

红外和微波热处理对紫苏籽油品质的影响

姚凌, 陈楚滢, 徐宇, 黄健花, 王小三, 常明, 王兴国

(江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要: 为了对紫苏籽压榨制油前热处理方式的选取提供参考数据, 对紫苏籽进行不同程度的红外或微波热处理, 根据热处理后紫苏籽的水分含量分为低、中、高 3 组, 随后进行压榨制油, 测定了经不同热处理得到的紫苏籽油的相关理化指标、脂肪酸组成、微量活性成分含量, 评估了不同紫苏籽油的 DPPH 自由基清除率和氧化稳定性。结果表明: 两种热处理方式对紫苏籽油脂肪酸组成及含量无显著影响 ($p > 0.05$); 与未经处理的紫苏籽油相比, 经微波热处理的紫苏籽油酸值降低, 红外热处理的紫苏籽油过氧化值降低, 经过微波和红外热处理的紫苏籽的出油率, 油脂的黄酮含量、DPPH 自由基清除率和氧化稳定性显著增加 ($p < 0.05$); 随着红外和微波热处理程度的加深, 紫苏籽油中生育酚含量逐渐降低, 多酚含量先降低后升高 (红外热处理) 和先升高后降低 (微波热处理)。综上, 选取合适的热处理方式及条件可以获得较高品质的紫苏籽油。

关键词: 紫苏籽油; 热处理; 水分含量; 理化指标; 氧化稳定性

中图分类号: TS225.1; TS224.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)11-0038-07

Effect of infrared and microwave heat – treatment on perilla seed oil quality

YAO Ling, CHEN Chuying, XU Yu, HUANG Jianhua, WANG Xiaosan,
CHANG Ming, WANG Xingguo

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: In order to provide reference data on the selection of heat – treatment ways for perilla seed prior to pressing for oil, perilla seed were subjected to different degrees of infrared or microwave heat – treatment, and were classified into three groups (low, medium and high) according to the moisture content of perilla seed after heat – treatment. The oil was pressed, and the related physicochemical indexes, fatty acid composition, trace active components, DPPH · scavenging rate and oxidation stability of perilla seed oil obtained by different heat – treatment were evaluated. The results showed that the two heat treatments had no significant effect on the fatty acid composition and content of perilla seed oil ($p > 0.05$). Compared with untreated perilla seed oil, the yield, flavonoid content, DPPH · scavenging rate and oxidation stability of perilla seed oil after microwave and infrared heat – treatment significantly increased ($p < 0.05$), the acid value of perilla seed oil obtained by microwave treatment and peroxide value of the oil obtained by infrared treatment decreased. The tocopherol content of perilla seed oil gradually decreased with the deepening of infrared and microwave heat – treatment, and the polyphenols content first decreased and then increased of infrared treatment while it was opposite of microwave treatment. By selecting the appropriate heat treatment method and conditions, the perilla seed with higher quality can be obtained.

Key words: perilla seed oil; heat – treatment; moisture content; physicochemical index; oxidative stability

收稿日期: 2022-05-30; 修回日期: 2022-07-24

作者简介: 姚凌 (2000), 女, 在读本科, 专业为食品科学与工程 (E-mail) 1325196393@qq.com; 陈楚滢 (1998), 女, 在读硕士, 研究方向为油脂加工 (E-mail) 18211518440@163.com。姚凌、陈楚滢共同为第一作者。

通信作者: 黄健花, 副教授, 博士 (E-mail) huangjianhua1124@126.com。

紫苏 (*Perilla frutescens* L. Britt), 是我国卫生部首批颁布的药食同源的植物资源之一。紫苏籽的含油率较高, 一般在 30% ~ 60% 之间^[1]。紫苏籽油是

目前已知 α -亚麻酸含量最高的可食用植物油,是人体摄入 α -亚麻酸的优良资源。紫苏籽油具有抗动脉粥样硬化、改善记忆学习能力、抗老年痴呆等多种生理功能^[2]。

