

特种油脂

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

周旭^{1,2}

(1. 浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058; 2. 杭州市粮油中心检验监测站, 杭州 310003)

摘要:对茶多酚棕榈酸酯、抗坏血酸棕榈酸酯、迷迭香提取物、维生素 E 在核桃油和葡萄籽油中的抗氧化能力和 4 种油溶性天然抗氧化剂相互之间的增效作用进行了研究。采用响应面方法 D-最优设计进行试验,测定添加了各种抗氧化剂的核桃油和葡萄籽油的氧化稳定性,并进行感官评价。对试验数据进行方差分析并构建回归模型,将添加了抗氧化剂的核桃油和葡萄籽油的感官评价结果控制在可接受范围内,优化出抗氧化效果最佳的复配配方。该配方在核桃油和葡萄籽油中分别为:茶多酚棕榈酸酯 0.40 g/kg,抗坏血酸棕榈酸酯 0.02 g/kg,迷迭香提取物 0.15 g/kg;茶多酚棕榈酸酯 0.39 g/kg,抗坏血酸棕榈酸酯 0.04 g/kg,迷迭香提取物 0.11 g/kg。

关键词:天然抗氧化剂;核桃油;葡萄籽油;氧化稳定性;感官评价

中图分类号:TS225.1;TS202.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2017)03-0064-05

Application of oil soluble natural antioxidants in walnut oil and grape seed oil

ZHOU Xu^{1,2}

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Hangzhou Grain and Oil Central Inspection Station, Hangzhou 310003, China)

Abstract:The antioxidant capacities and synergistic effect of four oil soluble natural antioxidants (tea polyphenol palmitate, ascorbyl palmitate, rosemary extract and vitamin E) on walnut oil and grape seed oil were studied. The oxidation stabilities of walnut oil and grape seed oil added with different antioxidants were determined by D-optimal design of response surface methodology, and the sensory evaluation was conducted. The experimental data were utilized to carry out analysis of variance (ANOVA) and develop a polynomial regression model. The sensory evaluation results of walnut oil and grape seed oil added with antioxidants were kept in an acceptable scope to optimize the compound formula with the best antioxidant effect. The optimal compound formula were obtained as follows: tea polyphenol palmitate 0.40 g/kg, ascorbyl palmitate 0.02 g/kg, rosemary extract 0.15 g/kg in walnut oil and tea polyphenol palmitate 0.39 g/kg, ascorbyl palmitate 0.04 g/kg, rosemary extract 0.11 g/kg in grape seed oil.

Key words:natural antioxidant; walnut oil; grape seed oil; oxidation stability; sensory evaluation

核桃油和葡萄籽油中不饱和脂肪酸含量较高,很容易发生氧化,从而引起油脂风味改变和营养损失,且其氧化后的产物对人体有害^[1-2]。为了防止油脂氧化变质,常在油脂中加入抗氧化剂,以延缓油

脂氧化,延长油脂贮存期^[3]。抗氧化剂按其溶解性可分为水溶性抗氧化剂、油溶性抗氧化剂和兼溶性抗氧化剂^[4]。油脂中通常添加的是油溶性抗氧化剂,可以直接溶解在油脂中,操作较为简便,很容易对其使用量进行控制。根据抗氧化剂的来源不同,可分为人工合成抗氧化剂和天然抗氧化剂两类^[5]。人工合成的抗氧化剂生产便捷、成本较低、抗氧化效果显著,然而其存在一定的安全性隐患^[6-7]。随着

收稿日期:2016-07-20;修回日期:2016-12-28

作者简介:周旭(1983),男,工程师,主要从事粮油产品检测工作(E-mail)zhouxu1983@126.com。

人们生活水平的提高,消费者的健康意识也在不断增强,因此研究如何利用天然抗氧化剂成为当务之急^[8-9]。

本文通过测定植物油的氧化稳定性,对国标中允许使用的茶多酚棕榈酸酯、抗坏血酸棕榈酸酯、迷迭香提取物、维生素 E 这 4 种天然抗氧化剂进行研究,以期能够分别找出这 4 种抗氧化剂在核桃油与葡萄籽油中的最佳配比方案,并对添加了抗氧化剂的油脂进行感官评价。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

