

延黄牛脂和低胆固醇延黄牛脂的煎炸特性

卢传敏¹, 马静², 仇宏图^{1,3*}, 张华^{1,4*}, 牟柏德^{1,4}, 李官浩^{1,4}, 徐红艳^{1,4}

(1. 延边大学农学院食品与生物科学系, 吉林延吉 133002; 2. 锡林郭勒职业学院, 内蒙古锡林浩特 026000; 3. 济宁学院生命科学与工程学院, 山东曲阜 273100; 4. 农业农村部延边特色高品质牛肉精深加工创新重点实验室(部省共建), 吉林延吉 136200)

摘要: 为提高延黄牛脂附加值, 开发一款煎炸稳定性好、营养健康的煎炸油, 对延黄牛脂和低胆固醇延黄牛脂在煎炸过程中理化指标的关系进行评价, 通过主成分分析确定挥发性成分的独立性, 利用核磁共振波谱技术检测多环芳烃含量。结果表明: 低胆固醇延黄牛脂煎炸过程中酸价、皂化值、初级氧化产物、次级氧化产物生成量和色泽(有色物质含量)均低于延黄牛脂, 多环芳烃生成量也相对较低。延黄牛脂样品各项理化指标对次级氧化产物的影响大小排序为酸价>色泽>皂化值, 并且次级氧化产物与酸价、色泽、皂化值均呈正相关。低胆固醇延黄牛脂样品各项理化指标对初级氧化产物的影响大小排序为皂化值>酸价>色泽。其中, 初级氧化产物与皂化值呈正相关, 与酸价和色泽呈负相关。两种牛脂均对含硫类物质和氮氧化物较为敏感。煎炸 16 h 内, 低胆固醇延黄牛脂的多环芳烃生成量明显低于延黄牛脂, 因此, 控制煎炸时间和胆固醇含量能有效抑制多环芳烃产生。

关键词: 延黄牛脂; 胆固醇; 煎炸; 氧化; 多环芳烃

Frying Characteristics of Yellow Tallow and Low-cholesterol Yellow Tallow

LU Chuanmin¹, MA Jing², QIU Hongtu^{1,3*}, ZHANG Hua^{1,4*}, MU Baide^{1,4}, LI Guan hao^{1,4}, XU Hongyan^{1,4}

(1. Department of Food and Biological Science, College of Agriculture, Yanbian University, Yanji 133002, Jilin, China; 2. Xilingol Vocational College, Xilinhot 026000, Inner Mongolia, China; 3. School of Life Science and Engineering, Jining University, Qufu 273100, Shandong, China; 4. Key Laboratory for Innovation in Deep Processing of High Quality Beef with Yanbian Characteristics, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Ministry-Province Joint Construction), Yanji 136200, Jilin, China)

Abstract: To increase the added value of Yanbian yellow cattle tallow, a frying oil with good frying stability and healthy nutrition was developed. The relationship between the physical and chemical indexes of Yanbian yellow cattle tallow and low-cholesterol Yanbian yellow cattle tallow during the frying process was evaluated. The independence of volatile components was determined through principal component analysis, and the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) was detected using nuclear magnetic resonance spectroscopy. The results showed that during the frying process, the acid value, saponification value, primary oxidation products, secondary oxidation products, and color (content of colored substances) of low-cholesterol Yanbian yellow cattle tallow were all lower than those of regular Yanbian yellow cattle tallow. The amount of PAHs produced was also relatively low. The influence of various physical and chemical indexes on the secondary oxidation products of Yanbian yellow cattle tallow samples was ranked as follows: acid value > color > saponification value, with secondary oxidation products positively correlated with acid value, color, and saponification value. For low-cholesterol Yanbian yellow cattle tallow samples, the influence on primary oxidation products was ranked as follows: saponification value > acid value > color. The primary oxidation products were positively correlated with saponification value and negatively correlated with acid value and color. Both types of tallow were more sensitive to sulfur-containing substances and nitrogen oxides. Within 16 hours of frying, the amount of PAHs generated in low-cholesterol Yanbian yellow cattle tallow was significantly lower than that in regular Yanbian yellow cattle tallow. Therefore, controlling frying time and cholesterol content could effectively inhibit the production of PAHs.

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20240601062RC)

作者简介: 卢传敏(2000—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 油脂化学。

*通信作者: 仇宏图(1995—), 男(汉), 讲师, 博士, 研究方向: 食品科学; 张华(1979—), 女(朝鲜), 副教授, 博士, 研究方向: 油脂化学及畜产品加工。

Key words: Yanbian yellow cattle tallow; cholesterol; frying; oxidation; polycyclic aromatic hydrocarbon

引文格式:

卢传敏,马静,仇宏图,等. 延黄牛脂和低胆固醇延黄牛脂的煎炸特性[J]. 食品研究与开发,2024,45(21):56-62.

LU Chuanmin, MA Jing, QIU Hongtu, et al. Frying Characteristics of Yellow Tallow and Low-cholesterol Yellow Tallow[J]. Food Research and Development,2024,45(21):56-62.

