

天然抗氧化剂的联合增效作用对亚麻籽油氧化稳定性和感官特性的影响

李媛媛¹, 潘玲², 张燕¹

(1. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 北京市营养源研究所, 北京 100069)

摘要:以亚麻籽油为研究对象,在60℃加速氧化条件下探讨天然复合抗氧化剂联合作用提高亚麻籽油氧化稳定性的作用机理。通过测定过氧化值、酸值、*p*-茴香胺值和硫代巴比妥酸值指标研究亚麻籽油氧化稳定性的变化趋势,通过气相色谱质谱联用研究复合抗氧化剂对脂肪酸组成的影响,运用感官评价探讨最优复合抗氧化剂对亚麻籽油品质的影响。结果表明:0.07%粉状迷迭香提取物和0.07%油状迷迭香提取物联合0.01% V_E添加的亚麻籽油过氧化值由0 d的0.23 meq/kg增加到24 d的3.18 meq/kg,酸值(KOH)由0 d的0.40 mg/g增加到24 d的0.66 mg/g;和对照组相比,其*p*-茴香胺值和硫代巴比妥酸值在贮藏期内显著降低($P < 0.05$);在24 d加速氧化实验中,亚麻酸含量仅下降0.82%,亚油酸、油酸含量增加;感官评价结果表明添加此组复合抗氧化剂后氧化的亚麻籽油稍有天然提取物的风味,但不影响感官评分。综上,天然复合抗氧化剂联合使用(粉状迷迭香提取物、油状迷迭香提取物、V_E)对亚麻籽油具有良好的抗氧化效果。

关键词:亚麻籽油;复合抗氧化剂;氧化稳定性;脂肪酸组成;感官特性

中图分类号:TS201.6;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)03-0118-06

Effects of combination of natural antioxidants on oxidative stability and sensory characteristics of flaxseed oil

LI Yuanyuan¹, PAN Ling², ZHANG Yan¹

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Institute of Nutritional Resources, Beijing 100069, China)

Abstract: The effects of the combination of natural antioxidants on the improvement of the oxidative stability of flaxseed oil under 60 °C accelerated oxidation condition were investigated. Peroxide value, acid value, *p*-anisidine value and thiobarbituric acid reactive substances were used to study the trends of oxidative stability. The effects of the compound antioxidants on the fatty acid composition were evaluated by gas chromatography – mass spectrometry. The effects of the optimal compound antioxidant on the quality of flaxseed oil were evaluated by sensory evaluation. The results showed that peroxide value increased from 0.23 meq/kg at 0 d to 3.18 meq/kg at 24 d, and acid value increased slightly from 0.40 mgKOH/g at 0 d to 0.66 mgKOH/g at 24 d in the oil with 0.07% powdery rosemary extract, 0.07% oily rosemary extract and 0.01% V_E. Moreover, the increase of *p*-anisidine value and thiobarbituric acid reactive substances reduced significantly compared with the control ($P < 0.05$). The content of linolenic acid decreased by 0.82% and the contents of linoleic acid and oleic acid increased. The addition of 0.07%

收稿日期:2017-07-28;修回日期:2017-12-25

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201303072)

作者简介:李媛媛(1992),女,博士研究生,研究方向为果蔬营养与安全(E-mail)liyuan.1992@163.com。

通信作者:张燕,副教授,博士(E-mail)zhangyan-348@hotmail.com。

powdery rosemary extract, 0.07% oily rosemary extract and 0.01% V_E could partially change the flavor characteristics, while the sensory evaluation unchanged. In summary, the combination of natural antioxidants (powdered rosemary extract, oily rosemary extract and V_E) had a good antioxidant

effect on flaxseed oil.

Key words: flaxseed oil; compound antioxidant; oxidative stability; fatty acid composition; sensory characteristics

亚麻籽(*Linum usitatissimum* L.),又称胡麻籽,属亚麻科一年生或多年生草本植物^[1-2]。通常,亚麻籽含油率为35%~45%,其中, α -亚麻酸高达55%以上,是人体内合成二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸的前体物质^[3-4]。由于我国西北高原地区盛产亚麻籽油,因此其被称为“来自高原的深海鱼油”。但是,由于亚麻籽油中不饱和脂肪酸含量较高,在贮藏过程中,容易发生氧化,因此食品制造商正在寻找各种可利用的成分以提高亚麻籽油的氧化稳定性^[5]。然而,由于合成抗氧化剂存在一定的安全性问题以及消费者对于“天然”产品的偏爱,近年来,天然抗氧化剂如迷迭香提取物、甘草提取物、葡萄多酚、番茄红素、儿茶素类等引起了研究人员的关注^[6-8]。从天然食品中提取的含有羟基和羧基等极性基团的酚类化合物倾向于分布在氧化反应的集中区域,具有显著的清除自由基、抗氧化作用,已被广泛用于食品抗氧化剂领域^[9]。

