

# 红外预热处理对压榨紫苏籽油品质 及抗氧化活性的影响

贾晓倩<sup>1</sup>, 张琪<sup>1</sup>, 刘和平<sup>2</sup>, 王新顺<sup>2</sup>, 曾云军<sup>3</sup>, 钟耕<sup>1</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市红蜻蜓油脂有限责任公司, 重庆 400010;

3. 重庆市粮油质量监督检验站, 重庆 400037)

**摘要:** 采用不同温度、时间红外预热处理紫苏籽, 探讨其对压榨紫苏籽油品质(包括理化指标、脂肪酸组成、褐变程度、活性成分含量)、抗氧化活性及氧化稳定性的影响。结果表明: 经红外预热处理制备的紫苏籽油理化指标、脂肪酸组成均符合 LS/T 3254—2017《紫苏籽油》要求, 脂肪酸组成与未经红外预热的无显著差异, 且 180 °C 红外预热处理 30 min 能够显著提高紫苏籽油多酚和黄酮含量、抗氧化活性及氧化稳定性( $P < 0.05$ )。此外, 相关性分析表明紫苏籽油褐变程度、多酚含量、黄酮含量与抗氧化活性、氧化稳定性呈极显著或显著正相关( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ )。180 °C、30 min 适宜作为紫苏籽红外预热处理条件, 研究结果为紫苏籽油的制备提供了参考依据。

**关键词:** 紫苏籽油; 红外预热; 品质; 抗氧化活性

中图分类号: TS225.1; TS224.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)02-0016-07

## Effect of infrared preheating treatment on quality and antioxidant activity of pressed perilla seed oil

JIA Xiaoqian<sup>1</sup>, ZHANG Qi<sup>1</sup>, LIU Heping<sup>2</sup>, WANG Xinshun<sup>2</sup>,  
ZENG Yunjun<sup>3</sup>, ZHONG Geng<sup>1</sup>

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Red

Dragonfly Grease Co., Ltd., Chongqing 400010, China; 3. Chongqing Grain and Oil Quality

Supervision and Inspection Station, Chongqing 400037, China)

**Abstract:** The effects of infrared preheating temperature and time on the quality (including physicochemical indexes, fatty acid composition, brownness, active ingredients content), antioxidant activity and oxidation stability of perilla seed oil were explored. The results showed that physicochemical indexes and fatty acid composition all met the requirements of LS/T 3254—2017 *Perilla seed oil*, and the fatty acid composition had no significant differences with that of no infrared preheating treatment. The contents of polyphenol and flavonoid, antioxidant activity and oxidation stability were improved significantly at 180 °C infrared preheating for 30 min ( $P < 0.05$ ). In addition, the correlation analysis showed that the brownness and the contents of polyphenols and flavonoids were very significantly or significantly positively correlated with antioxidant activity and oxidation stability ( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ).

收稿日期: 2021-03-27; 修回日期: 2021-04-16

基金项目: 重庆市特色粮油技术产业体系(4322000088);  
重庆市优质粮食工程项目(1812001721)

作者简介: 贾晓倩(1994), 女, 在读硕士, 研究方向为粮食、  
油脂与植物蛋白工程(E-mail)409154002@qq.com。

通信作者: 钟耕, 教授, 博士(E-mail)980360686@qq.com。

The infrared preheating at 180 °C for 30 min was suitable as the preheating condition of perilla seeds. The results provided a reference for the preparation of perilla seed oil.

**Key words:** perilla seed oil; infrared preheating; quality; antioxidant activity

紫苏(*Perilla frutescens* L. Britt.)为唇形科草本植物,是我国传统的中药材及油料作物,主要分布于重庆、贵州、陕西、辽宁等地,其种植范围广,资源丰富。由紫苏籽制得的油被称为紫苏籽油,其 $\alpha$ -亚麻酸含量可达70.9%,且富含多酚、黄酮、生育酚、甾醇等活性成分<sup>[1-2]</sup>,不仅可以改善国人因传统饮食导致的 $\omega$ -6与 $\omega$ -3脂肪酸比例失衡问题,还具有抗氧化<sup>[3]</sup>、降血脂<sup>[4]</sup>、抗炎<sup>[5]</sup>等功效,是一种良好的保健食用油。

食用油制备工艺中,油料预热处理对油脂的品质有重要影响<sup>[6-7]</sup>。红外预热处理通过红外辐射直接以电磁波方式加热物料,热效率高、无污染,能避免热风传导引起的热损失,且具有红外线可控性好的特点<sup>[8]</sup>,是一种有效的预热处理方式。目前红外预热处理已在油料中有所应用,如:Suri等<sup>[6]</sup>研究表明,红外预热处理黑孜然籽提高了黑孜然籽油美拉德反应产物、叶绿素及类胡萝卜素含量;王龙祥等<sup>[7]</sup>研究表明,红外预热处理制备的压榨油茶籽油 $V_E$ 含量高于微波预热处理的。红外预热处理效果因油料种类不同有所差异,为充分利用紫苏籽油营养及活性成分,研究红外预热处理对紫苏籽油品质的影响具有重要意义,但目前未见相关研究报道。