煎炸是食品加工常用的手段之一,煎炸食品因其特殊香气和风味而深受人们喜爱。煎炸油在作为传热介质的同时可赋予食品特殊的质构和香味,然而其会导致营养成分损失,有害物质生成^[1]。因此,煎炸油的质量与安全直接影响煎炸食品安全与人们的健康状况,研究煎炸油的品质变化尤为重要^[2]。

在煎炸食品过程中,油脂在高温状态下长时间反复使用,其与水分和空气中氧接触后,会发生水解、氧化、聚合等一系列复杂反应。当前领域还缺乏对于不同种类煎炸油使用过程中成分变化、特定有害物质生成以及探索更适用于煎炸的油类的研究。陈雅琪等^[3]研制了一款体积比2:3:5(牛油:高油酸菜籽油:稻米油)的调和煎炸油,通过测定酸价、过氧化值、碘值、极性含量等指标探究其煎炸性能,发现饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量均增加,多不饱和脂肪酸含量均减少。李靖等^[4]利用电子鼻系统分析研究了大豆色拉油煎炸过程中气味的变化特征,发现挥发性成分含量均有一定升高。官秋林等^[5]利用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法对4种植物油煎炸前后挥发性风味成分进行分析。王鸣洁等^[6]利用核磁共振波谱(nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR)技术测定煎炸油的多环芳烃含量,为煎炸油中多环芳烃含量快速测定提供参考。目前,鲜有关于煎炸过程中煎炸油挥发性风味成分的变化及多环芳烃的生成的研究。

因此,本试验主要以降低胆固醇前后的延黄牛脂(yellow cattle beef tallow, YCBT)为煎炸油脂,综合分析2种煎炸油脂在煎炸过程中的品质变化、挥发性风味成分的变化及多环芳烃含量的变化,从而得出其煎炸特性,并对多环芳烃的产生采取控制措施,进一步揭示煎炸油在煎炸过程中的品质变化规律,以期对煎炸油的品质调控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

延黄牛脂、冷冻薯条:市售;氧化铝(分析纯)、氢氧化钾(分析纯)、37种脂肪酸甲酯混标:上海源叶生物科技有限公司;5 α -胆甾烷、二甲基甲酰胺、三甲基氯硅烷、六甲基乙硅烷、正庚烷、甲醇(均为色谱纯)、三氟化硼-甲醇(质量分数14%)、胆固醇标准品(>99%)、氮

代氯仿(含0.03%四甲基硅烷):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;甲苯、异丙醇(均为分析纯):天津市科密欧化学试剂有限公司;丙酮(分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

BS-81A单缸电炸锅:广州旭茂食品机械有限公司;MS304S分析天平:瑞士梅特勒-托利多公司;VORTEX-6涡旋混合器:江苏其林贝尔仪器制造有限公司;HH-6型数显恒温水浴锅:江苏金坛市大地自动仪器厂;DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器、SHZ-D(III)循环水式真空泵:巩义市予华仪器有限责任公司;RE52C旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;7890A气相色谱仪:美国安捷伦科技公司;UV-7504紫外分光光度计:上海欣茂仪器有限公司;NR110型色差仪:深圳市三恩驰科技有限公司;PEN3型便携式电子鼻:德国Airsense公司;PQ001-020-015V型低场核磁共振分析与成像仪(low field nuclear magnetic resonance, LF-NMR):苏州纽迈分析仪器股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 延黄牛脂的提取

参考仇宏图等^[7]的方法,稍作修改。将延黄牛脂进行切割,使其呈细小块状,与适量水同入锅中,进行2h的加热熬制,然后捞出悬浮于表层的油至烧杯中。在烧杯内加入正己烷,使两者体积比为1:1,以无水硫酸钠作为媒介抽滤,最后使用旋转蒸发器去除抽滤所得牛脂中的溶剂,获取纯净牛脂。

1.3.2 低胆固醇延黄牛脂制备

参考文献[8],将牛脂在65℃水浴加热10min,加入牛脂质量分数15%的中性氧化铝吸附剂,恒温搅拌1h得到混合均匀的液体,取出室温下静置凝固分层,取上层牛油即为低胆固醇延黄牛脂(low cholesterol yellow cattle beef tallow, YCBT-C)。

1.3.3 煎炸流程

准备2L油倒入煎炸锅中,放入薯条,煎炸温度180℃,煎炸约5min,待薯条浮起,表面金黄捞出,捞出沥油,薯条每30g一批,每隔15min煎炸一批,薯条煎炸试验流程尽量与实际生活相近,每天连续煎炸8h。每隔2h取大约50mL煎炸油样于试管中,密封后放入4℃冰箱中备用,煎炸过程中不添加新油。