本文以亚麻酸相对含量较高的亚麻籽油为研究对象,在60℃加速氧化条件下探讨天然抗氧化剂(粉状迷迭香提取物、油状迷迭香提取物、葡萄多酚、 V_E)单一和联合作用对其过氧化值、酸值、 p -茴香胺值和硫代巴比妥酸值(TBARS)和脂肪酸组成及含量的影响,最后进行最优抗氧化组的感官分析,从理化和感官特性入手,筛选出较好的抗亚麻籽油氧化的天然、高效脂溶性抗氧化剂,以期为亚麻籽油的贮藏提供支持,并为后续研究不同食用油脂产品提供一定的理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

爱度压榨一级亚麻籽油,河北古恩瑞斯生物科技有限公司;粉状迷迭香提取物(含25%鼠尾草酸),贵州红星发展都匀绿友有限责任公司;油状迷迭香提取物(含5%鼠尾草酸),贵州红星发展都匀绿友有限责任公司;葡萄多酚提取物(95%),陕西天行健生物化工技术有限公司; V_E 、无水碳酸钠、1,1,3,3-四乙氧基丙烷等,均为分析纯,实验中所用的水均为超纯水。

DDHZ-300台式恒温振荡器;HH-4数显恒温水浴锅;7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪,美国安捷伦科技有限公司;BS223S有机系滤膜,德国Sartorius公司;DB-5毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m),美国安捷伦科技有限公司;UV-1800紫外可见光分光光度计,日本岛津公司;RS-20A xs荧光检测器,日本岛津国际贸易有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备

通过预实验从9种类型的天然抗氧化剂中筛选出3种较好的抗亚麻籽油氧化的天然抗氧化剂,以200 g亚麻籽油为基准,天然抗氧化剂的种类和最适添加量分别为0.07%粉状/油状迷迭香提取物、0.04%葡萄多酚提取物。本实验按0.07%粉状/油状迷迭香提取物、0.04%葡萄多酚提取物的两两复合以及复合抗氧化剂分别与200 g亚麻籽油的0.01% V_E 复配增效,制成待测样品。亚麻籽油常温条件下氧化速度缓慢,本实验选用温度为(60 \pm 1)℃的加速氧化实验,每隔24 h调换实验样品在烘箱中位置,并隔4 d取样,分别在实验0、4、8、12、16、20、24 d进行指标的测定。

1.2.2 测定方法

过氧化值的测定:参照GB/T 5538—2005的方法。酸值的测定:参照GB/T 5530—2005的方法。 p -茴香胺值测定:参照GB/T 24304—2009的方法。硫代巴比妥酸值测定:参照GB/T 5009.181—2003的方法。脂肪酸组成和含量测定:参照GB 5413.27—2010婴幼儿食品和乳品中脂肪酸测定的方法,并略作修改,采用气相色谱质谱联用(GC-MS)的方法测定油样中的脂肪酸组成和含量^[10]。

1.2.3 感官评价

感官评定小组由10名经过专业培训的优选评价员组成,参照GB/T 5525—2008进行。样品的滋味测定时,取少量不同处理条件下的亚麻籽油样品注入烧杯中,均匀加温至50℃后,离开热源,用玻璃棒边搅拌边嗅气味,同时品尝。亚麻籽油感官评价标准见表1。

表 1 感官评价评分标准

色泽	透明度	气味、滋味	可接受程度	评分
色泽纯正均一	澄清透明	具有该品种油脂固有的气味,无异味	优,非常喜欢的产品	6
颜色略有加深	澄清透明	具有该品种油脂固有的气味,稍有天然抗氧化剂的风味,稍微有其他异味	良,比较喜欢的产品	5
颜色加深	澄清透明	具有该品种油脂固有的气味,有天然抗氧化剂的风味,稍微有其他异味	中,可以接受的产品	4
颜色加深,有杂色	澄清透明	具有该品种油脂固有的气味,有明显的天然抗氧化剂的风味,有其他异味	较差,比较不喜欢的产品	3
颜色深,杂色明显	澄清透明	具有该品种油脂固有的气味,有强烈的天然抗氧化剂的风味,有明显的其他异味	差,非常不喜欢的产品	1~2