本文在不同条件(120、150、180℃分别预热0、10、20、30 min)下红外预热处理紫苏籽,采用压榨法制备紫苏籽油,研究红外预热处理前后紫苏籽油理化指标、脂肪酸组成的变化规律,着重探讨红外预热处理对紫苏籽油褐变程度、活性成分含量、体外抗氧化活性及氧化稳定性的影响,旨在为红外预热处理在紫苏籽中的应用提供依据,为探索紫苏籽油抗氧化机理及影响氧化稳定性的因素提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

紫苏籽,重庆市彭水苗族土家族自治县黔中道紫苏种植专业合作社;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS),合肥博美生物科技有限责任公司;没食子酸标准品、芦丁标准品、 $\beta$ -谷甾醇标准品、 $\gamma$ -生育酚标准品、水溶性生育酚(Trolox)标准品,北京索莱宝科技有限公司;氢氧化钾、三氯甲烷、冰乙酸、乙醇、甲醇,分析纯,重庆川东化工(集团)有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

D02螺旋榨油机,东都宝电器科技有限公司;X3U格兰仕电烤箱,广东格兰仕微波炉电器制造有

限公司;5804R高速冷冻离心机,德国Eppendorf公司;Agilent1200高效液相色谱仪、Agilent7890气相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;UV-759紫外可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司;OXITEST油脂氧化分析仪,意大利VELP公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 紫苏籽的红外预热处理

取适量除杂的紫苏籽,于电烤箱120、150、180℃分别红外预热处理0、10、20、30 min(每隔5 min翻动一次)(0 min即未红外预热处理样品,为对照),取出于干燥器自然冷却至室温,分别用自封塑料袋封存备用。

#### 1.2.2 紫苏籽油的制备

取红外预热处理的紫苏籽,用螺旋榨油机压榨,经离心(5 000 r/min, 10 min)、除杂后得紫苏籽油,低温避光储存。

#### 1.2.3 紫苏籽油理化指标测定

酸值测定参考GB 5009.229—2016;过氧化值测定参考GB 5009.227—2016;碘值测定参考GB/T 5532—2008;皂化值测定参考GB/T 5534—2008。

#### 1.2.4 紫苏籽油脂肪酸组成测定

甲酯化:称取紫苏籽油0.060 0 g于10 mL离心管,加4 mL异辛烷、200  $\mu$ L 2 mol/L氢氧化钾-甲醇,振荡30 s,静置30 min,加1 g硫酸钠,静置澄清,上清液过0.22  $\mu$ m滤膜,待测。

气相色谱条件:SP-2560色谱柱(100 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.25  $\mu$ m);进样量1  $\mu$ L;分流比60:1;进样口温度225℃;FID检测器温度285℃;升温程序为初始温度100℃,保持4 min,以3℃/min升温至240℃,保持15 min。以脂肪酸标样保留时间定性,峰面积归一化法定量。

#### 1.2.5 紫苏籽油褐变程度测定

参照Suri等<sup>[6]</sup>的方法,将紫苏籽油与三氯甲烷按质量体积比1:20混合,420 nm波长处测定吸光度。用吸光度表示紫苏籽油的褐变程度,吸光度越大,表明紫苏籽油褐变程度越深。

#### 1.2.6 紫苏籽油活性成分含量测定

多酚含量测定采用福林酚比色法<sup>[2]</sup>;黄酮含量测定采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠显色法<sup>[2]</sup>;甾醇含量测定采用醋酐-浓硫酸法<sup>[9]</sup>; $\gamma$ -生育酚含量测定参考GB 5009.82—2016。

#### 1.2.7 紫苏籽油抗氧化活性测定

##### 1.2.7.1 紫苏籽油甲醇提取液的制备

参考文献[10]的方法并稍作修改。称取2 g紫苏籽油,加入3 mL无水甲醇,涡旋振荡1 min,于

25 ℃、4 500 r/min 离心 5 min, 取上清液; 残余物以相同的方法重复提取两次, 合并上清液, 低温避光保存, 测定 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力前分别用无水甲醇将提取液稀释 15、10 倍。

### 1.2.7.2 DPPH 自由基清除能力的测定

参考文献[10]的方法并稍作修改。将 3 mL 提取液与 2 mL 0.1 mmol/L DPPH 无水甲醇溶液混合, 剧烈摇动混匀, 室温避光静置 30 min, 以无水甲醇为空白, 采用分光光度计于 517 nm 波长处测定吸光度。按式(1)计算 DPPH 自由基清除率( $Y$ )。

$$Y = (A_1 - A_2) / A_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中: $A_1$  为 2 mL DPPH 无水甲醇溶液与 3 mL 无水甲醇混合的吸光度; $A_2$  为 2 mL DPPH 无水甲醇溶液与 3 mL 提取液反应的吸光度。

