

# 新疆野核桃坚果氨基酸含量及营养评价

周红,张萍\*

(新疆农业大学 林学与园艺学院,新疆教育厅干旱区林业生态与产业技术重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**为了解新疆野核桃坚果氨基酸组成,采用模糊识别法、氨基酸比值系数法、系统聚类 and 主成分分析等方法对 12 种类型新疆野核桃坚果的氨基酸营养价值进行评价。结果表明,不同类型新疆野核桃坚果中,氨基酸变异系数在 5.7%~37.05%,各类型氨基酸组成差异显著;氨基酸总量在 157.34~187.13 mg/g pro,各类型的必需氨基酸/氨基酸总量、必需氨基酸/非必需氨基酸的比值均低于联合国粮农组织和世界卫生组织标准规定的必需氨基酸含量;新疆野核桃坚果的第 1 限制性氨基酸为苏氨酸。聚类分析表明,小椭圆型、平底圆型、三棱型、铁壳型的氨基酸营养价值更高;主成分分析表明,4 个主成分的累计贡献率达到 80.504%,反映出丝氨酸、甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、酪氨酸和组氨酸是新疆野核桃坚果中氨基酸含量的主要信息。

**关键词:**新疆野核桃;氨基酸;营养评价;聚类分析;主成分分析

中图分类号:S722.5

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)02-0148-06

## Amino Acid Composition and Nutritional Evaluation of Xinjiang Wild Walnut

ZHOU Hong,ZHANG Ping\*

(College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of Forestry Ecology and Industry Technology in Arid Areas of Xinjiang Education Department, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

**Abstract:** In order to understand the amino compositions in the fruit of wild walnut occurring in Xinjiang, 12 different types of wild walnut were evaluated by fuzzy identification method, amino acid ratio coefficient method, system clustering and principal component analysis. The results showed that the coefficients of variation of the amino acids of different types of wild walnuts were between 5.7% and 37.05%, and the compositions of various types of amino acids were significantly different. The total amount of amino acids ranged from 157.34 to 187.13 mg/g pro. The ratios of essential amino acids/amino acids and essential amino acids/non-essential amino acids of all types were lower than those specified by the FAO and WHO standards. The first limiting amino acid of wild walnut protein was threonine. The nutrient value of amino acids was more in line with the human body's needs for the wild types of small ovals, small rounds, flat rounds, pointed beaks, and iron shells. The principal component analysis showed that the main amino acid content traits were Ser, Thr, Gly, Tyr, Val, His, and Ile.

**Key words:** Xinjiang wild walnut; amino acid; nutritional evaluation; clustering analysis; principal component analysis

新疆野核桃(*Juglans regia*)是胡桃科(Juglandaceae)、胡桃属(*Juglans*)的多年生落叶乔木,第三纪孑遗物种,是研究栽培核桃起源与进化的珍贵资

源<sup>[1]</sup>。目前已经在生理、生态、分子等不同层面对新疆野核桃进行了研究<sup>[2-5]</sup>,为新疆野核桃资源的研究、保护、开发及利用奠定了基础。

