油料资源

DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.2021.01.022

我国10种铁核桃油的组成特性和氧化稳定性

杨歆萌[1],高 盼[1,2],胡传荣[1,2],何东平[1,2]

(1.武汉轻工大学 食品科学与工程学院,武汉 430023;2.大宗粮油精深加工教育部重点实验室,武汉 430023)

摘要:选取我国新疆、云南和西藏三大主要产区的10种代表性铁核桃样品,制备铁核桃油,测定了铁核桃油的脂肪酸组成,总酚、生育酚、植物甾醇含量及氧化稳定性,采用化学计量学的方法对铁核桃油的组成特性进行分析。结果表明:我国铁核桃油的脂肪酸主要为亚油酸(54.84%~66.97%),油酸(15.88%~26.04%),亚麻酸(6.82%~12.25%)和棕榈酸(5.12%~7.62%)。微量伴随物生育酚含量176.89~832.86 mg/kg、植物甾醇含量530.96~1 095.47 mg/kg、总酚含量1.42~15.84 mg/kg,氧化稳定性指数(OSI)为0.55~3.39 h。基于回归分析发现,影响铁核桃油氧化稳定性的主要组成物质是亚油酸、亚麻酸、γ-生育酚和总酚。

关键词:铁核桃油;脂肪酸组成;微量伴随物;化学计量学

中图分类号:TS225.1;TQ641 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)01-0112-05

Composition characteristics and oxidation stability of ten *Juglans sigillata* oils in China

YANG Xinmeng[1], GAO Pan[1,2], HU Chuanrong[1,2], HE Dongping[1,2]

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. Key Laboratory of Deep Processing of Major Grain and Oil of Education, Wuhan 430023, China)

Abstract: Ten representative *Juglans sigillata* samples were collected from three main producing areas of Xinjiang, Yunnan and Tibet to prepare *Juglans sigillata* oil, and the fatty acid composition, contents of total phenol, tocopherol and phytosterol, and oxidative stability of *Juglans sigillata* oil were determined, also the composition characteristics of *Juglans sigillata* oil was analyzed by chemometrics. The results showed that linoleic acid (54.84% - 66.97%), oleic acid (15.88% - 26.04%), linolenic acid (6.82% - 12.25%) and palmitic acid (5.12% - 7.62%) were the main fatty acid of *Juglans sigillata* oil, the contents of tocopherol, phytosterol and total phenol were 176.89 - 832.86 mg/kg, 530.96 - 1 095.47 mg/kg and 1.42 - 15.84 mg/kg, respectively, and the oxidative stability indexes (OSI) were 0.55 - 3.39 h. Based on multivariate linear regression analysis, it was found that linoleic acid, linolenic acid, γ-tocopherol and total phenol were the main components that affected the oxidation stability of *Juglans sigillata* oil.

Key words: *Juglans sigillata* oil; fatty acid composition; trace component; chemometrics

我国主要存在5种核桃属植物,分别为薄皮核桃(*J. regia* L.)、铁核桃(*J. sigillata* D.)、核桃楸(*J. manshurica* Max.)、山核桃(*J. cathayensis* D.)和麻核桃(*J. hopeiensis* Hu),但只有薄皮核桃和铁核桃常用于核桃深加工[1]。铁核桃又被称为泡核桃,是国际上公认的原产于我国的核桃品种[2],其产量约占我国核桃总产量的25%。铁核桃在我国大多属于自然生长,主要分布于云南、新疆和西藏等地[3]。铁核桃是常绿乔木,树体高大,抗寒抗病性优越,极易存活且多长于野外,不占用耕地,产量也较高,是良好的生态型经济树种[4]。由于种植成本

收稿日期:2020-03-29;**修回日期:**2020-07-17

基金项目:湖北省重大科技计划项目(2019ABA096)

作者简介:杨歆萌(1996),女,在读硕士,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail)380909897@qq.com。

