some chemical composition of walnut (*Juglans regia* L.) selections from Eastern Turkey [J]. Afr J Agric Res, 2010, 5(17): 2379-2385.
- [8] 张春娥, 张惠, 刘楚怡, 等. 亚油酸的研究进展[J]. 粮油加工, 2010(5): 18-21.
- [9] 吴俏瑾, 杜冰, 蔡尤林, 等. α -亚麻酸的生理功能及开发研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 386-390.
- [10] 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.
- [11] 何莎莎. 不同类型柑橘果实氨基酸组成分析及“三度”法营养价值评价[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [12] 郑少杰, 任旺, 张小利, 等. 绿豆芽萌发过程中氨基酸动态变化及营养评价[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 81-86.
- [13] 解春芝, 曾海英, 宋杰, 等. 不同种类腐乳游离脂肪酸组成分析及营养评价[J]. 中国酿造, 2018, 37(2): 39-44.
- [14] 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.
- [15] 虎海防, 陶秀冬, 孙雅丽, 等. 新疆核桃营养成分产地指纹特征及判别分析[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(10): 1792-1796.
- [16] VERARDO V, RICIPUTI Y, SORRENTI G, et al. Effect of nitrogen fertilisation rates on the content of fatty acids, sterols, tocopherols and phenolic compounds, and on the oxidative stability of walnuts [J]. LWT - Food Sci Technol, 2013, 50(2): 732-738.
- [17] LI Q, YIN R, ZHANG Q, et al. Chemometrics analysis on the content of fatty acid compositions in different walnut (*Juglans regia* L.) varieties [J]. Eur Food Res Technol, 2017, 243(12): 2235-2242.
- [18] CREWS C, HOUGH P, GODWARD J, et al. Study of the main constituents of some authentic hazelnut oils [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(12): 4843-4852.
- [19] 楼乔明, 张问, 刘连亮, 等. 狭鳕鱼皮脂脂肪酸组成分析及其营养评价[J]. 核农学报, 2016, 30(2): 332-337.
- [20] 徐华, 张茹, 刘连亮, 等. 辣木籽油脂微波提取工艺优化及其脂质分析[J]. 核农学报, 2018, 32(7): 1393-1399.
- [21] 李颖, 易晓华, 李庆典. 新疆巴旦姆种仁高级脂肪酸与氨基酸营养评价[J]. 中国食品学报, 2004(4): 67-73.
- [22] ZHAI M Z, WANG D, TAO X D, et al. Fatty acid compositions and tocopherol concentrations in the oils of 11 varieties of walnut (*Juglans regia* L.) grown at Xinjiang, China [J]. J Horticult Sci Biotechnol, 2016, 90(6): 715-718.