

两种干燥方式对油茶籽美拉德反应的影响

杨楠^{1,2}, 罗凡¹, 费学谦¹, 钟海雁²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江杭州 311400)

(2. 中南林业科技大学食品学院, 湖南长沙 410004)

摘要: 本文考察了烘箱和微波辐射两种干燥方式对油茶籽美拉德产物抗氧化性的影响。通过测定油茶籽中美拉德产物丙酮醛、乙二醛、3-脱氧奥苏糖含量等指标考察了油茶籽在不同干燥方式中氧化稳定性的变化规律。结果表明: 随着微波加热时间的延长, 各火力下的油茶籽均具有清除 DPPH 自由基的能力。在微波高火下加热 20 min 时清除 DPPH 自由基能力最强为 93.11%。在 150 °C 加热 90 min 清除 DPPH 自由基能力最强为 92.03%。在微波加热 0~10 min 时, 在美拉德反应中主要影响油茶籽抗氧化性的物质是 5-羟甲基糠醛; 在微波加热 15 min 后, 主要影响油茶籽抗氧化性等物质是丙酮醛和 3-脱氧奥苏糖。在烘箱加热方式下主要影响油茶籽抗氧化性的物质为丙酮醛、3-脱氧奥苏糖和 5-羟甲基糠醛。油茶籽中乙二醛含量对其抗氧化性作用不大。本文的研究结果对探究油茶籽油美拉德反应的抗氧化机理以及优化油茶籽加工工艺提供了理论基础。

关键词: 油茶籽; 美拉德反应; 抗氧化性

文章编号: 1673-9078(2019)08-136-141

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.8.021

Effects of Two Drying Methods on Maillard Reaction of *Camellia oleifera*

YANG Nan^{1,2}, LUO Fan¹, FEI Xue-qian¹, ZHONG Hai-yang²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China)(2. School of Food Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: In this paper, the effects of two drying methods, hot air and microwave radiation, on the antioxidant properties of *Camellia oleifera* products were investigated. The changes of oxidative stability of *Camellia oleifera* seeds using different drying methods were investigated by measuring the contents of Maillard products such as pyruvic aldehyde, glyoxal and 3-deoxyositol in *Camellia oleifera* seeds. The results showed that with the prolongation of microwave heating time, *Camellia oleifera* seeds under all firepower had the ability to scavenge DPPH free radicals. When the microwave was heated at 700 w for 20 min, the DPPH free radical scavenging ability was the strongest (93.11%). When heated at 150 °C for 90 min, the DPPH free radical scavenging ability was 92.03%. When microwave heating for 0~10 min, the main substance affecting the antioxidant activity of *Camellia oleifera* seeds was 5-hydroxyfurfural; after 15 min of heating in microwave, the main substances affecting the antioxidant activity of *Camellia oleifera* seeds were pyruvic aldehyde and 3-deoxyosurose. The substances mainly affecting the antioxidant activity of *Camellia oleifera* in the oven heating mode were pyruvic aldehyde, 3-deoxyositol and 5-hydroxyfurfural. The content of glyoxal in *Camellia oleifera* seed had little effect on its antioxidant activity. The results of this study provide a theoretical basis for exploring the antioxidant mechanism of maillard reaction of *Camellia oleifera* seed oil and optimizing the processing technology of *Camellia oleifera* seed.

Key words: camellia seed; maillard reaction; antioxidant

油茶 (*Camellia oleifera* Abel.), 山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia* L.) 植物, 是我国特有经济效益和生态效益俱佳的木本油料树种^[1-3]。油茶籽油中油酸、亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸的含量很高, 其中油酸含量高达 85% 以上, 对高血压、心脏病、高血脂等

收稿日期: 2019-03-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2017ZA004-10); 国家自然科学基金项目 (31700605)

作者简介: 杨楠 (1993-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 罗凡 (1980-), 女, 助研, 研究方向: 经济林产品加工利用

心脑血管疾病有良好的预防效果, 被誉为“东方橄榄油”。茶籽中除了油脂、淀粉、蛋白质外, 还有茶皂素、多酚、多糖等活性物质, 可以被用于化工、医药、食品、饲料等多个领域, 有广阔的应用前景。

美拉德反应 (Maillard reaction, MR) 也称为羰氨反应, 是一种非酶褐变, 本质上是羰基与氨基酸、肽、蛋白质等含氮化合物的游离氨基之间发生的一系列反应^[4,5]。该反应的产物称为美拉德反应产物 (Maillard reaction products, MRPs), 主要包括挥发性香气物质、

