

4 种食用油煎炒过程中品质变化研究

刘素君¹,任炳旭¹,杨会军²,温馨¹,郭祖培¹,于修烛¹

(1. 西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100; 2. 陕西关中油坊油脂有限公司,陕西 宝鸡 721004)

摘要:为探讨食用油在中式传统煎炒过程中的品质变化,以菜籽油、大豆油、花生油、亚麻籽油 4 种常见食用油为原料,通过煎豆腐、炒土豆丝两种菜品烹饪过程,分析食用油在煎炒过程中酸值、过氧化值、脂肪酸组成及傅里叶变换红外 (FTIR) 光谱的变化。结果表明:菜籽油在煎制过程中过氧化值变化最大;大豆油在炒制过程中过氧化值变化最小;花生油在煎炒过程中酸值变化最大,在煎制过程中过氧化值变化最小;亚麻籽油在煎炒过程中酸值变化最小,在炒制过程中过氧化值变化最大;4 种食用油在煎炒过程中各脂肪酸含量均无明显变化,但 FTIR 光谱显示有少量反式脂肪酸产生。食用油在煎炒过程中各理化指标均无显著性变化,均符合食用油国家安全标准。

关键词:食用油;煎制过程;炒制过程;品质变化

中图分类号:TS225;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)10-0026-06

Quality change of four kinds of edible oils during pan – and stir – frying processes

LIU Sujun¹, REN Bingxu¹, YANG Huijun², WEN Xin¹, GUO Zupei¹, YU Xiuzhu¹

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Shaanxi Guanzhongyoufang Oils & Fats Company, Baoji 721004, Shaanxi, China)

Abstract: In order to investigate the quality change of edible oil during Chinese traditional cooking processes, four kinds of edible oils, rapeseed oil, soybean oil, peanut oil and linseed oil, were used in two Chinese traditional cooking processes, stir – fried potato chips and pan – fried tofu. The changes of acid value, peroxide value, fatty acid composition and FTIR spectra were determined. The results showed that rapeseed oil had the largest change in peroxide value during pan – frying, and soybean oil had the least change in peroxide value during stir – frying. Peanut oil had the greatest change in acid value during both two processes, but the least change in peroxide value during pan – frying. Linseed oil had the least change in acid value during both two processes, but the largest change in peroxide value during stir – frying. Edible oils had no obvious change in fatty acid composition, while FTIR showed that small amount of *trans* fatty acid was produced during two processes. These results revealed that the physicochemical indexes of edible oil did not significantly change during pan – and stir – frying processes, and all the indexes met national standards of edible oil.

Key words: edible oil; pan – frying process; stir – frying process; quality change

食用油在日常饮食中占有十分重要的地位,其不仅提供人体所需的能量,而且还提供脂溶性维生素和其他有益健康的成分^[1],然而加工过程易产生

不良影响^[2]。煎炒是我国居民日常生活中最常用的两种烹饪方式,在煎炒过程中,食用油以薄膜的形式在短时间被高温加热,期间因为较大的比表面积而被氧化^[3]。食用油在高温加热过程中会发生一系列的物理、化学变化,包括色泽加深、聚合反应、氧化反应、水解反应等^[4],酸值、过氧化值及羰基值呈上升变化趋势,脂肪酸组成和含量也会发生变化^[5-9]。由于传统烹饪过程影响因素多,条件难以控制,食用油在传统烹饪过程中的品质变化关注不

收稿日期:2018-02-09;修回日期:2018-03-05

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31671819)

作者简介:刘素君(1997),女,在读本科,研究方向为功能性油脂及安全检测(E-mail)1067209892@qq.com。

通信作者:于修烛,教授(E-mail)xiuzhuyu@nwfufu.edu.cn。

多,因此对其进行研究具有重要现实意义。章海凤等^[10]利用棕榈调和油、菜籽油与大豆油对煎鸡排进行研究,结果表明3种食用油在煎制鸡排后酸值、过氧化值升高,并伴随有少量反式脂肪酸生成。孙雪梅等^[11]通过炒土豆丝对添加不同DHA藻油的调和油的理化指标、脂肪酸组成等进行分析,研究结果表明炒土豆丝后DHA藻油调和油中DHA含量无显著变化。以上研究对特定食用油烹饪前后品质变化进行研究,但缺乏对烹饪过程中食用油品质变化的研究。本文以4种我国居民常用的食用油——菜籽油、大豆油、花生油、亚麻籽油为原料,对其在煎豆腐和炒土豆丝这两道菜品烹饪过程中酸值、过氧化值、脂肪酸组成及FTIR光谱的变化进行分析,以期掌握食用油在烹饪过程中品质变化积累科学数据,为食用油烹饪过程安全控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

