

亚麻籽油调和油的热稳定性研究

邓乾春, 黄庆德, 黄凤洪*, 郑 畅, 周 琦, 许继取, 杨金娥

(中国农业科学院油料作物研究所, 湖北 武汉 430062)

摘 要: 为研究亚麻籽油调和油的烹饪稳定性, 本实验检测调和油分别在 150℃ 和 210℃ 温度条件下加热不同时间后理化特性、氧化稳定性和风味成分的变化。结果表明: 调和油在 150℃ 和 210℃ 温度条件下加热 60min 时间内, 酸价和脂肪酸组成受影响较小, 未检测到反式脂肪酸和氧化聚合物的产生, 表明油脂具有较好的热稳定性; 加热时间超过 30min, 产生了少许醛类氧化产物和不良风味物质, 且过氧化值和氧化诱导时间下降, 其原因可能与油脂中抗氧化成分 VE 被破坏有关, 在 150℃ 和 210℃ 温度条件下加热 60min 后调和油中 VE 的含量与加热前相比分别下降了 11.1% 和 34.3%; 因此该调和油在 210℃ 烹饪温度下加热时, 时间以不超过 15min 为宜。

关键词: 亚麻籽油调和油; 加热; 理化特性; 氧化稳定性; 风味成分

Heat Stability of Flaxseed Oil-based Blend Oil

DENG Qian-chun, HUANG Qing-de, HUANG Feng-hong*, ZHENG Chang, ZHOU Qi, XU Ji-Qu, YANG Jin-e
(Institute of Oil Crop Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China)

Abstract: Flaxseed oil-based blend oil (FOBBO) contains abundant essential fatty acids and micronutrients with a *n*-6 to *n*-3 fatty acid ratio of 2:1. The effect of heating at 150 °C or 210 °C for 0 — 60 min on physico-chemical properties, stability and flavor components of FOBBO was investigated in this study. The results showed that, after heated for no more than 60 min, minimal effect was happened to the acid value and fatty acids compositions of the blend oil. Trans fatty acids and oxidative polymers were not detected, which showed that the blend oil possessed desired heating stability. Little aldehydes and undesired volatile flavor were detected, POV and oxidation induction time decreased when the heating time was above 30 min, which was probably related to the disruption of vitamin E. Vitamin E concentration decreased 11.1% and 34.3% after heated at 150 °C and 210 °C for 60 min. These results suggest that it is desirable for FOBBO that the heating time is less than 15 min at 210 °C.

Key words: flaxseed oil-based blend oil; heating; physico-chemical properties; oxidative stability; flavor components
中图分类号: TQ645.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-6630(2012)05-0088-05

由于单一油脂无法满足人体营养需求, 针对特殊群体和特殊疾病兼顾营养、风味和稳定性的新型营养油将成为我国营养学家研究和关注的热点。我国油脂食用方式主要以烹炒和煎炸为主, 摄入此种形式的营养配方油对油脂品质特性及其所声称的功能的不利影响还缺乏系统和深入的研究。

油脂经过不同方式和程度加热对其品质特性产生很大影响。Pierre 等^[1]研究了不同加热温度(180、220℃)对葵花籽共轭亚油酸异构体形成的影响, 结果表明, 220℃ 加热温度下能够产生更多的共轭亚油酸异构体。Caponio 等^[2]比较了传统加热(36min 和 45min, 230℃)和微波加热(12min 和 15min, 1100W)对橄榄油脂肪酸组成、

极性化合物等的影响, 结果发现微波加热 12~15min 后总极性化合物从 17.3% 增加到 26.8%, 传统加热 36~45min 后总极性化合物从 9.9% 增加到 18.6%, 因此微波处理能够产生更多的极性化合物。Nikolaos 等^[3]研究表明, 经过油炸((170 ± 10)℃, 2h)和煎炸((180 ± 10)℃, 1h)后的原生态橄榄油, 其总极性化合物含量分别增加 5.7% 和 13.6%, 总酚含量降低 74.1mg/kg 和 95.4mg/kg, VE 含量降低 93.3mg/kg 和 100mg/kg。摄入热氧化油脂对机体的生长性能、生理代谢和组织形态等指标产生不利影响^[4-6]。因此开展油脂的热稳定性研究对指导正确膳食具有十分重要的意义。

