

美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油氧化稳定性对比研究

庞晓慧,李俊健,吴俏瑾,林蕾,杜冰,黎攀

(华南农业大学食品学院,广州 510640)

摘要:以共轭二烯烃、共轭三烯烃、过氧化值、羰基值平均增长速率以及 110 °C 的氧化诱导时间为指标,对比研究了美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油的氧化稳定性,同时探讨了在 60 °C 加速氧化过程中 3 种植物油主要微量组分以及脂肪酸组成的变化。结果表明:3 种植物油中共轭二烯烃、共轭三烯烃、过氧化值、羰基值平均增长速率为美藤果油 < 亚麻籽油 < 紫苏籽油,氧化诱导时间为美藤果油 > 亚麻籽油 > 紫苏籽油;甾醇、多酚的损失率为紫苏籽油 > 美藤果油 > 亚麻籽油,维生素 E 的损失率为紫苏籽油 > 亚麻籽油 > 美藤果油;多不饱和脂肪酸损失率和饱和脂肪酸增加率为亚麻籽油 > 紫苏籽油 > 美藤果油。因此,认为美藤果油氧化稳定性最强,亚麻籽油次之,紫苏籽油最弱。

关键词:美藤果油;紫苏籽油;亚麻籽油;氧化稳定性

中图分类号:TS225.1;TQ641 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)01-0032-06

Comparison of oxidative stability of sacha inchi oil, linseed oil and perilla seed oil

PANG Xiaohui, LI Junjian, WU Qiaojin, LIN Lei, DU Bing, LI Pan

(Food College, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The oxidative stability of sacha inchi oil, linseed oil and perilla seed oil were compared by evaluating the average growth rates of conjugated diene, conjugated triene, peroxide value, carbonyl value, and the oxidation induction time at 110 °C. In addition, the changes of main trace components and fatty acid compositions during the accelerated oxidation process at 60 °C were analyzed. The average growth rates of conjugated diene, conjugated triene, peroxide value and carbonyl value in the three vegetable oils during the oxidation process were as follows: sacha inchi oil < linseed oil < perilla seed oil. The oxidation induction time of the three vegetable oils was as follows: sacha inchi oil > linseed oil > perilla seed oil. The loss rates of sterols and polyphenols were as follows: perilla seed oil > sacha inchi oil > linseed oil. The loss rates of vitamin E were as follows: perilla seed oil > linseed oil > sacha inchi oil; the loss levels of polyunsaturated fatty acids and the increase levels of saturated fatty acids of three oils were as follows: sacha inchi oil < perilla seed oil < linseed oil. Totally, the results indicated that the oxidative stability of sacha inchi oil was the strongest, followed by linseed oil and perilla seed oil.

Key words: sacha inchi oil; linseed oil; perilla seed oil; oxidative stability

美藤果,又称印加果、南美油藤等,属大戟科美藤果属多年生常绿攀援状木质藤本植物。美藤果的种仁含有高品质的油脂和蛋白质,两者含量高达 72.38% ~ 78.95%,为高蛋白高油脂油料。美藤果油含有 93% 以上的不饱和脂肪酸,其中 α -亚麻酸

含量丰富,为 45.62%,其次是亚油酸,为 38.11%,还含有甾醇、多酚、维生素 E 等微量组分^[1]。美藤果油在调节血脂、预防心血管疾病、增强免疫力等方面有显著疗效^[2]。在 2004、2006 年和 2010 年巴黎世界食用油博览会上,美藤果油获得金质奖章,引起了世界油料产品开发商的高度关注。

紫苏籽油和亚麻籽油是常见优良保健食用油,与美藤果油一样均含有丰富的 α -亚麻酸,其中亚麻籽油中 α -亚麻酸含量为 33% ~ 53%^[3],紫苏籽油中 α -亚麻酸含量高达 60%^[4]。 α -亚麻酸属必

