

# 核桃内源性多酚的体外抗氧化能力及对核桃油氧化稳定性的影响

杜伊晗, 王书语, 向 燕, 邓 莎, 何贵萍, 何 强, 董 怡

(四川大学 轻工科学与工程学院, 成都 610065)

**摘要:**为促进核桃加工副产物的综合利用,探究副产物中多酚对核桃油氧化稳定性的影响,测定了槲皮素、没食子酸、儿茶素、绿原酸、鞣花酸5种核桃内源性多酚对DPPH和ABTS<sup>+</sup>自由基的清除能力及氧自由基吸收能力(ORAC)以评价其体外抗氧化能力,并将5种内源性多酚分别加入核桃油中,进行18d的加速氧化试验,以酸值、过氧化值、共轭二烯值、共轭三烯值、同步荧光光谱、色泽及感官品质(透明度、气味、滋味)作为考察指标,分析其对核桃油氧化稳定性的影响。结果表明:槲皮素、没食子酸和绿原酸的体外抗氧化能力较强;5种多酚均能有效减缓核桃油酸值、过氧化值、共轭二烯值和共轭三烯值的升高,其中没食子酸、绿原酸和儿茶素在维持核桃油感官品质方面优于其他2种多酚。综上,在开发核桃油相关产品时,可以考虑通过添加没食子酸、儿茶素和绿原酸提高产品的氧化稳定性。

**关键词:**核桃;多酚;核桃油;氧化稳定性

中图分类号:TS229;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)05-0088-08

## *In vitro* antioxidant capacity of endogenous walnut polyphenols and their effects on the oxidation stability of walnut oil

DU Yihan, WANG Shuyu, XIANG Yan, DENG Sha,  
HE Guiping, HE Qiang, DONG Yi

(College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** To promote the comprehensive utilization of the walnut processing by-products and explore the effect of polyphenols from the by-products on the oxidation stability of walnut oil, the DPPH and ABTS<sup>+</sup> radical scavenging activities and oxygen radical absorption capacity (ORAC) of five walnut endogenous polyphenols including quercetin, gallic acid, catechin, chlorogenic acid and ellagic acid were measured to analyse their *in vitro* antioxidant capacity. To compare and analyse the effect of the five walnut endogenous polyphenols on walnut oil's oxidation stability, acid value, peroxide value, conjugated diene value, conjugated triene value, synchronous fluorescence spectra, color and sensory index (transparency, odours, taste) of walnut oil added with five endogenous polyphenols were determined during the 18 d accelerated oxidation experiment. The results showed that *in vitro* antioxidant capacities of quercetin, gallic acid and chlorogenic acid were stronger. All five polyphenols could effectively inhibit the increase of acid value, peroxide value, conjugated diene value and conjugated triene value, among

which gallic acid, catechin and chlorogenic acid were superior to the other two polyphenols in maintaining the sensory quality of walnut oil. Therefore, when developing walnut oil related products, it can be considered to improve the oxidation stability of products by adding gallic acid, chlorogenic acid and catechin.

收稿日期:2022-11-13;修回日期:2023-10-24

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(32102039);四川省国际合作项目(2021YFH0043);四川大学专职博士后研发基金(2020SCU12059)

作者简介:杜伊晗(1999),女,硕士研究生,研究方向为食品科学(E-mail)328315248@qq.com。

通信作者:何 强,教授(E-mail)heq361@163.com。

**Key words:** walnut; polyphenol; walnut oil; oxidation stability

核桃(*Juglans regia* L.),又名胡桃,是一种胡桃科、胡桃属木本植物。核桃的果仁、枝条、青皮、树叶等均具有不同的食用和药用价值<sup>[1]</sup>,其中,核桃仁中含有大量以多不饱和脂肪酸为主的油脂<sup>[2]</sup>,并且富含蛋白质、维生素及多种微量元素,营养价值极高。但核桃油中较高含量的不饱和脂肪酸使其在后续储藏过程中易氧化<sup>[3]</sup>,导致核桃油营养价值下降,并带来不好的风味。

核桃多酚是核桃中所有酚类物质的总称,具有抗氧化、保护神经、降脂、降糖、抗肿瘤及抑菌等多种生物活性,被认为是核桃中最重要的功效成分之一<sup>[4]</sup>。研究表明,与 GB 2760—2014 中允许使用的油脂抗氧化剂茶多酚类似,核桃多酚可以抑制油脂氧化<sup>[5]</sup>。但由于核桃多酚主要为水溶性多酚,难以随油一同被提取,大部分残留在核桃饼粕中,故核桃油中多酚含量较低<sup>[6-7]</sup>。

