

# 焙炒对紫苏籽油理化性质及化学组成的影响

郭旭<sup>1,2</sup>, 张东<sup>2</sup>, 孙晓丽<sup>1</sup>, 田荣荣<sup>1</sup>

(1. 北京城市学院 生物医药学部, 北京 100094; 2. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

**摘要:**为改善紫苏籽油的品质,对紫苏籽在不同条件下焙炒(温度140~180℃,时间10~30 min)预处理后提取紫苏籽油,测定不同焙炒条件下紫苏籽油理化性质(色泽、酸值、过氧化值、共轭二烯含量、共轭三烯含量)和化学组成(脂肪酸、生育酚、甘油三酯),研究焙炒对紫苏籽油品质的影响。结果表明:焙炒温度在140~180℃,随焙炒时间的延长,紫苏籽油的色泽逐渐加深;酸值整体低于未焙炒的,过氧化值在140、160℃变化不明显,在180℃先升高再降低;共轭二烯和共轭三烯的含量在140、160℃变化不明显,在180℃增加明显;生育酚含量在180℃下损失明显,而脂肪酸和甘油三酯的组成和含量无明显变化。综合各指标,焙炒温度140~160℃和焙炒时间10~20 min条件下焙炒紫苏籽得到的紫苏籽油品质良好。

**关键词:**焙炒;紫苏籽油;理化性质;化学组成

中图分类号:TS224.3;TS207.7 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)08-0071-06

## Effect of roasting on physicochemical properties and chemical composition of perilla seed oil

GUO Xu<sup>1,2</sup>, ZHANG Dong<sup>2</sup>, SUN Xiaoli<sup>1</sup>, TIAN Rongrong<sup>1</sup>

(1. Department of Biomedicine, Beijing City University, Beijing 100094, China; 2. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

**Abstract:** To improve the quality of perilla seed oil, perilla seed oil was extracted after pretreatment by roasting under different conditions (temperature 140 - 180 °C, time 10 - 30 min), and the physicochemical properties (color, acid value, peroxide value, conjugated diene content, conjugated triene content) and chemical composition (fatty acids, tocopherols, triglycerides) of perilla seed oil were determined to study the effect of roasting on the quality of perilla seed oil. The results showed that with the increase of roasting time, the color of perilla seed oil deepened at 140 - 180 °C, the acid value was lower than that of the oil prepared with the unroasted perilla seed, the peroxide value did not change significantly at 140 °C and 160 °C, but increased and then decreased at 180 °C, the content of conjugated diene and conjugated triene did not change significantly at 140 °C and 160 °C, but increased significantly at 180 °C, and the tocopherols content lost significantly at 180 °C, while the composition and content of fatty acids and triglycerides did not change significantly. In summary, the quality of perilla seed oil obtained by roasting perilla seeds at 140 - 160 °C for 10 - 20 min was good.

**Key words:** roasting; perilla seed oil; physicochemical property; chemical composition

收稿日期:2021-07-20;修回日期:2022-03-31

基金项目:国家自然科学基金委员会青年科学基金项目(21808004)

作者简介:郭旭(1997),女,在读硕士,研究方向为药食资源研究与开发(E-mail)739825865@qq.com。

通信作者:田荣荣,副教授(E-mail)576407747@qq.com。

紫苏(*Perilla frutescens* (L.) Britt.)是唇形科一年生草本植物,在我国至少有2 000年的种植历史<sup>[1]</sup>。由于经济价值和使用价值的不断提升,紫苏受到越来越多的关注<sup>[2]</sup>。紫苏籽油来源于紫苏籽,含有丰富的生物活性物质,同时,紫苏籽油还含有丰富的 $\alpha$ -亚麻酸,而 $\alpha$ -亚麻酸具有抗动脉粥样硬化<sup>[3]</sup>、改善记忆和学习能力<sup>[4]</sup>、改善视觉功

