

我国不同产地红仁核桃及其油脂 营养成分的比较分析

朱振宝¹, 张芳¹, 段屹帆¹, 董兆斌², 王根宪²

(1. 陕西科技大学食品科学与工程学院, 西安 710021; 2. 商洛盛大实业股份有限公司, 陕西 洛南 726100)

摘要: 为了促进红仁核桃的进一步开发利用及深加工产品研发, 以我国山西、陕西、甘肃等7个产地的红仁核桃为原料, 对其种仁的基本营养成分、矿质元素、 V_E , 种皮酚类物质, 及红仁核桃油的脂肪酸、甾醇、角鲨烯进行了测定与分析。结果表明: 7个产地红仁核桃仁均含有大量的粗脂肪、粗蛋白质及总糖, 含量分别为 60.77~73.89、14.84~17.21、8.72~14.29 g/100 g; 检测的8种矿质元素(K、Na、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Se)中, 含量最高的常量元素K和微量元素Fe均以山西省平顺县的红仁核桃仁最高; 红仁核桃仁中平均总 V_E 含量为 394.81 mg/kg, 且均以 γ -生育酚+ β -生育三烯酚为主; 陕西省商洛市八一基地的红仁核桃种皮中总酚含量最高, 为 462.23 mg/g; 陕西省商洛市石门基地的红仁核桃种皮中总黄酮含量最高, 为 330.89 mg/g; 山西省平顺县红仁核桃种皮中花色苷含量最高, 为 0.65 mg/g; 7个产地的红仁核桃油共检出10种脂肪酸, 以亚油酸、油酸、 α -亚麻酸为主, 其中云南省大理州、山西省平顺县的红仁核桃油中亚油酸含量较高; 7个产地的红仁核桃油中平均总甾醇含量为 231.94 mg/100 g, 且均以谷甾醇为主, 其中陕西省商洛市石门基地的红仁核桃油中谷甾醇含量最高, 占比为 72.08%; 7个产地的红仁核桃油中平均角鲨烯含量为 23.45 mg/kg, 其中甘肃省成县红仁核桃油的角鲨烯含量最高, 为 37.34 mg/kg。综上, 不同产地的红仁核桃及其油脂的营养成分含量具有一定的差异, 但总体营养成分组成相同, 其油脂中脂质伴随物的种类及含量较为丰富, 具有较高的开发利用价值。

关键词: 红仁核桃; 产地; 矿质元素; 脂肪酸; V_E ; 甾醇

中图分类号: TS222+.1; TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)01-0029-07

Comparison and analysis of nutritional components of red kernel walnuts and their oils from different producing areas in China

ZHU Zhenbao¹, ZHANG Fang¹, DUAN Yifan¹, DONG Zhaobin², WANG Genxian²

(1. College of Food Science and Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China; 2. Shangluo Shengda Industrial Co., Ltd., Luonan 726100, Shaanxi, China)

Abstract: In order to promote the further development, utilization and the deep processing products research of red kernel walnuts, red kernel walnuts from 7 producing areas in China, including Shanxi, Shaanxi, Gansu, and etc. were used as raw materials, the content of basic nutrients, mineral elements and V_E of red kernel walnut kernels, phenolic substances in the seed coat, as well as the fatty acid, sterol, and squalene of red kernel walnut oil were determined and analyzed. The results showed that the contents of crude fat, crude protein, and total sugar in red kernel walnuts from 7 producing areas were 60.77 - 73.89, 14.84 - 17.21 g/100 g, and 8.72 - 14.29 g/100 g, respectively. Eight mineral

收稿日期: 2023-08-19; 修回日期: 2023-10-28

基金项目: 陕西省重点研发计划一般项目(2022NY-007);
国家自然科学基金项目(31671888)

作者简介: 朱振宝(1971), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为油脂与蛋白质化学(E-mail) zhuzhenbao@sust.edu.cn。

elements (potassium, sodium, calcium, magnesium, iron, copper, zinc, and selenium) were detected, and the highest contents of macroelement K and trace element Fe were found in the red kernel walnut of Pingshun, Shanxi.

The average value of total V_E in red kernel walnuts was 394.81 mg/kg, and it was mainly γ -tocopherol + β -tocotrienol. The total phenol content in the seed coat was the highest in the red kernel walnut of Shangluo Bayi Base, Shaanxi, at 462.23 mg/g. The total flavonoid content in the seed coat was the highest in red kernel walnut of Shangluo Shimen Base, Shaanxi, at 330.89 mg/g. The anthocyanin content in the seed coat of red kernel walnut from Pingshun, Shanxi was the highest, at 0.65 mg/g. A total of 10 fatty acids were detected in red kernel walnut oil from 7 producing areas, mainly linoleic acid, oleic acid and α -linoleic acid. The linoleic acid contents of red kernel walnut oil from Dali, Yunnan and Pingshun, Shanxi were higher. The average total sterol content in red kernel walnut oil from 7 producing areas was 231.94 mg/100 g, and it was mainly sitosterol. Among them, the content of sitosterol in red kernel walnut oil from Shangluo Shimen Base, Shaanxi was the highest, with a ratio of 72.08%. The average squalene content of red kernel walnut oil from 7 producing areas was 23.45 mg/kg, and the highest content was 37.34 mg/kg in red kernel walnut oil from Chengxian, Gansu. In summary, there are certain differences in the content of nutritional composition of red kernel walnuts and their oils from different producing areas, but the overall nutritional composition is the same, and the types and contents of lipid concomitants in their oils are relatively rich, which have high development and utilization value.