收稿日期:2018-06-22 修回日期:2018-10-15

基金项目:国家自然科学基金(31260187);新疆野核桃核心种质的补充研究及遗传图谱构建。

作者简介:周红,女,在读硕士,研究方向:林木遗传与良种选育。E-mail:764629695@qq.com

\*通信作者:张萍,女,副教授,硕士生导师,研究方向:林木遗传育种。E-mail:zhang2003215@126.com

核桃蛋白是优质蛋白,含有18种氨基酸,分别为异亮氨酸(Ile)、甲硫氨酸(Met)、亮氨酸(Leu)、丙氨酸(Ala)、赖氨酸(Lys)、谷氨酸(Glu)、苯丙氨酸(Phe)、丝氨酸(Ser)、苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、胱氨酸(Cys)、酪氨酸(Tyr)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)、天门冬氨酸(Asp)、脯氨酸(Pro)、甘氨酸(Gly)与色氨酸(Trp)<sup>[6]</sup>。其中核桃蛋白中8种必需氨基酸(essential amino acid, EAA)(Ile、Leu、Lys、Met、Phe、Thr、Val、Trp)含量与人体必需氨基酸含量近似<sup>[7]</sup>。氨基酸是蛋白质的基本组成单位,在满足人体基本蛋白质所需外,还具有多种药理作用<sup>[8-9]</sup>。目前在新疆野核桃营养品质方面的研究中,只有刘华英<sup>[10]</sup>分析了新疆野核桃油脂脂肪酸,关于其氨基酸含量及营养评价研究尚未见报道。本试验以12种类型新疆野核桃坚果作为试验材料,测定其氨基酸组成,通过对比分析,以期筛选出具有发展潜力的优良资源,为新疆野核桃种质资源保存、利用和良种选育提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以新疆野核桃的12种类型<sup>[11]</sup>(小椭圆型、小圆型、纺锤型、尖果型、卵圆型、心形型、平底圆型、椭圆型、三棱型、薄壳型、尖嘴型、铁壳型)坚果为研究对象。于2017年10月在伊犁地区巩留县野核桃沟采摘。对不同类型随机摘取青果30个,剥去青皮后,装入尼龙网袋中自然风干,取出果实仁待测。

### 1.2 仪器设备与主要试剂

仪器设备:L-3000型全自动氨基酸分析仪苏州华美辰仪器设备有限公司;TVE-1100A氨基酸分析试管浓缩仪上海技舟化工科技有限公司;FA1004N电子分析天平上海精密仪器仪表有限公司;DGG-9620A电热鼓风恒温箱上海览浩仪器设备有限公司。

试剂:盐酸(优级纯)、苯酚、氮气(纯度 $\geq 99.9\%$ )、柠檬酸钠(优级纯)、氢氧化钠(优级纯)、18种单个氨基酸标准品(固体,纯度 $\geq 98\%$ )、混合氨基酸标准溶液。

### 1.3 试验方法

1.3.1 氨基酸测定 按照GB/T 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》标准检测<sup>[12]</sup>。

仪器条件:参照JJG1064-2011氨基酸分析仪检定规程及仪器说明书。色氨酸由于仪器检出限,并未检测出。

色谱参考条件:1) 色谱柱:磺酸型阳离子树脂;2) 检测波长:570 nm和440 nm。

1.3.2 模糊识别法 贴近度是用来度量2个模糊集之间的接近程度一种指标,贴近度越大说明2个模糊集之间的接近程度越高,越小则表明接近程度越低<sup>[13]</sup>。数学表达为:设论域 $F(U) = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 上的任意模糊集合 $A, B$ ,如果存在实数 $\sigma(A, B)$ 满足以下条件: $0 \leq \sigma(A, B) \leq 1$ ;  $\sigma(U, \emptyset) = 0$ ;  $\sigma(A, A) = 1$ ;  $\sigma(A, B) = \sigma(B, A)$ ,则称 $\sigma(A, B)$ 为 $A$ 与 $B$ 的贴近度<sup>[14]</sup>。

设 $U$ 为待测的野核桃氨基酸蛋白,即 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{12}\}$ ,其中 $u_1 \sim u_{12}$ 分别代表新疆野核桃的12种类型。每一个对象 $u_i$ 对应1个模式 $F(u_{ik}) = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{i7})$ ( $i=1, 2, \dots, 7$ ),代表12种类型野核桃蛋白中的7种EAA含量。模式蛋白<sup>[15]</sup>中氨基酸含量为 $F(a) = (a_1, a_2, \dots, a_7)$ 。 $a_1, a_2, \dots, a_7$ 分别代表7种模式蛋白中EAA的含量,依次为模式蛋白中的Ile、Leu、Lys、Met+Cys、Phe+Tyr、Thr、Val含量。