通信作者:高 盼,讲师,博士(E-mail)gaopan925@163.com。

较低,铁核桃深受核桃油生产企业的欢迎。铁核桃在我国核桃资源的占比逐年增加,成为我国两大主要核桃种类之一,铁核桃也是我国独有的核桃油原料。由于我国铁核桃种植分布广泛、品种丰富、加工方式多样,铁核桃油的组成含量变化较大。目前对我国铁核桃油组成特性没有系统研究,其组成特性不明,核桃产地追溯困难,无法有效地指导我国铁核桃油的生产,制约了我国铁核桃油产业的发展。

氧化是核桃油最常见的问题,氧化会使核桃油发生变质,影响风味,甚至会产生一些具有毒性的脂质降解产物,同时会产生大量的自由基。氧化稳定性可以预测和评估油脂可能产生的氧化酸败,从而达到控制油脂风味和预测油脂货架期的目的。因此,氧化稳定性可用来评价铁核桃油的品质特性。

我国铁核桃油的研究较少,因此本研究采集我国新疆、云南和西藏三大主要产区的 10 种代表性铁核桃样品,采用统一工艺制备铁核桃油,对其组成特性和氧化稳定性进行研究,通过化学计量学分析影响铁核桃油品质的因素,为指导我国铁核桃油的生产提供指导依据。

1　材料与方法

1.1　实验材料

1.1.1　原料与试剂

收集自新疆、云南和西藏三大主要产区主要的铁核桃油原料品种,包含了三台、普通铁核桃、大泡等 9 种铁核桃品种和 1 种西藏产区未被推广使用的野生核桃品种。选取的样品具有代表性(见表 1),涵盖了我国 8 个生产品种、3 个种植产区。

表 1　10 种铁核桃的基本信息

样品	产区	品种
1	新疆	大泡
2	新疆	娘青
3	新疆	小泡
4	云南	漾泡
5	新疆	铁核桃
6	新疆	大屁股夹绵
7	云南	三台
8	西藏	漾泡
9	西藏	铁核桃
10	西藏	野生核桃

脂肪酸甲酯标准品,生育酚标准品(纯度 > 95%),5α - 胆甾醇、菜油甾醇、豆甾醇、β - 谷甾醇标准品,购自 Sigma Aldrich Chemical Products;Speax 萃取柱,购自上海 Speax Technologies 公司;其他试剂均购自上海国药集团。

1.1.2　仪器与设备

螺杆压榨机,购自德国 IBG Monforts 公司;7890A 气相色谱 - 质谱联用仪,配氢火焰离子化检测器(FID),购自安捷伦有限公司;Trace TR - FAME 毛细管柱(0.25 μm,60 m × 0.25 mm),购自赛默飞有限公司;LC - 20AT 高效液相色谱系统,配紫外检测器(SPD - 20A),购自日本岛津公司;Rancimat 743 型油脂氧化稳定性测定仪,购自瑞士万通中国有限公司;硅胶柱(5 μm,4.6 mm × 250 mm),购自江苏汉邦公司。

1.2　实验方法

1.2.1　样品的采集与处理

铁核桃 9 月成熟后,同一时间采集 10 种铁核桃样品,立即运输到实验室,于 45 ℃ 干燥 3 d 后,采用液压机破壳,人工剥壳,使用螺杆压榨机榨油。制备的铁核桃油放入棕色玻璃瓶中,并置于 4 ℃ 冰箱避光储存。

1.2.2　脂肪酸组成及含量测定

参考 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定》中样品前处理方法及色谱条件,略微调整。将 0.25 mg 油样溶解在 2.0 mL 色谱级正己烷中,并与 0.5 mL 2 mol/L KOH - CH_3OH 混合,静置至分层,取上层清液,过膜,待分析。GC 条件:7820A 气相色谱仪,Trace TR - FAME 毛细管柱(0.25 μm,60 m × 0.25 mm);载气(氮气)流速 1 mL/min;FID 温度 250 ℃;分流比 100∶1;初始柱温 60 ℃ 保持 3 min,以 5 ℃/min 升温至 175 ℃,保持 5 min,再以 2 ℃/min 升温至 220 ℃,保持 10 min;进样量 1.0 μL。与脂肪酸甲酯标准品对照定性,采用峰面积归一化法定量。