紫苏籽含油率高,常采用压榨法制油。为提高压榨出油率,油料压榨前常进行热处理以调节水分改变压榨制油过程的摩擦力和压力,同时破坏细胞壁,达到利于出油的目的。红外和微波作为两种较新的热处理方式,与传统烘烤炒制、热风加热相比,各具优势。微波处理兼具热效应和非热效应,能够使物料内部的极性分子摩擦生热,具有操作方便、选择性强等优点^[3]。国内外已有不少报道将微波用于油料压榨制油前的热处理。孔凡等^[4]对南瓜籽进行微波加热,发现南瓜籽经微波处理后所制得油脂的酸值与未经加热的样品无显著差异,而氧化稳定性提升,且以550 W微波处理南瓜籽所制油样的氧化稳定性提升最为明显。Hayat等^[5]发现适当的微波预处理有利于茴香种子中酚类化合物含量的增加。而红外处理直接以电磁波方式加热物料,能够通过被加热物体表面到达一定深度,具有加热均匀、热效率高等特点。王龙祥等^[6]采用红外处理油茶籽,结果表明红外温度130℃条件最有利于油茶籽中 V_E 的溶出与转化。Suri等^[7]比较了热风处理和红外处理对亚麻籽油品质的影响,发现两种热处理方式均能不同程度提高亚麻籽油的得率、氧化稳定性和褐变指数,180℃热风处理10 min的亚麻籽所制油脂中检测出较多的叶绿素、类胡萝卜素和美拉德产物。由此可见,油料的微波和红外处理极有可能影响油脂的理化指标和氧化稳定性,而且这种影响与其处理的程度有关。截至目前,国内外尚无报道涉及比较微波和红外两种不同热处理方式对紫苏籽压榨制油影响的研究。

为了对紫苏籽压榨制油前热处理方式的选取提供基础数据,本文以紫苏籽为原料,对其采用微波和红外热处理,探究两种热处理方式对紫苏籽出油率和紫苏籽油理化指标、微量营养成分含量、体外抗氧化活性等的影响,为了更合理、全面地将红外和微波两种不同加热方式进行比较,根据紫苏籽加热后水分含量不同分为低、中、高3个组别,以此间接表示热处理程度,水分含量越低即热处理程度越深。

1 材料与方法

1.1 实验材料

紫苏籽(产自安徽),市售,原料水分含量为9.03%。正己烷(色谱纯)、异丙醇(色谱纯)、甲醇(色谱纯)、无水硫酸钠、氢氧化钾、异丙醇、乙醚、冰乙

酸、三氯甲烷、碘化钾、没食子酸、福林酚、芦丁等,未作说明的均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

微波炉,广东格兰仕集团有限公司;中短波近红外加热烘箱,泰州圣泰科红外科技有限公司;7820A气相色谱仪,美国安捷伦科技公司;1525液相色谱仪,沃特世科技(上海)有限公司;YF-J508榨油机,东莞房太电器有限公司;892型油脂氧化稳定性测定仪,瑞士万通中国有限公司。其余为实验室常用仪器。

1.2 实验方法

1.2.1 紫苏籽的热处理

将紫苏籽进行红外或微波热处理至一定的水分含量,为避免热处理过度造成紫苏籽焦糊,热处理至紫苏籽水分含量分别为6.5%、7.5%、8.5%左右,依次命名为低、中、高水分组。红外热处理时将清理后的紫苏籽均匀平铺于托盘,放置于红外烘箱内加热;微波热处理时将清理后的紫苏籽分装于多个玻璃平皿中,放置于旋转式微波炉内加热。具体处理条件如表1所示。

表1 紫苏籽热处理条件

组别	热处理条件
红外-高水分	110℃、5 min
红外-中水分	110℃、15 min
红外-低水分	120℃、15 min
微波-高水分	380 W、4 min
微波-中水分	540 W、4 min
微波-低水分	700 W、4 min

1.2.2 紫苏籽油的制备

将热处理后的紫苏籽放入压榨机中(出油温度<60℃)进行压榨制油,收集油样,离心(6 000 r/min,10 min)去除沉淀物得紫苏籽油。

1.2.3 理化指标及脂肪酸组成的测定

酸值的测定按照GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值的测定按照GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;水分含量的测定按照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;脂肪酸组成的测定按照GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》。

