

“油料油脂适度加工技术规范制定与实施” 特约专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.01.004

我国不同产区核桃油组成成分与氧化稳定性研究

周张涛¹, 高盼^{1,2}, 章景志³, 何东平^{1,2}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023; 2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室(武汉轻工大学), 湖北 武汉 430023; 3. 湖北圭萃园农林股份有限公司, 湖北 襄阳 441600)

摘要: 选取我国西南、西北和东部三大产区的16种薄皮核桃分别压榨制油, 测定核桃油的脂肪酸组成、甘油三酯组成、总酚、生育酚、植物甾醇和氧化稳定性指数。结果表明, 不同产区核桃油的脂肪酸组成主要为亚油酸 C18:2 (51.21%~68.97%), 油酸 C18:1 (12.56%~26.04%), 亚麻酸 C18:3 (6.82%~15.01%) 和棕榈酸 C16:0 (3.05%~8.27%), 甘油三酯包含三亚酸甘油酯 LLL (27.87%~39.47%) 和油酸亚油酸亚麻酸甘油酯 OLLn (17.07%~24.18%)。微量伴随物植物甾醇, 生育酚和总酚含量分别为 540~1 594 mg/kg, 10~1 303 mg/kg, 345~2 579 mg/kg。根据与其他国家和地区核桃油比较, 可以推断出不同的种植区域地理位置和气候的差异, 导致了核桃油成分的差异。在此基础上将氧化稳定性指数与脂肪酸组成、微量伴随物含量进行多元线性回归分析后, 得出亚油酸, α -生育酚和总酚是影响核桃油氧化稳定性的主要因素。

关键词: 核桃油; 不同产区; 多元线性回归; 成分分析; 氧化稳定性指数

中图分类号: TS 225.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)01-0017-06

Chemical composition and oxidation stability index of walnut oils from different production regions in China

ZHOU Zhang-tao¹, GAO Pan^{1,2}, ZHANG Jing-zhi³, HE Dong-ping^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan Hubei 430023; 2. Key Laboratory of Deep Processing of Major Grain and Oil of Education (Wuhan Polytechnic University), Wuhan Hubei 430023; 3. Hubei Guicuiyuan Agroforestry Co., Ltd, Xiangyang Hubei 441600)

Abstract: A total of 16 walnut samples from different regions of China were analyzed, the fatty acid composition, triacylglycerol composition, polyphenol, tocopherol, phytosterol and oxidation stability index of the obtained walnut oil were determined. The results showed that the fatty acid composition of walnut oil in different regions of China was mainly linoleic acid (51.21%~68.97%), oleic acid (12.56%~26.04%), linolenic acid (6.82%~15.01%), and palmitic acid (3.05%~8.27%). The main triacylglycerol compositions were trilinolein (27.87%~39.47%) and oleoyl-linoleoyl-lynolenoyl-glycerol (17.07%~24.18%). The contents of trace accompaniments such as phytosterols, tocopherols and polyphenol were 540~1 594 mg/kg, 10~1 303 mg/kg, 345~2 579 mg/kg, respectively. According to the comparison with other regions, it can be suggested that the geographical location and climate of different planting regions lead to the differences in the composition of walnut oil. MLR analyses between oxidative stability index with fatty acid compositions

收稿日期: 2019-11-11

基金项目: 湖北省重大科技项目(鄂科技发计[2019]6号)一核桃资源高值化利用关键技术开发与应用

作者简介: 周张涛, 1996年出生, 男, 硕士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白。

通讯作者: 何东平, 1957年出生, 男, 博士, 教授, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白。

and minor components revealed that linoleic acid, α -tocopherol and polyphenol were the main factors that affect the oxidative stability of the walnut oil.