高活性且有紫外吸收的中间产物和复杂的黑色分子聚合物蛋白黑素^[6]等。陈海光^[7]等人研究了模式美拉德体系产物对油脂抗氧化性能的影响,发现向油脂中添加1%制得的美拉德产物油脂获得良好的抗氧化性;魏长庆等^[8]人研究了亚麻籽油中美拉德反应源挥发性香气形成的机理,发现炒籽30~40 min 亚麻籽油会形成较多的醛类、酮类及杂环类挥发性化合物,认为美拉德反应产物具有一定抗氧化的作用;Gokhan Durmaz等^[9]人研究了焙烤对杏仁油氧化稳定性和抗氧化能力的影响,发现^[18]0℃下,随着焙烤时间增加,杏仁油氧化稳定性和抗氧化能力呈增强趋势,得出可以通过适当的烘烤来改善油性坚果和种子的保质期。

在油茶籽油制备过程中,预处理压榨工段对油茶籽的出油率和油茶籽油产品的品质影响较大。因此本文以油茶籽为材料,分别考察了烘箱干燥^[10]和微波辐射^[11]等不同干燥方式和条件对油茶籽油中美拉德反应发生的温度条件其产物含量与抗氧化性进行探索,以期摸清油茶籽在加工过程中氧化稳定性的变化规律,为优化油茶籽油品质以及油茶籽工业生产中应用美拉德产物提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验仪器

实验所用加热设备分别为:热风烘箱(DHG-9140),微波炉(P70F20L-DG(S0)),广东格兰仕微波辐射生活电器制造有限公司;紫外分光光度计UV-2550,日本岛津公司;电子天平S-114,北京赛多利斯仪器系统有限公司;LC-10AT型液相色谱仪和SPD-10A型紫外检测器,日本岛津公司。

1.2 样品与试剂

表1 实验所用加热方式及条件

Table 1 Heating methods and conditions used in the experiment

加热方式	加热时间/min	加热温度/℃
热风	0、20、40、 60、90、120	90、120、150
	0、5、10、 15、20	
微波辐射	0、5、10、 15、20	中低火(35%)、中火(60%)、 中高火(80%)、高火(100%)

2,2-联苯基-1-苦基基(96%)购自Sigma-Aldrich公司;5-羟甲基糠醛购自Sigma-Aldrich公司;3-脱氧奥苏糖及乙二醛均购自TRC公司;丙酮醛溶液购自麦克林公司;甲醇(HPLC级)购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司;其它试剂均为分析纯,实验用水为超纯水。

选取新鲜成熟的浙江省普通油茶籽。分别采用热风式烘箱和微波炉等对油茶籽进行热风和微波辐射等两种形式的加热处理,加热结束后自然冷却至室温后剥壳,冷藏备用。两种加热方式及加热条件,实验所用加热方式及条件见表1。

1.3 实验方法

1.3.1 MRPs 提取

称取5g的1.2中样品,用甲醇定容至10mL,得到MRPs提取液,冷藏备用^[12]。

1.3.2 MRPs 的抗氧化活性

DPPH法:取1mL MRPs提取液,加入0.2mmol/L DPPH 甲醇溶液3mL。室温条件避光反应30min,以甲醇做参比,517nm波长下测其吸光值。DPPH自由基清除活性按下列计算^[13]:

$$DPPH = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\%$$

式中: A_0 为未加 MRPs 时 DPPH 溶液的吸光度; A_1 为 MR 一定时间后 DPPH 溶液的吸光度; A_2 为 MRPs 的吸光度。

1.3.3 高效液相色谱法测定 MRPs

表2 5-羟甲基糠醛的液相色谱洗脱程序

Table 2 Liquid chromatographic elution procedure for 5-hydroxymethylfurfural

洗脱程序/min	B液浓度/%
0.01~50.00	3~5
50.01~52.00	5~3
52.01~60.00	3

表3 二羰基化合物的液相色谱洗脱程序

Table 3 Liquid chromatographic elution procedure for dicarbonyl compounds

洗脱程序/min	B液浓度/%
0.01~15.00	28~43
15.01~31.00	43~75
36.01~38.00	75~28
38.01~60.00	28

