

## 26份新疆核桃种仁蛋白质与氨基酸相关性分析

苏彦苹<sup>1,2</sup>, 赵爽<sup>2</sup>, 齐国辉<sup>2,3</sup>, 李寒<sup>2,3</sup>, 张雪梅<sup>2,3</sup>, 王宝庆<sup>4</sup>

(1. 廊坊师范学院 生命科学学院, 河北 廊坊 065000; 2. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000;

3. 河北省核桃工程技术研究中心, 河北 临城 054300; 4. 新疆林业科学院, 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**为探明新疆不同核桃资源的蛋白质与氨基酸含量之间的关系, 采用凯氏定氮法和高效液相色谱法测定了26份新疆核桃种仁的蛋白质和氨基酸含量, 采用相关性分析和途径分析方法分析了蛋白质与氨基酸的相关性。结果表明:26份新疆核桃种仁中以‘扎74’的蛋白质含量和总氨基酸含量最高, 分别为19.70、16.92 g/100 g; 相关性分析显示甘氨酸、精氨酸等13种氨基酸含量均与蛋白质含量呈极显著正相关, 以甘氨酸相关系数最大, 为0.906; 途径分析结果显示天冬氨酸和谷氨酸对蛋白质含量的影响较大, 途径系数分别为4.447和4.421。因此, 在核桃育种中可通过采取提高天冬氨酸和谷氨酸含量的策略增加核桃蛋白质含量。

**关键词:**核桃; 蛋白质; 氨基酸; 相关性; 途径分析

中图分类号: S664.1; TS222+.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)06-0110-05

### Correlation analysis of protein and amino acid component of 26 walnut kernels in Xinjiang

SU Yanping<sup>1,2</sup>, ZHAO Shuang<sup>2</sup>, QI Guohui<sup>2,3</sup>, LI Han<sup>2,3</sup>, ZHANG Xuemei<sup>2,3</sup>, WANG Baoqing<sup>4</sup>

(1. College of Life Sciences, Langfang Normal University, Langfang 065000, Hebei, China; 2. College of Forestry, Agriculture University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China; 3. Research

Center for Walnut Engineering and Technology of Hebei, Lincheng 054300, Hebei,

China; 4. Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** In order to determine the relationship between protein content and amino acids contents of walnut resources in Xinjiang, the contents of protein and amino acid of 26 Xinjiang walnut kernels were determined by Kjeldahl method and high performance liquid chromatography, respectively, and correlation between protein and amino acid were analyzed by correlation analysis and path analysis. The results showed that the protein content and total amino acid content of ‘Zha 74’ in the 26 walnut kernels in Xinjiang were the highest, which were 19.70 g/100 g and 16.92 g/100 g respectively. Correlation analysis showed that the content of 13 kinds of amino acid components such as glycine and arginine were significantly and positively correlated with the protein content, in which the correlation coefficient of glycine was the largest, reaching 0.906. The results of path analysis showed that aspartic acid and glutamic acid had great influences on protein content, and the path coefficients were 4.447 and 4.421, respectively. So in walnut breeding, the protein content of walnuts could be increased by adopting strategies of increasing the contents of aspartic acid and glutamic acid.

**Key words:** walnut; protein; amino acid; correlation; path analysis

收稿日期: 2019-08-11; 修回日期: 2020-01-21

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题(2013BAD14 B0103); 廊坊师范学院博士基金项目(LSLB201706)

作者简介: 苏彦苹(1980), 女, 讲师, 博士, 研究方向为经济林栽培生理及品种选育(E-mail) syp719@126.com。

通信作者: 齐国辉, 教授, 博士(E-mail) bdqgh@sina.com。

核桃(*Juglans regia* L.)又名胡桃, 系胡桃科胡桃属落叶乔木, 为世界重要的木本油料树种<sup>[1]</sup>。核桃种仁中氨基酸、脂肪酸及矿物质含量丰富, 具有较

高的食用价值和医疗保健价值。新疆是我国核桃的主产区之一<sup>[2]</sup>,核桃资源丰富,再加上新疆独特的生态地理环境使得新疆核桃备受青睐,进而陆续被核桃科研工作者引种到国内其他地区,目前我国很多优良核桃品种中含有新疆核桃的血统<sup>[3]</sup>。