Key words: walnut oil; different producing areas; multiple linear regression; component analysis; oxidative stability index

核桃 (*Juglans regia* L.) 是四大坚果 (杏仁, 核桃, 栗子和腰果) 之一, 在全球被广泛种植^[1-2]。近年来, 由于核桃中营养物质对诸多慢性疾病具有改善作用, 受到了人们的关注^[3]。我国拥有悠久的核桃种植历史, 是世界上最大的核桃生产国, 据联合国粮食及农业组织 (FAO) 统计, 我国 2018 年核桃的年产量占全球总产量的 48%。

核桃油具有极高的营养价值, 不仅含有丰富的油酸等单不饱和脂肪酸 (MUFA), 还含有极高的亚油酸和亚麻酸等多不饱和脂肪酸 (PUFA), 不饱和脂肪酸在血脂、血栓和免疫调节等方面显示出极佳的作用^[4], 能满足人体所需。核桃油还富含植物甾醇, 多酚和生育酚等微量伴随物^[5]。植物甾醇主要包括谷甾醇, 菜油甾醇和豆甾醇, 占植物甾醇总量的 95% 以上, 在医学、功能食品和化妆品中具有广泛的应用^[6]。

我国核桃栽培的地理环境存在较大差异, 导致核桃油品质参差不齐。研究采集我国西南、西北和东部三大主要产区的 16 个核桃样品, 统一工艺压榨制备成核桃油, 并检测其组成成分和氧化稳定指数。通过统计学分析核桃油组成成分与氧化稳定指数之间的关联, 以评估核桃油中对核桃油品质影响最大的生物活性成分。

1 材料与方法

1.1 实验材料

西南地区 (云南省, 贵州省和四川省) 属于低纬度山区季风气候。年平均降雨量 1148.6~1239.2 mm, 气温 13.8~18.1^{°C}, 无霜天 231.5~301.4 d, 日照持续时间在 1306.1~1483.3 h; 西北地区 (山西省, 陕西省, 甘肃省和宁夏回族自治区) 位于西部平原, 年降水量 371.7~563.7 mm, 气温 7.9~13.4^{°C}, 无霜天 183.8~202.8 d, 日照时间 2256.1~2636.3 h; 东部地区 (辽宁省, 河北省, 山东省, 河南省, 江苏省, 北京和天津) 位于太行山脉脚下, 年降水量和气温为 493.6~592.5 mm 和

8.4~12.9^{°C}, 无霜天数为 169~195 d, 日照持续时间为 2624.8~2916.2 h。根据地理学、气候、生态条件、种植区域和行政区域完整性的原则, 选取具有代表性的样品。分别从西南地区 and 西北地区各采集 5 种样品, 东部地区采集 6 种样品, 共 16 种核桃样品。

1.2 实验试剂

脂肪酸甲酯标准品, 生育酚标准品 (纯度 >95%), 5 α -胆甾醇, 菜油甾醇, 豆甾醇和 β -谷甾醇的标准品: Sigma Aldrich Chemical 有限公司; 甘油三酯标准品: 瑞典 Larodan Fine Chemicals AB 公司; Speax 萃取柱: 上海 Speax Technologies 公司; 其他试剂: 上海国药集团。

1.3 仪器与设备

螺杆压榨机: 德国 IBG Monforts 公司; 7890A 气相色谱—质谱, 配火焰电离检测器 (FID), DB-17HT 毛细管柱 (0.15 μ m, 0.25 mm \times 15 m): 安捷伦有限公司; Trace TR-FAME 毛细管柱 (0.25 μ m, 60 m \times 0.25 mm): 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): 日本岛津公司; Rancimat 743 型: 瑞士万通中国有限公司; 硅胶柱 (5 μ m, 4.6 \times 250 mm): 江苏汉邦公司。

1.4 试验方法

1.4.1 样品的采集与处理

核桃 9 月成熟后, 同一时间采集 16 个核桃样品, 立即运输到实验室, 在 45^{°C} 的烤箱中干燥 3 d 后, 人工剥壳, 使用螺杆压榨机榨油。制备的核桃油放入棕色玻璃瓶中, 并置于 4^{°C} 冰箱避光储存。