1.2.3　主要微量伴随物含量测定

1.2.3.1　生育酚

使用配备有紫外检测器(SPD - 20A)的高效液相色谱仪分析生育酚。称取 1 g 油样用色谱级正己烷稀释于 10 mL 容量瓶中。HPLC 条件:进样量 20 μL,流动相为正己烷 - 异丙醇(体积比 98.5∶1.5),流速 1.0 mL/min,柱温 30 ℃,检测波长 295 nm。通过建立标准曲线,对生育酚进行定量分析。

1.2.3.2　植物甾醇

使用配备有 FID 的气相色谱 - 质谱联用仪对植物甾醇进行分析。将 200 mg 油样与 0.5 mL 0.1 mg/mL 的 5α - 胆甾烷和 3 mL 的 2 mol/L KOH - CH_3CH_2OH 混合。将混合物在 85 ℃ 下皂化 1 h,冷却后添加 3 次 5 mL 正己烷和 2 mL 蒸馏水提取不皂化物。不皂化物经氮气干燥,并在 75 ℃ 下用 200 μL

BSTFA + TMCS 硅烷化 30 min，冷却，进行 GC - MS 分析。GC 条件：安捷伦 DB - 5 毛细管柱（0.25 μm，30 m × 0.25 mm）；初始柱温为 200 ℃，保持 0.5 min，以 10 ℃/min 的速率升至 300 ℃，保持 18 min；FID 温度和进样器温度均为 280 ℃；载气（氦气）流速 1.2 mL/min；分流比 100∶1；进样量 1 μL。MS 条件：离子源温度和传输线温度分别为 280 ℃ 和 250 ℃；电离模式为电子碰撞离子源，质量范围（m/z）为 50 ~ 550。

1.2.3.3 总酚

参考 Li 等[5]的方法采用福林酚法对总酚含量进行测定。分别用 6 mL 甲醇和 6 mL 正己烷过 Speax 柱使其活化；准确称取 1.5 g 油样，溶于 6 mL 正己烷中过柱，再分别用 3 mL 正己烷清洗柱子两次；加入 4 mL 正己烷 - 乙酸乙酯（体积比 9∶1）过柱；最后加入甲醇洗脱并收集于 10 mL 棕色容量瓶中，定容，移取 5 mL 置于另一个 10 mL 棕色容量瓶中，加入 0.5 mL 福林酚，反应 3 min，加入 1 mL 10% 的 Na_2CO_3 溶液，用水定容后避光静置 2 h，过膜，用分光光度计检测其在 765 nm 波长下的吸光度。

没食子酸标准曲线：称取（0.010 0 ± 0.000 1）g 没食子酸于 100 mL 容量瓶中，用 70% 甲醇溶液定容，配制成质量浓度约为 100 μg/mL 没食子酸标准储备液。用移液管分别移取 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mL 于 10 mL 容量瓶中，再加 0.5 mL 福林酚，反应 3 min，加入 1 mL 10% Na_2CO_3，用 70% 甲醇溶液定容，静置 2 h，用分光光度计检测其在 765 nm 波长下的吸光度。绘制没食子酸质量浓度与吸光度的标准曲线，根据标准曲线，计算铁核桃油样品中的总酚含量。

1.2.4 氧化稳定性测定

准确称取 3.0 g 油样于氧化稳定性测定仪配备的玻璃试管中，按使用说明安装仪器，设置加热温度 110 ℃、气体流速 20 L/h、中心补偿温度 1.6 ℃，仪器配备的测量容器中加入超纯水 50 mL，自动测量水的电导率，并以小时（h）记录结果，测定铁核桃油的氧化稳定性指数（OSI）。

1.2.5 数据分析

所有实验至少重复 3 次，铁核桃油组成特性的数据以“平均值 ± 标准差”表示。采用 SPSS23.0 软件进行数据分析，使用 Tukey's - b 检验对所有参数进行评价，ANOVA 实验的统计学差异在 5% 水平显著（$p < 0.05$），其余数据处理与分析在进行化学计量学分析时，所有变量进行标准化处理（转换为 z - scores），用来去除单位化。

