3种食用油在油条煎炸过程中的品质变化比较

章海风[1]，周晓燕[1,*]，李 辉[2]，李 想[2]
(1.扬州大学旅游烹饪学院，江苏 扬州 225001；2.丰益(上海)生物技术研发中心有限公司，上海 200120)

摘 要：分别用棕榈调和油、菜籽油与大豆油3种油脂来进行油条煎炸实验，每次结束后各取油样1份，分别检测其酸价、过氧化值、黏度、颜色、脂肪酸、反式脂肪酸及VE等变化。结果表明，3种油脂随煎炸次数的增多，油脂的酸价、过氧化值、反式脂肪酸含量升高、VE的含量下降，但没有显著性差异，对油条品质也没有明显的影响。

关键词：油脂；煎炸；油条；脂肪酸；反式脂肪酸

Comparative Study of Quality Changes in Three Kinds of Edible Vegetable Oils during Deep Frying of Dough Sticks

ZHANG Hai-feng[1]，ZHOU Xiao-yan[1,*]，LI Hui[2]，LI Xiang[2]
(1. College of Tourism and Culinary Arts, Yangzhou University, Yangzhou 225001, China；
2. Wilmar (Shanghai) Biotechnology Research & Development Co. Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract：Three different edible vegetable oils, blended palm, canola and soybean oils were used to make deep-fried dough sticks. Used oil samples were collected at the end of each frying cycle for analysis of changes in acid value (AV), peroxide value (PV), viscosity, color, fatty acid composition, trans fatty acids and VE. Results showed that the acid value, peroxide value and trans fatty acid content of all the vegetable oils increased with increasing number of heating cycles, while VE content decreased without significant difference. Moreover, the quality of deep-fried dough sticks was not significantly affected.

Key words：edible oil and fat；frying；deep-fried dough sticks；fatty acids；trans fatty acids
中图分类号：TS225 文献标志码： A 文章编号：1002-6630(2013)22-0160-05
doi:10.7506/spkx1002-6630-201322032

煎炸是世界上普遍使用的食品加工方法之一，煎炸食品因具有特殊的风味与色泽而广受人们的喜爱。但油脂在高温下连续重复使用会发生一系列的降解、氧化、断裂和异构化等反应，致使产生游离脂肪酸氢过氧化物、羰基化合物和其他氧化产物，以及二聚体多聚体等[1]，这些物质存在于煎炸油和煎炸食品中，直接影响炸制品的食用品质，当然，这些反应受到煎炸油的品种、煎炸的温度、煎炸的时间以及煎炸的条件等多种因素的相互作用和相互影响[2-4]，因此，人们开始对高温油炸过程中发生的物理化学反应进行系统和全面的研究。

本实验以油条作为煎炸食品，选择常用的菜籽油、棕榈调和油和大豆油3种食用油来进行煎炸实验，比较经过多次煎炸后3种食用油的色泽、黏度、氧化程度、脂肪酸成分、反式脂肪酸成分及VE等发生的变化以及对油条品质的影响，来进一步说明油脂在高温煎炸过程中所发生的变化，并比较3种油脂煎炸后变化的差异，为油条煎炸油的选择提供合理依据。

1 材料与方法

1.1 材料

棕榈调和油、菜籽油与大豆油由益海嘉里集团上海研发中心提供，每种油均含有80mg/kg特丁基对苯二酚(tert-butylhydroquinone，TBHQ)。雪花面粉(产地江苏泰州)、小苏打、泡打粉和食盐 市售。

1.2 仪器与设备

1200液相色谱仪、7890A型气相色谱仪 美国Agilent公司；AB204-S型电子天平 瑞士Mettler Toledo公司；SVM3000 G2型黏度测量仪 奥地利Anton Paar公司；Model F型罗维朋比色计 英国Lovibond公司；743型Rancimat 油脂氧化稳定性测定仪 瑞士万通中国有限公司；TA.XTPlus物性测试仪 英国Stable Micro System公司；CR-400型便携式色差仪 日本柯尼卡美能达公司。