1.3.4 胆固醇含量分析

称取(1.00±0.01) g样品于250 mL锥形瓶中,加入40 mL体积分数95%乙醇和8 mL 50%氢氧化钾溶液,混匀。将油样在70 °C磁力搅拌加热套皂化回流70 min,不时振荡防止试样黏附在瓶壁上,皂化结束后,烧瓶加盖于室温下稳定24 h。然后向皂化液中加入100 mL甲苯,混匀。定量转移全部皂化液于250 mL分液漏斗中,加入110 mL氢氧化钾,振摇10 s后丢弃下层。添加40 mL 0.5 mol/L氢氧化钾,用水洗涤弃去下层,重复至澄清,静置分层,上清液即为提取液,通过20 g无水硫酸钠脱水转移到250 mL锥形瓶中,密封静置15 min。取锥形瓶中的提取液25 mL于旋蒸瓶中减压浓缩(70 °C, 11 min),加入3 mL丙酮再次减压浓缩至近干,加入3 mL二甲基甲酰胺,用作待测液。在15 mL离心管中加入1 mL待测液、0.2 mL六甲基乙硅烷、0.1 mL三甲基氯硅烷,混匀,静置15 min。向离心管中加入1 mL 5 α -胆甾烷和10 mL蒸馏水,混匀,超速离心2 min(3 000 r/min),取上层正庚烷层,待测^[9]。

气相色谱分析条件为氢离子火焰检测器,300 °C;色谱柱:HP-5毛细管柱(TR-TRACE -FAME, 25 m \times 0.32 mm \times 0.50 μ m);进样口温度250 °C,进样量1 μ L,分流比30:1;程序升温:190 °C,保持2 min,以3 °C/min速率升至230 °C,保持3 min,以3 °C/min速率升至255 °C,保持55 min;载气:高纯氦气,流速34.0 mL/min。胆固醇含量(Z , mg/100 g)计算公式如下。

$$Z = \rho \times \frac{V_1 \times V_3}{m \times V_2} \times 100$$

式中: ρ 为根据校准曲线获得的测试溶液质量浓度,mg/mL; m 为样品质量,g; V_1 为用于萃取的甲苯体积,100 mL; V_2 为浓缩过程中使用的甲苯体积,25 mL; V_3 为衍生化前用于溶解残留物的二甲基甲酰胺体积,3 mL。

1.3.5 脂肪酸组成分析

样品甲酯化方法:称取(10.00±0.01) mg样品,加入1.5 mL 0.5 mol/L氢氧化钠甲醇溶液,充分混合后在沸水中反应3 min,冷却,再加入2 mL体积分数14%的BF₃(三氟化硼甲醇)溶液,充分混合后继续在沸水中反应2 min,冷却后加入1 mL饱和氯化钠和2 mL异丙醇,充分混合后,超速离心,3 000 r/min反应2 min,取上层脂肪酸甲酯,经过无水硫酸钠干燥后用于气相色谱分析。

气相色谱分析条件为检测器:氢离子火焰检测器,260 °C;色谱柱:HP-5毛细管柱(TR-TRACE -FAME, 25 m \times 0.32 mm \times 0.50 μ m);进样口温度250 °C,进样量1 μ L,分流比30:1;程序升温:140 °C,保持5 min,以3 °C/min升至240 °C,保持65 min;载气:高纯氦气,流速34 mL/min,压力模式^[10]。

1.3.6 理化指标的测定

酸价参照GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》中的热乙醇指示剂滴定法测定;皂化值参照GB/T 5534—2008《动植物油脂 皂化值的测定》测定;初级氧化产物参照GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》测定;次级氧化产物参照GB/T 35252—2017《动植物油脂 2-硫代巴比妥酸值的测定 直接法》测定。

1.3.7 色泽

参考文献[11]的方法测定样品的总色差 ΔE ,计算公式如下。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^* + \Delta a^* + \Delta b^*}$$

式中: ΔL^* 为明亮度变化值; Δa^* 为黄绿色度变化值; Δb^* 为黄蓝色度变化值。

1.3.8 挥发性风味成分分析

称取(3.00±0.01) g油样于20 mL具有聚四氟乙烯隔垫密封的顶空瓶中^[12],置于60 °C水浴中加热平衡10 min,电子鼻针头在同一高度顶空进样。采用Winmuster 5.3.1-4696软件进行数据采集与处理,并进行主成分分析(principal component analysis, PCA)^[13]。

参数设置为清洗时间130 s,预进样时间5 s,进样流速400 mL/min,载气流速400 mL/min,检测时间200 s。取稳定平缓时间点(180 s)的传感器信号进行数据分析。电子鼻传感器性能描述见表1。

表1 电子鼻传感器性能描述

Table 1 Electronic nose performance description

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分、苯类
2	W5S	氮氧化物
3	W3C	氨类、芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲烷类物质灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香族、有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.3.9 核磁共振波谱(¹H NMR)测定

参考文献[14]方法并稍作修改,称取(50.00±0.01) mg油样溶于600 μ L氘代氯仿,混合溶解均匀后待测。取500 μ L待测液于直径为5 mm的干燥洁净核磁管中,利用核磁共振波谱仪检测油样的核磁共振信号,采集样品的氢谱数据进行积分。利用MestReNova 1.6.2.18软件对得到的氢谱进行数据采集与处理。

