

云南主栽品种核桃油的提取及与市售核桃油 功能活性成分比较

陈海云, 耿树香, 宁德鲁, 王 玺

(云南省林业和草原科学院, 昆明 650201)

摘要:为选择适宜的云南核桃油提取工艺,以云南主栽品种核桃为原料,分别采用液压压榨法、螺旋压榨法、水剂法制备核桃油,对比3种制油方式所得核桃油的理化指标、功能活性成分,并对比分析水剂法提取的3个云南主栽品种‘漾泡’‘三台’‘细香’核桃油与6个市售核桃油的功能活性成分。结果表明:水剂法、液压压榨法和螺旋压榨法核桃油的酸值、过氧化值、碘值、皂化值、水分及挥发物含量、脂肪酸组成及含量均符合国标要求;水剂法核桃油的 α -生育酚、 γ -生育酚、角鲨烯、 β -谷甾醇含量均高于液压压榨法和螺旋压榨法核桃油的;水剂法核桃油的 α -生育酚、 γ -生育酚、角鲨烯、 β -谷甾醇、褪黑素、 β -胡萝卜素含量均显著高于市售核桃油的。水剂法可得到品质较好、功能活性成分含量较高的核桃油,可用于云南主栽品种核桃油的提取。

关键词:深纹核桃;核桃油;水剂法;功能活性成分

中图分类号:TS224;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)05-0025-06

Extraction of oil from main cultivars of walnut in Yunnan and comparison of the functional active ingredients with commercial walnut oil

CHEN Haiyun, GENG Shuxiang, NING Delu, WANG Xi

(Yunnan Academy of Forestry and Grassland Sciences, Kunming 650201, China)

Abstract:To select the appropriate extraction process of Yunnan walnut oil, with the main cultivars of walnut in Yunnan as raw materials, walnut oil was prepared by hydraulic pressing, screw pressing and aqueous method respectively, and the physicochemical indexes and functional active ingredients of walnut oil obtained by three oil production methods were compared. The functional active ingredients of walnut oil extracted by aqueous method from three main cultivars ‘Yangpao’ ‘Santai’ ‘Xixiang’ in Yunnan were compared with six commercial walnut oils. The results showed that the acid value, peroxide value, iodine value, saponification value, moisture and volatile matter content and fatty acid composition and content of the walnut oils extracted by aqueous method, hydraulic pressing and screw pressing were all in line with the requirements of the national standard. The contents of α -tocopherol, γ -tocopherol, squalene and β -sitosterol in walnut oil obtained by aqueous method were significantly higher than those in hydraulic pressed and screw pressed oils. The contents of α -tocopherol, γ -tocopherol, squalene, β -sitosterol, melatonin and β -carotene in walnut oil obtained by aqueous method were significantly

higher than those in commercial walnut oils. Walnut oil with good quality and high functional active ingredients content can be obtained by aqueous method, and aqueous method can be used for the extraction of walnut oil from main cultivars in Yunnan.

Key words: *Juglans sigillata*; walnut oil; aqueous method; functional active ingredient

收稿日期:2023-03-17;修回日期:2024-01-05

基金项目:云南省重大科技专项计划项目(202202AE090007);

科技人才与平台计划专家工作站项目(202305AF150025)

