



林业科技通讯

Forest Science and Technology

ISSN 2097-0285, CN 10-1258/S

《林业科技通讯》网络首发论文

题目: 2个品种红仁核桃的表型特征及营养成比较分析
作者: 朱建朝, 辛国, 任志勇, 朱延博
DOI: 10.13456/j.cnki.lykt.2021.11.29.0002
网络首发日期: 2022-07-14
引用格式: 朱建朝, 辛国, 任志勇, 朱延博. 2个品种红仁核桃的表型特征及营养成比较分析[J/OL]. 林业科技通讯. <https://doi.org/10.13456/j.cnki.lykt.2021.11.29.0002>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

2 个品种红仁核桃的表型特征及营养成比较分析

朱建朝^{1,2}, 辛 国^{1,2✉}, 任志勇^{1,2}, 朱延博³

(1. 陇南市经济林研究院核桃研究所, 甘肃 武都 746000; 2. 甘肃省核桃工程技术研究中心, 甘肃 武都 7460001; 3. 宁县农业技术推广中心, 甘肃 宁县 745200)

*通信作者 辛国 (1973-), 男, 硕士, 林业高级工程师, 主要从事核桃良种繁育与栽培研究, (E-mail: xinguo01@126.com, tel: 13993950684)

摘要 对红仁核桃的表型特征、矿质元素、蛋白质、氨基酸、含油率以及脂肪酸组成进行测定, 并且评价‘陇原红’品种的稳定性。结果是: 红仁核桃含 17 种氨基酸、蛋白含量为 (22.79±0.65 ~ 25.89±1.19) mg/g、氨基酸总量为 (57.98±2.75 ~ 64.80±1.85) mg/g、必需氨基酸总量为 (31.88±1.16 ~ 35.72±0.75) mg/g、非必需氨基酸总量为 (26.10±1.59 ~ 29.21±1.92) mg/g、含油率为 (59.76±1.56~61.90±2.73) %、不饱和脂肪酸为 (90.84±1.09 ~ 92.09±0.90) %、PUFA 为 (75.94±0.70 ~ 68.31±0.11) %、MUFA 为 (14.90±0.39 ~ 24.58±0.16) %, 且‘陇原红’蛋白含量、氨基酸总量、必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量、不饱和脂肪酸、PUFA、MUFA、以及天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、精氨酸含量高于美国红仁核桃 ($P<0.05$)。‘陇原红’坚果较小, 在矿质元素锌、镁、磷、钾、脂肪酸主要成分及风味方面, 2 个品种差异不显著 ($P<0.05$); 由聚类分析可知, ‘陇原红’品种稳定性良好。

关键词 红仁核桃; 营养成分; 稳定性; ‘陇原红’; 美国红仁核桃

中图分类号 S664.1 文献标志码 A DOI: 10.13456/j.cnki.lykt.2021.11.29.0002

核桃 (*Juglans regia* L) 是世界四大坚果之一^[1], 因富含不饱和脂肪酸和多种具有抗氧化特性的多酚等营养成分被誉为“21 世纪超级食品”^[2]。因核桃种皮颜色决定基因存在变异及共表达现象^[3], 形成了富有特色的核桃新品种, 依据种皮颜色^[8]将其分为普通核桃 (浅黄至黄色)、紫仁核桃^[4-5]、乌仁核桃^[6-7]、红仁核桃 (Robert Livmore)^[9-10]。

红仁核桃起源于美国, 由‘霍德华’与‘RA1088’杂交选育而来^[9], 具有适应性强、早实丰产、种皮鲜红、营养丰富等特点^[10], 为核桃属稀有品种。我国红仁核桃以引种驯化栽培为主, 栽培区域主要集中在陕西商洛、甘肃武都等地, 因其富含花青苷, 使其种皮颜色呈现红色^[11-12], 喜庆气氛浓重, 市场前景广阔。

