

芝麻素对调和油煎炸稳定性的影响

张天宇¹, 魏学鼎¹, 王 澍², 何东平^{1,2,3}, 雷芬芬^{1,3}, 周 力^{1,3}

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全), 武汉 430023;

2. 武汉食品化妆品检验所, 武汉 430040; 3. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023)

摘要:为促进芝麻素作为天然抗氧化剂在煎炸油中的应用, 考察了芝麻素对调和油煎炸稳定性的影响。将未添加抗氧化剂的大豆油、棕榈油、葵花籽油、菜籽油按照一定比例调配制得调和油, 并以其中的大豆油为对照分别添加0.02%的芝麻素、0.05%的天然维生素E(V_E)和0.02%的特丁基对苯二酚(TBHQ), 进行32 h的连续煎炸试验, 分析煎炸过程中油样酸值、极性组分含量、碘值、过氧化值和脂肪酸组成的变化。结果表明:随着煎炸时间的延长, 所有煎炸油的酸值、极性组分含量均增加, 碘值均降低, 未添加抗氧化剂的空白油样的过氧化值增加, 添加抗氧化剂油样的过氧化值则呈先升高后降低再升高趋势;添加抗氧化剂可有效抑制油样酸值和过氧化值的升高和碘值的降低, 总体来看TBHQ的效果最好, 芝麻素次之, V_E 效果较差;随着煎炸时间的延长, 煎炸油的不饱和脂肪酸含量降低, 饱和脂肪酸含量升高, 不饱和脂肪酸含量变化幅度大小顺序为空白油样 > 添加 V_E 油样 > 添加芝麻素油样 > 添加TBHQ油样, 相对于大豆油, 调和油的不饱和脂肪酸含量变化较小;总体来看, 调和油的反式脂肪酸含量低于大豆油。综上, 芝麻素可以提高煎炸油的氧化稳定性, 其效果介于TBHQ和 V_E 之间。

关键词:芝麻素; 大豆油; 调和油; 煎炸稳定性

中图分类号: TS225.1; TS221 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2025)07-0021-06

Effect of sesamin on frying stability of blend oil

ZHANG Tianyu¹, WEI Xueding¹, WANG Shu², HE Dongping^{1,2,3},
LEI Fenfen^{1,3}, ZHOU Li^{1,3}

(1. Key Laboratory of Edible Oil Quality and Safety for State Market Regulation, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Wuhan Institute for Food and Cosmetic Control, Wuhan 430040, China; 3. Key Laboratory for Deep Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, Wuhan 430023, China)

Abstract: To promote the application of sesamin as a natural antioxidant in frying oil, the effect of sesamin on the frying stability of blend oil was investigated. Blend oil was prepared by blending soybean oil, palm oil, sunflower seed oil and rapeseed oil without antioxidants in a certain proportion. The soybean oil was used as the control, and 0.02% sesamin, 0.05% natural vitamin E (V_E) and 0.02% TBHQ were added to the soybean oil and the blend oil respectively. A continuous frying experiment was conducted for 32 h, and the changes in acid value, polar component content, iodine value, peroxide value and fatty acid composition of the oil samples during frying were analyzed. The results showed that with the prolonging of frying time, the acid value and polar component content of the frying oils increased, the iodine value decreased, and the peroxide value of the blank oil samples without antioxidants increased, while the peroxide value of the oil samples with antioxidants added first increased, then decreased and then increased. The

收稿日期: 2024-03-25; 修回日期: 2025-03-14

基金项目: 国家市场监督管理总局重点实验室(食用油质量与安全) 开放研究基金资助(SYYKF202306); 国家市场监督管理总局项目(2023MK151)

作者简介: 张天宇(2001), 男, 在读硕士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail)3300370573@qq.com。