1.2.4 统计分析

每个实验重复至少 3 次,结果以“平均值 \pm 标准差”的形式表示,数据统计分析采用 Statistix 8.1 软件包中 Linear Models 程序进行,差异显著性 ($P < 0.05$) 分析使用 Tukey HSD 程序,采用 Origin 8.1 制

图软件作图。

2 结果与分析

2.1 单一抗氧化剂对亚麻籽油氧化稳定性的影响 (见图 1)

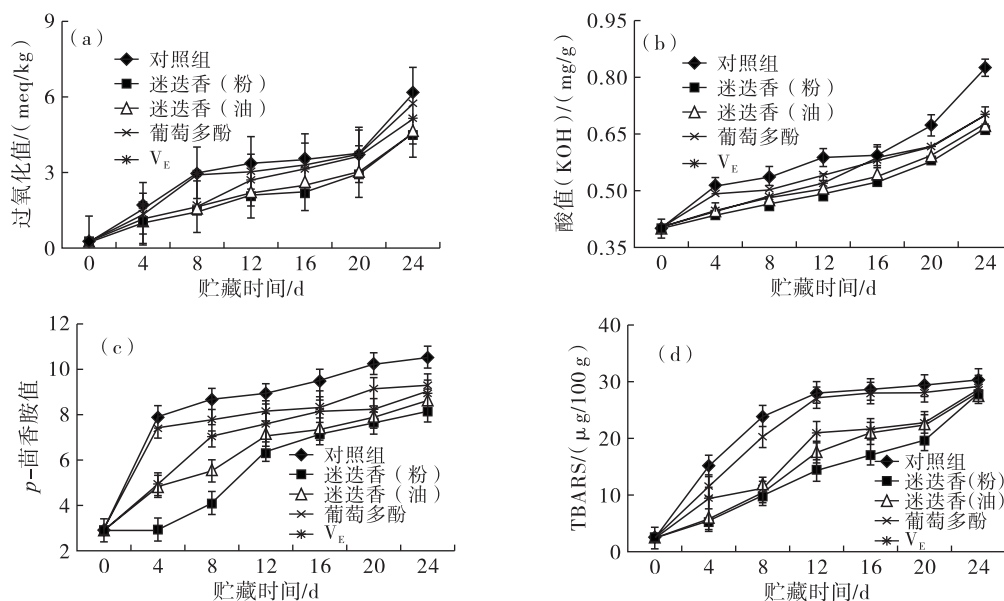


图 1 单一抗氧化剂对亚麻籽油过氧化值、酸值、*p*-茴香胺值和硫代巴比妥酸值的影响

从图 1 可以看出,在 24 d 加速氧化实验过程中,各实验组的过氧化值、酸值、*p*-茴香胺值、TBARS 均随着贮藏时间的延长而逐渐增大,且和对照组相比,添加单一天然抗氧化剂可以显著降低各实验组的过氧化值、酸值、*p*-茴香胺值、TBARS ($P < 0.05$)。4 种天然抗氧化剂(0.07% 粉状迷迭香提取物、0.07% 油状迷迭香提取物、0.04% 葡萄多酚和 0.01% V_E)对亚麻籽油的总体抗氧化效果为:0.07% 粉状迷迭香提取物 $>$ 0.07% 油状迷迭香提取物 $>$ 0.01% V_E $>$ 0.04% 葡萄多酚。后续实验研究复合抗氧化剂对亚麻籽油稳定性的影响,探讨不同抗氧化剂之间的协同抗氧化作用机制。

