

不同温度热处理对4种食用油氧化稳定性的影响

叶凤凌¹, 职士淇¹, 贾利蓉¹, 王琴², 董怡¹

(1. 四川大学轻工科学与工程学院, 成都 610065; 2. 渭南市食品药品检验所, 陕西渭南 714000)

摘要:将油茶籽油、大豆油、菜籽油、食用植物调和油分别在不同温度(100~200℃)条件下加热2 h, 测定酸值、过氧化值、共轭二烯值、共轭三烯值、硫代巴比妥酸(TBARS)值变化, 研究4种食用油在不同温度下的氧化稳定性。结果表明:4种食用油的酸值、过氧化值、共轭二烯值、共轭三烯值、TBARS值均随加热温度的升高而升高, 说明随着加热温度的升高, 4种食用油的氧化程度均明显增加。与未加热油样对比, 4种食用油各指标增量从大到小顺序分别为: 酸值, 油茶籽油 > 菜籽油 > 食用植物调和油 > 大豆油; 过氧化值, 食用植物调和油 > 油茶籽油 > 菜籽油 > 大豆油; 共轭二烯值、共轭三烯值, 菜籽油 > 大豆油 > 食用植物调和油 > 油茶籽油; TBARS值, 食用植物调和油 > 菜籽油 > 大豆油 > 油茶籽油。同步荧光光谱分析表明, 在高温下4种食用油自身所含有的酚类吸收峰(360~390 nm)下降或峰形变窄, 表征氧化产物的峰(413~520 nm)升高(除调和油), 说明4种食用油在发生氧化的同时组分也发生了改变。

关键词:油茶籽油; 大豆油; 菜籽油; 食用植物调和油; 热处理; 氧化稳定性; 同步荧光光谱

中图分类号: TS201.1; TS201.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2021)06-0065-06

Effect of heat treatment at different temperatures on the oxidation stability of four edible oils

YE Fengling¹, ZHI Shiqi¹, JIA Lirong¹, WANG Qin², DONG Yi¹

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2 Weinan Institute for Food and Drug Control, Weinan 714000, Shaanxi, China)

Abstract: Oil-tea camellia seed oil, soybean oil, rapeseed oil and edible plant blend oil were heated for 2 h at different temperatures (100-200℃), and the acid value, peroxide value, conjugated diene value, conjugated triene value and thiobarb acid-reactive substance (TBARS) value changes of the oils were determined to study the oxidative stability of the four edible oils at different temperatures. The results showed that the acid value, peroxide value, conjugated diene value, conjugated triene value and TBARS value of the four edible oils all increased with the increase of heating temperature, indicating that with the increase of heating temperature, the degree of oxidation of the four edible oils increased significantly. Compared with the unheated sample, the increase of each index of the four edible oils in descending order was as follows: for acid value, oil-tea camellia seed oil > rapeseed oil > edible plant blend oil > soybean oil; for peroxide value, edible plant blend oil > oil-tea camellia seed oil > rapeseed oil > soybean oil; for conjugated diene value, and conjugated triene value, rapeseed oil > soybean oil > edible plant blend oil > oil-tea camellia seed oil; for TBARS value, edible plant blend

oil > rapeseed oil > soybean oil > oil-tea camellia seed oil. The synchronous fluorescence spectroscopy analysis showed that the phenolic fluorescence peak (360-390 nm) contained in the four edible oils at high temperature decreased or the peak shape became narrower, and the peak characterized oxidation products (413-520 nm) rose (except for edible plant blend oil),

收稿日期: 2020-08-16; 修回日期: 2021-02-23

基金项目: 高校基本科研项目; 四川大学专职科研博士后科研启动项目(20826041D4060)

作者简介: 叶凤凌(1996), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学(E-mail) 851859203@qq.com。

通信作者: 董怡, 助理研究员, 博士(E-mail) 396717238@qq.com。

indicating that the components of the four edible oils changed during the oxidation.