收稿日期：2012-11-21
基金项目：国家自然科学基金面上项目(60975056)
作者简介：章海风(1977—)，男，讲师，博士研究生，研究方向为烹饪科学。E-mail：y05zhf@163.com
*通信作者：周晓燕(1964—)，男，教授，本科，研究方向为烹饪工艺标准化。E-mail：yzuxyz@163.com

1.3 方法

1.3.1 油条配方及制作工艺流程[5]

在单因素的基础上，通过正交试验，确定无明矾油条的最佳配方为面粉500g、泡打粉8g、食盐8g、小苏打5g、水340mL。

工艺流程：称量→调制面团→饧面→切条→炸制成品。

1.3.2 油样的提取

在恒温煎炸炉中，油温190℃，每天煎炸2次，空烧2次，每次2h，每次空烧结束后取1次油样，－18℃条件下待检测。

1.3.3 油条品质的测定方法

水分：GB/T5009.3—2010《食品中水分的测定》；采用食品工业中常用的国际照明委员会推荐的$L^*a^*b^*$色空间表色系统，利用色差仪进行油条色差(亮度、黄度、红度)测定；利用质构仪进行弹性、剪切力及咀嚼性的测定；采用索氏抽提法测定油条的含油率。

1.3.4 油脂理化指标的测定

酸值(AV)：GB/T 5530—2005《动植物油脂酸值和酸度测定》；过氧化值(PV)：GB/T 5538—2005《动植物油脂过氧化值测定》；色泽：GB/T 22460—2008《动植物油脂罗维朋色泽的测定》；极性值(PC)：GB/T 5009.202—2003《食用植物油煎炸过程中的极性组分(PC)的测定》；脂肪酸(FFA)：GB/T 17376—2008《动植物油脂脂肪酸甲酯制备》；反式脂肪酸(TFA)：GB/T 22110—2008《食品中反式脂肪酸的测定：气相色谱法》；生育酚和生育三烯酚：GB/T 26635—2011《动植物油脂生育酚及生育三烯酚含量测定：高效液相色谱法》；聚合物：GB/T 22480—2008《动植物油脂聚乙烯类聚合物的测定》；氧化稳定性(OSI)：GB/T 21121—2007《动植物油脂氧化稳定性的测定(加速氧化测试)》。

1.4 数据处理

所用实验数据用SPSS 14.0软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 3种食用油炸制油条的品质比较

油炸产品的含油率的多少与煎炸油、油炸食品及油炸的温度和时间有关，油脂的渗入是随着水分的蒸发而进行[6]。由表1看出，油条水分含量逐渐降低而含油率逐渐上升，也使油条的弹性、剪切力和咀嚼性下降。同时，随着油炸次数的增加，油条黄度a^*值与红度b^*值都逐渐增大，就油条的色泽要求而言，随着煎炸油使用次数的增加，油条上色越明显，但对油条亮度L^*值影响较小。

表1 3种食用油炸制油条的品质比较

Table 1 Comparison of sensory quality of deep-fried dough sticks made with three different edible oils