核桃多酚广泛分布于核桃的各部位,但核桃内种皮中的多酚占核桃总多酚含量的 90% 以上<sup>[8]</sup>,其中包含鞣花单宁、没食子酸、鞣花酸、丁香酸、香豆酸、咖啡酸、阿魏酸、芥子酸、儿茶素等 120 种多酚<sup>[9]</sup>。富含核桃多酚的核桃内种皮通常为核桃加工的副产物,从中提取多酚类物质并加以利用,不仅可以减少原料浪费,还具有良好的生态效益和经济效益。核桃油的易氧化特性导致其加工产品储藏困难,而通过添加内源性的多酚类抗氧化剂,或在核桃油加工过程中减少内源性多酚的损失,对提高核桃油及相关产品的氧化稳定性具有重要意义。

本研究选择 5 种核桃内种皮中含量相对较高的内源性多酚,包括槲皮素、没食子酸、儿茶素、绿原酸和鞣花酸<sup>[10]</sup>,测定并比较其体外抗氧化能力,并探究储藏过程中其对核桃油氧化稳定性的影响,以期核桃加工及其副产物的综合利用提供科学指导,为将核桃多酚作为天然抗氧化剂添加于核桃油及其相关产品中提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

核桃油(以核桃仁为原料低温压榨制得),益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司;没食子酸(纯度 99%)、槲皮素(纯度 99%)、绿原酸(纯度 99%)、鞣花酸(纯度 95%)、儿茶素(纯度 99%),上海源叶生物科技有限公司;其他试剂均为分析纯。

Synergy H1 多功能微孔板检测仪,美国伯腾仪器有限公司;SQP 电子天平,奥多利斯科学仪器有限公司;F-7000 荧光分光光度计,日立(中国)有限公司;水浴恒温箱、电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;CM-5 分光测色计,日本柯尼卡美能达控股株式会社。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 5 种多酚体外抗氧化能力评价

参照 Vayalil 等<sup>[11]</sup>的方法测定 DPPH 自由基清除能力;参照蔡如玉等<sup>[12]</sup>的方法测定 ABTS<sup>+</sup> 自由基清除能力;参照常强等<sup>[13]</sup>的方法测定氧自由基吸收能力(ORAC 值)。

#### 1.2.2 核桃油加速氧化试验

将核桃油密封分装于 6 个透明小玻璃瓶中,每瓶 30 g,分别添加质量分数 0.02% 的多酚(根据预试验结果所得),在 200 W 条件下超声处理 30 min,以未添加多酚的核桃油作为对照组,于 60 °C 恒温储藏,每 12 h 振荡一次,并改变其在恒温箱中的位置。分别在 0、3、6、9、12、15、18 d 时取样,进行相关理化指标的测定。

#### 1.2.3 核桃油理化指标测定

酸值的测定参考 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值的测定参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中的硫代硫酸钠滴定法;共轭二烯值和共轭三烯值的测定参照 GB/T 22500—2008《动植物油脂 紫外吸光度的测定》及宋亚蕊<sup>[14]</sup>的方法;色泽的测定参照 GB/T 22460—2008《动植物油脂 罗维朋色泽的测定》和曹君<sup>[15]</sup>的方法;透明度、气味和滋味的评价参考 GB/T 5525—2008《植物油脂 透明度、气味、滋味鉴定法》。

同步荧光光谱的测定参照冯苏敏等<sup>[16]</sup>的方法并作适当修改。荧光分光光度计预热 20 min,选取四面透光石英比色皿。同步激发-发射荧光扫描条件:激发狭缝与发射狭缝均为 5 nm,激发波长范围 200~800 nm,间隔 10 nm,扫描速度 1 200 nm/min,光电倍增管电压 700 V。测定后用正己烷清洗比色皿后再进行下个油样的测定。

#### 1.2.4 数据处理

所有试验均进行 3 次平行操作,结果以平均值表示。用 SPSS 软件对数据进行显著性差异分析,用 OriginPro 2022 b 软件绘图。



后9 d有所下降,但其过氧化值均高于同一时期样品组的,因此在0.02%添加量下,5种多酚均能抑制核桃油初级氧化产物的生成,有效减缓油脂氧化。在试验期间,所有样品组的过氧化值均未超过GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中规定的0.25 g/100 g的限值。

### 2.2.2 对共轭二烯值和共轭三烯值的影响

油脂中不饱和脂肪酸(以亚油酸和亚麻酸为

主)经自动氧化产生的初级氧化产物,具有双键重排得到的稳定的共轭二烯结构,且波长234 nm处为此结构的特征吸收峰,而波长268 nm处为次级氧化产物中共轭三烯结构的特征吸收峰,可反映油脂次级氧化的程度<sup>[22]</sup>。加速氧化试验期间,5种多酚对核桃油共轭二烯值和共轭三烯值的影响如图2所示。