核桃种仁中的营养成分含量以脂肪最高,其次是蛋白质。对于核桃种仁主要营养成分含量及差异的研究已有较多报道<sup>[4-8]</sup>,而关于核桃种仁中蛋白质和氨基酸组分之间的关系以及评价和选育高蛋白核桃品种的研究相对较少。核桃中蛋白质是一种必需氨基酸含量丰富的植物蛋白,作为核桃中的第二大营养成分,占核桃种仁质量的14%~21%,所含氨基酸种类齐全,长期食用对人体健康有益<sup>[9-11]</sup>。在育种领域,高蛋白质含量是品种选育中的一个非常重要的指标,各种氨基酸在构成蛋白质的同时又相互转化,分析蛋白质和氨基酸组分之间的关系,阐明作用于蛋白质含量的主要氨基酸种类以及作用方式,对明确蛋白质与氨基酸之间的关系有着非常重要的意义,也对高蛋白核桃育种工作的推进具有重要

要指导意义。通径分析是定量研究变量间的因果关系或相关关系的一种有效工具,利用通径分析研究核桃种仁中各氨基酸之间的相互关系及其与蛋白质的相关性,对核桃育种有重要的指导意义。目前,关于蛋白质与氨基酸相关性的研究仅限于小麦、花生、玉米等粮食作物<sup>[12-14]</sup>,在核桃上还未见报道,因此有必要更深入地分析核桃中的蛋白质与氨基酸之间的关系,以便为核桃育种提供参考。

本文以26份新疆核桃种仁为原料,对其蛋白质含量及氨基酸组分含量进行方差分析,并通过相关性分析和通径分析法解析了蛋白质含量和氨基酸含量的相关性,以期核桃高蛋白品种选育中亲本的选配及优良后代的筛选提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试新疆核桃品种及来源如表1所示,于果实成熟期,采集每份核桃发育正常的果实30个作为试验材料,手工脱青皮,将核桃恒温烘干后去壳,用粉碎机粉碎均匀后置于4℃保存,供各项指标的测定。

表1 供试新疆核桃品种及来源

核桃品种	来源	核桃品种	来源
新早丰	温宿县吐木秀克乡	大叶型	温宿县实生优良单株
温185	温宿县核桃林场卡卡孜实生单株	长叶型	温宿县实生优良单株
新新2	新和县依西里克乡实生优良单株	扎346	温宿县实生优良单株
温179	温宿县核桃林场扎63号实生	95	温宿县实生优良单株
扎343	温宿县实生优良单株	扎74	温宿县实生优良单株
纸皮	阿瓦提县阿音柯乡实生优良单株	优13	和田县拉伊喀乡布队村
新萃丰	温宿县吐木秀克乡实生优良单株	优21	和田县拉伊喀乡库木艾日克村
扎71	温宿县实生优良单株	优30	和田县拉伊喀乡布队村
扎210	温宿县实生优良单株	优31	和田县拉伊喀乡恰卡村
扎200	温宿县实生优良单株	优33	和田县拉伊喀乡库木艾日克村
乌417	乌什县实生单株	优36	和田县拉伊喀乡吐完拉伊喀
乌什49	乌什县实生单株	优48	和田县巴格其镇布砍吧
阿育王	阿克苏温宿县实生优良单株	优61	阿克苏乌什县火箭乡

18种氨基酸标准品(纯度 $\geq 99\%$ ),购自美国Sanland公司;Agilent 1200高效液相色谱仪,购自美国安捷伦公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 指标的测定

蛋白质含量测定采用凯氏定氮法,依照GB 5009.5—2010进行;氨基酸组成测定采用高效液相色谱法,参照李娜<sup>[15]</sup>的方法进行;色氨酸采用高效液相色谱法单独测定,色谱条件参照李娜<sup>[15]</sup>的方法,测定之前按以下步骤进行样品处理:将核桃样品用粉碎机粉碎过60目筛,索氏抽提脱脂后,称取

