

微波预处理对压榨南瓜籽油品质的影响

孔凡¹, 杨晨¹, 雷芬芬^{1,2,3}, 罗会兵⁴, 何东平^{1,2,3}, 郑竟成^{1,2,3}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 国家粮食局粮油资源综合开发工程技术研究中心, 武汉 430023; 3. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023; 4. 宝得瑞(湖北)健康产业有限公司, 湖北 荆门 431821)

摘要:以南瓜籽仁为原料,研究了微波预处理对压榨南瓜籽油品质的影响。结果表明:随着微波功率的增加和处理时间的延长,压榨南瓜籽油的酸值变化不大;当微波功率为350 W和550 W时,随着处理时间的延长,南瓜籽油过氧化值总体呈增长趋势,而微波功率为700 W时,南瓜籽油过氧化值则呈先上升后下降的趋势。微波预处理能提高南瓜籽油中总酚、甾醇、总生育酚的含量,分别在550 W微波处理12、9、9 min时达最高,为1 352.7 mg/kg、2.54 mg/g和56.95 mg/100 g,比微波处理前分别提高了87.61%、29.59%和15.17%。同时微波预处理也能提升南瓜籽油的氧化诱导时间、DPPH自由基清除能力和ABTS自由基清除能力,在550 W微波处理9 min时,氧化诱导时间、DPPH自由基清除率、ABTS自由基清除率最高,分别为5.83 h、295.11 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ 和724.35 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$,比微波处理前分别提高了57.57%、33.96%和64.46%。适当的微波预处理可以显著增加南瓜籽油中油脂伴随物含量,提高油脂的氧化稳定性和抗氧化能力。

关键词:微波预处理;南瓜籽油;总酚;总生育酚;甾醇;氧化稳定性;自由基清除能力

中图分类号:TS222;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)11-0001-06

Effect of microwave pretreatment on quality of pressed pumpkin seed oil

KONG Fan¹, YANG Chen¹, LEI Fenfen^{1,2,3}, LUO Huibing⁴,
HE Dongping^{1,2,3}, ZHENG Jingcheng^{1,2,3}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Grain and Oil Resources Comprehensive Exploitation and Engineering Technology Research Center of State Administration of Grain, Wuhan 430023, China; 3. Key Laboratory of Deep Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, Wuhan 430023, China; 4. Hubei Powdery Health Industry Co., Ltd., Jingmen 431821, Hubei, China)

Abstract: The pumpkin seed kernels were used as materials, and the effects of microwave pretreatment on quality of pressed pumpkin seed oil were investigated. The results showed that with the increase of microwave power and microwave time prolonging, the acid value did not change significantly. Peroxide value showed an overall increasing trend under 350 W and 550 W microwave power, and showed an initially increasing and then decreasing trend under 700 W microwave power. Microwave pretreatment could improve the contents of total phenols, sterol and total tocopherol in pumpkin seed oil, and their highest contents of 1 352.7 mg/kg, 2.54 mg/g and 56.95 mg/100 g were obtained under 550 W for 12, 9 min and 9 min, with the highest increase of 87.61%, 29.59% and 15.17%, respectively. The scavenging abilities for DPPH· and ABTS⁺·, and the oxidation induction time increased with microwave pretreatment, and their values reached the maximum of 5.83 h, 295.11 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ and 724.35 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ under the

condition of 550 W for 9 min, which increased by 57.57%, 33.96% and 64.46%, respectively. Proper microwave pretreatment could significantly increase the content of oil concomitants in pumpkin seed oil, and improve the oxidation stability and

收稿日期:2021-02-08;修回日期:2021-08-24

基金项目:湖北省技术创新专项重大项目(2019ABA117)

作者简介:孔凡(1996),男,在读硕士,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程(E-mail)1439465974@qq.com。

通信作者:雷芬芬,讲师(E-mail)fiona_lei@126.com。

antioxidant capacity of the oil.