Key words: red kernel walnut; producing area; mineral element; fatty acid; vitamin E; sterol

‘美国红仁核桃’ (*Robert livermore*) 是由美国加利福尼亚大学于 1978 年利用法国品种 (RA1088) 与美国品种 (Howard) 人工杂交育成的世界稀有核桃品种, 2014 年由商洛盛大实业有限公司独家引进试种, 2018 年通过了陕西省林木新品种审定^[1]。经过 9 年对‘美国红仁核桃’的驯化, 目前在陕西省商洛市、安康市, 甘肃省陇南市的成县、武都, 山西省运城市、长治市的平顺县和云南省大理州等地均有红仁核桃的引种栽培试验示范^[2], 红仁核桃种植规模的扩大, 有效解决了我国红仁核桃优质嫁接苗供不应求等问题^[3], 增加了我国核桃品种特色。

核桃富含脂肪、蛋白质等多种营养物质, 具有健脑, 降低低密度脂蛋白胆固醇等功效^[4]。研究发现, 红仁核桃富含油脂、生育酚和酚类物质, 具有良好的抗氧化活性^[5]。王根宪等^[6]对引入我国的红仁核桃进行了初步的营养分析, 发现红仁核桃的基本营养成分含量与主栽品种‘西洛 3 号’和‘香玲’核桃相近, 但前者种皮中的花色苷和鞣花酸含量是后两者的 6~9 倍。朱建朝等^[7]测定了‘陇原红’红仁核桃的营养成分, 发现种植在甘肃省陇南市的红仁核桃其蛋白质含量及氨基酸总量均高于‘美国红仁核桃’, 且具有一定的稳定性。受气候、海拔、土壤等因素的影响, 不同产地的核桃营养成分会有所不同^[8], 甚至会影响其油脂的脂肪酸组成及生物活性成分^[9-10]。目前, 尚未有对我国红仁核桃整体特性及其油脂功效成分的深入研究。因此, 本文以我

国 7 个产地的红仁核桃为原料, 分析这 7 种红仁核桃的基本营养成分、矿质元素含量、 V_E 组成及含量和种皮的酚类物质含量; 并采用索氏抽提法提取油脂, 分析 7 种红仁核桃油的脂肪酸、甾醇组成及含量和角鲨烯含量, 对比不同产地红仁核桃及其油脂的差异, 旨在为红仁核桃的进一步开发利用及其深加工产品研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

来自 7 个产地的红仁核桃样品, 产地分别为山西省运城市 (以下简称为“山西运城”)、山西省平顺县 (以下简称为“山西平顺”)、陕西省安康市旬阳县 (以下简称为“安康旬阳”)、云南省大理州 (以下简称为“云南大理”)、甘肃省成县 (以下简称为“甘肃成县”)、陕西省商洛市石门基地 (以下简称为“商洛石门”)、陕西省商洛市八一基地 (以下简称为“商洛八一”), 以及‘西洛 3 号’核桃, 均为 2022 年收获的成熟核桃, 经人工采摘、低温干燥后包装运往实验室, 去壳后将核桃仁密封于自封袋中, 于 4℃ 低温避光保存。

37 种脂肪酸甲酯标准品; α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚和生育三烯酚标准品 (纯度 $\geq 95\%$); K、Na、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Se 标准储备液; 胆甾醇、胆甾烷醇、菜油甾醇、24-亚甲基胆甾醇、芸薹甾醇、豆甾醇、 $\Delta 5$ -燕麦甾烯醇、谷甾醇、 $\Delta 5, 23$ -豆甾二烯醇、

Δ^7 -豆甾烯醇、桦木醇标准品(纯度 $\geq 97\%$);角鲨烯标准品(纯度 $\geq 98\%$);角鲨烷标准品(纯度 $\geq 98\%$);葡萄糖标准品(纯度 $\geq 98\%$);DNS试剂(NY/T法);没食子酸标准品(纯度 $\geq 98\%$);芦丁标准品(纯度 $\geq 97\%$);甲醇、异辛烷、环己烷、异丙醇等均为色谱纯;其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