1.2.4 微量营养成分的测定

生育酚含量采用正相高效液相色谱法测定^[8];黄酮含量按照《保健食品功效成分及卫生指标检验规范》(2003年版)测定;多酚含量采用福林酚比色法测定^[9]。

1.2.5 氧化诱导时间和DPPH自由基清除率的测定

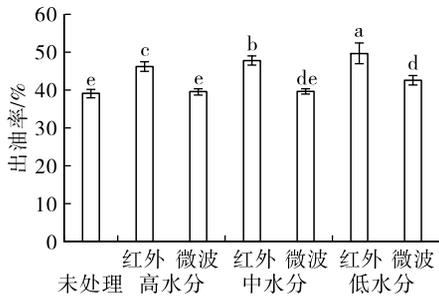
氧化诱导时间采用油脂氧化稳定性测定仪测

定^[10], DPPH 自由基清除率参照陈萌^[11]的方法测定。

2 结果与讨论

2.1 不同热处理方式对紫苏籽出油率的影响

紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,压榨制油,计算紫苏籽的出油率,结果如图 1 所示。



注:图中不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。下同

图 1 不同热处理方式对紫苏籽出油率的影响

由图 1 可以看出,与未处理组相比,红外和微波热处理均会在一定程度上影响紫苏籽的出油率。红外热处理能显著提高紫苏籽的出油率($p < 0.05$),出油率从未处理的 39.11% 提高到 46.34% ~ 49.55%。而当紫苏籽经微波热处理至低水分含量时,出油率显著增加到 42.65% ($p < 0.05$),其余两组水分含量较高的紫苏籽,或因微波热处理强度不够,使得其出油率与未处理组相比无显著差异($p > 0.05$)。显然,就提高紫苏籽出油率而言,红外热处理均较微波热处理更有效,两种热处理方式存在差异的原因可能是热处理过程中紫苏籽水分蒸发的速度和压力不同,使得红外热处理后紫苏籽细胞之间的通道更大,更有利于出油^[12]。进一步分析发现,随着热处理程度的加深,紫苏籽水分含量减少,两种热处理方式得到的紫苏籽出油率均有所提高,原因可能是紫苏籽在热处理过程中水分蒸发产生的压力使细胞间隙增大,内部孔隙率增加,甚至导致细胞膜破裂,从而促进油滴通过细胞壁,提高出油率^[13]。

2.2 不同热处理方式对紫苏籽油理化指标的影响

2.2.1 对酸值的影响

紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油的酸值如图 2 所示。

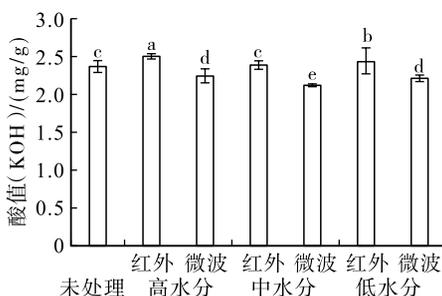


图 2 不同热处理方式对紫苏籽油酸值的影响

由图 2 可以看出,红外热处理得到的紫苏籽油的酸值(KOH)在 2.40 ~ 2.51 mg/g 之间,微波热处理得到的紫苏籽油的酸值(KOH)在 2.12 ~ 2.25 mg/g 之间,相较于未处理组(2.37 mg/kg)总体差异显著($p < 0.05$),且均低于 LS/T 3254—2017 中二级紫苏籽油酸值(KOH)的限值(3 mg/g)。3 种不同水分水平下,红外热处理制得的紫苏籽油酸值均高于微波热处理的。随着热处理程度的加深,紫苏籽水分含量降低,两种热处理方式得到的紫苏籽油的酸值均呈现先降低后升高的趋势。酸值的降低可能是由于紫苏籽的游离脂肪酸在加热的初期阶段被氧化为氢过氧化物和醛酮小分子所致^[14];而随着热处理程度的加深,紫苏籽油中的磷脂和甘油三酯可能会水解为游离脂肪酸,从而使酸值增加^[11]。