收稿日期:2020-04-17;修回日期:2020-08-15

作者简介:庞晓慧(2000),女,在读本科,专业为食品科学与工程(E-mail)1126973181@qq.com。

通信作者:黎攀,副教授,博士(E-mail)419900815@scau.edu.cn。

需脂肪酸,具有提高免疫力、抗衰老、降血压、降血脂等作用,但因其不饱和程度高,极易氧化酸败,影响油脂储存稳定性^[5]。

杨国燕^[6]采用 Rancimat 743 油脂氧化稳定性测定仪测定了亚麻籽油不同温度下的氧化诱导时间,张泽涛等^[7]采用 Rancimat 743 油脂氧化稳定性测定仪测定了紫苏籽油不同温度下的氧化诱导时间,Rodríguez 等^[8]测定了美藤果油不同温度下的氧化诱导时间;以上试验主要侧重比较几种植物油的氧化诱导时间的差异,但是对其不饱和和脂肪酸组成、微量组分等变化仍缺乏系统性对比研究。为此,本研究对美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油在 60℃ 加速氧化过程中氧化指标(共轭烯烃、羰基值、过氧化值)、微量组分(多酚含量、甾醇含量、维生素 E 组成和含量)以及脂肪酸组成的变化进行了分析,以期为更好地开发利用健康营养、安全稳定的高不饱和植物油提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

美藤果,普洱联众生物资源开发有限公司;亚麻籽,内蒙古乌兰察布市;紫苏籽,甘肃庆阳市合水县。

没食子酸标准品,国药集团化学试剂有限公司;福林酚试剂,国药集团化学试剂有限公司;胆固醇标准品,美国 Sigma 公司; α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚标准品(纯度均大于 96%),美国 Sigma 公司;甲醇、乙腈、水杨酸、环己烷、无水乙醇、无水乙醚、硫酸亚铁、浓硫酸等均为分析纯。

ZYJ-901 家用全自动小型榨油机,德国贝尔斯顿有限公司;QP2010 气相色谱-质谱联用仪,日本岛津公司;HP1100 高效液相色谱仪,安捷伦(中国)有限公司;752-N 紫外分光光度计,上海精密仪器有限公司;DGG-9070B 电热恒温鼓风干燥箱,上海森信实验仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 油料含油率测定

依照 GB/T 14488.1—2008 测定样品含油率。

1.2.2 油料水分控制及榨油

取美藤果仁、亚麻籽、紫苏籽置于 60℃ 烘箱中,每隔 30 min 取样测定水分,将水分含量均控制在 6% 左右,然后放入榨油机中冷榨(榨油温度 < 70℃),分别得到美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油。计算出油率。

1.2.3 油脂加速氧化试验

将美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油分别置于

(60±1)℃ 的烘箱中,每 3 d 取油样测定共轭烯烃含量、羰基值、多酚含量、甾醇含量和过氧化值,每 6 d 取油样测定维生素 E 含量和脂肪酸组成。

1.2.4 油脂氧化指标测定

参考潘娜等^[9]的方法测定样品的共轭二烯烃和共轭三烯烃的含量,依照 GB 5009.230—2016 测定样品羰基值,依照 GB 5009.227—2016 测定样品过氧化值。

1.2.5 油脂氧化诱导时间的测定

利用 Rancimat 743 油脂氧化稳定性测定仪测定样品的氧化诱导时间。测定参数:温度(110.0±0.1)℃;样品量(3.00±0.01)g;气流量 10 L/h;水用量 60 mL。

1.2.6 油脂微量组分的测定

以胆固醇为标准品,采用 Liebermann-Burchard 反应法测定甾醇含量^[10]。

以没食子酸为标准品,采用 Folin-Ciocalteu 法测定样品多酚含量^[11]。

依照 GB 5009.82—2016 中的方法进行油样的皂化及维生素 E 的提取,参考刘梦颖^[12]的方法测定样品的维生素 E 含量。

1.2.7 脂肪酸组成的测定

参考王勇等^[13]的方法采用气相色谱-质谱联用仪测定样品的脂肪酸组成。

1.2.8 统计分析

试验数据表示为“平均值±标准差”,使用 Excel 软件分析作图,并使用 Origin 8、SPSS 17.0 等统计软件对数据进行 Bonferroni 检验单因素方差分析和 Pearson 检验双变量相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 3 种油料的含油率与出油率(见表 1)

油料	水分含量	含油率	出油率
美藤果仁	6.29±0.055 ^a	34.77±0.003 ^b	25.92±0.048 ^c
亚麻籽	6.46±0.081 ^a	32.06±0.027 ^c	26.43±0.013 ^b
紫苏籽	6.36±0.093 ^a	36.99±0.094 ^a	29.56±0.006 ^a