本实验以针对目前我国 *n*-3 脂肪酸摄入较少的现状

收稿日期: 2011-04-13

基金项目: 国家“863”计划项目(2010AA023003)

作者简介: 邓乾春(1979—), 男, 副研究员, 博士, 主要从事油脂营养和脂质功能产品研究。E-mail: chunn2@163.com

* 通信作者: 黄凤洪(1965—), 男, 研究员, 博士, 主要从事油料产品加工与营养学研究。E-mail: jiagongzx@oilcrops.cn

开发的亚麻籽油调和油为试材, 基于我国居民的消费习惯和食用方式, 系统研究高温加热不同时间对油脂理化特性、氧化稳定性、和风味成分的影响, 为指导此类营养油的科学食用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

亚麻籽油调和油为实验室自制, 以亚麻籽油为基础油脂, 辅以油茶籽油、核桃油、葡萄籽油和 VE 等调配而成, 其中 *n*-6 脂肪酸和 *n*-3 脂肪酸比例约为 2:1。

反油酸甲酯、反亚油酸甲酯、反亚麻酸类十八碳三烯酸甲酯顺反异构混合标准品(纯度均大于 99%) 美国 Nu-Chek 公司; 生育酚标准品 美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

6890 型气相色谱仪、7890-5975 型气相-质谱联用仪 美国 Agilent Technologies 公司; 743 氧化稳定性测定仪 瑞士 Metrohm 公司; AR2000 动态流变仪 美国 TA 公司; Acquity 超高效液相色谱仪 美国 Waters 公司。

1.3 方法

1.3.1 油脂理化特性测定

油脂色泽、气味和透明度: 参照 GB/T 5525—2008《植物油脂 透明度、气味、滋味鉴定法》方法测定; 折光指数: 参照 GB/T 5527—2010《动植物油脂 折光指数测定法》方法测定; 水分及挥发物含量: 参照 GB/T 5528—2008《动植物油脂 水分及挥发物含量测定》方法测定; 不溶性杂质: 参照 GB/T 15688—2008《动植物油脂 不溶性杂质含量的测定》方法测定; 酸价和酸度: 参照 GB/T 5530—2005《动植物油脂 酸价和酸度测定》方法测定; 油脂过氧化值: 参照 GB/T 5538—2005《动植物油脂 过氧化值测定》方法测定; 油脂脂肪酸组成: 参照 GB/T 17376—2008《动植物油脂 脂肪酸甲酯制备》和 GB/T 17377—2008《动植物油脂 脂肪酸甲酯的气相色谱分析》方法, 采用气相色谱分析测定。

1.3.2 油脂中反式脂肪酸测定

采用气相色谱法进行测定^[7], HP-88 型石英毛细管色谱柱(100m × 0.25mm, 0.25 μm), FID 检测器; 进样量为 1.0 μL; 高纯氦气(He)为载气; 进样口温度 250℃; 检测器温度 280℃; 恒压模式: 分流比 50:1; 氢气(H₂)流量为 40.0 mL/min; 空气流量为 450 mL/min; 尾吹气流量为 30 mL/min。升温程序为: 初温 120℃, 保持 1min, 以 10℃/min 升至 175℃, 保持 10min; 再以 5℃/min 的速率升至 210℃, 保持 5min; 然后以 5℃/min 的速率升温至 230℃, 保持 5min。用各反式脂肪酸标准品对其进行定性, 十三烷酸甲酯为内标进行定量。