2 结果与分析

2.1 脂肪酸组成（见表 2）

表 2 我国 10 种铁核桃油的主要脂肪酸组成 %

样品	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:1	SFA	MUFA	PUFA
1	6.53 ± 0.00^{c}	2.57 ± 0.02^{e}	17.99 ± 0.00^{g}	63.61 ± 0.03^{c}	9.02 ± 0.01^{d}	0.25 ± 0.00^{c}	9.12 ± 0.04^{c}	18.24 ± 0.00^{e}	72.65 ± 0.04^{d}
2	7.62 ± 0.00^{a}	2.89 ± 0.00^{b}	20.13 ± 0.00^{d}	61.21 ± 0.00^{h}	7.27 ± 0.01^{h}	0.20 ± 0.00^{f}	10.53 ± 0.03^{a}	20.33 ± 0.00^{c}	69.14 ± 0.13^{g}
3	6.45 ± 0.00^{d}	2.69 ± 0.00^{c}	17.06 ± 0.01^{i}	62.02 ± 0.01^{e}	11.55 ± 0.01^{b}	0.22 ± 0.00^{e}	9.16 ± 0.02^{c}	17.28 ± 0.01^{f}	73.56 ± 0.01^{c}
4	7.20 ± 0.01^{b}	3.00 ± 0.00^{a}	15.88 ± 0.02^{j}	61.38 ± 0.05^{g}	12.25 ± 0.03^{a}	0.25 ± 0.01^{c}	10.24 ± 0.02^{b}	16.14 ± 0.00^{g}	73.63 ± 0.03^{c}
5	5.93 ± 0.00^{g}	2.70 ± 0.00^{c}	19.44 ± 0.01^{e}	61.91 ± 0.02^{f}	9.80 ± 0.02^{e}	0.18 ± 0.00^{g}	8.68 ± 0.02^{e}	19.62 ± 0.01^{d}	71.70 ± 0.01^{e}
6	6.17 ± 0.00^{e}	2.47 ± 0.01^{f}	20.35 ± 0.02^{c}	62.19 ± 0.11^{d}	8.79 ± 0.12^{f}	ND^{i}	8.64 ± 0.01^{e}	20.35 ± 0.02^{c}	71.01 ± 0.03^{f}
7	5.14 ± 0.00^{i}	2.34 ± 0.00^{g}	24.71 ± 0.00^{b}	58.80 ± 0.00^{i}	8.73 ± 0.00^{f}	0.28 ± 0.00^{b}	7.58 ± 0.10^{g}	25.21 ± 0.22^{b}	67.22 ± 0.31^{h}
8	5.34 ± 0.00^{h}	2.25 ± 0.00^{h}	17.65 ± 0.03^{h}	66.97 ± 0.00^{a}	6.82 ± 0.01^{i}	0.23 ± 0.00^{d}	7.73 ± 0.16^{f}	18.10 ± 0.20^{e}	74.17 ± 0.36^{b}
9	5.12 ± 0.00^{j}	2.14 ± 0.00^{i}	18.02 ± 0.00^{f}	66.67 ± 0.01^{b}	7.77 ± 0.01^{g}	0.04 ± 0.00^{h}	7.34 ± 0.08^{h}	18.10 ± 0.04^{e}	74.57 ± 0.13^{a}
10	6.16 ± 0.00^{f}	2.65 ± 0.00^{d}	26.04 ± 0.01^{a}	54.84 ± 0.01^{j}	8.91 ± 0.00^{e}	0.55 ± 0.01^{a}	8.82 ± 0.01^{d}	26.95 ± 0.34^{a}	64.24 ± 0.36^{i}