作者简介:陈海云(1972),女,副研究员,硕士,主要从事经济林良种选育、丰产栽培等方面的研究推广工作(E-mail) kmchenhy@163.com。

通信作者:耿树香,研究员,博士(E-mail) 1016430670@qq.com。

核桃(*Juglans regia* L.),又名胡桃、羌桃,为胡桃科胡桃属植物,其富含脂肪、蛋白质及磷脂、维生素E等多种营养物质,部分作为鲜食产品或干果,大部分作为食用油原料,核桃油中不饱和脂肪酸含量高达90%,以亚油酸(46.9%~68.6%)、亚麻酸(6.9%~17.6%)、油酸(10.1%~25.1%)为主^[1]。其中,亚油酸与亚麻酸均为人体必需脂肪酸,具有健脑、调节激素、抗炎、维持肠道健康等功效,在临床上具有很好的应用前景。核桃油含有多种生物活性物质,如生育酚、甾醇、角鲨烯、褪黑素、黄酮、胡萝卜素等^[2-3]。生育酚是机体内各种生物膜的强大“保护神”,核桃油中生育酚以 α -生育酚、 β -生育酚、 γ -生育酚和 δ -生育酚为主,其中 γ -生育酚含量最高^[3];甾醇具有较强的抗炎作用,核桃油中甾醇以 β -谷甾醇为主^[3];角鲨烯具有促进血液循环、活化机能细胞、调节免疫等功能^[3];褪黑素是一种保护细胞免受氧化损伤的激素,核桃中褪黑素含量为 $(3.5 \pm 1.0) \mu\text{g}/\text{kg}$ ^[3];核桃油还含有一定量的胡萝卜素^[4]。作为药食同源食材,核桃油中的功效成分国内外均有研究,如:张旋等^[5]对普通核桃油和铁核桃油的质量指标、脂肪酸组成,以及维生素E、甾醇、角鲨烯含量进行了分析比较;高盼^[6]系统分析了我国三大产区11个省份两大类24个品种35个核桃油样本的脂肪酸、甘油三酯组成,以及微量伴随物生育酚、甾醇、多酚含量;李晴等^[7]分别采用低温压榨法和水酶法提取山核桃油,测定其中的总多酚、总黄酮、维生素E、角鲨烯、 β -谷甾醇含量和脂肪酸组成及含量,对比分析低温压榨法和水酶法对山核桃油中活性成分含量的影响。但少有关于水剂法提取核桃油及核桃油中褪黑素含量的相关研究。

云南主栽核桃品种为深纹核桃(*Juglans sigillata*),深纹核桃又名铁核桃、泡核桃、茶核桃、漾濞泡核桃,是我国西南地区的特有品种,其起源和分布中心在云南^[8],其中在云南分布最广的3个品种为‘漾泡’‘三台’‘细香’。目前多数研究以普通核桃为研究对象,云南核桃的相关研究相对较少。本文分别采用液压压榨法、螺旋压榨法、水剂法制备‘漾泡’核桃油,对比3种制油方式所得核桃油的理化指标、功能活性成分,同时采用水剂法提取云南3个主栽品种‘漾泡’‘三台’‘细香’核桃油,对比其与市售核桃油的功能活性成分,以期对云南核桃油提取工艺的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

云南3个主栽核桃品种‘漾泡’(1号)‘三台’

(2号)‘细香’(3号)核桃仁,分别于2022年10月购于大理荣漾发展有限公司、大姚广益发展有限公司、昌宁县亚鑫农产品开发有限责任公司;6个市售核桃油产品(4号、5号、6号、7号、8号、9号)均为液压压榨产品,除4号为二级油外,其他均为一级油。

乙醇(色谱级)和 α -生育酚、 γ -生育酚、角鲨烯、 β -谷甾醇、褪黑素、 β -胡萝卜素、37种脂肪酸甲酯标准品,上海甄准生物科技有限公司;无水乙醚、无水乙醇、石油醚(60~90℃)、氢氧化钾、氢氧化钠、磷酸二氢钾、无水硫酸钠、正己烷、酚酞、可溶性淀粉、碘化钾、三氯甲烷、冰乙酸、硫代硫酸钠。

1.1.2 仪器与设备

BSA224S电子天平;小型研磨机、FOSS Soxtec 2008全自动索氏抽提仪、消化炉,福斯赛诺分析仪器(苏州)有限公司;DHG-9146A型烘箱;6YY-280全自动液压榨油机,山东沂水阳东机械有限公司;DD85G螺旋压榨机;水剂法制油机(自主研发);干式氮吹仪;LC-20AT高效液相色谱仪、荧光检测器、GC-2030气相色谱仪,日本岛津公司;LC-100高效液相色谱仪,上海伍丰科学仪器有限公司;TLG-16低温离心机。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃油的制备