目前, 国内学者对红仁核桃研究主要集中在丰产栽培^[13]、遗传背景分析^[14]等方面, 有关引种驯化后营养成分变化系统性研究报告较少。其次, 我所核桃种质资源丰富, 现拥有自主知识产权的红仁核桃新品种‘陇原红’1 个, 其异地栽培或嫁接结果良好、生物学特征稳定。因此, 本研究通过对不同品种红仁核桃表型特征及营养成分分析, 弥补红仁核桃研究的局部空白, 以期后续红仁核桃新品种培育提供理论参考, 以及保健作用研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及供试品种亲缘关系

甘肃省陇南市武都区黄家坝地处 33°25'1"N、104°50'46"E, 海拔 956 m, 地势平坦, 年平均气温 14.9 °C, 最高气温 38.2 °C, 最低气温 -10.2 °C, 无霜期 220 d, 降水量 468 mm; 成县苏元镇地处

基金项目: 甘肃省科技重大专项“核桃种质创新与提质增效关键技术集成与示范” (18ZD2NA006-5); 甘肃省林业科技推广项目“核桃高接技术集成研究” (2015kj028); 陇南市重点人才项目“核桃提质增效关键技术示范推广” (市委组 [2019] 101 号)。

作者简介: 朱建朝 (1987-), 男, 硕士, 主要从事食品营养成分与功能研究, (E-mail: 2394487879@qq.com)。

网络首发时间: 2022-07-14 15:42:09 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1258.S.20220714.1110.001.html>

33°41'40"N、105°42'28"E，海拔 1 304 m，年平均气温 10.8 ℃，最高气温 37.2 ℃，最低气温-14 ℃，无霜期 192 d，降雨量 623 mm。美国红仁核桃系我所从陕西商洛盛大实业股份有限公司引进接穗，以‘强特勒’为砧木嫁接繁育所得，其枝条绿褐色，复叶的小叶数 5~9 片、多为 9 片，坚果卵圆形，核壳沟纹密、深度中，表面较光洁；‘陇原红’系美国红仁核桃的实生后代，母本是美国红仁核桃，父本未知，其枝条灰褐色，复叶的小叶数 5~9 片、多为 7 片，坚果圆形，核壳沟纹稀、深度浅，表面光洁。

1.2 取样

待核桃坚果成熟时，每个品种选择 5 株树，每棵树从东西南北各采集 30 粒坚果，然后混合均匀，随机选取 120 粒坚果进行检测。

1.3 仪器

Minispec 碳氢化合物含氢量测定仪（德国布鲁克公司）；PEN3.5 电子鼻分析仪（配有一组 10 个金属氧化物传感器和识别分析软件，德国 AIRSENSE）AL/AS1310 与 TRACE1300 ISQ 自动进样—气相色谱—质谱联用仪（美国 Thermo scientific）；石油醚（沸程 60~90 ℃）；无水硫酸钠。

1.4 方法

1.4.1 表型特征检测

红仁核桃坚果的表型特征参考辛国等人^[15]《甘肃陇南地区核桃优良单株调查及初步筛选》方法。

1.4.2 营养成分检测

1.4.2.1 微量元素检测

依据 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》^[16]标准进行分析。

1.4.2.2 蛋白质含量测定

采用 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[17]方法中的第一法“凯氏定氮法”进行。

1.4.2.3 氨基酸组成分析

参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》^[18]方法进行检测。

1.4.2.4 含油率及脂肪酸组成检测

含油率测定方法同辛国等人^[19]《陇南地区 8 个品种（系）核桃品质差异比较》方法；脂肪酸组成分析按照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》^[20]进行检测，且每个样品检测 3 次。

1.4.2.5 核桃仁风味检测

测定方法参考辛国等人^[19]《陇南地区 8 个品种（系）核桃品质差异比较》方法。

1.5 数据分析

实验数据均以(X±S)形式表示，采用 Origin 9.0 软件作图，利用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析与多重比较，其中 $P < 0.05$ 差异显著。