参数设置:共振频率为500.13 MHz,配备5 mm BBO探头,脉冲序列为zg30,脉宽为10⁻⁵,谱宽(spec-

tral width, SW)为 10^{-3} , 扫描次数 (number of scans, NS) 为 16, 接受增益 (receiver gain, RG) 为 19, 弛豫时间 (D1) 为 1 s, 检测温度为 $26.85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 捕获时间 3.276 8 s, 样品检测前等待 5 min 用于稳定温度, 每个样品重复测定 3 次, 保证数据可靠性。

1.4 数据分析

所有试验做 3 次平行, 使用 Canoco5.0 软件进行相关性分析 (redundancy analysis, RDA)。用 SigmaPlot 14.0 绘制图形。

2 结果与分析

2.1 降低胆固醇前后延黄牛脂成分分析

降低胆固醇前后延黄牛脂成分分析见表 2。

表 2 降低胆固醇前后脂肪酸组成及胆固醇含量变化

Table 2 Changes in fatty acid composition and cholesterol content before and after lowering cholesterol

名称	YCBT/%	YCBT-C/%
豆蔻酸 C14:0	2.79±0.14	1.39±0.07
豆蔻脑酸 C14:1	1.36±0.07	0.58±0.03
棕榈酸 C16:0	40.33±2.02	44.42±2.22
棕榈烯酸 C16:1	2.44±0.12	5.82±0.29
硬脂酸 C18:0	7.36±0.37	14.34±0.72
油酸 C18:1c	39.90±2.00	28.20±1.41
反油酸 C18:1t	4.16±0.21	1.86±0.09
亚油酸 C18:2c	0.59±0.03	3.39±0.17
反亚油酸 C18:2t	1.08±0.05	
饱和脂肪酸	50.47±2.52	60.14±3.01
不饱和脂肪酸	44.29±2.21	38.00±1.90
反式脂肪酸	5.25±0.26	1.86±0.09
胆固醇	76.04±3.80	31.76±1.59

由表 2 可知, 降低胆固醇前后, 其脂肪酸组成中的饱和脂肪酸含量从 50.47% 增加至 60.14%, 不饱和脂肪酸含量从 44.29% 下降至 38.00%, 构成延黄牛脂和低胆固醇延黄牛脂的主要脂肪酸种类是棕榈酸和油酸, 且油酸相对含量变化较大; 降低胆固醇后, 油酸和豆蔻酸含量下降, 延黄牛脂的胆固醇含量从 76.04% 下降至 31.76%, 降低了 58.23%。主要脂肪酸相对含量发生的变化可能与脱除胆固醇过程中的处理温度和处理时间变化有关, 王振杰等^[15]在研究调和油时发现, 油脂脂肪酸变化与处理时间、处理温度、热处理方式密切相关。一般在高温条件下, 油脂因氧化、环化和异构化反应会生成小分子醛、酮、酸、环状物和异构体等物质, 本试验处理温度较高, 所以对油脂影响较大。

2.2 煎炸过程中品质指标的变化

2.2.1 煎炸过程中酸价的变化

煎炸过程中酸价的变化如图 1 所示。

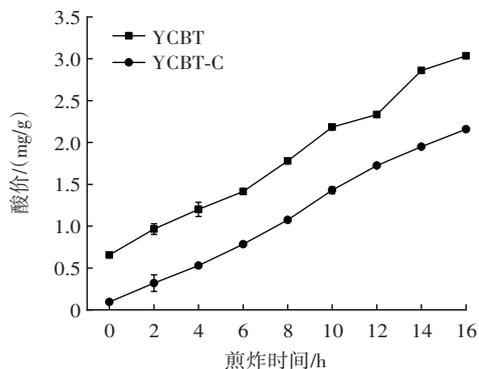


图 1 煎炸过程中酸价的变化

Fig.1 Change in acid value during frying

由图 1 可知, 降低胆固醇过程中同时除去了游离脂肪酸。煎炸过程中, 2 种油的酸价均随着煎炸时间的延长而上升, 其中, 延黄牛脂的酸价 (acid value, AV) 变化略大 (0.655~3.035 mg/g, 增幅为 2.380 mg/g); 低胆固醇延黄牛脂的酸价变化略小 (0.095~2.160 mg/g, 增幅为 2.065 mg/g)。

2.2.2 煎炸过程中皂化值的变化

煎炸过程中皂化值的变化如图 2 所示。

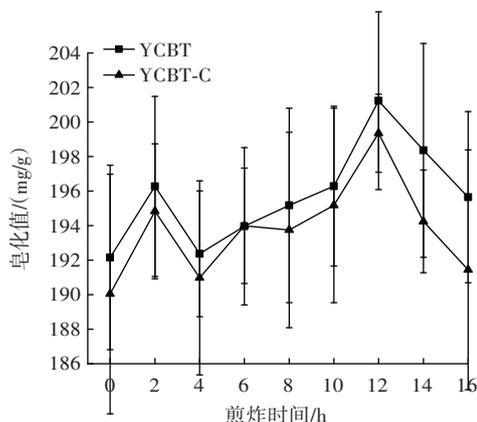


图 2 煎炸过程中皂化值的变化

Fig.2 Change in saponification value during frying

由图 2 可知, 在煎炸过程中, 2 种油的皂化值 (saponification value, SV) 均在 12 h 时达到顶峰。皂化值一直处于不稳定的波动状态, 可能是由于当反应向适合分解反应的方向进行时, 增加了游离脂肪酸的含量, 因此, 皂化值升高; 当游离脂肪酸积累到一定量时, 反应向促使游离脂肪酸减少的方向进行, 在 14~16 h, 产生了非皂化物、甘油酯、二甘油酯等物质, 因此皂化值降低^[15]。