液压压榨法:核桃仁经研磨机粉碎后过筛(筛网孔径为5 mm),利用全自动液压榨油机进行低温压榨获得核桃油。压榨温度为常温(25℃左右),压力设置为48 MPa,压榨时间为2 h左右。

螺旋压榨法:核桃仁粉碎后,利用螺旋压榨机进行高温压榨获得核桃油,压榨温度为100℃左右。

水剂法:核桃仁经自带磨浆机磨浆后,利用水剂法制油机在提取温度70~80℃、水料比12:1~15:1条件下,对浆料进行提油,得核桃油。

1.2.2 核桃油理化指标的测定

酸值、过氧化值、折光指数、相对密度、碘值、皂化值、色泽、透明度的测定参考文献[9];水分及挥发物含量的测定参考GB 5009.236—2016;不溶性杂质含量的测定参考GB/T 15688—2008。

1.2.3 脂肪酸组成分析

采用气相色谱法分析核桃油脂肪酸组成及含量。

甲酯化:称取50 mg油样于10 mL具塞玻璃离心管中,加入2 mL正己烷溶解,再加入0.3 mL 2 mol/L的氢氧化钾-甲醇(色谱纯)溶液,充分振荡5 min,离心5 min,取上层溶液进气相色谱仪分析。

气相色谱条件:DB-5ms 色谱柱(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm);升温程序为150℃保持3 min,以30℃/min升温至300℃,保持10 min;进样口温度290℃;分流比10:1;载气为高纯氦气(99.999%),柱流量1.0 mL/min;进样量1.0 μL。

采用脂肪酸甲酯标准品的保留时间进行定性,峰面积归一化法进行定量。

1.2.4 生育酚含量的测定

取0.2 mL油样,加入1 mL体积分数1%的BHT-乙醇溶液,混匀后加入1 mL 10%氢氧化钾溶液,混匀后于85℃恒温反应40 min。冷却后加入2 mL石油醚振荡萃取10 min,取出醚相,用超纯水清洗3次,将清洗后的醚相氮吹至干,加入甲醇复溶至2 mL,用针头式过滤器将其过滤于带有内衬管的样品瓶内,进LC-100高效液相色谱仪测定。

液相色谱条件:C18反相色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm);流动相为体积分数85%的甲醇溶液,流速1.0 mL/min,等度洗脱;进样量10 μL;柱温30℃;走样时间40 min;紫外检测波长325 nm。

根据以α-生育酚和γ-生育酚标准品绘制的标准曲线方程(α-生育酚, $y = 412.49x - 8269.50$, $R^2 = 0.9940$;γ-生育酚, $y = 348.79x - 6550.80$, $R^2 = 0.9938$ 。式中 x 为峰面积, y 为相应生育酚含量)计算油样中生育酚含量。

1.2.5 角鲨烯含量的测定

取0.1 mL油样,加入1 mL 10%氢氧化钾溶液,混匀后于90℃恒温反应30 min。冷却后加入2 mL正己烷振荡萃取10 min,取出上清液用超纯水清洗3次,离心,取上清液氮吹至干,加入甲醇复溶至2 mL,用针头式过滤器将其过滤于带有内衬管的样品瓶内,进LC-20AT高效液相色谱仪测定。

液相色谱条件:C18反相色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm);流动相为乙腈,流速0.8 mL/min,等度洗脱;进样量10 μL;柱温30℃;走样时间45 min;紫外检测波长210 nm。

根据以角鲨烯标准品绘制的标准曲线方程($y = 19.58x - 0.15$, $R^2 = 0.9988$,式中 x 为峰面积, y 为角鲨烯含量)计算油样中角鲨烯含量。