0.2g样品于安瓿瓶中,加入5mol/L的氢氧化钠10mL,马上拧紧瓶盖,放入110℃的电热鼓风干燥箱中水解24h,取出冷却后,将水解液转移到25mL的容量瓶中,调节pH至4.3左右,用乙酸钠缓冲液定容,摇匀,在4000r/min离心10min,取上清液过有机膜2次。

#### 1.2.2 数据统计及处理方法

蛋白质及氨基酸含量分析采用单因素方差分析(ANOVA)及Duncan新复极差法多重比较,蛋白质含量和各氨基酸组分含量间的关系采用相关性分析和通径分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 新疆核桃种仁蛋白质及氨基酸含量

对 26 份新疆核桃种仁蛋白质含量及氨基酸组成及含量分别进行测定,结果如表 2~表 4 所示。

由表 2 可知,26 份新疆核桃种仁的蛋白质含量为 8.86~19.70 g/100 g,其中‘扎 74’的蛋白质含量最高,达到 19.70 g/100 g,是蛋白质含量最低的‘优 21’的 2.2 倍。‘扎 74’‘乌什 49’‘扎 343’‘95’‘温 185’‘扎 210’‘新新 2’‘优 30’‘阿育王’及‘大叶型’核桃种仁蛋白质含量大于 14 g/100 g,达到国家核桃坚果质量特级标准,蛋白质含量较高。为有效开发高蛋白核桃资源,可将这些核桃资源用于加工核桃蛋白饮料、核桃蛋白片等产品,以延长核桃产业链,增加附加值。

表 2 26 份新疆核桃种仁蛋白质含量 g/100 g

品种	蛋白质	品种	蛋白质
新早丰	12.92	大叶型	14.26
温 185	15.37	长叶型	12.53
新新 2	14.57	扎 346	13.38
温 179	13.81	95	15.77
扎 343	16.38	扎 74	19.70
纸皮	13.63	优 13	13.50
新萃丰	13.12	优 21	8.86
扎 71	13.63	优 30	14.38
扎 210	14.74	优 31	13.11
扎 200	12.73	优 33	12.08
乌 417	13.49	优 36	11.51
乌什 49	17.95	优 48	10.06
阿育王	14.22	优 61	10.79