名称	次数	水分/%	含油率/%	亮度L^*	黄度a^*	红度b^*	剪切力/N	弹性/mm	咀嚼性/mJ
菜籽油煎炸的油条	1	27.10±0.64	13.83±0.30	61.16±0.93	3.79±0.38	22.73±0.59	273.50±13.77	38.47±2.81	178.31±18.95
	2	27.14±0.58	14.43±0.20	59.29±2.23	4.63±0.53	23.20±1.02	258.66±26.49	35.93±2.45	190.66±26.49
	3	26.65±0.36	14.66±0.70	66.45±2.18	6.23±0.46	27.71±0.79	246.97±19.79	28.97±5.93	216.39±24.48
	4	25.31±0.37	16.53±0.35	61.03±1.64	7.13±0.55	28.21±2.58	240.25±25.44	29.03±3.45	205.47±28.54
	5	23.67±0.45	17.10±0.36	64.36±0.84	8.15±0.35	23.88±1.52	227.93±16.81	28.87±2.94	200.87±22.35
	6	23.16±0.56	18.23±0.25	60.40±0.89	9.28±0.230	27.75±0.35	214.87±24.38	27.29±1.61	149.43±13.94
	7	20.18±0.42	18.40±0.45	59.60±0.66	12.38±1.00	28.47±1.45	175.41±23.77	27.57±0.39	126.49±18.97
棕榈调和油煎炸的油条	1	25.60±0.39	13.70±0.45	67.25±0.91	3.20±0.86	24.71±1.38	253.50±13.01	34.45±2.65	170.31±17.56
	2	25.46±0.55	14.30±0.20	63.59±0.40	4.17±0.80	24.16±1.35	268.46±26.27	31.98±2.43	190.30±16.49
	3	24.38±0.49	13.53±1.15	60.23±0.31	5.53±0.74	21.44±1.74	256.93±19.74	28.75±5.49	257.32±44.14
	4	23.88±0.48	14.76±0.25	61.44±1.98	5.92±0.45	27.50±2.47	250.06±15.00	29.37±1.94	215.48±32.55
	5	22.18±0.51	15.80±0.55	62.09±3.02	8.44±0.21	26.79±0.48	267.06±16.61	32.61±0.91	242.82±32.52
	6	18.82±0.62	16.13±0.49	58.54±0.53	10.42±1.36	26.99±2.03	224.76±24.37	32.29±0.66	119.39±3.94
	7	18.00±0.35	17.20±0.30	60.74±1.41	10.51±1.32	27.83±1.20	185.73±13.77	28.57±0.75	116.33±14.92
大豆油煎炸的油条	1	27.24±0.75	13.47±0.65	61.34±0.27	2.59±0.96	21.73±1.14	242.67±22.38	35.43±3.98	225.28±12.98
	2	27.13±0.68	14.23±0.34	64.70±1.26	4.31±1.34	22.35±0.73	222.48±16.25	32.12±7.27	199.69±15.16
	3	24.15±0.49	15.48±0.26	67.05±0.29	5.05±0.88	23.45±1.29	212.60±20.62	32.26±2.28	214. 67±13.61
	4	23.00±0.68	16.01±0.18	61.24±1.96	5.37±0.51	25.24±0.96	198.37±25.15	29.15±5.53	174.30±19.43
	5	22.23±0.57	16.23±0.15	59.46±0.89	6.97±0.35	27.17±1.64	187.06±15.67	28.47±6.04	160.77±22.43
	6	21.05±0.43	17.74±0.27	64.36±0.85	8.03±0.76	28.87±1.6	190.27±18.37	28.27±5.27	119.59±21.56
	7	19.87±0.34	17.89±0.68	62.11±1.11	9.74±0.67	29.56±0.65	170.35±17.95	28.35±4.96	104.37±17.35

2.2 3种煎炸油AV、PV、PC、色泽、聚合物和黏度变化比较

表2 3种煎炸油AV、PV、PC、色泽、聚合物和黏度变化比较

Table 2 Comparison of AV, PV, PC (polar compound content), color, polymer content and viscosityof three different edible oils after different cycles of utilization