5-羟甲基糠醛高效液相色谱检测条件:流动相A:0.1%冰醋酸溶液,流动相B:甲醇,流速0.7mL/min,柱温:40℃,进样量:10μL,检测波长280nm,色谱柱型号ZORBAX SB-Aq(4.6×250mm,5μm),检测器:SPD紫外检测器,洗脱程序,5-羟甲基糠醛的液相色谱洗脱程序见表2。

二羰基化合物的高效液相色谱检测条件:流动相A:0.1%冰醋酸溶液,流动相B:甲醇,流速:0.8mL/min,柱温:40℃,进样量:10μL。

检测波长314nm,色谱柱型号ZORBAX SB-Aq

(4.6×250 mm, 5 μm), 检测器: SPD 紫外检测器, 洗脱程序, 二羧基化合物的液相色谱洗脱程序见表 3。

1.4 数据处理和分析

各项指标重复测定 3 次, 运用 Excel 进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 抗氧化性分析

DPPH 自由基是一种可以稳定存在于有机溶剂中的自由基, 溶液一般为深紫色, 在 517 nm 处有最大吸收^[14], 是用来测定物质的抗氧化性研究。两种干燥方式下油茶籽的 DPPH 清除能力如图所示。

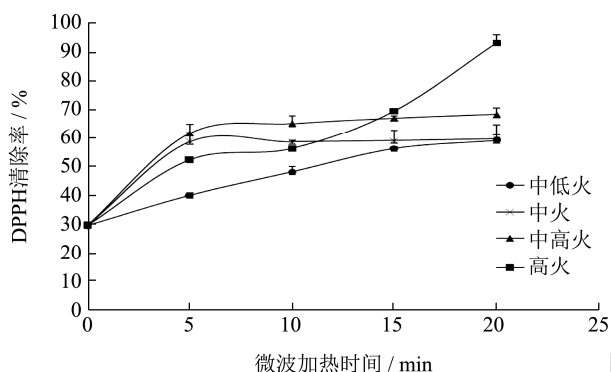


图 1 微波干燥方式下油茶籽的 DPPH 清除能力

Fig.1 DPPH scavenging ability of *Camellia oleifera* seeds under microwave drying

图 1 表示油茶籽在微波加热方式下清除 DPPH 自由基的能力示意图。从图 1 可以看出, 随着微波加热时间的延长, 各火力下的油茶籽均具有清除 DPPH 自由基的能力。油茶籽的初始清除率为 29.58%。在高火下微波加热 20 min 时清除 DPPH 自由基能力最强为 93.11%。在微波加热 0~10 min 时, 油茶籽中清除 DPPH 能力变化趋势为中高火>中火>高火>中低火。微波加热 15 min 后, 变化趋势为高火>中高火>中火与中低火。将油茶籽的 DPPH 清除率与其美拉德产物结合分析发现, 微波加热 0~10 min 时, 影响美拉德反应中油茶籽抗氧化性的物质可能是 5-羟甲基糠醛; 微波加热 15 min 后, 影响美拉德反应中油茶籽抗氧化性物质可能是丙酮醛和 3-脱氧奥苏糖。油茶籽中乙二醛含量对其抗氧化性作用不大。章银良^[15]研究发现美拉德产物 5-羟甲基糠醛与抗氧化性有正相关性。

图 2 表示的是烘箱加热下油茶籽的 DPPH 清除能力示意图。由图可知, 90 °C 和 120 °C 下的油茶籽的 DPPH 清除率随着加热时间的延长变化不明显, 油茶籽的 DPPH 清除率初始值为 29.58%; 150 °C 下的油茶

籽的 DPPH 清除率随着加热时间的延长呈现先增加后降低的过程。在 150 °C 加热 90 min 达到最大值为 92.03%。将油茶籽的 DPPH 清除率与其美拉德产物结合分析发现, 可能影响油茶籽抗氧化性的物质为丙酮醛、3-脱氧奥苏糖和 5-羟甲基糠醛。赵玲^[16]研究结果得出 5-羟甲基糠醛对具有清除 ABTS 和 DPPH 自由基能力。油茶籽中乙二醛含量对其抗氧化性作用不大。