通信作者: 周 力, 副教授, 博士(E-mail)m13307106657@163.com。

value and fatty acid composition of the oil samples during frying were analyzed. The results showed that with the prolonging of frying time, the acid value and polar component content of the frying oils increased, the iodine value decreased, and the peroxide value of the blank oil samples without antioxidants increased, while the peroxide value of the oil samples with antioxidants added first increased, then decreased and then increased. The

addition of antioxidants could effectively inhibit the increase of acid value and peroxide value, and the decrease of iodine value of the oil samples, among which TBHQ had the best effect, followed by sesamin, and V_E had the poorest effect. With the prolonging of frying time, the content of unsaturated fatty acids in the frying oils decreased, and the content of saturated fatty acids increased. The change range of unsaturated fatty acids was blank oil samples > oil samples with V_E added > oil samples with sesamin added > oil samples with TBHQ added, and compared with soybean oil samples, the change of unsaturated fatty acids in blend oil samples was smaller. In general, the content of *trans* fatty acids in blend oil samples was lower than that in soybean oil samples. In conclusion, sesamin can improve the oxidation stability of frying oil, and its effect is between TBHQ and V_E .

Key words: sesamin; soybean oil; blend oil; frying stability

煎炸食品因其独特口感而深受人们的喜爱,但煎炸时,高温使煎炸油发生水解、氧化、异构化、聚合和裂解等化学反应,产生有害物质^[1-2]。在煎炸油中添加抗氧化剂可以有效减缓煎炸油的氧化酸败。特丁基对苯二酚(TBHQ)是一种常见的人工合成抗氧化剂^[3],但其分解产物对人体健康具有潜在威胁^[4-5]。天然抗氧化剂如天然维生素 E(V_E)、迷迭香提取物、茶多酚等没有毒副作用,在食品安全方面具有明显优势^[6-7]。

芝麻素是芝麻油中最主要的脂溶性木酚素,具有抗氧化、抗高血压、调节血脂、降低胆固醇、抗癌等生理保健功能^[8]。然而芝麻素分离纯化成本居高不下,限制了其研究和应用。随着现代分离纯化技术的迅速发展,芝麻素的分离纯化成本逐渐下降,使其生理活性研究及产品应用开发迎来了重要的发展契机。芝麻素的抗氧化活性较强,其在高温下可生成抗氧化活性更强的细辛素^[9]。将芝麻素作为抗氧化剂添加于油脂中的研究相对较少。任媛媛等^[8]研究发现,随着芝麻素含量逐渐升高,大豆油的抗氧化活性逐渐增强。大豆油和棕榈油是全球使用最广泛的煎炸油^[10]。大豆油不饱和脂肪酸含量高,因此其煎炸性能较差。棕榈油饱和脂肪酸含量高,不易发生氧化,然而过多饱和脂肪酸的摄入容易导致肥胖和冠心病等疾病。葵花籽油和油茶籽油等也被用于煎炸油的研究^[11-12]。研究表明,根据脂肪酸组成将两种或两种以上的油脂进行调配,可以得到煎炸性能和营养性均较好的调和油^[13]。为考察芝麻素对调和油煎炸稳定性的影响,本文首先以大豆油、棕榈油、葵花籽油和菜籽油为原料制备调和油,以大豆油与调和油为研究对象,分别添加芝麻素、TBHQ 和 V_E ,考察 3 种抗氧化剂对油脂煎炸稳定性的影响,以期天然抗氧化剂芝麻素在煎炸油中的实际应用提供理论基础及数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

一级葵花籽油、一级双低菜籽油、一级大豆油,均为压榨工艺生产,未添加抗氧化剂,购于超市;棕榈油,由国内某大型棕榈油加工企业供应;薯条,购于超市。TBHQ($\geq 99.0\%$),食品级,翁源广业清怡食品科技有限公司;天然 V_E (90% 混合生育酚),美国 ADM 公司;芝麻素($\geq 98.0\%$),美国 Sigma 公司;甲醇,色谱纯;氢氧化钾、酚酞、95% 乙醇、异辛烷、冰乙酸、碘化钾、硫代硫酸钠、淀粉、环己烷、氢氧化钠、三氟化硼、正己烷、无水硫酸钠,分析纯。

1.1.2 仪器与设备

Agilent7890A 气相色谱仪,安捷伦科技公司;UV-1700 紫外可见分光光度计,上海美析仪器有限公司;Testo 270 极性组分检测仪;ITO-81 单缸单筛电炸炉,广州市艾拓机电制造有限公司;AB204-E 电子分析天平,上海泽生科技开发有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 调和油的制备