注:同一列中不同字母表示差异显著($p < 0.05$),下同。

由表 1 可知,3 种油料含油率排序为紫苏籽 > 美藤果仁 > 亚麻籽,出油率排序则为紫苏籽 > 亚麻籽 > 美藤果仁。

2.2 3 种植物油氧化过程中氧化指标的变化

共轭烯烃、过氧化值是油脂氧化的初级产物指标,而羰基化合物是油脂氧化的主要次级产物,故采用共轭烯烃值、过氧化值和羰基值分别表示油脂初、

次级氧化程度^[14]。加速氧化过程中,3种植物油氧化指标的变化见图1~图4。

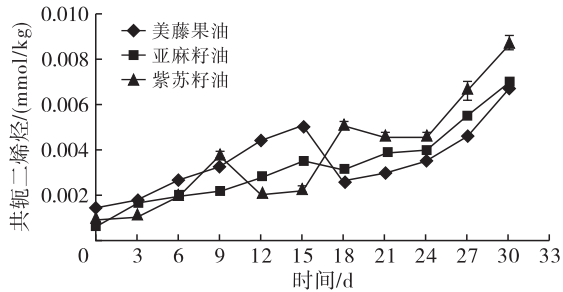


图1 共轭二烯烃含量变化

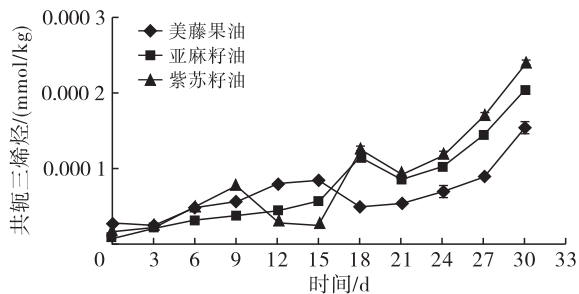


图2 共轭三烯烃含量变化

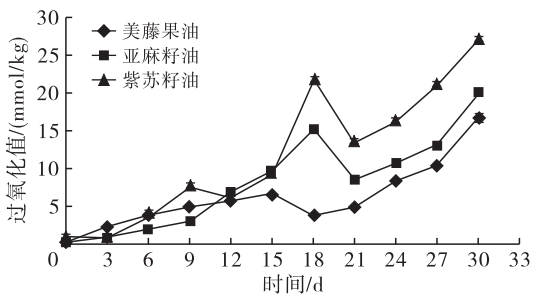


图3 过氧化值变化

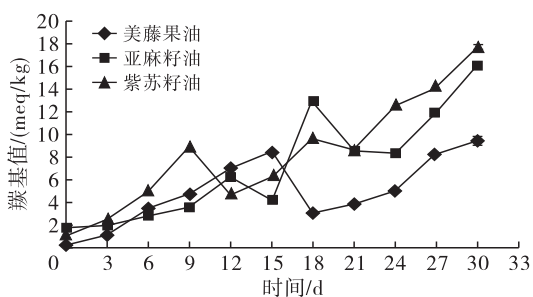


图4 羰基值变化

由图1和图2可见:在第0天,美藤果油的共轭二烯烃和共轭三烯烃含量极显著高于亚麻籽油和紫苏籽油($p < 0.01$);在第30天,美藤果油的共轭二烯烃含量极显著低于紫苏籽油($p < 0.01$),但与亚麻籽油无明显区别($p > 0.05$),美藤果油的共轭三烯烃含量极显著低于亚麻籽油和紫苏籽油($p < 0.01$)。整个氧化过程美藤果油的共轭二烯烃和共轭三烯烃含量平均增长速率低于亚麻籽油和紫苏籽油。

由图3可见,随着氧化时间的延长,过氧化值平

均增长速率排序为紫苏籽油 > 亚麻籽油 > 美藤果油。说明加速氧化过程中,美藤果油过氧化物产生速率低于紫苏籽油和亚麻籽油。根据 GB 2716—2018 规定,食用植物油过氧化值最高限量为 0.25 g/100 g,据此估计美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油的过氧化值达到最高限量的时间分别为 27、16、16 d。植物油氧化初期,氢过氧化物逐渐形成,过氧化值逐渐升高,但中后期因过氧化物进一步分解为小分子物质,过氧化值下降。若把过氧化值达到最高限量的估算时间看成氧化初期时间,则美藤果油在初级氧化阶段的稳定性最好。