2.2.2 对过氧化值的影响

紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油的过氧化值如图 3 所示。

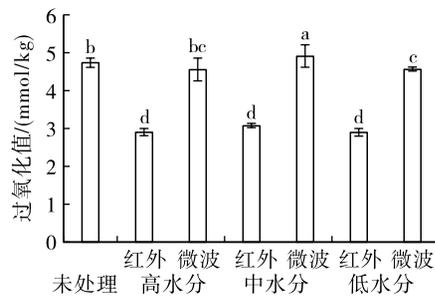


图 3 不同热处理方式对紫苏籽油过氧化值的影响

由图 3 可以看出,与未经处理的紫苏籽油(4.74 mmol/kg)相比,红外热处理对紫苏籽油过氧化值的影响显著($p < 0.05$),而微波热处理对紫苏籽油过氧化值的影响总体不显著($p > 0.05$)。红外热处理得到的紫苏籽油过氧化值在 2.92 ~ 3.08 mmol/kg 之间,微波热处理得到的紫苏籽油过氧化值在 4.58 ~ 4.92 mmol/kg 之间。而在 3 种不同水分水平下,红外热处理制得的紫苏籽油过氧化值均低于微波热处理的,这种现象可能是红外和微波的加热模式不一样造成的。随着热处理程度的加深,紫苏籽水分含量降低,红外热处理得到的紫苏籽油的过氧化值无显著变化($p > 0.05$),而微波热处理得到的紫苏籽油的过氧化值先上升后下降。这可能是由于一方面热处理使紫苏籽油中不饱和脂肪酸氧化生成氢过氧化物,使紫苏籽油过氧化值升高,另一方面热处理使解脂酶的活性减弱,紫苏籽油中不饱和脂肪酸氧化生成氢过氧化物的酶促反应变弱^[15],从而使紫苏籽油过氧化值降低。此外,紫苏籽油中醛、酮等次级氧

化产物的生成也会使过氧化值降低^[16]。

2.3 不同热处理方式对紫苏籽油脂肪酸组成及含量的影响

紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油的脂肪酸组成及含量如表2所示。

表2 不同热处理方式对紫苏籽油脂肪酸组成及含量的影响

脂肪酸	未处理	红外-低水分	红外-中水分	红外-高水分	微波-低水分	微波-中水分	微波-高水分
棕榈酸	5.45 ± 0.01 ^a	5.54 ± 0.02 ^a	5.46 ± 0.01 ^a	5.46 ± 0.01 ^a	5.51 ± 0.01 ^a	5.52 ± 0.03 ^a	5.52 ± 0.01 ^a
硬脂酸	1.42 ± 0.01 ^a	1.49 ± 0.01 ^a	1.44 ± 0.02 ^a	1.47 ± 0.01 ^a	1.42 ± 0.01 ^a	1.42 ± 0.01 ^a	1.41 ± 0.01 ^a
α-亚麻酸	71.79 ± 0.01 ^a	71.22 ± 0.01 ^a	71.30 ± 0.02 ^a	71.51 ± 0.01 ^a	71.56 ± 0.01 ^a	71.59 ± 0.02 ^a	71.63 ± 0.01 ^a
亚油酸	11.52 ± 0.01 ^a	12.11 ± 0.03 ^a	12.16 ± 0.01 ^a	11.93 ± 0.01 ^a	11.86 ± 0.01 ^a	11.85 ± 0.02 ^a	11.82 ± 0.01 ^a
油酸	9.83 ± 0.01 ^a	9.64 ± 0.01 ^a	9.64 ± 0.02 ^a	9.64 ± 0.01 ^a	9.64 ± 0.01 ^a	9.62 ± 0.01 ^a	9.62 ± 0.01 ^a
不饱和脂肪酸	93.14 ± 0.01 ^a	92.97 ± 0.01 ^a	93.10 ± 0.01 ^a	93.08 ± 0.01 ^a	93.06 ± 0.01 ^a	93.06 ± 0.01 ^a	93.07 ± 0.01 ^a
饱和脂肪酸	6.87 ± 0.01 ^a	7.03 ± 0.01 ^a	6.90 ± 0.03 ^a	6.93 ± 0.01 ^a	6.93 ± 0.01 ^a	6.94 ± 0.01 ^a	6.93 ± 0.01 ^a

注:同行数据相同小写字母上标表示差异不显著, $p > 0.05$

由表2可以看出,紫苏籽油中包含α-亚麻酸、亚油酸、油酸等不饱和脂肪酸,棕榈酸、硬脂酸等饱和脂肪酸,其中不饱和脂肪酸含量高达93%左右,以α-亚麻酸含量最高,说明紫苏籽油是人体补充α-亚麻酸的良好资源。与未处理组相比,两种热处理方式对紫苏籽油的脂肪酸组成及含量均无显著影响($p > 0.05$)。