1.2.6 β-谷甾醇含量的测定

取0.3 mL油样,按1.2.5方法进行待测样前处理后进LC-100高效液相色谱仪进行测定。根据以β-谷甾醇标准品绘制的标准曲线方程($y = 11228.0x - 7704.9$, $R^2 = 0.9999$,式中 x 为峰面积, y 为β-谷甾醇含量)计算油样中β-谷甾醇含量。

液相色谱条件:C18反相色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm);流动相为体积分数95%的甲醇溶液,流速1.0 mL/min,等度洗脱;进样量10 μL;柱温30℃;走样时间45 min;紫外检测波长205 nm。

1.2.7 褪黑素含量的测定

取0.2 mL油样至棕色离心管中,加入1 mL甲醇,避光冰浴匀浆,避光冰浴超声20 min,于4℃下12 000 r/min离心10 min,取上清液氮吹至干,加入1 mL甲醇复溶,复溶液过0.22 μm滤膜,进LC-20AT高效液相色谱仪测定。

液相色谱条件:C18反相色谱柱(150 mm × 4.6 mm, 5 μm);流动相为甲醇-磷酸溶液(体积比35:65),等度洗脱,流速1 mL/min;进样量10 μL;柱温30℃;荧光检测激发波长348 nm,发射波长280 nm。

根据以褪黑素标准品绘制的标准曲线方程($y = 39703.0x - 6296.3$, $R^2 = 0.9954$,式中 x 为峰面积, y 为褪黑素含量)计算油样中褪黑素含量。

1.2.8 β-胡萝卜素含量的测定

取0.1 mL油样,加入1 mL石油醚-丙酮(体积比2:3),超声提取30 min,以12 000 r/min离心5 min,下层重复提取2次,直到提取液无色,合并提取液,氮吹至干,用甲醇复溶至2 mL,过0.22 μm滤膜后进LC-20AT高效液相色谱仪测定。

液相色谱条件:C18反相色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm);流动相为甲醇-异丙醇(体积比70:30),流速1 mL/min,等度洗脱;进样量10 μL;柱温40℃;SPD-20A紫外检测波长450 nm。

根据以β-胡萝卜素标准品绘制的标准曲线方程($y = 3883.0x - 1666.6$, $R^2 = 0.9964$,式中 x 为峰面积, y 为β-胡萝卜素含量)计算油样中β-胡萝卜素含量。

1.2.9 数据分析

采用Microsoft Excel 2007进行数据整理。采用SPSS 19.0处理分析数据。

2 结果与分析

2.1 3种制油方式对‘漾泡’核桃油品质的影响

2.1.1 对理化指标的影响

3种制油方式制取的‘漾泡’核桃油理化指标测定结果如表1所示。

由表1可看出,液压压榨法核桃油酸值最大,其次是螺旋压榨法核桃油,但二者之间差异不显著,水剂法核桃油酸值最低,且与螺旋压榨法和液压压榨法核桃油差异显著,但3种制油方式所得核桃油的酸值(KOH)均符合GB/T 22327—2019成品一级核桃油标准(≤1.0 mg/g)。

由表 1 可看出, 液压压榨法核桃油过氧化值最高, 其次是螺旋压榨法核桃油, 水剂法核桃油过氧化值最低, 且显著低于液压压榨法核桃油的, 与螺旋压榨法核桃油差异不显著。3 种制油方式制取的核桃油的过氧化值均在 GB 2716—2018 要求范围内 (≤ 0.25 g/100 g)。