由图4可见,从第0天到第30天,羰基值平均增长速率排序为紫苏籽油 > 亚麻籽油 > 美藤果油。说明在加速氧化过程中,美藤果油羰基化合物的产生速率最低,其次是亚麻籽油,紫苏籽油最高。

本研究得出3种植物油在加速氧化过程中4个氧化指标整体呈现上升趋势,但在氧化中期时,都出现了下降转折的现象,这可能是油脂受高温条件的影响,氧化产物复杂化,氧化产物除了氢过氧化物、共轭烯烃、醛、酮和醇外,还含有酯类、烃类和多聚体等物质。

2.3 3种植物油氧化诱导时间比较(见图5)

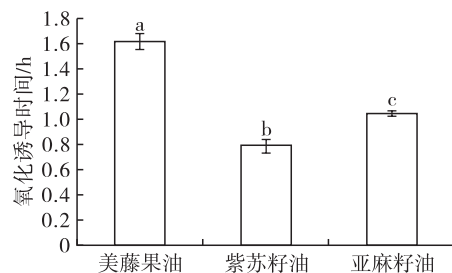


图5 3种植物油氧化诱导时间比较

由图5可见,美藤果油的氧化诱导时间最长,其次是亚麻籽油,紫苏籽油的最短。油脂的氧化诱导时间越长,说明油脂的抗氧化能力越强。因此,抗氧化能力排序为美藤果油 > 亚麻籽油 > 紫苏籽油。

Rodríguez 等^[8]采用 Rancimat 法研究发现在 20℃时美藤果油的货架期可达到 3.29 年;孙航等^[15]采用 Rancimat 法推导出紫苏籽油在 20℃的货架期为 57 d;易志^[16]采用 Schaal 烘箱法推导出亚麻籽油在 20℃的货架期为 353 d,实测货架期为 340 d。由此可见,氧化稳定性依次为美藤果油 > 亚麻籽油 > 紫苏籽油,与本研究的结果一致。

2.4 3种植物油氧化过程中微量组分变化(见图6、图7、表2)

由图6可见,随着氧化时间的延长,3种植物油中甾醇含量均呈现下降趋势。加速氧化 30 d,美藤

果油、亚麻籽油和紫苏籽油甾醇含量分别下降了63.68%、58.15%和65.81%，说明在氧化过程中，这3种植物油的甾醇可以提供氢离子，抵抗自由基攻击，对油脂具有保护作用^[17]。魏晓珊等^[18]的研究结果同样表明，紫苏籽油和亚麻籽油中的甾醇能通过清除植物油中的自由基延长氧化诱导时间，从而减缓氧化速率。

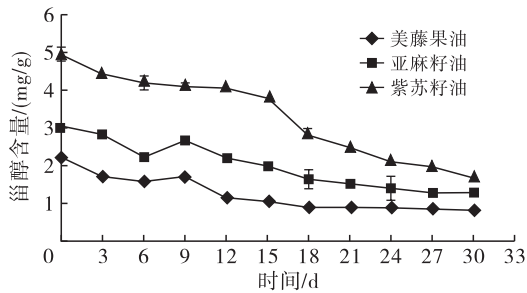


图6 甾醇含量变化

由图7可见,3种植物油中多酚含量随着氧化时间的延长均呈现下降的趋势,多酚含量与氧化时间具有极显著的线性关系($p < 0.01$)。多酚含量下降速率排序为紫苏籽油 > 美藤果油 > 亚麻籽油。

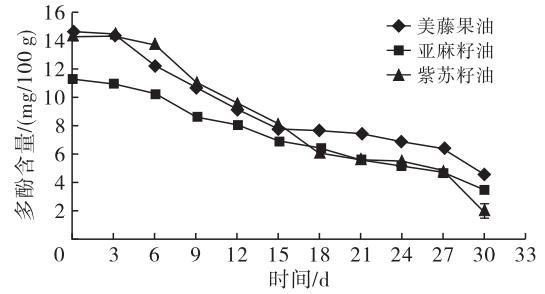


图7 多酚含量变化

由表2可知,美藤果油的维生素E总量最高,是紫苏籽油的3.30倍,亚麻籽油的4.48倍。美藤果油的维生素E主要由 δ -生育酚和 γ -生育酚组成,两者含量均明显高于亚麻籽油和紫苏籽油($p < 0.05$)。加速氧化过程中,随着氧化时间的延长,三者维生素E总量基本呈现明显的下降趋势($p < 0.05$)。加速氧化30 d,美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油维生素E总量分别损失了31.13%、32.17%和47.44%。由此说明,维生素E对3种植物油均有一定的抗氧化作用,美藤果油中的维生素E抗氧化稳定性强于亚麻籽油和紫苏籽油。

