DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250930002
引用格式: 孙涛, 刘敏, 张慧敏, 等. 新疆不同地区核桃氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(4): 69–78.
SUN T, LIU M, ZHANG HM, *et al*. Analysis of amino acid composition and nutritional evaluation of *Juglans regia* L. in different regions of Xinjiang [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(4): 69–78. (in Chinese with English abstract).

新疆不同地区核桃氨基酸组成分析及营养评价

孙 涛[1,2], 刘 敏[1], 张慧敏[1], 郑伟华[1], 王 贤[1], 周晓龙[1*], 车会莲[2*]

(1. 新疆维吾尔自治区农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室, 新疆农产品质量安全重点实验室, 乌鲁木齐 830091; 2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘 要: 目的 综合评价新疆不同地区核桃营养价值。**方法** 采用全自动氨基酸分析仪, 在波长 570 nm 和 440 nm 处采用茚三酮柱后衍生离子交换色谱法测定, 并通过与联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(United Nations Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)氨基酸模式谱和理想蛋白质标准比较, 计算必需氨基酸比值(ratio of essential amino acid, RAA)、必需氨基酸比值系数(ratio of essential amino acid, RC), 对核桃仁中的氨基酸含量进行了营养价值评价。**结果** 新疆 3 个区域不同地方的 44 个核桃样品果肉中均含有 17 种氨基酸, 其中谷氨酸、赖氨酸、精氨酸含量较高, 必需氨基酸占比 0.32。不同区域核桃氨基酸组成差异较大, 喀什地区的核桃中氨基酸比例优于其他地区。通过 FAO/WHO 氨基酸模式谱比较分析, 赖氨酸为主要限制性氨基酸。扎 343 品种核桃中氨基酸比值系数分(score of ratio coefficient, SRC)值最高, 第一限制氨基酸缺陷程度最轻, 其赖氨酸 RC 值(化学评分)为 0.761; 氨基酸供需平衡性最优, 该品种无极端过剩氨基酸, 其中苯丙氨酸与酪氨酸的 RC 值合计为 1.406。**结论** 综合氨基酸评价指标得出新疆喀什地区的扎 343 核桃综合营养品质更优。本研究为核桃的营养成分分析和加工利用提供了科学依据, 并为提升新疆核桃的市场价值和推广应用提供了理论支持。

关键词: 核桃; 氨基酸含量; 营养价值评价; 区域差异

Analysis of amino acid composition and nutritional evaluation of *Juglans regia* L. in different regions of Xinjiang

SUN Tao[1,2], LIU Min[1], ZHANG Hui-Min[1], ZHENG Wei-Hua[1], WANG Xian[1], ZHOU Xiao-Long[1*], CHE Hui-Lian[2*]

(1. *Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products of Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety of Xinjiang*, *Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agro-products*, *Xinjiang Academy of Agricultural Sciences*, *Urumqi* 830091, *China*; 2. *College of Food Science and Nutritional Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*)

收稿日期: 2025-09-30
基金项目: 新疆科技特派员项目(2024KY029); 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B03006)
第一作者: 孙涛(1978—), 男, 硕士, 正高级实验师, 主要研究方向为干果营养品质及营养评价。E-mail: suntao26@xaas.ac.cn
***通信作者:** 周晓龙(1976—), 男, 硕士, 正高级实验师, 主要研究方向为农产品营养品质检测与评价。E-mail: zxl2431@xaas.ac.cn
车会莲(1977—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全、食物过敏与营养。E-mail: chehuilian@cay.edu.cn

ABSTRACT: Objective To comprehensively evaluate the nutritional value of *Juglans regia* L. in different regions of Xinjiang. **Methods** Using a fully automatic amino acid analyzer, the ninhydrin post-column derivatization ion-exchange chromatography method was employed at wavelengths of 570 nm and 440 nm. By comparing with the amino acid pattern spectra of the United Nations Food and Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO) and the ideal protein standards, the ratios of essential amino acids (RAA) and the ratio coefficients of essential amino acids (RC) were calculated. The nutritional value of amino acid content in *Juglans regia* L. kernels was evaluated. **Results** The 44 *Juglans regia* L. samples from different locations in 3 regions of Xinjiang all contained 17 kinds of amino acids, among which glutamic acid, lysine and arginine had relatively high content, and the proportion of essential amino acids was 0.32. The amino acid composition of *Juglans regia* L. from different regions varied greatly, and the amino acid ratio of walnuts from Kashgar region was better than that of other regions. Through the comparison and analysis of the FAO/WHO amino acid pattern spectrum, lysine and threonine were the main limiting amino acids. The score of ratio coefficient (SRC) value of the Zha 343 variety *Juglans regia* L. was the highest, and the defect degree of the first limiting amino acid was the lightest. Its RC value (chemical score) of lysine was 0.761. The amino acid supply and demand balance was the best, and there was no extremely excessive amino acid in this variety. The total RC value of phenylalanine and tyrosine was 1.406. **Conclusion** Based on the comprehensive amino acid evaluation indicators, the comprehensive nutritional quality of Zha 343 *Juglans regia* L. in Kashgar, Xinjiang is superior. This study provides a scientific basis for the analysis of nutritional components and processing utilization of *Juglans regia* L., and offers theoretical support for enhancing the market value of Xinjiang *Juglans regia* L. and promoting their application.

KEY WORDS: *Juglans regia* L.; amino acid content; nutritional value evaluation; regional differences

0 引 言

核桃是世界“四大干果”之一，胡桃科(Juglandaceae)，其作为世界重要经济树种，核桃栽培历史悠久，分布范围广泛，种质资源丰富[1–2]。中国核桃种植面积、产出量及消费水平均居世界前列[3]。我国核桃主要生长于山地及丘陵地带，以新疆、云南、陕西等地最为常见[1]。目前我国主要栽培品种为普通核桃(*Juglans regia*)、泡核桃(*Juglans sigillata*)、山核桃(*Carya cathayensis*)和薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)，目前我国核桃栽培种类多样，其中普通核桃是分布最广、栽培面积最大的主要种类。本研究重点关注的新疆主栽品种，如温 185、新新 2 号等，均属于普通核桃[4–5]。核桃富含优质脂肪酸、蛋白质及矿质元素等成分，被认为是天然营养补品。其中，核桃仁含油率高达 70%，不饱和脂肪酸占比大于 90%，独特的营养优势契合现代健康消费需求。研究表明核桃油有益于心血管健康，能够促进脑神经发育，调节血脂代谢，预防老年痴呆[6–8]。同时核桃仁中蛋白质含量为 15%~20%，研究表明核桃仁蛋白具有抗高血压、抗氧化、抗癌等生物活性[9–11]。