以 Trolox 为标准品绘制标准曲线, 紫苏籽油对 DPPH 自由基的清除能力以 Trolox 当量表示。

### 1.2.7.3 ABTS 自由基清除能力的测定

参考文献[11]的方法并稍作修改。将 1 mL 提取液与 4 mL ABTS 自由基工作液混合, 室温暗处反应 7 min, 以无水甲醇为空白, 采用分光光度计于 734 nm 波长处测定吸光度。按式(2)计算 ABTS 自由基清除率( $W$ )。

$$W = (A_1 - A_2) / A_1 \times 100\% \quad (2)$$

式中: $A_1$  为 4 mL ABTS 自由基工作液与 1 mL 无水甲醇混合的吸光度; $A_2$  为 4 mL ABTS 自由基工作液与 1 mL 提取液反应的吸光度。

以 Trolox 为标准品绘制标准曲线, 紫苏籽油对 ABTS 自由基的清除能力以 Trolox 当量表示。

### 1.2.8 紫苏籽油氧化稳定性测定

采用油脂氧化分析仪测定紫苏籽油的氧化诱导期(OSI)。测定条件: 油样 10 g, 温度 110 ℃, 氧气压力 0.6 MPa。

### 1.2.9 数据处理

所有试验均重复 3 次, 采用 Excel 2016 软件处理数据, GraphPad Prime7 作图, SPSS19.0 进行显著性分析和双变量 Pearson 相关性分析,  $P < 0.05$  表示显著,  $P < 0.01$  表示极显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 红外预热处理对压榨紫苏籽油理化指标的影响

#### 2.1.1 对压榨紫苏籽油酸值的影响(见图 1)

由图 1 可以看出, 120 ℃ 下, 酸值随处理时间延长先升高后降低。鞠阳等<sup>[12]</sup>采用微波处理芝麻, 结果发现, 芝麻油酸值随处理时间延长先升高后降低, 与本研究结果一致。这可能是因为在水分和脂肪酶

作用下, 甘油三酯的酯键被水解产生游离脂肪酸, 酸值升高; 随着处理时间延长, 紫苏籽水分含量降低、脂肪酶活性降低甚至失活<sup>[13]</sup>, 甘油三酯水解减少, 产生的游离脂肪酸随之减少, 酸值降低; 另外, 紫苏籽预热处理过程中酚酸类小分子酸的挥发也会导致酸值降低<sup>[14]</sup>。150、180 ℃ 下, 酸值随处理时间延长逐渐升高, 可能是高温条件下, 油脂发生热降解和氧化产生烷烃、醛、酯和羧酸等物质<sup>[14]</sup>, 导致酸值升高, 说明温度过高会降低油脂品质。红外预热处理导致酸值升高, 但处理前后压榨紫苏籽油酸值(KOH)在 0.93 ~ 1.49 mg/g 之间, 符合 LS/T 3254—2017《紫苏籽油》中酸值(KOH)小于等于 3 mg/g 的限值规定。

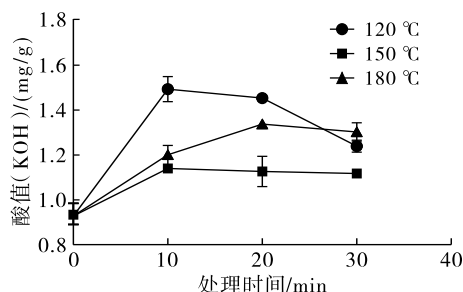


图 1 红外预热处理对压榨紫苏籽油酸值的影响

#### 2.1.2 对压榨紫苏籽油过氧化值的影响(见图 2)

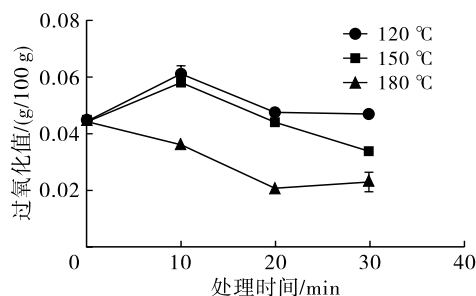


图 2 红外预热处理对压榨紫苏籽油过氧化值的影响

由图 2 可以看出: 120、150 ℃ 下, 过氧化值均随处理时间延长先升高后降低, 可能是紫苏籽油中的不饱和脂肪酸在热、酶作用下被氧化生成氢过氧化物, 过氧化值升高, 处理时间继续延长, 发生二级氧化, 氢过氧化物分解<sup>[14]</sup>, 过氧化值降低; 180 ℃ 下, 过氧化值随处理时间延长不断降低, 这可能是因为此条件下氢过氧化物生成速度始终小于其分解速度所致。红外预热处理前后紫苏籽油过氧化值在 0.021 ~ 0.061 g/100 g 之间, 远低于 LS/T 3254—2017《紫苏籽油》中一级紫苏籽油过氧化值小于等于 0.15 g/100 g 的限值规定。