2010Pro气相色谱仪,日本岛津公司;8890气相色谱仪、1260液相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;NexION2000电感耦合等离子体质谱仪,美国铂金埃尔默公司;Kjeltec8400全自动凯氏定氮仪、DT208定氮消化炉、Fibertec 8000全自动纤维分析仪,丹麦福斯分析仪器公司;SE-A6全自动脂肪测定仪,济南阿尔瓦仪器有限公司;SX-4-10箱式电阻炉,天津市泰斯特仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 红仁核桃油的制备

核桃仁经人工去皮后,得到核桃仁和种皮。将核桃仁用粉碎机粉碎,使用索氏提取器,在提取溶剂为石油醚(沸程 $30\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$)、抽提时间 360 min 、抽提循环 10 次、回流温度 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 、淋洗时间 30 min 、预干燥时间 40 min 、预干燥温度 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下抽提得到核桃油样品,于 $-18\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中保存备用。

1.2.2 核桃仁主要营养成分的测定

水分含量,参照GB 5009.3—2016测定;灰分含量,参照GB 5009.4—2016测定;粗脂肪含量,参照

GB 5009.6—2016测定;粗蛋白质含量,参照GB 5009.5—2016测定;粗纤维含量,参照GB/T 5009.10—2003测定;总糖含量,参照文献[11]采用二硝基水杨酸法进行测定;K、Na、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Se含量,参照GB 5009.268—2016测定; V_E 组成及含量,参照GB/T 26635—2011测定。

1.2.3 核桃仁种皮酚类物质的测定

取核桃仁种皮,粉碎后取 0.1 g ,加入 6 mL 70% 乙醇,于 $53\text{ }^\circ\text{C}$ 超声处理 55 min ,离心后取上清液,残渣重复提取 2 次,合并 3 次上清液,于 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 旋蒸除尽乙醇,并用蒸馏水定容至 50 mL ,即得种皮酚类物质醇提物^[12-13],再参照文献[14]采用福林酚法测定总酚含量,参照文献[15]采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法测定总黄酮含量,参照文献[16]采用pH示差法测定花色苷含量。

1.2.4 核桃油脂脂肪酸组成及含量的测定

参照GB 5009.168—2016测定7种核桃油的脂肪酸组成及含量,采用峰面积归一化法定量。

1.2.5 核桃油脂质伴随物的测定

甾醇组成及含量,参照GB/T 25223—2010测定;角鲨烯含量,参照LS/T 6120—2017测定。

2 结果与讨论

2.1 红仁核桃仁基本营养成分

测定了7个产地红仁核桃仁的基本营养成分,并与‘西洛3号’核桃仁进行了对比,结果见表1。

表1 不同产地红仁核桃仁的基本营养成分

成分	山西运城	山西平顺	安康旬阳	云南大理	甘肃成县	商洛石门	商洛八一	平均	西洛3号
水分	3.90 ^b	3.40 ^c	4.02 ^b	4.04 ^b	6.92 ^a	3.87 ^b	2.88 ^d	4.15	3.89
灰分	1.74 ^{bc}	1.94 ^a	1.96 ^a	1.86 ^{ab}	1.67 ^c	1.89 ^{ab}	1.78 ^{bc}	1.83	1.88
粗脂肪	64.38 ^a	66.90 ^a	60.77 ^a	73.89 ^a	65.87 ^a	62.37 ^a	70.62 ^a	66.40	47.80
粗蛋白质	15.46 ^a	17.21 ^a	16.26 ^a	17.15 ^a	14.84 ^a	15.81 ^a	16.07 ^a	16.11	17.40
总糖	10.02 ^d	11.57 ^{bc}	8.72 ^c	10.73 ^{cd}	11.54 ^{bc}	14.29 ^a	12.26 ^b	11.30	10.85
粗纤维	5.57 ^c	4.79 ^c	5.28 ^d	5.88 ^b	9.22 ^a	5.56 ^c	5.15 ^d	5.92	3.01

注:同行不同字母表示不同产地具有显著性差异($p < 0.05$)。下同

由表1可知,不同产地红仁核桃仁的基本营养成分除粗脂肪、粗蛋白质外,其他均具有显著性差异($p < 0.05$)。7个产地的红仁核桃仁的基本营养成分中粗脂肪含量最高,为 $60.77\sim 73.89\text{ g}/100\text{ g}$,其次是粗蛋白质和总糖含量,分别为 $14.84\sim 17.21\text{ g}/100\text{ g}$ 和 $8.72\sim 14.29\text{ g}/100\text{ g}$ 。7个产地红仁核桃仁中平均水分含量为 $4.15\text{ g}/100\text{ g}$,其中甘肃成县的红仁核桃仁水分含量高达 $6.92\text{ g}/100\text{ g}$ 。7个产地红仁核桃仁中,安康旬阳的灰分含量最高,为

$1.96\text{ g}/100\text{ g}$,甘肃成县的粗纤维含量最高,为 $9.22\text{ g}/100\text{ g}$ 。红仁核桃仁的粗脂肪与粗纤维含量明显高于传统栽培核桃品种‘西洛3号’的,其他营养成分含量则无明显差异。不同产地红仁核桃仁营养成分含量的差异可能与种植地的气候、环境、土壤等多种因素有关。