核桃油、葡萄籽油(不含抗氧化剂)由山东富世康生物科技有限公司提供。茶多酚棕榈酸酯由杭州普丽美地生物科技有限公司提供,迷迭香提取物(鼠尾草酸 $\geq 20.0\%$)由浙江惠松制药有限公司提供,抗坏血酸棕榈酸酯、维生素 E(*dl*- α -生育酚)由上海阿拉丁生化科技有限公司提供。

1.1.2 仪器与设备

十万分之一分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;功率可调台式加热超声波清洗器,上海科导超声仪器有限公司;743 型油脂氧化稳定性测试仪,瑞士 Metrohm 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 植物油试样的准备

在具塞试管中准确称取所需剂量的抗氧化剂,加入 50.00 g 植物油,混匀,30℃ 超声 15 min,使抗氧化剂完全溶解。

1.2.2 油脂氧化稳定性测定

准确称取准备好的植物油试样 3.00 g,设定加热温度 130℃,空气流量 15 L/h,按照 GB/T 21121—2007《动植物油脂 氧化稳定性的测定(加速氧化测试)》进行试验,试验结果用 *Pf*(protection factor) 值表示^[10],*Pf* 值越大表明抗氧化效果越好。

$$Pf \text{ 值} = \frac{\text{添加抗氧化剂油样的诱导时间}}{\text{空白油样的诱导时间}}$$

1.2.3 感官评价

植物油的感官评价小组由 10 名经过专业培训的优选评价员组成,感官评价方法及相关要求参照 GB/T 5525—2008《植物油脂 透明度、气味、滋味鉴定法》。取少量油脂样品注入烧杯中,均匀加温至 50℃ 后,离开热源,用玻棒边搅边嗅气味,同时品尝样品的滋味。所有评价员需要对油脂样品的气味和风味进行评价,并对总体的可接受度按 6 分制进行打分^[11]:1 分为非常讨厌,6 分为非常喜欢,4 分以

上(包括 4 分)认为总体上可以接受。

1.2.4 试验设计

1.2.4.1 单个天然抗氧化剂的抗氧化效果

将茶多酚棕榈酸酯、抗坏血酸棕榈酸酯、迷迭香提取物、维生素 E 分别添加到未添加抗氧化剂的葡萄籽油与核桃油中。维生素 E 允许的最大使用量在国标中没有明确要求,按 0.40 g/kg 进行添加,其余几种抗氧化剂按 GB 2760—2014 允许的最大使用量进行添加,同时以未添加抗氧化剂的油样作空白对照,测定其氧化稳定性。

1.2.4.2 天然抗氧化剂的筛选

对茶多酚棕榈酸酯、抗坏血酸棕榈酸酯、迷迭香提取物、维生素 E 这 4 种天然抗氧化剂相互之间是否有增效作用进行筛选试验,抗氧化剂的添加水平与试验分组情况见表 1^[12-13]。组合 1 为添加了上述 4 种抗氧化剂的试验组,组合 2~组合 5 中为添加了其中 3 种抗氧化剂的不同组合,组合 6 为空白对照组。分别测试这 6 个试验组的氧化稳定性,测定方法同 1.2.2。根据试验结果,将没有增效作用的组分从配方中剔除。

表 1 天然抗氧化剂的试验分组

抗氧化剂	添加量/ (g/kg)	组合					
		1	2	3	4	5	6
茶多酚棕榈酸酯	0.60	√	√	√	√	×	×
抗坏血酸棕榈酸酯	0.20	√	√	√	×	√	×
维生素 E	0.40	√	√	×	√	√	×
迷迭香提取物	0.70	√	×	√	√	√	×

注:√表示含有该种抗氧化剂组分,×表示不含有该种抗氧化剂组分。

2 结果与分析

2.1 单个天然抗氧化剂的抗氧化效果

本次试验选取的 4 种天然抗氧化剂的氧化稳定性测试结果如表 2 所示。

表 2 单个天然抗氧化剂的抗氧化效果

抗氧化剂	添加量/ (g/kg)	<i>Pf</i> 值	
		核桃油	葡萄籽油
迷迭香提取物	0.70	1.81	1.59
茶多酚棕榈酸酯	0.60	1.66	1.51
维生素 E	0.40	1.10	1.10
抗坏血酸棕榈酸酯	0.20	1.54	1.34