表 3 26 份新疆核桃种仁氨基酸组成及含量

g/100 g

品种	Thr	Val	Met	Ile	Leu	Phe	Lys	Trp	His	Arg	Asp	Glu	Ser	Pro	Ala	Gly
新早丰	0.42	0.59	0.08	0.48	0.90	0.51	0.20	0.35	0.27	1.79	1.14	2.84	0.59	0.43	0.49	0.65
温 185	0.44	0.61	0.09	0.02	0.03	0.49	0.14	0.32	0.24	1.98	1.19	2.95	0.61	0.42	0.51	0.70
新新 2	0.51	0.72	0.09	0.55	1.08	0.61	0.24	0.36	0.33	2.19	1.39	3.42	0.71	0.49	0.59	0.80
温 179	0.49	0.66	0.09	0.52	1.03	0.58	0.22	0.30	0.30	2.05	1.32	3.21	0.69	0.47	0.58	0.78
扎 343	0.53	0.69	0.09	0.54	1.05	0.58	0.19	0.35	0.32	2.31	1.41	3.50	0.77	0.50	0.61	0.78
纸皮	0.47	0.61	0.09	0.01	0.01	0.50	0.15	0.30	0.27	1.93	1.22	3.06	0.63	0.43	0.52	0.71
新萃丰	0.34	0.49	0.11	0.39	0.73	0.41	0.19	0.33	0.20	1.48	0.93	2.25	0.46	0.38	0.40	0.53
扎 71	0.43	0.58	0.07	0.46	0.89	0.48	0.18	0.35	0.25	1.83	1.17	2.88	0.65	0.44	0.51	0.70
扎 210	0.44	0.60	0.08	0.49	0.93	0.54	0.20	0.36	0.24	1.81	1.20	2.94	0.61	0.43	0.52	0.68
扎 200	0.42	0.55	0.06	0.02	0.02	0.49	0.27	0.33	0.24	1.70	1.11	2.78	0.61	0.40	0.49	0.68
乌 417	0.45	0.60	0.09	0.02	0.02	0.46	0.11	0.38	0.28	1.95	1.21	2.92	0.6	0.43	0.51	0.65
乌什 49	0.59	0.78	0.14	0.62	1.19	0.67	0.21	0.36	0.40	2.63	1.60	3.93	0.87	0.56	0.68	0.97
阿育王	0.44	0.60	0.08	0.46	0.86	0.45	0.11	0.39	0.21	1.97	1.20	2.98	0.63	0.42	0.52	0.71
大叶型	0.47	0.65	0.08	0.50	0.95	0.52	0.20	0.33	0.27	2.08	1.26	3.20	0.67	0.44	0.54	0.74
长叶型	0.39	0.56	0.08	0.44	0.82	0.46	0.13	0.28	0.20	1.65	1.06	2.64	0.55	0.40	0.47	0.60
扎 346	0.37	0.51	0.06	0.41	0.78	0.45	0.2	0.31	0.22	1.49	1.01	2.41	0.52	0.36	0.45	0.61
95	0.46	0.60	0.08	0.47	0.92	0.50	0.15	0.37	0.28	2.00	1.21	3.05	0.63	0.43	0.52	0.71
扎 74	0.66	0.94	0.14	0.02	0.03	0.78	0.27	0.26	0.50	3.28	1.81	4.56	0.96	0.68	0.78	1.06
优 13	0.44	0.62	0.09	0.50	0.95	0.54	0.23	0.33	0.25	1.82	1.19	2.88	0.62	0.44	0.53	0.65
优 21	0.29	0.39	0.08	0.30	0.58	0.35	0.25	0.35	0.18	1.08	0.72	1.72	0.39	0.31	0.36	0.42
优 30	0.54	0.74	0.12	0.60	1.19	0.69	0.26	0.36	0.33	2.23	1.49	3.57	0.76	0.53	0.66	0.80
优 31	0.46	0.63	0.09	0.50	0.96	0.53	0.16	0.30	0.26	1.95	1.26	3.09	0.67	0.44	0.54	0.65
优 33	0.42	0.57	0.08	0.44	0.84	0.48	0.20	0.30	0.24	1.64	1.08	2.61	0.56	0.41	0.47	0.66
优 36	0.40	0.55	0.08	0.43	0.80	0.48	0.34	0.35	0.24	1.37	1.01	2.27	0.51	0.40	0.49	0.55
优 48	0.31	0.41	0.05	0.32	0.61	0.35	0.14	0.31	0.15	1.09	0.76	1.81	0.40	0.30	0.35	0.41
优 61	0.48	0.65	0.08	0.52	0.96	0.57	0.32	0.35	0.30	1.88	1.20	2.85	0.61	0.46	0.58	0.62

注:氨基酸组成中未测定酪氨酸含量;Thr. 苏氨酸;Val. 缬氨酸;Met. 蛋氨酸;Ile. 异亮氨酸;Leu. 亮氨酸;Phe. 苯丙氨酸;Lys. 赖氨酸;Trp. 色氨酸;His. 组氨酸;Arg. 精氨酸;Asp. 天冬氨酸;Glu. 谷氨酸;Ser. 丝氨酸;Pro. 脯氨酸;Ala. 丙氨酸;Gly. 甘氨酸;Cys. 半胱氨酸。下同。