参考文献[13],按照脂肪酸组成为饱和脂肪酸 20%、油酸 35%~40%、亚油酸 30%~35%、亚麻酸不超过 5%,分别取大豆油、棕榈油、葵花籽油、菜籽油 5.68、2.08、0.16、0.08 L 混合均匀,制成 8 L 调和油。

1.2.2 添加抗氧化剂油样的制备

参考 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》确定 TBHQ 和 V_E 的添加量分别为 0.02% 和 0.05%,参考文献[8]确定芝麻素的添加量为 0.02%。将油样加热至 60℃,分别加入油样质量 0.02%、0.05%、0.02% 的 TBHQ、 V_E 和芝麻素,搅拌至完全溶解。

1.2.3 煎炸试验

将 8 L 油样加入油锅中,取 50 g 大小宽度大致

相同的薯条在 180 °C 下进行煎炸试验。每批薯条煎炸 3 min, 连续不间断煎炸 32 h。每 2 h 取约 80 mL 的油样于蓝盖样品瓶中, 置于冰箱保存, 煎炸过程中不添加新油。

1.2.4 煎炸油理化指标测定

酸值根据 GB 5009. 229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》测定; 过氧化值根据 GB 5009. 227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》测定; 碘值根据 GB/T 5532—2008《动植物油脂 碘值的测定》测定; 脂肪酸组成根据 GB 5009. 168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》测定; 反式脂肪酸含量根据 GB 5009. 257—2016《食品安全国家标准 食品中反式脂肪酸的测定》测定; 极性组分含量采用 Testo 270 极性组分检测仪测定。

1.2.5 统计与分析

采用 SPSS 和 Excel 对试验数据进行分析, 采用 Origin 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同煎炸油煎炸过程中酸值的变化

不同煎炸油煎炸过程中酸值的变化见图 1。

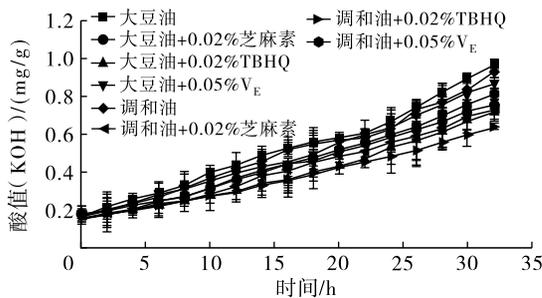


图 1 不同煎炸油煎炸过程中酸值的变化

Fig. 1 Changes in acid value during frying of different frying oils

由图 1 可知, 在连续 32 h 的煎炸过程中, 随着煎炸时间的延长, 8 种煎炸油的酸值均呈上升趋势, 但均小于 GB 2716—2018 中的限值〔酸值 (KOH) ≤ 5 mg/g〕。空白大豆油酸值的增幅最大, 说明大豆油在煎炸过程中不稳定; 添加抗氧化剂后, 大豆油酸值上升较慢, 其中添加 TBHQ 的大豆油酸值增幅最小, 其次是添加芝麻素的大豆油, 而添加 V_E 的大豆油酸值增幅最高, 说明 TBHQ 抗氧化性能最好, 芝麻素次之, V_E 较差; 相比大豆油, 调和油的酸值上升幅度较小, 可能与其中加入饱和脂肪酸含量较高的棕榈油有关^[14]。