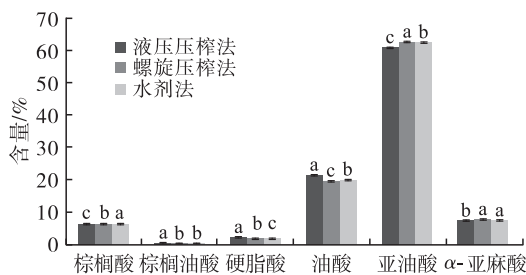
表 1 3 种制油方式制取的核桃油的理化指标

理化指标	水剂法	液压压榨法	螺旋压榨法
酸值(KOH)/(mg/g)	0.515 ± 0.015 ^b	0.647 ± 0.014 ^a	0.603 ± 0.011 ^a
过氧化值/(g/100 g)	0.010 ± 0.005 ^b	0.068 ± 0.002 ^a	0.023 ± 0.003 ^b
水分及挥发物含量/%	0.347 ± 0.043 ^a	0.065 ± 0.005 ^b	0.095 ± 0.005 ^b
折光指数(n^{20})	1.472 5	1.476 3	1.475 2
相对密度	0.918 4	0.915 7	0.917 5
碘值/(g/100 g)	148	147	151
皂化值(KOH)/(mg/g)	188	190	189
不溶性杂质/%	0.00	0.01	0.02
色泽、透明度	浅黄色澄清透明	浑浊, 有少许絮状物	饼粕残余物较多, 需长时静置澄清

注: 同行不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

2.1.2 对脂肪酸组成的影响

3 种制油方式制取的‘漾泡’核桃油脂肪酸组成及含量如图 1 所示。



注: 不同字母表示组间差异显著($p < 0.05$)

图 1 3 种制油方式制取的核桃油脂肪酸组成

由图 1 可看出, 3 种制油方式制取的核桃油脂肪酸组成一致, 各脂肪酸含量均符合国标要求。

2.1.3 对功能活性成分的影响

3 种制油方式制取的‘漾泡’核桃油的生育酚、角鲨烯及 β -谷甾醇含量见表 2。

表 2 3 种制油方式制取的核桃油的生育酚、

功能活性成分	角鲨烯及 β -谷甾醇含量 $\mu\text{g/mL}$		
	水剂法	液压压榨法	螺旋压榨法
α -生育酚	31.47 ± 1.37 ^a	25.17 ± 1.05 ^b	27.92 ± 1.28 ^{ab}
γ -生育酚	4.93 ± 0.58 ^a	1.84 ± 0.41 ^b	2.39 ± 0.32 ^b
角鲨烯	68.82 ± 1.52 ^a	37.22 ± 1.65 ^b	17.87 ± 1.58 ^c
β -谷甾醇	661.95 ± 5.24 ^a	409.85 ± 4.17 ^b	280.67 ± 4.69 ^c

注: 考虑到核桃油中的甾醇主要为 β -谷甾醇, 仅测 β -谷甾醇含量。本试验未检测到 β -、 δ -生育酚。由于样品有限, 后续‘漾泡’核桃采用不同生境样品进行分析

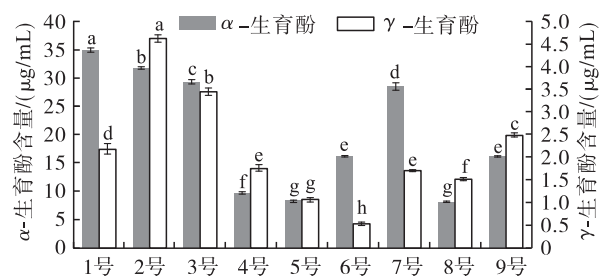
由表 1 可看出, 水剂法核桃油水分及挥发物含量显著高于螺旋压榨法和液压压榨法核桃油的, 这与水剂法在制油过程中加入大量的水有关, 但其水分及挥发物含量仍在核桃原油国标要求 ($\leq 0.50\%$) 的范围内。3 种制油方式制取的核桃油的其他理化指标也均在国标要求范围内。

由表 2 可看出, 水剂法核桃油 α -生育酚含量高于螺旋压榨法与液压压榨法核桃油, 但与螺旋压榨法核桃油无显著性差异。水剂法核桃油中 γ -生育酚含量显著高于螺旋压榨法与液压压榨法核桃油。3 种制油方式制取的核桃油的角鲨烯、 β -谷甾醇含量存在显著性差异, 其中水剂法核桃油最高, 其次是液压压榨法核桃油, 螺旋压榨法核桃油的最低。