Key words: microwave pretreatment; pumpkin seed oil; total polyphenols; total tocopherol; sterols; oxidation stability; free radical scavenging ability

南瓜为葫芦科 (Cucurbitaceae) 南瓜属 (*Cucurbita*) 的一年生蔓生草本植物,具有品种多、抗逆性强、适应性强、地域分布广、产量高、耐储藏、植株全身均能食用等特性^[1-2]。南瓜籽作为南瓜加工的副产品,其油脂含量占南瓜籽干重的 35% ~ 50%,高者达到 64%^[3],是一种很有潜力的油料^[4]。南瓜籽油中含有丰富的不饱和脂肪酸,具有预防湿疹,抗过敏,降血糖和血脂,抑制血栓形成和血小板聚集,预防并治疗前列腺疾病等功效^[5-6]。

目前市售南瓜籽油大多是以冷榨工艺制得,有效保留了南瓜籽中的天然活性成分,作为高端油脂产品深受消费者青睐,但存在提油率不高和油脂伴随物含量相对较低的问题^[7],因此采用合适的前处理来提高压榨南瓜籽油的提取率和品质十分重要。近年来,超声、微波和脉冲电场等预处理方法得到了广泛的关注。这些新的预处理技术不仅可以提高提油率,而且可以提高油脂的营养价值、理化性质和感官品质^[8]。微波是一种清洁、高效、方便的能源,可有效破坏植物细胞壁,钝化酶,提高提油率及生育酚等活性成分含量^[9-10],已被广泛应用于油脂提取中^[11]。已有学者研究了微波预处理对芝麻油^[12]、紫苏籽油^[13]、山桐子油^[14]、芒果籽仁油^[15]、黑孜然籽油^[16]等品质的影响,而微波预处理对压榨南瓜籽油品质影响的研究目前还未见报道。

本文利用微波对南瓜籽仁进行预处理,采用压榨法制取南瓜籽油。通过对比分析南瓜籽油酸值、过氧化值、总酚含量、甾醇含量、总生育酚含量、氧化诱导时间和自由基清除能力来评价微波预处理前后南瓜籽油品质的变化,以期对南瓜籽的进一步加工利用提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

南瓜籽仁,宝得瑞(湖北)健康产业有限公司;异丙醇、乙醚、甲醇、碘化钾、氢氧化钠、氢氧化钾、抗坏血酸(V_C)、三氯甲烷、冰乙酸、浓硫酸、浓磷酸、三氯化铁、福林酚试剂、可溶性淀粉,国药集团化学试剂有限公司;过二硫酸钾、百里香酚酞、硫代硫酸钠,上海麦克林生化科技有限公司;1,1-二苯基-2,2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS),美国 Sigma 公

司;水溶性维生素 E (Trolox),上海倍卓生物科技有限公司;没食子酸标准品、豆甾醇标准品,上海源叶生物科技有限公司。

M1-L213B 型微波炉;LYF501 型家用压榨机;TGL-16G 离心机;892 型 Rancimat 油脂氧化稳定仪;UV-2450 紫外可见分光光度计,日本岛津公司。

1.2 试验方法

1.2.1 微波预处理南瓜籽仁及南瓜籽油的制备

称取 100 g 南瓜籽仁平铺于直径 18 cm 的玻璃平底皿中,置于微波炉内,分别在中火档(约 350 W)、中高火档(约 550 W)、高火档(约 700 W)处理 0、3、6、9、12 min(隔 2 ~ 3 min 翻炒 1 次)进行微波处理。微波处理后取出南瓜籽仁,冷却至室温,然后将其投入压榨机进行压榨(出油温度 < 60 °C),收集毛油,在 6 000 r/min 下离心 10 min 去除沉淀,得南瓜籽油。