菜籽油:益海(兴平)粮油工业有限公司,市售;大豆油:益海(兴平)粮油工业有限公司,市售;花生油:莱阳鲁花浓香花生油有限公司,市售;亚麻籽油:陕西关中油坊油脂有限公司。乙醚、95%乙醇、冰醋酸、石油醚为分析纯,酚酞、饱和KI试剂、淀粉溶液等为自制。

1.1.2 仪器与设备

Agilent 6890N气相色谱仪(带FID检测器),美国Agilent公司;VERTEX 70傅里叶红外光谱仪,德国Bruker公司。

1.2 实验方法

1.2.1 煎制过程

菜品配方为200g豆腐片,为方便比较理化指标的变化,控制豆腐大小(约5cm×5cm×1cm)使其在3.5min时煎熟。煎锅中分别加入菜籽油、大豆油、花生油和亚麻籽油30g加热,检测油温达180℃后加入200g豆腐片进行煎制,定时翻面,依次进行制作。每隔0.5min用玻璃吸管吸取油样,静置沉淀后取1g上层清液进行酸值、过氧化值测定;取煎制1.5、3.5min的样品进行脂肪酸组成和FTIR光谱分析。

1.2.2 炒制过程

菜品配方为200g土豆丝(用模具擦丝获得,圆柱形,直径约2mm,长度5~7cm),用水冲洗表面淀粉,沥干,并控制在3.5min时炒熟。炒锅中分别加入菜籽油、大豆油、花生油和亚麻籽油30g加热,油温达180℃加入200g土豆丝不断翻炒,依次进行

制作。每隔0.5min用玻璃吸管吸取油样,静置沉淀后取1g上层清液进行酸值、过氧化值测定;取炒制1.5、3.5min的样品进行脂肪酸组成和FTIR光谱分析。

1.2.3 理化指标测定

酸值测定:参照GB 5009.229—2016;过氧化值测定:参照GB 5009.227—2016。

1.2.4 脂肪酸组成测定

采用气相色谱法测定油样脂肪酸组成,参照GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》(第一法 内标法)。

气相色谱条件:HP-INNOWAX柱(0.25mm×0.25μm×30m);进样口温度250℃,检测器温度250℃;柱温180℃保持2min,10℃/min升温到240℃保持10min;载气为高纯氮气,流速1.1mL/min。

1.2.5 FTIR光谱采集

参考文献[12]采用涂膜法,即将油样均匀涂覆在筛网上,扫描食用油红外光谱。光谱采集条件:光谱范围6000~400cm⁻¹,温度设定25℃,分辨率4cm⁻¹,样品扫描次数为16次,样品光谱扫描以筛网为背景。

2 结果与分析

2.1 酸值变化分析

2.1.1 煎制过程中酸值变化

食用油在高温煎制过程中,油脂与水分会发生水解反应,从而导致油脂酸值升高^[10]。4种油在煎制过程中酸值变化见图1。

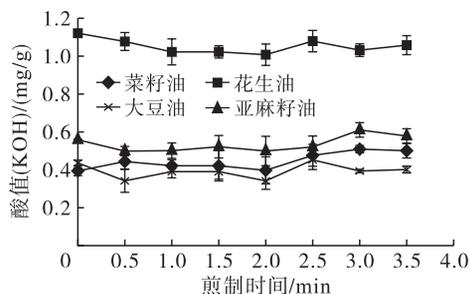


图1 4种油在煎制过程中酸值变化

由图1可以看出,4种食用油在煎豆腐过程中酸值均有小幅度波动,花生油、亚麻籽油和大豆油的酸值在煎制开始阶段有小幅度下降,而菜籽油的酸值有小幅度上升;从酸值变化范围来看,花生油变化范围最大,亚麻籽油变化范围最小。不同种类的食用油变化趋势、快慢不同的原因可能是其脂肪酸组成不同和内源性抗氧化剂含量不同所致。综上,在煎制过程中食用油酸值变化不大,且均在安全范围内。