2.2 红仁核桃仁的矿质元素含量

对7个产地红仁核桃仁的8种矿质元素含量进行了测定,结果见表2。

表2 不同产地红仁核桃仁的矿质元素含量

项目	山西运城	山西平顺	安康旬阳	云南大理	甘肃成县	商洛石门	商洛八一	平均
K	3 787.55 ^d	4 586.00 ^a	4 395.67 ^b	4 467.68 ^{ab}	4 265.31 ^c	4 516.89 ^{ab}	4 434.98 ^b	4 350.58
Na	5.78 ^d	11.66 ^b	7.62 ^{cd}	6.21 ^d	8.25 ^{cd}	26.35 ^a	9.76 ^{bc}	10.80
Ca	1 080.66 ^b	1 094.84 ^b	1 313.67 ^a	984.27 ^c	739.10 ^e	840.45 ^d	1 078.21 ^b	1 018.74
Mg	1 697.99 ^c	1 654.39 ^d	1 792.81 ^a	1 743.37 ^b	1 497.50 ^f	1 561.56 ^e	1 635.02 ^d	1 654.66
Fe	27.31 ^e	30.04 ^a	28.97 ^{ab}	29.03 ^a	29.51 ^a	27.51 ^e	27.61 ^{bc}	28.57
Cu	13.85 ^c	17.17 ^a	13.44 ^d	14.24 ^b	12.39 ^e	7.52 ^f	12.56 ^e	13.02
Zn	31.10 ^d	35.75 ^a	33.78 ^b	32.74 ^c	23.31 ^f	26.46 ^e	26.24 ^e	29.91
Se	0.01 ^{cd}	0.04 ^b	0.01 ^{cd}	0.10 ^a	ND	ND	0.02 ^c	0.03
合计	6 644.25 ^f	7 429.89 ^b	7 585.97 ^a	7 277.64 ^c	6 575.37 ^e	7 006.74 ^e	7 224.40 ^d	7 106.32

注:ND表示未检出。下同

由表2可知,不同产地红仁核桃仁中的矿质元素含量具有显著性差异($p < 0.05$)。红仁核桃仁中矿质元素含量均值由大到小为K(4 350.58 mg/kg) > Mg(1 654.66 mg/kg) > Ca(1 018.74 mg/kg) > Zn(29.91 mg/kg) > Fe(28.57 mg/kg) > Cu(13.02 mg/kg) > Na(10.80 mg/kg) > Se(0.03 mg/kg),其中:山西平顺的红仁核桃仁中K、Fe、Cu、Zn含量最高,分别为4 586.00、30.04、17.17、35.75 mg/kg;安康旬阳的红仁核桃仁中Ca、Mg含量最高,分别为1 313.67、1 792.81 mg/kg;商洛石门的红仁核桃仁

中Na含量最高,为26.35 mg/kg;云南大理的红仁核桃仁中Se含量最高,为0.10 mg/kg,高于安康旬阳的0.01 mg/kg,这之前报道的安康核桃富硒^[17]有差异,可能是受核桃品种、收获时节等因素的影响。另外,7个产地的红仁核桃仁中,矿质元素含量较高的为安康旬阳和山西平顺的,这可能是造成这两个地区红仁核桃仁灰分含量高(表1)的原因。

2.3 红仁核桃仁的V_E组成及含量

7个产地红仁核桃仁的V_E组成及含量见表3。

表3 不同产地红仁核桃仁的V_E组成及含量

V _E	山西运城	山西平顺	安康旬阳	云南大理	甘肃成县	商洛石门	商洛八一	平均
α-生育酚	13.30 ^e	13.38 ^d	15.85 ^a	13.69 ^e	12.30 ^e	13.22 ^f	13.82 ^b	13.65
α-生育三烯酚	10.60 ^b	8.98 ^d	11.42 ^a	8.53 ^e	10.24 ^e	8.15 ^f	10.78 ^b	9.81
γ-生育酚 + β-生育三烯酚	297.90 ^e	340.04 ^b	368.41 ^a	366.07 ^a	290.55 ^f	330.69 ^e	309.41 ^d	329.01
γ-生育三烯酚	18.50 ^e	16.50 ^d	16.24 ^e	13.49 ^f	20.87 ^a	13.41 ^e	19.02 ^b	16.86
δ-生育酚	20.00 ^e	25.68 ^{bc}	22.05 ^d	25.00 ^e	27.36 ^{ab}	29.32 ^a	28.92 ^a	25.48
总V _E	360.30 ^e	404.58 ^e	433.97 ^a	426.78 ^b	361.32 ^f	394.79 ^d	381.95 ^e	394.81