以往的研究表明，核桃果实的营养品质如脂肪、蛋白质含量等会受到品种类型、栽培条件、自然环境等多种因素的影响。罗宇年等[12]研究发现新疆温宿、叶城两个核桃主产区的主栽品种核桃蛋白质平均含量为 19.35%，脂肪平均含量为 60.91%，不饱和脂肪酸达 90.45%。金银春等[4]发现四川秦巴山区 20 个不同品种核桃的蛋白质含量为 16.8%~21.5%，氨基酸总量为 13.2%~20.1%，核仁脂肪含量为 41.1%~61.0%，其中，不饱和脂肪酸含量为 89.45%~91.63%。冯启科等[13]以河北省 9 个核桃主栽品种为试材，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%。综上所述，系统研究不同地区、不同品种核桃的营养品质对于核桃品种选育和加工至关重要。

新疆是我国最早种植核桃的地区之一，其凭借独特的气候条件和土壤环境，孕育出温 185、新新 2 号、扎 343、新丰及土核桃等优质主栽品种核桃[14–15]。新疆核桃是西北地区具有开发和利用前景的重要资源，对于食用和深加工更具潜力，且新疆核桃具有独特的品质特征，兼具营养(高不饱和脂肪酸)、生态(防风固沙、耐盐碱)与经济价值。新疆核桃种植面积超过 600 万亩，形成了阿克苏、和田、喀什 3 大核心产区[16–18]。其产品不仅占据国内高端市场 70%的份额，还出口至 30 余个国家和地区[18]。目前对于新疆三大产区主栽品种核桃营养价值评价方面缺少系统研究报道。

鉴于此，本研究旨在比较新疆三大核桃主产区的整体品质差异，为了广泛覆盖不同产区的核心县市及主栽品种，本研究分别收集新疆 3 个区域 17 县市 7 个主栽品种核桃，对核桃仁中氨基酸差异及营养价值进行评价；采用全

自动氨基酸分析仪, 结合世界卫生组织/联合国粮农组织(World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations, WHO/FAO)修订的理想蛋白质人体必需氨基酸模式开展了相关实验与数据比对, 探明新疆不同区域及不同品种核桃中氨基酸差异及营养价值、探讨氨基酸组成及含量差异对品种及地域分类分析, 旨在为核桃的营养成分分析和加工利用提供了科学依据, 并为提升新疆核桃的市场价值和推广应用提供了理论支持。

1　材料与方法

1.1　材　料

本研究材料详见表 1, 新疆不同区域的样本共计 44 份, 取样量均为 5 kg/份, 所有样本均在 2023 年 12 月收获, 本研究的抽样策略旨在系统评估新疆核桃主产区品种资源的营养品质变异。为确保样本的代表性及结果的统计可靠性, 采样样品覆盖了新疆阿克苏、喀什、和田三大核桃核心产区的 17 个主要县市, 在每个产区, 均重点采集了当地的主栽品种, 包括温 185、新新 2 号、扎 343、新丰及特色地方品种‘土核桃’等。为评估同一品种在同一县市内的自然变异性和稳定性, 对部分主栽品种在同一县市内设置了独立的生物学重复。这些重复样本来自不同的果园或不同的农户, 代表了在相似宏观环境下, 由于微环境、管理措施或个体遗传差异所导致的自然变异。此设计可为品种的品质稳定性评价提供依据。其中, 新疆喀什地区 19 份(编号为 HT-01~06, HT-13~14, HT-28~34, HT-41~44); 新疆阿克苏地区 17 份(编号为 HT-07~12, HT-17~27); 新疆和田地区 8 份(编号为 HT-15~16, HT-35~40)。

1.2　设备与试剂

1.2.1　仪器与设备

BS124S 电子天平(精度 0.1 mg, 德国赛多利斯公司); FOSS 8400 全自动凯氏定氮仪(丹麦福斯 FOSS 集团公司); S-433D 氨基酸分析仪(德国 SYLAM 赛卡姆公司); R-12 平行蒸发定量浓缩仪(瑞士 Syncore BUCHI 公司); LCA K06/Na 色谱柱(4.6 mm×150 mm)[赛卡姆(北京)科学仪器有限公司]。

1.2.2　试　剂

甲醇(色谱纯, 美国赛默飞世尔科技公司); 盐酸(优级纯)、硫酸(分析纯)(成都市科隆化学品有限公司); 柠檬酸三钠(二水)(优级纯, 天津市鑫铂特化工有限公司); 茚三酮(色谱纯)、混合氨基酸标准溶液(浓度 2.5 μmol/mL)[赛卡姆(北京)科学仪器有限公司]。

1.3　实验方法

1.3.1　核桃样品制备

参考杨旭昆等[19]的方法并稍作修改。取烘干后核桃坚果, 人工去壳后得到核桃仁。使用组织研磨机将核桃仁研磨均匀后, –20 ℃冷冻保存。用于氨基酸含量测定时, 需烘干后随机称取 500 g。并按照 GB 5009.124—2016《食品安

表 1　样品信息

Table 1　Sample informations

样品编号	样品品种	样品来源	新疆区域
HT-01	温 185	叶城县	喀什地区
HT-02	新新 2 号	叶城县	喀什地区
HT-03	扎 343	叶城县	喀什地区
HT-04	新丰	叶城县	喀什地区
HT-05	土核桃	叶城县	喀什地区
HT-06	土核桃	叶城县	喀什地区
HT-07	温 185	温宿县	阿克苏地区
HT-08	新新 2 号	温宿县	阿克苏地区
HT-09	新温 81	温宿县	阿克苏地区
HT-10	新萃丰	温宿县	阿克苏地区
HT-11	新早丰	温宿县	阿克苏地区
HT-12	扎 343	温宿县	阿克苏地区
HT-13	扎 343	莎车县	喀什地区
HT-14	土核桃	莎车县	喀什地区
HT-15	扎 343	策勒县	和田地区
HT-16	扎 343	策勒县	和田地区
HT-17	温 185	阿瓦提县	阿克苏地区
HT-18	温 185	阿瓦提县	阿克苏地区
HT-19	新新 2 号	库车县	阿克苏地区
HT-20	新新 2 号	库车县	阿克苏地区
HT-21	新新 2 号	乌什县	阿克苏地区
HT-22	温 185	乌什县	阿克苏地区
HT-23	温 185	新和县	阿克苏地区
HT-24	温 185	新和县	阿克苏地区
HT-25	温 185	沙雅县	阿克苏地区
HT-26	新新 2 号	沙雅县	阿克苏地区
HT-27	新早丰	沙雅县	阿克苏地区
HT-28	土核桃	伽师县	喀什地区
HT-29	土核桃	伽师县	喀什地区
HT-30	土核桃	英吉沙县	喀什地区
HT-31	温 185	英吉沙县	喀什地区
HT-32	土核桃	麦盖提县	喀什地区
HT-33	新新 2 号	岳普湖	喀什地区
HT-34	温 185	岳普湖	喀什地区
HT-35	土核桃	皮山县	和田地区
HT-36	土核桃	皮山县	和田地区
HT-37	扎 343	于田县	和田地区
HT-38	新丰	于田县	和田地区
HT-39	土核桃	洛浦县	和田地区
HT-40	土核桃	洛浦县	和田地区
HT-41	温 185	泽普县	喀什地区
HT-42	新新 2 号	泽普县	喀什地区
HT-43	温 185	泽普县	喀什地区
HT-44	新新 2 号	泽普县	喀什地区