1.3.3 油脂中微量营养成分测定

VE 含量的测定: 参考 GB/T 5009.82—2003《食品中维生素 A 和维生素 E 的测定》和 NY/T 1598—2008《食用植物油中维生素 E 组分和含量的测定 高效液相色谱法》, 采用超高效液相色谱法(UPLC)测定。

UPLC 分析条件: 流动相: 甲醇与水体积比 95:5; 柱温 30℃; 紫外检测波长 300nm; 色谱柱为 Acquity UPLC BEH C₁₈ 色谱柱(2.1mm × 100mm, 1.7 μm); 进样量 2 μL。

油脂中植物甾醇的测定: 采用气相色谱法^[8]; 油脂中多酚含量的测定: 参照文献[9]方法。

1.3.4 货架期测定

采用 Rancimat 油脂氧化诱导仪测定, 按照文献[10]方法进行。称取 3g 油脂于氧化诱导测定仪中, 分别于 100、110、120、130℃ 条件下不断通入空气, 通过电导率的变化来测定油脂加速氧化诱导时间, 依据 Rancimat 软件系统推导产品货架期。

1.3.5 油脂热稳定研究

采取油浴加热方式加热油脂, 加热温度分别为 150℃ 和 210℃, 加热时间为 3、6、9、15、30min 和 60min, 加热后冷却至室温, 分别测定油脂理化指标、微量营养成分的变化。

1.3.5.1 油脂表观黏度的测定

采用动态流变仪, 选用锥板夹具, 锥板直径 40mm, 锥角 2°1'55"。样品用量为 0.3g, 温度 25℃, 剪切率从 0.1~100s⁻¹, 表观黏度在 100s⁻¹ 测得^[11]。

1.3.5.2 共轭二烯、共轭三烯含量测定

将油脂溶于 10mL 环己烷中, 配制成 0.02~0.04g/L 的溶液, 在 233nm 和 268nm 波长处分别测定吸光度^[12-13], 按以下公式计算。

$$\text{共轭二烯含量}/\% = \frac{A_{233\text{nm}}}{b \times \rho \times 115} \quad (1)$$

$$\text{共轭二烯含量}/\% = \frac{A_{268\text{nm}}}{b \times \rho \times 920} \quad (2)$$

式中: *A* 为测定的吸光度; *b* 为吸光池光程, 取 1cm; ρ 为油脂溶液质量浓度/(g/L)。

1.3.5.3 风味成分分析

在对油脂挥发性成分进行固相微萃取后, 采用气相色谱-质谱联用仪测定^[14]。称取 4g 样品置于 20mL 顶空瓶中, 在 40℃ 水浴中平衡 20min, 将萃取头(DVB/CAR/PDMS 50/30 μm)插入顶空瓶, 推出纤维头, 顶空萃取 40min 后抽回纤维头并拔出萃取头。将萃取头插入 GC-MS 仪进样口, 推出纤维头, 在 250℃ 条件下解析 5min, 抽回纤维头后拔出萃取头, 同时启动仪器采集数据。

气相色谱分析条件: 采用 HP-5MS 弹性石英毛细管色谱柱(0.25mm × 0.25 μm, 30m), 载气 He(99.999%); 柱温: 起始温度 40℃, 保持 2min, 升温速率 4℃/min, 终温 280℃, 保持 2min; 不采取分流模式, 进样口温度 250℃; 进样量 1 μL。

质谱分析条件: 选择 EI 离子源, 电子能量 70eV, 传输线温度 200℃, 电子倍增器电压 350V, 离子源温度 230℃, 质量扫描范围 40~450u。检索谱库为 NIST 谱库, 以鉴定的物质峰面积计算相对含量。