2.4 不同热处理方式对紫苏籽油微量营养成分的影响

2.4.1 对生育酚含量的影响

紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油生育酚含量如图4所示。

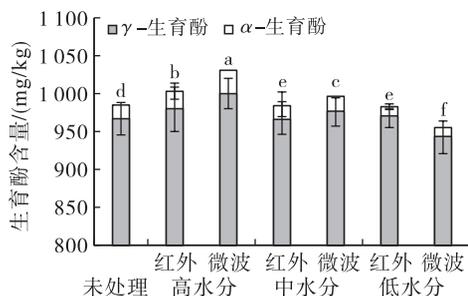


图4 不同热处理方式对紫苏籽油生育酚含量的影响

由图4可以看出,在紫苏籽油中检出了α-生育酚和γ-生育酚。未经处理的紫苏籽油的α-生育酚含量、γ-生育酚含量分别为17.8 mg/kg和966.7 mg/kg。与未处理组相比,两种热处理方式对紫苏籽油生育酚含量均有显著影响($p < 0.05$)。较低程度热处理(紫苏籽水分含量为7.5%和8.5%)总体可有效地提高紫苏籽油中总生育酚的含量,而随着热处理程度的加深(紫苏籽水分含量为6.5%),紫苏籽油中总生育酚含量相较于未处理组降低。紫苏籽油中总生育酚含量的增加可能是因为热处理破坏

了紫苏籽的细胞膜,使更多的生育酚溶解于油中^[17]。而紫苏籽油中总生育酚含量的减少可能是生育酚氧化生成生育醌^[18]造成的。

2.4.2 对黄酮含量的影响

紫苏籽油含有多种黄酮,如木樨草素、槲皮素、芹菜素等^[19]。紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油黄酮含量如图5所示。

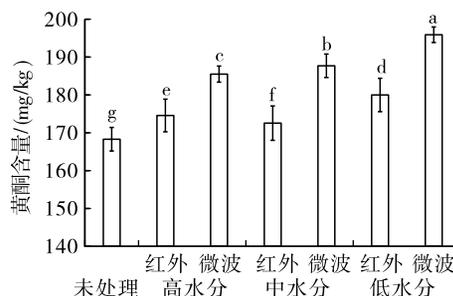


图5 不同热处理方式对紫苏籽油黄酮含量的影响

由图5可以看出,与未处理组相比,红外和微波热处理能显著提高紫苏籽油中黄酮的含量($p < 0.05$)。红外热处理得到的紫苏籽油黄酮含量在172.55~179.99 mg/kg之间,而微波热处理得到的紫苏籽油黄酮含量在185.50~195.90 mg/kg之间。随着热处理程度的加深,紫苏籽水分含量降低,红外热处理得到的紫苏籽油黄酮含量先降低后升高;而微波热处理的程度越深,紫苏籽油中黄酮的含量越高。黄酮含量的降低可能是部分热不稳定的黄酮发生分解^[20]造成的。同时,热处理降低了紫苏籽水分含量,紫苏籽脆性增加,细胞结构被破坏,导致黄酮类物质溶出率增加^[21],黄酮含量升高。

2.4.3 对多酚含量的影响

多酚具有较强的抗氧化能力,有助于癌症和心

血管疾病的预防^[22]。紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油的多酚含量如图6所示。

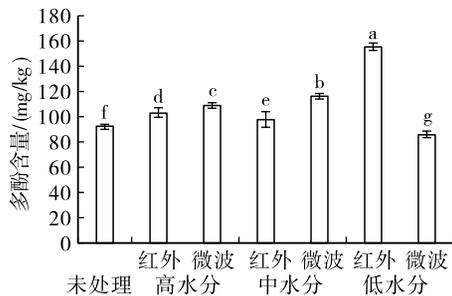


图6 不同热处理方式对紫苏籽油多酚含量的影响

由图6可以看出,与未处理组相比,两种热处理方式对紫苏籽油多酚含量均有显著影响($p < 0.05$)。红外热处理得到的紫苏籽油多酚含量为98.26~156.13 mg/kg,微波热处理得到的紫苏籽油多酚含量为86.45~116.80 mg/kg,其中红外热处理程度最深时,即紫苏籽水分含量为6.5%时,制得的紫苏籽油的多酚含量最高,是未处理组(92.38 mg/kg)的1.69倍。随着微波热处理程度的加深,紫苏籽油的多酚含量呈先升高后降低的趋势,且当微波热处理程度最深时,即紫苏籽水分含量为6.5%时,紫苏籽油的多酚含量较未处理的低。多酚含量的增加可能是因为热处理破坏了紫苏籽的细胞结构,促进了多酚的释放^[23];多酚含量的降低可能与热处理过程中多酚的氧化分解有关^[24]。

2.5 不同热处理方式对紫苏籽油 DPPH 自由基清除率的影响

DPPH 自由基可以通过氢的贡献被抗氧化物质清除,目前 DPPH 自由基清除活性测定已被用作物质抗氧化活性的评价指标之一^[25]。紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油的 DPPH 自由基清除率如图7所示。