1.2.2 南瓜籽油酸值和过氧化值的测定

酸值测定参照 GB 5009.229—2016,过氧化值测定参照 GB 5009.227—2016。

1.2.3 南瓜籽油总酚含量的测定

以没食子酸为对照品,测定南瓜籽油总酚含量。精确称取 5.00 mg 没食子酸标准品,用甲醇溶解并定容至 10 mL,配制成质量浓度为 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的标准母液,然后分别精确吸取 20、40、60、80、100 μL 标准母液于棕色进样瓶中,分别加 480、460、440、420、400 μL 甲醇,配制成质量浓度为 20、40、60、80、100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的标准溶液。取 0.2 mL 标准溶液于 5 mL 试管中,加入 3 mL 蒸馏水后,再加入 0.25 mL 福林酚溶液,室温下静置 6 min 后,加入 20% 的碳酸钠溶液 0.75 mL,在室温下静置 1 h 后,用紫外可见分光光度计在 750 nm 波长处测定其吸光度。得到没食子酸质量浓度(x)与吸光度(y)的标准曲线方程: $y = 4.5921x + 0.0225 (R^2 = 0.9987)$ 。

称取 1 g 南瓜籽油,加入 5 mL 甲醇,混匀后在 6 000 r/min、4 °C 下离心 6 min,将上层清液移至 25 mL 容量瓶中。重复上述操作(甲醇提取、离心)3 次后,向容量瓶中继续加甲醇定容至 25 mL,将其转移到玻璃瓶中,在 -20 °C 下保存。取 0.2 mL 提取液,按照测定标准溶液吸光度的方法对提取液进行显色

处理后测定其吸光度,根据标准曲线方程计算南瓜籽油的没食子酸含量,即为总酚含量。

1.2.4 南瓜籽油甾醇含量的测定

以豆甾醇为对照品,测定南瓜籽油甾醇含量。

取 10 g 三氯化铁($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$),溶于 87% 浓磷酸中,并定容至 100 mL,得铁贮存液(可保存一年)。取 1.5 mL 铁贮存液,加浓硫酸至 100 mL,即得磷硫铁显色剂。

精确称取 0.1 g 豆甾醇标准品,用无水乙醇溶解并定容至 100 mL,配制成质量浓度为 1 mg/mL 的标准母液,然后吸取一定量的标准母液分别配制质量浓度为 0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 mg/mL 的标准溶液。取 2 mL 标准溶液于 10 mL 试管中,加入 2 mL 无水乙醇后,再加入 2 mL 磷硫铁显色剂,室温下避光显色反应 15 min,用紫外可见分光光度计在 442 nm 波长处测定其吸光度。得到豆甾醇质量浓度(x)与吸光度(y)的标准曲线方程: $y = 3.9859x + 0.1110$ ($R^2 = 0.9999$)。

南瓜籽油中不皂化物的提取参照 GB/T 5535.1—2008,略有改动。取 2 g 南瓜籽油于 100 mL 圆底烧瓶中,加入 5 mL 质量浓度为 0.1 g/mL 的 V_c 溶液,再加入 20 mL 浓度为 1 mol/L 的 KOH-EtOH 溶液,在 90 °C 下油浴回流 30 min。冷却后,将其转移到分液漏斗中,加入 100 mL 蒸馏水,用 100 mL 乙醚洗 3 次,放出下层后,再用水洗至乙醚层为中性。取乙醚层在 50 °C 下旋蒸除去乙醚,用无水乙醇将不皂化物定容至 25 mL。取 2 mL 不皂化物于 10 mL 试管中,按照测定标准溶液吸光度的方法对不皂化物显色后测定其吸光度,根据标准曲线方程计算南瓜籽油的甾醇含量。

1.2.5 南瓜籽油总生育酚含量的测定

总生育酚含量测定参照 GB/T 26635—2011。

1.2.6 南瓜籽油氧化诱导时间的测定

称取 3 g 南瓜籽油,用油脂氧化稳定仪在加热温度 120 °C、空气流量 20 L/h 条件下测定其氧化诱导时间。

1.2.7 南瓜籽油 DPPH 自由基清除能力的测定

称取 0.039 4 g DPPH,用异丙醇定容至 100 mL,得到浓度为 1 mmol/L 的 DPPH 储备液,再用异丙醇稀释配制成浓度为 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液。取 2 mL 南瓜籽油样品与 2 mL DPPH 溶液混合,避光反应 30 min,以异丙醇作空白对照,测定其在 517 nm 波长处的吸光度,按照下式计算 DPPH 自由基清除率(Y_1)。

$$Y_1 = (1 - A_i/A_0) \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_i 为 2 mL 南瓜籽油样品与 2 mL DPPH 溶液反应后的吸光度; A_0 为 2 mL 异丙醇与 2 mL DPPH 溶液反应后的吸光度。