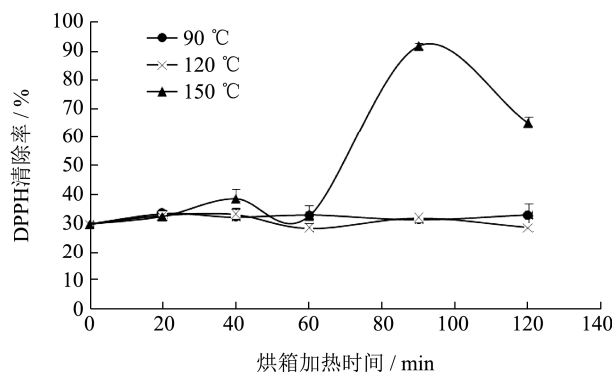


图 2 烘箱干燥方式下油茶籽的 DPPH 清除能力

Fig.2 DPPH scavenging capacity of *Camellia oleifera* seeds in oven drying mode

2.2 美拉德产物含量的分析

目前已经发现的二羧基化合物^[29]的种类很多, 本实验以三种最常见的的二羧基化合物(3-脱氧奥苏糖、乙二醛、丙酮醛与 5-羟甲基糠醛来进行研究。

图 3 表示的是微波干燥方式下油茶籽丙酮醛含量变化图。从图发现, 丙酮醛含量是先增加后降低的变化趋势, 油茶籽中的丙酮醛初始含量为 0.64 μg/g。微波高火加热 10 min 时丙酮醛含量达到最大值为 1.41 μg/g。微波加热 10 min 时, 油茶籽中丙酮醛的变化趋势为: 高火>中高火>中火>中低火。

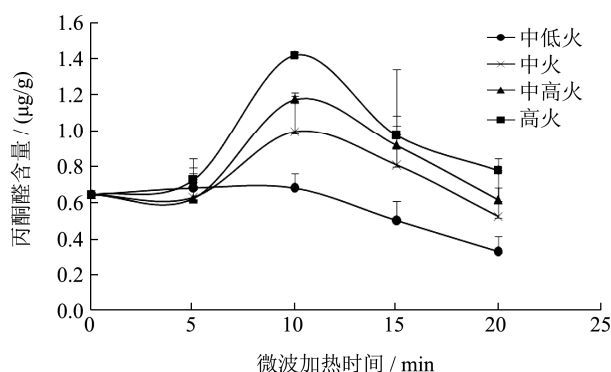


图 3 微波干燥方式下油茶籽的丙酮醛含量

Fig.3 Pyruvic aldehyde content of *Camellia oleifera* seeds under microwave drying

图 4 表示的烘箱干燥方式下油茶籽的丙酮醛含量变化图。研究发现, 90 °C 下油茶籽中丙酮醛含量随着加热时间的延长变化不明显, 丙酮醛含量的初始值为

0.646 $\mu\text{g/g}$; 120 $^{\circ}\text{C}$ 下油茶籽中丙酮醛含量随着加热时间的延长有略微上升的趋势; 150 $^{\circ}\text{C}$ 下油茶籽中丙酮醛含量随着加热时间的延长呈现先增加后降低的过程, 在加热 90 min 时丙酮醛含量达到最大值为 8.32 $\mu\text{g/g}$ 。何甜甜^[17]研究得出丙酮醛的反应活性很强, 与活性氧类物质类似。

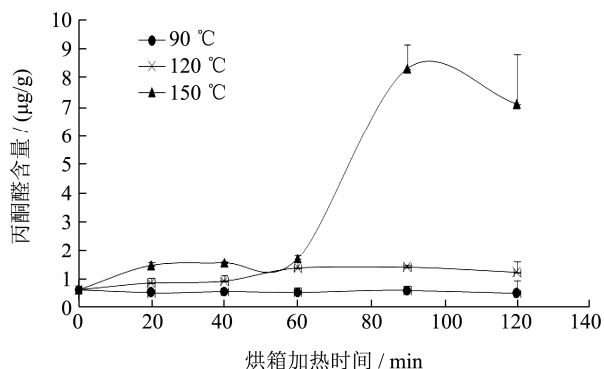


图4 烘箱干燥方式下油茶籽的丙酮醛含量

Fig.4 Pyruvic aldehyde content of *Camellia oleifera* seeds in oven drying mode

图5表示的微波干燥方式下的3-脱氧奥苏糖的含量变化图。从图得出, 油茶籽中3-脱氧奥苏糖的初始含量为 1.34 $\mu\text{g/g}$, 在高火加热 20 min 时, 油茶籽中的3-脱氧奥苏糖含量达到最大值为 6.45 $\mu\text{g/g}$ 。其余火力下油茶籽中3-脱氧奥苏糖含量变化不明显。