能<sup>[5]</sup>、抗老年痴呆<sup>[6-7]</sup>、抗菌消炎<sup>[8-9]</sup>、抗抑郁<sup>[10]</sup>等功效。

压榨前对油料进行焙炒是我国传统的制油加工方式。焙炒可以提高油料的出油率,赋予油脂特殊的风味和香气,同时使油脂的理化性质和化学成分发生不同程度的变化。Suri 等<sup>[11]</sup>研究了微波焙炒对亚麻籽油的影响,发现随着微波功率的增加和辐射时间的延长,亚麻籽油的色泽逐渐加深,总酚、叶绿素和类胡萝卜素含量增加;Zhang 等<sup>[12]</sup>研究发现,焙炒改变了辣椒籽的主要糖类组成和氨基酸组成,同时提高了辣椒籽油的氧化稳定性;姚宏燕等<sup>[13]</sup>研究表明,随着焙炒时间的延长和焙炒温度的升高,奇亚籽油的色泽加深,酸值、过氧化值、共轭二烯含量及共轭三烯含量升高。

目前,关于紫苏籽油的研究多集中于提取工艺的优化<sup>[14]</sup>,不同品种<sup>[15]</sup>、不同产地<sup>[16]</sup>和不同精炼程度<sup>[17]</sup>对紫苏籽油理化性质和化学成分的影响。有关焙炒对紫苏籽油品质尤其是作为主要组分的甘油三酯的影响研究较少。因此,本文以紫苏籽为原料,对其进行不同程度的焙炒预处理,分析不同焙炒条件对紫苏籽油理化性质和化学组成的影响,以期为紫苏籽油适度加工和品质提升提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

紫苏籽(来自黑龙江省黑河市爱辉区),市售。

氢氧化钾、可溶性淀粉、硫代硫酸钠、硫酸氢钠、异辛烷、碘化钾、三氯甲烷、石油醚、冰乙酸,分析纯; $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚标准品,西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;乙腈、异丙醇、正己烷、四氢呋喃、正庚烷,色谱纯,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;实验用水为超纯水。

#### 1.1.2 仪器与设备

DHG-9070A 型电热恒温鼓风干燥箱;电子天平;FE-100 型高速万能粉碎机;H3-18KR 型台式高速冷冻离心机;R100 型旋转蒸发器,瑞士 Buchi 公司;FD-1A-50 型冻干机;移液枪;6890N 型气相色谱仪、1290 型高效液相色谱(HPLC)-6545 型飞行时间质谱(MS)联用仪,美国 Agilent 公司;KQ-500DE 型数控超声波清洗器;Vorten-Genie27 型漩涡混合器,美国 Scientific Industries 公司;分光测色仪;P9 型紫外-可见分光光度计;E2695 型液相色谱仪(配 2424 型蒸发光散射检测器),美国 Waters 公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 紫苏籽油的制备

称取 200 g 紫苏籽样品,平铺在烤盘上,放入电热恒温鼓风干燥箱中进行焙炒预处理,分别在 140、160、180 °C 下焙炒 10、20、30 min,然后冷却至室温,用粉碎机粉碎成粉末后放于锥形瓶中,加入 150 mL 石油醚(沸程 30 ~ 60 °C),完全将紫苏籽粉浸没,放置于超声波清洗器中超声 20 min,取上清液,沉淀再重复上述操作,合并两次上清液,于 4 000 r/min 离心 10 min,将上层液体经旋转蒸发浓缩,冷冻干燥,即得紫苏籽油。以未焙炒的紫苏籽重复上述提取操作,得到对照样品。

### 1.2.2 理化性质的测定

采用色差仪对紫苏籽油的色泽进行测定,其中, $L^*$ 为明暗度, $a^*$ 为红绿度, $b^*$ 为黄蓝度;酸值测定参考 GB 5009.229—2016;过氧化值测定参考 GB 5009.227—2016;共轭二烯含量( $K_{232}$ )和共轭三烯含量( $K_{268}$ )的测定参考 GB/T 22500—2008。