以 Trolox 为标准物质,以 Trolox 浓度对 DPPH 自由基清除率作标准曲线(标准曲线方程为 $y = 3.531x + 7.975$, $R^2 = 0.9987$)。计算 100 g 样品与 Trolox 的等值抗氧化活性,结果用 $\mu\text{mol}/100 \text{ g}$ 表示。

1.2.8 南瓜籽油 ABTS 自由基清除能力的测定

称取 0.038 4 g ABTS,用蒸馏水溶解并定容到 10 mL,得 ABTS 储备液(7.0 mmol/L)。

取 0.007 0 g 过二硫酸钾,用蒸馏水溶解并定容到 10 mL,得过二硫酸钾储备液(2.6 mmol/L)。

取 0.2 mL ABTS 储备液和 0.2 mL 过二硫酸钾储备液混合,黑暗环境下室温放置 12 ~ 16 h,使用时用乙醇将其稀释至吸光度为 0.70 ± 0.02 (稀释 10 ~ 60 倍),为 ABTS 工作液。取 4 mL ABTS 工作液与 2 mL 一定质量浓度的南瓜籽油样品混合(约 10 mg/mL),避光反应 10 min,以无水乙醇作空白对照,测定其在 734 nm 波长处的吸光度,按照下式计算 ABTS 自由基清除率(Y_2)。

$$Y_2 = (1 - A_i/A_0) \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_i 为 2 mL 南瓜籽油样品与 4 mL ABTS 工作液反应后的吸光度; A_0 为 2 mL 无水乙醇与 4 mL ABTS 工作液反应后的吸光度。

以 Trolox 为标准物质,以 Trolox 浓度对 ABTS 自由基清除率作标准曲线(标准曲线方程为 $y = 5.427x + 14.988$, $R^2 = 0.9884$)。计算 100 g 样品与 Trolox 的等值抗氧化活性,结果用 $\mu\text{mol}/100 \text{ g}$ 表示。

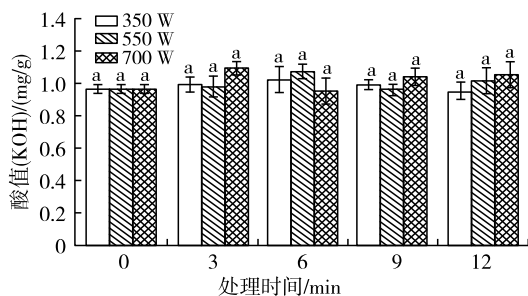
1.2.9 数据分析

所有指标的测定均重复 3 次,结果表示为“平均值 \pm 标准差”。采用 Excel 2016 软件记录整理试验数据,采用 SPSS 软件对各组数据进行单因素方差分析,差异显著性用 Duncan 多重比较分析。采用 Origin 2018 绘图。

2 结果与分析

2.1 微波预处理对南瓜籽油酸值的影响(见图 1)

由图 1 可知,微波预处理前后,南瓜籽油的酸值(KOH)在 0.95 ~ 1.09 mg/g 之间,满足国标对植物油酸值(KOH)的要求($< 4 \text{ mg/g}$)。微波功率和微波处理时间对压榨南瓜籽油酸值的影响不大,该结果与陈洁等^[17]关于微波对葵花籽油酸值和杨湄等^[18]关于微波对压榨菜籽油和预榨浸出菜籽油酸值影响的研究结果一致。



注:同一功率不同微波处理时间的比较采用单因素方差分析,不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。下同

图1 微波预处理对南瓜籽油酸值的影响

2.2 微波预处理对南瓜籽油过氧化值的影响(见图2)