表2 3种植物油维生素E含量的变化

时间/d	含量/(mg/100 g)			总量/(mg/100 g)
	α -生育酚	δ -生育酚	γ -生育酚	
美藤果油				
0	-	31.39 ± 0.07 ^a	32.50 ± 0.07 ^a	63.89 ± 0.14 ^a
6	-	30.15 ± 0.03 ^b	29.36 ± 0.03 ^c	59.51 ± 0.06 ^c
12	-	30.04 ± 0.00 ^b	29.81 ± 0.00 ^b	59.85 ± 0.01 ^b
18	-	29.54 ± 0.01 ^c	25.28 ± 0.01 ^d	54.82 ± 0.02 ^d
24	-	28.92 ± 0.17 ^d	22.58 ± 0.03 ^e	51.50 ± 0.19 ^e
30	-	23.30 ± 0.13 ^e	20.70 ± 0.27 ^f	44.00 ± 0.40 ^f
亚麻籽油				
0	2.76 ± 0.00 ^d	1.81 ± 0.00 ^h	9.70 ± 0.03 ^k	14.27 ± 0.04 ^k
6	2.45 ± 0.00 ^f	1.72 ± 0.01 ^h	9.44 ± 0.02 ^{kl}	13.61 ± 0.02 ^l
12	2.44 ± 0.00 ^{fg}	1.63 ± 0.01 ^{hi}	9.17 ± 0.03 ^l	13.24 ± 0.04 ^m
18	2.41 ± 0.00 ^g	1.27 ± 0.00 ^j	8.73 ± 0.03 ^m	12.42 ± 0.03 ⁿ
24	2.39 ± 0.01 ^h	1.28 ± 0.00 ^j	7.42 ± 0.11 ⁿ	11.09 ± 0.12 ^o
30	2.22 ± 0.01 ⁱ	1.25 ± 0.00 ^j	6.21 ± 0.09 ^o	9.68 ± 0.10 ^o
紫苏籽油				
0	3.24 ± 0.00 ^a	2.73 ± 0.01 ^f	13.39 ± 0.08 ^g	19.37 ± 0.09 ^g
6	3.18 ± 0.00 ^b	2.55 ± 0.02 ^f	12.09 ± 0.05 ^h	17.83 ± 0.05 ^h
12	2.96 ± 0.01 ^c	2.26 ± 0.01 ^g	11.39 ± 0.03 ⁱ	16.60 ± 0.05 ⁱ
18	2.50 ± 0.00 ^e	1.42 ± 0.00 ^{ij}	11.02 ± 0.03 ^j	14.94 ± 0.03 ^j
24	2.44 ± 0.01 ^f	1.42 ± 0.00 ^{ij}	7.29 ± 0.03 ⁿ	11.16 ± 0.04 ^o
30	2.34 ± 0.01 ⁱ	1.41 ± 0.01 ^j	6.43 ± 0.09 ^o	10.18 ± 0.10 ^p

注: β -生育酚含量很低,未列示。

多酚、甾醇以及维生素E均具有抗氧化性,是植物油中重要的内源性抗氧化物质。美藤果油中甾醇含量低于亚麻籽油和紫苏籽油,在氧化过程中其

含量下降速率小于紫苏籽油;多酚含量略高于紫苏籽油,氧化过程中其含量下降速率小于紫苏籽油;但美藤果油中维生素E含量远高于紫苏籽油和亚麻

籽油,氧化过程中损失率最低。而由前文可知3种油脂氧化稳定性依次为美藤果油>亚麻籽油>紫苏籽油,推测维生素E对美藤果油抗氧化的贡献最大,是美藤果油中最主要的抗氧化物质。

2.5 3种植物油氧化过程中主要脂肪酸组成及含量的变化(见表3)