2.2.3 煎炸过程中初级氧化产物生成量的变化

煎炸过程中初级氧化产物生成量的变化如图 3 所示。

由图 3 可知, 延黄牛脂的初级氧化产物生成量

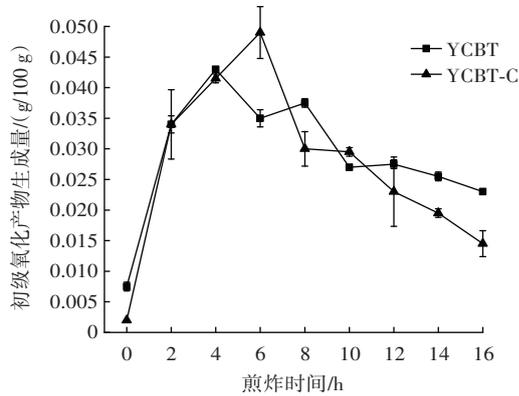


图3 煎炸过程中初级氧化产物生成量的变化

Fig.3 Change in amount of primary oxidation products produced during frying

(peroxide value, POV) 范围为 0.008~0.033 g/100 g (增幅为 0.035 g/100 g), 低胆固醇延黄牛脂的初级氧化产物生成量的范围为 0.002~0.047 g/100 g (增幅为 0.045 g/100 g)。两种油的过氧化产物值在煎炸初期(0~4 h)均迅速升高,可能是由于该阶段油脂的氧化速率大于分解速率^[6];在中期由于高温煎炸过程中氢过氧化物化学性质极不稳定,易裂解产生醛、酮、酸等小分子化合物,故当煎炸时间超过 12 h 后,氢过氧化物分解速率大于生成速率,导致氢过氧化物含量下降。煎炸过程中,两种油的初级氧化产物生成量均处于较低水平(<0.05 g/100 g),这与其饱和脂肪酸含量高而不易被氧化有密切的关系^[17]。

煎炸过程中化学指标的变化如图 4 所示。

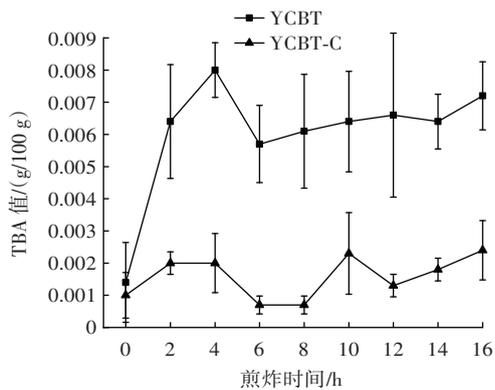


图4 煎炸过程中化学指标的变化

Fig.4 Change in chemical indexes during frying

由图 4 可知,整个煎炸过程中,硫代巴比妥酸(4,6-dihydroxy-2-mercaptopyrimidine, TBA)值代表次级氧化产物生成量,延黄牛脂的次级氧化产物生成量明显高于低胆固醇延黄牛脂的次级氧化产物生成量。煎炸初期(0~4 h),延黄牛脂 TBA 值迅速升高,低胆固醇延黄牛脂缓慢升高。试验结果表明,降低胆固醇后,明显提高了延黄牛脂的煎炸稳定性,更有利于煎炸。