#### 2.1.3 对压榨紫苏籽油碘值的影响(见图 3)

碘值在一定程度上反映了油脂的不饱和程度,

碘值越大,说明油脂的不饱和脂肪酸含量越高。由图3可以看出,紫苏籽油碘值随处理温度升高和处理时间延长有所降低,180℃处理30 min时碘值降幅最大,原因是红外预热处理使油脂氧化和水解速度加剧,导致不饱和脂肪酸的损失<sup>[15]</sup>,从而使油脂品质降低。红外预热处理前后压榨紫苏籽油碘值(I)在188.5~204.8 g/100 g之间,说明紫苏籽油不饱和脂肪酸丰富,营养价值较高,且碘值(I)均符合LS/T 3254—2017《紫苏籽油》规定的152~208 g/100 g。

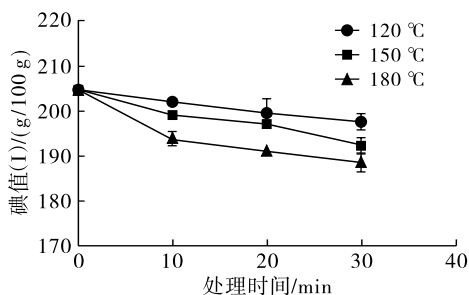


图3 红外预热处理对压榨紫苏籽油碘值的影响

#### 2.1.4 对压榨紫苏籽油皂化值的影响(见图4)

皂化值反映了油脂脂肪酸相对分子质量的大小或油脂中不皂化物含量的多少,皂化值越小,说明脂

肪酸相对分子质量越大或油脂中不皂化物含量较高。由图4可以看出,不同红外预热处理条件下压榨紫苏籽油皂化值均有一定程度的降低,说明不皂化物<sup>[16]</sup>(甾醇、酚类、色素)含量增多。红外预热处理前后压榨紫苏籽油皂化值(KOH)在187.5~193.7 mg/g之间,符合LS/T 3254—2017《紫苏籽油》规定的187~197 mg/g。

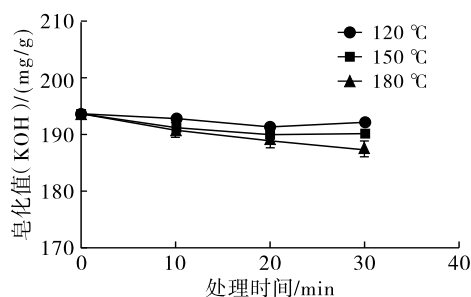


图4 红外预热处理对压榨紫苏籽油皂化值的影响

#### 2.2 红外预热处理对压榨紫苏籽油脂脂肪酸组成的影响

油脂的脂肪酸组成可作为评价其营养价值的重要指标。红外预热处理对紫苏籽油主要脂肪酸组成的影响如表1所示。

表1 红外预热处理对压榨紫苏籽油主要脂肪酸组成的影响

红外预热处理	含量/%						
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	$\alpha$ -亚麻酸	SFA	UFA
对照	6.53 ± 0.09	1.88 ± 0.02	14.07 ± 0.03	14.31 ± 0.04	62.45 ± 0.10	8.42 ± 0.10	90.84 ± 0.08
120 °C, 10 min	6.56 ± 0.03	1.91 ± 0.04	14.00 ± 0.12	14.37 ± 0.09	62.44 ± 0.31	8.46 ± 0.05	90.81 ± 0.12
120 °C, 20 min	6.59 ± 0.07	1.90 ± 0.05	13.88 ± 0.12	14.47 ± 0.10	62.43 ± 0.39	8.50 ± 0.11	90.78 ± 0.18
120 °C, 30 min	6.60 ± 0.07	1.92 ± 0.05	13.86 ± 0.07	14.51 ± 0.20	62.38 ± 0.48	8.52 ± 0.12	90.75 ± 0.21
150 °C, 10 min	6.59 ± 0.09	1.94 ± 0.08	13.95 ± 0.18	14.37 ± 0.09	62.41 ± 0.34	8.53 ± 0.17	90.73 ± 0.08
150 °C, 20 min	6.62 ± 0.10	1.95 ± 0.07	13.86 ± 0.08	14.43 ± 0.10	62.38 ± 0.45	8.57 ± 0.15	90.67 ± 0.28
150 °C, 30 min	6.59 ± 0.04	1.94 ± 0.06	13.86 ± 0.04	14.52 ± 0.19	62.36 ± 0.36	8.53 ± 0.10	90.74 ± 0.14
180 °C, 10 min	6.60 ± 0.09	1.94 ± 0.07	13.91 ± 0.12	14.43 ± 0.15	62.38 ± 0.35	8.54 ± 0.16	90.72 ± 0.08
180 °C, 20 min	6.63 ± 0.07	1.96 ± 0.08	13.88 ± 0.10	14.42 ± 0.16	62.36 ± 0.23	8.58 ± 0.15	90.65 ± 0.04
180 °C, 30 min	6.65 ± 0.07	1.95 ± 0.06	13.82 ± 0.05	14.45 ± 0.14	62.33 ± 0.06	8.60 ± 0.13	90.59 ± 0.10
LS/T 3254—2017	5.6~7.0	1.0~3.0	10.5~22.0	9.5~16.5	56.0~70.0		