名称	次数	AV/(mg KOH/g)	PV/(mmol/kg)	色泽/(R，25.4mm)	PC/%	聚合物/%	黏度/(mm^2/s)
菜籽油	0	0.09	2.1	0.3	0.0	0.741	63.163
	1	0.11	2.3	0.4	6.5	1.976	64.037
	2	0.14	2.4	0.6	10.5	3.865	67.962
	3	0.20	2.0	0.9	14.5	6.739	73.013
	4	0.25	1.8	1.4	15.5	8.927	77.406
	5	0.29	2.4	2.3	17.0	11.002	83.078
	6	0.37	2.5	3.1	21.5	13.527	88.904
棕榈调和油	0	0.09	1.6	0.3	4.0	0.979	55.344
	1	0.11	1.7	0.4	12.5	2.360	56.689
	2	0.14	1.9	0.4	14.5	3.657	59.054
	3	0.20	1.7	0.5	17.0	5.904	62.602
	4	0.22	1.2	0.8	18.0	8.099	66.062
	5	0.25	2.1	1.1	20.5	10.802	71.236
	6	0.27	2.3	1.4	23.5	13.586	77.056
大豆油	0	0.07	1.6	0.3	5.0	0.841	55.830
	1	0.09	1.8	0.3	7.0	1.715	56.855
	2	0.10	2.2	0.4	9.0	3.596	58.400
	3	0.14	2.4	0.5	14.5	4.386	60.398
	4	0.17	2.0	0.6	16.5	6.085	62.630
	5	0.24	1.8	0.8	18.5	7.904	65.453
	6	0.27	1.6	1.2	20.5	9.133	67.361

由表2可看出，随着煎炸次数的增加，油脂的色泽加深、黏度及聚合物的含量增加。其中，随着油炸次数的增加，油脂色泽的变化值也增大，可能是由于油炸过程中油条组分与油相互作用和炸焦微粒溶于油脂中等，

从而改变了油脂的色泽。而聚合物是油脂在高温和氧等因素的作用下，发生氧化聚合与热聚合所形成的聚合产物，随着煎炸次数的增加，聚合物的含量增加，尤其在煎炸5次后，其变化最大。由于聚合物为大分子物质，其黏度比油脂大[7]，使得煎炸油的黏度也随之增大，煎炸5次后，油脂黏度变化也相对变大。

由表2可知，在煎炸过程中，油脂的酸值随着煎炸次数的增多而增大，可能由于油脂与水分的水解反应，或高温下氧化分解产生了醛、酮等小分子物质的原因，从而会导致油脂酸价的升高。菜籽油酸值相对变化最大(0.28mg KOH/g)，但明显小于国家制定的煎炸油煎炸过程中的酸值标准5mg KOH/g，棕榈调和油的相对变化值最小，说明3种煎炸油品质比较稳定。

煎炸油的过氧化值呈现了先升后降再升的波动，菜籽油和棕榈调和油在前2次呈上升趋势，随后下降，第5次开始又显著上升；大豆油的PV值前3次呈上升趋势，随后下降，说明油脂在煎炸过程中，氢过氧化物的分解与合成可能处于一个动态的波动过程，从而导致过氧化值的升高与下降。

极性值随煎炸次数的增多而逐渐增大。这是由于高温煎炸过程中，油脂发生氧化聚合、裂解、水解等系列反应，产生了多种极性化合物[8]，从表2可以看出，虽然3种煎炸油的PC值均有不同程度的升高，但还低于我国食用植物油煎炸过程中卫生标准(GB 7102.1—2003《食用植物油煎炸过程中的卫生标准》7%的限定值[9]。

2.3 3种煎炸油中脂肪酸变化比较

表3 3种煎炸油中脂肪酸变化比较

Table 3 Comparison of fatty acid composition of three different edible oils after different cycles of utilization