根据兰氏距离法<sup>[15]</sup>定义对象 $u$ 和标准模式蛋白的贴近度 $U(\alpha, u)$ ,贴近度值越接近1,表明样品蛋白与模式蛋白接近程度越高<sup>[16]</sup>。计算公式为:

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

式中,选取0.09作为常数,使计算结果处于区间范围在 $[0, 1]$ ,增加分辨率,利用结果的比较<sup>[17]</sup>。

1.3.3 氨基酸评分法(ratio of amino acid, RAA)<sup>[18]</sup> 食品中含有的必需氨基酸种类、数量及组成比例存在着差异。其中所含的必需氨基酸组成比例越接近人体需要,则品质越优<sup>[19-22]</sup>。1937年联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)提出了评价蛋白质营养价值的必需氨基酸模式,利用FAO/WHO模式和全鸡蛋蛋白模式进行蛋白质质量评价<sup>[16, 23]</sup>,计算样品中必需氨基酸的RAA,按公式(2)计算,对比两者之间的差异<sup>[17]</sup>。

$$RAA_i = \frac{EAA_i}{EAA} \quad (2)$$

式中, $RAA_i$ 为被测样品氨基酸中的第 $i$ 种必需氨基酸评分值( $1 \leq i \leq 7$ ); $EAA_i$ 为被测样品中必需氨基酸的含量; $EAA$ 为FAO/WHO模式或全鸡蛋蛋白模式中必需氨基酸含量。

1.3.4 氨基酸比值系数法 根据氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)和氨基酸比值系数分(Score of RC, SRC)进行测定。通过不同类型新疆野核桃中氨基酸的RC和SRC值对比分析,得出各种类型的第1限制氨基酸,并对不同类型的新疆野核桃氨基酸进行评价与讨论<sup>[16]</sup>。

RC按式(3)计算。

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

式中,  $RC_i$  为被测样品氨基酸的第  $i$  种必需氨基酸的比值系数 ( $1 \leq i \leq 7$ );  $RAA_i$  为被测样品氨基酸中的第  $i$  种必需氨基酸评分值 ( $1 \leq i \leq 7$ );  $RAA$  为被测样品氨基酸中的第  $i$  种必需氨基酸评分值的均值。

氨基酸比值系数分表示食物蛋白质的相对营养价值, 分值越接近 100, 表明必需氨基酸贡献率越大, 蛋白质的相对营养价值越高<sup>[24]</sup>。SRC 的计算参照式(4)。

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

式中,  $RC_i$  为被测样品中氨基酸中的第  $i$  种必需氨基酸的  $RC$  ( $1 < i < 7$ );  $\overline{RC}$  为被测样品氨基酸中的各  $RC$  的均值;  $n$  为被测样品氨基酸中必需氨基酸的数量。

表 1 新疆野核桃 EAA 含量分布

Table 1 Xinjiang wild walnut EAA content distribution

( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}, n=12$ )

氨基酸	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val	Cys	Tyr
最大值	8.65	5.59	12.8	4.32	4.08	3.98	6.45	2.63	19.20
最小值	3.38	4.17	1.20	2.73	2.90	3.23	2.76	2.08	14.80
平均值	6.03	5.05	10.16	3.40	3.51	3.60	5.54	2.31	16.62
标准差	2.23	0.53	3.15	0.43	0.36	0.21	1.04	0.17	1.25
变异系数/%	37.05	10.45	31.03	12.53	10.22	6.47	18.74	7.29	7.52

表 2 新疆野核桃 NEAA 含量分布

Table 2 Xinjiang wild walnut NEAA content distribution

( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}, n=12$ )