由表1可知,未红外预热处理制备的压榨紫苏籽油主要脂肪酸分别为 $\alpha$ -亚麻酸(62.45%)、亚油酸(14.31%)、油酸(14.07%)、棕榈酸(6.53%)、硬脂酸(1.88%),均满足LS/T 3254—2017《紫苏籽油》脂肪酸组成及含量要求,其中 $\alpha$ -亚麻酸含量最高。红外预热处理对紫苏籽油脂脂肪酸组成无显著影响,红外预热处理后的紫苏籽油仍可作为人体补充 $\omega$ -3脂肪酸的良好来源。红外预热处理后不饱和脂肪酸占比有轻微降低,可能是因为不饱和脂肪酸降解。Suri等<sup>[6]</sup>采用红外预热处理后制备的黑孜然籽油脂脂肪酸含量变化趋

势与本研究结果类似。

#### 2.3 红外预热处理对压榨紫苏籽油褐变程度的影响(见图5)

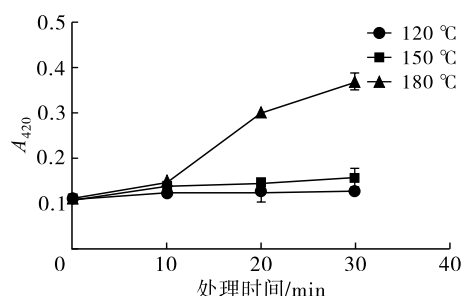


图5 红外预热处理对压榨紫苏籽油褐变程度的影响

紫苏籽在红外预热处理过程中会发生美拉德反应,在高级阶段生成棕褐色物质类黑精,使紫苏籽油色泽加深,420 nm 波长处的吸光度可表征紫苏籽油褐变程度及类黑精的生成量。此外,研究表明,类黑精具有抗氧化活性,且与热处理油脂色泽呈正相关<sup>[17-18]</sup>。由图 5 可以看出,180 °C 红外预热处理条件下,紫苏籽油褐变程度显著增加。

#### 2.4 红外预热处理对压榨紫苏籽油活性成分含量的影响

##### 2.4.1 对压榨紫苏籽油多酚含量的影响(见图 6)

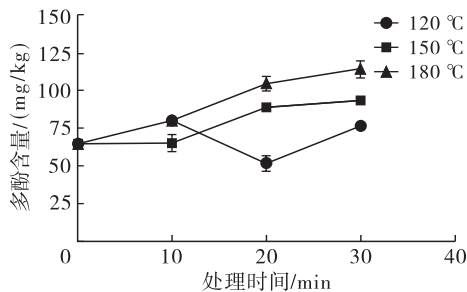


图 6 红外预热处理对压榨紫苏籽油多酚含量的影响

由图 6 可以看出,180 °C 红外预热处理 30 min 条件下,紫苏籽油多酚含量为 114.3 mg/kg,比未红外预热处理样品显著增加 77.0% ( $P < 0.05$ ),原因可能是红外预热处理破坏了紫苏籽细胞,且使结合态酚类物质的共价键断裂生成游离酚类,增加了酚类物质的迁移率<sup>[17-20]</sup>。此外,红外预热处理过程中可能会生成具有酚类物质结构的美拉德反应产物,导致多酚含量增加<sup>[21]</sup>。多酚是一种天然的抗氧化物质,具有清除自由基、抗癌等生理活性<sup>[22]</sup>,试验结果说明适当红外预热处理可提高紫苏籽油品质。

##### 2.4.2 对压榨紫苏籽油黄酮含量的影响(见图 7)

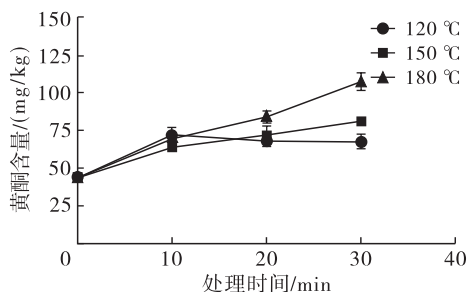


图 7 红外预热处理对压榨紫苏籽油黄酮含量的影响

由图 7 可以看出,180 °C 红外预热处理 30 min 条件下,紫苏籽油黄酮含量为 107.3 mg/kg,是未红外预热处理样品的 2.46 倍,变化显著 ( $P < 0.05$ )。黄酮是一种良好的抗氧化剂,红外预热处理导致紫苏籽水分含量降低、脆性增加,细胞更易破裂,黄酮类物质向油脂的迁移率增加<sup>[21]</sup>,从而增加紫苏籽油