Key words: oil – tea camellia seed oil; soybean oil; rapeseed oil; edible plant blend oil; heat treatment; oxidation stability; synchronous fluorescence spectroscopy

食用油在加热过程中会发生聚合、氧化、水解等反应,产生聚合物、过氧化物、游离脂肪酸等有害物质,影响食用油的风味、色泽及营养组成^[1]。大豆油、菜籽油是我国家庭常见的食用油;食用植物调和油具有成分丰富、比例较好、价格实惠等优势也深受消费者青睐;油茶籽油富含单不饱和脂肪酸,具有很好的营养与保健功能^[2],在我国家庭中使用频率逐步提高。本实验通过对比油茶籽油与目前家庭常用的大豆油、菜籽油、食用植物调和油(以下简称调和油),分别在 100、125、150、175、200 °C 条件下加热 2 h 的酸值、过氧化值、硫代巴比妥酸(TBARS)值、共轭二烯值、共轭三烯值、同步荧光光谱等指标变化,分析比较不同食用油在不同加热温度下的氧化稳定性,为食用油的高温应用和后期深入研究抗氧化剂对不同食用油高温氧化的抑制作用提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

油茶籽油(低温压榨精炼油),由四川乌蒙山雨阳油茶科技有限公司提供;大豆油(一级浸出油)、菜籽油(三级压榨油),中粮福临门食品营销有限公司;食用植物调和油(浸出油),成分为 49.0% 大豆油、23.5% 菜籽油、14.0% 葵花籽油、9.0% 玉米油、3.0% 稻米油、0.6% 芝麻油、0.5% 花生油、0.4% 胡麻油,益海嘉里食品营销有限公司。4 种食用油产品包装标签上均显示无另外添加抗氧化剂。

乙醚,异辛烷,无水乙醇,酚酞,氢氧化钾,三氯甲烷,乙酸,碘化钾,五水合硫代硫酸钠,淀粉,三氯乙酸,硫代巴比妥酸,浓盐酸,正己烷。

SQP 电子天平;UV-6000PC 紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;电热鼓风干燥箱;F-7000 荧光分光光度计,日立(中国)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理

分别取 6 份 40 mL 油茶籽油、大豆油、菜籽油、调和油样品于锥形瓶中,其中 1 份在常温避光保存以避免光照因素影响,其余 5 份分别放置在 100、125、150、175、200 °C 烘箱中避光保存 2 h。取样,测定相关指标。

1.2.2 酸值、过氧化值的测定

参照 GB 5009.229—2016 进行酸值的测定;参

照 GB 5009.227—2016 中滴定法进行过氧化值的测定。

1.2.3 共轭二烯值与共轭三烯值的测定

参照宋亚蕊^[3]、黄雨洋^[4]等的方法进行共轭二烯值、共轭三烯值检测。称取 0.10 g 油样至 25 mL 容量瓶,用异辛烷溶解并稀释至刻度,将其装入干净的 1 cm 石英比色皿中,以异辛烷作为空白,分别在 234 nm 和 268 nm 处测定吸光度,共轭二烯值(R_1)和共轭三烯值(R_2)分别按式(1)、(2)计算。

$$R_1 = \frac{A_{234}}{0.4 \times d} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{A_{268}}{0.4 \times d} \quad (2)$$

式中: A_{234} 、 A_{268} 分别为波长 234、268 nm 处的吸光度;0.4 为溶液的质量浓度,g/100 mL; d 为比色槽长度,cm。

1.2.4 TBARS 值的测定

参照李秀娟等^[5]的方法进行 TBARS 值的测定。

1.2.5 同步荧光光谱分析

参照曹君^[6]的方法进行同步荧光光谱分析,并作适当修改。先将荧光分光光度计开机预热 20 min。取适量的油样于四面透光的微量石英比色皿中,放入荧光分光光度计的样品槽中,进行同步激发-发射荧光扫描。扫描条件:同步激发波长范围 200~800 nm,波长间隔 10 nm;激发狭缝与发射狭缝宽度均为 5 nm;扫描速度 1 200 nm/min;光电倍增管(PMT)电压 700 V。每份样品进行 3 次平行实验。测试完用正己烷清洗比色皿,然后再进行下个油样的测量。

1.2.6 数据处理

所有实验均平行进行 3 次,数据以“平均值 ± 标准差”表示。采用 Origin 8.0 软件分析并作图。

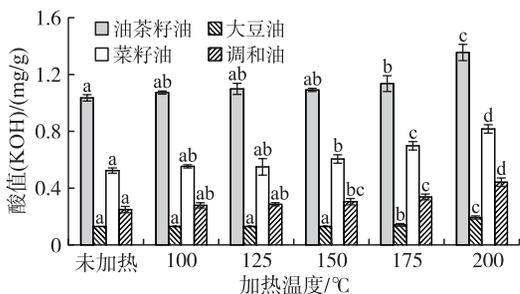
2 结果与分析

2.1 热处理对 4 种食用油酸值的影响(见图 1)