氨基酸	His	Arg	Glu	Asp	Pro	Ser	Ala	Gly
最大值	7.87	10.3	48.6	4.29	9.32	9.53	11.30	25.50
最小值	4.16	8.29	38.9	1.22	7.70	7.78	8.66	21.40
平均值	5.64	9.17	42.91	3.27	8.66	8.84	9.71	23.47
标准差	1.30	0.59	2.85	1.03	0.49	0.62	0.71	1.28
变异系数%	22.97	6.47	6.64	31.69	5.70	7.06	7.35	5.43

2.1.2 氨基酸含量组成 EAA 含量参照 FAO/WHO 模式或全鸡蛋蛋白模式<sup>[15]</sup>, 不同类型新疆野核桃 TAA 含量与 EAA 含量、EAA 含量与 NEAA 含量的关系见表 3。其中 EAA 含量最高的是薄壳型, 为 55.92 mg/g。不同类型新疆野核桃氨基酸总量范围在 157.34~187.13 mg/g, 其中平底圆型 TAA 最高, 纺锤型 TAA 最小。EAA/TAA(E/T) 比值变化为 0.223~0.314, 其中薄壳型的 E/T 比值最大。EAA/NEAA(E/N) 比值最大值为 0.457, 显示 12 种类型新疆野核桃的 E/T 值均低于 FAO/WHO 标准规定的必需氨基酸含量 40% 和 E/N 值 0.6<sup>[25]</sup>。

2.1.3 必需氨基酸与模式蛋白贴附度比较 参照

## 1.4 数据处理

利用软件 Office 2010 进行数据整理, SPSS 19.0 进行系统聚类分析和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型新疆野核桃坚果氨基酸组成分析

2.1.1 氨基酸含量 对新疆野核桃氨基酸含量进行统计分析, 必需氨基酸 (essential amino acid, EAA) 及非必需氨基酸 (non-essential amino acid, NEAA) 统计结果如表 1 和表 2 所示。对比新疆野核桃所含的 17 种氨基酸, 9 种 EAA 含量平均值范围为 2.31~16.62 mg/g, 均值差较小, 其中 Tyr 的均值最高; 8 种 NEAA 含量平均值范围为 3.27~42.91 mg/g, 其中 Glu 的均值最高, 含量为 42.91 mg/g。新疆野核桃氨基酸含量中, 变异系数最大的为 Ile、Asp 和 Lys, 分别为 37.05%、31.69% 和 31.03%; Pro 变异系数最小, 为 5.70%。

FAO/WHO 模式和全鸡蛋蛋白模式<sup>[16]</sup> (表 4), 计算 12 种类型新疆野核桃蛋白与模式蛋白的贴附度 (表 5)。

由表 5 可看出, FAO/WHO 模式中, 各类型的贴附度在 0.46~0.50, 而全鸡蛋蛋白模式的贴附度在 0.44~0.48, 2 种模式的差异度较小。12 种类型中小椭圆形、薄壳型、尖嘴型、椭圆型的贴附度较高, 尖果型和卵圆型的贴附度相对较低。

2.1.4 氨基酸比值系数法分析 RC 反映食物中氨基酸含量与模式氨基酸的偏离程度, 设定 RC 值等于 1<sup>[25]</sup>。当  $RC > 1$ , 则表明该种必需氨基酸含量相对过剩; 当  $RC < 1$ , 则表明该种必需氨基酸含量相对不足, 其中 RC 值最小的则为样品中第 1 限制氨基酸<sup>[15]</sup>。

表3 新疆野核桃坚果氨基酸组成差异

氨基酸	EAA	NEAA	TAA	EAA/TAA	EAA/NEAA
小椭圆	55.89	130.62	186.51	0.300	0.428
小圆	51.21	114.51	165.72	0.309	0.447
纺锤	43.47	113.87	157.34	0.276	0.382
尖果	36.79	122.13	158.92	0.232	0.301
卵圆	36.37	126.48	162.85	0.223	0.288
心形	48.69	119.64	168.33	0.289	0.407
平底圆	52.99	134.14	187.13	0.283	0.395
椭圆	53.23	117.94	171.17	0.311	0.451
三棱	49.13	123.71	172.84	0.284	0.397
薄壳	55.92	122.29	178.21	0.314	0.457
尖嘴	52.68	125.84	178.52	0.295	0.419
铁壳	48.87	131.5	180.37	0.271	0.372