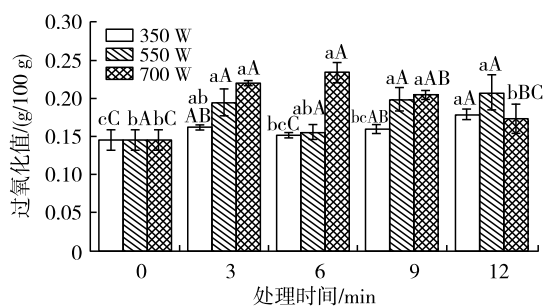


图2 微波预处理对南瓜籽油过氧化值的影响

由图2可知,微波预处理前后,南瓜籽油的过氧化值在0.146 ~ 0.234 g/100 g之间,满足国标对植物油过氧化值的要求(< 0.25 g/100 g)。在350 W和550 W微波功率下,随着处理时间的延长,南瓜籽油的过氧化值总体呈缓慢上升趋势;而在700 W微波功率下南瓜籽油的过氧化值随处理时间的延长呈先增加后降低的趋势。350 W微波处理12 min的南瓜籽油过氧化值为0.180 g/100 g,比微波处理前提高了23.29%,而550 W微波处理12 min的南瓜籽油过氧化值为0.208 g/100 g,比微波处理前提高了42.46%。这主要是因为南瓜籽仁经微波处理后,南瓜籽油的不饱和脂肪酸在微波辐射下易生成过氧化物,同时微波处理导致南瓜籽仁的水分散失,表面产生小孔径,使油脂与空气中的氧气更多的接触,从而使过氧化值升高^[19]。而在700 W微波功率下过氧化值有降低的趋势,这可能是因为随着处理时间的延长,氢过氧化物进一步分解成醛、酮、醌等次级氧化产物,导致过氧化值降低。

2.3 微波预处理对南瓜籽油总酚含量的影响(见图3)

由图3可知,未经微波预处理的压榨南瓜籽油的总酚含量为721.0 mg/kg。在350 W和500 W微波功率下,随着处理时间的延长,南瓜籽油的总酚含

量呈先上升后平缓的趋势;而在700 W微波功率下,南瓜籽油的总酚含量随着处理时间的延长逐渐上升,在9 min时达到最高值,之后则有所降低。350 W微波处理12 min的南瓜籽油总酚含量为1 076.5 mg/kg,比微波处理前提高了49.31%,550 W微波处理12 min的南瓜籽油总酚含量为1 352.7 mg/kg,比微波处理前提高了87.61%,700 W微波处理9 min时,南瓜籽油总酚含量为1 179.6 mg/kg,比微波处理前提高了63.61%。总酚含量的升高可能是因为微波处理产生的热效应破坏了南瓜籽仁的细胞壁结构,使结合酚的交联结构被破坏变成了游离酚酸,在提取过程中其被释放到油中^[20],而随着微波功率的增加和处理时间的延长,油脂氧化程度增加,导致了总酚的损耗,该结果与李媛媛等^[21]对微波处理亚麻籽油的研究结果一致。

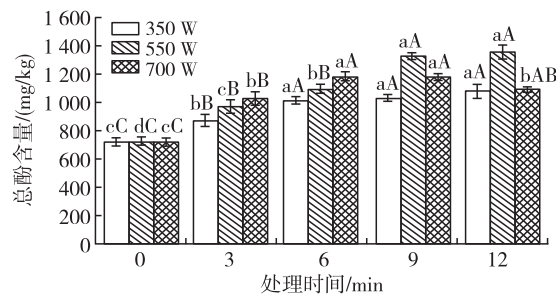


图3 微波预处理对南瓜籽油总酚含量的影响

2.4 微波预处理对南瓜籽油甾醇含量的影响(见图4)