从表 2 可以看出,4 种抗氧化剂在核桃油和葡萄籽油中均表现出一定的抗氧化效果,其中迷迭香提取物、茶多酚棕榈酸酯、抗坏血酸棕榈酸酯抗氧化效果较强,维生素 E 的抗氧化效果较弱。Yoshida (1993 年)曾报道,维生素 E 在浓度高于万分之五时

无更明显的抗氧化效果($P > 0.05$)^[14]。因此,维生素 E 的抗氧化效果较弱可能是由于核桃油和葡萄籽油本身富含维生素 E 的缘故。

2.2 天然抗氧化剂的筛选(见表 3)

表 3 天然抗氧化剂的分组试验结果

组合	Pf 值	
	核桃油	葡萄籽油
1	2.48	2.32
2	2.27	2.08
3	2.76	2.41
4	1.95	1.88
5	2.09	1.85
6	1.00	1.00

根据表 2、表 3 的数据,将组合 2~组合 5 的数据与组合 1 的数据进行比较,不论是核桃油还是葡萄籽油,组合 2、4、5 的 Pf 值均小于组合 1,而组合 3 的 Pf 值大于组合 1,同时组合 2、4、5 的 Pf 值均大于单个抗氧化剂的 Pf 值。这就表明茶多酚棕榈酸酯、迷迭香提取物、抗坏血酸棕榈酸酯具有协同增效作用,而维生素 E 的加入起到了反作用。这可能因为维生素 E 本身有很强的抗氧化能力,其可以通过阻止链传递或阻止过氧化物的分解来延缓或阻止油脂的氧化,但其添加量应严格控制,过高浓度的 α -生

育酚自由基本身可分解为氢过氧化物促使过氧自由基增多,进而导致油脂氧化^[15]。而核桃油和葡萄籽油中本身就含有丰富的维生素 E,继续添加维生素 E 反而会加速油脂氧化。因此,维生素 E 应从配方中剔除。

2.3 天然抗氧化剂的复配

2.3.1 复配试验设计与结果

试验采用 Design Expert 软件(8.0.6.1 版),选择 D-最优设计,在同时符合 GB 2760—2014 中对抗氧化剂最大使用量的相关要求,及“同一功能的食品添加剂(相同色泽着色剂、防腐剂、抗氧化剂)在混合使用时,各自用量占其最大使用量的比例之和不应超过 1”这一要求的前提下进行设计。将上述试验结果筛选出的 3 种抗氧化剂茶多酚棕榈酸酯添加量(X_1)、抗坏血酸棕榈酸酯添加量(X_2)、迷迭香提取物添加量(X_3)作为 3 个试验因素,以 Pf 值(Y_1)、感官评价结果(Y_2)为响应值,三因素取值范围及限定条件为: $0 \leq X_1 \leq 0.60$; $0 \leq X_2 \leq 0.20$; $0 \leq X_3 \leq 0.70$; $0 \leq 10/6X_1 + 5X_2 + 10/7X_3 \leq 1$ 。试验设计共计 20 个组合,其中包括 10 个最小模型点,5 个失拟项评估点和 5 个重复点,D-最优试验设计及结果如表 4 所示。