2.2 不同煎炸油煎炸过程中极性组分含量的变化

油脂在高温环境中易发生氧化, 导致其脂肪酸氧化水解生成醛类、酮类以及其他碳氢化合物, 从而导致极性组分含量增大^[15]。不同煎炸油煎炸过程

中极性组分含量的变化见图 2。

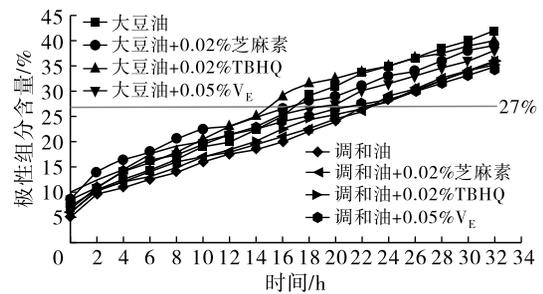


图 2 不同煎炸油煎炸过程中极性组分含量的变化

Fig. 2 Changes in polar component content during frying of different frying oils

由图 2 可知, 在连续 32 h 的煎炸过程中, 随着煎炸时间的延长, 8 种煎炸油的极性组分含量均呈上升趋势。调和油极性组分含量达到 GB 2716—2018 限值(27%)的时间均长于相应的大豆油, 这可能是因为大豆油属于高不饱和脂肪酸油脂, 其不饱和脂肪酸含量超过 80%, 煎炸后劣变速度快^[16-17]。对大豆油而言, 添加 V_E 对大豆油极性组分含量上升的抑制作用高于添加 TBHQ 和芝麻素的。对调和油而言, 在煎炸初期(16 h 以内), 添加 V_E 调和油的极性组分含量的增加速率略高于其他 3 种调和油。煎炸过程中, 添加芝麻素调和油的极性组分含量达到国标限值的时间最长, 其次为添加 TBHQ 调和油和空白调和油, 添加 V_E 调和油的极性组分含量达到国标限值的时间最短。总体上, 添加芝麻素与 TBHQ 对调和油极性组分含量的升高略有抑制。8 种煎炸油中极性组分含量达到国标限值的时间分别为添加 TBHQ 大豆油为 15 h, 空白大豆油和添加芝麻素大豆油为 17 h, 添加 V_E 大豆油为 18 h, 添加芝麻素调和油为 23 h, 添加 TBHQ 调和油和空白调和油为 22 h, 添加 V_E 调和油为 21 h。添加芝麻素对煎炸油极性组分含量升高的抑制效果较差。

2.3 不同煎炸油煎炸过程中碘值的变化

不同煎炸油煎炸过程中碘值的变化见图 3。

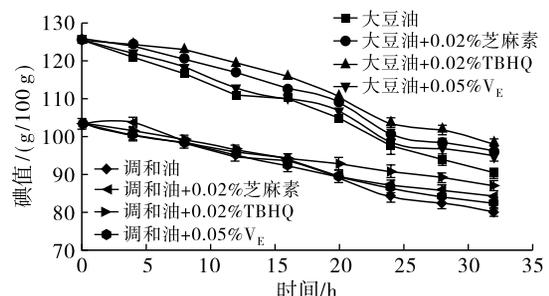


图 3 不同煎炸油煎炸过程中碘值的变化

Fig. 3 Changes in iodine value during frying of different frying oils

由图3可知,在连续32 h的煎炸过程中,随着煎炸时间的延长,8种煎炸油的碘值均呈下降趋势。这可能是因为油脂在煎炸过程中接触到氧气和物料带入的水分,发生了氧化和水解反应,导致不饱和脂肪酸的双键断裂,油脂不饱和程度降低,碘值随之降低^[18]。相对而言,调和油的碘值下降速度比相应大豆油的慢,可能是因为调和油中添加了棕榈油,饱和程度高,削弱了油脂的氧化和水解,导致碘值下降较缓慢^[19]。相较于空白煎炸油,添加抗氧化剂煎炸油的碘值下降速度较慢,其中添加TBHQ煎炸油的碘值下降速度最慢,其次是添加芝麻素煎炸油的,添加V_E煎炸油的碘值下降速度最快,说明芝麻素对煎炸油碘值下降的抑制作用优于V_E而差于TBHQ。

2.4 不同煎炸油煎炸过程中过氧化值的变化

不同煎炸油煎炸过程中过氧化值变化见图4。

由图4可知,调和油的初始过氧化值大于大豆油的,经过连续32 h的煎炸后,调和油的过氧化值上升速率小于大豆油,可能因为调和油中加入了棕榈油,棕榈油的饱和脂肪酸含量高,可以减少氢过氧化物的生成^[20]。空白煎炸油的过氧化值随着煎炸时间的延长一直升高,而添加抗氧化剂煎炸油的过