2 结果与分析

2.1 亚麻籽油调和油的理化特性

表 1 亚麻籽油调和油的理化特性

Table 1 Physico-chemical properties of flaxseed oil-based blend oil

指标	SB/T 10292 — 1998 标准值	测定值
酸价/(mg KOH/g)	≤ 1.0	0.18 ± 0.03
过氧化值/(mmol/kg)	≤ 10	2.42 ± 0.27
色泽(罗维朋比色槽 133.4mm)	≤ Y30 R3.0	Y21 R2.1
水分及挥发物/%	≤ 0.10	0.04 ± 0.02
不溶性杂质/%	≤ 0.05	0.02 ± 0.01
气味、滋味	无气味、口感好	具有清香气味
冷冻实验	澄清、透明	澄清、透明
棕榈酸/%		8.3 ± 0.13
硬脂酸/%		2.5 ± 0.08
油酸/%		45.4 ± 0.89
亚油酸/%		27.6 ± 0.35
α-亚麻酸/%		14.8 ± 0.25
VE/(mg/100g)		128.6 ± 1.38
植物甾醇/(g/kg)		6.38 ± 0.78
植物多酚/(mg/100g)		15.3 ± 1.11
货架期/月		18.6 ± 0.79

从表 1 可以看出, 油脂质量指标符合 SB/T 10292 — 1998《食用调和油》和 GB 2716 — 2005《食用植物油卫生标准》。油脂脂肪酸组成以不饱和脂肪酸为主, 其中必需脂肪酸含量约为 40%, *n*-6 脂肪酸和 *n*-3 脂肪酸比例约为 2:1; VE、植物甾醇和多酚等微量营养成分含量丰富, 这些微量营养成分的存在能显著提高油脂氧化稳定性, 使产品货架期能达到 18 个月以上, 其中 VE 是

生物体内最重要的抗氧化剂, 可以防止脂类链反应的继续进行, 是抗氧化机制的第一道防线^[15]; 植物甾醇能通过减少小肠和胆汁内胆固醇的吸收, 可分别使血浆中的总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇下降 0.5%~26% 和 2%~33%^[16]; 酚类化合物不仅具有较强的抗氧化活性, 还具有抗癌、预防心脑血管疾病和抗炎等多种生物活性^[17]。

2.2 加热对亚麻籽油调和油酸价、过氧化值(POV 值)和氧化诱导时间的影响

由表 2 可知, 油脂酸价随加热温度和时间增加有升高趋势, 但变化较小; POV 值随着加热时间的延长, 呈上升趋势, 尤其在加热 15min 后变化较大, 在 150℃ 和 210℃ 分别加热 60min 后, 与加热前相比 POV 值均增加了 2.2 倍。氧化诱导时间则随着加热时间的延长而下降, 在 150℃ 和 210℃ 加热 60min 后, 与加热前相比, 氧化诱导时间分别下降了 26.6% 和 39.3%, 表明油脂在此种加热条件下氧化稳定性下降。根据国际食品法典委员会制定的标准^[18], 高品质油脂酸价和 POV 值应该分别在 4mg KOH/g 和 10mmol/kg 以下, 因此亚麻籽油调和油经过高温加热 60min 后仍然具有较高的食用品质。

2.3 亚麻籽油调和油加热过程中共轭二烯和共轭三烯含量的变化

表 3 亚麻籽油调和油加热过程中共轭二烯和共轭三烯含量的变化

Table 3 Effect of heating on conjugated diene and conjugated trienes content in flaxseed oil-based blend oil

加热时间 / min	加热温度 150℃		加热温度 210℃	
	共轭二烯含量 / (mmol/kg)	共轭三烯含量 / (mmol/kg)	共轭二烯含量 / (mmol/kg)	共轭三烯含量 / (mmol/kg)
0	1.31 ± 0.06	0.25 ± 0.04	1.31 ± 0.07	0.25 ± 0.04
3	1.31 ± 0.07	0.25 ± 0.06	1.35 ± 0.06	0.26 ± 0.07
6	1.25 ± 0.08	0.18 ± 0.07	1.36 ± 0.03	0.29 ± 0.03
9	1.25 ± 0.11	0.19 ± 0.09	1.41 ± 0.06	0.34 ± 0.02
15	1.34 ± 0.02	0.21 ± 0.07	1.51 ± 0.07	0.43 ± 0.03
30	1.33 ± 0.08	0.22 ± 0.06	1.76 ± 0.05	0.51 ± 0.01
60	1.36 ± 0.06	0.26 ± 0.04	2.31 ± 0.06	0.67 ± 0.02