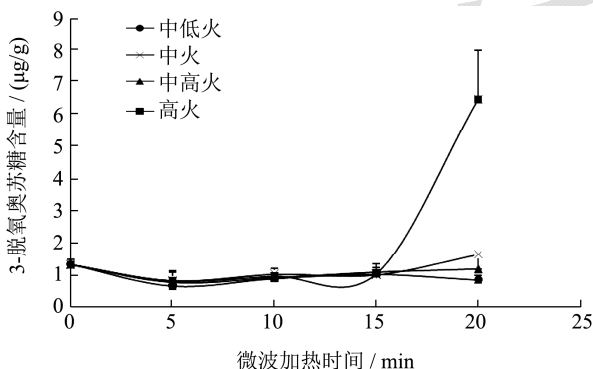


图5 微波干燥方式下油茶籽的3-脱氧奥苏糖含量

Fig.5 3-deoxyosurose content of *Camellia oleifera* seeds under microwave drying

图6表示烘箱干燥方式下油茶籽中3-脱氧奥苏糖的含量变化示意图。油茶籽在加热 90 $^{\circ}\text{C}$ 和 120 $^{\circ}\text{C}$ 下随着加热时间的延长3-脱氧奥苏糖含量变化不明显, 在 150 $^{\circ}\text{C}$ 下油茶籽中3-脱氧奥苏糖含量随着加热时间的延长呈现先增加后降低的趋势。油茶籽中的3-脱氧奥苏糖的初始含量为 1.34 $\mu\text{g/g}$ 。在 150 $^{\circ}\text{C}$ 下加热 90 min 时3-脱氧奥苏糖含量达到最大值为 32.6 $\mu\text{g/g}$, 约是初始含量的 24 倍。马毛毛^[18]研究得出3-脱氧奥苏糖等二羰基化合物随着加热时间的增加而增加。

图7表示的是在微波干燥方式下油茶籽中乙二醛

的含量变化示意图。从图得出, 油茶籽中乙二醛的初始含量为 7.16 $\mu\text{g/g}$ 。随着微波加热时间的延长, 油茶籽中的乙二醛含量变化确实不明显。在微波功中低火下加热 20 min 时油茶籽中乙二醛含量达到最大值为 7.71 $\mu\text{g/g}$, 与油茶籽中乙二醛的初始含量相差 0.55 $\mu\text{g/g}$ 。