2 结果与分析

2.1 红仁核桃坚果表型特征分析

表1 核桃坚果表型特征

品种（系）	代号	产地	纵径/cm	横径/cm	侧径/cm	单果质量/g	核仁重/g	壳厚度/mm	出仁率/%
‘陇原红’	No-01	成县苏元镇	3.36±0.15b	2.99±0.15b	3.06±0.13b	10.58±0.96b	5.32±0.50b	1.39±0.14 b	50.28±0.95b
‘陇原红’	No-02	武都黄家坝	3.36±0.10b	2.90±0.10b	3.05±0.10b	10.66±0.23b	5.35±0.10b	1.38±0.21b	50.16±0.16b
‘高嫁接陇原红’	No-03	武都黄家坝	3.65±0.23b	2.95±0.09b	3.06±0.05b	10.62±0.31b	5.34±0.10b	1.35±0.26b	50.26±0.39b
美国红仁核桃	No-04	武都黄家坝	3.91±0.11a	3.21±0.11a	3.21±0.11a	12.35±0.21a	6.62±0.36a	1.42±0.05a	53.58±1.64a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），反之亦然。

如表 1 所示，‘陇原红’坚果纵径为（ $3.65\pm0.23 \sim 3.36\pm0.15$ ）cm；横径为（ $2.95\pm0.09 \sim 2.99\pm0.15$ ）cm；侧径为（ $3.05\pm0.10 \sim 3.06\pm0.13$ ）cm；单果质量为（ $10.58 \pm 0.96 \sim 10.66\pm0.23$ ）g；核仁重为（ $5.32\pm0.50 \sim 5.35\pm0.1$ ）g；壳厚度（ $1.35\pm0.26 \sim 1.39\pm0.14$ ）cm；出仁率为（ $50.16\pm0.16 \sim 50.28\pm0.95$ ）%，均小于美国红仁核桃坚果表型特征数值（ $P<0.05$ ），但是不同产地及不同培育方式的‘陇原红’坚果表型特征无显著性差异（ $P>0.05$ ），说明‘陇原红’坚果较小，但是表型特征稳定。

2.2 矿质元素检测结果

表2 矿质元素含量 单位：mg/kg				
代号	锌	镁	磷	钾
No-01	34.10±1.14a	1821.00±64.12a	4009.00±76.31a	3034.00±24.56a
No-02	32.51±1.32a	1836.12±51.56a	4012.26±30.98a	3086.36±36.54a
No-03	32.36±1.09a	1819.13±72.36a	3942.32±66.54a	2998.55±78.65a
No-04	34.12±1.33a	1824.31±69.23a	3985.36±55.63a	3012.56±49.86a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），反之亦然。

如表 2 所示，‘陇原红’矿质元素锌为（ $32.36\pm1.09 \sim 34.10\pm1.14$ ）mg/kg、镁为（ $1819.13\pm72.36 \sim 1836.12\pm51.56$ ）mg/kg、磷为（ $3942.32\pm66.54 \sim 4012.26\pm30.98$ ）mg/kg、钾为（ $2998.55\pm78.65 \sim 3086.36\pm36.54$ ）mg/kg，美国红仁核桃矿质元素锌为（ 34.12 ± 1.33 ）mg/kg、镁为（ 1824.31 ± 69.23 ）mg/kg、磷为（ 3985.36 ± 55.63 ）mg/kg、钾为（ 3012.56 ± 49.86 ）mg/kg，两个品种相比较矿质元素锌、镁、磷、钾含量差异不显著（ $P>0.05$ ）。