表4 26份新疆核桃种仁必需氨基酸(EAA)、半必需氨基酸(HEAA)、非必需氨基酸(NEAA)及总氨基酸(TAA)含量 g/100 g

氨基酸	新早丰	温185	新新2	温179	扎343	纸皮	新萃丰	扎71	扎210	扎200	乌417	乌什49	阿育王
EAA	3.52	2.14	4.15	3.89	4.03	2.14	3.00	3.44	3.65	2.16	2.14	4.55	3.38
HEAA	2.07	2.22	2.52	2.35	2.63	2.20	1.68	2.08	2.05	1.94	2.23	3.03	2.18
NEAA	6.24	6.48	7.53	7.18	7.69	6.70	5.04	6.48	6.44	6.19	6.43	8.77	6.54
TAA	11.82	10.84	14.20	13.42	14.35	11.04	9.72	11.99	12.14	10.29	10.80	16.35	12.10
氨基酸	大叶型	长叶型	扎346	95	扎74	优13	优21	优30	优31	优33	优36	优48	优61
EAA	3.70	3.17	3.11	3.57	3.09	3.70	2.59	4.50	3.64	3.33	3.43	2.50	3.92
HEAA	2.35	1.85	1.71	2.28	3.78	2.08	1.26	2.56	2.22	1.88	1.62	1.25	2.18
NEAA	6.99	5.80	5.46	6.66	10.05	6.40	3.98	7.94	6.76	5.89	5.29	4.09	6.42
TAA	13.04	10.82	10.29	12.51	16.92	12.18	7.83	14.99	12.62	11.10	10.34	7.84	12.52

由表3可知,新疆核桃种仁中含有苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸及色氨酸8种必需氨基酸(EAA),组氨酸和精氨酸2种半必需氨基酸(HEAA),天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、脯氨酸、丙氨酸、甘氨酸、半胱氨酸7种非必需氨基酸(NEAA),共17种氨基酸,表明核桃中氨基酸组成十分丰富。其中以谷氨酸和精氨酸含量较为丰富,含量均在1 g/100 g以上。由表4可知,26份新疆核桃种仁EAA含量在2.14~4.55 g/100 g,差异较大,‘乌什49’的EAA含量最高,‘温185’‘纸皮’‘乌417’的EAA含量最低。‘扎74’的HEAA含量和NEAA含量最高,分别为3.78、10.05 g/100 g。新疆核桃总氨基酸(TAA)含量在7.83~16.92 g/100 g,含量较高的是‘扎74’‘乌什49’,分别为16.92、16.35 g/100 g,均为‘优21’的2倍以上。

## 2.2 氨基酸与蛋白质的关系

### 2.2.1 相关性分析

对各氨基酸含量与蛋白质含量进行了相关性分析,结果如表5所示。

表5 各氨基酸含量与蛋白质含量的相关系数

氨基酸	蛋白质	氨基酸	蛋白质
Thr	0.834 **	Arg	0.901 **
Val	0.831 **	Asp	0.870 **
Met	0.679 **	Glu	0.890 **
Ile	-0.037	Ser	0.871 **
Leu	-0.024	Pro	0.829 **
Phe	0.754 **	Ala	0.801 **
Lys	-0.106	Gly	0.906 **
Trp	-0.049	Cys	0.763 **
His	0.787 **		

注:\*\*表示在0.01水平有极显著差异( $P < 0.01$ )。

由表5可知,异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、色氨酸含量与蛋白质含量呈较弱的负相关,其余13种氨基酸均与蛋白质呈极显著正相关,相关性由强到弱依次为:甘氨酸(0.906) > 精氨酸(0.901) > 谷氨酸

(0.890) > 丝氨酸(0.871) > 天冬氨酸(0.870) > 苏氨酸(0.834) > 缬氨酸(0.831) > 脯氨酸(0.829) > 丙氨酸(0.801) > 组氨酸(0.787) > 半胱氨酸(0.763) > 苯丙氨酸(0.754) > 蛋氨酸(0.679),这与杨庆利等<sup>[13]</sup>对花生种子中蛋白质含量和多数氨基酸含量呈正相关的结果近似,同时也与赖麟等<sup>[14]</sup>对玉米种子中蛋白质和氨基酸含量关系较一致,但是就不同植物的种子或果实来说,各氨基酸与蛋白质的相关系数有一定差异,这可能是由于不同植物果实或种子的蛋白质含量及各氨基酸组分含量不同的原因。