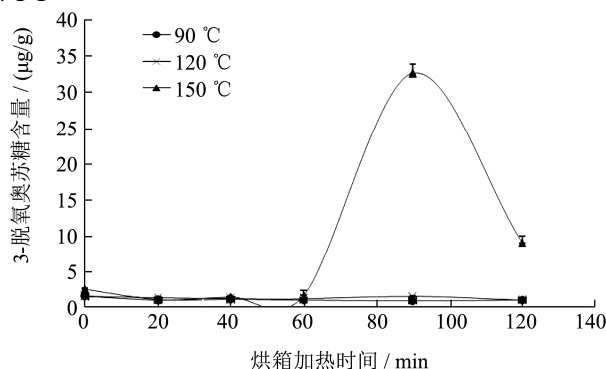


图6 烘箱干燥方式下油茶籽的3-脱氧奥苏糖含量

Fig.6 3-deoxyosurose content of *Camellia oleifera* seeds in oven drying mode

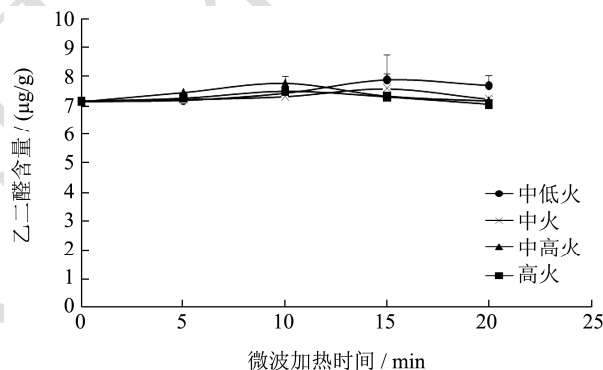


图7 微波干燥方式下油茶籽的乙二醛含量

Fig.7 Glyoxal content of *Camellia oleifera* seeds under microwave drying

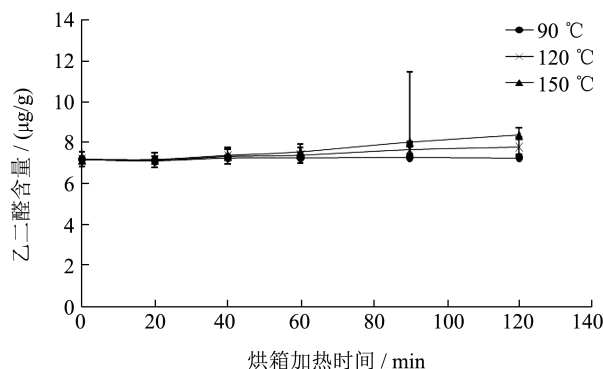


图8 烘箱干燥方式下油茶籽的乙二醛含量

Fig.8 Glyoxal content of *Camellia oleifera* seeds in oven drying mode

图8为烘箱干燥方式下油茶籽中乙二醛含量变化示意图。油茶籽中乙二醛的初始含量为 7.16 $\mu\text{g/g}$ 与微波干燥方式下乙二醛初始含量相同。油茶籽中乙二醛

的含量随着加热时间的延长呈现增加的趋势。Neslihan^[19]研究结果表明加热提高二羰基化合物的含量。在 150 °C 加热 120 min 时油茶籽中乙二醛含量达到最大值为 8.36 μg/g。

图 9 为微波干燥方式下油茶籽中 5-羟甲基糠醛含量的变化示意图。微波加热前期,油茶籽中 5-羟甲基糠醛的含量是增加的,在功率高火下微波加热 5 min 时,5-羟甲基糠醛的含量为 8.79 μg/g。微波加热 10 min 时,5-羟甲基糠醛含量变化趋势为:中高火>中火>中低火与高火。微波加热 15 min 时,5-羟甲基糠醛的含量变化趋势为:中低火>中火>高火>中高火。在微波加热 20 min 时,5-羟甲基糠醛在不同火力下含量相似。

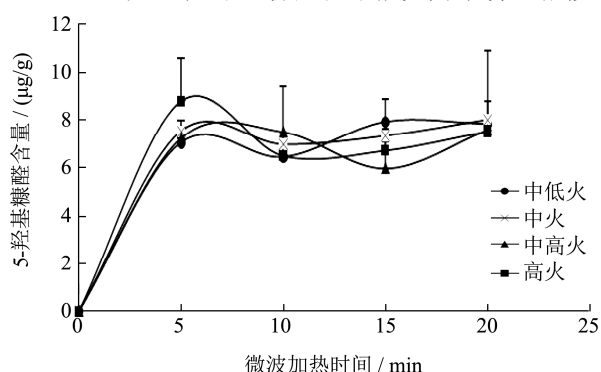


图 9 微波干燥方式下油茶籽的 5-羟甲基糠醛含量

Fig.9 5-Hydroxymethylfurfural content of *Camellia oleifera* seeds under microwave drying

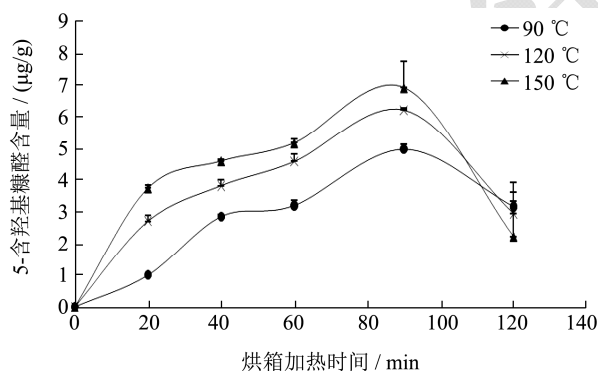


图 10 烘箱干燥方式下油茶籽的 5-羟甲基糠醛含量

Fig.10 5-Hydroxymethylfurfural content of *Camellia oleifera* seeds in oven drying mode

图 10 为烘箱干燥方式下油茶籽中 5-羟甲基糠醛含量的变化示意图。油茶籽中 5-羟甲基糠醛的含量随着加热时间的延长呈现先增加后降低的过程且温度越高 5-羟甲基糠醛含量越高。在 150 °C 下加热 90 min 时油茶籽中 5-羟甲基糠醛的含量达到最大值为 6.92 μg/g。在加热 120 min 下,90 °C 和 120 °C 下油茶籽中 5-羟甲基糠醛含量相似,150 °C 下的油茶籽中 5-羟甲基糠醛下降更多。王军等^[20]对红枣汁进行热处理,发现在相同加热时间下,红枣汁中 5-羟甲基糠醛含量随