2.2 不同品种核桃油与市售核桃油的功能活性成分对比

2.2.1 生育酚含量

水剂法核桃油与市售核桃油的生育酚含量分析结果如图 2 所示。



注: 同一指标不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

图 2 不同核桃油 α -生育酚和 γ -生育酚含量

由图 2 可看出, 对于 α -生育酚含量, 除 6 号与 9 号、5 号与 8 号样品之间无显著性差异外, 其余样品间均具有显著性差异, 其中 1 号样品的 α -生育酚含量最高, 为 (34.92 ± 0.37) $\mu\text{g/mL}$, 其次是 2 号和 3 号样品, 市售核桃油中 α -生育酚含量较低, 且

以8号样品的含量最低,为 $(8.05 \pm 0.05) \mu\text{g/mL}$ 。对于 γ -生育酚含量,除4号与7号样品之间无显著性差异外,其余样品间均具有显著性差异,其中2号样品的 γ -生育酚含量最高,为 $(4.61 \pm 0.08) \mu\text{g/mL}$,其次为3号和9号样品。市售核桃油中除9号样品外,其余样品的 γ -生育酚含量较低,且以6号样品的含量最低,为 $(0.53 \pm 0.03) \mu\text{g/mL}$ 。

2.2.2 角鲨烯含量

水剂法核桃油与市售核桃油的角鲨烯含量分析结果如图3所示。

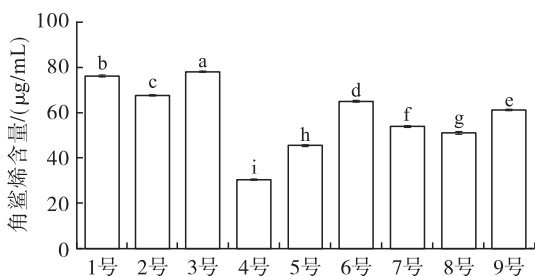


图3 不同核桃油的角鲨烯含量

由图3可看出,各样品的角鲨烯含量均具有显著性差异,其中3号样品的角鲨烯含量最高,为 $(78.33 \pm 0.33) \mu\text{g/mL}$,其次为1号和2号样品。市售核桃油的角鲨烯含量显著低于水剂法核桃油的,且以4号样品的含量最低,为 $(30.72 \pm 0.15) \mu\text{g/mL}$ 。

2.2.3 β -谷甾醇含量

水剂法核桃油与市售核桃油的 β -谷甾醇含量分析结果如图4所示。

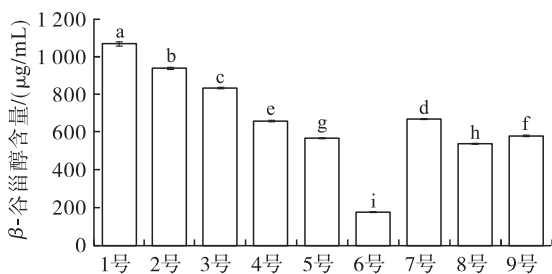


图4 不同核桃油的 β -谷甾醇含量

由图4可看出,各样品的 β -谷甾醇含量均具有显著性差异,其中1号样品的 β -谷甾醇含量最高,为 $(1071.81 \pm 11.13) \mu\text{g/mL}$,其次为2号和3号样品。市售核桃油的 β -谷甾醇含量显著低于水剂法核桃油的,且以6号样品的含量最低,为 $(179.26 \pm 0.79) \mu\text{g/mL}$ 。

2.2.4 褪黑素含量

水剂法核桃油与市售核桃油的褪黑素含量分析结果如图5所示。

由图5可看出,4号与6号以及5号与7号、8

号、9号样品间的褪黑素含量无显著性差异,其余样品间褪黑素含量差异显著。3号样品的褪黑素含量最高,为 $(1.900 \pm 0.008) \text{ng/mL}$,其次为2号和1号样品;市售核桃油的褪黑素含量显著低于水剂法核桃油的,且以8号样品的褪黑素含量最低,为 $(0.085 \pm 0.004) \text{ng/mL}$ 。