### 1.2.3 脂肪酸组成的测定

采用气相色谱法测定紫苏籽油的脂肪酸组成。样品前处理参考 GB 5009.168—2016。

气相色谱条件:VF-23MS 毛细管柱(30 m × 0.25 mm, 0.25  $\mu$ m),柱升温程序为初始温度 110 °C,保持 3 min,然后以 4 °C/min 升温至 220 °C,保持 15 min;载气(高纯氮气)流速 1.8 mL/min;分流比 100:1;进样量 1  $\mu$ L;进样口温度和检测器温度均为 260 °C;氢气流速 40 mL/min,空气流速 450 mL/min。

采用峰面积归一化法定量。

### 1.2.4 生育酚含量的测定

参考文献[18]的方法,将 0.25 g 紫苏籽油转移到容量瓶中,用 25 mL 正己烷溶解并定容,然后用漩涡混合器混合。溶液通过 0.45  $\mu$ m 聚四氟乙烯膜过滤,待液相色谱分析。

液相色谱条件:Lichrospher Diol 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5  $\mu$ m);荧光检测器,激发波长 295 nm,发射波长 330 nm;流动相为四氢呋喃-正庚烷(体积比 40:1 000),流速 1 mL/min;进样量 5  $\mu$ L。

采用外标法定量。

### 1.2.5 甘油三酯含量的测定

参考文献[19]的方法,称取 100 mg 紫苏籽油于 100 mL 容量瓶中,加入异丙醇溶解并定容,经 0.2  $\mu$ m 尼龙过滤膜过滤后,进高效液相色谱-飞行时间质谱联用仪待测。

HPLC 条件:Symmetry C18 色谱柱(4.6 mm ×

250 mm, 5  $\mu\text{m}$ ); 柱温 45  $^{\circ}\text{C}$ ; 流动相 A 为异丙醇, 流动相 B 为乙腈, 流速 0.6 mL/min; 梯度洗脱程序为 0 ~ 14.0 min 20% A, 14.0 ~ 27.0 min 20% ~ 30% A, 27.0 ~ 35.0 min 30% A, 35.0 ~ 35.1 min 30% ~ 20% A, 35.1 ~ 42.0 min 20% A; 进样量 5  $\mu\text{L}$ 。

MS 条件: 采集模式 APCI<sup>+</sup>, 扫描范围( $m/z$ ) 100 ~ 1 000; 干燥气温度 300  $^{\circ}\text{C}$ ; 干燥气流速 4 L/min; 汽化室温度 350  $^{\circ}\text{C}$ ; 毛细管电压 3 kV; 电晕电流 4  $\mu\text{A}$ 。

采用 APCI 质谱图中各种碎片离子峰的强度以及质量数定性, 液相色谱峰面积归一化法定量。

表 1 焙炒温度和焙炒时间对紫苏籽油色泽的影响

色泽	对照	140 $^{\circ}\text{C}$			160 $^{\circ}\text{C}$			180 $^{\circ}\text{C}$		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
$L^*$	29.27	27.16	26.42	26.24	28.71	26.79	26.90	28.56	26.21	24.74
$a^*$	1.06	0.75	0.96	0.57	0.14	0.73	0.92	-0.57	1.03	1.99
$b^*$	7.01	9.59	8.66	8.56	9.81	8.35	7.48	8.73	7.28	5.98

由表 1 可知, 在各焙炒温度下, 随焙炒时间延长,  $L^*$  值逐渐减小, 紫苏籽油的色泽逐渐变深, 其中在 180  $^{\circ}\text{C}$  下焙炒 20 min 和 30 min 后紫苏籽油已呈棕褐色。随着焙炒程度加深,  $a^*$  值整体逐渐增大, 这是因为紫苏籽的焙炒预处理会使紫苏籽油中的叶绿素发生降解, 油脂红色值增加。随着焙炒温度的升高和焙炒时间的延长,  $b^*$  值整体逐渐减小。推测紫苏籽油的色泽逐渐加深是由于焙炒预处理使紫苏籽的水分减少, 同时发生了化学反应(包括美拉德反应), 促进了色素物质的生成。美拉德反应是导致含有还原糖和游离氨基的食品褐变的原因<sup>[20]</sup>。高温焙炒时, 美拉德反应加剧, 产生类黑精、还原酮类等挥发性杂环化合物<sup>[21]</sup>, 从而对紫苏籽油的色泽产生较大影响。