2.1.2 炒制过程中酸值变化

酸值升高与甘油三酯在水解和热反应过程中生成游离脂肪酸有关,当游离脂肪酸含量大于 1.5% 时,食用油烟点的降低使得煎炸食品吸油率升高,食用油便不可再用^[13]。4 种油在炒制过程中酸值变化见图 2。

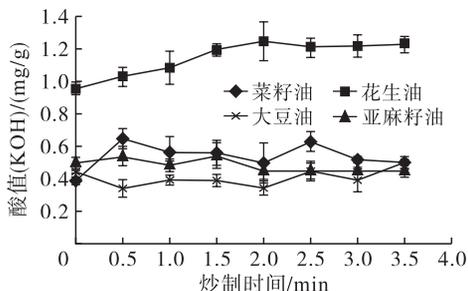


图 2 4 种油在炒制过程中酸值变化

由图 2 可以看出,花生油在炒土豆丝过程中酸值呈缓慢上升趋势,在 2 min 时达到峰值并基本保持不变;大豆油、菜籽油、亚麻籽油酸值呈波动状态,其中菜籽油酸值总体有小幅度的升高,在前 0.5 min 增幅较大;大豆油酸值在前 0.5 min 有小幅下降,在 0.5 min 之后缓慢回升至与初始值接近;亚麻籽油酸值在炒土豆丝过程中未见明显变化,总体略有下降趋势。这是因为在炒制过程中,温度过高,游离脂肪酸易挥发,其生成游离脂肪酸的速度小于游离脂肪酸挥发速度,酸值降低。从酸值变化范围来看,花生油变化范围最大,亚麻籽油变化范围最小。整体来看,在炒制过程中食用油酸值变化不大,均在安全范围内。

对比图 1 和图 2 可以看出,大豆油和亚麻籽油酸值在两种烹饪过程中的变化趋势十分相似;花生油酸值在两种烹饪方式下呈相反趋势,在煎豆腐过程中缓慢下降而在炒土豆丝过程中逐渐上升;菜籽油酸值在煎豆腐条件下上升幅度比在炒土豆丝条件下小。在煎炒之后,食用油酸值(KOH)均低于国家标准规定的 3 mg/g。相关研究表明,在绝大多数深度煎炸过程中,酸值将有显著提高^[14]。这是由于油脂在高温(180℃左右)下与被炸物中的水分和蒸发后的水蒸气接触,发生水解反应,产生游离脂肪酸,发生氧化反应产生氢过氧化物^[14]。在煎炒过程中,温度保持在 150~180℃之间,加热时间即菜品炒熟时间保持在 3.5 min,食用油品质未发生大的改变。

2.2 过氧化值变化

2.2.1 煎制过程中过氧化值变化

一般来说,过氧化值越高,油脂酸败程度越高。油脂酸败可分为氧化酸败和水解酸败^[15]。这与油

脂风味劣变、营养成分丧失紧密相关^[16-17]。4 种油在煎制过程中过氧化值变化见图 3。

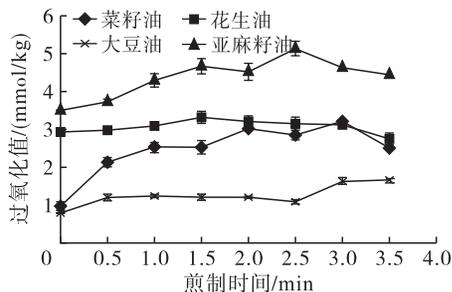


图 3 4 种油在煎制过程中过氧化值变化

由图 3 可以看出,大豆油和花生油氧化稳定性较好,过氧化值变化相对平缓,但大豆油过氧化值在 2.5 min 后有明显升高;菜籽油和亚麻籽油过氧化值总体呈上升趋势,在达到峰值后均有不同程度的下降,菜籽油过氧化值在达到峰值之前 0.5 min 增长最快,而亚麻籽油在 2~2.5 min 增长最快。从过氧化值变化范围来看,菜籽油变化范围最大,花生油变化范围最小。综上,在煎制过程中食用油过氧化值有一定幅度的上升,但仍符合食用油国家安全限量标准。