全国家标准 食品中氨基酸的测定》的方法要求进行脱脂处理: 将沸点为 30~60 ℃的石油醚与破碎后的核桃仁按料液比 1:10 (g/mL)混合, 室温通风橱中萃取 3 次, 每次 2 h, 静置后弃去上层石油醚层, 于通风橱中挥发过夜。

1.3.2 氨基酸含量的测定

(1)测定步骤

参照 GB 5009.124—2016, 采用全自动氨基酸分析仪测定核桃仁中的 17 种氨基酸, 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, 加入 10 mL 盐酸溶液(1:1, *V*:*V*, 约 6 mol/L), 氮吹仪不加热吹 15 min 后拧紧瓶盖, 置烘箱中于 110 ℃水解 22 h, 将样品取出冷却至室温, 将水解液使用定量滤纸进行初步过滤至 50 mL 容量瓶内, 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 50 ℃水浴锅上干燥脱酸; 脱酸后的样品, 加入 1 mL 样品稀释缓冲液(pH 2.2 柠檬酸钠缓冲溶液), 置振荡混合器上混合均匀, 过 0.22 μm 滤膜后转移至进样瓶中, 为样品测定液。

(2)测定条件

使用混合氨基酸标准工作液注入氨基酸自动分析仪。色谱参考条件色谱柱为磺酸型阳离子树脂, 检测波长为 570 nm(除脯氨酸以外的氨基酸)和 440 nm(用于测定脯氨酸)。并通过标准化的校准程序消除了 570 nm 和 440nm 双波长测定的交叉干扰: 即每个批次分析前均运行标准品进行校准。进行系统适用性测试, 确保标准品中所有氨基酸(特别是脯氨酸)的分离度、保留时间和回收率均符合要求。混合氨基酸标准工作液和样品测定液分别以 30 μL 体积注入氨基酸分析仪, 以外标法通过峰面积计算样品测定液中氨基酸的浓度。氨基酸分析测定条件如表 2。

表 2 氨基酸分析测定条件

Table 2 Analysis and determination conditions for amino acid

参数名称	检测条件
色谱柱	LCA K06/Na (4.6 mm×150 mm)
流动相	柠檬酸钠 A=0.12 N, pH 3.45; B=0.2 N, pH 10.85
流速	洗脱泵: 0.45 mL/min+衍生泵: 0.25 mL/min
压力	30~40 bar
检测波长	570 nm+440 nm
温度	58~74 ℃梯度控温

1.3.3 营养价值评价

WHO/FAO 修订的理想蛋白质人体必需氨基酸模式谱(1973 年版本), 以及氨基酸平衡理论计算必需氨基酸(essential amino acid, EAA)比例、必需氨基酸的氨基酸比值(aminoacid ratio, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)、变异系数(coefficient of variation, CV)、氨基酸比值系数分(score of ratio coefficient, SRC)值分析不同核桃品种[20–23]。

(1)必需氨基酸比例

EAA 比例计算如公式(1):

$$\text{EAA 比例/\%}=\text{样品 EAA 含量/氨基酸总量} \quad (1)$$

(2)必需氨基酸的氨基酸比值

RAA 是计算待测样品中待评必需氨基酸与 WHO/FAO 模式谱中相应氨基酸间倍数[23]。鉴于脱氨酸(cystine, Cys)与酪氨酸(tyrosine, Tyr)分别由蛋氨酸(methionine, Met)与苯丙氨酸(phenylalanine, Phe)转变而成, 因此将苯丙氨酸和酪氨酸, Met 和胱氨酸(cysteine, Cys)分别合并计算[24]。根据氨基酸平衡理论, 一种蛋白质的营养价值取决于其氨基酸组成与人体需求模式的匹配程度。因此, 被测蛋白质的氨基酸比例与 FAO/WHO 参考模式(表 3)越接近, 表明其蛋白质质量越优。RAA 计算如公式(2):

$$\text{RAA}=\text{待评必需氨基酸的 EAA 值/模式谱相应 EAA 值} \quad (2)$$

(3)氨基酸比值系数

RC 是指某必需氨基酸的 RAA 与各种氨基酸的 RAA 均值的比值, 可以反映氨基酸含量与模式氨基酸的偏离程度, 如 RC 值大于 1, 则表示该必需氨基酸含量相对过剩; 小于 1, 则表明该必需氨基酸含量相对不足; RC 等于 1 表明其组成比例与模式谱一致[25]。其中, RC 值最小的为第一限制性氨基酸。RC 的计算如公式(3):

$$\text{RC}=\text{某必需氨基酸 RAA/各种氨基酸 ARR 的均值} \quad (3)$$

(4)比值系数分

SRC 是综合评价蛋白质营养价值的指标, 其值越接近 100, 表明必需氨基酸组成与模式谱越一致, 蛋白质营养价值越高; 反之, SRC 值越低, 则营养价值越差[19]。SRC 的计算如公式(4):

$$\text{SRC}=100-\text{CV}\times 100 \quad (4)$$

此外, CV 用于衡量各必需氨基酸 RC 值相对于其均值的离散程度。RC 的计算公式如公式(5):

$$\text{CV}=\text{RC 的标准差/RC 的均值} \quad (5)$$

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 进行氨基酸含量数据整理; 采用 Prism 8.0 软件进行差异性分析。所有实验均独立重复 3 次。

表 3 FAO/WHO 标准中必需氨基酸含量

Table 3 Content of essential amino acids in FAO/WHO standards

模式	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Val
FAO/WHO 标准/%	4.0	7.0	5.5	3.5	6.0	4.0	5.0

注: Ile: 异亮氨酸(isoleucine); Leu: 亮氨酸(leucine); Lys: 赖氨酸(lysine); Thr: 苏氨酸(threonine); Val: 缬氨酸(valine)。