### 2.1.2 酸值和过氧化值

焙炒条件对紫苏籽油酸值和过氧化值的影响分别见图 1、图 2。

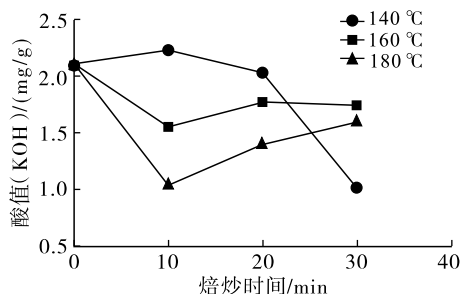


图 1 焙炒条件对紫苏籽油酸值的影响

由图 1 可知, 紫苏籽经过焙炒后制取的紫苏籽油酸值(KOH)在 1.02 ~ 2.24 mg/g 之间, 在国家食

### 1.2.6 数据分析

采用 Excel 2019、Origin 2019b 处理数据并作图; 采用 SPSS 26.0 软件进行显著性差异分析,  $p < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 焙炒条件对紫苏籽油理化性质的影响

#### 2.1.1 色泽

色泽是最直观反映油脂品质的因素之一。焙炒温度和焙炒时间对紫苏籽油色泽的影响如表 1 所示。

用油卫生安全标准范围之内(3 mg/g)。在焙炒温度 140  $^{\circ}\text{C}$  时, 随焙炒时间延长(10 ~ 30 min), 紫苏籽油的酸值降低, 可能是由于焙炒过程中脂肪酶或脂氧合酶失活<sup>[22]</sup>导致。在焙炒温度 160、180  $^{\circ}\text{C}$  时, 随焙炒时间延长(10 ~ 30 min), 紫苏籽油的酸值有升高的趋势, 但均低于未焙炒预处理的。在焙炒温度 160、180  $^{\circ}\text{C}$  下, 发生氧化酶失活的同时, 紫苏籽油中的磷脂也发生降解, 从而导致紫苏籽油的酸值呈现上升趋势。但总体来说, 适度的焙炒降低了紫苏籽油的酸值。

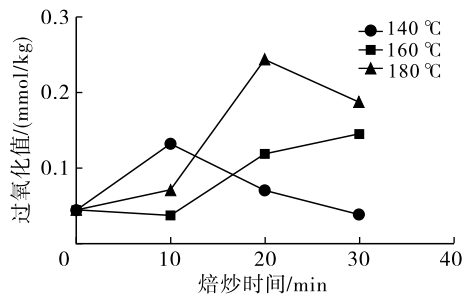


图 2 焙炒条件对紫苏籽油过氧化值的影响

由图 2 可知, 紫苏籽经焙炒后制取的紫苏籽油的过氧化值在 0.04 ~ 0.25 mmol/kg 之间。焙炒温度 140、160  $^{\circ}\text{C}$  时各焙炒时间下的过氧化值变化不明显, 推测焙炒温度较低时, 在一定焙炒时间范围内对紫苏籽油的过氧化值影响不大; 而在焙炒温度 180  $^{\circ}\text{C}$  时, 随焙炒时间延长, 紫苏籽油的过氧化值先增加后减少, 这是因为在油脂氧化的初期形成的过氧化物是不稳定的, 易分解生成次级氧化产物<sup>[23]</sup>。焙炒温度升高或焙炒时间延长在不同程度上均促进了紫苏籽油中多不饱和脂肪酸的氧化分解, 焙炒温