的黄酮含量,有益于紫苏籽油生理功能提高。

##### 2.4.3 对压榨紫苏籽油甾醇含量的影响(见图 8)

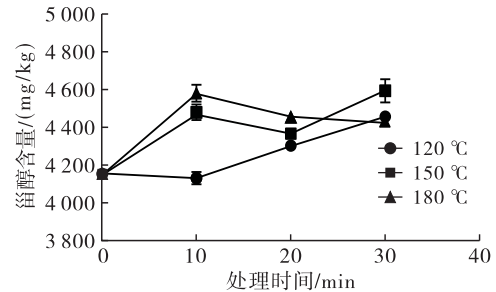


图 8 红外预热处理对压榨紫苏籽油甾醇含量的影响

由图 8 可以看出,120、150 °C 下,紫苏籽油甾醇含量总体随着处理时间延长而增加,180 °C 下,甾醇含量随处理时间延长先增加后减少,180 °C 红外预热处理 10 min 条件下紫苏籽油甾醇含量最高,为 4 539.0 mg/kg,比未红外预热处理样品增加 9.03%。甾醇含量变化原因可能是,红外预热处理使嵌入紫苏籽细胞质蛋白网的脂蛋白膜损伤和蛋白质体结构改变,破坏了其细胞结构,促进了甾醇溶出<sup>[23-24]</sup>,但随着处理温度升高和处理时间延长,甾醇氧化或异构化<sup>[25]</sup>,导致紫苏籽油中甾醇含量降低。王楠楠等<sup>[26]</sup>采用高温焙炒芝麻,结果发现,芝麻油甾醇含量随焙炒时间延长先增加后减少,与本研究结果类似。甾醇具有降血糖、抗炎等生理功能<sup>[2]</sup>,且侧链带有乙烯基的甾醇具有抗聚合作用<sup>[25]</sup>,能保护油脂不被氧化,生产中可通过预热处理提高紫苏籽油甾醇含量,提高其品质。

##### 2.4.4 对压榨紫苏籽油 $\gamma$ -生育酚含量的影响(见图 9)

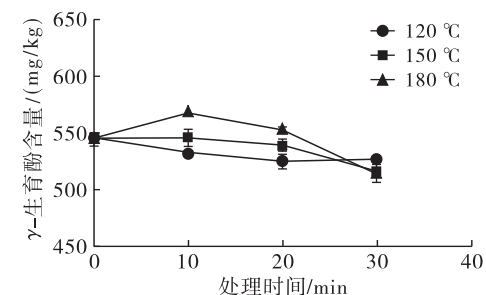


图 9 红外预热处理对压榨紫苏籽油  $\gamma$ -生育酚含量的影响

生育酚能够阻止自由基链式反应,抑制脂质过氧化且增强机体免疫力<sup>[22]</sup>,紫苏籽油含有 3 种生育酚,即  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -生育酚,其中  $\gamma$ -生育酚含量最高<sup>[1]</sup>。由图 9 可以看出:120、150 °C 下, $\gamma$ -生育酚含量随处理时间延长降低,这是因为高温易破坏生育酚结构,导致其含量降低;180 °C 下, $\gamma$ -生育酚含量先增加后减少,原因是红外预热处理导致连接生育酚与蛋白质或磷脂的键被破坏<sup>[15]</sup>,紫苏籽细胞结

构发生热损伤,使迁移到紫苏籽油的生育酚含量增加,但长时间高温预热处理会导致生育酚大量热降解,使其含量降低<sup>[27]</sup>,这可能会影响紫苏籽油的抗氧化活性。

2.5 红外预热处理对压榨紫苏籽油抗氧化活性的影响(见图10)

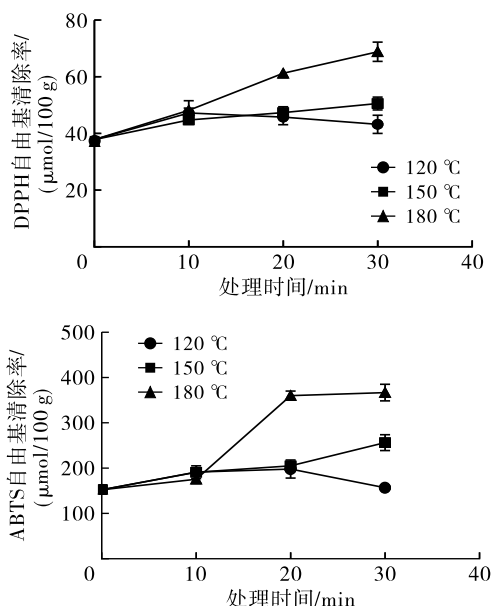


图10 红外预热处理对压榨紫苏籽油抗氧化活性的影响

由图10可以看出,随红外预热处理温度的升高和处理时间的延长,紫苏籽油抗氧化活性逐渐增强。180 °C红外预热处理30 min,紫苏籽油的DPPH、ABTS自由基清除率分别为未红外预热处理样品的1.82、2.41倍,抗氧化能力变化显著( $P < 0.05$ ),与已有研究结果相符<sup>[28]</sup>,该变化可能与酚类物质含量增加及具有抗氧化活性的美拉德反应产物<sup>[18]</sup>的生成有关。