2.2 复合抗氧化剂对亚麻籽油过氧化值的影响

将 0.07% 粉状迷迭香提取物(简称迷)、0.07%

油状迷迭香提取物(简称油)和 0.04% 葡萄多酚(简称葡)两两组合,再分别与 0.01% V_E 互配,研究其对亚麻籽油过氧化值的影响,结果如图 2 所示。

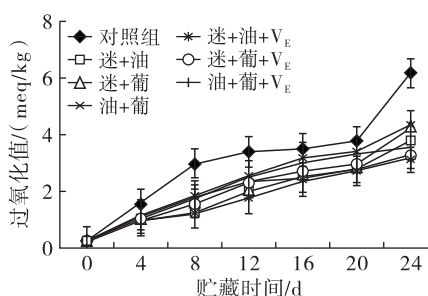


图 2 复合抗氧化剂对亚麻籽油过氧化值的影响

从图 2 可以看出,在贮藏期内,以粉状迷迭香提取物和油状迷迭香提取物联合 V_E 复配添加的亚麻

籽油过氧化值由贮藏0 d的0.23 meq/kg增加到24 d的3.18 meq/kg,在各复配天然抗氧化剂组表现出最低的过氧化值,且和对照组相比,添加抗氧化剂的实验组在贮藏期间显著降低了过氧化值($P < 0.05$)。本实验表明复合抗氧化剂的添加明显推迟了亚麻籽油发生氧化酸败的时间。主要原因为复合抗氧化剂的作用增加了游离基含量,游离基之间进一步相互作用,生成新的酚类物质,该酚类物质又将作为抗氧化剂,结合体系中自由基并生成醌类物质,从而增加了抗氧化效果^[11]。值得注意的是,有研究表明 V_E 作为亚麻籽油的一种抗氧化增效剂,其较好抗氧化效力的发挥还需考虑浓度,本研究据预实验选择0.01%的 V_E ,因此其可以更好地发挥抗氧化性能。

2.3 复合抗氧化剂对亚麻籽油酸值的影响

复合抗氧化剂对亚麻籽油酸值的影响如图3所示。

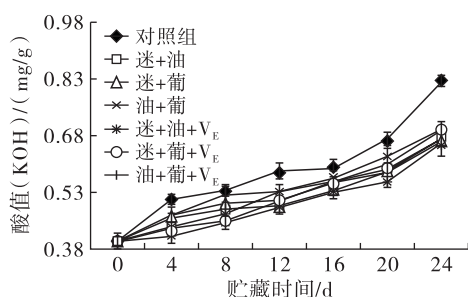


图3 复合抗氧化剂对亚麻籽油酸值的影响

从图3可以看出,在贮藏期间,未添加任何天然抗氧化剂的对照组,其酸值(KOH)增加最高,达到了0.83 mg/g;粉状迷迭香提取物、油状迷迭香提取物与 V_E 复合添加的亚麻籽油,其酸值(KOH)由贮藏0 d的0.40 mg/g增加到24 d的0.66 mg/g,是所有实验组中酸值增加最低的;而油状迷迭香提取物与葡萄多酚复合添加组,在所有复配组中,其酸值增加最多,贮藏24 d的酸值(KOH)为0.70 mg/g,但各实验组的酸值(KOH)均未超出植物油国标规定值4.0 mg/g,且和对照组相比,添加抗氧化剂的实验组在贮藏期间均显著降低了酸值($P < 0.05$)。

本实验中添加 V_E 的各复合添加组,其酸值增加的均相对较低。Zhou等^[12]研究了 α -生育酚复合绿茶多酚对食用油的抗氧化效果,结果表明,复合作用要比单一的 α -生育酚或绿茶多酚的抗氧化效果好。可能因为 V_E 作为一种含有酚羟基的主抗氧化剂,能给予氢供体与自由基结合,当其抗氧化浓度较合适时,表现出一定的抗氧化效果,这与本实验 V_E 复合作用的研究结果一致。

2.4 复合抗氧化剂对亚麻籽油 p -茴香胺值的影响

复合抗氧化剂对亚麻籽油 p -茴香胺值的影响如图4所示。

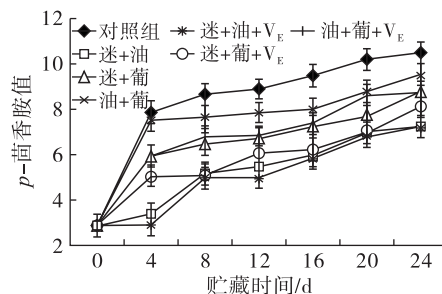


图4 复合抗氧化剂对亚麻籽油 p -茴香胺值的影响

从图4可以看出,在贮藏期内,添加0.07%粉状迷迭香提取物和0.07%油状迷迭香提取物联合0.01% V_E 的亚麻籽油,其 p -茴香胺值由贮藏0 d的2.87增加到24 d的7.24,是所有实验组中最低的;而0.07%油状迷迭香提取物和0.04%葡萄多酚的复合组,在贮藏24 d时,其 p -茴香胺值为9.54,仅低于对照组(10.50),但各复合天然抗氧化剂组的 p -茴香胺值均未超出食用油酸败变质指标值10,且和对照组相比,添加各组复合抗氧化剂的实验组在贮藏期间表现出良好的抗氧化性能,显著地降低了 p -茴香胺值($P < 0.05$)。