氧化值呈现先升高后降低再升高的波浪状变化趋势。这可能是因为煎炸过程中,过氧化物的生成与分解是一个动态的过程,因高温发生的氧化还原反应会先使煎炸油过氧化值升高,随着煎炸时间的延长,氢过氧化物分解为醛、酮、酸等小分子物质,导致过氧化值下降^[21]。添加抗氧化剂对煎炸油过氧化值的升高有一定的抑制作用,其中抑制效果最好的是TBHQ,芝麻素次之,V_E的抑制效果最差。

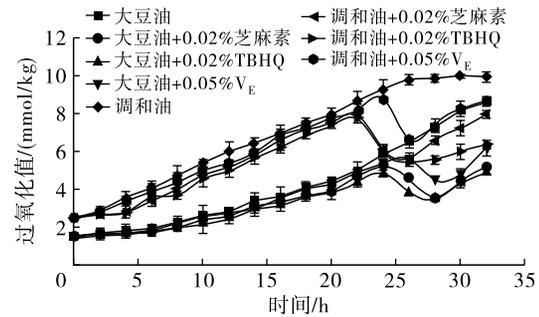


图4 不同煎炸油煎炸过程中过氧化值的变化

Fig. 4 Changes in peroxide value during frying of different frying oils

2.5 不同煎炸油煎炸过程中脂肪酸的变化

4种大豆油和4种调和油煎炸过程中脂肪酸组成变化分别见表1、表2。

表1 4种大豆油煎炸过程中主要脂肪酸组成变化

Table 1 Changes in main fatty acid composition during frying of 4 soybean oils

脂肪酸	空白			添加芝麻素			添加TBHQ			添加V _E		
	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h
C16:0	10.94	12.56	15.62	10.98	12.34	14.62	10.97	11.86	12.95	11.04	12.38	14.93
C18:0	4.17	4.98	5.78	4.38	4.75	5.38	4.57	4.68	5.25	4.45	4.74	5.45
C18:1	24.24	26.07	28.57	24.28	25.46	26.75	24.57	25.07	27.21	24.38	26.56	28.43
C18:2	52.36	49.76	45.23	51.92	48.75	45.34	52.12	49.36	45.21	52.78	48.27	44.43
C20:0	0.47	0.68	0.96	0.41	0.62	0.98	0.42	0.63	0.97	0.45	0.62	0.98
C20:1	0.87	0.85	0.85	0.84	0.84	0.85	0.84	0.84	0.84	0.85	0.84	0.84
C18:3	5.96	3.22	2.33	5.94	5.12	3.79	5.76	5.54	4.02	5.38	4.71	3.25
C22:0	0.42	0.54	0.62	0.41	0.73	0.85	0.42	0.79	0.84	0.41	0.72	0.82
SFA	16.00	18.76	22.98	16.18	18.44	21.83	16.38	17.96	20.01	16.35	18.46	22.18
MUFA	25.11	26.92	29.42	25.12	26.30	27.60	25.41	25.91	28.05	25.23	27.40	29.27
PUFA	58.32	52.98	47.56	57.86	53.87	49.13	57.88	54.90	49.23	58.16	52.98	47.68
TFA	1.42	2.75	1.35	1.97	2.49	1.89	2.12	3.36	3.02	2.23	3.71	2.47

注:SFA. 饱和脂肪酸;MUFA. 单不饱和脂肪酸;PUFA. 多不饱和脂肪酸;TFA. 反式脂肪酸。下同

Note:SFA. Saturated fatty acids; MUFA. Monounsaturated fatty acids; PUFA. Polyunsaturated fatty acids; TFA. Trans fatty acids. The same below

表2 4种调和油煎炸过程中主要脂肪酸组成变化

Table 2 Changes in main fatty acid composition during frying of 4 blend oils

脂肪酸	空白			添加芝麻素			添加TBHQ			添加V _E		
	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h
C12:0	0.35	0.39	0.41	0.34	0.37	0.41	0.36	0.37	0.40	0.34	0.38	0.41
C14:0	0.41	0.44	0.46	0.43	0.46	0.49	0.43	0.47	0.50	0.42	0.44	0.46
C16:0	17.92	19.23	21.34	18.11	19.66	21.03	18.34	19.79	21.12	18.12	19.72	20.14