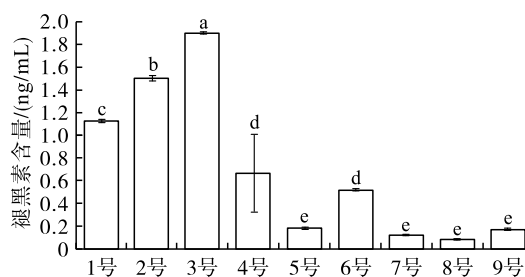


图5 不同核桃油的褪黑素含量

2.2.5 β -胡萝卜素含量

水剂法核桃油与市售核桃油的 β -胡萝卜素含量分析结果如图6所示。

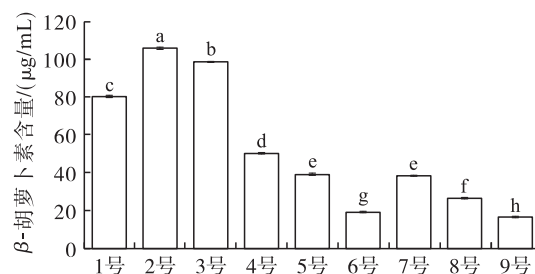


图6 不同核桃油的 β -胡萝卜素含量

由图6可看出,除5号与7号样品之间 β -胡萝卜素含量无显著性差异外,其余样品之间的 β -胡萝卜素含量均具有显著性差异。2号样品的 β -胡萝卜素含量最高,为 $(106.23 \pm 0.66) \mu\text{g/mL}$,其次是3号和1号样品;市售核桃油的 β -胡萝卜素含量显著低于水剂法核桃油的,且以9号样品的含量最低,为 $(16.90 \pm 0.06) \mu\text{g/mL}$ 。

3 结论

水剂法、液压压榨法和螺旋压榨法3种制油方式得到的核桃油的酸值、过氧化值、碘值、皂化值、水分及挥发物含量以及脂肪酸组成及含量均符合国标要求,水剂法核桃油的 α -生育酚、 γ -生育酚、角鲨烯、 β -谷甾醇含量均高于液压压榨法和螺旋压榨法核桃油的。对水剂法制取的云南3个主栽品种核桃油及市售的6种核桃油产品功能活性成分进行比较发现,水剂法核桃油 α -生育酚、 γ -生育酚、角鲨烯、 β -谷甾醇、褪黑素、 β -胡萝卜素含量显著高于市售核桃油的。水剂法制取的核桃油品质较好,可用于云南主栽品种核桃油的提取。

(下转第87页)