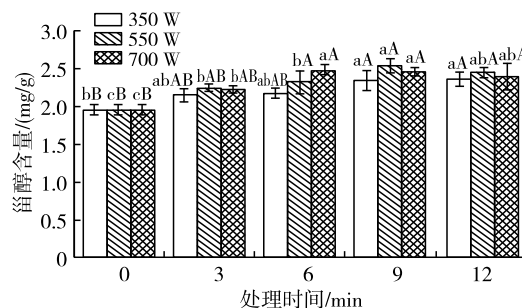


图4 微波预处理对南瓜籽油甾醇含量的影响

由图4可知,未经微波预处理的压榨南瓜籽油的甾醇含量为1.96 mg/g。在350 W微波功率下,随着处理时间的延长,南瓜籽油的甾醇含量呈缓慢上升趋势,且在12 min达到最高值(2.36 mg/g),比微波预处理前提高了20.41%;在550 W和700 W微波功率下,随着处理时间的延长,南瓜籽油的甾醇含量呈先上升后略微下降的趋势,分别在550 W微波处理9 min和700 W微波处理6 min时达到最大值,分别为2.54、2.48 mg/g,比微波处理前分别提高了29.59%和26.53%。这可能是因为微波处理对南瓜籽仁的细胞有破坏作用,有助于南瓜籽油中

甾醇的溶出,但甾醇在加热条件下易氧化,随着处理时间的延长和微波功率的增加,甾醇发生了氧化,导致其含量有所降低。该结果与李媛媛等^[21]对微波处理亚麻籽油的研究结果一致。

2.5 微波预处理对南瓜籽油总生育酚含量的影响 (见图5)

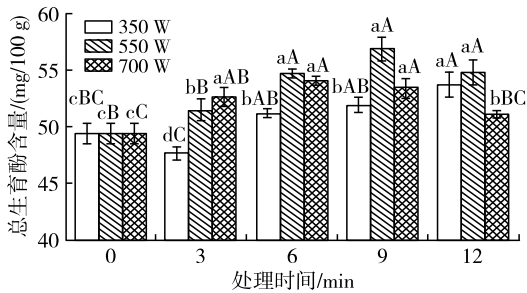


图5 微波预处理对南瓜籽油总生育酚含量的影响

由图5可知,未经微波预处理的压榨南瓜籽油的总生育酚含量为49.45 mg/100 g。在350 W微波功率下,微波处理3 min时,南瓜籽油的总生育酚含量略微下降,之后随着处理时间的延长,总生育酚含量呈缓慢上升趋势,且在12 min达到最大值(53.76 mg/100 g),比微波预处理前提高了8.72%;在550 W和700 W微波功率下,随着处理时间的延长,南瓜籽油的总生育酚含量呈先上升后略微下降的趋势,分别在550 W微波处理9 min和700 W微波处理6 min时达到最大值,分别为56.95、54.12 mg/100 g,比微波预处理前分别提高了15.17%和9.44%。微波功率为550 W和700 W时,南瓜籽油总生育酚含量呈先上升后下降的趋势,这可能是因为微波处理破坏了南瓜籽仁的细胞结构,有利于生育酚的溶出,而随着微波处理程度的加深,南瓜籽仁吸收了较多能量,导致南瓜籽仁温度升高,生育酚氧化分解^[22]。350 W微波处理3 min会导致南瓜籽油总生育酚含量下降,这与黄颖^[12]、Wroniak^[23]等的研究结果类似,具体原因还需要进一步的探究。