由表3可知,不同产地红仁核桃仁的V_E含量具有显著性差异($p < 0.05$)。7个产地红仁核桃仁的V_E由3种生育酚和3种生育三烯酚组成,总V_E含量为360.30~433.97 mg/kg,主要以γ-生育酚+β-生育三烯酚为主。安康旬阳的红仁核桃仁中α-生育酚、α-生育三烯酚、γ-生育酚+β-生育三烯酚含量最高,分别为15.85、11.42、368.41 mg/kg,其总

V_E含量最高,为433.97 mg/kg。生育酚是一种天然抗氧化剂^[18],可以有效延缓核桃及其油脂的氧化酸败,因此7个产地中安康旬阳的红仁核桃可能具有较长的储藏期。

2.4 红仁核桃仁种皮酚类物质含量

7个产地红仁核桃仁种皮酚类物质的含量见表4。

表4 不同产地红仁核桃仁种皮酚类物质含量

项目	山西运城	山西平顺	安康旬阳	云南大理	甘肃成县	商洛石门	商洛八一	平均
总酚	377.14 ^d	326.92 ^e	392.77 ^e	401.90 ^e	301.87 ^f	435.26 ^b	462.23 ^a	385.44
总黄酮	285.70 ^{bcd}	254.32 ^d	312.54 ^{ab}	268.69 ^{cd}	202.37 ^e	330.89 ^a	297.74 ^{abc}	278.89
花色苷	0.52 ^{ab}	0.65 ^a	0.49 ^{ab}	0.39 ^{ab}	0.30 ^b	0.43 ^{ab}	0.50 ^{ab}	0.47

由表4可知,不同产地红仁核桃仁种皮酚类物质含量具有显著性差异($p < 0.05$)。红仁核桃仁种皮中含有大量的酚类物质,其中:甘肃成县红仁核桃

仁种皮中总酚和总黄酮含量均最低,分别为301.87、202.37 mg/g;商洛八一的红仁核桃仁种皮中总酚含量最高,为462.23 mg/g;商洛石门的红仁

核桃仁种皮中总黄酮含量最高,为330.89 mg/g;山西平顺的红仁核桃仁种皮中花色苷含量最高,为0.65 mg/g,花色苷是一种天然性植物色素,具有抗氧化^[19]、抗癌^[20]、预防心血管疾病^[21]等生理功能,因此从花色苷含量来讲,山西平顺的红仁核桃较其

他产区的更有益于人体健康。

2.5 红仁核桃油脂脂肪酸组成及含量

7个产地红仁核桃油的脂肪酸组成及含量见表5。

表5 不同产地红仁核桃油的脂肪酸组成及含量

脂肪酸	山西运城	山西平顺	安康旬阳	云南大理	甘肃成县	商洛石门	商洛八一	平均
丁酸	4.65 ^a	3.15 ^e	3.98 ^c	2.83 ^f	3.85 ^d	2.76 ^g	4.63 ^b	3.69
棕榈酸	6.27 ^d	6.47 ^b	6.11 ^e	6.79 ^a	6.27 ^d	6.06 ^f	6.33 ^c	6.33
棕榈油酸	0.03 ^b	0.04 ^b	0.08 ^a	0.09 ^a	0.04 ^b	0.04 ^b	0.03 ^b	0.05
十七烷酸	0.04 ^b	0.08 ^a	0.05 ^b	0.09 ^a	0.05 ^b	0.04 ^b	0.05 ^b	0.06
十七烯酸	0.03 ^e	0.08 ^a	0.03 ^e	ND	0.03 ^e	ND	0.05 ^b	0.03
硬脂酸	2.04 ^d	2.18 ^a	2.10 ^c	1.83 ^e	1.48 ^f	2.03 ^d	2.14 ^b	1.97
油酸	15.55 ^d	14.68 ^e	15.73 ^c	14.11 ^f	16.81 ^b	17.77 ^a	14.68 ^e	15.62
亚油酸	62.10 ^{cd}	63.02 ^b	62.46 ^c	63.64 ^a	60.59 ^e	62.21 ^{cd}	61.93 ^d	62.28
花生烯酸	0.07 ^e	0.10 ^b	0.05 ^{de}	0.15 ^a	0.05 ^{de}	0.06 ^{cd}	0.04 ^e	0.07
α -亚麻酸	8.93 ^f	10.19 ^c	8.38 ^g	10.46 ^b	10.81 ^a	9.03 ^e	10.09 ^d	9.70
饱和脂肪酸	13.00 ^b	11.88 ^d	12.24 ^c	11.54 ^f	11.65 ^e	10.89 ^g	13.15 ^a	12.05
不饱和脂肪酸	86.71 ^f	88.11 ^d	86.73 ^f	88.45 ^b	88.33 ^c	89.11 ^a	86.82 ^e	87.75
多不饱和脂肪酸	71.03 ^f	73.21 ^b	70.84 ^g	74.10 ^a	71.40 ^d	71.24 ^e	72.02 ^c	71.98