2　结果与分析

2.1　不同区域核桃蛋白质含量、氨基酸组成分析

2.1.1　不同区域核桃蛋白质含量分析

采用 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的全自动凯氏定氮法对不同区域 44 个核桃样本中蛋白质进行检测分析, 结果见表 4。来自喀什地区英吉沙县的核桃蛋白质含量最高[(17.32±1.78) g/100 g], 尤其是 HT-31 含量最高(18.88 g/100 g)(表 5), 而阿克苏地区新和县的蛋白质含量最低[(12.73±1.73) g/100 g], HT-25 含量最低(11.06 g/100 g)。 统计分析表明, 各地区间的平均蛋白质含量并无显著性差异(P>0.05, 表 4)。这种含量变异可能与品种遗传特性、局部生态环境及栽培管理措施的综合作用有关, 有研究发现在新疆多个产区的研究发现, 海拔、气候(如平均温差)、土壤养分(如速效钾、碱解氮、有机质)等生态环境因子对枣果蛋白质等营养品质有重要影响[26]。故本研究中 HT-31 的高蛋白含量可能得益于其特定产地的土壤肥力与精准的水肥管理; 而阿克苏地区部分样本含量偏低, 则可能与当地的土壤质地及采收时果实的成熟度有关。今后可进一步研究关键农艺措施对核桃蛋白质合成的调控作用, 为优质核桃生产提供理论依据。

由表 5 可知, 本研究收集的 44 份新疆核桃种质资源的蛋白质含量变异丰富, 其范围在 10.69~19.31 g/100 g 之间, 均值为 15.52 g/100 g。该结果与罗宇年等[12]报道的新疆核桃蛋白质平均含量(19.35%)处于同一数量级, 证实了本研究样本的代表性与数据可靠性。进一步分析发现, 样本间CV范围为2.683%~3.134%, 表明尽管来源广泛, 但蛋白质含量的测定数据具有较好的精密度与稳定性。值得注意的是, 蛋白质含量最高的单株(HT-31, 19.31 g/100 g)与最低的单株(HT-25, 10.69 g/100 g)之间相差近一倍, 这揭示了新疆核桃种质中存在可供挖掘的高蛋白特异种质资源。此种内的高度变异特性, 为后续的品种选育和品质改良提供了重要的物质基础和选择潜力。

2.1.2　不同区域核桃氨基酸组成及含量分析

利用全自动氨基酸分析仪对不同区域 44 个核桃样本进行氨基酸含量测定, 结果见表 6。由表 6 可知, 不同区域 44 个核桃样本中氨基酸含量范围为 9.07~15.23 g/100 g, 均值为 12.61 g/100 g, 其中来自阿克苏地区沙雅县 HT-26 的氨基酸含量平均值最低(9.24 g/100 g), 和田区域于田县 HT-37 含量最高(15.07 g/100 g)。进一步分析发现(表 7), 和田地区核桃中氨基酸含量最低, 且与喀什和和田地区的有显著性差异(P<0.05), 而喀什地区的和阿克苏地区的无显著性差异(P>0.05)。氨基酸总量均值在蛋白质含量均值中占比为 81.3%。

2.1.3　不同区域核桃氨基酸组成分析

对 44 个样本中氨基酸组成根据用途进行分析, 参照任延靖等[27]的分类方法, 分别分析必需氨基酸、非必需氨基酸[28]、药效氨基酸。

核桃样品经过酸水解后, 共测定出 17 种氨基酸组分, 分别为天冬氨酸(aspartic acid, Asp), Thr, 丝氨酸(serine, Ser), 谷氨酸(glutamic acid, Glu), 甘氨酸(glycine, Gly), 丙氨酸(alanine, Ala), Cys, Val, Met, Ile, Leu, Tyr, Phe, 组氨酸(histidine, His), Lys, 精氨酸(arginine, Arg), 脯氨酸(proline, Pro), 结果见表 8。其中包含 9 种 EAA, 包括 Thr, Val, Met, Ile, Leu, Phe, Lys, Tyr, Cys。由表 8 可知, 44 份核桃仁中总氨基酸含量在 8.77~16.12 g/100 g 之间; EAA 含量范围为 2.61~5.90 g/100 g, 均值 4.34 g/100 g; EAA 比值为 0.32。且喀什地区的核桃中 EAA 含量高于阿克苏地区的, 尤其是 Val、Leu、Phe、Cys 4 种氨基酸。NEAA 含量范围为 6.16~10.22 g/100 g, 均值 8.09 g/100 g; MEAA 含量范围为 5.83~10.82 g/100 g, 均值 8.71 g/100 g。此外, 对 44 份样本的氨基酸组成分析表明(图 1), Glu 是含量最高的氨基酸, 而 Arg 则在药用氨基酸中占比最高。在 EAA 中, Lys 的相对含量最为丰富, 尤其是在喀什地区莎车县的样本中; 而 Thr 的含量相对最低。总体来看, 喀什地区核桃的 EAA 组成更为均衡。上述氨基酸组成特征赋予了核桃良好的营养与潜在健康价值, 具体而言, 由于谷物蛋白普遍缺乏 Lys, 而核桃中较高的 Lys 含量有助于弥补膳食中的这一限

表 4　不同区域核桃的蛋白质含量比较(g/100 g)

Table 4　Comparison of protein content in *Juglans regia* L. from different regions (g/100 g)

区域	喀什地区						
	叶城县	莎车县	伽师县	英吉沙县	麦盖提县	岳普湖	泽普县
含量	16.05±0.90	17.27±0.64	15.88±1.17	17.32±1.78	15.75±0.47	17.07±0.51	14.75±0.73
区域	阿克苏地区						
	温宿县	阿瓦提县	库车县	乌什县	新和县	沙雅县	
含量	16.31±1.29	13.62±0.36	16.32±0.58	14.66±0.77	12.73±1.73	13.00±2.15	
区域	和田地区						
	策勒县	皮山县	于田县	洛浦县			
含量	15.32±1.12	14.03±0.99	16.73±1.28	16.66±1.28			