2.6 红外预热处理对压榨紫苏籽油氧化稳定性的影响(见图11)

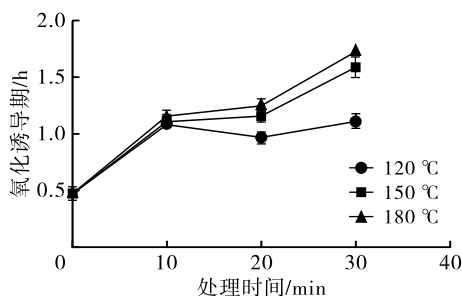


图11 红外预热处理对压榨紫苏籽油氧化稳定性的影响

由图11可以看出,红外预热处理可以显著提高压榨紫苏籽油的氧化稳定性,延长货架期。180 °C红外预热处理30 min条件下,紫苏籽油的氧化诱导期为1.74 h,为未红外预热处理样品的3.74倍。虽

然高温导致压榨紫苏籽油 $\gamma$ -生育酚含量降低,但多酚、黄酮、甾醇含量增加,且高温使紫苏籽发生羰氨缩合反应,可能生成类黑精等美拉德反应产物<sup>[18]</sup>,各因素共同作用使紫苏籽油氧化稳定性增强,但影响氧化稳定性的主导因素及机理需进一步探究。

2.7 紫苏籽油抗氧化活性、氧化稳定性与褐变程度、活性成分含量的相关性分析

对紫苏籽油抗氧化活性(DPPH、ABTS自由基清除能力)及氧化稳定性与褐变程度、活性成分(多酚、黄酮、甾醇、生育酚)含量作Pearson相关性分析,结果如表2所示。

表2 紫苏籽油抗氧化活性、氧化稳定性与褐变程度、活性成分含量的相关性

项目	DPPH 自由基清除能力	ABTS 自由基清除能力	OSI
褐变程度	0.964 **	0.948 **	0.662 *
多酚含量	0.852 **	0.822 **	0.757 *
黄酮含量	0.944 **	0.852 **	0.925 **
甾醇含量	0.308	0.271	0.586
生育酚含量	-0.249	0.258	-0.454

注:\*\* 极显著相关( $P < 0.01$ ), \* 显著相关( $P < 0.05$ )。

从表2可以看出,紫苏籽油的DPPH、ABTS自由基清除能力与褐变程度、多酚含量、黄酮含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),氧化稳定性与黄酮含量、多酚含量、褐变程度呈极显著或显著正相关( $P < 0.01, P < 0.05$ )。Suri等<sup>[29]</sup>采用微波预热处理亚麻籽,结果发现,亚麻籽油的DPPH自由基清除能力与多酚含量呈显著正相关( $r = 0.887, P < 0.05$ ),与褐变程度呈极显著正相关( $r = 0.980, P < 0.005$ ),与本研究结果类似。本研究结果说明多酚、黄酮是影响紫苏籽油抗氧化活性的重要因素,且红外预热处理可能生成了具有抗氧化活性的美拉德反应产物<sup>[30]</sup>,紫苏籽体系内各因素相互作用,提高了紫苏籽油氧化稳定性,延长其货架期,同时表明紫苏籽油酚类物质对其生物活性和生理功能的发挥具有一定贡献。

### 3 结论

紫苏籽预热处理是影响紫苏籽油品质的重要工序,红外预热处理能够保证紫苏籽油的理化品质符合紫苏籽油质量标准,同时增加紫苏籽油多酚、黄酮、甾醇含量和褐变程度,并提高其抗氧化活性及氧化稳定性,且抗氧化活性、氧化稳定性与紫苏籽油黄酮、多酚含量和褐变程度呈极显著或显著正相关( $P < 0.01, P < 0.05$ )。180 °C红外预热处理紫苏籽30 min,压榨紫苏籽油多酚含量、黄酮含量、DPPH自由基清除能力、ABTS自由基清除能力、氧化稳定性