油脂加热过程中产生的一级氧化产物不稳定, 进一步降解形成二级氧化产物如共轭二烯和共轭三烯^[19]。由表 3 可知, 油脂在 150℃ 加热时共轭二烯和共轭三烯未

表 2 亚麻籽油调和油加热过程中酸价、过氧化值和氧化诱导时间的变化

Table 2 Effect of heating on acid value, POV and oxidation induction time of flaxseed oil-based blend oil

加热时间 / min	加热温度 150℃			加热温度 210℃		
	酸价/(mg KOH/g)	POV 值/(mmol/kg)	氧化诱导时间/h	酸价/(mg KOH/g)	POV 值/(mmol/kg)	氧化诱导时间/h
0	0.18 ± 0.01	2.42 ± 0.18	6.84 ± 0.16	0.18 ± 0.02	2.42 ± 0.12	6.84 ± 0.46
3	0.21 ± 0.02	4.01 ± 0.36	5.66 ± 0.27	0.23 ± 0.03	4.13 ± 0.09	6.28 ± 0.29
6	0.20 ± 0.03	4.65 ± 0.27	5.57 ± 0.18	0.23 ± 0.07	4.57 ± 0.19	5.93 ± 0.34
9	0.19 ± 0.06	5.11 ± 0.61	5.51 ± 0.19	0.21 ± 0.06	5.39 ± 0.28	5.92 ± 0.19
15	0.21 ± 0.01	5.81 ± 0.22	5.67 ± 0.33	0.22 ± 0.01	5.73 ± 0.34	5.63 ± 0.24
30	0.24 ± 0.03	7.04 ± 0.29	5.73 ± 0.28	0.26 ± 0.01	7.97 ± 0.29	5.64 ± 0.18
60	0.22 ± 0.04	7.84 ± 0.37	5.02 ± 0.37	0.31 ± 0.03	7.95 ± 0.33	4.15 ± 0.27

表4 亚麻籽油调和油加热过程中脂肪酸组成的变化

Table 4 Effect of heating on fatty acid compositions of flaxseed oil-based blend oil

加热时间/min	加热温度 150℃						加热温度 210℃					
	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
0	0.35	8.41	2.58	46.56	27.75	14.66	0.35	8.41	2.58	46.56	27.75	14.66
3	0.72	8.47	2.59	45.42	28.05	14.75	0.86	8.49	2.59	45.17	27.96	14.92
6	0.67	8.48	2.58	45.17	28.17	14.93	1.33	8.32	2.56	44.83	28.04	14.93
9	0.72	8.38	2.59	45.52	28.02	14.78	0.89	8.42	2.59	45.43	27.98	14.70
15	0.84	8.46	2.60	45.49	27.95	14.67	1.02	8.49	2.58	44.99	28.12	14.80
30	3.22	8.31	2.71	44.30	27.33	14.12	2.13	8.26	2.81	46.61	26.79	13.40
60	2.01	8.12	2.66	46.40	27.02	13.79	1.97	8.05	2.70	46.25	27.26	13.78

表6 亚麻籽油调和油加热过程中VE含量的变化

Table 6 Effect of heating on vitamin E content in flaxseed oil-based blend oil

加热温度/℃	0	3	6	9	15	30	60
150℃	128.6 ± 1.3	125.4 ± 1.8	123.6 ± 1.6	123.2 ± 2.1	121.1 ± 1.7	117.1 ± 1.9	114.3 ± 2.8
210℃	128.6 ± 1.1	113.6 ± 0.8	107.8 ± 0.9	106.1 ± 1.3	100.3 ± 1.4	89.5 ± 1.0	84.5 ± 2.3