着温度的增加明显上升;在相同加热温度下,5-羟甲基糠醛含量随着加热时间的增加而增加。

3 结论

3.1 本文考察了烘箱和微波辐射两种干燥方式对油茶籽美拉德产物抗氧化性的影响。通过测定油茶籽中美拉德产物丙酮醛、乙二醛、3-脱氧奥苏糖含量等指标考察了油茶籽在不同干燥方式中氧化稳定性的变化规律。结果表明:微波高火加热 10 min 时丙酮醛含量达到最大值为 1.41 μg/g,在烘箱加热 90 min 时丙酮醛含量达到最大值为 8.32 μg/g;在高火加热 20 min 时,油茶籽中的 3-脱氧奥苏糖含量达到最大值为 6.45 μg/g,在 150 °C 下加热 90 min 时 3-脱氧奥苏糖含量达到最大值为 32.6 μg/g,约是初始含量的 24 倍;在高火下微波加热 5 min 时,5-羟甲基糠醛的含量为 8.79 μg/g,在 150 °C 下加热 90 min 时油茶籽中 5-羟甲基糠醛的含量达到最大值为 6.92 μg/g。

3.2 将油茶籽中美拉德产物与 DPPH 抗氧化性结合分析,发现随着微波加热时间的延长,各火力下的油茶籽均具有清除 DPPH 自由基的能力。在高火下微波加热 20 min 时清除 DPPH 自由基能力最强为 93.11%。在 150 °C 加热 90 min 清除 DPPH 自由基能力最强为 92.03%。微波加热 0~10 min,影响美拉德反应中油茶籽抗氧化性的物质可能是 5-羟甲基糠醛;微波加热 15 min 后,影响美拉德反应中油茶籽抗氧化性的物质可能是丙酮醛和 3-脱氧奥苏糖。在烘箱加热方式下可能影响油茶籽抗氧化性的物质为丙酮醛、3-脱氧奥苏糖和 5-羟甲基糠醛。油茶籽中乙二醛含量对其抗氧化性作用不大。由此可见油茶籽发生美拉德反应后其产物是具有一定抗氧化性,能延长油茶籽的氧化稳定性。本文研究得出在油茶籽中起抗氧化作用的美拉德产物可能是 5-羟甲基糠醛、3-脱氧奥苏糖和丙酮醛等美拉德中间产物。然而美拉德反应是一个复杂的反应体系,所以不排除油茶籽提取物中其他活性物质影响油茶籽的抗氧化性,因此本文只是初步研究其产物的抗氧化活性,MRPs 的具体组成及其的抗氧化物质和抗氧化机理,有待进一步研究。

参考文献

[1] 尹丹丹,李珊珊,吴倩,等.我国 6 主要木本油料作物的研究进展[J].植物学报,2018,53(1):110-125
YIN Dan-dan, LI Shan-shan, WU Qian, et al. Research progress on 6 main woody oil crops in China [J]. Plant Journal, 2018, 53(1): 110-125
[2] 杨建远,陈芳,宋沥文,等.油茶籽油提取技术研究进展[J].食