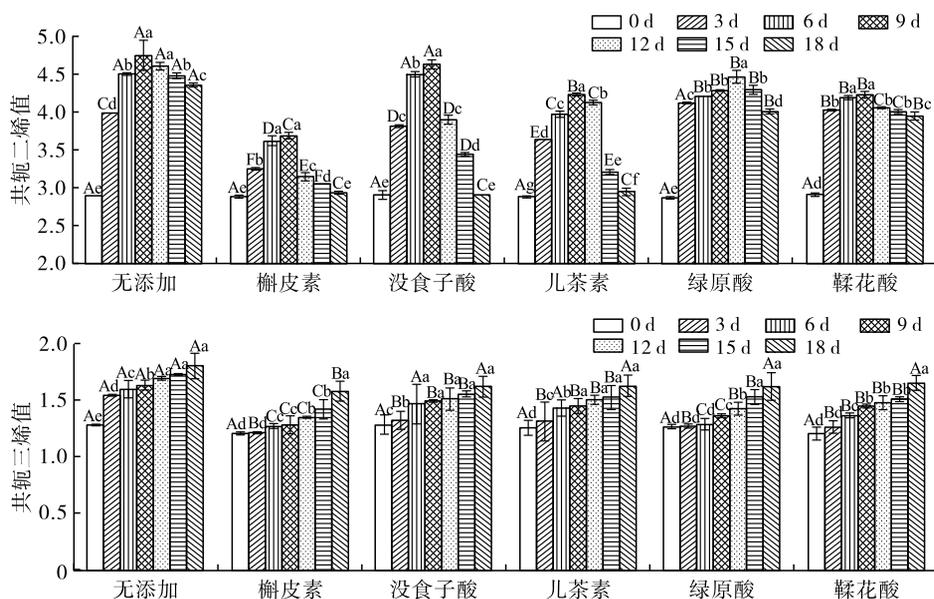


图2 加速氧化试验期间5种多酚对核桃油共轭二烯值和共轭三烯值的影响

由图2可知,加速氧化0~18 d,对照组和分别添加了槲皮素、没食子酸、儿茶素、绿原酸、鞣花酸的样品组共轭二烯值最大增量分别为1.859 3、0.803 3、1.725 8、1.352 7、1.599 3、1.098 3,即5种多酚在不同程度上减缓了核桃油共轭二烯值上升的速度。

由图2可知,所有组别的共轭三烯值在储藏期间均有所升高,而添加了槲皮素、没食子酸、儿茶素、绿原酸、鞣花酸的样品组的共轭三烯值最大增量分别为0.374 6、0.339 0、0.375 6、0.360 6、0.448 6,均小于对照组的0.527 2。因此,5种多酚在核桃油体系中均在一定程度上减缓了共轭三烯型化合物的形成,抑制了油脂次级氧化反应的进行。

### 2.2.3 对核桃油荧光特性的影响

油脂中含有带有荧光特性的芳香环结构以及不饱和脂肪酸链,且其组成不同会产生不同的光谱学特性<sup>[2]</sup>,而氧化过程必然会改变油脂组成,产生氧化产物,呈现出新的荧光光谱,故植物油的荧光特性可作为判断其氧化程度的主要依据<sup>[23]</sup>。加速氧化试验期间,添加多酚的核桃油及对照组的同步荧光光谱如图3所示。

由图3a可知:0 d时,核桃油在260、368 nm和

670 nm处有明显的吸收峰,在462~502 nm处有吸收峰群;随着储藏时间的延长,260 nm处的峰荧光强度逐渐减弱并消失,368 nm和462~502 nm处吸收峰的荧光强度也逐渐减弱,670 nm处吸收峰无明显变化。

由图3b可知,与对照组相比,槲皮素组在0 d时在368 nm处荧光强度减弱,462~502 nm范围内的多个吸收峰荧光强度大幅度变强,但随着储藏时间延长,368 nm处吸收峰消失,462~502 nm吸收峰群的荧光强度逐渐减弱。

由图3c可知,没食子酸组的吸收峰与对照组接近,随着储藏时间延长其在670 nm处吸收峰的荧光强度无明显变化,462~502 nm吸收峰出现了先上升后逐渐下降的趋势,其他吸收峰的荧光强度持续下降,且下降幅度大于对照组。

由图3d可知,儿茶素组在同步荧光光谱中吸收峰的分布及变化趋势与对照组相近,但在462~502 nm处吸收峰群的荧光强度在0 d时较强,在3 d时大幅度降低,此后其荧光强度变化不显著,这可能是油脂氧化过程被抑制的结果。