表4 FAO/WHO模式及全鸡蛋蛋白模式中EAA含量

类型	egg protein						
	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

按照式(3)和式(4),计算出新疆野核桃12种类型的RC和SRC值(表6)。由RC值可以得出12种类型的第1限制性氨基酸,结果显示,除卵圆型的第1限制性氨基酸为Val,尖果型的第1限制性氨

表6 不同类型新疆野核桃的RC和SRC值比较

Table 6 RC and SRC value comparison among different types wild walnut

样品名称	RC							SRC
	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Val	
小椭圆	1.11	0.49	1.25	0.92	2.11	0.43*	0.70	42.43
小圆	1.84	0.80	1.83	1.34	2.78	0.71*	1.05	50.51
纺锤	1.11	0.97	2.51	1.92	3.79	0.75*	1.14	37.39
尖果	1.33	1.02	0.25*	1.94	3.76	0.79	1.31	23.94
卵圆	1.06	1.16	2.17	1.84	4.05	0.75	0.69*	29.34
心形	1.42	0.65	1.56	1.18	2.45	0.48*	0.90	46.19
平底圆	0.80	0.70	1.61	1.35	2.57	0.54*	0.89	41.35
椭圆	2.10	0.92	2.41	1.67	3.27	0.80*	1.26	50.16
三棱	1.12	1.27	2.60	2.10	4.57	1.06*	1.71	39.75
薄壳	2.35	1.01	2.53	1.85	3.62	0.86*	1.37	49.75
尖嘴	2.31	0.96	2.09	1.60	3.73	0.84*	1.36	46.00
铁壳	0.72	0.68	1.53	1.27	2.45	0.52*	0.85	40.95

注:RC和SRC的计算均采用FAO/WHO必需氨基酸模式;\*为第1限制性氨基酸。

## 2.2 不同类型综合分析

2.2.1 不同类型新疆野核桃系统聚类分析 对12种类型新疆野核桃的FAO/WHO模式贴适度、全鸡蛋蛋白模式贴适度及SRC值3项指标进行系统聚类分析,研究不同类型新疆野核桃的蛋白营养价

基酸为Lys外,其他类型的第1限制性氨基酸均为Thr。12种类型新疆野核桃果实氨基酸含量中,三棱型的RC值均>1,表明三棱型的必需氨基酸含量相对过剩;各类型的Phe+Tyr含量均相对高于模式蛋白,表明新疆野核桃的Phe+Tyr氨基酸的含量充足。各类型的Met+Cys含量及Ile含量相对高于模式蛋白,可根据蛋白质互补法<sup>[16]</sup>和其他食物蛋白相互补充,进而有效的利用其营养价值以达到营养均衡<sup>[24]</sup>。

根据RC值进一步计算SRC值,结果显示,12种类型新疆野核桃坚果SRC值范围为23.94~50.51,表明新疆野核桃蛋白质相对营养价值较低且不平衡。

表5 样品蛋白相对于模式蛋白的贴适度

Table 5 Closeness degree of amino acids between walnut protein and whole egg protein

样品名称	FAO/WHO模式	全鸡蛋蛋白模式
小椭圆	0.50	0.48
小圆	0.49	0.47
纺锤	0.48	0.45
尖果	0.46	0.44
卵圆	0.46	0.44
心形	0.49	0.46
平底圆	0.49	0.47
椭圆	0.50	0.47
三棱	0.48	0.46
薄壳	0.50	0.48
尖嘴	0.50	0.47
铁壳	0.48	0.46