1.4.2 脂肪酸组成

GB5009.168-2016《食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定》中样品前处理及色谱参考条件的方法略微调整。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 氢氧化钾—

甲醇溶液混合,静置至分层,取上层清液,过膜以制备脂肪酸甲酯。检测条件:氮气(载气),1 mL/min;火焰电离检测器(FID)温度为250 °C;比例1:100;初温60 °C保持3 min,以5 °C/min升温至175 °C,保持5 min,再以2 °C/min升温至220 °C,保持10 min;进样量1.0 μL。与脂肪酸的标准品对照后,得到相对比例含量的脂肪酸组成。

1.4.3 甘油三酯组成

根据 AOCS Ce 5-86 方法,使用 DB-17HT 毛细管柱(0.15 μm, 0.25 mm×15 m)分离核桃油中的甘油三酯。检测条件:氮气(载气),1 mL/min;喷油器温度360 °C;FID温度为375 °C;分配比例为1:100。初始柱温为250 °C,以5 °C/min的速度升至340 °C,然后在340 °C保持32 min。样品浓度为10 mg/mL,进样量为1.0 μL。通过碳的数量和不饱和度,并对比甘油三酯标准品的保留时间,得到每种甘油三酯的相对比例含量。

1.4.4 生育酚

使用配备有紫外检测器(SPD-20A)的高效液相色谱分析生育酚。称1 g油用色谱级正己烷稀释于10 mL容量瓶中。然后将20 μL的样品注入到机器中,流动相为己烷/异丙醇(98.5/1.5, v/v),流速为1.0 mL/min。柱温30 °C,检测波长为295 nm。通过建立标准曲线,对生育酚进行鉴定和定量分析,含量以mg/kg表示。

1.4.5 总酚

使用固相萃取柱和福林酚法分析总酚含量。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核桃油样品,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(9:1, v:v)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Na₂CO₃溶液,用水定容后避光静置2 h,过膜,用分光光度计检测样品在765 nm波长下的吸光度。

1.4.6 植物甾醇

使用配备有FID的气相色谱-质谱联用对植物

甾醇进行分析。将200 mg的油与0.5 mL的0.1 mg/mL的5α-胆甾烷和3 mL的2 mol/L氢氧化钾-乙醇溶液混合。将混合物在85 °C下皂化1 h,冷却后添加3次5 mL己烷和2 mL蒸馏水以提取不皂化物。然后将产物通过氮气干燥,并在75 °C下用200 μLN,O-双(三甲基硅)三氟乙酰胺(含三甲基氯硅烷)硅烷化30 min,冷却。将1 μL制备的样品注入气相色谱仪,并通过DB-5毛细管柱(0.25 μm, 30 m×0.25 mm;安捷伦)进行分离。初始柱温设定为200 °C,0.5 min后以10 °C/min的速率升至300 °C,并保持18 min。FID和进样器温度均为280 °C。氮气(载气)流速为1.2 mL/min,分流比为1:100。另外,离子源和传输线温度分别为280 °C和250 °C。电离模式为电子碰撞离子源,质量范围为50~550 m/z。植物甾醇含量以mg/kg表示。

1.4.7 氧化稳定指数

根据 AOCS Cd12b-92 方法,使用 Rancimat 743 型测量氧化稳定指数(OSI),并以小时为单位记录结果。

2 结果与分析

2.1 脂肪酸组成

表1列出了不同产区核桃油的脂肪酸组成范围及平均值,从表中可以看出,核桃油的主要脂肪酸为C16:0(3.05%~8.27%),C18:0(1.00%~3.53%),C18:1(12.56%~26.04%),C18:2(51.21%~68.97%)和C18:3(6.82%~15.01%)。不同产区核桃油的次要脂肪酸,如C12:0、C14:0、C17:0、C20:0和C22:1,没有明显的差异。我国不同产区的核桃油富含66.33%~78.66%的PUFA,PUFA已经被证实对人体的健康有益,证明我国核桃油是一种具有高营养价值的食用油。