由图3e、f可知,绿原酸组和鞣花酸组的同步荧光光谱中吸收峰分布与对照组相似,但与对照组相

比,0 d时在462~502 nm处吸收峰群的荧光强度较强,但其荧光强度随着储藏时间延长逐渐减弱。

分析各组0 d时的荧光光谱可知,核桃油在368 nm和462 nm附近的荧光强度较大,为其特征吸收峰,与郭咪咪等<sup>[2]</sup>的研究结果相符。食用油中测得的荧光主要来源于维生素、类胡萝卜素以及脂肪酸中的C=O基团<sup>[24]</sup>;在储藏过程中,368 nm和462~502 nm处的荧光强度出现的波动和减弱是由于油脂氧化时,脂肪酸中发出荧光的C=O断裂并且部分氧化产物重新生成,荧光基团的数量随之改

变;荧光强度的波动随油脂氧化反应进程改变。

所有组别核桃油均在260 nm和670 nm处有吸收峰。根据前人研究推测,260 nm处的吸收峰是生育酚的荧光吸收峰<sup>[25]</sup>,且其随着储藏时间的延长而逐渐消失,是由于生育酚在多不饱和脂肪酸含量高的油脂中可作为共同氧化底物<sup>[26]</sup>,随着油脂氧化而消耗殆尽;而670 nm处的吸收峰属于叶绿素类特征吸收峰的荧光区<sup>[27]</sup>,且其荧光强度不随储藏时间的变化而变化,可能核桃油中含有少量叶绿素,且未参与油脂氧化。

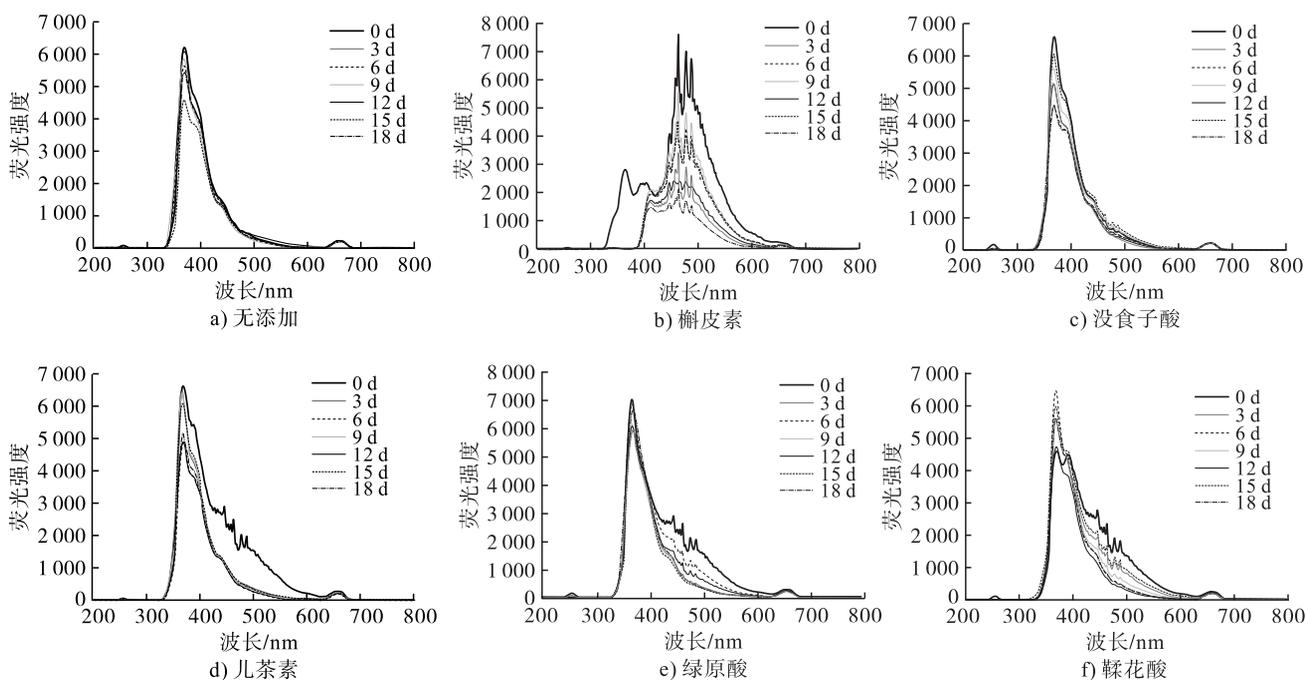


图3 加速氧化试验期间5种多酚对核桃油同步荧光特性的影响

#### 2.2.4 对核桃油色泽的影响

色泽是影响油脂外观品质的重要因素,直接影响消费者的购买欲。色泽的 $L^*$ 值反映油脂的清亮程度,正值越大代表越清亮,负值则反之; $a^*$ 值的正值代表颜色偏红,负值代表颜色偏绿; $b^*$ 值的正值代表颜色偏黄,负值代表颜色偏蓝<sup>[28]</sup>。加速氧化试验期间,5种多酚对核桃油 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值的影响如图4所示。