由表3可见,3种植物油主要脂肪酸均为棕榈酸、硬脂酸、亚油酸和 α -亚麻酸,亚油酸和 α -亚麻酸之和占总脂肪酸含量的85%以上。其中, α -亚麻酸含量最高的为紫苏籽油,而亚油酸含量最高的为美藤果油。美藤果油中 α -亚麻酸与亚油酸含

量之比远低于亚麻籽油和紫苏籽油。周洋等^[19]分析不同产地冷榨亚麻籽油脂质组成发现,不同产地亚麻籽油 α -亚麻酸含量为51%~60%,许万乐^[20]测定冷榨紫苏籽油脂肪酸含量,得知其 α -亚麻酸含量为57%~69%,相较而言本试验中亚麻籽油和紫苏籽油 α -亚麻酸含量较高,相关研究^[21]表明同一种油脂的脂肪酸组成不会随环境而改变,但是各脂肪酸组分的含量会因不同产地的地理环境、气候、采摘期、压榨方式及测定方法等因素而存在显著性差异。

表3 3种植物油主要脂肪酸组成及含量的变化

时间/d	含量/%					
	棕榈酸	亚油酸	α -亚麻酸	硬脂酸	亚油酸与 α -亚麻酸总和	棕榈酸与硬脂酸总和
美藤果油						
0	3.20 ± 0.01 ^k	34.21 ± 0.02 ^b	55.73 ± 0.01 ^m	2.46 ± 0.01 ^g	89.94 ± 0.01 ^a	5.66 ± 0.01 ^k
6	3.51 ± 0.02 ^j	33.06 ± 0.10 ^e	56.67 ± 0.07 ^k	2.36 ± 0.01 ^h	89.73 ± 0.03 ^b	5.87 ± 0.03 ^j
12	3.52 ± 0.04 ^{ij}	34.52 ± 0.03 ^a	55.16 ± 0.05 ⁿ	2.40 ± 0.04 ^{gh}	89.68 ± 0.07 ^b	5.92 ± 0.07 ^j
18	3.41 ± 0.02 ^j	33.95 ± 0.05 ^e	55.71 ± 0.06 ^m	2.52 ± 0.01 ^f	89.66 ± 0.02 ^b	5.94 ± 0.02 ^j
24	3.69 ± 0.04 ^h	33.45 ± 0.01 ^d	55.93 ± 0.01 ^l	2.53 ± 0.02 ^f	89.38 ± 0.02 ^c	6.22 ± 0.02 ⁱ
30	3.64 ± 0.03 ^{hi}	33.95 ± 0.01 ^e	55.34 ± 0.02 ⁿ	2.67 ± 0.01 ^e	89.29 ± 0.03 ^c	6.31 ± 0.03 ⁱ
亚麻籽油						
0	5.46 ± 0.02 ^g	11.80 ± 0.01 ^g	74.35 ± 0.05 ^g	4.00 ± 0.02 ^d	86.15 ± 0.04 ^h	9.45 ± 0.04 ^d
6	5.52 ± 0.03 ^g	11.12 ± 0.02 ⁱ	74.87 ± 0.08 ^e	4.10 ± 0.03 ^e	85.99 ± 0.05 ⁱ	9.61 ± 0.05 ^e
12	5.55 ± 0.03 ^g	11.23 ± 0.01 ⁱ	74.66 ± 0.04 ^f	4.16 ± 0.01 ^b	85.89 ± 0.04 ⁱ	9.71 ± 0.04 ^e
18	5.92 ± 0.02 ^f	11.64 ± 0.01 ^h	73.87 ± 0.01 ^h	4.17 ± 0.01 ^b	85.51 ± 0.01 ^j	10.09 ± 0.01 ^b
24	6.20 ± 0.06 ^d	12.26 ± 0.01 ^f	73.14 ± 0.06 ⁱ	4.01 ± 0.01 ^d	85.40 ± 0.07 ^j	10.20 ± 0.07 ^b
30	6.41 ± 0.03 ^c	11.59 ± 0.01 ^h	72.56 ± 0.04 ^j	5.04 ± 0.01 ^a	84.15 ± 0.03 ^k	11.45 ± 0.03 ^a
紫苏籽油						
0	6.05 ± 0.01 ^e	7.37 ± 0.03 ^k	80.58 ± 0.05 ^a	1.59 ± 0.01 ^k	87.95 ± 0.02 ^d	7.65 ± 0.02 ^h
6	6.00 ± 0.02 ^{ef}	7.09 ± 0.02 ^m	80.74 ± 0.04 ^a	1.77 ± 0.01 ⁱ	87.83 ± 0.02 ^d	7.77 ± 0.02 ^h
12	6.52 ± 0.03 ^{bc}	7.22 ± 0.03 ^l	80.31 ± 0.07 ^b	1.54 ± 0.01 ^k	87.53 ± 0.03 ^e	8.07 ± 0.03 ^g
18	6.61 ± 0.04 ^b	7.61 ± 0.01 ⁱ	79.68 ± 0.03 ^d	1.70 ± 0.01 ^j	87.28 ± 0.04 ^f	8.32 ± 0.04 ^f
24	6.78 ± 0.05 ^a	7.13 ± 0.01 ^{lm}	79.88 ± 0.05 ^c	1.81 ± 0.01 ⁱ	87.01 ± 0.06 ^g	8.59 ± 0.06 ^e
30	6.88 ± 0.05 ^a	7.18 ± 0.03 ^{lm}	79.78 ± 0.03 ^{cd}	1.76 ± 0.01 ^{ij}	86.96 ± 0.06 ^g	8.64 ± 0.06 ^e