表 5 不同区域核桃中蛋白质含量

Table 5 Protein content in *Juglans regia* L. in different regions

样本	平均值/(g/100 g)	最小值/(g/100 g)	最大值/(g/100 g)	标准偏差/(g/100 g)	CVs/%
HT-1	14.88	14.41	15.21	0.416	2.799
HT-2	15.97	15.40	16.30	0.493	3.089
HT-3	17.18	16.58	17.58	0.529	3.080
HT-4	16.18	15.68	16.58	0.458	2.832
HT-5	16.75	16.22	17.22	0.503	3.004
HT-6	15.36	14.86	15.76	0.458	2.983
HT-7	14.88	14.41	15.21	0.416	2.799
HT-8	16.48	15.95	16.85	0.473	2.867
HT-9	18.57	17.94	19.04	0.569	3.062
HT-10	15.66	15.13	16.03	0.473	3.017
HT-11	15.48	14.95	15.85	0.473	3.052
HT-12	16.75	16.22	17.22	0.503	3.004
HT-13	16.88	16.31	17.31	0.513	3.041
HT-14	17.66	17.03	18.03	0.551	3.118
HT-15	14.36	13.86	14.66	0.436	3.035
HT-16	16.27	15.77	16.67	0.458	2.817
HT-17	13.57	13.14	13.94	0.404	2.977
HT-18	13.66	13.23	14.03	0.404	2.958
HT-19	15.97	15.40	16.30	0.493	3.089
HT-20	16.66	16.13	17.03	0.473	2.836
HT-21	14.06	13.59	14.39	0.416	2.962
HT-22	15.27	14.77	15.67	0.458	3.001
HT-23	11.18	10.88	11.48	0.300	2.683
HT-24	14.27	13.77	14.57	0.436	3.055
HT-25	11.06	10.69	11.29	0.321	2.907
HT-26	12.18	11.78	12.48	0.361	2.960
HT-27	15.75	15.22	16.12	0.473	3.000
HT-28	16.88	16.31	17.31	0.513	3.041
HT-29	14.88	14.41	15.21	0.416	2.799
HT-30	15.75	15.22	16.12	0.473	3.000
HT-31	18.88	18.21	19.31	0.586	3.104
HT-32	15.75	15.22	16.12	0.473	3.000
HT-33	17.27	16.67	17.67	0.529	3.064
HT-34	16.88	16.31	17.31	0.513	3.041
HT-35	14.88	14.41	15.21	0.416	2.799
HT-36	13.18	12.78	13.48	0.361	2.736
HT-37	17.57	16.94	17.94	0.551	3.134
HT-38	15.88	15.31	16.21	0.493	3.107
HT-39	15.57	15.04	15.94	0.473	3.035
HT-40	17.75	17.12	18.12	0.551	3.102
HT-41	14.06	13.59	14.39	0.416	2.962
HT-42	15.48	14.95	15.85	0.473	3.052
HT-43	14.27	13.77	14.57	0.436	3.055
HT-44	15.18	14.68	15.58	0.458	3.019
蛋白质含量均值	15.52	10.69	19.31		

表 6 不同区域核桃中氨基酸含量

Table 6 Amino acid content of *Juglans regia* L. in different regions

样本	平均值/(g/100 g)	最小值/(g/100 g)	最大值/(g/100 g)	标准偏差/(g/100 g)	CVs/%
HT-1	12.08	12.01	12.16	0.077	0.634
HT-2	13.59	13.53	13.67	0.072	0.526
HT-3	13.32	13.24	13.39	0.075	0.565
HT-4	12.68	12.64	12.74	0.059	0.466
HT-5	14.23	14.11	14.30	0.103	0.727
HT-6	12.35	12.34	12.36	0.010	0.081
HT-7	11.90	11.85	11.92	0.042	0.354
HT-8	12.32	12.26	12.38	0.059	0.481
HT-9	14.98	14.90	15.03	0.065	0.437
HT-10	12.46	12.36	12.55	0.095	0.762
HT-11	13.34	13.12	13.51	0.198	1.482
HT-12	12.75	12.73	12.77	0.024	0.186
HT-13	14.35	14.26	14.54	0.165	1.153
HT-14	14.35	14.29	14.41	0.059	0.412
HT-15	11.88	11.79	11.97	0.093	0.784
HT-16	13.62	13.50	13.69	0.106	0.776
HT-17	10.48	10.32	10.56	0.138	1.313
HT-18	11.87	11.78	11.97	0.095	0.796
HT-19	10.86	10.76	11.05	0.164	1.511
HT-20	12.10	12.03	12.19	0.081	0.667
HT-21	11.69	11.57	11.81	0.122	1.045
HT-22	12.89	12.80	13.03	0.119	0.926
HT-23	9.48	9.44	9.52	0.040	0.420
HT-24	11.23	11.09	11.38	0.145	1.291
HT-25	9.52	9.44	9.58	0.073	0.762
HT-26	9.24	9.07	9.33	0.147	1.595
HT-27	12.91	12.84	13.02	0.095	0.739
HT-28	13.84	13.76	13.93	0.085	0.613
HT-29	12.03	11.97	12.13	0.081	0.671
HT-30	12.40	12.10	12.70	0.095	0.763
HT-31	13.38	13.03	13.74	0.086	0.644
HT-32	12.87	12.70	12.96	0.145	1.128
HT-33	14.23	14.12	14.31	0.100	0.704
HT-34	13.83	13.73	13.88	0.080	0.578
HT-35	12.91	12.83	13.02	0.099	0.763
HT-36	11.04	10.90	11.20	0.151	1.365
HT-37	15.07	14.91	15.23	0.159	1.055
HT-38	13.70	13.64	13.81	0.089	0.648
HT-39	13.19	13.18	13.20	0.009	0.064
HT-40	13.47	13.43	13.51	0.044	0.323
HT-41	12.36	12.33	12.38	0.023	0.188
HT-42	13.84	13.83	13.85	0.013	0.092
HT-43	12.00	11.94	12.08	0.076	0.630
HT-44	12.28	12.16	12.37	0.109	0.884
氨基酸含量均值	12.61	9.07	15.23		
蛋白质含量均值	15.52	10.69	19.31		

表 7　不同区域核桃中氨基酸含量总和

Table 7　Sum of amino acid content of *Juglans regia* L. in different regions

地区	总和/(g/100 g)	平均值/(g/100 g)	方差
阿克苏地区	11.66	0.69	0.01
喀什地区	13.34	0.70	0.01
和田地区	4.98	0.62	0.00

制性氨基酸短板, 从而提升整体膳食蛋白质的利用率[29]。其次, Arg 作为核桃中含量最高的药用氨基酸, 研究表明其在心血管保护(如改善内皮功能)和免疫调节等方面具有重要的生理功能[30–31]。综上所述, 新疆核桃, 尤其是喀什地区的产品, 不仅氨基酸比例均衡, 其高 Lys 与高 Arg 的特性, 也使其成为一种优质的天然营养补充与健康食品原料。

表 8　不同区域核桃仁中 EAA、NEAA、药效氨基酸含量

Table 8　EAA, NEAA and pharmacodynamic amino acid content in different regions of *Juglans regia* L. nut