2.2.2 炒制过程中过氧化值变化

4 种油在炒制过程中过氧化值变化见图 4。

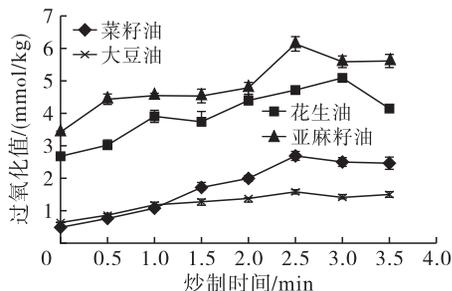


图 4 4 种油在炒制过程中过氧化值变化

由图 4 可以看出,随着炒制时间的延长,4 种油过氧化值整体呈上升趋势。其中大豆油氧化稳定性较好,其过氧化值升高趋势较平缓;亚麻籽油、花生油和菜籽油氧化稳定性较差,这可能与含有较多的不饱和脂肪酸有关。在炒制过程中 4 种油过氧化值升至峰值后,菜籽油和大豆油过氧化值变化趋于平缓,几乎保持不变,而亚麻籽油和花生油过氧化值有一定程度的降低。从过氧化值变化范围来看,亚麻籽油变化范围最大,大豆油变化范围最小;4 种油过氧化值从初始值变化到最大值所用时间基本一致。

2.3 脂肪酸组成及含量变化

2.3.1 煎制过程中脂肪酸组成及含量变化

取原料油及煎制 1.5、3.5 min 的样品进行脂肪

酸组成分析,研究在加热过程中脂肪酸的变化。其结果见表1。

表1 4种食用油在煎制过程中主要脂肪酸相对含量变化

脂肪酸	菜籽油脂肪酸含量/%			花生油脂肪酸含量/%		
	原料油	1.5 min	3.5 min	原料油	1.5 min	3.5 min
C16:0	3.96 ± 0.35	3.97 ± 0.46	4.01 ± 0.31	10.78 ± 0.32	10.77 ± 0.54	10.81 ± 0.48
C18:0				3.63 ± 0.20	3.62 ± 0.33	3.64 ± 0.23
C18:1	58.05 ± 0.84	57.81 ± 1.06	57.61 ± 0.28	43.69 ± 0.83	43.54 ± 0.88	43.54 ± 0.86
C18:2	20.01 ± 0.61	20.21 ± 0.35	20.13 ± 0.44	33.63 ± 0.50	33.59 ± 0.56	33.55 ± 0.41
C18:3	7.33 ± 0.25	7.40 ± 0.22	7.32 ± 0.07			

脂肪酸	大豆油脂肪酸含量/%			亚麻籽油脂肪酸含量/%		
	原料油	1.5 min	3.5 min	原料油	1.5 min	3.5 min
C16:0	9.91 ± 0.38	10.46 ± 0.79	10.45 ± 0.16	5.91 ± 0.00	5.81 ± 0.06	5.86 ± 0.00
C18:0	3.81 ± 0.19	4.00 ± 0.40	3.97 ± 0.11	3.99 ± 0.18	4.01 ± 0.09	4.04 ± 0.05
C18:1	24.43 ± 0.13	25.28 ± 0.74	25.16 ± 0.74	18.25 ± 0.69	18.07 ± 0.80	18.10 ± 0.36
C18:2	51.17 ± 0.72	50.79 ± 0.29	50.98 ± 0.52	17.17 ± 0.13	16.18 ± 0.74	16.28 ± 0.89
C18:3	5.73 ± 0.08	5.56 ± 0.34	5.60 ± 0.19	48.73 ± 0.20	50.01 ± 0.24	49.86 ± 0.47