由图4可知:储藏0~18 d,所有样品的 $L^*$ 值逐渐下降,即随着储藏时间的延长,油脂氧化程度增加会导致油脂的清亮程度降低,但这种变化在肉眼上不易察觉。通过比较18 d时油脂 $L^*$ 值的变化发现,除槲皮素外,其他4种多酚的加入均减缓了核桃油在加速氧化试验期间 $L^*$ 值的降低趋势,即减缓了油脂氧化速度;而槲皮素的加入反而导致了油脂 $L^*$ 值的降低,这是由于槲皮素本身颜色较深,促使油脂折光性发生改变,进而导致核桃油整体清亮度

降低。

由图4可知:储藏0~18 d,所有样品的 $a^*$ 值均为负值,表明核桃油颜色偏绿; $a^*$ 值呈现波动趋势,但整体无显著变化。其中槲皮素组 $a^*$ 值的绝对值最大,这可能是由于槲皮素本身颜色偏绿,加入后对油脂的折光性造成影响,导致核桃油颜色更偏绿色。但整个加速氧化过程中, $a^*$ 值的总体变化较小,导致核桃油色泽的变化在肉眼上很难察觉。

由图4可知,随着储藏时间的延长,所有样品组的 $b^*$ 值均呈现逐渐下降的趋势,通过计算储藏前后 $b^*$ 值的差值可知,没食子酸和儿茶素可以有效减缓油脂 $b^*$ 值的下降趋势,其他多酚则无明显影响。但由于数值变化量较小,肉眼几乎无法察觉核桃油色泽上的变化。相同储藏时间下,添加槲皮素的样品组的 $b^*$ 值显著高于其他组,这是槲皮素本身的颜色对核桃油色泽造成的改变,而槲皮素对 $b^*$ 值的降低趋势无明显影响。