2.3 蛋白质含量及氨基酸含量检测结果

表3 蛋白质含量及氨基酸组成 单位：mg/g					
项目		No-01	No-02	No-03	No-04
蛋白质含量/(g/100g)		25.36±1.16a	25.25±1.03a	25.89±1.19a	22.79±0.65a
氨基酸	天冬氨酸	8.23±0.10a	8.27±0.11a	8.27±0.13a	7.53±0.21b
	苏氨酸	0.33±0.06a	0.40±0.07a	0.43±0.05a	0.46±0.08a
	丝氨酸	2.90±0.15a	2.83±0.16a	2.87±0.13a	2.85±0.16a
	谷氨酸	18.27±0.09a	18.97±0.11a	18.70±0.16a	15.90±0.36b
	丙氨酸	1.85±0.07a	1.82±0.17a	1.75±0.19a	1.78±0.18a
	缬氨酸	1.83±0.10a	1.81±0.12a	1.86±0.08a	1.82±0.10a
	胱氨酸	0.19±0.02a	0.22±0.02a	0.25±0.04a	0.21±0.03a
	蛋氨酸	0.91±0.02a	0.96±0.04a	0.89±0.08a	0.88±0.06a
	异亮氨酸	1.30±0.16a	1.33±0.10a	1.43±0.23a	1.53±0.16a
	亮氨酸	8.35±0.14a	8.15±0.13a	8.32±0.21a	6.99±0.15b
	酪氨酸	1.47±0.06a	1.48±0.07a	1.34±0.12a	1.39±0.10a
	苯丙氨酸	1.91±0.35a	1.93±0.25a	2.12±0.10a	2.02±0.07a
	赖氨酸	1.81±0.12a	1.79±0.16a	1.78±0.32a	1.72±0.13a
	组氨酸	1.15±0.03a	1.15±0.04a	1.12±0.14a	1.24±0.11a
	精氨酸	9.23±0.13a	9.85±0.18a	9.72±0.47a	8.15±0.52b
	脯氨酸	1.61±0.06a	1.60±0.08a	1.63±0.07a	1.59±0.14a
	甘氨酸	2.21±0.13a	2.23±0.12a	2.16±0.11a	2.23±0.11a
	氨基酸总量	63.55±1.79a	64.80±1.85a	64.59±2.39a	57.98±2.75b
	必需氨基酸总量	35.07±0.60a	35.72±0.75a	35.38±0.47a	31.88±1.16b
	非必需氨基酸总量	28.48±1.19a	29.08±1.10a	29.21±1.92a	26.10±1.59b

注：同行不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），反之亦然。

‘陇原红’蛋白含量为（ $25.25\pm1.03 \sim 25.89\pm1.19$ ）mg/g，美国红仁核桃蛋白含量为（ 22.79 ± 0.65 ）mg/g，差异具有统计学意义（ $P < 0.05$ ），且两者均含 17 种氨基酸（表 3），除天冬氨酸、谷氨酸、

亮氨酸、精氨酸含量差异显著外 ($P<0.05$)，其余氨基酸含量差异不显著 ($P>0.05$)；‘陇原红’氨基酸总量为 ($63.55\pm1.79 \sim 64.80\pm1.85$) mg/g，必需氨基酸总量为 ($35.07\pm0.60 \sim 35.72\pm0.75$) mg/g，非必需氨基酸总量为 ($28.48\pm1.19 \sim 29.21\pm1.92$) mg/g，美国红仁核桃氨基酸总量为 (57.98 ± 2.75) mg/g，必需氨基酸总量为 (31.88 ± 1.16) mg/g，非必需氨基酸总量为 (26.10 ± 1.59) mg/g，两者氨基酸总量、必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量差异显著 ($P<0.05$)；‘陇原红’不同产地，蛋白质含量、氨基酸含量以及氨基酸总量、必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量差异不显著 ($P>0.05$)，说明生境因素对‘陇原红’蛋白质及氨基酸影响较小。

2.4 含油率及脂肪酸组成分析

表4 核桃仁含油率与脂肪酸主要成分分析

代号	含油率/%	棕榈酸 C16:0	硬脂酸 C18:0	油酸 C18:1	亚油酸 C18:2	亚麻酸 C18:3	花生烯酸 C20:1
No-01	59.76±1.56a	5.72±0.32b	1.95±0.45a	24.4±0.22a	57.11±0.34c	10.26±0.10b	0.18±0.02a
No-02	61.90±2.73a	5.66±0.38b	2.54±0.31a	23.8±0.65a	60.10±0.22b	8.10±0.15c	0.12±0.03a
No-03	60.74±1.44a	5.62±0.65b	2.55±0.15a	22.76±0.35a	60.15±0.11b	8.16±0.25c	0.10±0.02a
No-04	61.09±0.01a	6.54±0.35a	2.00±0.18a	14.71±0.45b	64.51±0.65a	11.43±0.21a	0.19±0.03a