2.3 煎炸过程中色泽的变化

煎炸过程中色泽的变化如图 5 所示。

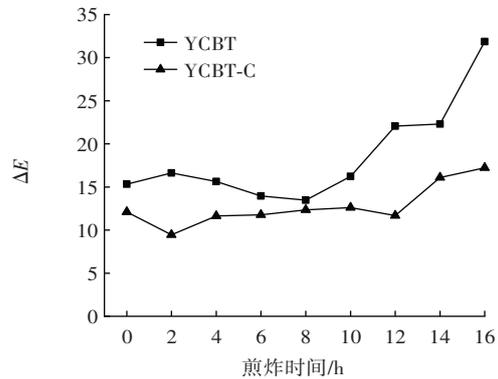


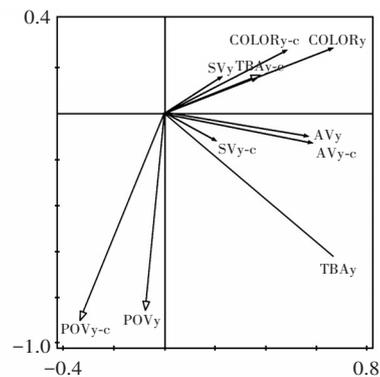
图5 2种油煎炸过程中色泽的变化

Fig.5 Change in color in the frying process of two kinds of oils

由图 5 可知,延黄牛脂的初始色泽(15.325)高于低胆固醇延黄牛脂的初始色泽(12.085)。色差值下降可能是由于某些热敏性物质分解,导致有色物质含量降低;色差值变化呈上升趋势并且速率增大,表明随着煎炸时间的延长,产生了新的有色物质。其中,延黄牛脂的色差值变化增幅较大(16.515);低胆固醇延黄牛脂的增幅较小(5.105),这主要与油脂氧化产物的积累产生有色物质有关^[18]。试验结果表明,降低胆固醇后,低胆固醇延黄牛脂在煎炸过程中产生的有色物质更少,更有利于煎炸。

2.4 理化指标间的相关性分析

理化指标间的相关性分析结果如图 6 所示。



POVy. 延黄牛脂初级氧化产物;POVy-c. 低胆固醇延黄牛脂初级氧化产物;TBAy. 延黄牛脂次级氧化产物;TBAy-c. 低胆固醇延黄牛脂次级氧化产物;AVy. 延黄牛脂酸价;AVy-c. 低胆固醇延黄牛脂酸价;SVy. 延黄牛脂皂化值;SVy-c. 低胆固醇延黄牛脂皂化值;COLORy. 延黄牛脂色泽;COLORy-c. 低胆固醇延黄牛脂色泽。

图6 理化指标间的相关性分析

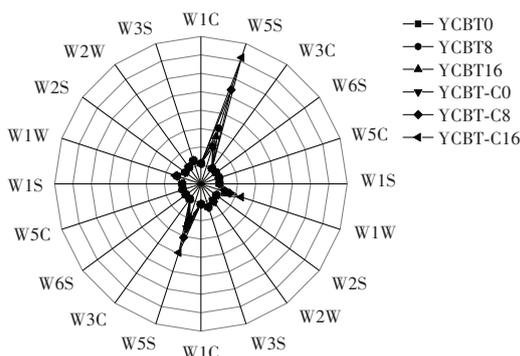
Fig.6 Correlation analysis between physico-chemical indexes

由图 6 可知,TBA 和 POV 为响应变量,SV、AV、COLOR 为解释变量,以 TBAy 和 POVy-c 为轴进行相关性分析。延黄牛脂样品中其他理化指标对 TBA 的

影响大小排序为 AV>COLOR>SV, 并且 TBA 与 AV、COLOR、SV 均呈正相关关系。低胆固醇延黄牛脂样品中其他理化指标对 POV 的影响大小排序为 SV>AV>COLOR。其中, POV 与 SV 呈正相关关系, 与 AV 和 COLOR 呈负相关关系。因此, SV 与 POV 有较高相关性, 反映了高饱和度油脂在煎炸过程中更易发生氧化生成初级氧化产物; AV 与 TBA 有较高相关性, 反映了随着煎炸时间的延长, 游离脂肪酸生成量增多, 油脂易继续氧化生成次级氧化产物。

2.5 挥发性风味成分分析

挥发性风味成分分析结果如图 7 所示。

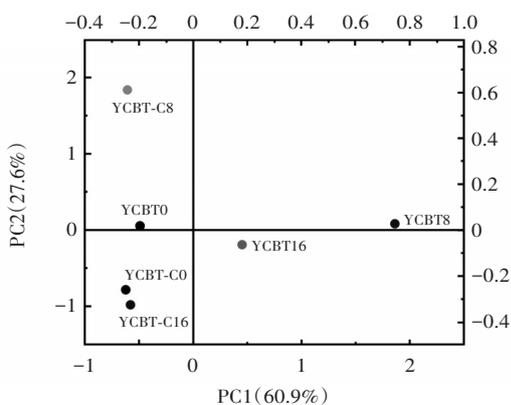


YCBT0. 延黄牛脂煎炸 0 h; YCBT-C0. 低胆固醇延黄牛脂煎炸 0 h; YCBT8. 延黄牛脂煎炸 8 h; YCBT-C8. 低胆固醇延黄牛脂煎炸 8 h; YCBT16. 延黄牛脂煎炸 16 h; YCBT-C16. 低胆固醇延黄牛脂煎炸 16 h。

图 7 传感器贡献率雷达图

Fig.7 Radar plot of sensor contribution rate

由图 7 可知, 传感器对 W5S、W1W 较为敏感, 即 2 种油的主体挥发性风味成分为氮氧化物和含硫类物质。图 8 为 2 种油脂主成分分析图。



YCBT0. 延黄牛脂煎炸 0 h; YCBT-C0. 低胆固醇延黄牛脂煎炸 0 h; YCBT8. 延黄牛脂煎炸 8 h; YCBT-C8. 低胆固醇延黄牛脂煎炸 8 h; YCBT16. 延黄牛脂煎炸 16 h; YCBT-C16. 低胆固醇延黄牛脂煎炸 16 h。