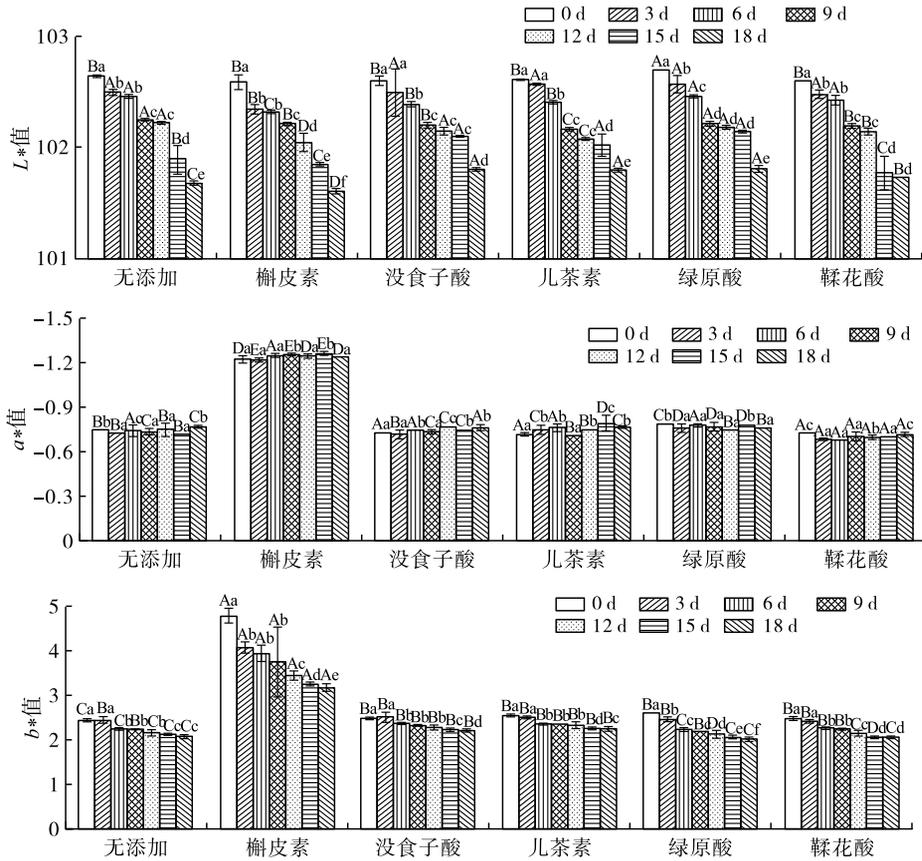


图4 加速氧化试验期间5种多酚对核桃油色泽的影响

2.2.5 对核桃油感官品质的影响

以100分代表核桃油澄清透明、气味和滋味纯正,无异味,对加速氧化试验期间不同储藏时间下各

组别核桃油的透明度、气味、滋味进行评价,结果如图5所示。

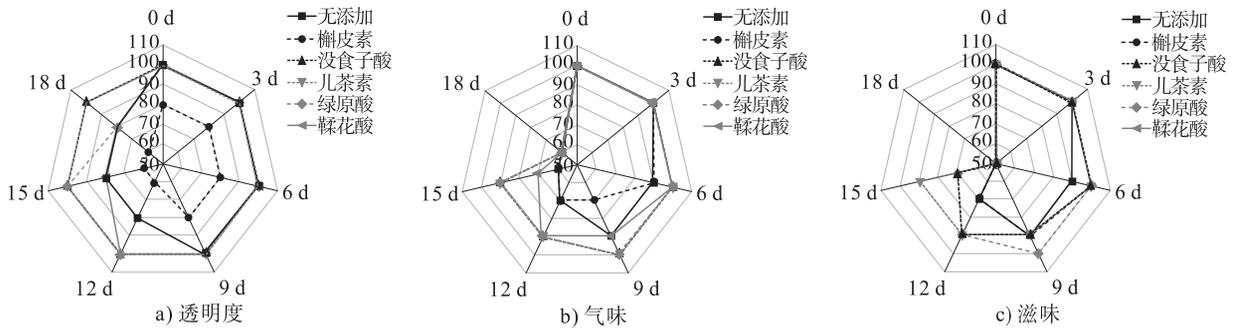


图5 加速氧化试验期间5种多酚对核桃油感官品质的影响

由图5a可知:整个储藏期内,槲皮素组的透明度显著低于其他组,这是由于槲皮素本身色泽较深而降低了油脂的透明度;没食子酸组、儿茶素组的透明度在18 d内无明显变化,而其他组的透明度在12 d或15 d开始降低,这可能是由于油脂氧化反应生成部分不溶于油的沉淀,使油脂变得浑浊,故没食子酸和儿茶素的加入能够有效抑制油脂氧化。

油脂产生的劣变气味是由油脂氧化变质过程中产生的脂肪酸挥发性小分子物质导致的。由图5b可知,对照组和槲皮素组出现劣变气味的最早,其次是儿茶素组和鞣花酸组,而没食子酸组和绿原

酸组的劣变时间最晚,12 d时才开始出现气味劣变。与对照组相比,除了槲皮素组的气味劣变速度不减反增外,其余样品组的气味劣变速度在不同程度上减缓,因此除槲皮素外的4种多酚能够有效抑制油脂的气味劣变,其中没食子酸和绿原酸的抑制效果最好。

由图5c可知,各组核桃油的滋味在9 d前后开始劣变,12 d后,儿茶素组、没食子酸组和绿原酸组的劣变速度较对照组更慢,其中儿茶素组在前15 d内的滋味一直维持在较高水平。可见,5种多酚中儿茶素对油脂滋味劣变的抑制效果最好。

感官品质的明显改变是油脂发生氧化变质的标志,氧化变质不仅会使食用油的使用价值降低,更会在营养卫生上造成严重后果,故需要添加抗氧化剂以减缓食用油的氧化变质。加速氧化试验结果表明,没食子酸和儿茶素能有效维持核桃油良好的透明度,没食子酸和绿原酸能有效抑制核桃油气味劣变,儿茶素能够有效抑制核桃油的滋味劣变。综合以上结果,没食子酸、儿茶素和绿原酸均能将储藏期间核桃油的感官品质维持在较稳定的状态。鞣花酸和槲皮素对于油脂气味与滋味劣变无明显抑制作用;此外,槲皮素本身色泽较深,溶于核桃油后使其变得浑浊,对核桃油感官品质影响较大,故不适宜作为核桃油的抗氧化剂。

### 3 结 论

5种核桃内源性多酚中,槲皮素、没食子酸和绿原酸具有良好的体外抗氧化能力;5种多酚均能够有效减缓储藏期间核桃油酸值、过氧化值、共轭二烯值、共轭三烯值的上升,其中没食子酸、绿原酸和儿茶素在维持核桃油感官品质方面优于其他2种多酚。因此,在开发核桃油相关产品时,可以考虑通过添加没食子酸、儿茶素和绿原酸以提高产品的氧化稳定性。