名称	次数	脂肪酸组成/%										
		$C_{16:0}$	$C_{16:1}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	$C_{20:0}$	$C_{20:1}$	$C_{22:0}$	$C_{22:1}$	$C_{18:2}/C_{16:0}$
菜籽油	0	4.113	0.193	1.878	63.963	19.019	6.206	0.928	1.206	0.366	0.201	4.624
	1	4.170	0.202	1.893	64.043	18.911	6.094	1.008	1.205	0.369	0.192	4.535
	2	4.197	0.199	1.916	64.621	18.665	5.784	0.912	1.218	0.372	0.194	4.447
	3	4.257	0.205	1.954	65.307	18.224	5.401	0.899	1.232	0.382	0.202	4.281
	4	4.313	0.205	1.973	65.634	17.926	5.231	0.979	1.248	0.380	0.196	4.156
	5	4.384	0.208	2.006	66.197	17.671	4.972	0.858	1.253	0.387	0.199	4.031
	6	4.435	0.205	2.031	66.620	17.388	4.722	0.843	1.261	0.391	0.200	3.921
棕榈调和油	0	11.185	nd	4.624	26.017	50.997	5.498	0.339	0.188	0.462	nd	4.559
	1	11.196	nd	4.621	26.040	50.776	5.381	0.345	0.191	0.463	nd	4.535
	2	11.350	nd	4.690	26.156	50.523	5.247	0.357	0.190	0.463	nd	4.451
	3	11.520	nd	4.768	26.430	50.143	5.507	0.377	0.192	0.477	nd	4.353
	4	11.661	nd	4.836	26.663	49.800	4.915	0.380	0.193	0.484	nd	4.271
	5	11.845	nd	4.915	26.951	49.396	4.686	0.391	0.196	0.494	nd	4.170
	6	12.025	nd	4.985	27.283	48.906	4.468	0.399	0.201	0.500	nd	4.067
大豆油	0	10.632	nd	3.938	27.555	50.806	4.951	0.408	0.197	0.480	nd	4.779
	1	10.726	nd	3.993	27.666	50.807	5.079	0.363	0.213	0.476	nd	4.737
	2	10.811	nd	3.996	27.708	50.647	4.901	0.369	0.211	0.477	nd	4.685
	3	10.917	nd	4.028	27.900	50.412	4.762	0.373	0.217	0.481	nd	4.618
	4	11.005	nd	4.077	28.135	50.308	4.641	0.379	0.218	0.487	nd	4.571
	5	11.118	nd	4.107	28.324	50.039	4.518	0.386	0.220	0.494	nd	4.501
	6	11.184	nd	4.151	28.548	49.785	4.400	0.391	0.220	0.503	nd	4.451

注：nd. 未检出。下同。

由表3可以看出，菜籽油中以单不饱和脂肪酸的含量最高，棕榈调和油和大豆油中以多不饱和脂肪酸，尤其是亚油酸含量最高。随着煎炸次数的增多和加热时间的延长，3种油的脂肪酸组成都发生了变化，油脂中多不饱和脂肪酸的含量下降，单不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的含量升高，说明多不饱和脂肪酸在高温煎炸条件下不稳定，并与不饱和键的数量有正相关性，易氧化分解成其他小分子化合物[10]。

2.4 3种煎炸油中反式脂肪酸变化比较

表4 3种煎炸油中反式脂肪酸含量的变化

Table 4 Comparison of trans fatty acid contents in three different edible oils after different cycles of utilization

g/100g

次数	菜籽油			棕榈调和油			大豆油		
	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	合计	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	合计	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	合计
0	0.266	1.661	1.927	nd	0.691	0.691	0.278	0.791	1.069
1	0.283	1.631	1.914	0.226	0.760	0.986	0.265	0.413	0.678
2	0.301	1.621	1.922	0.233	0.792	1.025	0.271	0.440	0.711
3	0.280	1.657	1.937	0.253	0.784	1.037	0.293	0.458	0.751
4	0.290	1.622	1.912	0.263	0.804	1.067	0.291	0.461	0.752
5	0.279	1.585	1.864	0.284	0.843	1.127	0.323	0.470	0.793
6	0.310	1.593	1.903	0.333	0.900	1.233	0.334	0.480	0.814

注：3 种煎炸油中未检出 $C_{18:1}$。

由表4还可以看出，3种煎炸油中，菜籽油中TFA含量最高，棕榈油次之，大豆油最少并有显著性差异。在TFA的生成中，以反式$C_{18:3}$的生成量最高，而反式$C_{18:1}$未检出。棕榈油和大豆油随着煎炸次数的增多，其TFA含量呈上升趋势，但菜籽油随着煎炸次数的增多，TFA的含量确呈波动性下降趋势。TFA的形成是一个复杂的过程，可能受到多种多种因素的影响，如Liu等[11]研究氢化和未氢化的大豆油分别在160、180℃和200℃加热24h，TFA含量并没有增加的趋势，认为TFA可能仅在比较复杂的情况下才会形成。