由表5可知,7个产地的红仁核桃油脂脂肪酸组成基本相同,主要由10种脂肪酸组成,包括4种饱和脂肪酸和6种不饱和脂肪酸。红仁核桃油的脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,7个产地的红仁核桃油平均不饱和脂肪酸含量为87.75%,其中不饱和脂肪酸含量最高的是商洛石门的红仁核桃油(89.11%),最低的是山西运城的红仁核桃油(86.71%)。7个产地的红仁核桃油平均多不饱和脂肪酸含量为71.98%,其中多不饱和脂肪酸含量最高的是云南大理的红仁核桃油(74.10%),最低的是安康旬阳的红仁核桃油(70.84%)。可见,不同产地的红仁核桃脂肪酸含量有所差异,这可能与红仁核桃的种植地环境和土壤、采收时间以及采后储藏条件有关,这与周张涛等^[22]的研究结果一致。

亚油酸是红仁核桃油中含量最高的不饱和脂肪酸。云南大理的红仁核桃油中亚油酸含量最高,为63.64%,甘肃成县的红仁核桃油中亚油酸含量最低,为60.59%。亚油酸在人体内可转化为共轭亚油酸,有研究表明共轭亚油酸具有抗动脉粥样硬化^[23]和降脂功能^[24]。因此,红仁核桃油是一种具有保健作用的植物油。7个产地的红仁核桃油中棕榈酸(6.06%~6.79%)、硬脂酸(1.48%~2.18%)、油酸(14.11%~17.77%)、亚油酸(60.59%~63.64%)以及 α -亚麻酸(8.38%~10.81%)含量均符合GB/T 22327—2019《核桃油》要求。

2.6 红仁核桃油甾醇组成及含量

7个产地红仁核桃油的甾醇组成及含量见表6。

表6 不同产地红仁核桃油的甾醇组成及含量

甾醇	山西运城	山西平顺	安康旬阳	云南大理	甘肃成县	商洛石门	商洛八一	平均
总甾醇/(mg/100 g)	226.69 ^f	187.62 ^g	255.29 ^a	248.32 ^b	230.20 ^e	243.98 ^c	231.45 ^d	231.94
组成及占比/%								
胆甾醇	4.89 ^a	0.68 ^g	0.75 ^f	0.78 ^e	1.16 ^b	0.82 ^d	1.01 ^c	1.44
芸薹甾醇	4.99 ^d	5.87 ^a	5.22 ^c	5.48 ^b	5.71 ^a	5.24 ^c	5.68 ^a	5.46
豆甾醇	0.63 ^{bc}	0.67 ^{ab}	0.68 ^{ab}	0.71 ^a	0.55 ^d	0.54 ^d	0.61 ^c	0.63
$\Delta 5$ -燕麦甾醇	0.62 ^c	0.65 ^c	0.96 ^{abc}	0.89 ^{bc}	0.40 ^c	1.23 ^{ab}	1.49 ^a	0.89
谷甾醇	67.42 ^e	68.98 ^d	66.45 ^f	67.29 ^e	71.10 ^b	72.08 ^a	70.76 ^c	69.15
$\Delta 5,23$ -豆甾二烯醇	5.41 ^c	6.10 ^b	7.06 ^a	6.10 ^b	5.92 ^b	7.25 ^a	6.05 ^b	6.27
$\Delta 7$ -豆甾烯醇	16.03 ^c	17.06 ^b	18.88 ^a	18.74 ^a	15.14 ^d	12.83 ^f	14.39 ^e	16.15

由表6可知,7个产地红仁核桃油均含有7种甾醇,总甾醇含量为187.62~255.29 mg/100 g,其

中含量最多的是谷甾醇,其次是 $\Delta 7$ -豆甾烯醇和 $\Delta 5,23$ -豆甾二烯醇。不同产地的红仁核桃油的胆

甾醇、 $\Delta 5$ -燕麦甾烯醇和 $\Delta 7$ -豆甾烯醇含量差异较大,芸薹甾醇、豆甾醇、谷甾醇和 $\Delta 5, 23$ -豆甾二烯醇含量差异较小。

2.7 红仁核桃油的角鲨烯含量

7 个产地红仁核桃油的角鲨烯含量见表 7。

表 7 不同产地红仁核桃油的角鲨烯含量 mg/kg

山西运城	山西平顺	安康旬阳	云南大理	甘肃成县	商洛石门	商洛八一	平均
18.50 ^f	7.18 ^g	23.74 ^d	19.80 ^e	37.34 ^a	24.45 ^e	33.16 ^b	23.45

由表 7 可知,不同产地的红仁核桃油角鲨烯含量具有显著性差异($p < 0.05$),其平均含量为 23.45 mg/kg,其中甘肃成县红仁核桃油的角鲨烯含量最高,山西平顺红仁核桃油的角鲨烯含量最低。另外,同一省份不同市甚至同一市不同基地红仁核桃油的角鲨烯含量都具有显著性差异($p < 0.05$)。