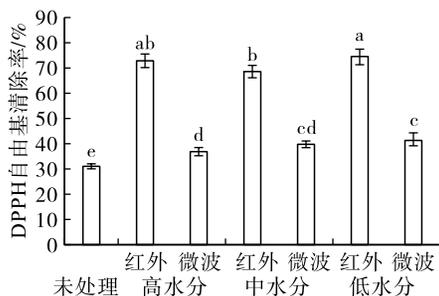


图7 不同热处理方式对紫苏籽油 DPPH 自由基清除率的影响

由图7可以看出,与未处理组相比,两种热处理方式对紫苏籽油 DPPH 自由基清除率有显著影响($p < 0.05$)。红外热处理时,低水分含量条件下紫

苏籽油 DPPH 自由基清除率最高,为74.84%,是未处理组(31.41%)的2.38倍;微波热处理时,低水分含量条件下紫苏籽油 DPPH 自由基清除率最高,为41.64%,是未处理组(31.41%)的1.33倍。随着热处理程度的加深,紫苏籽水分含量降低,红外热处理得到的紫苏籽油 DPPH 自由基清除率先降低后升高。紫苏籽油 DPPH 自由基清除率降低可能是因为部分热不稳定的抗氧化物质被破坏造成的,而较高程度红外热处理导致美拉德产物的增加可能是紫苏籽油 DPPH 自由基清除率增加的原因^[26]。微波热处理程度越深,紫苏籽油 DPPH 自由基清除率越高,这可能与美拉德产物的生成^[27]、酚类物质的释放^[28]以及 α -生育氢醌将生育酚自由基还原为生育酚^[29]有关。

2.6 不同热处理方式对紫苏籽油氧化稳定性的影响

油脂氧化稳定性通常以氧化诱导时间来评估,是影响食用油应用和储存性能的最重要指标之一。紫苏籽经微波或红外热处理至一定水分含量后,所制紫苏籽油的氧化诱导时间如图8所示。

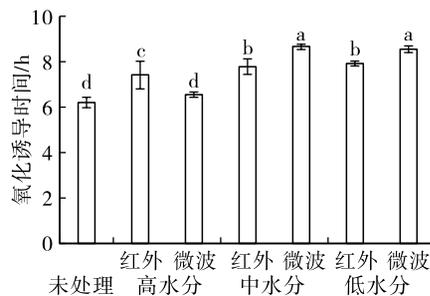


图8 不同热处理方式对紫苏籽油氧化稳定性的影响

由图8可以看出,未处理组紫苏籽油的氧化诱导时间为6.21 h,红外热处理得到的紫苏籽油氧化诱导时间在7.43~7.95 h之间,微波热处理得到的紫苏籽油氧化诱导时间在6.55~8.65 h之间,与未处理组相比,总体上两种热处理方式均能显著提高紫苏籽油的氧化稳定性($p < 0.05$)。热处理程度越深,紫苏籽水分含量越低,所制紫苏籽油氧化稳定性越强,这可能与紫苏籽油中抗氧化物质含量有关。此外,美拉德反应生成类黑精和一系列含 N、S 的挥发性物质^[30],以及氧化酶的失活^[31]也可能使紫苏籽油的氧化稳定性提高。

3 结论

本实验采用红外和微波对紫苏籽进行热处理,根据热处理后紫苏籽的水分含量分为低、中、高3组,随后进行压榨制油,考察和比较了两种热处理方式对紫苏籽油品质的影响。结果表明:适当的微波

和红外热处理均可降低紫苏籽油的酸值和过氧化值;两种热处理方式对紫苏籽油脂肪酸组成及含量无显著影响($p > 0.05$);紫苏籽经过适当的热处理能有效地提高紫苏籽油中黄酮和多酚的含量,其中黄酮含量在微波热处理后水分含量为6.5%时达到最大,多酚含量在红外热处理后水分含量为6.5%时达到最大,分别为195.90 mg/kg和156.13 mg/kg;两种热处理方式也能有效提高紫苏籽油的DPPH自由基清除率和氧化稳定性,红外热处理后达到低水分含量的紫苏籽制得的紫苏籽油DPPH自由基清除率最高,为74.84%,是未处理组的2.38倍,微波热处理后达到中水分含量的紫苏籽制得的紫苏籽油氧化诱导时间最长,为8.65 h,是未处理组的1.39倍。综上所述,压榨紫苏籽油之前选取合适的热处理方式及条件可获得品质较高的紫苏籽油。