注：表中上标字母表示每列在 5% 显著水平的统计差异，ND 表示未检出。下同。

从表 2 可以看出，铁核桃油中含量最高的脂肪酸是 C18∶2（54.84% ~ 66.97%），其次是 C18∶1（15.88% ~ 26.04%）和 C18∶3（6.82% ~ 12.25%）。C16∶0 是铁核桃油中主要的饱和脂肪酸（SFA），其中 2 号样的 SFA 含量（10.53%）最高，9 号样 SFA 含量（7.34%）最低。铁核桃油样本间 C18∶1 含量存在较大差异，可能是地域差异影响了 C18∶1 的含量。6 号样中未检测出 C20∶1。铁核桃油样品中 PUFA 含量最高的是 9 号样，含量为 74.57%。PUFA 已经被证实对人体健康有益，证明我国铁核桃油是一种具有高营养价值的食用油。值得注意的是，铁核桃油中含有一些特殊的脂肪酸，比如棕榈油酸（C16∶1，0.06% ~ 0.08%）、山嵛酸（C22∶0，0% ~ 0.06%）和芥酸（C22∶1，0.23% ~ 0.44%）[6]。

Gharibzahedi 等[7]研究的伊朗核桃油中 C16∶0 含量（8.74% ~ 11.21%）明显高于我国铁核桃油，

而 C18∶2 含量(50.15% ~51.36%)则明显低于我国铁核桃油,其 SFA 含量(11.16% ~13.60%)比我国铁核桃油的高,而 PUFA 含量(61.72% ~62.19%)则低于我国铁核桃油。分析其原因可能为原料的品种以及产地不同。

2.2　主要微量伴随物

表 3 为我国 10 种铁核桃油的主要微量伴随物含量。核桃油中有 4 种生育酚的形式:α,β,γ 和 δ。从表 3 可以看出,我国铁核桃油的生育酚含量差异较大,6 号样铁核桃油的总生育酚含量(832.86 mg/kg)是 10 号样铁核桃油(176.89 mg/kg)的 4.71 倍。生育酚具有许多有益的特性,例如抗炎症作用[8]。我国铁核桃油与阿根廷核桃油的生育酚含量较为一致(359.2 ~420.6 mg/kg)[9],但高于加拿大的(149.1 ~267.2 mg/kg)[10]。

表 3　我国 10 种铁核桃油的主要微量伴随物含量　　mg/kg

样品	α-生育酚	γ-生育酚	δ-生育酚	总生育酚	菜油甾醇	β-谷甾醇	豆甾醇	Δ5-燕麦甾醇	总植物甾醇	总酚
1	72.68 ±2.57^{c}	268.46 ±8.55^{cd}	24.81 ±0.21^{h}	369.94 ±10.18^{e}	19.24 ±0.69^{fg}	423.71 ±10.61^{h}	32.55 ±0.56^{e}	55.46 ±0.79^{cd}	530.96 ±9.05^{h}	15.45 ±0.27^{h}
2	56.35 ±0.62^{d}	287.52 ±6.07^{c}	75.48 ±0.92^{d}	419.88 ±5.76^{d}	18.45 ±0.54^{fg}	608.50 ±12.42^{de}	78.19 ±0.74^{c}	52.42 ±3.79^{d}	757.56 ±8.82^{e}	6.87 ±0.03^{e}
3	123.10 ±6.54^{a}	248.40 ±13.82^{e}	237.63 ±6.68^{c}	609.53 ±0.60^{b}	25.74 ±1.58^{e}	562.72 ±0.09^{f}	32.42 ±1.05^{e}	43.74 ±0.83^{e}	664.62 ±1.89^{f}	9.78 ±0.01^{f}
4	68.45 ±1.46^{c}	254.71 ±4.51^{de}	243.90 ±4.01^{b}	567.71 ±0.99^{c}	19.55 ±0.56^{fg}	793.05 ±22.54^{b}	81.35 ±0.89^{c}	58.44 ±1.80^{c}	952.39 ±22.89^{b}	2.08 ±0.05^{b}
5	10.04 ±0.06^{h}	324.20 ±13.89^{b}	41.44 ±0.68^{g}	375.68 ±12.95^{e}	17.10 ±0.18^{h}	952.56 ±35.67^{a}	87.07 ±3.39^{b}	38.74 ±1.31^{f}	1 095.47 ±30.79^{a}	3.01 ±0.22^{c}
6	107.45 ±2.11^{b}	369.59 ±8.38^{a}	355.81 ±4.92^{a}	832.86 ±1.31^{a}	21.05 ±0.39^{f}	720.94 ±2.57^{c}	18.70 ±1.15^{f}	36.00 ±1.41^{f}	796.69 ±2.70^{d}	4.73 ±0.05^{d}
7	19.25 ±0.46^{g}	161.09 ±14.87^{h}	50.14 ±1.16^{f}	230.48 ±16.19^{h}	31.46 ±2.66^{d}	483.74 ±21.88^{g}	14.28 ±2.01^{g}	37.40 ±1.67^{f}	566.88 ±24.88^{g}	6.67 ±0.32^{e}
8	30.08 ±2.06^{f}	184.24 ±8.03^{g}	42.01 ±1.16^{g}	256.61 ±4.81^{g}	69.85 ±1.49^{b}	638.47 ±7.40^{d}	57.92 ±1.07^{d}	112.39 ±1.98^{a}	878.63 ±2.86^{c}	15.84 ±0.97^{h}
9	39.26 ±0.62^{e}	224.06 ±8.71^{f}	10.96 ±0.99^{i}	277.31 ±8.67^{f}	55.08 ±2.29^{c}	578.98 ±18.20^{ef}	94.33 ±3.66^{a}	36.08 ±0.40^{f}	764.47 ±24.55^{e}	10.53 ±0.22^{g}
10	16.77 ±1.43^{g}	100.71 ±15.11^{i}	59.41 ±2.69^{e}	176.89 ±10.77^{i}	96.75 ±4.98^{a}	638.31 ±11.10^{d}	31.61 ±1.14^{e}	92.61 ±6.05^{b}	859.29 ±1.07^{c}	1.42 ±0.22^{a}