### 参考文献:

- [1] 孙树杰,王兆华,宋康,等. 核桃营养价值及功能活性研究进展[J]. 中国食物与营养,2013,19(5):72-74.
- [2] 郭咪咪,王瑛瑶,闫军,等. 典型木本油料油脂的特性分析[J]. 中国粮油学报,2017,32(2):74-79.
- [3] MARTÍNEZ M L, PENCI M C, IXTAINA V, et al. Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of walnut oil under different storage conditions[J]. LWT - Food Sci Technol, 2013, 51(1): 44-50.
- [4] VINSON J A, CAI Y X. Nuts, especially walnuts, have both antioxidant quantity and efficacy and exhibit significant potential health benefits [J]. Food Funct, 2012, 3(2): 134-140.
- [5] BENDINI A, CERRETANI L, VECCHI S, et al. Protective effects of extra virgin olive oil phenolics on oxidative stability in the presence or absence of copper ions [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(13): 4880-4887.
- [6] 高盼. 我国核桃油的组成特征及其抗氧化和降胆固醇功效评估[D]. 江苏 无锡:江南大学,2019.
- [7] 万政敏,郝艳宾,杨春梅,等. 核桃仁种皮中的多酚类物质高压液相色谱分析[J]. 食品工业科技,2007(7): 212-213,224.
- [8] LABUCKAS D O, MAESTRI D, PERELLO M, et al. Phenolics from walnut (*Juglans regia* L.) kernels: Antioxidant activity and interactions with proteins [J]. Food Chem, 2008, 107(2): 607-612.
- [9] REGUEIRO J, SÁNCHEZ - GONZÁLEZ C, VALLVERDÚ - QUERALT A, et al. Comprehensive identification of walnut polyphenols by liquid chromatography coupled to linear ion trap - orbitrap mass spectrometry[J]. Food Chem, 2014, 152(2):340-348.
- [10] 黄小龙,孙雨辰,张维,等. 核桃多酚化学及生物活性研究进展[J]. 食品工业科技,2018,39(21):348-352.
- [11] VAYALIL P K, MITTAL A, HARA Y, et al. Green tea polyphenols prevent ultraviolet light - induced oxidative damage and matrix metalloproteinases expression in mouse skin[J]. J Invest Dermatol, 2004, 122(6): 1480-1487.
- [12] 蔡如玉,常世敏,宋春丽. “凤丹”油用牡丹籽多酚提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械,2020,36(7):181-186.
- [13] 常强,苏明华,陈清西,等. 基于 ORAC 评价多酚类化合物抗氧化活性 [J]. 亚热带植物科学,2016,45(3):225-229.
- [14] 宋亚蕊. 富硒茶油的品质特性及抗氧化功能特性研究 [D]. 长沙:中南林业科技大学,2014.
- [15] 曹君. 不同脂肪酸结构食用油的氧化规律及其动力学研究[D]. 南昌:南昌大学,2015.
- [16] 冯苏敏,孙淑敏,谢岩黎. 基于同步荧光光谱法对食用油和煎炸油鉴别研究 [J]. 粮食与油脂,2016,29(8):71-75.
- [17] CHOE E, MIN D B. Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods [J]. Comp Rev Food Sci Food Safe, 2009, 8(4): 345-358.
- [18] 张文华,候旭. 单宁抗氧化活性与结构关系的理论研究[J]. 皮革科学与工程,2009,19(5):9-13.
- [19] CHEN X, LIANG L, HAN C. Borate suppresses the scavenging activity of gallic acid and plant polyphenol extracts on DPPH radical: A potential interference to DPPH assay [J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2020, 131:109769[2022-11-13]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109769>.
- [20] OLAJIDE M T, LIU T, LIU H A, et al. Antioxidant properties of two novel lipophilic derivatives of hydroxytyrosol[J/OL]. Food Chem, 2020, 315:126197 [2022-11-13]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126197>.
- [21] 张清安,范学辉,岳宣峰,等. 不同贮藏温度对杏仁油品质影响研究[J]. 食品科学,2008,29(1):347-349.
- [22] 戚颖欣,刘赫冰. 不同制油工艺亚麻籽油的储藏性能研究[J]. 粮食与油脂,2020,33(7):16-20.