2.5 3种煎炸油中VE含量变化比较

由表5可以看出，3种煎炸油中，棕榈调和油VE含量最高，其次大豆油，菜籽油含量最少。菜籽油和大豆油中生育三烯酚类化合物含量较少。随着煎炸次数的增多，3种煎炸油中VE含量都明显下降。同时，随着煎炸次数的增多，大豆油VE含量相对变化较小(183.97mg/kg)，而菜籽油相对变化较大(430.29mg/kg)。

表5 3种煎炸油中VE含量变化比较

Table 5 Comparison of VE contents in three different edible oils after different cycles of utilization

名称	次数	VE含量/(mg/kg)						
		α-生育酚	α-生育三烯酚	β-生育酚	γ-生育酚	γ-生育三烯酚	δ-生育酚	合计
菜籽油	0	151.60	15.08	14.98	378.26	nd	12.95	572.87
	1	148.62	nd	9.64	364.03	nd	13.28	535.57
	2	139.98	nd	nd	301.38	nd	11.63	452.99
	3	124.13	nd	nd	220.12	nd	10.38	354.63
	4	107.57	nd	nd	158.23	nd	13.23	279.03
	5	80.96	nd	nd	112.57	nd	10.76	204.29
	6	60.61	nd	nd	73.42	nd	8.55	142.58

续表 5

名称	次数	VE含量/(mg/kg)						
		α-生育酚	α-生育三烯酚	β-生育酚	γ-生育酚	γ-生育三烯酚	δ-生育酚	合计
棕榈调和油	0	94.42	19.67	19.10	685.31	4.28	238.17	1060.95
	1	78.20	10.25	15.56	655.79	5.78	230.48	996.06
	2	89.41	6.93	15.16	645.28	6.61	233.97	997.36
	3	89.56	5.27	13.62	581.42	9.17	221.17	920.21
	4	85.26	2.51	12.60	519.25	5.88	212.14	837.64
	5	80.18	1.25	11.64	449.99	4.50	200.79	748.35
	6	71.09	1.41	10.28	378.89	2.10	188.59	652.36
大豆油	0	52.70	8.21	16.21	542.85	nd	211.37	831.34
	1	45.40	5.45	13.86	533.25	nd	212.49	810.45
	2	47.01	6.15	13.87	519.76	nd	210.11	796.90
	3	48.52	nd	13.44	492.73	nd	206.11	760.80
	4	41.43	nd	12.71	462.53	nd	202.49	719.16
	5	43.08	nd	12.09	427.94	nd	197.42	680.53
	6	39.26	nd	11.56	403.16	nd	193.39	647.37

注：β-生育三烯酚与δ-生育三烯酚未检出。

3 讨 论

通过使用菜籽油，棕榈调和油和大豆油进行油条煎炸实验结果表明，3种煎炸油炸制的油条，都有相似的变化趋势，在品质上没有明显的差异，与季敏等[12]的实验结果一致。

油脂在加工、储藏和使用过程中会因受到诸多因素的影响而发生氧化和酸败等不良变化，导致油脂过氧化值、酸值等升高、最终影响产品的质量。因此，连续煎炸油的酸价、极性化学物等变化可作为油脂氧化程度的检测指标[13]。结果表明，由于受到高温、氧气、油条中水分、面粉等物质的影响，3种油随着炸制次数的增加，可能由于油脂中的脂类分子不断的分解成小分子的有机酸，同时油脂中的氢过氧化物的生成也增多，在加上炸制过程中残留物的存在，最终导致油脂酸价、过氧化值、极性组分和聚合物含量都有所上升，颜色和黏度也有不同程度的增加，与他人的实验结果相一致[14-15]，3种油之间也没有显著性差异，说明油脂在煎炸过程中都会发生大致相同水解、氧化和酸败的现象，但在实验中也未发现随着加热油炸时间的延长而出现速度明显变快的现象，这可能是由于本实验采用的是恒温的加热方式或其他原因，导致实验结果与其他研究结果不一致，还需进一步实验。