需求类别	氨基酸/(g/100 g)	平均值/(g/100 g)	最小值/(g/100 g)	最大值/(g/100 g)	标准偏差/(g/100 g)	CVs/%
EAA	Thr	0.37	0.24	0.49	0.047	12.960
	Val	0.61	0.45	0.75	0.066	10.887
	Met*	0.22	0.15	0.27	0.028	12.429
	Ile	0.50	0.36	0.63	0.057	11.479
	Leu*	0.88	0.59	1.08	0.107	12.074
	Phe*	0.66	0.46	0.87	0.084	12.751
	Lys*	0.40	0.24	0.78	0.096	24.321
	Cys	0.27	0.09	0.46	0.070	26.039
	Tyr*	0.43	0.03	0.57	0.086	20.031
合计		4.34	2.61	5.90	—	—
NEAA	Asp*	1.21	0.88	1.50	0.130	10.793
	Ser	0.61	0.43	0.87	0.085	14.110
	Glu*	2.61	1.90	3.09	0.283	10.846
	Gly*	0.63	0.46	0.79	0.068	10.860
	Ala	0.59	0.41	0.75	0.070	11.906
	His	0.106	0.76	0.144	0.020	22.06
	Arg*	1.99	1.32	2.55	0.253	12.672
	Pro	0.34	0.00	0.53	0.148	43.855
合计		8.09	6.16	10.22	—	—
MEAA	Met*	0.22	0.15	0.27	0.028	12.429
	Leu*	0.88	0.59	1.08	0.107	12.074
	Phe*	0.67	0.46	0.87	0.084	12.751
	Lys*	0.073	0.039	0.097	0.01	19.68
	Asp*	1.21	0.88	1.50	0.130	10.793
	Glu*	2.61	1.90	3.09	0.283	10.846
	Gly*	0.63	0.46	0.79	0.068	10.860
	Tyr*	0.43	0.03	0.57	0.086	20.031
	Arg*	1.99	1.32	2.55	0.253	12.672
合计		8.71	5.83	10.82	—	—
总计		11.88	8.77	16.12	—	—
EAA/TAA		0.32	—	—	—	—
EAA/NEAA		0.47	—	—	—	—

注: *表示药效氨基酸。—表示无此项。

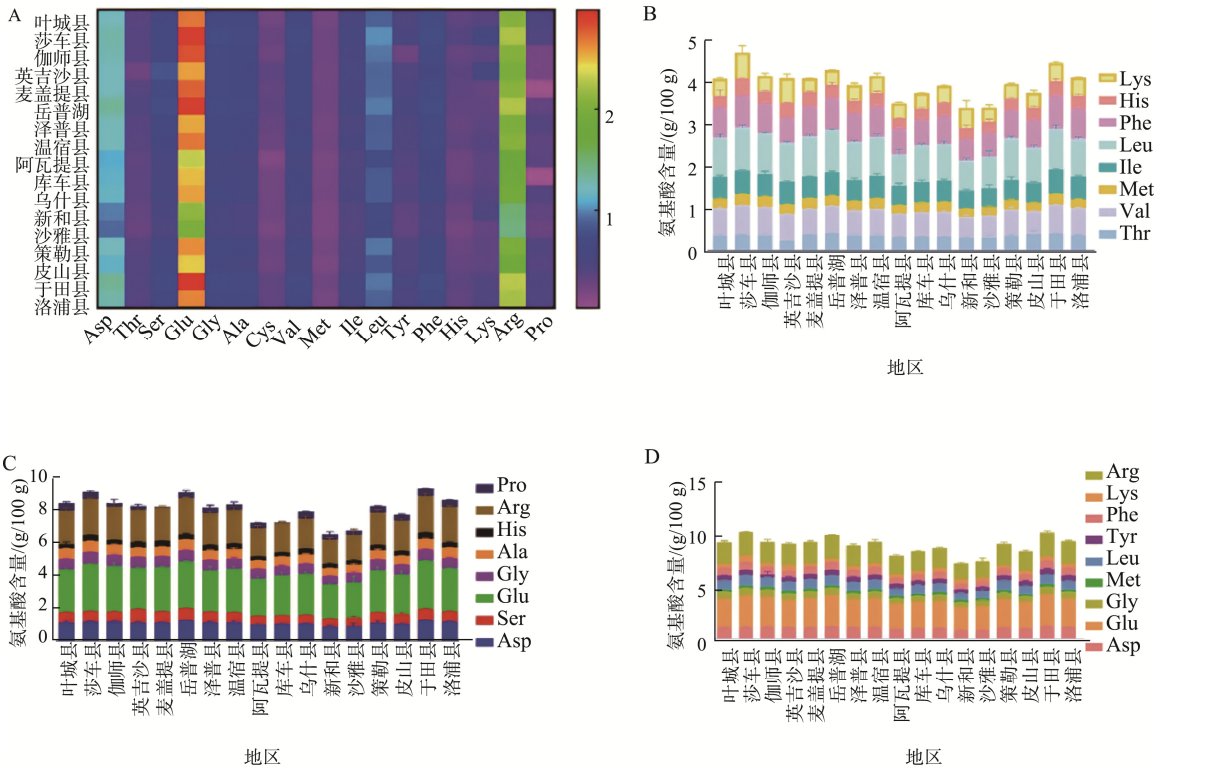


图 1 不同地区氨基酸含量比较

Fig.1 Comparison of amino acid content in different regions

2.2 核桃氨基酸的营养价值评价

2.2.1 氨基酸分别与 FAO/WHO 氨基酸模式谱比较

综合表 6 与表 7 的分析结果，喀什地区核桃在氨基酸总量与必需氨基酸占比上均表现出优势。为进一步评价其氨基酸比例的平衡性，通过与 FAO/WHO 氨基酸标准模式谱比较，得出喀什地区 5 个品种核桃样品的 RAA，结果见表 9。

由上述分析得出喀什地区核桃中氨基酸比例较好，表 9 得出，关键限制性氨基酸 Lys 的 RAA 值，以土核桃最接近 1，且 5 个品种核桃中 Phe+Tyr 含量均高于其他氨基酸，综合比较 9 种氨基酸的比例，土核桃因其多数必需氨基酸含量较高且限制性氨基酸(Lys)的 RAA 值相对最高(0.540)，最接近于氨基酸标准模式谱，显示出改善蛋白质质量的潜力。然而，其部分氨基酸的过剩问题也徐综合考量。因此最终的综合评价将结合 RC 与 SRC 等指标进行。

2.2.2 氨基酸的氨基酸比值系数分析

RC 反映氨基酸含量与模式氨基酸的偏离程度，在本研究中，第一限制性氨基酸的判定依据 RC。由于 RC 值是 RAA 经标准化处理后的结果，两者在识别限制性氨基酸的排序上具有一致性，即 RAA 值最小的氨基酸，其 RC 值也最小[24,30]。因此，通过 RC 值判定第一限制性氨基酸是可靠且通用的方法。不同区域核桃果肉中 RC 结果见表 10。

表 9 喀什地区不同品种核桃样品中 RAA

Table 9 RAA in samples of different *Juglans regia* L. varieties from the Kashgar Prefecture

样品	氨基酸 RAA/%						
	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Val
FAO/WHO 标准	4.0	7.0	5.5	3.5	6.0	4.0	5.0
温 185	0.630	0.635	0.335	0.783	0.923	0.439	0.599
新新 2 号	0.503	0.524	0.270	0.617	0.801	0.490	0.502
扎 343	0.269	0.275	0.212	0.301	0.392	0.241	0.261
新丰	0.130	0.127	0.074	0.133	0.177	0.118	0.125
土核桃	0.912	0.961	0.540	1.017	1.253	0.685	0.911

表 10　不同品种核桃中 RC 比较

Table 10　Comparison of amino acid RC in different varieties of *Juglans regia* L.