参考文献:

- [1] HOU T, NETALA V R, ZHANG H, et al. *Perilla frutescens*: a rich source of pharmacological active compounds [J]. *Molecules*, 2022, 27(11):8-13.
- [2] 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.
- [3] 李娜,钱风华,邱斌,等.微波预处理对奇亚籽出油率及油脂品质的影响[J].*中国油脂*,2020,45(12):1-5.
- [4] 孔凡,杨晨,雷芬芬,等.微波预处理对压榨南瓜籽油品质的影响[J].*中国油脂*,2021,46(11):1-6.
- [5] HAYAT K, ABBAS S, HUSSAIN S, et al. Effect of microwave and conventional oven heating on phenolic constituents, fatty acids, minerals and antioxidant potential of fennel seed [J/OL]. *Ind Crops Prod*, 2019, 140: 111610 [2022-05-01]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111610>.
- [6] 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.
- [7] SURI K, SINGH B, KAUR A, et al. Influence of dry air and infrared pre-treatments on oxidative stability, Maillard reaction products and other chemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) oil [J]. *J Food Sci Tech*, 2022,59:366-376.
- [8] 李奈,樊琛,李小波,等.食用植物油中生育酚含量测定方法优化及分析[J].*食品科学技术学报*, 2015, 33(3):59-63,69.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 陈萌.微波预处理油菜籽对压榨饼浸出油品质的影响[D].武汉:华中农业大学,2013.
- [12] 邢朝宏,李进伟,金青哲,等.油茶籽的干燥特性及热风干燥模型的建立[J].*中国粮油学报*,2012,27(3):38-42.
- [13] 鞠阳.微波处理对油料结构及油脂品质和风味的影响[D].郑州:河南工业大学,2015.
- [14] JI J, LIU Y, SHI L, et al. Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2019, 101:191-200.
- [15] 王勇,纪聪利,黄健花,等.玉米胚芽水分含量对其油脂品质的影响[J].*中国油脂*,2018,43(5):145-148.
- [16] 张岩,纪俊敏,侯利霞,等.不同热处理葵花籽方式对葵花籽油品质的影响[J].*中国调味品*,2022,47(5):5-14.
- [17] 杨俊换,周建平,胡尧超.油茶籽壳的化学成分分析与扫描电镜观察[J].*湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 39(5):554-558.
- [18] 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 Tech*, 2013, 115(3):348-355.
- [19] 郭旭,田荣荣,张东.紫苏油的提取工艺和药理功能研究进展[J].*粮油食品科技*, 2021(5):120-130.
- [20] DURMAZ G, GK MEN V. Changes in oxidative stability, antioxidant capacity and phytochemical composition of *Pistacia terebinthus* oil with roasting [J]. *Food Chem*, 2011, 128(2):410-414.
- [21] 吴永兰,雷日华,文耀智,等.提取条件对苦瓜叶中总黄酮提取率的影响[J].*湘南学院学报*, 2009, 30(5):64-66.
- [22] ZACCHI P, EGGERS R. High-temperature pre-conditioning of rapeseed: a polyphenol-enriched oil and the effect of refining [J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2010, 110(2):111-119.
- [23] MASUDA A, HIDAKA 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*, 2018, 64(6):466-472.
- [24] 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.
- [25] 熊双丽,卢飞,史敏娟,等. DPPH 自由基清除活性评价方法在抗氧化剂筛选中的研究进展[J].*食品工业科技*, 2012, 33(8):380-383.

由图 10 可看出,在丙二醇单酯含量和丙二醇单酯纯度方面,Lipase AOL 均优于 Lipase G Amano 50 和 Lipase SMG1 - F278N,Lipase AOL 催化酯化反应最终(反应 18 h)丙二醇单酯含量可达 85.55%,纯度为 94.88%。