- 品与机械,2016,32(2):183-185
YANG Jian-yuan, CHEN Fang, SONG Li-wen, et al. Research progress in extraction technology of camellia seed oil [J]. Food and Machinery, 2016, 32(2): 183-185
- [3] 张东生,金青哲,薛雅琳,等.油茶籽油的营养价值及掺伪鉴定研究进展[J].中国油脂,2013,38(8):47-49
ZHANG Dong-sheng, JIN Qing-zhe, et al. Research progress on nutritional value and adulteration identification of camellia seed oil [J]. China Oils and Fats, 2013, 38(8): 47-49
- [4] 杨调调,何志勇,秦昉,等.美拉德反应对产品风味品质的影响及其衍生危害物研究进展[J].食品安全质量检测学报,2017,3:855-861
YANG Tiao-tiao, HE Zhi-yong, QIN Wei, et al. Research on the effect of maillard reaction on product flavor quality and its derived harmful substances [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 3: 855-861
- [5] Yoo M A, Kim H W, K H, et al. Antioxidant effect of brown substances separated from defatted roasted sesame drugs [J]. Food Sci Biotechnol, 2004, 13: 274-278
- [6] Jing H, Kitts D D. Antioxidant activity of sugar-lysine maillard reaction products in cell free and cell culture systems [J]. Arch. Biochem Biophys, 2004, 429: 154-163
- [7] 陈海光,黄敏,于立梅,模式美拉德体系产物对油脂抗氧化性能的影响研究[J].安徽农业科学,2010,38(20):10898-10900
CHEN Hai-guang, HUANG Min, YU Li-mei, Effects of model maillard system products on antioxidant performance of oils [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(20): 10898-10900
- [8] 魏长庆,刘文玉,陈卓,等.亚麻籽油中 Maillard 源挥发性香气形成机理的初步研究[J].中国油脂,2018,43(2):31-36
WEI Chang-qing, LIU Wen-yu, CHEN Zhuo, et al. Preliminary study on the formation mechanism of volatile aroma of maillard source in flax seed oil [J]. China Oils and Fats, 2018, 43(2): 31-36
- [9] Durmaz G, Karabulut İ, Topçu A, et al. Roasting-related changes in oxidative stability and antioxidant capacity of apricot kernel oil [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 87(4): 401-409
- [10] 高扬,解铁民,李哲滨,等.红外加热技术在食品加工中的应用及研究进展[J].食品与机械,2013,29(2):219-222
GAO Yang, XIE Tie-min, LI Zhe-bin, et al. Application and research progress of infrared heating technology in food processing [J]. Food and Machinery, 2013, 29(2): 219-222
- [11] 陈哲,何东平,胡传荣,等.用美拉德反应方法制备浓香型油茶籽油新工艺的研究[J].食品工业,2014,35(6):94-97
CHEN Zhe, HE Dong-ping, HU Chuan-rong, et al. Study on the New Process for Preparation of Luzhou-flavored camellia seed oil by maillard reaction method [J]. Food Industry, 2014, 35(6): 94-97
- [12] 谢凡.烤鸭中美拉德反应的研究[D]:上海:上海应用技术学院,2015
XIE Fan. Study on maillard reaction in roast duck [D]: Shanghai: Shanghai Institute of Applied Technology, 2015
- [13] Singh N, Ragini P S. Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato peel [J]. Food Chemistry, 2004, 85(4): 611-616
- [14] 淦永鉴,李旭,杨莉琳,等.油茶籽壳提取物抗氧化及抗癌活性研究[J].食品工业科技,2015,8(36):171-182
GAN Yong-jian, LI Xu, YANG Li-lin, et al. Antioxidant and anticancer activities of extracts from *Camellia oleifera* seed hulls [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 8(36): 171-182
- [15] 章银良,周文权.美拉德产物 5-羟甲基糠醛含量与抗氧化活性关系研究[J].中国调味品,2013,38(1):36-40
ZHANG Yin-liang, ZHOU Wen-quan. Relationship between 5-hydroxymethylfurfural content and antioxidant activity of maillard products [J]. Chinese Condiments, 2013, 38(1): 36-40
- [16] 赵玲,陈建平,李琳,等.5-羟甲基糠醛抗氧化性及其细胞增殖活性的研究[J].现代食品科技,2013,28(11):2638-2642
ZHAO Ling, CHEN Jian-ping, LI Lin, et al. Antioxidation and cell proliferation activity of 5-hydroxymethylfurfural [J]. Modern Food Science & Technology, 2013, 28(11): 2638-2642
- [17] 何甜甜,李春梅,李晨丽,等.丙酮醛抗肿瘤机制的研究进展[J].中国细胞生物学报,2016,38(4):49-454.
HE Tian-tian, LI Chun-mei, LI Chen-li, et al. Advances in anti-tumor mechanism of pyruvic aldehyde [J]. Chinese Journal of Cell Biology, 2016, 38(4): 49-454
- [18] 马毛毛. α -二羰基化合物的产生规律和机制[D]:天津:天津科技大学,2017
MA Mao-mao. Production law and mechanism of α -dicarbonyl compounds [D]: Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2017
- [19] Neslihan Gönçüoğlu Taş, Vural Gökmen. Effect of alkylization on the maillard reaction products formed in cocoa during roasting [J]. Food Research International, 2016, 89: 930-936