样品	RC							SRC
	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Val	
温 185	1.016	1.023	0.539	1.262	1.487	0.708	0.965	68.222
新新 2 号	0.950	0.989	0.510	1.165	1.513	0.925	0.949	69.974
扎 343	0.966	0.985	0.761	1.078	1.406	0.866	0.937	79.517
新丰	1.029	1.007	0.584	1.053	1.401	0.934	0.993	76.126
土核桃	1.016	1.071	0.602	1.133	1.396	0.762	1.020	74.334

表 10 可见, 5 个品种中, Phe+Tyr 和 Met+Cys 的 RC 值均大于 1, 表明这几种氨基酸在喀什地区 5 个品种核桃中含量均相对过剩; 同时 Thr 和 Lys 的 RC<1, 表明这 2 种氨基酸含量相对不足, 且 5 个品种核桃的第一限制性氨基酸均为 Lys。值得注意的是新新 2 号和扎 343 品种中所有 EAA 的 RC<1, 表明其中 EAA 含量相对不足。Val、Ile 和 Leu 含量在 5 个品种中均与模式谱相接近。5 个品种核桃的 SRC 值分别为扎 343>新丰>土核桃>新新 2 号>温 185。SRC 值越大, 蛋白质营养价值越高[32]。

3　结　论

本研究明确了新疆核桃氨基酸组成的基本特征与地域分布规律。所有样本均富含 17 种氨基酸, 其中 Glu、Arg 和 Lys 分别在总氨基酸、药效氨基酸和 EAA 中占据主导, 这一构成模式揭示了核桃作为植物蛋白源, 在弥补谷物赖氨酸短板方面的独特营养优势。更为重要的是, 本研究确立了基于 EAA 平衡性的核桃营养品质核心评价标准, 即 SRC, 发现其值与蛋白质营养品质呈明确正相关。通过进一步分析新疆 3 个核桃主栽地区的核桃样本中氨基酸的含量和比例, 尽管宏观区域间(喀什、阿克苏、和田)蛋白质平均含量无明显差异, 但品种内及县域内的个体变异幅度巨大, 这暗示品种遗传背景与微环境(如土壤、水肥等)可能是分化的关键因素。

本研究从氨基酸平衡性的微观尺度切入, 系统报道了新疆三大主产区主栽品种中 Lys 为第一限制性氨基酸、苯 Phe+Tyr 普遍过剩这一关键营养特性, 并明确了品种间 SRC 的明显差异; 综合 SRC、RC 等多指标评价, 扎 343 与新丰被鉴定为喀什地区氨基酸综合营养品质最优的推广品种; 土核桃基础 EAA 比例接近理想模式但 SRC 较低, 新新 2 号与温 185 因限制氨基酸缺乏较为突出, 需通过品种改良或膳食搭配进一步优化。这为新疆核桃产业从“高产”导向转向“优质”导向提供了明确的品种选择依据。其均衡的氨基酸模式可直接应用于营养强化食品、特膳食品及优质植物蛋白配料的开发, 满足市场对健康、天然配料的需求, 从而有效提升新疆核桃的核心竞争力与市场价值。未来工作可集中在开展品种与环境互作研究, 深入解析土壤、气候及农艺措施对核桃氨基酸组成的关键影响, 以制定优质栽培技术规程; 扩大种质资源收集范围, 利用本研究所建立的 SRC 评价体系, 筛选富含 Lys 等限制性氨基酸的特异种质, 为遗传改良提供亲本; 探究不同加工方式对核桃蛋白氨基酸利用率的影响, 优化其加工适应性。

参考文献

[1] 谈亚丽, 高梦祥, 李晓洁, 等. 湖北省主栽核桃在不同采收期的品质[J]. 浙江农业学报, 2025, 37(7): 1459–1468.
TAN YL, GAO MX, LI XJ, *et al*. The quality of the main walnuts cultivated in Hubei Province at different harvest periods [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2025, 37(7): 1459–1468.

[2] 余红红, 韩长志, 李娅. 中国省域核桃产业竞争力评价[J]. 北方园艺, 2021(18): 161–167.
YU HH, HAN CZ, LI Y. Evaluation of the competitiveness of walnut industry in provincial regions of China [J]. Northern Horticulture, 2021(18): 161–167.

[3] 马山俊, 段利武. 培育有强大市场竞争力的云南核桃产业体系的建议[J]. 山西农经, 2024(1): 166–169.
MA SJ, DUAN LW. Suggestions for cultivating a Yunnan walnut industry system with strong market competitiveness [J]. Shanxi Agricultural Economy, 2024(1): 166–169.

[4] 金银春, 任波, 胡定林, 等. 凉山州 14 个核桃品种主要经济指标及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2025, 50(1): 135–140.
JIN YC, REN B, HU DL, *et al*. Analysis of the main economic indicators and fatty acid composition of 14 walnut varieties in Liangshan prefecture [J]. China Oils and Fats, 2025, 50(1): 135–140.

[5] 王秋萍. 新疆: 核桃产业集群建设成效显著[J]. 中国果业信息, 2024, 41(8): 57.
WANG QP. Xinjiang: The construction of walnut industrial clusters has achieved remarkable results [J]. China Fruit News, 2024, 41(8): 57.

[6] EMILIO R, MARÍA I, ALEIX S. Beneficial effects of walnut consumption on human health: Role of micronutrients [J]. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 2018, 21(6): 498–504.

[7] JIA X, ZHAO X, TAN W, *et al*. Characterization of pecan, hickory, and walnut phospholipids and the comparable effects of pecan phospholipids with soy phospholipids on scopolamine-induced dementia in mice [J]. Journal of Food Science, 2025, 90(2): e70055.

[8] TEPAVČEVIĆ S, ZEC M, STOJILJKOVIĆ M, *et al*. Unlocking the cardiovascular benefits of walnuts: Insights on molecular mechanism from animal studies [J]. Nutrition Reviews, 2025, 83(7): e2048-e2062.

[9] DORKÓ SL, KUMAR P, SZÉKELY D, *et al*. Comparative study of different walnut (*Juglans regia* L.) varieties based on their nutritional values [J]. Plants (Basel, Switzerland), 2024, 13(15): 2097.