随着氧化时间的延长,3种植物油亚油酸、 α -亚麻酸含量整体均呈现下降趋势,棕榈酸、硬脂酸含量整体均呈上升趋势。油脂的氧化稳定性受不饱和脂肪酸总量、单一脂肪酸的氧化特性、脂肪酸比例模式的影响^[22],一般在加速氧化过程中,脂肪酸总体上变化很小,主要表现为多不饱和脂肪酸减少,饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸有不同程度的增多。本文脂肪酸组成的变化也符合这一规律。

3 结论

通过比较3种植物油(美藤果油,亚麻籽油和紫苏籽油)在60℃加速氧化过程中氧化指标的变

化,发现共轭二烯烃、共轭三烯烃、过氧化值、羰基值平均增长速率依次为美藤果油<亚麻籽油<紫苏籽油,在110℃的氧化诱导时间依次为美藤果油>亚麻籽油>紫苏籽油。以上结果表明,美藤果油氧化稳定性最强,亚麻籽油次之,紫苏籽油最弱。

美藤果油的多酚、总维生素E、 γ -生育酚、 δ -生育酚含量均高于紫苏籽油和亚麻籽油,但甾醇、 α -生育酚含量比后两者低。随着氧化时间的延长,甾醇、多酚的损失率排序为紫苏籽油>美藤果油>亚麻籽油,维生素E的损失率排序为紫苏籽油>亚麻籽油>美藤果油。综合氧化稳定性差异及微量组

分含量及氧化速率,推测3种植物油氧化稳定性的差异与其内源性抗氧化剂种类及含量有关,且维生素E是影响美藤果油氧化稳定性的最主要因素。本文尚未深入研究3种植物油微量组分的抗氧化特性差异及其氧化动力学,还有待进一步研究。

美藤果油中亚油酸、多不饱和脂肪酸含量均高于紫苏籽油和亚麻籽油,但 α -亚麻酸含量低于二者。在氧化过程中,多不饱和脂肪酸损失率和饱和脂肪酸增加率为亚麻籽油>紫苏籽油>美藤果油,说明美藤果油在氧化过程中比紫苏籽油和亚麻籽油更稳定。

参考文献:

- [1] 张嘉怡, 杜冰, 谢蓝华, 等. 绿色新资源食品——美藤果油[J]. 中国油脂, 2013, 38(7):1-4.
- [2] ALAYÓN A N, ISABELLA E J. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis linneo*): una experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo[J]. Rev Chil De Nutr, 2016, 43(2):167-171.
- [3] 邓乾春, 马方励, 魏晓珊, 等. 亚麻籽加工品质特性研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(1):126-134.
- [4] 谢慧, 覃茂范, 白欣莹, 等. 紫苏籽油提取及其脂肪酸组成分析[J]. 怀化学院学报, 2017, 36(11):74-76.
- [5] 晁红娟, 雷占兰, 刘爱琴, 等. Omega-3多不饱和脂肪酸性质、功能及主要应用[J]. 中国食品添加剂, 2019(10):122-130.
- [6] 杨国燕. DSC和Rancimat法测定亚麻籽油氧化稳定性研究[J]. 粮食与油脂, 2014(8):29-32.
- [7] 张泽涛, 徐娟, 李建成, 等. 紫苏油的氧化稳定性研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(10):84-86.
- [8] RODRÍGUEZ G, VILLANUEVA E, GLORIO P, et al. Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) [J]. Sci Agrop, 2015, 6(3):155-163.