分别为未红外预热处理样品的 1.77、2.46、1.82、2.41、3.74 倍,且对脂肪酸组成无显著影响,适宜于紫苏籽预热处理。该研究结果可为紫苏籽油的制备提供一定参考。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 许万乐.紫苏籽油的提取工艺及理化特性研究[D].太原:中北大学,2014.
- [3] 陈琳,李荣,姜子涛,等.微胶囊化方法对紫苏油包埋性能的比较研究[J].食品工业科技,2013,34(20):176-180,234.
- [4] 赵秀玲,范道春.紫苏生理活性成分以及饮料的研发进展[J].食品与发酵工业,2016,42(3):262-267.
- [5] MA C Y, XU Z H, LYU H. Low  $n-6/n-3$  PUFA ratio improves inflammation and myocardial ischemic reperfusion injury[J]. Biochem Cell Biol, 2019, 97(5): 621-629.
- [6] 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.
- [7] 王龙祥,罗凡,郭少海,等.微波和红外处理油茶籽对压榨油茶籽油中  $V_E$  含量的影响[J].中国油脂,2020,45(3):58-61.
- [8] 李树君,林亚玲,潘忠礼.红外技术用于农产品灭酶和脱水干燥的研究综述[J].农业机械学报,2008(6):109-112.
- [9] 李英霞,王凤云.可见分光光度法测定大豆甾醇提取物中总甾醇的含量[J].辽宁中医药大学学报,2007,9(5):154-155.
- [10] 李志晓.加工过程对油茶籽油微量营养成分和抗氧化性能的影响[D].江苏无锡:江南大学,2015.
- [11] LU - MARTINEZ A A, BÁEZ - GONZÁLEZ J G, CASTILLO - HERNÁNDEZ S, et al. Studied of *Prunus serotina* oil extracted by cold pressing and antioxidant effect of *P. longiflora* essential oil[J]. J Food Sci Tech, 2021, 58: 1420-1429.
- [12] 鞠阳,汪学德,高锦鸿.微波预处理对芝麻油品质影响[J].粮食与油脂,2015,28(3):31-34.
- [13] 张丽霞,张勋,孙佳佳,等.红外干燥对芝麻品质的影响[J].食品与机械,2015,31(2):63-70.
- [14] JI J M, LIU Y L, SHI L K, et al. Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil[J]. LWT - Food Sci Technol, 2019, 101: 191-200.
- [15] ZHAO T T, HONG S I, LEE J, et al. Impact of roasting on the chemical composition and oxidative stability of perilla oil[J]. J Food Sci, 2012, 77(12): C1273-C1278.
- [16] 张继东,王延琴,邱丰,等.动植物油脂不皂化物测定方法研究[J].粮食与油脂,2011(11):33-35.
- [17] MASUDA A, HIDAHA K, HONDA S, et al. Radical scavenging properties of roasted *Egoma* (*Perilla frutescens* var. *frutescens*) oils and identification of their characteristic scavengers [J]. J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo), 2018, 64(6): 466-472.
- [18] 韩易,赵燕,徐明生,等.美拉德反应产物类黑精的研究进展[J].食品工业科技,2019,40(9):339-345.
- [19] 李灵凤,翟新,金光远,等.真空微波破裂植物细胞壁的力学模型[J].食品与机械,2014,30(6):18-22.
- [20] 麻宸睿,王新宇,桂颖,等.焙炒处理对燕麦甜酷品质及功能因子含量的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(11):199-203.
- [21] DURMAZ G, GÖKMEN V. Changes in oxidative stability, antioxidant capacity and phytochemical composition of *Pistacia terebinthus* oil with roasting[J]. Food Chem, 2011, 128(2): 410-414.
- [22] 朱振宝,刘梦颖,易建华.核桃油微量组分对其氧化稳定性的影响[J].食品与发酵工业,2014,40(11):70-75.
- [23] 夏钰.提取方式对葡萄籽油伴随物及其抗氧化活性的影响[D].江苏无锡:江南大学,2018.
- [24] WRONIAK M, REKAS A, SIGER A, et al. Microwave pretreatment effects on the changes in seeds microstructure, chemical composition and oxidative stability of rapeseed oil[J]. LWT - Food Sci Technol, 2016, 68: 634-641.
- [25] AMARAL J S, CASAL S, SEABRA R M, et al. Effects of roasting on hazelnut lipids[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(4): 1315-1321.
- [26] 王楠楠,汪学德,刘宏伟,等.焙炒对压榨芝麻油品质及抗氧化活性的影响研究[J].中国油脂,2019,44(9):7-11.
- [27] CAI L, CAO A, AISIKAER G, et al. Influence of kernel roasting on bioactive components and oxidative stability of pine nut oil[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2013, 115(5): 556-563.
- [28] DURMAZ G, KARABULUT I, TOPCU A, et al. Roasting - related changes in oxidative stability and antioxidant capacity of apricot kernel oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 2009, 87(4): 401-409.
- [29] 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[2021-03-27]. <https://doi.org/j.foodchem.2020.126974>.
- [30] DURMAZ G, GÖKMEN V. Determination of 5-hydroxymethyl-2-furfural and 2-furfural in oils as indicators of heat pre-treatment[J]. Food Chem, 2010, 123(3): 912-916.