由表1可以看出,4种食用油在煎豆腐过程中,脂肪酸组成没有显著变化。大豆油脂肪酸组成变化最为明显,棕榈酸、硬脂酸和油酸相对含量上升,亚油酸与亚麻酸相对含量先降低后上升,整体呈下降

趋势。

2.3.2 炒制过程脂肪酸组成变化

取原料油及炒制1.5、3.5 min的样品进行脂肪酸组成检测分析。其结果见表2。

表2 4种食用油在炒制过程中主要脂肪酸相对含量变化

脂肪酸	菜籽油脂肪酸含量/%			花生油脂肪酸含量/%		
	原料油	1.5 min	3.5 min	原料油	1.5 min	3.5 min
C16:0	3.96 ± 0.35	3.94 ± 0.11	3.96 ± 0.35	10.78 ± 0.32	10.82 ± 0.30	10.81 ± 0.32
C18:0				3.63 ± 0.20	3.64 ± 0.19	3.63 ± 0.20
C18:1	58.05 ± 0.84	57.75 ± 0.69	57.91 ± 1.16	43.69 ± 0.83	43.63 ± 0.90	43.56 ± 0.76
C18:2	20.01 ± 0.61	20.38 ± 0.33	20.05 ± 0.57	33.63 ± 0.50	33.40 ± 0.62	33.53 ± 0.51
C18:3	7.33 ± 0.25	7.40 ± 0.39	7.35 ± 0.21			

脂肪酸	大豆油脂肪酸含量/%			亚麻籽油脂肪酸含量/%		
	原料油	1.5 min	3.5 min	原料油	1.5 min	3.5 min
C16:0	9.91 ± 0.38	10.47 ± 0.11	10.00 ± 0.30	5.91 ± 0.00	5.82 ± 0.04	5.79 ± 0.06
C18:0	3.81 ± 0.19	3.97 ± 0.08	4.00 ± 0.06	3.99 ± 0.18	4.03 ± 0.15	4.01 ± 0.16
C18:1	24.43 ± 0.13	25.12 ± 0.66	25.45 ± 0.42	18.25 ± 0.69	18.10 ± 0.79	18.10 ± 0.79
C18:2	51.17 ± 0.72	50.99 ± 0.19	53.73 ± 0.23	17.17 ± 0.13	16.18 ± 0.83	16.19 ± 0.82
C18:3	5.73 ± 0.08	5.60 ± 0.13	5.81 ± 0.08	48.73 ± 0.20	50.06 ± 0.31	50.32 ± 0.27

由表2可以看出,4种食用油在炒土豆丝过程中,脂肪酸组成也没有显著变化。其中大豆油变化较明显,棕榈酸、硬脂酸、油酸相对含量有少许上升,亚油酸与亚麻酸相对含量先降低后上升。

对比表1和表2可知,煎制过程脂肪酸组成变化较炒制快,可能是由于煎制过程中油与热源接触时间长、接触面积大、温度更高,因此脂肪酸产生或分解的速度更快。

2.4 FTIR 光谱分析

FTIR 光谱能够提供脂类官能团的信息,通过光谱特征吸收峰的解析可实现其定性和定量分析^[18]。

基于羧基团的 C=O 在 1711 cm⁻¹ 处存在特征吸收,可测定食用油酸值变化^[19];基于氢过氧化物中 O—H 基团在 3443 cm⁻¹ 处存在特征吸收,可实现过氧化值的测定^[20];食用油中的脂肪酸多为顺式不饱和脂肪酸^[21],加工过程中易产生对人体有害的反式脂肪酸(TFA)^[22],基于—HC=CH—(非共轭反式)在 968 cm⁻¹ 附近有特征吸收可实现反式脂肪酸的直接测定^[23];在 3010 cm⁻¹ 处可基于—C=C—(顺式饱和和双键)的特征吸收实现顺式脂肪酸的测定^[24]。4种油在煎炒过程中的 FTIR 光谱变化见图5。