续表 2

脂肪酸	空白			添加芝麻素			添加 TBHQ			添加 V _E		
	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h	0 h	16 h	32 h
C18:0	3.73	4.04	4.27	3.69	3.95	4.25	3.72	3.95	4.25	3.61	3.98	4.24
C18:1	32.68	34.02	36.06	32.28	34.88	37.23	32.57	34.92	36.83	32.57	34.62	36.62
C18:2	38.31	36.62	32.56	38.32	35.14	31.11	38.35	35.15	31.93	38.32	34.71	31.87
C20:0	0.43	0.49	0.51	0.44	0.48	0.50	0.44	0.49	0.51	0.43	0.48	0.50
C20:1	0.43	0.39	0.38	0.44	0.41	0.37	0.46	0.42	0.37	0.43	0.41	0.39
C18:3	4.37	3.71	2.55	4.83	3.70	3.47	4.66	3.73	3.34	5.13	3.72	3.63
C22:0	0.40	0.45	0.47	0.42	0.44	0.47	0.42	0.45	0.47	0.41	0.44	0.47
C24:0	0.19	0.21	0.22	0.19	0.22	0.23	0.19	0.21	0.22	0.19	0.20	0.23
SFA	23.44	25.24	27.68	23.62	25.58	27.38	23.90	25.73	27.47	23.52	25.64	26.46
MUFA	33.10	34.41	36.44	32.72	35.29	37.60	33.03	35.34	37.20	33.00	35.03	37.01
PUFA	42.68	40.33	35.11	43.15	38.84	34.58	43.01	38.88	35.27	43.45	38.43	35.50
TFA	0.85	0.87	1.91	0.84	0.89	1.12	0.85	0.85	0.85	0.84	1.27	2.04

由表 1、表 2 可知,在经过 32 h 的连续煎炸后,煎炸油的亚麻酸(C18:3)、亚油酸(C18:2)的含量均降低,而棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)和油酸(C18:1)的含量逐渐升高。在高温条件下,不饱和脂肪酸的双键发生了热氧化反应,导致部分双键被氧化形成饱和结构^[19]。经过 32 h 连续煎炸,4 种大豆油中:空白大豆油的不饱和脂肪酸含量从 83.43% 下降到 76.98%,降幅为 6.45 百分点;添加芝麻素大豆油的不饱和脂肪酸含量从 82.98% 下降到 76.73%,降幅为 6.25 百分点;添加 TBHQ 大豆油的不饱和脂肪酸含量从 83.29% 下降到 77.28%,降幅为 6.01 百分点;添加 V_E 大豆油的不饱和脂肪酸含量从 83.39% 下降到 76.95%,降幅为 6.44 百分点;不饱和脂肪酸含量降幅从大到小依次为空白大豆油 > 添加 V_E 大豆油 > 添加芝麻素大豆油 > 添加 TBHQ 大豆油。经过 32 h 连续煎炸,4 种调和油中:空白调和油的不饱和脂肪酸含量从 75.78% 下降到 71.55%,降幅为 4.23 百分点;添加芝麻素大豆油的不饱和脂肪酸含量从 75.87% 下降到 72.18%,降幅为 3.69 百分点;添加 TBHQ 大豆油的不饱和脂肪酸含量从 76.04% 下降到 72.47%,降幅为 3.57 百分点;添加 V_E 大豆油的不饱和脂肪酸含量从 76.45% 下降到 72.51%,降幅为 3.94 百分点;不饱和脂肪酸含量降幅从大到小依次为空白调和油 > 添加 V_E 调和油 > 添加芝麻素调和油 > 添加 TBHQ 调和油。综上,高温下芝麻素对不饱和脂肪酸的氧化裂解有较好的缓解作用,效果介于 TBHQ 和 V_E 之间。

反式脂肪酸的生成和降解并不稳定,导致其含量的变化也不稳定。由表 1 可知,连续煎炸 16 h 时大豆油中反式脂肪酸含量都有所升高,但 16 h 后有下降趋势,这可能是由于反式脂肪酸被食材吸收。