本实验中, V_E 的添加进一步起到增效的作用,显著降低了亚麻籽油的 p -茴香胺值($P < 0.05$)。Che等^[6]通过过氧化值和 p -茴香胺值两个植物油品质评价指标分别分析红花籽油、葵花籽油、菜籽油和橄榄油的氧化稳定性,以过氧化值表征植物油的初级氧化产物,以 p -茴香胺值表征植物油次级氧化产物的变化趋势,研究结果表明,植物油中因有不同含量的 V_E 而表现出不同的氧化稳定性,合适含量的 V_E 具有较好的抗氧化作用。Lampi等^[13]研究了 α -生育酚对菜籽油甘油三酯氧化的促进和抑制作用,由于菜籽油中含有27 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 的内源抗氧化因子,当外加 V_E 作为天然抗氧化剂时,其浓度过高而不能表现出较好的抗氧化作用。Afaf^[14]分析了生育酚在植物油中的抗氧化效果下降的原因主要是 α -生育酚虽具有强烈的清除自由基能力,但在植物油中因增加了链诱导反应的速率而部分减弱了其抗氧化能力。

2.5 复合抗氧化剂对亚麻籽油硫代巴比妥酸值的影响

复合抗氧化剂对亚麻籽油TBARS的影响如图5所示。

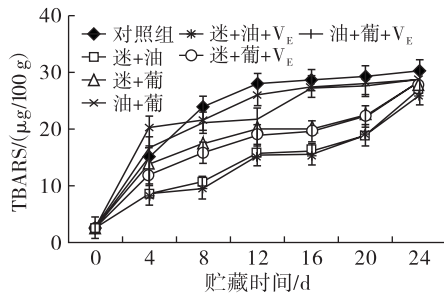


图5 复合抗氧化剂对亚麻籽油硫代巴比妥酸值的影响

从图5可以看出,和对照组相比,添加各组复合抗氧化剂的实验组在贮藏期间表现出一定的抑制氧化的能力,显著地降低了亚麻籽油的TBARS ($P < 0.05$)。在24 d的加速氧化实验过程中,以粉状迷迭香提取物+油状迷迭香提取物和粉状迷迭香提取物+油状迷迭香提取物+ V_E 这两种复配方式的抗氧化效果较好。贮藏24 d空白对照组TBARS为 $30.40 \mu\text{g}/100 \text{g}$,而粉状迷迭香提取物+油状迷迭香提取物的添加组和粉状迷迭香提取物+油状迷迭香提取物+ V_E 的添加组的TBARS分别为 $27.15 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 和 $26.11 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 。