值差异。数据处理采用组间平均联接的方法<sup>[26]</sup>,由图1可知,12种类型新疆野核桃被聚为4类,其中1号(小椭圆型)、7号(平底圆型)、9号(三棱型)、12号(铁壳型)为第1类,该类蛋白营养评价最好;第2类为2号(小圆型)、10号(薄壳型),该类蛋白评价

较好;第3类为3号(纺锤型)、4号(尖果型),该类蛋白营养评价次之。其他4种类型为第4类,蛋白营养一般。

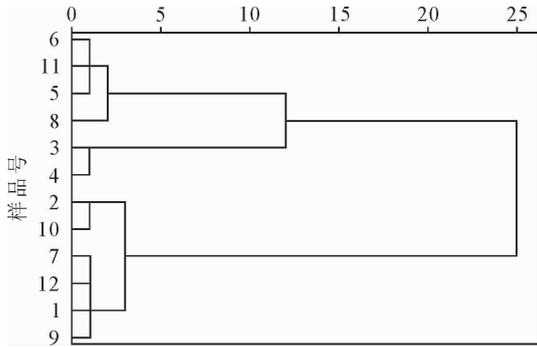


图1 平均组间联接聚类分析

Fig. 1 on average between groups join clustering analysis diagram

2.2.2 氨基酸主成分分析 对12种类型新疆野核桃坚果中的17种氨基酸进行了主成分分析。由表7可见,第1主成分的贡献率为42.591%,与Ser、Pro、Thr、Gly、Cys、Tyr显著正相关,与Asp成负相关;第2主成分的贡献率为18.904%,与Ile、Val显著正相关,与Ala显著负相关;第3主成分中的贡献率为10.708%,与His、Asp显著正相关,与Pro显著负相关;第4主成分中的贡献率为8.302%,与Asp、Ile显著正相关,与Cys显著负相关。前4个主成分的累计贡献率达到80.504%,可概括12种类型新疆野核桃氨基酸组成的主要信息,因此可认为Ser、Thr、Gly、Tyr、Val、His、Ile能作为评价新疆野核桃坚果氨基酸含量的主要信息。

### 3 结论与讨论

本研究对12种类型新疆野核桃坚果中氨基酸组成进行分析,其变异系数在5.7%~37.05%,表明新疆野核桃氨基酸变异程度显著。其中TAA的含量在157.34~187.13 mg/g pro,明显低于WHO/FAO推荐的理想蛋白氨基酸组成(360 mg/g)<sup>[18]</sup>和罗宇年<sup>[27]</sup>、苏彦萍<sup>[28]</sup>等测定的新疆栽培核桃坚果氨基酸含量。各类型的EAA/TAA比例在22.3%~31.4%,且EAA含量越高,TAA含量也越高。而EAA/TAA比值和EAA/NEAA比值均低于FAO/WHO标准规定的必需氨基酸含量40%和E/N值0.6<sup>[24]</sup>。

以FAO/WHO模式和全鸡蛋蛋白模式为参照计算得出贴适度在0.44~0.50,2种模式蛋白计算获得的贴适度基本一致,远低于一般经济作物如大豆蛋白、马铃薯蛋白<sup>[29-30]</sup>。对比不同类型新疆野核桃的RC值,显示卵圆型的第1限制性氨基酸为Val,尖果型的第1限制性氨基酸为Lys,而其他类