相对于空白大豆油,添加抗氧化剂大豆油的反式脂肪酸含量升高,这可能由于大豆油中多不饱和脂肪酸含量较高,不添加抗氧化剂的时候,脂肪酸双键更容易断裂,反式脂肪酸双键断裂使其含量下降,说明大豆油中添加抗氧化剂不利于反式脂肪酸的控制。由表 2 可知,随着煎炸时间的延长,添加 TBHQ 调和油的反式脂肪酸含量基本不变,而其他 3 种调和油的反式脂肪酸含量均有所上升,且添加了 V_E 调和油上升更快。总体来看,调和油的反式脂肪酸含量低于大豆油的。

3 结 论

本试验系统研究了煎炸过程中不同抗氧化剂对大豆油与调和油的影响。结果表明:随煎炸时间的延长,煎炸油的酸值、极性组分含量均增加,碘值降低,空白油样的过氧化值增加,添加抗氧化剂油样的过氧化值则呈先升高后降低再升高趋势;添加抗氧化剂可有效抑制油样酸值和过氧化值的升高,其中芝麻素的抑制效果优于 V_E 但弱于 TBHQ;芝麻素对煎炸油极性组分含量的抑制效果较差;芝麻素抑制煎炸油碘值的下降效果较好,略低于 TBHQ 的;随着煎炸时间的延长,煎炸油的不饱和脂肪酸含量降低,饱和脂肪酸含量增加,芝麻素对煎炸油不饱和脂肪酸的氧化裂解有较好的缓解作用,效果介于 TBHQ 与 V_E 之间;与大豆油相比,煎炸过程中调和油不饱和脂肪酸的降幅更小,反式脂肪酸的增量更少。

参考文献:

- [1] 徐立荣, 常佳睿, 梅雪, 等. 不同煎炸阶段薯条和煎炸油中关键风味成分分析[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(1): 28-38.
- [2] LI P, YANG X, LEE W J, et al. Comparison between synthetic and rosemary - based antioxidants for the deep