油脂由于热作用发生缓慢水解,产生游离脂肪酸,酸值是油脂中游离脂肪酸含量的重要标志,酸值越高表示油脂酸败程度越强^[7]。

由图 1 可知,4 种食用油的酸值均随加热温度升高而升高。加热温度为 100、125、150 °C 时,油茶籽油、大豆油酸值与未加热的油样差异不显著($p >$

0.05),加热温度为175℃时才出现显著上升($p < 0.05$)。而菜籽油和调和油在150℃加热2h后的酸值与未加热的油样差异显著($p < 0.05$)。与未加热油样相比,油茶籽油、大豆油、菜籽油、调和油在200℃加热2h酸值均显著增加($p < 0.05$),酸值(KOH)增量分别为0.3179、0.0623、0.2930、0.1932 mg/g,但在本实验条件下4种食用油的酸值始终远低于GB 2716—2018《食品安全国家标准植物油》规定食用植物油(包括调和油)的酸值(KOH)应低于3 mg/g,煎炸过程中植物油酸值(KOH)应低于5 mg/g的限定值,符合国标要求。



注:同一种食用油不同处理组之间的不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

图1 不同加热温度对4种食用油酸值的影响

4种食用油的酸值随加热温度升高先缓慢上升,之后大幅度增加,可能是因为这些食用油中含有如 α -生育酚、多酚、甾醇等微量的抗氧化物质^[8-9],在氧化初期起到了很好的抗氧化作用,但是在过高的温度条件下由于被快速消耗或转变成了促氧化剂,导致4种食用油的酸值上升较快。

2.2 热处理对4种食用油过氧化值的影响(见图2)

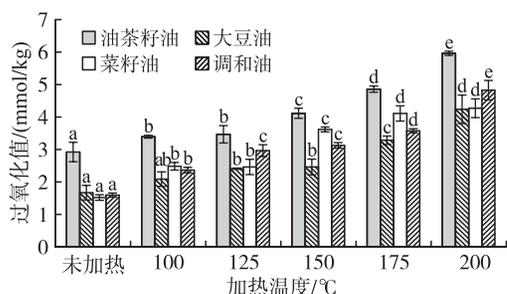


图2 不同加热温度对4种食用油过氧化值的影响

脂质氢过氧化物如醛类化合物是脂质氧化的初级代谢产物,过氧化值可作为反映食用油初级氧化状态的指标^[7]。由图2可知,4种食用油的过氧化值均随加热温度升高而升高,说明4种食用油的一级氧化反应在本实验条件下不断进行,一级氧化反应产物氢过氧化物在不断积累。与未加热油样相比,油茶籽油、大豆油、菜籽油、调和油在200℃加热

2h过氧化值均显著增加($p < 0.05$),增量分别为3.0555、2.5777、2.7555、3.2332 mmol/kg,其中油茶籽油与调和油过氧化值变化程度较大。但在本实验条件下4种食用油均符合GB 2716—2018过氧化值应低于0.25 g/100 g(9.85 mmol/kg)的要求。

2.3 热处理对不同食用油共轭二烯值与共轭三烯值的影响(见图3、图4)