图 8 2 种油煎炸过程中挥发性风味主成分分析

Fig.8 Principal component analysis of volatile flavor in frying process of two types of oils

由图 8 可知, 总贡献率大于 85%, 说明两个主成分

已经基本代表了样品的主要信息特征且煎炸油样品间风味相互独立, 整体区分度较好^[19]。0 h 时两种油脂的挥发性风味成分有明显重叠, 说明 0 h 挥发性成分的变化较小, 气味特征相似。16 h 时低胆固醇延黄牛脂部分油样与其他油样相距较远, 说明该油样与其他油样之间的挥发性风味成分差异较大, 可能是随着煎炸时间的延长, 挥发性风味成分逐渐挥发或降解。

2.6 多环芳烃特征峰的相对峰面积与煎炸时间的关系曲线

研究发现, 油炸食品中的多环芳烃的主要来源是胆固醇^[20]。多环芳烃产生量随时间的变化如图 9 所示。

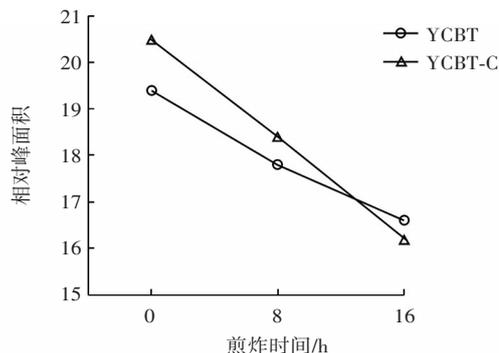


图 9 2 种油脂特征峰的相对峰面积与煎炸时间的关系曲线

Fig.9 Relationship curve between relative peak area and frying time of two oil characteristic peaks

由图 9 可知, 随着煎炸时间的延长, 2 种油脂苯峰的相对峰面积均呈不同程度的下降, 即苯环进行了脱氢、取代、环化等一系列化学转化, 最终形成多环芳烃^[21-23], 从而导致苯的含量降低, 而多环芳烃的含量升高。结果表明, 降低胆固醇后, 低胆固醇延黄牛脂煎炸过程中多环芳烃生成量更少, 更有利于煎炸, 并且最适煎炸油废弃时间为 16 h 左右。

3 结论

以延黄牛脂为原料, 利用中性氧化铝降低牛脂中的胆固醇, 得到低胆固醇延黄牛脂, 对比分析 2 种油脂性质, 结果显示对延黄牛脂进行降低胆固醇处理工艺效果显著, 且同时降低了油酸及豆蔻酸的含量。低胆固醇延黄牛脂的酸价、初级氧化产物、次级氧化产物、皂化值和色泽均低于延黄牛脂, 可能是由于降低胆固醇后, 脂肪酸组成的变化(饱和脂肪酸含量升高, 极性组分含量增加少)提高了低胆固醇延黄牛脂煎炸稳定性, 延长了油脂劣变时间。煎炸过程中的挥发性成分分析结果表明, 两种牛脂均对含硫类物质和氮氧化物较为敏感。利用核磁共振波谱技术快速检测多环芳量, 发现控制煎炸时间和胆固醇含量能有效降低多环芳烃产生。

综上, 低胆固醇延黄牛脂适合作为一款煎炸稳定

性好、营养健康的煎炸油,并能减少多环芳烃的产生,提高了延边黄牛脂作为煎炸油的可利用性,扩大其在食品应用方面的附加值并为当前领域煎炸油质量的提高提供参考。

参考文献:

- [1] 吴时敏. 煎炸用油和油炸食品的质量安全问题及对策[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(1): 6-12.
WU Shimin. Quality and safety issues and countermeasures for frying oils and fried foods[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(1): 6-12.
- [2] 李东锐, 毕艳兰, 肖新生, 等. 食用油煎炸过程中的品质变化研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(6): 34-36.
LI Dongrui, BI Yanlan, XIAO Xinsheng, et al. Research on the change of edible oil quality during frying process[J]. China Oils and Fats, 2006, 31(6): 34-36.
- [3] 陈雅琪, 李建成, 舒适, 等. 牛油调和煎炸油的开发及煎炸性能研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 16-21, 34.
CHEN Yaqi, LI Jiancheng, SHU Shi, et al. Development and frying performance of butter blend oil for frying[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(10): 16-21, 34.
- [4] 李靖, 王成涛, 刘国荣, 等. 电子鼻快速检测煎炸油品质[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 236-239.
LI Jing, WANG Chengtao, LIU Guorong, et al. Fast detection of fried oil quality by electronic nose[J]. Food Science, 2013, 34(8): 236-239.
- [5] 官秋林, 赵晨伟, 唐年初. HS-SPME-GC-MS 鉴定 4 种植物油煎炸薯条挥发性风味成分[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(12): 89-93, 116.
GUAN Qiulin, ZHAO Chenwei, TANG Nianchu. Identification of volatile flavor compounds of four kinds of vegetable oils after frying french fries by HS-SPME-GC-MS[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(12): 89-93, 116.
- [6] 王鸣洁, 龙娟, 杨昊, 等. 核磁共振波谱法测定煎炸油的极性组分含量的方法研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 175-180.
WANG Mingjie, LONG Juan, YANG Hao, et al. Determination of the content of polarity component of fried oil by nuclear magnetic resonance spectrometer[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(1): 175-180.
- [7] 仇宏图, 王家骥, 张华. 降低延边黄牛脂饱和脂肪酸含量的分提研究[J]. 延边大学学报, 2018, 40(4): 65-69.
QIU Hongtu, WANG Jiabin, ZHANG Hua. Study on fraction of reducing fat saturation of Yanbian Yellow Cattle[J]. Agricultural Science Journal of Yanbian University, 2018, 40(4): 65-69.
- [8] GUILLÉN M D, RUIZ A. Monitoring the oxidation of unsaturated oils and formation of oxygenated aldehydes by proton NMR[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2005, 107(1): 36-47.
- [9] ZHOU R Z, JIANG J, MAO T, et al. Multiresidue analysis of environmental pollutants in edible vegetable oils by gas chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2016, 207: 43-50.
- [10] 杨春英, 刘学铭, 陈智毅. 15 种食用植物油脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 211-214.
YANG Chunying, LIU Xueming, CHEN Zhiyi. Determination of fatty acid profiles in fifteen kinds of edible vegetable oil by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2013, 34(6): 211-214.
- [11] 曾欣怡, 陈尔豹, 张雨, 等. 基于色差及电子鼻的红糖品质研究[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(5): 170-180.
ZENG Xinyi, CHEN Erbao, ZHANG Yu, et al. Research on brown sugar quality using color difference and electronic nose[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(5): 170-180.
- [12] 谭超, 杨晶, 蔡婷婷, 等. 油瓜种仁油与 8 种食用油理化及挥发性成分对比分析[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(11): 83-89.
TAN Chao, YANG Jing, CAI Tingting, et al. Analysis of differences physicochemical and volatile components between eight kinds of edible oil and the *Hodgsonia macrocarpa*(bl.)Cogn.Oil seed[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(11): 83-89.
- [13] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 对 5 种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 102-111.
YUAN Taojing, ZHAO Xiaoying, PANG Yiyang, et al. Detection of volatile flavor compounds in five edible vegetable oils by electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 102-111.
- [14] 刘恩满, 李雪玉, 宗绪岩, 等. 基于核磁共振氢谱技术建立白酒乙醇浓度检测方法[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(12): 231-235.
LIU Enman, LI Xueyu, ZONG Xuyan, et al. Detection of alcohol content in Chinese Baijiu based on ¹H nuclear magnetic resonance spectrum[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(12): 231-235.
- [15] 王振杰, 赵雷, 薛鹏, 等. 不同热处理和贮存条件对调和油品质的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(2): 193-201, 208.
WANG Zhenjie, ZHAO Lei, XUE Peng, et al. Effects of different heat treatments and storage conditions on quality of blend oil[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(2): 193-201, 208.
- [16] 李党国. 方便面煎炸油品质改良的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
LI Dangguo. Study on quality improvement of instant noodle frying oil[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008.
- [17] FEARON A M, MAYNE C S, CHARLTON C T. Effect of naked oats in the dairy cow's diet on the oxidative stability of the milk fat[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1998, 76(4): 546-552.
- [18] 舒适. 牛油及其调和油煎炸性能的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019.
SHU Shi. Study on frying performance of butter and its blended oil[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019.
- [19] 胡明明, 张权, 吴思纷, 等. 基于主成分分析的西式快餐条件下煎炸油品质评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 287-296.
HU Mingming, ZHANG Quan, WU Sifen, et al. Quality evaluation of frying oils under the conditions of western fast food restaurants based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(11): 287-296.
- [20] 赵婷婷. 低场核磁共振技术(LF-NMR)在动物油脂质检测中的应用[D]. 上海: 上海理工大学, 2014.
ZHAO Tingting. Application of low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) in the quality detection of animal oils and fats[D]. Shanghai: University of Shanghai for Science & Technology, 2014.
- [21] CHRISTY A A, LIAN M I, FRANCIS G W. Pyrolytic formation of polyaromatic hydrocarbons from steroid hormones[J]. Food Chemistry, 2011, 124(4): 1466-1472.
- [22] 聂文, 屠泽慧, 占剑峰, 等. 食品加工过程中多环芳烃生成机理的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 269-274.
NIE Wen, TU Zehui, ZHAN Jianfeng, et al. Mechanism of polycyclic aromatic hydrocarbon formation in food processing: A review[J]. Food Science, 2018, 39(15): 269-274.
- [23] BITTNER J D, HOWARD J B. Composition profiles and reaction mechanisms in a near-sooting premixed benzene/oxygen/argon flame[J]. Symposium (International) on Combustion, 1981, 18(1): 1105-1116.