### 2.2.2 通径分析

通径分析常用于分析多变量间的相关关系,其通过通径系数能有效地表示相关变量间的直接影响或间接影响效应的大小,从而区分因子的相对重要性及其关系。本研究为探明各氨基酸组分与蛋白质含量间的关系,先以17种氨基酸作为蛋白质构成因子,通过逐步回归分析,筛选出12种对蛋白质含量(Y)影响显著的氨基酸,拟合线性方程为 $Y = 11.496 - 37.229X_2 - 16.031X_3 - 18.409X_4 + 10.335X_5 + 15.564X_7 - 8.097X_8 + 15.362X_{10} + 43.484X_{11} - 10.224X_{12} - 56.928X_{15} + 13.479X_{16} - 46.603X_{17}$ 。该拟合方程的复相关指数(R)为0.97,决定系数( $R^2$ )为0.94,接近于1,即12种氨基酸对蛋白质含量影响的比重占94%,表明对蛋白质含量产生影响的主要因子已充分考虑进去。对12种氨基酸进行通径分析,结果见表6。由表6可知,从12种氨基酸的直接通径系数绝对值来看,天冬氨酸的通径系数最大(4.447),其次是精氨酸(3.052),表明天冬氨酸和精氨酸对蛋白质含量的直接影响较大。结合直接通径系数和间接通径系数综合评价各氨基酸对蛋白质含量的影响,结果表明:谷氨酸、缬氨酸、丙氨酸、精氨酸、甘氨酸、半胱氨酸和蛋氨酸均是主要通过影响天冬氨酸对蛋白质含量产生间接影响,间接通径系数由大到小依次为 $4.421 > 4.389 > 4.369 >$

4.357 > 4.313 > 3.810 > 3.297;亮氨酸直接对蛋白质含量产生影响,直接途径系数为 1.750,异亮氨酸和色氨酸通过影响亮氨酸对蛋白质含量产生间接影响,间接途径系数分别为 1.748 和 0.546;赖氨酸通过影响丙氨酸对蛋白质产生间接影响,间接途径系数为 -0.678。天冬氨酸是对蛋白质含量影响最大的氨基酸,且是直接影响,途径系数为 4.447;其次是谷氨酸,其主要通过影响天冬氨酸含量间接影响

蛋白质含量,途径系数为 4.421。因此,在进行高蛋白核桃品种选育时可以将天冬氨酸和谷氨酸含量高的核桃资源作为亲本,在基因工程育种中也可以克隆与天冬氨酸或谷氨酸高效合成相关的基因进行高蛋白核桃品种的创制,这样可能会有效地提高核桃育种中蛋白质构成的改良效率。与相关性分析法相比,途径分析法是在剔除了影响非显著性影响因子之后进行的分析,因而结果更准确。

表 6 氨基酸含量与蛋白质含量的途径系数

因子	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_3$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_7$	$\rightarrow X_8$	$\rightarrow X_{10}$	$\rightarrow X_{11}$	$\rightarrow X_{12}$	$\rightarrow X_{15}$	$\rightarrow X_{16}$	$\rightarrow X_{17}$
$X_2$	<u>-1.821</u>	-0.112	-0.112	0.142	0.093	0.012	2.967	4.389	-2.648	-2.302	0.786	-0.565
$X_3$	-1.370	<u>-0.148</u>	-0.072	0.096	0.072	0.008	2.290	3.297	-1.953	-1.718	0.589	-0.412
$X_4$	-0.127	-0.007	<u>-1.598</u>	1.748	0.070	-0.036	-0.075	0.334	-0.109	-0.259	0.021	-0.002
$X_5$	-0.148	-0.008	-1.596	<u>1.750</u>	0.069	-0.036	-0.036	0.398	-0.149	-0.287	0.034	-0.016
$X_7$	-0.415	-0.026	-0.274	0.295	<u>0.409</u>	0.002	0.221	0.651	-0.240	-0.678	0.092	-0.142
$X_8$	0.1942	0.010	-0.502	0.546	-0.006	<u>-0.114</u>	-0.283	-0.216	0.194	0.104	-0.066	0.090
$X_{10}$	-1.770	-0.111	0.039	-0.020	0.030	0.011	<u>3.052</u>	4.357	-2.678	-2.224	0.801	-0.584
$X_{11}$	-1.797	-0.110	-0.120	0.157	0.060	0.006	2.990	<u>4.447</u>	-2.693	-2.295	0.804	-0.577
$X_{12}$	-1.780	-0.107	-0.065	0.096	0.036	0.008	3.017	4.421	<u>-2.709</u>	-2.254	0.809	-0.584
$X_{15}$	-1.794	-0.109	-0.177	0.215	0.119	0.005	2.905	4.369	-2.613	<u>-2.336</u>	0.776	-0.559
$X_{16}$	-1.727	-0.105	-0.041	0.072	0.045	0.009	2.950	4.313	-2.644	-2.187	<u>0.829</u>	-0.607
$X_{17}$	-1.526	-0.091	-0.005	0.041	0.086	0.015	2.645	3.810	-2.349	-1.937	0.746	<u>-0.674</u>