东部地区核桃油的油酸含量平均值为15.82%,西南地区和西北地区的平均值分别为19.56%和19.98%。Poggettiet等^[7]发现油酸含量和日温度具有显著的线性正相关。东部地区的平均气温低于其他地区,因此表现出这样的趋势。由此可知,影响我国不同产区核桃油脂肪酸组成的主要因素是核桃的种植气候。与Gharibzahedi等^[8]研究的波斯核桃油脂肪酸组成对比后,发现我国不同产

表 1 我国不同产区核桃油的脂肪酸组成范围及平均值

%

产区	C16 0	C18 0	C18 1	C18 2	C18 3	C20 1	SFA	MUFA	PUFA
西南地区 (N=5)	5.11~6.53 5.61	2.14~2.70 2.40	17.59~24.71 19.56	58.80~66.97 63.39	6.82~9.80 8.30	0.04~0.28 0.20	7.34~9.19 8.16	18.10~25.64 19.95	66.90~73.90 71.89
西北地区 (N=5)	5.60~8.27 6.73	2.60~3.53 2.81	15.45~26.04 19.98	51.21~65.23 59.45	7.25~15.01 10.14	0.19~0.54 0.28	7.98~12.27 9.66	15.67~27.63 20.43	66.33~75.64 69.91
东部地区 (N=6)	3.05~6.54 5.29	1.01~3.06 2.25	12.56~17.06 15.82	63.71~68.97 66.36	7.05~11.79 9.63	0.12~0.36 0.23	4.08~9.75 7.62	12.77~17.42 16.07	73.44~78.66 76.32

注：表中第一行数值分别为最小值和最大值。第二行数值为平均值。SFA (C14 0+C16 0+C18 0), MUFA (C16 1+C18 1+C20 1), PUFA (C18 2+C18 3).

区核桃油的脂肪酸组成中的 C16 0 和 C18 2 含量较低。Bada 等人^[9]研究的西班牙 15 种核桃油脂肪酸组成比较，发现与我国不同产区核桃油的脂肪酸组成中 C18 2 和 C18 3 含量比较接近，且 C16 0 的比例较高。

2.2 甘油三酯组成

表 2 为我国不同产区核桃油的甘油三酯组成范围及平均值，共检测出 13 种甘油三酯：PLL，OLL，OLLn，LLL，LLLn，POP，PPL，POS，POO，POL+PLO，SOS，OOO 和 OOL。不同产区核桃油的主要甘油三酯 PLL (5.96%~14.98%)，OLL (9.65%~15.46%)，OLLn (17.07%~24.18%)，LLL (27.87%~39.47%) 和 LLLn (6.42%~12.43%) 含量总和超过 80%，此外，PLS，PLO，LLnLn 和 LnLnLn 的含量均小于 0.01% 或未检出，故未在表中列出。由于脂肪酸组成不同，东部地区的 LLL 较高 (平均值 35.44%) 高于其他地区 (平均值：西南地区 31.68% 和西北地区 30.82%)，但 POL (平均值 4.19%) 和 OOL (平均值 2.91%) 含量低于其他地区，我国不同产区核桃油相比较于西班牙核桃油^[9]，其中 LLL 含量 27.87%~39.47% 和 OLLn 含量 17.07%~24.18% 高于西班牙核桃油的 LLL 含量 (24.67%~29.20%) 和 OLLn 含量 (4.60%~5.65%)。可见脂肪酸组成和含量、地理环境对甘油三酯的组成和含量具有重要影响。

2.3 总酚与生育酚含量

表 3 列出了我国不同产区核桃油的总酚及生育酚含量范围及平均值，共检测到 α ， γ 和 δ 三种形式的生育酚。 α -生育酚的含量较低，三个产区的平均值为 46.28 mg/kg。 γ -和 δ -生育酚的含量相