发生显著变化；在210℃加热时，则呈增加趋势，尤其是在加热30min后，增长速度较快，与加热前相比，210℃加热60min后共轭二烯和共轭三烯含量分别增加了76.3%和168%，表明油脂在此种条件下产生了一定含量新的二级氧化产物；而亚麻籽油在150℃加热6min时在233nm和268nm波长的消光系数与加热前相比即增长13倍和36倍^[20]，因此亚麻籽油调和油在加热过程中产生的二级氧化产物较少。

2.4 亚麻籽油调和油加热过程中脂肪酸组成的变化

由表4可知，油脂在150℃和210℃温度条件下加热时脂肪酸组成变化不明显，其中在加热30min后多不饱和脂肪酸含量有下降趋势，可能是高温加热下由于氧化降解所导致^[21]；而饱和脂肪酸如肉豆蔻酸和硬脂酸随着加热时间的延长含量增加。对反式脂肪酸的测定结果表明，油脂加热过程中未产生反式脂肪酸。

2.5 亚麻籽油调和油加热过程中表观黏度和折光指数的变化

表5 亚麻籽油调和油加热过程中表观黏度和折光指数的变化

Table 5 Effect of heating on viscosity and refractive index of flaxseed oil-based blend oil

加热时间/min	加热温度 150℃		加热温度 210℃	
	表观黏度/(Pa·s)	折光指数(n_D^{40})	表观黏度/(Pa·s)	折光指数(n_D^{40})
0	5.81 ± 0.35	1.4732 ± 0.0132	5.80 ± 0.18	1.4732 ± 0.0111
3	5.82 ± 0.26	1.4741 ± 0.0126	5.71 ± 0.27	1.4734 ± 0.0123
6	5.83 ± 0.18	1.4734 ± 0.0131	5.69 ± 0.31	1.4732 ± 0.0213
9	5.79 ± 0.11	1.4727 ± 0.0178	5.65 ± 0.16	1.4734 ± 0.0106
15	5.84 ± 0.34	1.4734 ± 0.0124	5.67 ± 0.22	1.4732 ± 0.0100
30	5.85 ± 0.16	1.4735 ± 0.0134	5.75 ± 0.16	1.4735 ± 0.0117
60	5.94 ± 0.22	1.4733 ± 0.0118	5.94 ± 0.31	1.4738 ± 0.0134

调和油脂加热过程中由于脂肪酸产生聚合反应，脂肪酸形成包括碳-碳或碳-氧-碳连接的高分子质量聚合物，油脂表观黏度与聚合物含量呈正相关^[22-23]。油脂中聚合物的含量对油脂折光指数的大小也具有重要影响。由表5可知，亚麻籽油调和油的表观黏度和折光指数在加热过程中均未发生变化，表明油脂在150℃和210℃温度条件下加热时没有产生氧化聚合物。

2.6 亚麻籽油调和油加热过程中VE含量的变化

调和油脂加热过程中VE含量的变化见表6所示，结果表明加热对油脂中天然VE含量有一定的影响，随着加热时间延长至15min，VE含量呈缓慢下降；再加热至30min后，VE含量下降较为明显，加热至60min时，加热温度为150℃和210℃时的VE含量与加热前相比，分别下降了11.1%和34.3%。VE在加热过程中含量的下降可能是油脂在加热30min后稳定性下降的主要因素之一，Karl-Heinz等^[24]的研究发现向橄榄油中添加0~250mg/100g的生育酚对油脂氧化诱导时间产生显著影响。

2.7 亚麻籽油调和油加热过程中风味成分的变化

由表7可知，加热前亚麻籽油调和油的风味成分以醛类和萘类为主，加热过程中，油脂风味成分构成发生了显著变化，风味成分增多，产生了新的醛类和呋喃等风味物质，如(E,E)-2,4-庚二烯醛在150℃和210℃加热60min后，相对含量分别从加热前的3.36%增加到了45.44%和28.78%；同时原有风味成分如2-甲基萘、萘、 γ -萘品烯和苯乙醇相对含量减少，上述风味成分变化趋势在210℃加热时比150℃加热更为显著，表明加热对油脂的风味成分产生了显著的影响。