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，反之亦然。

‘陇原红’含油率为 ($59.76\pm1.56\sim61.90\pm2.73$) %，与美国红仁核桃相比较，含油率差异不显著 ($P>0.05$)；‘陇原红’与美国红仁核桃脂肪酸主要成分一致，依次为亚油酸 (C18:2)、油酸 (C18:1)、亚麻酸 (C18:3)、棕榈酸 (16:0)、硬脂酸 (C18:0)，但是‘陇原红’脂肪酸油酸 (C18:1) 高于美国红仁核桃 ($P<0.05$)，亚油酸 (C18:2) 低于高于美国红仁核桃 ($P<0.05$)；其次，‘陇原红’不饱和脂肪酸为 ($91.17\pm0.42\sim92.09\pm0.90$) %，PUFA 为 ($67.37\pm0.36\sim 68.31\pm0.11$) %，MUFA 为 ($22.68\pm0.30 \sim 24.58\pm0.16$) %，而美国红仁核桃不饱和脂肪酸为 (90.84 ± 1.09) %，PUFA 为 (75.94 ± 0.70) %，MUFA 为 (14.90 ± 0.39) %，说明‘陇原红’不饱和脂肪酸含量高美国红仁核桃，但是 PUFA 含量低于美国红仁核桃。此外，同一产地‘陇原红’脂肪酸主要成分相对含量差异不显著 ($P>0.05$)。

2.5 坚果风味分析

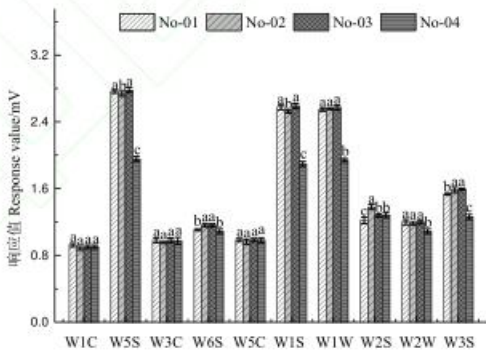


图 1 风味物质种类

注：不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，反之亦然。

如图 1 所示，‘陇原红’与美国红仁核桃风味物质种类主要是氮氧化合物 (W5S)、含氢化合物 (W6S)、烷烃类化合物 (W1S)、含硫、含氯的有机化合物 (W1W、W2W) 醇类、醛酮类化合物 (W2S)、脂肪族烷烃类化合物 (W3S)。

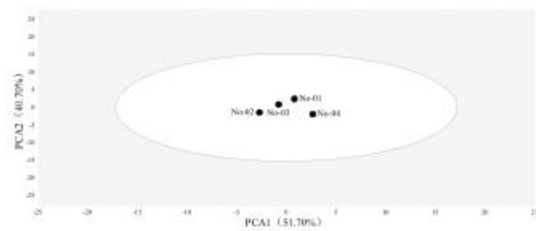


图2 主成分分析

第一主成分贡献率 (PCA1) 为 51.70%，第二主成分贡献率 (PCA2) 为 40.70%，累积贡献率为 92.40%，能够反映样品主要信息 (图 2)。图 2 中 No-01、No-02、No-03、No-04 距离较近，说明‘陇原红’与美国红仁核桃风味相似。

综合上所述，‘陇原红’和美国红仁核桃在矿质元素、风味方面不存在差异，但是在坚果表型特征、蛋白质含量、氨基酸 (天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、精氨酸)、含油率以及脂肪酸 (油酸、亚油酸) 方面存在差异，为了准确地评价‘陇原红’品种的稳定性，本研究以坚果表型特征、蛋白质含量、氨基酸 (天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、精氨酸)、含油率以及脂肪酸 (油酸、亚油酸) 指标进行聚类分析。