差不大，三个产区的平均值分别为 316.62 mg/kg，309.29 mg/kg。总酚含量和生育酚含量的平均值从高到低依次为西北地区，东部地区和西南地区。西班牙的核桃油^[10]有四种形式生育酚： α ， β ， γ 和 δ 。相比较而言，我国三个产区核桃油的总酚含量平均值 (758.89 mg/kg)，高于西班牙核桃油的总酚含量平均值 (436.2 mg/kg)。原因可能如 Lavedrine 等人^[11]所述，地理位置是影响核桃中生育酚含量的主要因素。

表 2 我国不同产区核桃油的甘油三酯组成范围及平均值 %

甘油三酯	西南地区(N=5)	西北地区(N=5)	东部地区(N=6)
PLL	9.38~12.09 10.95	9.87~12.77 11.82	5.96~14.98 10.89
OLL	11.15~15.46 12.53	10.22~12.16 10.93	9.65~11.80 10.33
OLLn	20.44~23.51 21.92	17.07~20.27 19.05	18.16~24.18 20.94
LLL	27.87~35.13 31.68	28.09~33.60 30.82	31.28~39.47 35.44
LLLn	6.42~10.06 8.12	7.17~11.03 9.86	8.23~12.43 10.71
POP	0.11~0.27 0.18	0.13~0.58 0.30	0.12~0.20 0.16
PPL	0.31~0.84 0.55	0.43~1.34 0.65	0.16~0.51 0.42
POS	nd~0.16 0.06	0.06~0.25 0.17	0.08~0.21 0.15
POO	1.21~1.92 1.60	1.15~4.32 2.21	1.01~1.52 1.23
POL+PLO	4.67~5.41 5.09	4.55~7.12 5.21	2.45~5.25 4.19
SOS	1.70~2.55 2.12	2.07~3.23 2.66	1.23~3.89 2.33
OOO	0.39~0.83 0.58	0.35~1.01 0.55	0.19~0.48 0.30
OOL	3.54~6.98 4.62	2.95~11.94 5.17	2.31~3.52 2.91

注：表中结果第一行数值分别为最小值和最大值。第二行数值为平均值。nd 为未检出。

表 3 我国不同产区核桃油的总酚及生育酚含量范围及平均值

mg/kg

产区	生育酚			总酚
	α -生育酚	γ -生育酚	δ -生育酚	
西南地区 (N=5)	19.25~105.57 52.20	138.98~364.53 247.63	131.81~350.14 238.12	470.23~602.18 538.02
西北地区 (N=5)	14.85~72.68 39.14	169.69~1303.70 352.33	161.40~1259.41 353.82	345.95~2579.88 1005.29
东部地区 (N=6)	10.04~136.73 47.51	268.71~454.75 349.90	257.39~437.53 335.94	545.78~924.42 733.34

注：表中第一行数分别为最小值和最大值。第二行数数值为平均值。

2.4 植物甾醇

表 4 为我国不同产区核桃油的植物甾醇含量范围及平均值。植物甾醇通常作为油脂的营养补充剂，是核桃油中非皂苷植物甾醇含量的主要部分，我国不同产区核桃油含量为 540~1 594 mg/kg。核桃油中菜油甾醇， Δ 5-燕麦甾醇和 β -谷甾醇含量较高，三种甾醇占到植物甾醇总含量的 90%以上。

据 Amaral 等人^[12]研究发现，葡萄牙的核桃油也有类似的结果，三种甾醇总量占到 88%~92%。 β -谷甾醇，西北地区的含量要明显低于其他两个地区，比 Madawala^[13]等人测定的瑞士核桃油(1 652 mg/kg)中的平均含量还低。此外在我国核桃油中还发现少量的豆甾醇， Δ 5, 24-豆甾二烯醇和 Δ 7-菜油甾醇。