3 结论

以山茶籽油脂脂肪酸为底物,采用单、双甘油酯脂肪酶 Lipase AOL、Lipase G Amano 50 为催化剂酯化合成山茶籽油丙二醇单酯,系统考察了加酶量、底物物质的量比、反应温度、摇床转速对酯化反应合成丙二醇单酯的影响,得到的最佳反应条件为 Lipase AOL 加酶量 80 U/g、底物物质的量比 1:4,Lipase G Amano 50 加酶量 100 U/g、底物物质的量比 1:2,反应温度 35 °C,摇床转速 180 r/min,在反应 18 h 时 Lipase AOL、Lipase G Amano 50 催化酯化反应合成的丙二醇单酯含量分别为 85.55% 和 72.98%。通过 GC - MS 分析鉴定产物为丙二醇单酯,且主要为丙二醇单油酸酯、丙二醇单棕榈酸酯和丙二醇单亚油酸酯。综合分析 3 种单、双甘油酯脂肪酶催化酯化反应合成丙二醇单酯的效果,结果表明 Lipase AOL 在丙二醇单酯含量和丙二醇单酯纯度两个方面显著优于 Lipase G Amano 50 和 Lipase SMG1 - F278N。本研究的酶法制备丙二醇单酯技术具有绿色环保、产物纯度高、便于后期分离纯化等特点,为高纯度丙二醇单酯的酶法工业化生产和应用研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] 宋慧颖,徐学明. 不同丙二醇单酯对脂肪物性影响的研究[J]. 食品工业科技,2012,33(9):137-141,145.
- [2] SHAW J F, WU H Z, SHIEH C J. Optimized enzymatic synthesis of propylene glycol monolaurate by direct esterification[J]. Food Chem,2003,81(1):91-96.
- [3] YADAV G D, LATHI P S. Intensification of enzymatic

synthesis of propylene glycol monolaurate from 1,2 - propanediol and lauric acid under microwave irradiation: kinetics of forward and reverse reactions [J]. Enzyme Microb Technol,2005,38(6):814-820.

- [4] 苗攀登,李莹莹,刘钟栋. 我国食品乳化剂现阶段发展的问题以及机理探究[J]. 中国食品添加剂,2017(10):177-182.
- [5] 张凯,李伟,陈华勇,等. 无溶剂体系脂肪酶催化合成 1,3 - 丙二醇单酯[J]. 中国油脂,2010,35(8):28-31.
- [6] 徐宝财,王瑞,张桂菊,等. 国内外食品乳化剂研究现状与发展趋势[J]. 食品科学技术学报,2017,35(4):1-7.
- [7] 张桂菊,徐宝财,赵秋瑾,等. 酶催化法合成食品乳化剂的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2014,5(1):115-122.
- [8] 汪运明,覃小丽,王卫飞,等. 酶法制备椰子油基丙二醇单酯的研究[J]. 中国油脂,2012,37(10):28-31.
- [9] 钟遇安,姜土,吴炜亮,等. 酶法制备丙二醇单酯的研究[J]. 食品与机械,2012,28(5):42-45,70.
- [10] 刘海燕,郭平,吴珊. GC 法测定丙二醇脂肪酸酯中的总单酯及游离丙二醇含量[J]. 中国食品添加剂,2016(5):126-129.
- [11] 李星星. 脂肪酶 SMG1 - F278N 的固定化及其催化合成丙二醇油酸单酯的应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2017.
- [12] WANASUNDARA U N, SHAHIDI F. Concentration of omega 3 - polyunsaturated fatty acids of seal blubber oil by urea complexation: optimization of reaction conditions [J]. Food Chem,1999,65(1):41-49.
- [13] 朱东奇. 固定化脂肪酶 *Talaromyces thermophilus* lipase (TTL) 制备 LML 型结构脂的研究[D]. 广州:华南理工大学,2017.
- [14] 楼乔明,李来好,陈胜军,等. 油酸和亚油酸异构体的气相色谱 - 质谱分析[J]. 中国食品学报,2017,17(10):241-247.

(上接第 43 页)

- [26] 贾晓倩. 重庆紫苏籽营养评价及预处理对榨取油脂品质的影响研究[D]. 重庆:西南大学,2021.
- [27] DURMAZ G, GOEKMEN R. 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.
- [28] 徐俐,耿阳阳,张红梅. 油茶籽油抗氧化及对自由基清除作用研究[J]. 食品研究与开发,2013,34(17):4-8.
- [29] NEUŽIL J, WITTING P K, STOCKER R. α - Tocopheryl

hydroquinone is an efficient multifunctional inhibitor of radical - initiated oxidation of low density lipoprotein lipids [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1997,94(15):7885-7890.

- [30] 王楠楠. 美拉德反应对芝麻油氧化稳定性的影响[D]. 郑州:河南工业大学,2019.
- [31] MAZAHERI Y, TORBATI M, AZADMARD - DAMIRCHI S, et al. Effect of roasting and microwave pre - treatments of *Nigella sativa* L. seeds on lipase activity and the quality of the oil [J]. Food Chem, 2019, 274:480-486.