度越高,氧化分解速率越快,过氧化值就越高,故在制备紫苏籽油的过程中应控制好紫苏籽的焙炒条件。

### 2.1.3 共轭二烯含量和共轭三烯含量

高温会使紫苏籽油中不饱和脂肪酸的非共轭双键氧化生成过氧化氢后发生重排,生成共轭二烯和共轭三烯,二者分别在 232 nm 和 268 nm 处有明显的吸收峰<sup>[24]</sup>。焙炒条件对紫苏籽油共轭二烯含量和共轭三烯含量的影响分别见图 3 和图 4。

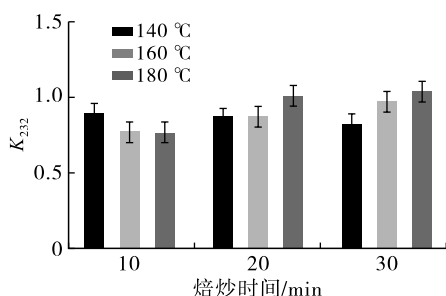


图 3 焙炒条件对紫苏籽油共轭二烯含量的影响

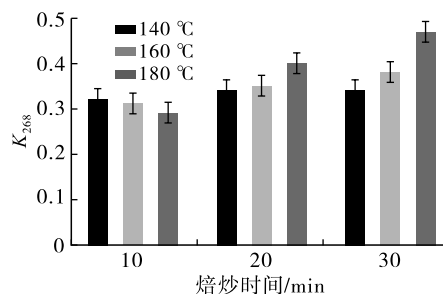


图 4 焙炒条件对紫苏籽油共轭三烯含量的影响

由图 3、图 4 可知,140 °C 和 160 °C 下焙炒紫苏籽时,不同焙炒时间的紫苏籽油  $K_{232}$ 、 $K_{268}$  的变化不大,但在 180 °C 下焙炒紫苏籽时,随焙炒时间的延长紫苏籽油的  $K_{232}$  和  $K_{268}$  增加较大。对照组样品的  $K_{232}$  和  $K_{268}$  分别为 0.81、0.30,与 140 ~ 180 °C 焙烤 10 min 的紫苏籽油的差异不显著,与 Hashemi 等<sup>[25]</sup> 研究发现在微波加热早期阶段油脂的共轭二烯和共轭三烯含量变化不显著的结果基本一致。

### 2.2 焙炒条件对脂肪酸组成及含量的影响(见表 2)

表 2 焙炒温度和焙炒时间对紫苏籽油脂肪酸组成及含量的影响

脂肪酸	对照样品的含量/%	140 °C 的含量/%			160 °C 的含量/%			180 °C 的含量/%		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
C16:0	5.54	5.55	5.55	5.43	5.45	5.52	5.57	5.44	5.49	5.60
C16:1	0.19	0.20	0.20	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19
C18:0	1.45	1.46	1.46	1.43	1.43	1.45	1.46	1.46	1.47	1.49
C18:1	10.01	10.11	10.10	9.78	9.80	9.95	10.06	9.74	9.80	10.06
C18:2	11.89	11.85	11.88	12.12	12.12	12.03	11.97	12.07	12.12	12.03
C18:3	70.86	70.78	70.77	71.02	70.97	70.81	70.71	71.06	70.88	70.59
C22:0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
SFA	7.04	7.06	7.06	6.91	6.93	7.02	7.08	6.95	7.01	7.14
MUFA	10.20	10.31	10.30	9.96	9.98	10.13	10.24	9.93	9.99	10.25
PUFA	82.75	82.63	82.63	83.14	83.09	82.84	82.68	83.13	83.00	82.62