(上接第16页)

- [12] WU G C, CHANG C, HONG C C, et al. Phenolic compounds as stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: a comprehensive review [J]. Trends Food Sci Tech, 2019, 92:33-45.
- [13] KALOGEROPOULOS N, TSIMIDOU M Z. Antioxidants in Greek virgin olive oils [J]. Antioxidants, 2014, 3(2):387-413.
- [14] RANALLI A, CONTENUTO S, SCHIAVONE C, et al. Malaxing temperature affects volatile and phenol composition as well as other analytical features of virgin olive oil [J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2001, 103(4):228-238.
- [15] MORALES M T, APARICIO - RUIZ R, APARICIO R. Chromatographic methodologies: compounds for olive oil

- [9] 潘娜, 屈文娇, 君睿红, 等. 不同品种葵花籽油氧化稳定性研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(12):42-45.
- [10] 高政. 菜籽植物甾醇的提取、纯化及抗氧化活性研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2009.
- [11] 罗旭璐, 袁雨川, 贺鹏, 等. 美藤果籽粕多酚的提取及其抗氧化活性测定[J]. 林业工程学报, 2015, 29(1):75-78.
- [12] 刘梦颖. 脂肪酸及微量组分对核桃油氧化稳定性的影响[D]. 西安:陕西科技大学, 2015.
- [13] 王勇, 程守前, 肖培富, 等. 气相色谱-质谱联用分析美藤果油脂脂肪酸组成[J]. 广州化工, 2015(7):109-110.
- [14] FARHOOSH R, PAZHOUHANMEHR S. Relative contribution of compositional parameters to the primary and secondary oxidation of canola oil [J]. Food Chem, 2009, 114(3):1002-1006.
- [15] 孙航, 徐娟, 刘祥义, 等. 丽江野生植物油的脂肪酸组成及氧化稳定性研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(1):40-42.
- [16] 易志. 亚麻籽油贮藏稳定性研究[D]. 广州:华南农业大学, 2016.
- [17] 刘慧敏. 不同植物油微量成分与抗氧化能力的相关性研究[D]. 江苏无锡:江南大学, 2015.
- [18] 魏晓珊, 邓乾春, 张逸, 等. 亚麻籽油中植物甾醇含量的测定[J]. 中国油脂, 2015, 40(11):107-111.
- [19] 周洋, 黄健花, 金青哲, 等. 不同产地冷榨亚麻籽油的脂质组成比较[J]. 中国油脂, 2018, 43(9):125-128.
- [20] 许万乐. 紫苏籽油的提取工艺及理化特性研究[D]. 太原:中北大学, 2014.
- [21] KAJSER A, DUTTA P, SAVAGE G. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand [J]. Food Chem, 2000, 71(1):67-70.
- [22] 张建树. 脂肪酸组成与内源抗氧化剂对不同品种花生油稳定性的影响[D]. 北京:中国农业科学院, 2012.

odor issues [M]//APARICIO R, HARWOOD J. Handbook of olive oil. Boston MA: Spring, 2013:261-309.

- [16] ANASTASOPOULOS E, KALOGEROPOULOS N, KALIORA A C, et al. Quality characteristics and antioxidants of *Mavrolia* cv. virgin olive oil [J]. J Am Oil Chem Soc, 2012, 89:253-259.
- [17] FINICELLI M, SQUILLARO T, DI F, et al. Crisco metabolic syndrome, Mediterranean diet, and polyphenols: evidence and perspectives [J]. J Cell Physiol, 2019, 234(5):5807-5826.
- [18] GARCIAMARTINEZ O, RUIZ C, GUTIERREZLBANEZ A. Benefits of olive oil phenolic compounds in disease prevention [J]. Endocr Metab Immun, 2018, 18(4):333-340.