表7 亚麻籽油调和油加热过程中风味成分相对含量的变化
Table 7 Effect of heating on volatile compounds in flaxseed oil-based blend oil

风味物质	加热时间/min								%	
	0	3		9		30		60		
		150℃	210℃	150℃	210℃	150℃	210℃	150℃		210℃
(E)-2-庚烯醛	—	6.32	13.54	12.53	16.19	19.94	4.19	12.06	8.37	
乙酰基环己烯	—	2.29	1.68	5.08	1.81	—	—	—	—	
(E,E)-2,4-庚二烯醛	3.36	25.45	24.7	24.09	25.82	32.32	24.39	45.44	28.78	
2-戊基呋喃	—	—	0.88	—	0.72	0.84	4.03	0.61	2.58	
反-2-辛烯醛	—	—	—	—	2.87	3.04	3.13	1.78	1.86	
γ-萜品烯, 松油烯	2.06	3.39	—	1.48	—	—	—	—	—	
壬醛	2.35	3.98	8.44	5.53	5.96	9.01	12.15	7.38	9.13	
葵醛	—	0.21	0.57	0.15	—	—	0.27	—	—	
苯乙醇	2.60	1.71	—	1.06	—	—	—	—	—	
反式-2-壬醛	0.62	6.39	1.19	0.15	0.64	0.09	0.57	0.66	—	
萘	11.47	4.55	4.19	—	1.80	2.03	0.30	1.00	—	
反式-2-癸烯醛	5.11	11.78	5.68	5.99	5.92	3.46	4.95	3.53	9.38	
2-甲基萘	20.38	4.64	3.51	4.66	2.06	2.47	0.06	1.28	—	
反式-2,4-癸二烯醛	5.97	3.49	19.33	2.73	19.35	12.66	10.56	16.82	20.01	
2-十一烯醛	3.51	4.33	3.12	4.55	2.23	—	2.25	1.85	5.71	
苯乙酮	0.59	—	0.39	0.96	—	—	—	—	—	
其他	14.05	—	—	—	—	—	—	—	—	

注：—，未检测出。

3 结 论

本实验研究了亚麻籽油调和油的理化特性和热稳定性，结果表明，油脂在150℃和210℃温度条件下加热60min时间内，酸价和脂肪酸组成受影响较小，没有检测到反式脂肪酸的产生，未产生氧化聚合物，表明油脂具有较好的热稳定性；油脂加热时间超过30min，产生了少许醛类氧化产物和不良风味物质，且过氧化值有显著增加，氧化诱导时间有不同程度的下降，但所测定指标仍然符合现行调和油质量标准(SB/T 10292—1998)；油脂加热过程中氧化稳定性下降其机制可能主要与天然VE及多酚等微量营养成分的破坏有关；因此亚麻籽油调和油用作烹调用油时在210℃加热温度条件下，加热时间不宜超过15min。综上，本结果对指导亚麻籽油调和油的正确膳食和烹饪、保证油脂摄入的安全性和营养性、尽可能发挥油脂在摄入人体后的营养功效可提供重要的理论依据。