注:SFA. 饱和脂肪酸;MUFA. 单不饱和脂肪酸;PUFA. 多不饱和脂肪酸

由表 2 可知,紫苏籽油的主要脂肪酸为油酸、亚油酸、亚麻酸,这与许春芳等<sup>[16]</sup> 的研究结果一致。紫苏籽油(未焙炒)中脂肪酸组成为:棕榈酸 5.54%,棕榈油酸 0.19%,硬脂酸 1.45%,油酸 10.01%,亚油酸 11.89%,亚麻酸 70.86%,山嵛酸 0.05%,不饱和脂肪酸含量为 92.95%。与未焙炒紫苏籽油比较,在 140 ~ 180 °C 焙炒 10 ~ 30 min,紫苏籽油脂肪酸组成及含量无显著变化,与 Kaseke 等<sup>[26]</sup> 对石榴籽进行微波焙炒发现焙炒条件对其脂肪酸组成和含量影响不大的结果一致。

### 2.3 焙炒条件对生育酚组成及含量的影响(见表 3)

生育酚是一种天然抗氧化剂,具有很高的抗氧化能力。由表 3 可知,不同焙炒条件下(包括未焙

炒)紫苏籽油中总生育酚含量在 813.35 ~ 930.92 mg/kg,主要是  $\gamma$ -生育酚(787.69 ~ 902.41 mg/kg), $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\delta$ -生育酚含量较少。在 140 °C 下焙炒 10 ~ 30 min,总生育酚含量降低,但与未焙炒紫苏籽油比较无显著差异;在 160 °C 焙炒,随焙炒时间延长,总生育酚含量降低,其中焙炒 10 ~ 20 min 的紫苏籽油总生育酚含量高于未焙炒紫苏籽油;在 180 °C 焙炒 10 ~ 30 min,紫苏籽油总生育酚含量显著低于未焙炒和 140、160 °C 焙炒的。紫苏籽经长时间高温焙炒后,由于热降解,生育酚被氧化成生育醌,导致生育酚含量下降<sup>[23]</sup>。为了保持紫苏籽油的营养特性和稳定性,应该控制焙炒温度和焙炒时间,最大限度地减少对生育酚的破坏。

表3 焙炒温度和焙炒时间对紫苏籽油生育酚组成及含量的影响

生育酚	对照样品的含量/(mg/kg)	140℃的含量/(mg/kg)			160℃的含量/(mg/kg)			180℃的含量/(mg/kg)		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
α-生育酚	8.24bcde	8.05def	8.48abc	8.09cde	8.58ab	8.66a	8.39abcd	7.85ef	7.68f	8.22bcde
β-生育酚	6.84d	7.06cd	7.40abc	7.70ab	7.83a	7.62ab	7.29bcd	7.14cd	7.16cd	6.91d
γ-生育酚	878.88abc	848.43cd	866.65bc	856.52bc	902.41a	884.85ab	848.98cd	820.56de	787.69e	808.39e
δ-生育酚	11.26bc	10.88cd	11.08cd	11.72ab	12.10a	11.41b	10.83d	11.17cd	10.80d	10.72d
总生育酚	905.23abc	874.42cd	893.61bc	884.03bc	930.92a	912.54ab	875.49cd	846.73de	813.35e	834.24e

注:同行不同字母代表差异显著( $p < 0.05$ )

#### 2.4 焙炒条件对甘油三酯组成及含量的影响(见表4)

由表4可知,未焙炒紫苏籽油中甘油三酯含量分别为 LnLnLn 38.05%、LLnLn 15.65%、LLLn + OLnLn

16.03%、PLnLn 12.15%、LLL + OLLn 4.87%、PLLn 6.07%、OLL + PLL + OOLn 4.63%、POLn 2.57%,其中 LnLnLn、LLnLn、PLnLn 为主要甘油三酯。经不同条件焙炒,紫苏籽油的甘油三酯组成及含量无显著变化。