2.6 聚类分析

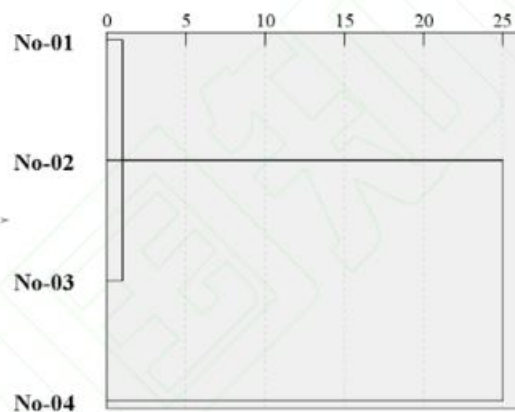


图3 综合评价聚类分析结果

类群间区分的距离定为 10 时，分为两类，No-01、No-02、No-03 为一类，No-04 为一类，说明‘陇原红’与美国红仁核桃品种之间存在差异，且‘陇原红’品种稳定性良好。

3 讨论

红仁核桃为珍稀核桃品种，其经济潜力巨大，具有广阔的市场发展前景。Muzaffer Lpek 等人^[21]研究发现核桃品种优良基因型有助于提高核桃生产的经济性和可持续性。因此，本研究选择对‘陇原红’与美国红仁核桃的表型特征进行研究。结果表明，‘陇原红’坚果表型特征纵径为 $(3.65 \pm 0.23 \sim 3.36 \pm 0.15)$ cm，横径为 $(2.95 \pm 0.09 \sim 2.99 \pm 0.15)$ cm，侧径为 $(3.05 \pm 0.10 \sim 3.06 \pm 0.13)$ cm，单果质量为 $(10.58 \pm 0.96 \sim 10.66 \pm 0.23)$ g，核仁质量为 $(5.32 \pm 0.50 \sim 5.35 \pm 0.1)$ g，壳厚度 $(1.35 \pm 0.26 \sim 1.39 \pm 0.14)$ cm，出仁率为 $(50.16 \pm 0.16 \sim 50.28 \pm 0.95)$ %，均小于美国红仁核桃 ($P < 0.05$)，但是不同产地及不同繁育方式的‘陇原红’坚果表型特征无显著性差异 ($P > 0.05$)，说明‘陇原红’坚果较小，但是表型特征稳定；核桃是人体必需矿质元素主要来源的坚果^[22]，‘陇原红’与美国红仁核桃锌、镁、磷、钾矿质元素含量差异不显著 ($P > 0.05$)，且锌为 $(32.36 \pm 1.09 \sim 34.12 \pm 1.33)$ mg/kg、镁为 $(1819.13 \pm 72.36 \sim 1836.12 \pm 51.56)$ mg/kg、磷为 $(3942.32 \pm 66.54 \sim 4012.26 \pm 30.98)$ mg/kg、钾为 $(2998.55 \pm 78.65 \sim 3086.36 \pm 36.54)$ mg/kg，其中锌、磷、钾元素含量与‘新新 2 号’相似，镁元素含量高