表 4 我国不同产区核桃油的植物甾醇含量范围及平均值

mg/kg

产区	菜油甾醇	豆甾醇	β -谷甾醇	Δ 5-燕麦甾醇	Δ 5,24-豆甾二烯醇	Δ 7-菜油甾醇
西南地区 (N=5)	26.53~142.35 65.05	0.77~20.96 10.18	513.74~1340.76 814.18	36.08~112.39 64.45	4.51~28.24 16.82	3.88~23.70 14.90
西北地区 (N=5)	16.32~120.61 54.29	0.29~4.16 2.62	453.71~913.15 597.26	16.45~92.61 47.11	5.19~16.49 8.42	7.67~13.45 10.24
东部地区 (N=6)	18.45~76.38 37.78	0.25~1.38 0.93	568.94~1223.96 835.71	28.98~138.98 62.40	8.20~14.02 11.86	8.53~15.24 11.13

注：表中第一行数分别为最小值和最大值。第二行数数值为平均值。

2.5 氧化稳定指数

表 5 显示了不同产区核桃油的氧化稳定指数范围及平均值，不同产区核桃油的平均氧化稳定指数间不存在显著差异，且十分相近。东部地区的平均值为 2.73 h，比其他两个地区平均值 2.59 h 和 2.41 h 稍高。但相同地区不同核桃油之间的差异显著，西南地区的值相差很大差值为 2.17 h，而西北地区的差值为 1.46 h。根据 Roszkowska^[14]

等人研究，氧化稳定指数的差异与脂肪酸组成和微量伴随物有关。故对 OSI、脂肪酸组成、微量伴随物之间进行了多元线性回归分析。

表 6 显示了亚油酸是脂肪酸组成中作用最显著的自变量，表明亚油酸含量较高的油更易被氧化。亚油酸是核桃油中的主要脂肪酸，脂肪酸中

表 5 我国不同产区核桃油的氧化稳定指数范围及平均值 h

产区	OSI
西南地区 (N=5)	1.20~3.37 2.59
西北地区 (N=5)	1.55~3.01 2.41
东部地区 (N=6)	2.41~3.21 2.73

注：表中第一行数据分别为最大值、最小值。第二行数数值为平均值。

表 6 与氧化稳定指数相关的多元线性回归分析

因变量 = OSI/h					
自变量=脂肪酸组成/%					
自变量	R	系数	标准差	t	显著性(双尾 p)
常数	1.486 E-06		0.207	0.000	1.000
亚油酸	-0.891	-0.891	0.227	-3.933	0.017
自变量 = 总酚和生育酚含量/(mg/kg)					
自变量	R	系数	标准差	t	显著性(双尾 p)
常数	-1.189 E-06		0.198	0.000	1.000
α -生育酚	0.713	0.713	0.038	18.910	0.000
总酚	0.369	0.369	0.038	9.767	0.002

注：OSI，氧化稳定指数。p<0.05，表示回归方程显著。

存在的双键是脂质氧化的主要因素，因为它们可以充当自由基受体，脂质氧化速率与脂肪酸不饱和度成正比。Vidrih 等人^[15]解释了 OSI 与 PUFA 含量之间的负相关关系，OSI 值随着亚油酸和亚麻酸含量的降低而增加。而核桃油中 PUFA 的含量最高是亚油酸，与此相符。因此，核桃油中的亚油酸是氧化降解的原因之一。

在 OSI 与微量伴随物 α -生育酚之间有显著关联性。其抗氧化机理是 α -生育酚可通过两种方式抗氧化：一是用作氧清除剂，淬灭单线态氧，另一种用作自由基清除剂，从而在链引发和链增长阶段的循环中阻断脂质氧化。尽管 α -生育酚在核桃油中含量不高，但在抗氧化中起着非常重要的作用。与此同时，总酚含量对氧化稳定指数也有显著影响。通常认为总酚的抗氧化作用归因于其自由基的清除，氧化还原活性金属的螯合以及通过高度前氧化态的还原而使血红蛋白失活，因为它可以释放氢离子，从而破坏氧化链反应的终止。综上所述， α -生育酚和总酚含量是影响核桃油氧化稳定指数的两个最重要因素。