表7 氨基酸主成分分析

Table 7 The analysis of amino acid

氨基酸	组成成分			
	1	2	3	4
Lys	0.408	0.342	0.139	-0.090
Phe	0.705	0.350	-0.232	0.367
Met	0.480	-0.426	0.297	-0.236
Ile	0.126	0.746	0.143	0.472
Leu	0.715	0.489	-0.240	0.089
Thr	0.817	-0.322	-0.237	-0.309
Val	0.628	0.576	0.099	0.111
His	0.414	-0.082	0.758	-0.189
Arg	0.702	0.295	0.476	-0.091
Glu	0.723	-0.538	-0.191	-0.301
Asp	-0.046	-0.426	0.727	0.420
Cys	0.795	0.296	0.015	-0.320
Tyr	0.784	-0.444	-0.077	0.316
Pro	0.852	-0.257	-0.278	0.161
Ser	0.870	0.382	-0.009	-0.184
Ala	0.461	-0.644	-0.176	0.528
Gly	0.791	-0.294	0.186	0.146
特征值合计	7.240	3.214	1.820	1.411
贡献率%	42.591	18.904	10.708	8.302
累计贡献率%	42.591	61.494	72.202	80.504

型的第1限制性氨基酸均为Thr,且Phe+Tyr氨基酸的含量充足,这与杨永涛<sup>[16]</sup>等的研究结果第1限制性氨基酸为Lys存在差异。12种类型的SRC值为23.94~50.51,远低于大米(72)、马铃薯(74)、红薯(72)<sup>[17]</sup>等栽培作物。

通过对新疆野核桃坚果氨基酸含量和营养价值评估分析显示,新疆野核桃氨基酸含量较低,其原因还有待于结合新疆野核桃生长环境、地理气候做进一步的深入研究和探讨。在之后的研究中,还可结合蛋白质、脂肪酸、可溶性糖等营养指标进行综合分析,进而全面了解新疆野核桃果实的营养价值。

### 参考文献:

- [1] 林培钧,崔乃然. 天山野果林资源[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
- [2] 王肇延. 新疆野核桃资源及遗传多样性的分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2011.
- [3] 张维. 新疆天山峡谷渐危植物野核桃保护生物学基础研究[D]. 长春:东北师范大学,2016.
- [4] 韩成发. 野生核桃林的保护及利用[J]. 中国林业,2008(10):48.
- [5] 刘娇,范志远,赵廷松,等. 鲁甸县抗寒核桃优良无性系选育研究[J]. 西北林学院学报,2015,30(1):102-107.  
LIU J, FAN Z Y, ZHAO T S, et al. Breeding of cold resistant walnut superior clones in Ludian country[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(1): 102-107. (in Chinese)
- [6] 李俊南,习学良,熊新武,等. 核桃的营养保健功能及功能成分