从图5还可以看出,贮藏4 d时油状迷迭香提取物+葡萄多酚添加组和油状迷迭香提取物+葡萄

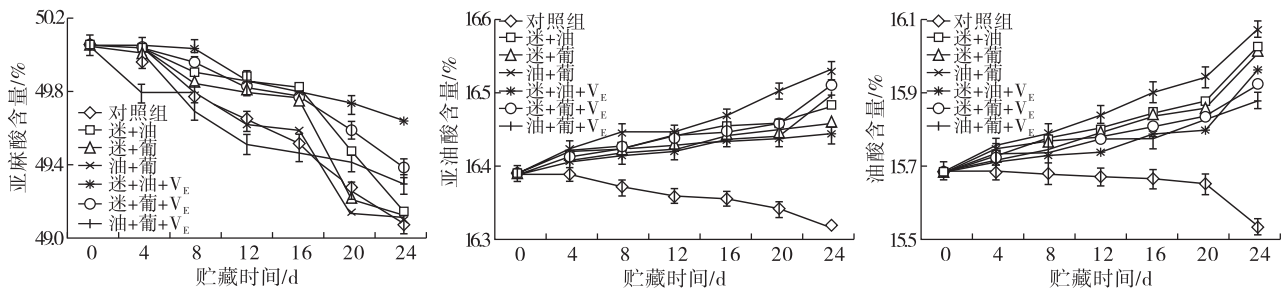


图6 复合抗氧化剂对亚麻籽油不饱和脂肪酸含量的影响

从图6可以看出,在24 d贮藏期内,添加复合抗氧化剂的亚麻籽油中亚油酸和油酸含量呈现逐渐增加的变化趋势,而亚麻酸含量逐渐减少,其中 0.07% 粉状迷迭香提取物和 0.07% 油状迷迭香提取物、 V_E 的复合作用较好。粉状迷迭香提取物+油状迷迭香提取物+ V_E 实验组中亚麻酸含量在贮藏0 d为 50.05% ,在贮藏24 d仅降低到 49.64% ,说明该复合组和对照组相比显著抑制了亚麻酸含量的减少 ($P < 0.05$)。Nelson等^[15]研究表明不饱和脂肪酸相对氧化速度随不饱和双键数目的不同而不同,双键数目越多,氧化速度越快。由于亚麻籽油的多不饱和脂肪酸含量相对较高(亚麻酸和亚油酸的总含量为 66.44%),在加速氧化过程中,其先发生饱和加氢作用,逐渐增加了亚油酸和油酸含量。同时,亚麻籽油中的亚麻酸相对含量(50.05% 左右)

多酚+ V_E 添加组的亚麻籽油的TBARS分别为 $20.41 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 和 $16.80 \mu\text{g}/100 \text{g}$,均高于TBARS为 $15.18 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 的空白对照组。两种或两种以上天然抗氧化剂进行复合抗氧化作用时,其抗氧化效果的好坏还依赖于不同抗氧化剂种类和性质^[4]。葡萄多酚与油状迷迭香提取物进行复合过程中,可能在亚麻籽油氧化的初期产生了促进亚麻籽油氧化的物质,因而,其各添加组的TBARS比空白对照组的较高。此外,由于单一粉状迷迭香提取物和单一油状迷迭香提取物的抗氧化效果都较好,当两者进行复合时,其抗氧化能力因相互补充和相互支持而表现出更优的复合抗氧化效果,这也证明了以粉状迷迭香提取物+油状迷迭香提取物复合的各天然抗氧化剂添加组其抗氧化效果较优。

2.6 复合抗氧化剂对亚麻籽油脂肪酸组成和含量的影响

采用GC-MS测定亚麻籽油脂肪酸组成,分析脂肪酸组成随贮藏时间变化趋势,进而通过脂肪酸组成探究亚麻籽油的氧化程度。复合抗氧化剂对亚麻籽油中不饱和脂肪酸亚麻酸、亚油酸和油酸含量的影响如图6所示。

比亚油酸的(16.39% 左右)高得多,因氧化生成亚油酸的速度比亚麻籽油中亚油酸的降解速度快,从而增加了亚油酸的含量。因此,当少量的亚麻酸被氧化后,亚油酸会很快发生氧化反应,逐渐增加了油酸含量,而亚麻酸自身含量越来越低。

2.7 感官评价

对原样、添加最佳复合抗氧化剂(0.07% 粉状迷迭香提取物+ 0.07% 油状迷迭香提取物+ $0.01\% V_E$)的亚麻籽油、氧化24 d的亚麻籽油、添加最佳复合抗氧化剂氧化24 d的亚麻籽油4组样品进行感官评价,研究复合抗氧化剂对感官特性的影响,结果见表2。

从表2可以看出,原样亚麻籽油感官评分最高,平均值为 5.88 ,说明原样色泽纯正均一、澄清透明,具有亚麻籽油固有的滋味和气味,无异味,具有很高

的市场接受性;但是氧化 24 d 的亚麻籽油颜色略微加深,状态澄清透明,尽管具有亚麻籽油固有的气味,但是有一定的异味,说明氧化导致亚麻籽油的风味发生变化,消费者可接受性降低,因此其感官评分平均值为 3.50。添加复合抗氧化剂的油样和原样相比,稍有天然提取物的风味,但是对感官评分的影响较小。添加复合抗氧化剂氧化 24 d 的油样和添加复合添加剂未氧化的样品相比,感官评分较接近,且差异不显著,添加复合抗氧化剂氧化 24 d 的油样和氧化 24 d 的油样相比,感官评分显著提高,两组对比结果证明了添加复合抗氧化剂可以起到很好地抑制油脂氧化的效果。综合考虑 4 组样品的感官评分结果,证明氧化增加了亚麻籽油的异味,添加复合抗氧化剂后亚麻籽油稍微有天然提取物的风味,但对感官评分的影响不大。