植物甾醇是食用油中不皂化物的主要部分,也是一种非常重要的天然活性物质。由表 3 可知,铁核桃油的总植物甾醇含量为 530.96 ~ 1 095.47 mg/kg,其中 5 号样的含量最高,1 号样的含量最低,野生核桃油的菜油甾醇含量显著高于其他品种。铁核桃油中 β-谷甾醇含量(423.71 ~952.56 mg/kg)最高,不同铁核桃油 β-谷甾醇含量有显著性差异($p<0.05$)。

由表 3 可知,我国铁核桃油的总酚含量为 1.42 ~15.84 mg/kg,8 号样的总酚含量是 10 号样的 11.15 倍,差异很大。综上,6 号样的总生育酚含量(832.86 mg/kg)最高,5 号样的总植物甾醇含量最高(1 095.47 mg/kg),8 号样的总酚含量(15.84 mg/kg)最高。

2.3　氧化稳定性

我国 10 种铁核桃油样品的 OSI 如图 1 所示。

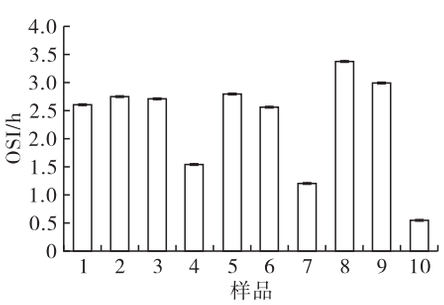

图 1　我国 10 种铁核桃油的氧化稳定性指数

从图 1 可以看出,铁核桃油样品的 OSI 存在显著差异,10 号样的 OSI 最小(0.55 h),相比于 OSI 最高的 8 号样(3.39 h),两者相差 6.16 倍,证明了铁核桃油样品间的氧化稳定性差异很大。氧化稳定性是表征铁核桃油品质的重要指标,我国铁核桃油由于原料不同,导致其品质差异较大。因此,选择优良的铁核桃原料会显著提升铁核桃油品质。

2.4　回归分析

采用多元线性回归,分别分析铁核桃油 OSI 与组成成分间的作用关系,结果见表 4。由表 4 可知,铁核桃油的 OSI 主要取决于 C18∶2(R = -0.860),C18∶2 含量较高的铁核桃油更易氧化。C18∶2 是铁核桃油中的主要脂肪酸,脂肪酸中的双键是脂质氧化的主要因素,它们可以作为自由基受体,脂质氧化与脂肪酸的不饱和度成正比。Vidrih 等[11]的研究结果与本实验一致,OSI 与 C18∶2 和 C18∶3 呈负相关。OSI 与 γ-生育酚(R = 0.507)和总酚(R = 0.202)呈正相关。生育酚可作为自由基清除剂,在自动氧化的起始和发展阶段阻断脂质氧化[12]。总酚通过释放氢离子,破坏氧化链终止反应[13],起到抗氧化作用。由于回归分析采用了逐步法,在引入变量时将不显著的变量从方程中剔除,直到没有变量可以引入方程并从方程中剔除变量为止。因此,不能揭示变量间的协同和拮抗作用。