3 结论

山西、陕西、甘肃等 7 个产地的红仁核桃仁的水分、灰分、总糖、粗纤维、矿物质元素、 V_E 含量具有显著性差异($p < 0.05$),7 个产地红仁核桃油的脂肪酸、甾醇和角鲨烯含量也具有显著性差异($p < 0.05$)。7 个产地的红仁核桃仁富含脂肪、蛋白质和总糖,平均含量分别为 66.40、16.11、11.30 g/100 g, K、Mg、Ca 是红仁核桃仁中含量较高的 3 种矿物质元素。红仁核桃仁中平均总 V_E 含量为 394.81 mg/kg,且以 γ -生育酚 + β -生育三烯酚为主,具有较高的开发利用价值。商洛八一的红仁核桃种皮中的总酚含量最高(462.23 mg/g)。红仁核桃油脂脂肪酸组成均以不饱和脂肪酸为主,其平均含量高达 87.75%,亚油酸是红仁核桃油中含量最高的不饱和脂肪酸,其含量平均值为 62.28%,此外还含有甾醇和角鲨烯,是一种营养价值较高的功能性油脂。总之,不同产地的红仁核桃及其油脂的营养成分含量具有一定的差异,但总体营养成分组成相同,其油脂中脂质伴随物的种类及含量较为丰富,具有较高的开发利用价值。

参考文献:

[1] 董兆斌,王根宪,王英宏.洛南县美国红仁核桃引种初报[J].陕西林业科技,2017(1):25-28.
 [2] 辛国,汪海,朱建朝,等.红仁核桃优质丰产栽培技术[J].中国林副特产,2020(6):30-32,34.
 [3] 郑小平,辛国,王贵军,等.红仁核桃优质嫁接苗繁育技术[J].西北园艺:果树,2023(1):21-23.
 [4] MATEŞ L, POPA D S, RUSU M E, et al. Walnut intake interventions targeting biomarkers of metabolic syndrome and inflammation in middle-aged and older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized

controlled trials[J/OL]. Antioxidants (Basel), 2022, 11(7):1412[2022-08-19].<https://doi.org/10.3390/antiox11071412>.
 [5] OZCAN A, SUTYEMEZ M, ATTARS H, et al. Fatty acid composition, phenolic compound content and antioxidant activity of unique walnut genotypes with red seed coat[J]. J Food Nutr Res, 2020, 59(4):352-360.
 [6] 王根宪,董兆斌,王英宏.红仁核桃坚果经济性状与果实营养成分分析[J].西北园艺:果树,2021(5):33-35.
 [7] 朱建朝,辛国,任志勇,等.2个品种红仁核桃的表型特征及营养比较分析[J].林业科技通讯,2022(9):50-55.
 [8] 李善政,李萍,许佳旺,等.朗县核桃营养成分分析[J].高原农业,2020,4(4):412-416.
 [9] AMARAL J S, CASAL S, PEREIRA J A, et al. Determination of sterol and fatty acid compositions, oxidative stability, and nutritional value of six walnut (*Juglans regia* L.) cultivars grown in Portugal[J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(26):7698-7702.
 [10] GAO P, LIU R J, JIN Q Z, et al. Chemical compositions of walnut (*Juglans regia* L.) oils from different cultivated regions in China[J/OL]. J Am Oil Chem Soc, 2018, 95(7):12097[2022-08-19].<https://doi.org/10.1002/aocs.12097>.
 [11] 宋娇娇,裴斐,马勇,等.3,5-二硝基水杨酸法测定黄水中总糖的含量[J].酿酒科技,2019(4):113-117.
 [12] 周晔,王伟,陶冉,等.超声波提取核桃内种皮多酚的响应面优化及其抗氧化研究[J].林产化学与工业,2013,33(4):73-78.
 [13] 赵鑫丹.核桃内种皮抗氧化成分的提取分离及其活性研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
 [14] 何新益,刘金福,何菲.糙米发芽前后抗氧化活性比较研究[J].中国粮油学报,2009,24(11):6-8,16.
 [15] 王丹.核桃花粉化学和营养成分提取及抗氧化活性研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2014.
 [16] 赵婧,李涵涵,千文,等.黑果腺肋花楸果中总花色苷含量测定方法的比较[J].食品科学,2021,42(18):212-217.
 [17] 马臻,曹席轶,邓琳玲,等.安康市核桃聚酚规律初探[J].陕西林业科技,2019,47(4):18-21.
 [18] BRIGELIUS - FLOHÉ R, TRABER M G. Vitamin E: Function and metabolism[J]. FASEB J, 1999, 13(10):1145-1155.
 [19] CORREA - BATANZO J, ALLEN - VERCOE E, MCDONALD J, et al. Stability and biological activity of wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) polyphenols during simulated *in vitro* gastrointestinal digestion[J]. Food Chem, 2014, 165:522-531.