- 研究进展[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(5): 60-64.
- LI J N, XI X L, XIONG X W, *et al.* Nutritional function and functional components of walnut [J]. Food and Nutrition in China, 2018, 24(5): 60-64. (in Chinese)
- [7] 王帅, 戴涟漪, 库雪, 等. 核桃营养组成与保健功能研究进展[J]. 中国酿造, 2016, 35(6): 30-34.
- WANG S, DAI LY, KU X, *et al.* Research progress on walnut nutritional composition and health function[J]. China Brewing, 2016, 35(6): 30-34. (in Chinese)
- [8] 肖良俊, 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.
- XIAO L J, MAO Y L, WU T, *et al.* Contents of essential amino acids and nutritional evaluation of purple kernel walnut from Yunnan Province[J]. Food Science, 2015, 36(4): 106-109. (in Chinese)
- [9] 陈梦华, 韩飞腾, 邓明净, 等. 麻核桃及普通核桃花粉营养成分含量对花粉生活力的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 95-98.
- CHEN M H, HAN F T, DENG M J, *et al.* Influence of nutrient contents on the pollen viability of two walnut species (*Juglans hopeiensis* and *Juglans regia*) [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 95-98. (in Chinese)
- [10] 刘华英, 刘俊霞, 包东东, 等. 新疆野核桃脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2012, 37(9): 78-79.
- LIU H Y, LIU J X, BAO D D, *et al.* Fatty acid composition of wild walnut oil from Xinjiang[J]. China Oils and Fats, 2012, 37(9): 78-79. (in Chinese)
- [11] 张捷, 张萍, 李勤霞. 新疆野核桃核心种质的构建[J]. 果树学报, 2018, 35(2): 168-176.
- ZHANG J, ZHANG P, LI Q X. Construction of core germplasm of Xinjiang wild walnut[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(2): 168-176. (in Chinese)
- [12] GB 5009.124-2016 食品中氨基酸的测定[S]. 2016.
- [13] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.
- [14] 刘法贵, 赵娟. 模糊贴近度及应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2006(3): 104-106.
- [15] 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.
- [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): 207-212.
- YANG Y T, PAN S Y, JIN X X, *et al.* Amino acid composition and nutritional evaluation of different varieties of walnut [J]. Food Science, 2017, 38(13): 207-212. (in Chinese)
- [17] 杨有泉, 姜传京, 应朝阳, 等. 红萍叶蛋白氨基酸成分分析及营养价值评价研究[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 285-289.
- YANG Y Q, JIANG C J, YING C Y, *et al.* LPC of azolla amino composition analysis and nutritional value evaluation research[J]. The Food Industry, 2017, 38(5): 285-289. (in Chinese)
- [18] FAO/WHO. Report of a joint FAO/WHO ad hoc expert committee: pom energy and protein requirements [C]. World Health Organization; Switzerland, 1983: 36-38.
- [19] 安馨, 鱼晓敏, 李层层, 等. 鹰嘴豆蛋白质的营养学评价[J]. 食品科技, 2018, 43(6): 83-87.
- AN X, YU X M, LI C C, *et al.* Nutrition evaluation on chickpea protein[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(6): 83-87. (in Chinese)
- [20] RIBEIRO I C, LECLERCQ C C, SIMÕES N, *et al.* Identification of chickpea seed proteins resistant to simulated *in vitro* human digestion[J]. Journal of Proteomics, 2017, 169: 143-152.
- [21] 裴佳龙, 李鹏程, 王茜, 等. 云南不同地理种源勃氏甜龙竹竹笋营养成分比较[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1): 156-161.
- PEI J L, LI P C, WANG Q, *et al.* Comparison of bamboo shoot nutrients of *Dendrocalamus brandisii* among different provenances[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(1): 156-161. (in Chinese)
- [22] 张泽煌, 钟秋珍, 林旗华. 杨梅果实氨基酸组成及营养评价[J]. 热带作物学报, 2013, 33(12): 2279-2283.
- ZHANG Z H, ZHONG Q Z, LIN Q H. The content of amino acid of Chinese bayberry fruit and its nutritive evaluation[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 33(12): 2279-2283. (in Chinese)
- [23] 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.
- [24] 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.
- QIAN A P, LIN Q, YU Y B, *et al.* The content of amino acid in the flesh of oranges produced in Fujian Province and its nutritive evaluation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(6): 86-90. (in Chinese)
- [25] FAO/WHO. Energy and Protein Requirements[R]. Geneva: World Health Organization, 1973.
- [26] 薛薇. 统计分析与SPSS的应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [27] 罗宇年, 田英姿, 英型, 等. 新疆主栽核桃品种的营养品质评价[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 258-261, 286.
- LUO Y N, TIAN Y Z, YING L, *et al.* Nutrition quality evaluation of main walnut cultivars in Xinjiang[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(5): 258-261, 286. (in Chinese)
- [28] 苏彦苹, 赵爽, 李保国, 等. 6个新疆核桃优秀核仁营养评价[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(1): 59-66, 73.
- SU Y P, ZHAO S, LI B G, *et al.* Kernel nutritional evaluation of six walnut excellent strains in Xinjiang[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(1): 59-66, 73. (in Chinese)
- [29] 赵法伋, 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.
- [30] 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.
- ZHAO F M, LI S J, ZHANG X Y, *et al.* Nutritional evaluation of amino acids in different potato cultivars[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(9): 13-18. (in Chinese)