表4 焙炒温度和焙炒时间对紫苏籽油甘油三酯含量的影响

甘油三酯	对照样品的含量/%	140℃的含量/%			160℃的含量/%			180℃的含量/%		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
LnLnLn	38.05	38.01	38.08	38.44	38.38	38.14	38.00	38.39	38.30	38.12
LLnLn	15.65	15.68	15.66	15.84	15.86	15.76	15.68	15.71	15.74	15.68
LLLn + OLnLn	16.03	16.07	16.08	16.07	15.86	15.93	16.18	16.12	16.11	16.28
PLnLn	12.15	12.04	12.02	11.86	11.95	12.01	11.98	11.98	12.00	11.84
LLL + OLLn	4.87	4.84	4.84	4.89	4.92	4.92	4.86	4.87	4.91	4.89
PLLn	6.07	6.09	6.08	5.99	6.02	6.07	6.09	6.04	6.02	6.05
OLL + PLL + OOLn	4.63	4.70	4.68	4.47	4.54	4.63	4.66	4.45	4.44	4.62
POLn	2.57	2.58	2.56	2.44	2.47	2.54	2.55	2.45	2.47	2.51

注:P. 棕榈酸;O. 油酸;L. 亚油酸;Ln. 亚麻酸

### 3 结论

通过在 140~180℃焙炒紫苏籽 10~30 min,考察不同焙炒条件对紫苏籽油理化性质和化学成分的影响。结果发现,在 140~180℃焙炒条件下,随焙炒时间延长,紫苏籽油酸值整体低于未焙炒的,过氧化值在 140、160℃下变化不明显,在 180℃则先升高后下降,共轭二烯和共轭三烯含量在 140、160℃下变化不明显,在 180℃增加较大,而生育酚在 180℃下发生了明显降解,脂肪酸和甘油三酯的组成和含量未发生显著变化。综上,在焙炒温度 140~160℃和焙炒时间 10~20 min 下焙炒紫苏籽制取的紫苏籽油的品质良好。为了获得理想的紫苏籽油品质,对于紫苏籽的焙炒预处理,严格控制焙炒时间和焙炒温度是非常有必要的。

#### 参考文献:

- [1] 宋宇. 历史时期紫苏的种植与利用研究[J]. 信阳农林学院学报, 2020,30(4):101-105.
- [2] DHYANI A, CHOPRA R, GARG M. A review on nutritional value, functional properties and pharmacological application of perilla (*Perilla frutescens* L.)[J]. Biomed Pharmacol J, 2019,

12(2):649-660.

- [3] PIZZINI A, LUNGER L, DEMETZ E, et al. The role of omega-3 fatty acids in reverse cholesterol transport: a review[J/OL]. Nutrients, 2017,9(10):1099 [2021-07-01]. <https://doi.org/10.3390/nu9101099>.
- [4] LEE A Y, CHOI J M, LEE J, et al. Effects of vegetable oils with different fatty acid compositions on cognition and memory ability in Aβ 25-35-induced Alzheimer's disease mouse model[J]. J Med Food, 2016,19(10):912-921.
- [5] 蒋晖, 杨剑苏, 龙启豹. 紫苏籽油饮食控制治疗睑板腺功能障碍性干眼症[J]. 安徽医学, 2014,35(9):1235-1237.
- [6] KAMALASHIRAN C, PATTARAARCHACHAI J, MUENGTAWEEPONGSA S. Feasibility and safety of perilla seed oil as an additional antioxidative therapy in patients with mild to moderate dementia[J/OL]. J Aging Res, 2018, 2018:5302105 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.1155/2018/5302105>.
- [7] KAMALASHIRAN C, SRIYAKUL K, PATTARAARCHACHAI J, et al. Outcomes of perilla seed oil as an additional neuroprotective therapy in patients with mild to moderate dementia: a randomized control trial[J]. Curr Alzheimer