2.6 微波预处理对南瓜籽油氧化稳定性和抗氧化能力(见图6)和抗氧化能力(见图7)的影响

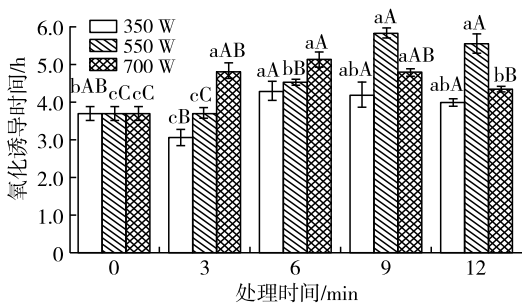


图6 微波预处理对南瓜籽油氧化诱导时间的影响

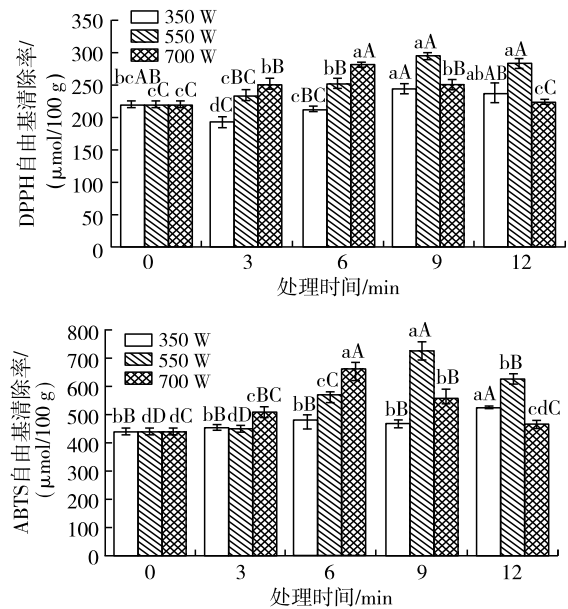


图7 微波预处理对南瓜籽油抗氧化能力的影响

由图6和图7可知,微波预处理对南瓜籽油的氧化稳定性和抗氧化能力的影响相似。未经微波预处理的压榨南瓜籽油的氧化诱导时间和DPPH、ABTS自由基清除率分别为3.70 h、220.30 μmol/100 g和440.44 μmol/100 g。在350 W微波功率下,南瓜籽油的氧化诱导时间和DPPH自由基清除能力均随处理时间的延长先略有下降后逐渐增加,油脂的氧化稳定性与自由基清除能力与油脂伴随物的含量相关,该趋势与总生育酚含量的变化趋势一致,可能是生育酚在南瓜籽油的抗氧化能力中发挥了主要作用;在550 W和700 W微波功率下,随着处理时间的延长,南瓜籽油的氧化诱导时间和自由基清除能力呈先上升后下降的趋势,550 W微波处理9 min时,南瓜籽油的氧化诱导时间和DPPH、ABTS自由基清除率均达到最大,分别为5.83 h、295.11 μmol/100 g和724.35 μmol/100 g,比微波预处理前分别提高了57.57%、33.96%和64.46%。这可能是因为微波处理可以破坏南瓜籽仁的细胞结构,促进具有抗氧化活性的油脂伴随物溶出,如多酚、甾醇、生育酚等,提高了南瓜籽油的氧化稳定性和自由基清除能力,而随着微波处理程度逐渐加深,南瓜籽仁内部温度过高加速了油脂的氧化,导致550 W和700 W微波功率下南瓜籽油的氧化诱导时间和自由基清除能力随处理时间的延长呈先升高后有所降低的趋势。

南瓜籽油的氧化稳定性和抗氧化能力随处理时间的变化趋势基本一致,这可能是因为不同油脂伴随物综合作用对南瓜籽油氧化诱导时间和自由基清除能力的影响是一致的。

3 结论

本文在3种微波功率(350、550、700 W)下对南瓜籽仁进行不同时间的微波预处理,然后进行压榨制油并对压榨油的酸值、过氧化值、总酚含量、甾醇含量、总生育酚含量、氧化诱导时间和自由基清除能力进行分析,以考察微波预处理对南瓜籽油理化性质、油脂伴随物含量、氧化稳定性和抗氧化能力的影响规律。结果表明:微波预处理对南瓜籽油的酸值影响不大,但会导致过氧化值有所升高,但都在国标要求范围内;适当微波预处理可以提高南瓜籽油中总酚、甾醇、总生育酚的含量,其含量分别在550 W微波处理12、9、9 min时达最大,分别为1352.7 mg/kg、2.54 mg/g和56.95 mg/100 g,比微波处理前分别提高了87.61%、29.59%和15.17%;同时适当的微波预处理也能提高南瓜籽油的氧化稳定性和抗氧化能力,在550 W微波处理9 min时,南瓜籽油的氧化诱导时间和DPPH、ABTS自由基清除率均达到最大,分别为5.83 h、295.11 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ 和724.35 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$,比微波处理前分别提高了57.57%、33.96%和64.46%。这表明适当的微波预处理可以显著增加南瓜籽油中油脂伴随物的含量,提高油脂的氧化稳定性和抗氧化能力。