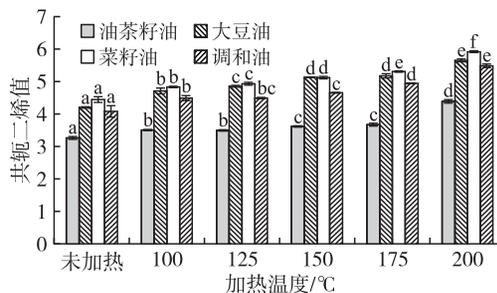


图3 不同加热温度对4种食用油共轭二烯值的影响

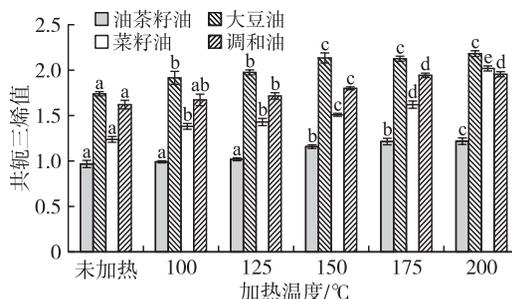


图4 不同加热温度对4种食用油共轭三烯值的影响

多不饱和脂肪酸的氧化产物可通过双键重排,异构化形成稳定的共轭二烯、共轭三烯结构^[10],二者分别在234 nm和268 nm有较强吸收峰。由于共轭二烯和共轭三烯化合物的形成与油脂氧化初期氧吸收和过氧化物形成呈正比,因此近年来逐步成为辅助评价油脂氧化程度的指标之一^[11]。由图3、图4可知,4种食用油的共轭二烯(CD)值、共轭三烯(CT)值均随加热温度升高而升高,表明随着加热温度升高,4种食用油氧化程度不断加深,油样中共轭烯生成量越来越多。大豆油、菜籽油、调和油的初始CD值较为相近,分别为4.2008、4.4358、4.0800,200℃加热2h后的CD值增量也较为相近,分别为1.4367、1.4758、1.3992。而油茶籽油的初始CD值为3.2575,远低于其他3种食用油,200℃加热2h CD值增量为1.1308,也低于其他3种食用油。刘凤霞等^[12]认为CD值的增幅与油脂自身抗氧化能力呈负相关,由此推出,本实验中4种食用油的抗氧化性大小为油茶籽油>调和油>大豆油>菜籽油。CT初始值为油茶籽油<菜籽油<调和油<大豆油,200℃加热2h后油茶籽油、大豆油、菜籽油、调和油的CT值增量分别为0.2525、0.4383、

0.780 8、0.332 5,增量大小顺序为油茶籽油 < 调和油 < 大豆油 < 菜籽油,与 CD 值分析结果一致。

有研究认为,CD 值、CT 值的增量与氧化反应发生的程度、氧化产物的量及亚油酸、亚麻酸的含量有关^[13]。在同样的氧化处理条件下,一般亚油酸、亚麻酸含量高的油脂更容易生成共轭烯^[14]。但不同油脂自身所含有的抗氧化物质可能会影响油脂的氧化程度,从而减缓 CD 值、CT 值的增长^[4]。因此,油茶籽油的 CD 值、CT 值增长量最低,可能与其中的多不饱和脂肪酸含量相对较低和抗氧化物质含量高有关。

2.4 热处理对不同食用油 TBARS 值的影响(见图 5)

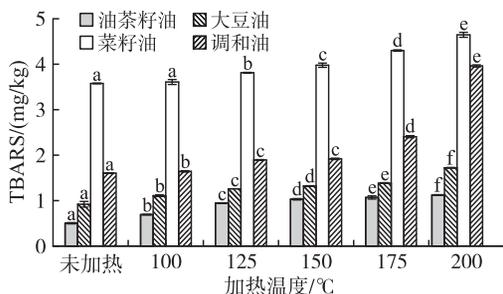


图 5 不同加热温度对 4 种食用油 TBARS 值的影响

TBARS 值通过测定丙二醛等脂肪次级氧化产物的多少来表征脂肪次级氧化的程度,是评价食用油劣变程度的重要指标。由图 5 可知,4 种食用油的 TBARS 值均随温度升高而升高,说明 4 种食用油随着加热温度升高氧化程度加深,次级氧化产物不断增多。200 °C 加热 2 h 后油茶籽油、大豆油、菜籽油、调和油的 TBARS 值较未加热油样的增量分别为 0.620 4、0.800 5、1.069 0、2.356 3,增量大小为油茶籽油 < 大豆油 < 菜籽油 < 调和油,说明本实验所选用的油茶籽油与所选用的其他市售食用油相比,在不同温度加热处理后,对人体有害的次级氧化产物含量最低。大豆油、菜籽油、调和油在 150 °C 以内加热 2 h 较在 200 °C 下加热 2 h, TBARS 值涨幅较小,可能是因为温度较低、加热时间较短,食用油主要发生初级氧化反应,因此次级氧化产物积累较少,而高温可以极大加速油脂的氧化,使油脂的自由基链式反应速度变快^[5],油脂的 TBARS 值显著增加。

结合过氧化值(图 2)的变化可以发现,过氧化值增长的同时 TBARS 值也在增长,说明在加热过程中,4 种食用油均同时发生了初级氧化和次级氧化,次级氧化的发生会消耗初级氧化反应的产物,但过氧化值并未出现下降,说明初级氧化反应速率在本实验条件下始终较次级氧化反应速率更快。若继续