- frying of French fries in refined soybean oils evaluated by chemical and non - destructive rapid methods [J/OL]. *Food Chem*, 2021, 335: 127638 [2024 - 03 - 25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127638>.
- [3] 蔡新华, 钱小君. 油脂抗氧化剂的研究进展[J]. *粮食与食品工业*, 2013, 20(4): 33 - 36.
- [4] 李军, 毕艳兰, 孙尚德, 等. 叔丁基对苯二酚及其氧化产物与牛血清蛋白的相互作用[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(4): 133 - 140.
- [5] 陈华凤. 油脂中抗氧化剂 BHT、TBHQ 及其转化产物的研究[J]. *质量技术监督研究*, 2018(4): 16 - 19.
- [6] 刘荣, 郑旭煦, 殷钟意. 天然抗氧化剂在植物油脂中的应用研究进展[J]. *重庆工商大学学报(自然科学版)*, 2015, 32(10): 43 - 47.
- [7] 王莹, 曾祥辉, 邓慧, 等. 迷迭香脂溶性抗氧化剂活性及抑制食用植物油脂氧化作用研究[J]. *中国调味品*, 2022, 47(8): 80 - 84.
- [8] 任媛媛, 李书国, 张云焕. 芝麻素在大豆油中抗氧化活性的研究[J]. *食品工业*, 2017, 38(12): 118 - 122.
- [9] 卢彩彩, 孙小美, 李新, 等. 无溶剂体系中酸催化芝麻素转化为细辛素及其动力学研究[J/OL]. *中国油脂*: 1 - 8 [2025 - 03 - 25]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240596>.
- [10] 赵英男, 柴成梁, 朱莹丹, 等. 煎炸过程中食用油稳定性的研究进展[J/OL]. *中国油脂*: 1 - 13 [2024 - 03 - 25]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.230177>.
- [11] 曹永华, 李祥睿. 金银花精油对葵花籽油氧化稳定性及煎炸品质的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2024, 35(6): 137 - 144.
- [12] 罗凡, 费学谦, 李康雄, 等. 高温油茶籽油中苯并芘和反油酸产生规律研究[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(8): 44 - 47, 54.
- [13] 刘玉兰, 高冠勇, 陈文娜, 等. 煎炸专用调和油的品质性能研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(10): 26 - 30.
- [14] 吴晓静, 李徐, 杨培金, 等. 大豆油和棕榈油在高温煎炸过程中流变特性研究[J]. *中国油脂*, 2015, 40(12): 44 - 47.
- [15] LI Q, CHEN J, HU Z Y, et al. Application of Fourier transform infrared spectroscopy for the quality and safety analysis of fats and oils: A review[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2019, 59(22): 3597 - 3611.
- [16] GADIRAJU T, PATEL Y, GAZIANO J, et al. Fried food consumption and cardiovascular health: A review of current evidence[J]. *Nutrients*, 2015, 7(10): 8424 - 8430.
- [17] 邹曼, 陈玉, 何东平, 等. 以稻米油为基油的煎炸调和油品质研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(9): 17 - 22.
- [18] 朱圣陶, 江伟威, 杨秀鸿, 等. 碘价在煎炸油卫生质量控制中应用探讨[J]. *中国公共卫生*, 2000, 16(8): 734.
- [19] 张铁英, 姜元荣, 陈雅琼. 煎炸油在煎炸过程中脂肪酸组成的变化[J]. *食品科学*, 2013, 34(5): 132 - 136.
- [20] 邓鹏, 王守经, 王文亮. 食用油氧化机理及检测方法研究[J]. *中国食物与营养*, 2008, 14(8): 17 - 19.
- [21] 王亚萍, 姚小华, 曹永庆, 等. 几种油料植物油脂的品质及氧化稳定性研究[J/OL]. *中国油脂*: 1 - 14 [2024 - 03 - 25]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.240054>.
-
- (上接第 7 页)
- [4] 曹娜, 夏飞. 我国核桃油产业创新发展机遇、挑战与实现路径[J]. *中国油脂*, 2023, 48(10): 6 - 10.
- [5] 马婷, 宁德鲁. 中国核桃产业国际竞争力分析[J]. *林业科技通讯*, 2021(1): 3 - 7.
- [6] 任欢, 马惠兰, 唐洪松. 中国核桃进出口贸易问题与对策研究[J]. *中国林业经济*, 2015(1): 50 - 53.
- [7] 罗明英, 戴俊生. 世界核桃生产形势与贸易格局[J]. *世界农业*, 2014(10): 18 - 22.
- [8] 何伟. 基于引力模型的中国食用油籽贸易影响因素及贸易潜力研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [9] 薛龙飞, 赵鑫钰, 曹招锋. 中国胡麻进出口贸易影响因素研究: 基于 CMS 模型的实证分析[J]. *市场周刊*, 2022, 35(9): 77 - 81, 145.
- [10] TYSZYNSKI H. World trade in manufactured commodities, 1899 - 1950[J]. *Manch Sch*, 1951, 19(3): 272 - 304.
- [11] LEAMER E E, STERN R M. Quantitative international economics[M]. Boston: Allyn and Bacon, 1970: 171 - 183.
- [12] JEPMA C J. Extensions and application possibilities of the constant market shares analysis: The case of the developing countries' export[M]. Netherlands Groningen: University of Groningen Press, 1986.
- [13] MILANA C. Constant - market - shares analysis and index number theory[J]. *Eur J Polit Econ*, 1988, 4(4): 453 - 478.
- [14] 龚新蜀, 张晓倩. 中国对中亚五国农产品出口贸易影响因素分析: 基于 CMS 模型[J]. *国际经贸探索*, 2014, 30(8): 77 - 87, 106.
- [15] 陈晓鑫, 王孟伟, 白丽, 等. 中国大蒜出口增长的驱动因素研究[J]. *中国瓜菜*, 2023, 36(10): 153 - 160.
- [16] 叶丹丹. 浙江省茶叶出口竞争力国际比较分析[J]. *中国市场*, 2023(34): 59 - 62, 129.
- [17] 张弛, 徐佳慧. 基于 CMS 模型的中国对俄农产品出口影响因素分析[J]. *对外经贸*, 2016(9): 4 - 6, 16.
- [18] 高道明, 田志宏. 中国农产品出口增长的影响因素研究: 1995—2013[J]. *经济问题探索*, 2015(1): 167 - 172.