注: $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{15}$ 、 $X_{16}$ 、 $X_{17}$ 分别代表缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、色氨酸、精氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸和半胱氨酸;带有下划线的数据为氨基酸组分对蛋白质的直接途径系数,不带下划线的数据为间接途径系数。

### 3 结论

26份新疆核桃种仁中蛋白质含量在 8.86 ~ 19.70 g/100 g,10份核桃蛋白质含量达到国家核桃坚果质量特级标准。核桃种仁蛋白质中含有 17种氨基酸(酪氨酸未检测),以谷氨酸、精氨酸和天冬氨酸含量较为丰富,EAA含量在 2.14 ~ 4.55 g/100 g,TAA含量在 7.83 ~ 16.92 g/100 g。通过对蛋白质含量与氨基酸含量进行途径分析,发现天冬氨酸和谷氨酸含量对蛋白质含量的影响较大,在核桃育种中可通过采取提高天冬氨酸和谷氨酸含量的策略增加核桃蛋白质含量。

### 参考文献:

- [1] 齐静. 中国主栽区核桃坚果品质研究[D]. 河北保定: 河北农业大学,2009.
- [2] 仲雪娜,任小娜,曾俊,等. 新疆不同品种核桃及其油脂品质对比分析[J]. 中国油脂,2018,43(12):130-133.
- [3] 赵登超,侯立群,韩传明. 我国核桃新品种选育研究进展[J]. 经济林研究,2010,28(1):118-121.
- [4] 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.
- [5] 王宝庆,徐业勇,王明,等. 塔里木盆地西北缘核桃坚果生化成分多样性分析[J]. 广西植物,2018,38(2):145-152.
- [6] 耿树香,宁德鲁,贺娜,等. 云南主栽核桃品种油脂及蛋白综合评价分析[J]. 食品科技,2018,43(2):124-131.
- [7] 刘宝尧,刘小利,魏海斌,等. 青海地方核桃氨基酸组分及其含量[J]. 经济林研究,2016,34(3):187-192.
- [8] 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.
- [9] 沈敏江,刘红芝,刘丽,等. 核桃蛋白质的组成、制备及功能特性研究进展[J]. 中国粮油学报,2014,29(1):123-128.
- [10] 陈婷,岩蓉,任娟. 核桃蛋白的发展现状及前景探讨[J]. 食品安全导刊,2018(18):125.
- [11] JAHANBANI R, GHAFARI S M, SALAMI M, et al. Antioxidant and anticancer activities of walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates using different proteases[J]. Plant Food Hum Nutr,2016,71(4):402-409.
- [12] 陈华萍,魏育明,郑有良. 四川地方小麦品种蛋白质和氨基酸间的相关研究[J]. 麦类作物学报,2005(5):113-116.
- [13] 杨庆利,张初署,曹玉良,等. 花生种子蛋白质含量与氨基酸组分相关和途径分析[J]. 华北农学报,2009,24(S1):72-74.
- [14] 赖麟,石海春,冯鸿,等. 玉米籽粒蛋白质构成的多元回归与聚类分析[J]. 西南农业学报,2007,20(4):597-601.
- [15] 李娜. 贝类中氨基酸、脂肪酸和重金属的含量分析及其产品质量评价[D]. 河北保定:河北农业大学,2011.