- constituents from the roots and rhizomes of *Asarum heterotropoides* var. *mandshuricum* and the *in vitro* anti-inflammatory activity[J/OL]. *Molecules*, 2017, 22(1): 125 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.3390/molecules22010125>.
- [39] HUANG J, WANG H Q, ZHANG C, et al. A new tetrahydrofuran - type lignan with anti - inflammatory activity from *Asarum heterotropoides* Fr. Schmidt var. *mandshuricum*[J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2014, 16(4): 387 - 392.
- [40] PARK H J, LEE K S, ZHAO T T, et al. Effects of asarinin on dopamine biosynthesis and 6 - hydroxydopamine - induced cytotoxicity in PC12 cells [J]. *Arch Pharm Res*, 2017, 40(5): 631 - 639.
- [41] DAI Q, LI Y, WANG M, et al. TIR2 and TIR4 are involved in the treatment of rheumatoid arthritis synovial fibroblasts with a medicated serum of asarinin through inhibition of T<sub>h</sub>1/T<sub>h</sub>17 cytokines [J]. *Exp Ther Med*, 2020, 19(4): 3009 - 3016
- [42] PERUMALSAMY H, JUNG M Y, HONG S M, et al. Growth - inhibiting and morphostructural effects of constituents identified in *asarum heterotropoides* root on human intestinal bacteria [J/OL]. *BMC Complement Altern Med*, 2013, 13: 245 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-245>.
- [43] XU W H, ZHAO P, WANG M, et al. Naturally occurring furofuran lignans: Structural diversity and biological activities[J]. *Nat Prod Res*, 2019, 33(9): 1357 - 1373.
- [44] LUO X, PIRES D, AÍNSA J A, et al. *Zanthoxylum capense* constituents with antimycobacterial activity against *Mycobacterium tuberculosis* *in vitro* and *ex vivo* within human macrophages [J]. *J Ethnopharmacol*, 2013, 146(1): 417 - 422.
- [45] JEONG M, KIM H M, LEE J S, et al. ( - ) - Asarinin from the roots of *Asarum sieboldii* induces apoptotic cell death via caspase activation in human ovarian cancer cells [J/OL]. *Molecules*, 2018, 23(8): 1849 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.3390/molecules23081849>.
- [46] KIM E, KIM H J, OH H N, et al. Cytotoxic constituents from the roots of *Asarum sieboldii* in human breast cancer cells[J/OL]. *Nat Prod Sci*, 2019, 25(1): 72 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.20307/nps.2019.25.1.72>.
- [47] YILDIRIM K, KOSTEM A M. A Technical glance on some cosmetic oils [J]. *Eur Sci J*, 2014, 2:425 - 435.
- [48] GAO J, WANG R, LU X, et al. Enzymatic preparation and structure - activity relationship of sesaminol [J]. *J Oleo Sci*, 2021, 70(9): 1261 - 1274.
- [49] GAN D, SU Q, SU H, et al. Burn ointment promotes cutaneous wound healing by modulating the PI3K/AKT/mTOR signaling pathway [J/OL]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 631102 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.631102>.
- [50] JING W, SONG S, SUN H, et al. Mahuang - Fuzi - Xixin decoction reverses depression - like behavior in LPS - induced mice by regulating NLRP3 inflammasome and neurogenesis [J/OL]. *Neur Plast*, 2019, 2019: 1571392 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.1155/2019/1571392>.
- [51] KUSHIRO M, MASAOKA T, HAGESHITA S, et al. Comparative effect of sesamin and episesamin on the activity and gene expression of enzymes in fatty acid oxidation and synthesis in rat liver[J]. *J Nutr Biochem*, 2002, 13(5): 289 - 295.
- [52] FREISE C, SOMMER K, QUERFELD U. Protective effects of the polyphenols ( + ) - episesamin and sesamin against PDGF - BB - induced activation of vascular smooth muscle cells are mediated by induction of haem oxygenase - 1 and inhibition of mitogenic signalling[J]. *J Funct Foods*, 2015, 18:586 - 597.
- 
- (上接第94页)
- [23] 赵守敬, 陈斌, 陆道礼. 基于荧光光谱法的植物油加热氧化规律[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(3): 104 - 109.
- [24] 贾艳华, 徐晓轩, 杨仁杰, 等. 煎炸食用油质量变化的同步荧光光谱研究[J]. *光子学报*, 2006, 35(11): 1717 - 1720.
- [25] SIKORSKA E, GÓRECKI T, KHMELINSKII I V, et al. Classification of edible oils using synchronous scanning fluorescence spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2005, 89(2): 217 - 225.
- [26] ROSSI M, ALAMPRESE C, RATTI S. Tocopherols and tocotrienols as free radical - scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep - fat frying [J]. *Food Chem*, 2007, 102(3): 812 - 817
- [27] ZANDOMENEGHI M, CARBONARO L, CAFFARATA C. Fluorescence of vegetable oils: Olive oils[J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(3): 759 - 766.
- [28] 傅冬和, 黄建安, 刘仲华. 大小叶种茶儿茶素抗氧化作用比较[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 8(1): 29 - 31.