升高加热温度或延长加热时间,则可能出现过氧化物分解速率大于形成速率的情况,此时过氧化值可出现降低的变化趋势^[6]。

2.5 不同加热温度对 4 种食用油同步荧光光谱的影响(见图 6)

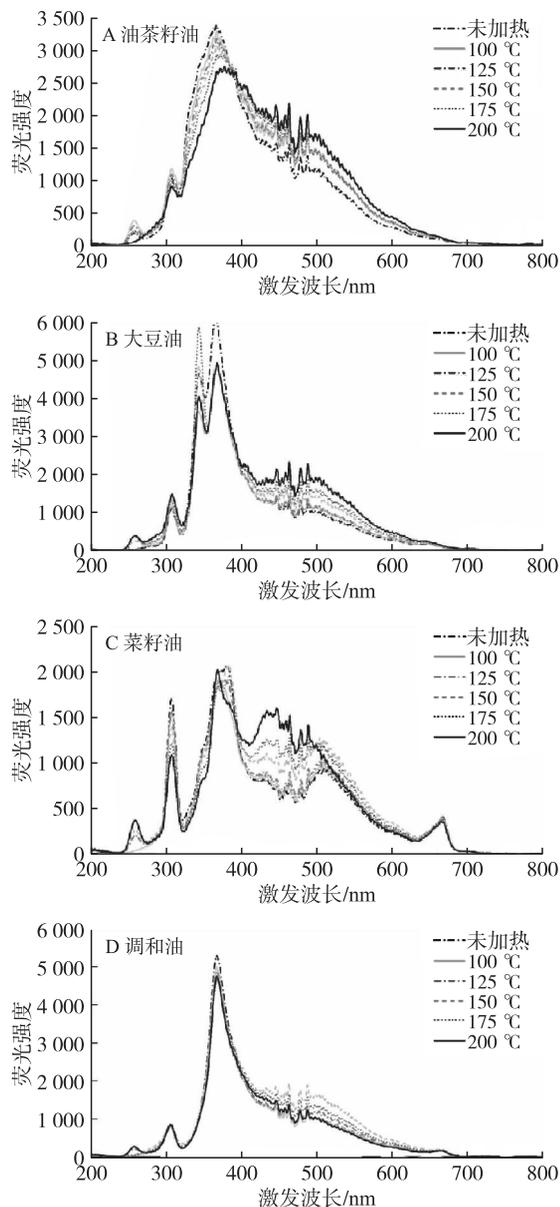


图 6 不同加热温度对 4 种食用油同步荧光光谱的影响

植物油中生育酚、色素及含羰基的脂肪酸等物质会发出较强的荧光,油脂的氧化会消耗一部分本身含有的荧光物质,并且生成的氧化产物同样具有荧光响应,因此食用油的同步荧光强度变化也可在一定程度上反映其氧化进程^[15]。

由图 6(A)可知,油茶籽油分别在 260、309、369 nm 和 426 ~ 510 nm 有吸收峰。其中 426 ~ 510 nm 之间为一个吸收峰群,有多个小吸收峰。随着加热温度的升高,在 260、309 nm 处的峰呈先升高后下降的趋势,在 369 nm 处的峰逐步下降且同时出现红

移,这可能与高温加速了油脂的氧化和聚合反应有关^[6]。426 ~ 510 nm 的峰随加热温度的升高而升高。

由图 6(B)可知,大豆油分别在 260、309、343、367 nm 和 426 ~ 510 nm 有吸收峰。随着加热温度的升高,260、309 nm 处的峰先下降后上升,343 nm 处的峰波动较大,呈现先降后升再降的趋势。未加热油样在 367 nm 处的峰最高,所有加热油样在 367 nm 处的峰高则相近。426 ~ 510 nm 处的峰则随加热温度升高而升高。大豆油在 309 nm 处的峰在一定温度内加热呈下降趋势可能是因为生育酚被氧化,之后峰高重新增长,可能是由于生成了新的荧光氧化产物^[15]。