参考文献:

- [1] 屈淑平,刘超,葛宇,等.籽用南瓜种质资源形态学多样性分析[J].东北农业大学学报,2013,44(10):67-75.
- [2] 刘超.籽用南瓜种质资源遗传多样性研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [3] 李晓宁,薛雅琳,郭咪咪,等.南瓜籽制油工艺研究进展[J].粮油食品科技,2018(4):23-27.
- [4] BUČKO S, KATONA J, PETROVIĆ L, et al. The influence of enzymatic hydrolysis on adsorption and interfacial dilatational properties of pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed protein isolate[J]. Food Biophys, 2018, 13(2):217-225.
- [5] 张海龙,申明杰,张维,等.南瓜籽油亚临界流体萃取工艺及成分研究[J].中国油脂,2016,41(11):17-20.
- [6] 黄文城,王璐.南瓜籽粕综合利用的研究进展[J].粮食与油脂,2019,32(2):10-12.
- [7] 秦荣秀,文超,杨漓,等.香花油茶籽压榨制油工艺条件研究[J].中国油脂,2020,45(12):6-11.
- [8] KOUBAA M, MHEMDI H, BARBA F J, et al. Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: an overview[J]. Food Res Int, 2016, 85:59-66.
- [9] 吕俊丽,马雪慧,王华.微波预处理对亚麻籽油得率及其贮藏稳定性的影响[J].中国油脂,2020,45(6):13-17.
- [10] FATHI - ACHACHLOUEI B, AZADMARD - DAMIRCHI S, ZAHEDI Y, et al. Microwave pretreatment as a promising strategy for increment of nutraceutical content and extraction yield of oil from milk thistle seed[J]. Ind Crop Prod, 2019, 128:527-533.
- [11] JIAO J, LI Z G, GAI Q Y, et al. Microwave - assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pumpkin seeds and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities[J]. Food Chem, 2014, 147(6):17-24.
- [12] 黄颖,郭萍梅,郑畅,等.微波预处理对芝麻油营养品质及抗氧化能力的影响[J].中国油脂,2019,44(2):1-4.
- [13] 黄颖,郑畅,刘昌盛,等.微波预处理紫苏籽对其油脂品质及抗氧化特性的影响[J].粮食与油脂,2019,32(5):48-50.
- [14] 马素换,张苗,郭萍梅,等.微波预处理对山桐子果细胞结构及油脂品质的影响[J].中国油脂,2018,43(7):19-22.
- [15] KITTIPHOOM S, SUTASINEE S. Effect of microwaves pretreatments on extraction yield and quality of mango seed kernel oil[J]. Int Food Res J, 2015, 22(3):960-964.
- [16] BAKHSHABADI H, MIRZAEI H, GHODSVALI A, et al. The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil[J]. Ind Crop Prod, 2017, 97:1-9.
- [17] 陈洁,洪振童,刘国琴,等.微波焙炒对葵花籽油品质和挥发性物质的影响[J].现代食品科技,2015,31(8):211-218.
- [18] 杨湄,李文林,刘昌盛,等.基于微波预处理油菜籽的压榨油和浸出油理化品质比较[J].中国油料作物学报,2014,36(2):263-268.
- [19] 张丽霞,张勋,宋国辉,等.微波干燥对芝麻品质特性的影响[J].食品工业科技,2016,37(2):260-264,269.
- [20] 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.
- [21] 李媛媛,吴雪辉,段卓.微波处理对亚麻籽油品质的影响[J].中国油脂,2015,40(1):55-58.
- [22] AZADMARD - DAMIRCHI S, HABIBI - NODEH F, HESARI J, et al. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed[J]. Food Chem, 2010, 121(4):1211-1215.
- [23] 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.