3 结论

本研究中 16 种我国不同产区核桃油的亚油酸含量平均在 63.07%，亚麻酸平均在 9.36%，证明我国核桃油是良好的不饱和脂肪酸来源。由于核桃的产区不同，地理位置和气候不同，导致油中脂肪酸组成和生育酚的含量存在显著差异。根据氧化稳定指数与脂肪酸组成、微量伴随物之间的相关性分析，得出亚油酸 ($R = -0.891, P < 0.01$) α -生育酚 ($R = 0.713, P < 0.01$) 和总酚含量 ($R = 0.393, P < 0.01$) 是影响核桃油氧化稳定性的主要因素。

参考文献:

- [1] 贺娜, 陈海云, 宁德鲁, 等. 3 种抗氧化剂对核桃油稳定性的影响[J]. 西部林业科学, 2019(2): 59-63.
- [2] 王丁丁, 赵见军, 张润光, 等. 核桃油研究进展[J]. 食品工业科技, 2013(16): 344-348.
- [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(6): 71-74.
- [4] 戚登斐, 张润光, 韩海涛. 核桃油中亚油酸分离纯化技术研究及其降血脂功能评价[J]. 中国油脂, 2019(2): 104-108.
- [5] 朱琳, 薛雅琳, 张东, 等. 特种植物油中甾醇总量及组成分析[J]. 粮油食品科技, 2015(2): 49-52.
- [6] 周旭. 几种油溶性天然抗氧化剂在核桃油、葡萄籽油中的应用研究[J]. 中国油脂, 2017(3): 64-68.
- [7] POGGETTI L, FERFUIA C, CRISTINA CHIABÀ, et al. Kernel oil content and oil composition in walnut (*Juglansregia L.*) accessions from North Eastern Italy[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 98(3): 955-962.
- [8] GHARIBZAHEDI S M T, MOUSAVI S M, HAMED M, et al. Determination and characterization of kernel biochemical composition and functional compounds of Persian walnut oil[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(1): 34-42.
- [9] BADA J C, M. LEÓN-CAMACHO, PRIETO M, et al. Characterization of Walnut Oils (*JuglansregiaL.*) from Asturias, Spain[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 87(12): 1469-1474.
- [10] ABDALLAH I B, TLILI N, MARTÍNEZ FORCE, ENRIQUE, et al. Content of carotenoids, tocopherols, sterols, triterpenic and aliphatic alcohols, and volatile compounds in six walnuts (*Juglansregia L.*) varieties[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 972-978.
- [11] ERMAN DUMAN, MEHMET MUSA ÖZCAN. Physicochemical properties of seeds of Capparis species growing wild in Turkey[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186(4): 2393-2398.
- [12] AMARAL J S, CASAL S, PEREIRA, JOSÉ A, et al. Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (*Juglansregia L.*) Cultivars Grown in Portugal[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(26): 7698-7702.
- [13] MADAWALA, S. R. P., KOCHHAR, S P, & DUTTA, P. C. Lipid components and oxidative status of selected specialty oils. GrasasyAceites, 2012), 63: 143-151.
- [14] ROSZKOWSKA B, TAŃSKA, MALGORZATA, CZAPLICKI S, et al. Variation in the composition and oxidative stability of commercial rapeseed oils during their shelf life[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2015, 117(5): 673-683.
- [15] VIDRIH R, VIDA KOVIC S, ABRAMOVIC H. Biochemical Parameters and Oxidative Resistance to Thermal Treatment of Refined and Unrefined Vegetable Edible Oils[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2010, 28(5): 376-384. ㉞

(审核: 谭云)