表 2 感官评价评分

评价员	原样	添加复合抗氧化剂亚麻籽油	氧化亚麻籽油	添加复合抗氧化剂氧化亚麻籽油
1	5.8	5.4	3.7	5.2
2	6.0	5.5	3.8	5.2
3	5.9	5.2	3.1	5.4
4	5.7	5.6	3.0	5.6
5	5.9	5.8	3.5	5.3
6	6.0	5.6	3.3	5.1
7	5.8	5.4	3.9	5.7
8	6.0	5.6	3.4	5.3
9	5.8	5.7	3.6	5.7
10	5.9	5.6	3.7	5.4
平均	5.88 ± 0.10 ^A	5.54 ± 0.17 ^B	3.50 ± 0.30 ^C	5.39 ± 0.21 ^B

3 结论

本文通过单一抗氧化剂、天然复合抗氧化剂对亚麻籽油进行处理,结果表明复合抗氧化剂可有效降低亚麻籽油在贮藏期内的过氧化值、酸值、*p*-茴香胺值、TBARS,其中 0.07% 粉状迷迭香提取物 + 0.07% 油状迷迭香提取物 + 0.01% V_E 显著提高了亚麻籽油的氧化稳定性,具有较好的抑制亚麻籽油氧化的效果。贮藏 24 d 添加复合抗氧化剂的亚麻籽油亚麻酸含量轻微降低,而亚油酸含量和油酸含量增加。感官评价结果表明添加此组复合抗氧化剂后氧化的亚麻籽油稍有天然提取物的风味,但是可有效减少亚麻籽油氧化所产生的异味,且添加此组复合抗氧化剂不影响感官评分。本研究筛选出了较好的抗亚麻籽油氧化的天然、高效脂溶性抗氧化

剂,为后续研究不同食用油脂产品提供了一定的理论指导依据。

参考文献:

- [1] PAN Y M, ZHU J C, WWANG H S, et al. Antioxidant activity of ethanolic extract of cortex fraxini and use in peanut oil[J]. *Food Chem*, 2007, 103: 913–918.
- [2] 林凤英,林志光,邱国亮,等. 亚麻籽的功能成分及应用研究进展[J]. *食品工业*, 2014(2): 220–223.
- [3] 温运启,刘玉兰,王璐阳,等. 不同食用植物油中维生素 E 组分及含量研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 35–39.
- [4] 刘云花,杨颖,胡晖,等. 花生油风味物质解析及风味增强研究进展[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 30–34.
- [5] 柴向华,吴克刚,翟柱成,等. 香料植物提取物对亚麻籽油抗氧化作用[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(4): 187–189.
- [6] CHE M Y B, TAN C P. Effects of natural and synthetic antioxidants on changes in refined, bleached, and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1999, 76(3): 331–339.
- [7] RAMESH R Y, BROOK H, ANDREW P. Effect of antioxidants on soy oil conjugated linoleic acid production and its oxidative stability[J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59: 7377–7384.
- [8] 周旭. 几种油溶性天然抗氧化剂在核桃油、葡萄籽油中的应用研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 64–68.
- [9] 杨雪艳,聂开立,林凤,等. 亚麻籽功能成分的综合提取工艺研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(1): 116–120, 124.
- [10] 王劲. 复合抗氧化剂对亚麻油稳定性的影响[J]. *食品与机械*, 2015, 31(1): 120–123.
- [11] MUSA O. Antioxidant activities of rosemary, sage and sumac extracts and their combinations on stability of natural peanut oil[J]. *J Med Food*, 2003, 6(3): 267–270.
- [12] ZHOU B, WU L M, YANG L. Evidence for α -tocopherol regeneration reaction of green tea polyphenols in SDS micelles[J]. *Free Rad Biol Med*, 2005, 38(1): 78–84.
- [13] LAMPI A M, KATAJA L, ELDIN A K. Antioxidant activities of α -tocopherols and β -tocopherols in the oxidation of rapeseed oil triacylglycerols[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1999, 76: 749–755.
- [14] AFAT K E. Effect of fatty acids and tocopherols on the oxidative stability of vegetable oils[J]. *Food Chem*, 2006, 58: 1051–1061.
- [15] NELSON R G, CARLOS A G. Lipid, protein, and ash contents, and fatty acid and sterol composition of peanut seeds from Ecuador[J]. *Peanut Sci*, 1995, 22: 84–89.