[10] Antioxidants. Data on antioxidants detailed by researchers at Warsaw University of Life Sciences (effect of diet on oxidation and profile of volatile compounds of pork after freezing storage) [Z]. 2016.

[11] JING W, GUOLIANG W, YUFENG Z, *et al*. Novel angiotensin-converting enzyme inhibitory peptides identified from walnut glutelin-1 hydrolysates: Molecular interaction, stability, and antihypertensive effects [J]. Nutrients, 2021, 14(1): 151–151.

[12] 罗宇年, 田英姿, 英犁, 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 YN, TIAN YZ, YING L, *et al*. Evaluation of nutritional quality of the main walnut varieties cultivated in Xinjiang [J]. Modern food Technology, 2014, 30(5): 258–261, 286.

[13] 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 QK, WANG F, LI JJ, *et al*. Analysis and evaluation of nut characteristics of main walnut varieties cultivated in Hebei Province [J]. Forestry and Ecological Sciences, 2022, 37(4): 378–383.

[14] SUMMAIA F, NAMRAH A, MUHAMMAD G, *et al*. Recent development in the application of walnut processing by-products (walnut shell and walnut husk) [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2023, 13(16): 14389–14411.

[15] 冶倩, 樊正炎, 季传雅, 等. 18 个核桃品种花粉形态扫描电镜观察[J/OL]. 分子植物育种, 1-17. [2025-11-18]. https://link.cnki.net/urlid/46.1068. S.20230328.1134.010
YE Q, FAN ZY, JI CY, *et al*. Observation of pollen morphology of 18 walnut varieties by scanning electron microscopy [J/OL]. Molecular Plant Breeding, 1-17. [2025-11-18]. https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20230328.1134.010

[16] LIN ZC, XUN JQ. Current situation and prospect of walnut industry in China [J]. SHS Web of Conferences, 2022, 148: 5.

[17] 邓浩, 王先玉, 王友燕, 等. 新疆阿克苏地区核桃产业绿色发展水平评价[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(6): 201–206.
DENG H, WANG XY, WANG YY, *et al*. Evaluation of the green development level of the walnut industry in Aksu prefecture, Xinjiang [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2025, 53(6): 201–206.

[18] 席婧, 蒋志辉. 新疆地区核桃产业发展现状分析[J]. 现代园艺, 2023, 46(2): 38–40.
XI J, JIANG ZH. Analysis of the current development status of the walnut industry in Xinjiang Region [J]. Contemporary Horticulture, 2023, 46(2): 38–40.

[19] 杨旭昆, 汪禄祥, 叶艳萍, 等. 7 种云南产核桃中 17 种氨基酸含量测定与必需氨基酸模式分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6): 1889–1894.
YANG XK, WANG LX, YE YP, *et al*. Determination of 17 amino acid contents and analysis of essential amino acid patterns in 7 kinds of walnuts produced in Yunnan [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(6): 1889–1894.

[20] 田铸, 苟俏敏, 任振新, 等. 伊犁马脏器脂肪酸与氨基酸测定及营养评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(20): 39–45.
TIAN Z, GOU QM, REN ZX, *et al*. Determination and nutritional evaluation of fatty acids and amino acids of offals of Yili horse [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(20): 39–45.

[21] 孙涛, 刘敏, 王贤, 等. 新疆不同品种巴旦木营养分析及综合评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(11): 234–244.
SUN T, LIU M, WANG X, *et al*. Analysis and comprenensive evaluation of nutritional components of almonds from different cultivars in Xinjiang [J] Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(11): 234–244.

[22] 万胜, 孙佳, 王磊, 等. 新疆不同产区枣果品质及其对生境因子的响应[J]. 经济林研究, 2023, 41(1): 97–105.
WAN S, SUN J, WANG L, *et al*. Jujube fruit quality in different production areas of Xinjiang and its response to habitat factors [J]. Economic Forest Research, 2023, 41(1): 97–105.

[23] 托列霍加·加吾提, 吾买尔夏提·塔汉, 隋晓青. 20 份糜子材料的氨基酸含量分析及营养价值评价[J]. 种子, 2020, 39(7): 31–36.
TOLEHOGA GAWUTI, WUMAIERSHATI TAHAN, SUI XQ. Analysis of amino acid content and evaluation of nutritional value of 20 samples of millet materials [J]. Seed, 2020, 39(7): 31–36.

[24] LU XM, ZHU Y. Changes of amino acids in *Rosa roxburghii* with maturity and nutritional value analysis [J]. Food Research and Development, 2020, 41(22): 12–16.

[25] FAO/WHO. Energy and protein requirements [R]. FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973.

[26] 罗晓莉, 张沙沙, 严明, 等. 云南 8 种栽培食用菌蛋白质和氨基酸分析及营养价值评价[J]. 食品工业, 2021, 42(8): 328–333.
LUO XL, ZHANG SS, YAN M, *et al*. Analysis of protein and amino acids and evaluation of nutritional value of 8 cultivated edible fungi in Yunnan [J]. The Food Industry, 2021, 42(8): 328–333.

[27] 任延靖, 赵孟良, 韩睿. 不同芜菁种质资源营养成分分析及评价[J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 159–173.
REN YJ, ZHAO ML, HAN R. Analysis and evaluation of nutritional components of different turnip germplasm resources [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(11): 159–173.

[28] 张燕, 赖于民. 松茸氨基酸含量分析及营养价值评价[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(3): 14–18.
ZHANG Y, LAI YM. Analysis of amino acid content and evaluation of nutritional value of matsutake mushrooms [J]. Food Research and Development, 2016, 37(3): 14–18.

[29] 张小琴. 固态发酵核桃粕制备核桃肽及其产品开发研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2023.
ZHANG XQ. Research on the preparation of walnut peptides by solid-state fermentation of walnut meal and the development of its products [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2023.

[30] 孙蕾, 梁秋艳. 新疆红仁核桃营养成分测定及营养价值评价[J]. 食品工业, 2023, 44(7): 343–346.
SUN L, LIANG QY. Determination of nutritional components and evaluation of nutritional value of Xinjiang red kernel walnut [J]. The Food Industry, 2023, 44(7): 343–346.

[31] 宋岩, 王小红, 张锐, 等. 新疆核桃品种间品质差异比较[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(8): 91–97.
SONG Y, WANG XH, ZHANG R, *et al*. Comparison of quality differences among walnut varieties in Xinjiang [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(8): 91–97.

[32] 冯耐红, 侯东辉, 杨成元, 等. 不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 224–229.
FEN NH, HOU DH, YANG CY, *et al*. Evaluation of the main nutritional components and amino acid components of different varieties of millet [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 224–229.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)