由图5可以看出,菜籽油在 1711 cm⁻¹ 处的峰

值变化表明酸值在煎制过程中呈先降低后升高趋势,在炒制过程中呈先升高后降低趋势;在 $3\ 443\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明过氧化值在煎炒过程中呈上升趋势;在 $968\ \text{cm}^{-1}$ 与 $3\ 010\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明反式脂肪酸含量在煎制过程中呈先降低后升高趋势,炒制过程中呈逐渐升高趋势。大豆油在 $1\ 711\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明酸值在煎炒过程中略有变化;在 $3\ 443\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明过氧化值均呈上升趋势;在 $968\ \text{cm}^{-1}$ 与 $3\ 010\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明反式脂肪酸含量升高。花生油在 $1\ 711\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明酸值在煎制过程中呈上升趋势,炒制过程中升高幅度较煎制大;在 $3\ 443\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明过氧化值在煎制过程中呈略微上升趋势,在炒制过程中呈先升高后降低趋势;在 $968\ \text{cm}^{-1}$ 与 $3\ 010\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明反式脂肪酸含

量在煎制过程中略有变化,炒制过程中含量呈略微上升再降低趋势。亚麻籽油在 $1\ 711\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明在煎制过程中酸值呈略微上升趋势,在炒制过程中基本不变;在 $3\ 443\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明过氧化值基本不变,煎制过程中过氧化值呈略微上升再降低趋势,炒制过程中呈略微降低趋势;在 $968\ \text{cm}^{-1}$ 与 $3\ 010\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰值变化表明煎制过程中反式脂肪酸含量呈先上升再降低趋势,炒制过程中呈先降低再上升趋势,整体均呈略微上升趋势。

通过比较4种油在煎炒过程中FTIR光谱变化,选择 $1\ 711$ 、 $3\ 443$ 、 $968\ \text{cm}^{-1}$ 和 $3\ 010\ \text{cm}^{-1}$ 4个峰来分析酸值、过氧化值、反式脂肪酸含量的变化,结果表明酸值呈波动状态,过氧化值有小幅升高,两者与测定结果基本一致;FTIR光谱显示4种油反式脂肪酸含量呈略微上升趋势。