- Res, 2019,16(2):146 – 155.
- [8] CHANG H H, CHEN C S, LIN J Y. Dietary perilla oil inhibits proinflammatory cytokine production in the bronchoalveolar lavage fluid of ovalbumin – challenged mice [J]. *Lipids*, 2008,43(6):499 – 506.
- [9] QIU J, ZHANG X, LUO M, et al. Subinhibitory concentrations of perilla oil affect the expression of secreted virulence factor genes in *Staphylococcus aureus* [J/OL]. *PLoS One*, 2011,6(1):e16160[2021 – 07 – 01]. <http://europepmc.org/article/PMC/3023776>.
- [10] HASHIMOTO M, MATSUZAKI K, KATO S, et al. Twelve – month studies on perilla oil intake in Japanese adults: possible supplement for mental health [J/OL]. *Foods*, 2020,9(4):530[2021 – 07 – 01]. <https://doi.org/10.3390/foods9040530>.
- [11] SURI K, SINGH B, KAUR A, et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil [J/OL]. *Food Chem*, 2020,326:126974[2021 – 07 – 01]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126974>.
- [12] ZHANG R Y, LIU H M, MA Y X, et al. Effects of roasting on composition of chili seed and storage stability of chili seed oil [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2019,28(5):1475 – 1486.
- [13] 姚宏燕, 杨成, 沈晓芳. 烘烤条件对奇亚籽油理化性质及脂肪酸组成的影响 [J]. *中国油脂*, 2019, 44(11):8 – 12.
- [14] 程雪, 张秀玲, 孙瑞瑞, 等. 热处理辅助水酶法提取紫苏籽油的工艺优化 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(2):223 – 227.
- [15] 代春华, 徐志建, 沈晓昆, 等. 不同品种紫苏种子营养成分的分析 [J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(3):55 – 58.
- [16] 许春芳, 董喆, 郑明明, 等. 不同产地的紫苏籽油活性成分检测与主成分分析 [J]. *中国油料作物学报*, 2019, 41(2):275 – 282.
- [17] 温宝莉. 紫苏籽油精炼过程对其品质的影响的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [18] ZHANG D, LI X, CAO Y, et al. Effect of roasting on the chemical components of peanut oil [J/OL]. *LWT – Food Sci Technol*, 2020, 125:109249 [2021 – 07 – 01]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109249>.
- [19] 张东, 朱琳, 薛雅琳, 等. 反相高效液相色谱 – 飞行时间质谱法测定椰子油甘油三酯 [J]. *中国油脂*, 2016, 41(11):93 – 96.
- [20] LUO F, FEI X. Maillard reaction derived from oil – tea camellia seed through roasting [J]. *J Sci Food Agric*, 2019, 99(11):5000 – 5007.
- [21] 侯双瑞, 周波, 孙亚娟, 等. 烘焙工艺及杏仁种皮对杏仁油品质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(6):62 – 67.
- [22] SURI K, SINGH B, KAUR A, et al. Impact of infrared and dry air roasting on the oxidative stability, fatty acid composition, Maillard reaction products and other chemical properties of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed oil [J]. *Food Chem*, 2019, 295:537 – 547.
- [23] POIANA M. Enhancing oxidative stability of sunflower oil during convective and microwave heating using grape seed extract [J]. *Int J Mol Sci*, 2012, 13(7):9240 – 9259.
- [24] PADEHBAN L, ANSARI S, KOSHANI R. Effect of packaging method, temperature and storage period on physicochemical and sensory properties of wild almond kernel [J]. *J Food Sci Technol*, 2018, 55(9):3408 – 3416.
- [25] HASHEMI S, KHANEGHAH A M, KOUBAA M, et al. Novel edible oil sources: microwave heating and chemical properties [J]. *Food Res Int*, 2016, 92(2):147 – 153.
- [26] KASEKE T, OPARA U L, FAWOLE O A. Effect of microwave pretreatment of seeds on the quality and antioxidant capacity of pomegranate seed oil [J/OL]. *Foods*, 2020, 9(9):1287[2021 – 07 – 01]. <https://doi.org/10.3390/foods9091287>.
- [27] VAIDYA B, EUN J B. Effect of roasting on oxidative and tocopherol stability of walnut oil during storage in the dark [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2013, 115(3):348 – 355.