于‘新新 2 号’^[23]。蛋白质是核桃第二大营养成分^[24]，可以通过对 DPPH、ABTS+、-OH 的清除，减少机体氧化损伤，发挥延缓衰老作用^[25-26]。本研究‘陇原红’蛋白含量（ $25.25 \pm 1.03 \sim 25.89 \pm 1.19$ mg/g）与美国红仁核桃蛋白含量（ 22.79 ± 0.65 mg/g）差异显著（ $P < 0.05$ ），这是由于两个品种 LBD 基因差异表达导致的^[27]；两个品种均含 17 种氨基酸，除天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、精氨酸含量差异显著外（ $P < 0.05$ ），其余氨基酸含量差异不显著（ $P > 0.05$ ），与谿银强等人^[28]研究结果一致，其中‘陇原红’氨基酸总量（ $63.55 \pm 1.79 \sim 64.80 \pm 1.85$ mg/g）、必需氨基酸总量（ $35.07 \pm 0.60 \sim 35.72 \pm 0.75$ mg/g）、非必需氨基酸总量（ $28.48 \pm 1.19 \sim 29.21 \pm 1.92$ mg/g）与美国红仁核桃氨基酸总量（ 57.98 ± 2.75 mg/g），必需氨基酸总量为（ 31.88 ± 1.16 mg/g）、非必需氨基酸总量（ 26.10 ± 1.59 mg/g）差异显著（ $P < 0.05$ ），均高于常君等人^[29]研究的核桃品种必需氨基酸含量（ $13.88 \sim 26.10$ mg/g）；‘陇原红’含油率（ $59.76 \pm 1.56 \sim 61.90 \pm 2.73$ ）% 与美国红仁核桃含率差异不显著（ $P > 0.05$ ），均高于张志华等^[30]的研究结果（ 562.1 g/kg），且脂肪酸主要成分一致，依次为亚油酸（C18:2）、油酸（C18:1）、亚麻酸（C18:3）、棕榈酸（C16:0）、硬脂酸（C18:0）。相关研究表明，亚油酸是人体必需脂肪酸，能够降低血液中胆固醇^[31]，油酸能够延长商品货架期并且耐较高的烹饪温度^[32]，本研究‘陇原红’脂肪酸油酸（C18:1）高于美国红仁核桃（ $P < 0.05$ ），亚油酸（C18:2）低于美国红仁核桃（ $P < 0.05$ ），这是源于两个品种遗传背景导致的^[33]；油脂中不饱和脂肪酸对人体健康有益^[34]，‘陇原红’不饱和脂肪酸（ $91.17 \pm 0.42 \sim 92.09 \pm 0.90$ ）%、PUFA（ $67.37 \pm 0.36 \sim 68.31 \pm 0.11$ ）% 高于美国红仁核桃不饱和脂肪酸（ 90.84 ± 1.09 ）%、PUFA（ 75.94 ± 0.70 ）%，但是‘陇原红’MUFA（ $22.68 \pm 0.30 \sim 24.58 \pm 0.16$ ）% 低于美国红仁核桃（ 14.90 ± 0.39 ）%。核桃风味与脂肪酸链的长度有关，本研究表明，‘陇原红’与美国红仁核桃风味物质种类主要是氮氧化合物（W5S）、含氮化合物（W6S）、烷烃类化合物（W1S）、含硫、含氯的有机化合物（W1W、W2W）醇类、醛酮类化合物（W2S）、脂肪族烷烃类化合物（W3S），与辛国等人^[19]研究结果不同，这是由于核桃品种不同导致的^[35]，经主成分分析‘陇原红’与美国红仁核桃风味相似，且‘陇原红’品种稳定性良好。

此外，本研究发现不同产地及不同培育方式的‘陇原红’坚果在矿质元素、风味方面不存在差异，为了进一步确定‘陇原红’品种的稳定性，以坚果表型特征、蛋白质含量、氨基酸（天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、精氨酸）、含油率以及脂肪酸（油酸、亚油酸）为指标，对‘陇原红’和美国红仁核桃进行聚类分析，No-01、No-02、No-03 为一类，No-04 为一类，说明‘陇原红’品种稳定性良好，可以在相关生境条件下推广栽培。

4 结论

红仁核桃营养成分含量高，具有一定的保健、食疗价值。此外，‘陇原红’品种稳定性良好，具有广阔的市场发展前景，在相关生境条件下可以推广栽培。

参考文献：

- [1] 郝荣庭, 张毅萍. 中国果树志·核桃卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [2] 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.
- [3] 裴东, 鲁新政. 中国核桃种质资源[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [4] 李大培, 李生萍, 高向倩, 等. 安康‘紫仁’核桃响应干旱胁迫的生理评价研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(1): 202-206.
- [5] 赵廷松, 范志远, 邹伟烈, 等. 紫仁核桃新品种‘云林 4 号’的选育[J]. 中国果树, 2017(1): 80-81+101.
- [6] 马冬梅, 郭兴贵, 朱福民. 乌仁核桃新品种系陇核 3 号的选育[J]. 中国果树, 2021(3): 83-84+109.
- [7] 童安毕, 严绪成, 班小重. 乌仁核桃种质资源考察及选种初报[J]. 种子, 2002(3): 67-68.
- [8] LY/T 3004—2018 中华人民共和国林业行业标准 核桃标准综合体[S].
- [9] GALE MCGRANAHAN, CHUCK LESLIE. ‘Robert livermore’, a persian walnut cultivar with a red seedcoat[J]. Hort Science, 2004, 39(7): 1772.
- [10] 王英宏, 王根亮, 董兆斌. 红仁核桃快速建园技术试验[J]. 果树资源学报, 2020, 1(4): 1-3.
- [11] 王克建, 郝艳宾, 齐建勋, 胡小松. 红色核桃仁种皮提取物紫外-可见光谱和质谱分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(6): 1668-1671.
- [12] 李永洲, 尚军华, 周奕菲, 等. UPLC-PDA-MS/MS 测定红瓢核桃中花青苷类物质[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 207-214.
- [13] 张继升, 胡杨, 王安民. 低产园核桃高接红仁核桃改建良种采穗圃技术[J]. 果树资源学报, 2020, 1(6): 57-59+66.