- irradiation and reduction of aflatoxins and ochratoxin A concentrations[J]. *Food Addit Contam A*, 2014, 31(12): 2034–2039.
- [7] VELAZHAHAN R, VIJAYANANDRAJ S, VIJAYASAMU NDEESWARI A, et al. Detoxification of aflatoxins by seed extracts of the medicinal plant, *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague ex Turill: Structural analysis and biological toxicity of degradation product of aflatoxin G₁ [J]. *Food Control*, 2010, 21(5): 719–725.
- [8] 刘配莲,张刚,陈焱. 食品与饲料中黄曲霉毒素脱除技术的研究进展[J]. *中国油脂*, 2021, 46(10):92–97.
- [9] 赵萌,高婧,褚华硕. 黄曲霉毒素 B₁ 的分子致毒机理及其微生物脱毒研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(11): 235–245.
- [10] YEHIA R S. Aflatoxin detoxification by manganese peroxidase purified from *Pleurotus ostreatus* [J]. *Braz J Microbiol*, 2014, 45: 127–134.
- [11] XU T, XIE C, YAO D, et al. Crystal structures of aflatoxin – oxidase from *Armillariella tabescens* reveal a dual activity enzyme [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2017, 494(3): 621–625.
- [12] TAYLOR M C, JACKSON C J, TATTERSALL D B, et al. Identification and characterization of two families of F420 H₂ – dependent reductases from *Mycobacteria* that catalyse aflatoxin degradation[J]. *Mol Microbiol*, 2010, 78(3): 561–575.
- [13] LOI M, FANELLI F, ZUCCA P, et al. Aflatoxin B₁ and M₁ degradation by Lac2 from *Pleurotus pulmonarius* and redox mediators [J/OL]. *Toxins*, 2016, 8(9): 245 [2023–02–14]. <https://doi.org/10.3390/toxins8090245>.
- [14] BRANÀ M T, CIMMARUSTI M T, HAIDUKOWSKI M, et al. Bioremediation of aflatoxin B₁ – contaminated maize by king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) [J/OL]. *Plos One*, 2017, 12(8): e0182574 [2023–02–14]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182574>.
- [15] LOI M, FANELLI F, CIMMARUSTI M T, et al. *In vitro* single and combined mycotoxins degradation by Ery4 laccase from *Pleurotus eryngii* and redox mediators [J]. *Food Control*, 2018, 90: 401–406.
- [16] GUO Y, QIN X, TANG Y, et al. CotA laccase, a novel aflatoxin oxidase from *Bacillus licheniformis*, transforms aflatoxin B₁ to aflatoxin Q₁ and epi – aflatoxin Q₁ [J/OL]. *Food Chem*, 2020, 325: 126877 [2023–02–14]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126877>.
- [17] KUMAR V, BAHUGUNA A, RAMALINGAM S, et al. Recent technological advances in mechanism, toxicity, and food perspectives of enzyme – mediated aflatoxin degradation[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2022, 62(20): 5395–5412.
- [18] WANG X, BAI Y, HUANG H, et al. Degradation of aflatoxin B₁ and zearalenone by bacterial and fungal laccases in presence of structurally defined chemicals and complex natural mediators [J/OL]. *Toxins*, 2019, 11(10):609 [2023–02–14]. <https://doi.org/10.3390/toxins11100609>.
- [19] LIU Y, MAO H, HU C, et al. Molecular docking studies and *in vitro* degradation of four aflatoxins (AFB₁, AFB₂, AFG₁, and AFG₂) by a recombinant laccase from *Saccharomyces cerevisiae* [J]. *J Food Sci*, 2020, 85(4): 1353–1360.

(上接第29页)

参考文献:

- [1] POGGETTI L, FERFUIA C, CHIABÀ C, et al. Kernel oil content and oil composition in walnut (*Juglans regia* L.) accessions from north – eastern Italy[J]. *J Sci Food Agric*, 2018, 98(3): 955–962.
- [2] OZCAN M M, IMAN C, ARSLAN D. Physicochemical properties, fatty acid and mineral content of some walnuts (*Juglans regia* L.) types [J]. *Agric Sci*, 2010, 1(2): 62–67.
- [3] 赵声兰,陈朝银,葛锋,等. 核桃油功效成分研究进展[J]. *云南中医学院学报*, 2010, 33(6): 71–74.
- [4] GAO P, LIU R, JIN Q, et al. Comparative study of chemical compositions and antioxidant capacities of oils obtained from two species of walnut: *Juglans regia* and *Juglans sigillata* [J]. *Food Chem*, 2019, 279: 279–287.
- [5] 张旋,方晓璞,杨学华,等. 我国不同产地核桃油与铁核桃油营养成分的分析比较[J]. *中国油脂*, 2022, 47(5): 60–64.
- [6] 高盼. 我国核桃油的组成特征及其抗氧化和降胆固醇功效评估[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2019.
- [7] 李晴,陆胜民,王阳光,等. 冷榨法和酶法提取对山核桃油活性成分的影响[J]. *中国油脂*, 2022, 47(2): 23–27.
- [8] 方文亮,宁德鲁. 云南核桃[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [9] 张睿. 食用植物油检测技术指南[M]. 南京: 南京大学出版社, 2015.