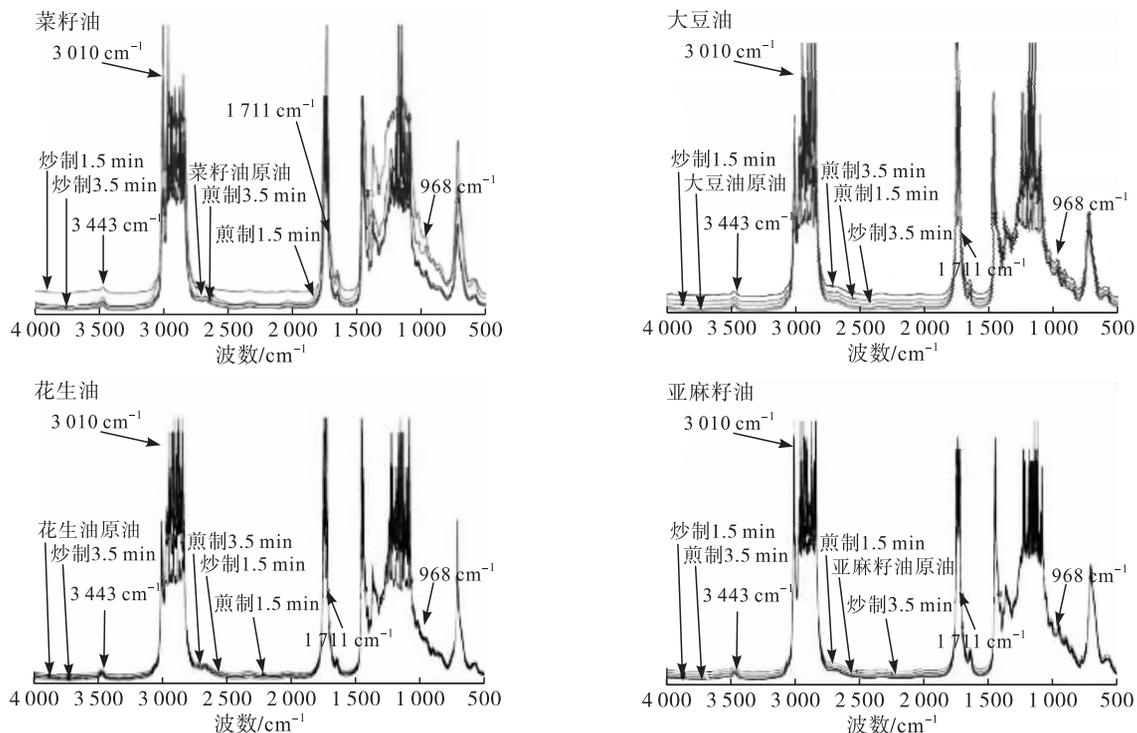


图5 4种油在煎炒过程中FTIR光谱变化

3 结论

通过菜籽油、大豆油、花生油、亚麻籽油4种常见食用油,煎豆腐、炒土豆丝两个传统菜品烹饪过程,对酸值、过氧化值、脂肪酸组成、FTIR光谱进行测定,结果表明酸值在煎制过程中变化小且慢,在炒制过程中变化大且快,但没有显著性差别;在两种烹饪过程中,过氧化值都有一定幅度的上升,但均符合食用油国家标准;主要脂肪酸含量在两种烹饪过程中有着或高或低的小幅度变化,总体脂肪酸组成变化不大;通过FTIR光谱可以看出,反式脂肪酸含量有少许上升,但整体看来与原料油相比没有显著性

差别。综上所述,食用油在传统烹饪过程中对油的品质影响不大,不会造成不良影响。

参考文献:

- [1] ERATTE D, DOWLING K, BARROW C J, et al. In-vitro digestion of probiotic bacteria and ω -3 oil co-micro-encapsulated in whey protein isolate-gum Arabic complex coacervates[J]. Food Chem, 2017, 227:129-136.
- [2] LISSNER L, HEITMANN B L. Dietary fat and obesity: evidence from epidemiology [J]. Eur J Clin Nutr, 1995, 49 (2):79-90.
- [3] SOHEILI K C, ARTZ W E, TIPPAYAWAT P. Pan-heating of low-linolenic acid and partially hydrogenated soy-

- bean oils[J]. J Am Oil Chem Soc, 2002, 79(3):287-290.
- [4] 周莉. 食用油在煎炸中品质的变化及极性组分的快速检测技术研究[D]. 重庆:西南大学,2009.
- [5] 张雅娜,王妍,王欢,等. 加热对大豆油品质特性的影响[J]. 食品工业科技,2013(23):77-83.
- [6] 赵功玲,路建锋,苏丁. 三种加热方式对油脂品质影响的比较[J]. 中国粮油学报,2006,21(5):113-116.
- [7] 曹玮珈,包海蓉,金银哲. 大豆油煎炸过程中电特性与品质变化相关性的研究[J]. 中国油脂,2016,41(2):48-52.
- [8] 李一凡,王凤玲,王玉玮,等. 加热对亚麻籽油中脂肪酸种类和含量的影响[J]. 食品研究与开发,2017,38(1):10-13.
- [9] 伍新龄,王凤玲,关文强. 不同加热温度对食用植物油脂肪酸成分的影响[J]. 安徽农业科学,2014(27):9522-9524.
- [10] 章海风,李辉,周晓燕,等. 三种食用油在鸡排煎制中的品质变化[J]. 扬州大学烹饪学报,2013,30(1):27-30.
- [11] 孙雪梅,白长军,王小三,等. DHA藻油调和油用于炒土豆丝的品质评价[J]. 中国油脂,2016,41(6):39-43.
- [12] 李易文,陈倩,张鹏,等. 基于涂膜法 FTIR 的食用油羰基值快速检测[J]. 食品科学,2016,37(8):226-230.
- [13] LEYLA T, MEHMETSECKIN A, EMIN Y. Physicochemical changes in hazelnut, olive pomace, grapeseed and sunflower oils heated at frying temperatures[J]. Food Sci Technol Res, 2009, 15(5):519-524.
- [14] 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.
- [15] 毕艳兰. 油脂化学[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [16] 曹文明,薛斌,袁超,等. 油脂氧化酸败研究进展[J]. 粮食与油脂,2013,26(3):1-5.
- [17] 穆昭. 煎炸油加热过程品质变化与评价[D]. 江苏无锡:江南大学,2008.
- [18] 胡兰萍,李燕,张琳,等. 遥感 FTIR 在大气环境监测中的新发展[J]. 光谱学与光谱分析,2006,26(10):1863-1867.
- [19] DONG X, LI Q, SUN D, et al. Direct FTIR analysis of free fatty acids in edible oils using disposable polyethylene films[J]. Food Anal Meth, 2014, 185(4):503-508.
- [20] MA K, VOORT F R V D, SEDMAN J, et al. Stoichiometric determination of hydroperoxides in fats and oils by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. J Am Oil Chem Soc, 1997, 74(8):897-906.
- [21] 于修烛,杜双奎,王青林,等. 傅里叶红外光谱法油脂定量分析研究进展[J]. 中国粮油学报,2009,24(1):129-136.
- [22] MOZAFFARIAN D, KATAN M B, ASCHERIO A, et al. Medical progress—*trans* fatty acids and cardiovascular disease[J]. New Eng J Med, 2006, 354(15):1601-1613.
- [23] XU L, ZHU X, CHEN X, et al. Direct FTIR analysis of isolated *trans* fatty acids in edible oils using disposable polyethylene film[J]. Food Chem, 2015, 185(4):503-508.
- [24] ZHANG Q, LIU C, SUN Z, et al. Authentication of edible vegetable oils adulterated with used frying oil by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. Food Chem, 2012, 132(3):1607-1613.