参考文献：

- PIERRE J, STEPHANIE B P, JEAN-LOUIS S, et al. Influence of heat and refining on formation of CLA isomers in sunflower oil[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2003, 80(9): 937-940.
- CAPONIO F, PASQUALON A, GOMES T. Effects of conventional and microwave heating on the degradation of olive oil[J]. European Food Research and Technology, 2002, 215(2): 114-117.
- NIKOLAOS K A, NICK K, ANGELIKI F, et al. Performance of virgin olive oil and vegetables shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(2): 177-190.
- GABRIEL H G, ALEXANDER J C, VALLI V E. Biochemical and histological effects of feeding thermally oxidized rapeseed oil and lard to rats[J]. Canadian Journal of Comparative Medicine, 1977, 41(1): 98-106.
- ZALESKA-FIOLKA J, KASPERCZYK A, KASPERCZYK S, et al. Effect of garlic supplementation on erythrocytes antioxidant parameters, lipid peroxidation, and atherosclerotic plaque formation process in oxidized oil-fed rabbits[J]. Biological Trace Element Research, 2007, 120(1/3): 195-204.
- GRANDGIRARD A, PICONNEAUX A, SEBEDIO J L, et al. Occurrence of geometrical isomers of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in liver lipids of rats fed heated linseed oil[J]. Lipids, 1989, 24(9): 799-804.
- DELMONTE P, RADER J I. Evaluation of gas chromatographic methods for the determination of trans fat[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2007, 389(1): 77-85.
- SIVAKUMAR G, BRICCOLI BATI C, PERRI E, et al. Gas chromatography screening of bioactive phyosterols from mono-cultivar olive oils[J]. Food Chemistry, 2006, 95(3): 525-528.
- HELENA A, BOJAN B, VOJKO N. Changes occurring in phenolic content, tocopherol composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil during storage[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 903-909.
- VELASCO J, ANDERSEN M L, SKIBSTED L H. Evaluation of oxidative stability of vegetable oils by monitoring the tendency to radical formation. a comparison of electron spin resonance spectroscopy with the Rancimat method and differential scanning calorimetry[J]. Food Chemistry, 2004, 85(4): 623-632.
- SANTOS J C O, SANTOS I M G, SOUZA A G. Effect of heating and cooling on rheological parameters of edible vegetable oils[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(4): 401-405.
- SEVEN A, GUZEL A, ASLAN M, et al. Lipid, protein, DNA oxidation and antioxidant status in rheumatoid arthritis[J]. Clinical Biochemistry, 2008, 41(7/8): 538-543.
- JUCIELI W, VIVIAN C B, CRISTIANE P R, et al. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish filets[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 140-146.
- 杨涓, 刘昌盛, 周琦, 等. 加工工艺对菜籽油主要挥发性风味成分的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(4): 551-555.
- HSU H C, LEE Y T, CHEN M F. Effects of fish oil and vitamin E on the antioxidant defense system in diet-induced hypercholesterolemic rabbits [J]. Prostaglandins & Other Lipid Mediators, 2001, 66(2): 99-108.
- BRUFAU G, CANELA M A. Phytosterols: physiologic and metabolic aspects related to cholesterol-lowering properties[J]. Nutrition Research, 2008, 28(4): 217-225.
- PIETTA P G. Flavonoids as antioxidants[J]. Journal of Natural Products, 2000, 63(7): 1035-1042.
- Codex Alimentarius Commission. Codex Stan 19. Edible fats and oils not covered by individual standards[S/OL]. (2006-01-25). http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.do?lang=en.
- VIEIRA T M F S, REGITANO-d'ARCE M A B. Canola oil thermal oxidation during oven test and microwave heating[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 2001, 34(4): 215-221.
- CHOO W S, BIRCH E J, DUFOUR J P. Physicochemical and stability characteristics of flaxseed oils during pan-heating[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2007, 84(8): 735-740.
- LIU H R, WHITE P J. Oxidative stability of soybean oils with altered fatty acid compositions[J]. Journal of American Oil Chemists Society, 1992, 69(6): 528-532.
- BRACCO U, DIEFFENBACHER A, KOLAROVIC L. Frying performance of palm oil liquid fraction[J]. Journal of American Oil Chemists Society, 1981, 58(1): 6-12.
- STEVENSON S G, VAISEY-GENSER M, ESKIN N A. Quality control in the use of deep frying oils[J]. Journal of American Oil Chemists Society, 1984, 61(6): 1102-1108.
- KARL-HEINZ W, IBRAHIM E. Effects of tocopherols and their mixtures on the oxidative stability of olive oil and linseed oil under heating [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2000, 102(10): 624-629.