煎炸油的稳定性又受到其内在的脂肪酸、内源性抗氧化剂等种类和含量的影响。油脂的氧化时油脂中的含烯底物如不饱和脂肪酸等与单线态氧或者三线态氧发生氧化反应，产生的小分子化合物进一步发生聚合反应生成二聚体或多聚体。结果显示，随着油炸次数的增多，煎炸油中的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量增加，而多不饱和脂肪酸的含量下降，这可能是由于在高温长时间的煎炸条件下，多不饱和脂肪酸容易发生氧化、劣败生成二次产物使饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸的含量增加。同时，油脂的稳定性与脂肪酸的总量尤其是多不饱和脂肪酸(PUFA)的总量及比例模式也有较大的关系，不同的脂肪酸结构不同，氧化特性各异[16]。棕榈调和油和大豆油中多不饱和脂肪酸的比例大于菜籽油，菜籽油的脂肪酸组成中以单不饱和脂肪酸为主，但本实验结果显示，油脂的稳定性与脂肪酸没有显著的相关性，这与相关的结果不一致[17]。但由于长时间高温炸制，会促进脂类分子中多不饱和脂肪酸分解为小分子的有机酸，从而导致酸价的升高。如实验中，3种煎炸油的AV与油脂中多不饱和脂肪酸有很强的负相关性(相关系数分别为−0.990、−0.948、−0.983)，与单不饱和脂肪酸(相关系数分别为0.988、0.962、0.993)、饱和脂肪酸(相关系数分别为0.942、0.983、0.988)呈很强的正相关性，并都具有显著性统计学意义($P<0.01$)。

反式脂肪酸是一种异构化的脂肪酸，含有独立的一个或多个非共轭反式双键的一类不饱和脂肪酸，因能阻碍必需脂肪酸在人体内的正常代谢，妨碍脂溶性维生素的吸收和利用，使细胞膜的结构变得脆弱等危害，而逐渐被人们所重视。其来源非常的广泛[18]，一是天然油脂中自然形成的反式脂肪酸，几乎存在于所有的天然油脂中，二是来源于油脂的加工过程和烹饪过程。不当的高温烹调、煎炸等烹饪过程中也易生成反式脂肪酸，其生成量与油脂的品种、烹饪条件有关[19-20]。3种煎炸油中以菜籽油的反式酸含量最高，并具有显著性差异($P<0.01$)，这可能与菜籽油中单不饱和脂肪酸的含量较高有一定的关系。但与Wakako[21]、张铁英[22]等研究结果相似，并未发现菜籽油和大豆油中的反式脂肪酸含量随着煎炸次数的增多而增大，其降低的原因可能是由于高温下TFA也发生了氧化分解，导致了含量的降低。

VE作为油脂中优良的游离基清除剂，可作为氢供体，清除原有的游离基，同时自身生成比较稳定的游离基中间产物，新游离基氧原子上的单电子可与苯环共轭，使之稳定，因此能在油脂中起到清除自由基，抗氧化的作用[23-24]，但本实验结果并未体现出VE的含量与油脂的稳定性具有很强的相关性。而3种煎炸油中VE变化与油脂中的多不饱和脂肪酸有很强的相关性(相关系数0.999、0.991、0.986)，与单不饱和脂肪酸(相关系数−0.998、−0.993、−0.999)、饱和脂肪酸(相关系数−0.948、−0.985、−0.998)有很强的负相关性，并都具有显著性统计学意义($P<0.01$)。

综上，随着高温加热时间的延长及残留煎炸物的影响，3种煎炸油都发生了色泽加深，黏度、聚合物、酸价及极性值的增加，多不饱和脂肪酸的分解等理化性质的改变，在煎炸性能上没有明显区别。但可能由于烹饪方式的不同或取样次数的原因，油脂中脂肪酸、VE、反

式脂肪酸、油脂的稳定性等之间的相关性，及其之间的协同效应，未能充分的表现出来，还需进一步的实验研究，对今后合理的选择煎炸油脂，降低应用成本，保证食品安全具有重要意义。

参考文献：

[1] 刘志皋. 食品营养学[M]. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2010: 64-65.