- [14] 赵伟, 李琳, 刘永辉, 等. 红仁核桃自然杂交后代不同表型叶片差异表达 CHS 基因的鉴定及生物信息学分析[J]. 果树学报, 2021, 38 (2): 179-191.
- [15] 辛国, 汪海, 郑小平, 等. 甘肃陇南地区核桃优良单株调查及初步筛选[J]. 安徽农业科学, 2020, 48 (9): 133-136.
- [16] GB 5009. 268-2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S].
- [17] GB 5009. 5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
- [18] GB 5009. 124-2016 国家食品药品监督管理总局 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S].
- [19] 辛国, 朱建朝, 汪海, 郑小平. 陇南地区 8 个品种(系)核桃品质差异比较[J]. 经济林研究, 2020, 38 (4): 52-61.
- [20] GB 5009. 168-2016 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定[S].
- [21] MUZAFFER LPEK, ŞEYMA ARLKAN, LÜTFİ PIRLAK, et al. Phenological, morphological and molecular characterization of some promising Walnut (*Juglans regia* L.) genotypes in Konya[J]. Erwerbs-Obstbau, 2019, 61:149-156.
- [22] 覃芳, 史艳财, 邹蓉, 等. 喙核桃与核桃营养成分的比较分析[J]. 食品科技, 2020, 45 (7): 93-97.
- [23] 努尔买买提·阿布地热木, 焦灰敏, 周小魏, 等. 新疆核桃及后代坚果矿物质营养元素分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40 (13): 186-192.
- [24] 张雪春, 李如蕊, 杨曦, 等. 羟自由基氧化对核桃蛋白质性质和结构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47 (18): 107-112.
- [25] 刘威, 闵伟红, 刘春雷, 等. 核桃清蛋白抗氧化肽的制备及其活性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38 (17): 40-44.
- [26] 缪福俊, 宁德鲁. 核桃多肽生物活性研究进展[J]. 中国油脂, 2021, 46 (3): 48-51.
- [27] 黄元城, 郭文磊, 王正加. 薄壳山核桃全基因组 LBD 基因家族的生物信息学分析[J/OL]. 浙江农林大学学报: 1-12[2021-05-03].
- [28] 雷银强, 刘传菊, 聂荣祖, 等. 核桃蛋白的组成、制备及特性研究进展[J]. 中国粮油学报, 2020, 35 (12): 191-197.
- [29] 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.
- [30] 张志华, 裴东. 核桃学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 5-6.
- [31] CAREY A N, FISHER D R, JOSEPH J A Shukitt-Hale B. The ability of walnut extract and fatty acids to protect against the deleterious effects of oxidative stress and inflammation in hippocampal cells[J]. Nutritional Neuroscience, 2013, 16(1):13-20.
- [32] 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.
- [33] MARTINEZ M L, MAESTRI D M. Oil chemical variation in walnut (*Juglans regia* L.) genotypes grown in Argentina[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2008, 110(12): 1183-1189.
- [34] LIU KAI, ZHAO SHUGANG, WANG SHUANG, et al. Identification and analysis of the FAD gene family in Walnuts (*Juglans regia* L.) based on transcriptome data[J]. BMC Genomics, 2020, 21:299-311.
- [35] 张莹莹, 毛向红, 张建英. 河北省核桃坚果蛋白质、脂肪及脂肪酸组成分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42 (13): 292-298.