由图 6(C)可知,菜籽油的峰形明显区别于大豆油,与油茶籽油的峰形较为相似但峰高不同,说明菜籽油与大豆油和油茶籽油的成分组成均不同。菜籽油的同步荧光光谱中,260 nm 处的峰随加热温度升高先下降后上升;307 nm 处的峰随加热温度升高而下降;368 ~ 389 nm 为一个宽峰,随加热温度升高其峰高无明显变化但峰形变窄;413 ~ 520 nm 处的峰随加热温度升高而上升;在 666 nm 处也有一个峰,但随加热温度升高无变化,在 650 ~ 700 nm 波长范围内出现的弱荧光吸收峰一般被认为是叶绿素的荧光吸收峰^[16]。

由图 6(D)可知:调和油的同步荧光光谱中,260 nm 处的峰在 125 °C 以内无变化,而在 150、175 °C 下降,200 °C 又升高;随加热温度升高,308、667 nm 处的峰无明显变化,368 nm 处的峰下降,418 ~ 510 nm 处峰的先上升后下降。调和油和大豆油、菜籽油的同步特征荧光峰相近,这是由于本实验所用调和油的配料中大豆油和菜籽油是其主要成分,调和油在 260、368 nm 处峰的变化与大豆油和菜籽油一致,在 667 nm 处的变化与菜籽油一致(大豆油在 667 nm 附近未出峰),但在 308 nm 和 418 ~ 510 nm 处峰的变化与大豆油和菜籽油不同,可能是由于调和油中其他的油脂成分如葵花籽油、玉米油、稻米油等经高温处理后荧光成分发生变化,对调和油的荧光光谱造成影响。

食用油中的荧光发光中心主要集中在酚类、色素和脂肪酸中的 C=O 基团中,油脂经过氧化生成的单环二聚酸、双环二聚酸、三聚酸、一些环状单体和含有共轭双键的二聚物、三聚物等都含有 C=O 基团,可发出较强的荧光使样品的荧光强度在一定范围内增强^[17]。一般认为,300 ~ 400 nm 处的吸收

峰与酚类物质有关^[18],410 ~ 540 nm 处的吸收峰与脂类氧化产物以及水解产物、酚酸类物质含量有关^[19]。综合分析 4 张同步荧光光谱图(图 6)可发现,经过加热后的不同食用油原来的特征峰(主要在 360 ~ 390 nm 之间)都不同程度地减弱甚至消失,除调和油外,在 413 ~ 520 nm 处的吸收峰,随着加热时间的延长,其强度逐渐增强。这可能是由于 4 种食用油经高温加热后发生分解、氧化、环化和聚合,生成了更多的环化脂肪酸、环状聚合物以及共轭多烯结构物质,生育酚等食用油中原有的荧光物质发生了分解和氧化,转化为其他物质或随着加热挥发出去^[17]。

3 结论

通过测定油茶籽油、大豆油、菜籽油、调和油在 100 ~ 200 °C 下酸值、过氧化值、共轭二烯值、共轭三烯值、TBARS 值的变化,发现所有指标均随加热温度的升高而升高,说明加热温度越高,4 种食用油的氧化程度越大,氧化稳定性变差。与未加热油样对比,4 种食用油各指标增量从大到小顺序分别为:酸值,油茶籽油 > 菜籽油 > 调和油 > 大豆油;过氧化值,调和油 > 油茶籽油 > 菜籽油 > 大豆油;共轭二烯值、共轭三烯值,菜籽油 > 大豆油 > 调和油 > 油茶籽油;TBARS 值,调和油 > 菜籽油 > 大豆油 > 油茶籽油。同步荧光光谱分析表明,随着加热温度升高,各食用油自身所含有的酚类吸收峰(360 ~ 390 nm)下降或峰形变窄,表征氧化产物的峰(413 ~ 520 nm)升高(除调和油),说明 4 种食用油在发生氧化的同时组分也发生了改变。

油茶籽油的单不饱和脂肪酸含量高,单不饱和脂肪酸的氧化稳定性较多不饱和脂肪酸高,油茶籽油氧化稳定性理论上应较高,但本实验所用油茶籽油氧化稳定性未有显著优越性,可能与所用油茶籽油样品的原料和精炼工艺有关。

参考文献:

- [1] 翟金玲,陈季旺,夏文水,等. 加热温度及时间对食用煎炸油品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(8):3247-3254.
- [2] 荣菡,甘露菁,王磊. 基于近红外光谱的茶油掺伪快速检测方法的研究[J]. 中国调味品,2019,44(12):144-147,154.
- [3] 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.
- [4] 黄雨洋,齐宝坤,赵城彬,等. 加速氧化过程中不同植物油的稳定性研究[J]. 中国食品学报,2019,19(1):243-248.
- [5] 李秀娟,黄莉,丁波,等. 茶多酚对猪油在不同热加工条

- 件的抗氧化作用[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(8): 220-224.
- [6] 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.
- [7] 刘耀华, 宋永, 齐宝坤. 添加迷迭香提取物对油茶籽油储藏稳定性的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 32-35.
- [8] 陈灼娟. 6种茶油中酚类物质含量的测定[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(20): 30-31, 34.
- [9] 丁新杰. 精炼对大豆油和菜籽油中有益微量组分的影响[D]. 郑州:河南工业大学, 2015.
- [10] 陈焱, 尤梦圆, 王满意, 等. 不同加工方式对油茶籽油品质的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(5): 180-184.
- [11] 王进英. 油茶籽油热稳定性研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2017.
- [12] 刘凤霞, 王莹, 薛刚, 等. 迷迭香脂溶性提取物在植物油中的抗氧化性研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(1): 101-104.
- [13] BERASATEGI I, BARRIUSO B, ANSORENA D, et al. Stability of avocado oil during heating; comparative study to olive oil[J]. Food Chem, 2012, 132(1): 439-446.
- [14] 贺瑶, 刘尧刚, 罗质, 等. 高油酸葵花籽油与普通葵花籽油在煎炸性能上的比较研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7): 39-42.
- [15] 李泳霖, 谷宇欣, 官婷, 等. 4种植物油热氧化同步荧光光谱分析[J]. 农产品加工, 2020(3): 50-54, 59.
- [16] 毛立新, 郭建荣, 吴旭, 等. 同步荧光光谱法快速鉴别食用油[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 67-71.
- [17] 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.
- [18] ZANDOMENEGHI M, CARBONARO L, CAFFARATA C. Fluorescence of vegetable oils; olive oils[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(3): 759-766.
- [19] HAZIR M H M, SHARIFF A R M, AMIRUDDIN M D, et al. Oil palm bunch ripeness classification using fluorescence technique[J]. J Food Eng, 2012, 113(4): 534-540.
-
- (上接第64页)
- [3] JANKOVIC J, DJEKIC L, DOBRICIC V, et al. Evaluation of critical formulation parameters in design and differentiation of self-microemulsifying drug delivery systems (SMEDDSs) for oral delivery of aciclovir[J]. Int J Pharm, 2016, 497(1/2): 301-311.
- [4] 郭乃妮, 王天瑞, 刘榜迪, 等. 牡丹籽油的提取及应用研究进展[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(3): 20-23.
- [5] 唐佳芮, 魏冰, 石珊珊. α -亚麻酸分离纯化技术研究进展[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 28-31, 38.
- [6] 吴俏瑾, 杜冰, 蔡允林, 等. α -亚麻酸的生理功能及开发研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 386-390.
- [7] 郑永军, 吾满江艾力. Tween80/BmimPF₆/醇/甲苯体系的相行为[J]. 物理化学学报, 2008(11): 2143-2148.
- [8] WANG L, DONG J, CHEN J, et al. Design and optimization of a new self-nanoemulsifying drug delivery system[J]. J Colloid Interf Sci, 2009, 330(2): 443-448.
- [9] SINGLA M, PATANJALI P K. Phase behaviour of neem oil based microemulsion formulations[J]. Ind Crops Prod, 2013, 44: 421-426.
- [10] 易海斌. 柚子籽油微乳液的制备及质量评价[D]. 南昌:南昌大学, 2012.
- [11] 刘欣. 玫瑰精油微乳液制备及特性研究[D]. 江苏无锡:江南大学, 2017.
- [12] 满妍妍, 张丽君, 徐怀德, 等. 核桃油微乳液制备及水、油渗透阈值研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(4): 80-85.
- [13] 梅子, 傅玉颖, 卢锦丽. 全稀释食品级单辛酸甘油酯微乳液的稳定性研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(3): 80-86.
- [14] FANUN M. Phase behavior, transport, diffusion and structural parameters of nonionic surfactants microemulsions[J]. J Mol Liquids, 2008, 139(1/2/3): 14-22.