[2] ZHANG Qing, SALEH A S M, CHEN Jing, et al. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: a review [J]. Chemistry and Physics of Lipids, 2012, 165(6): 662-681.

[3] 张建书, 王强, 刘红芝, 等. 脂肪酸、VE、甾醇与植物油脂稳定性的关系研究进展[J]. 中国油脂, 2011, 36(10): 38-41.

[4] FELIX A A, ROMAN P. Protecting oil during frying: a comparative study[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2009, 111(9): 893-901.

[5] 李辉, 章海风. 无明矾油条制作工艺研究[J]. 四川烹饪高等专科学校学报, 2012(1): 24-26.

[6] 于修烛, 宋丽娟, 张建新, 等. 薯片在油炸过程中品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 102-107.

[7] 宋丽娟, 于修烛, 张建新, 等. 煎炸油在薯片煎炸过程中的品质变化[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 70-74.

[8] 卢志兵, 翁煜彬, 李建军, 等. 油炸食品安全指标极性组分研究[J]. 标准科学, 2012(5): 69-72.

[9] GB7102. 1—2003 食用植物油煎炸过程中的卫生标准[S].

[10] 马凤兰, 陈琦, 张兰, 等. 深海鱼油调和油煎炸食物时脂肪酸和相关理化参数的动态变化[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2012, 38(5): 614-622.

[11] LIU W H, INBARAJ B S, CHEN B H. Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating[J]. Food Chemisty, 2007, 104(1): 1740-1749.

[12] 季敏, 吴文民. 棕榈油和大豆油在油条煎炸过程中品质变化研究[J]. 粮食与油脂, 2009(4): 12-14.

[13] BOU R, NAVAS J A, TRES A, et al. Quality assessment of frying fats and fried snacks during continuous deep-fat frying at different large-scale producers[J]. Food Control, 2012, 27(1): 254-267.

[14] 马红军, 周谙非. 三种煎炸食品中油脂极性组分的研究[J]. 粮油食品科技, 2009, 17(1): 19-21.

[15] FELIX A A R P. Degradation and nutritional quality changes of oil during frying[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2009, 86(2): 149-156.

[16] 郭丽莉, 李昌模, 若文靓, 等. 高温条件下食用油脂脂肪酸的变化[J]. 中国油脂, 2011, 36(10): 16-19.

[17] 李红艳, 邓泽元, 李静, 等. 不同脂肪酸组成的植物油氧化稳定性的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 173-182.

[18] 高海军, 郭静, 李勇, 等. 我国主要食用植物油中反式脂肪酸的研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(3): 1-5.

[19] HOU Juncai, JIANG Lianzhou, ZHANG Chunwei. Effects of frying on the *trans*-fatty acid formation in soybean oils[J]. European Journal of Lipid Science and Technolgy, 2012, 114(3): 287-293.

[20] YANG Meiyan, YANG Ying, NIE Shaoping, et al. Analysis and formation of trans fatty acids in corn oil during the heating process[J]. Journal of the Amercian Oil Chemists Society, 2012, 89(1): 859-867.

[21] WAKAKO T, AKIKO M, KAORI U. Formation of *trans* fatty acids in edible oils during the frying and heating process[J]. Food Chemistry, 2010, 123(4): 976-982.

[22] 张铁英, 姜元荣, 户超, 等. 不同烹饪条件下食物中反式酸含量变化的研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(3): 43-47.

[23] MARGHERITA R, CRISTINA A, SIMONA R. Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 812-817.

[24] 范柳萍, 鲁璐, 刘元法, 等. 高温煎炸棕榈油体系抗氧化剂的选择[J]. 中国油脂, 2012, 37(3): 40-43.