(上接第16页)

化剂后,营养物质的保留率有所不同。其中,迷迭香提取物对维生素 E 的保留有显著作用;添加茶多酚使甾醇的保留率上升到 81.57%;添加迷迭香提取物使谷维素的保留率上升到 93.24%。4 种煎炸油在煎炸过程中,反式脂肪酸含量、苯并芘含量均未超过国标的限值,但仍要严格控制煎炸条件。

综上所述,稻米油具有良好的煎炸性能,但对其进行调配后,可延长煎炸时间,并且对减少有害物质产生有一定作用。在添加抗氧化剂后,迷迭香提取物和茶多酚对煎炸时间的延长、不同的营养物质的保留具有一定作用,说明在煎炸过程中确实起到了抗氧化效果,后期可继续研究迷迭香提取物和茶多酚复配的复合抗氧化剂的作用。

参考文献:

- [1] HWANG H S, WINKLER - MOSER J K. Antioxidant activity of amino acids in soybean oil at frying temperature: structural effects and synergism with tocopherols[J]. Food Chem, 2017, 221:1168-1177.
- [2] 丁丽,周维仁,章世元,等. 米糠油生理功能及制取工艺的研究[J]. 粮食与食品工业,2009,16(4):9-17.
- [3] 王莹辉,刘玉兰,田瑜,等. 不同煎炸食材对米糠油煎炸品质影响的研究[J]. 中国油脂,2014,39(11):48-51.
- [4] 杜纪权,徐宏,曹庸,等. 迷迭香提取物在玉米油中的抗氧化作用研究[J]. 现代食品科技,2011,27(4):400-403.
- [5] 胡思,李华,陆启玉. 茶多酚在食品工业中的应用研究进展[J]. 粮食与油脂,2015,28(7):1-4.
- [6] 慕鸿雁,郑琦. 3 种食用油在薯条煎炸过程中的品质变化[J]. 食品科学,2012,33(19):168-171.
- [7] LALAS S, DOURTOGLOU V. Use of rosemary extract in preventing oxidation during deep-fat frying of potato chips[J]. J Am Oil Chem Soc,2003,80(6):579-583.
- [8] 王莹辉,刘玉兰,李时军. 米糠油在油条煎炸过程中的品质变化研究[J]. 中国油脂,2013,38(12):28-32.
- [9] 刘玉兰,王莹辉,李时军. 米糠煎炸油营养成分及煎炸油条品质分析[J]. 中国油脂,2014,39(3):28-32.
- [10] JIN Q Z. Safty risk and real-time control of frying oil [R]. Shanghai: 9th International Symposium on Deep-fat Frying,2017.