表 4 铁核桃油 OSI 与组成成分间的多元线性回归分析

目标变量	校正判定系数(R^2)	自变量	偏回归系数(R)	拟合方程
OSI	0.875	常数	-2.177E-15	$y=-2.177\times10^{-15}-0.860c(C18:2)+0.507c(\gamma-生育酚)+0.202c(总酚)-0.310c(C18:3)$
		C18:2	-0.860	
		γ-生育酚	0.507	
		总酚	0.202	
		C18:3	-0.310	

3 结 论

本研究检测分析了我国 10 种不同产区的铁核桃油,铁核桃油中亚油酸含量平均在 60% 左右,亚麻酸含量平均在 10% 左右,证明我国铁核桃油是良好的不饱和脂肪酸来源,具有合理的脂肪酸组成。我国铁核桃油生育酚含量丰富,还含有植物甾醇和酚类物质,证明我国铁核桃油含有丰富的微量伴随物,属于高品质的核桃油。由于产区不同,导致铁核桃油中脂肪酸组成和生育酚的含量存在显著差异。通过回归分析可得,C18:2、C18:3、γ-生育酚和总酚是影响我国铁核桃油氧化稳定性的主要物质。

参考文献:

[1] WU T, XIAO L J, CHEN S Y, et al. Transcriptomics and comparative analysis of three *Juglans* species; *J. regia*, *J. sigillata* and *J. cathayensis*[J]. Plant Omics, 2015, 8(4): 361-371.

[2] 胡芳名, 谭晓风, 刘惠民. 中国主要经济林树种栽培与利用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.

[3] 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.

[4] 段星星. 泡核桃人工林木材的加工性能研究[D]. 南宁: 广西大学, 2016.

[5] LI X, WASLIA H, LIU L, et al. Physicochemical characteristics, polyphenol compositions and antioxidant potential of pomegranate juices from 10 Chinese cultivars and the environmental factors analysis[J]. Food Chem, 2015, 175:575-584.

[6] GAO P, LIU R J, JIN Q Z, 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.

[7] GHARIBZAHEDI S M T, MOUSAVI S M, HAMEDI M, et al. Determination and characterization of kernel biochemical composition and functional compounds of Persian walnut oil [J]. J Agric Food Chem, 2014, 51 (1): 34-42.

[8] PARK S K, PAGE G P, KIM K, et al. α- and γ-tocopherol prevent age-related transcriptional alterations in the heart and brain of mice[J]. J Nutr, 2008, 138(6): 1010-1018.

[9] MARTÍNEZ M L, MAESTRI D M. Oil chemical variation in walnut (*Juglans regia* L.) genotypes grown in Argentina [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2008, 110 (12): 1183-1189.

[10] LI L, TSAO R, YANG R, et al. Fatty acid profiles, tocopherol contents, and antioxidant activities of heartnut (*Juglans ailanthifolia* var. cordiformis) and Persian walnut (*Juglans regia* L.)[J]. J Agric Food Chem, 2007, 55 (4): 1164-1169.

[11] VIDRIH R, VIDAKOVI Č S, ABRAMOVIC Č H. Biochemical parameters and oxidative resistance to thermal treatment of refined and unrefined vegetable edible oils [J]. Czech J Food Sci, 2010, 28(5): 376-384.

[12] KAMALELDIN A, APPELQVIST L. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols[J]. Lipids, 1996, 31(7): 671-701.

[13] QUIDEAU S, DEFFIEUX D, DOUAT-CASASSUS C, et al. Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis[J]. Angew Chem Int Ed, 2011, 50(3): 586-621.