- from peanuts with sequence similarity to peanut allergen [J]. *J Pept Res*, 2001, 57: 330 – 336.
- [4] QASEEM A, BARRY M J, HUMPHREY L L, et al. Oral pharmacologic treatment of type 2 diabetes mellitus: A clinical practice guideline update from the American college of physician[J]. *Ann Int Med*, 2017, 166: 279 – 290.
- [5] CHEN X Q, LIN Z, YE Y, et al. Suppression of diabetes in non – obese diabetic(NOD) mice by oral administration of water – soluble and alkali – soluble polysaccharide conjugates prepared from green tea[J]. *Carbohydr Polym*, 2010, 82(1): 28 – 33.
- [6] 李丽, 王红玲. 小麦麸膳食纤维对小鼠降血糖作用的研究[J]. *粮食与食品工业*, 2010, 17(3): 30 – 32.
- [7] 张玉, 王伟, 张一帆, 等. 响应面法优化蚕蛹蛋白源 α – 葡萄糖苷酶抑制肽酶解条件[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(4): 137 – 144.
- [8] 顾欣, 崔洁, 李迪, 等. 山杏仁蛋白源 α – 葡萄糖苷酶抑制肽的分离、纯化及鉴定[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(8): 116 – 121.
- [9] 许婷婷, 齐宏涛, 于丽娜, 等. 抑制 α – 葡萄糖苷酶的花生蛋白活性肽制备工艺研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(8): 2885 – 2891.
- [10] 赵会. 水酶法同步制备花生油和抗氧化肽的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- [11] 郑静静, 金华丽. 双酶复合酶解制备花生短肽研究[J]. *粮食与油脂*, 2014, 27(9): 41 – 44.
- [12] KIM Y M, WANG M H, RHEE H I. A novel α – glucosidase inhibitor from pine bark[J]. *Carbohydr Res*, 2004, 339: 715 – 717.
- [13] 江明珠. 超声波预处理辅助酶解制备大豆降糖肽及其作用机理[D]. 江苏 镇江: 江苏大学, 2018.
- [14] LIU W W, LI H Y, WEN Y Y, et al. Molecular mechanism for the α – glucosidase inhibitory effect of wheat germ peptides [J]. *J Agric Food Chem*, 2021, 69(50): 15231 – 15239.
- [15] PERUTKA Z, SEBELA M. Pseudotrypsin: A little – known trypsin proteoform [J/OL]. *Molecules*, 2018, 23(10): 2637 [2022 – 07 – 27]. <https://doi.org/10.3390/molecules23102637>.
- [16] 田应娟. 啤酒糟多肽的分离纯化及降血糖活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [17] 魏光强, 赵娜, 范尧珠, 等. 响应面法优化辣木籽降糖肽的酶法制备工艺及其体外活性评价[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(24): 136 – 143.
- [18] 包美丽, 杨添植, 张立钢, 等. 双酶法制备马鹿茸降血糖肽工艺优化及其对 α – 葡萄糖苷酶的抑制效果[J]. *食品科学*, 2017, 38(6): 88 – 95.
- [19] 陈贵堂, 赵立艳, 丛涛, 等. Alcalase 蛋白酶水解花生蛋白制备抗氧化肽的研究[J]. *食品工业科技*, 2008(3): 119 – 121, 124.
- [20] CHI G Y, HU S Q, YANG Y H, et al. Response surface methodology with prediction uncertainty: A multi – objective optimisation approach[J]. *Chem Eng Res Des*, 2012, 90(9): 1235 – 1244.
- [21] 肖怀秋, 李玉珍, 林亲录, 等. Box – Behnken 响应面优化冷榨花生粕酶解制备花生肽工艺[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(10): 106 – 111, 117.
- [22] 于丽娜, 杜德红, 张初署, 等. 响应面法优化微波辅助酶解制备 α – 葡萄糖苷酶抑制活性肽工艺[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(4): 117 – 122, 136.
- [23] 梁凯. 汉麻籽粕降血糖肽的酶法制备及其分离纯化[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.

(上接第34页)

- [20] PAN F, LIU Y, LIU J, et al. Stability of blueberry anthocyanin, anthocyanidin and pyranoanthocyanidin pigments and their inhibitory effects and mechanisms in human cervical cancer HeLa cells[J]. *RSC Adv*, 2019, 9(19): 10842 – 10853.
- [21] KRGA I, MILENKOVIC D. Anthocyanins: From sources and bioavailability to cardiovascular – health benefits and molecular mechanisms of action[J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(7): 1771 – 1783.
- [22] 周张涛, 高盼, 章景志, 等. 我国不同产区核桃油组成成分与氧化稳定性研究[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(1): 17 – 22.
- [23] DEN HARTIGH L J. Conjugated linoleic acid effects on cancer, obesity, and atherosclerosis: A review of pre – clinical and human trials with current perspectives [J/OL]. *Nutrients*, 2019, 11(2): 370 [2022 – 08 – 19]. <https://doi.org/10.3390/nu11020370>.
- [24] 李鹏超, 顾学艳. 共轭亚油酸对脂质代谢和身体成分组成影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(7): 373 – 380.