表 4 D-最优试验设计及结果

试验号	$X_1/(g/kg)$	$X_2/(g/kg)$	$X_3/(g/kg)$	核桃油		葡萄籽油	
				Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
1	0.00	0.00	0.00	1.01	5.80	0.98	6.00
2	0.00	0.00	0.00	0.97	5.80	1.02	5.80
3	0.30	0.00	0.00	1.33	5.30	1.30	5.20
4	0.30	0.00	0.00	1.35	5.20	1.32	5.30
5	0.60	0.00	0.00	1.66	4.50	1.52	4.40
6	0.60	0.00	0.00	1.65	4.30	1.50	4.50
7	0.00	0.10	0.00	1.27	5.60	1.22	5.60
8	0.30	0.10	0.00	1.67	4.70	1.52	4.70
9	0.30	0.10	0.00	1.63	4.80	1.50	4.80
10	0.00	0.20	0.00	1.40	5.50	1.32	5.50
11	0.00	0.20	0.00	1.43	5.60	1.36	5.50
12	0.20	0.02	0.18	1.59	4.80	1.42	4.80
13	0.05	0.07	0.18	1.46	4.90	1.38	4.90
14	0.05	0.12	0.18	1.56	4.70	1.40	4.70
15	0.00	0.00	0.35	1.60	4.30	1.35	4.30
16	0.15	0.00	0.35	1.67	4.20	1.47	4.20
17	0.30	0.00	0.35	1.76	4.00	1.56	3.90
18	0.00	0.10	0.35	1.63	4.40	1.50	4.40
19	0.05	0.02	0.53	1.76	3.10	1.60	2.90
20	0.00	0.00	0.70	1.81	1.50	1.59	1.60

2.3.2 回归模型的建立与分析

依据表4的数据,采用 Design Expert 软件对以上结果回归分析并建立回归模型,得到各试验因素对响应值的回归方程如下:

$$Y_{1\text{核桃油}} = 0.99094 + 1.24676X_1 + 3.18686X_2 + 2.26554X_3 + 1.34795X_1X_2 - 1.74157X_1X_3 - 6.74300X_2X_3 - 0.23307X_1^2 - 5.30223X_2^2 - 1.56383X_3^2$$

$$Y_{2\text{核桃油}} = 5.81088 - 1.49646X_1 - 4.49453X_2 - 2.73150X_3 - 7.44563X_1X_2 + 2.77927X_1X_3 + 7.66627X_2X_3 - 1.39873X_1^2 + 15.76201X_2^2 - 4.76438X_3^2$$

$$Y_{1\text{葡萄籽油}} = 0.99929 + 1.22877X_1 + 2.70826X_2 + 1.18746X_3 - 0.75851X_1X_2 - 0.99101X_1X_3 - 2.44405X_2X_3 - 0.63078X_1^2 - 5.12576X_2^2 - 0.45041X_3^2$$

$$Y_{2\text{葡萄籽油}} = 5.90910 - 1.96825X_1 - 5.49132X_2 - 3.14630X_3 - 4.97293X_1X_2 + 2.58100X_1X_3 + 9.42594X_2X_3 - 0.75039X_1^2 + 17.17482X_2^2 - 4.32469X_3^2$$

核桃油氧化稳定性测试、感官评价二次多项式模拟方差分析分别见表5、表6。

表5 核桃油氧化稳定性测试二次多项式模拟方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	1.03	9	0.11	199.92	<0.0001
X_1	5.90×10^{-3}	1	5.90×10^{-3}	10.35	0.0092
X_2	4.12×10^{-5}	1	4.12×10^{-5}	0.07	0.7935
X_3	1.06×10^{-5}	1	1.06×10^{-5}	0.02	0.8943
X_1X_2	7.16×10^{-4}	1	7.16×10^{-4}	1.25	0.2889
X_1X_3	0.01	1	0.01	20.41	0.0011
X_2X_3	0.02	1	0.02	32.43	0.0002
X_1^2	6.42×10^{-4}	1	6.42×10^{-4}	1.13	0.3137
X_2^2	2.63×10^{-3}	1	2.63×10^{-3}	4.60	0.0575
X_3^2	0.04	1	0.04	60.52	<0.0001
残差	5.71×10^{-3}	10	5.71×10^{-4}		
失拟项	3.41×10^{-3}	5	6.82×10^{-4}	1.48	0.3386
绝对偏差	2.30×10^{-3}	5	4.60×10^{-4}		
总和	1.03	19			

由表5可知,核桃油 Pf 值模型回归极显著 ($P < 0.01$) 且失拟项不显著 ($P > 0.05$), R^2 为 0.9945, 显示该方程拟合良好。在因素水平范围内,各因素对核桃油 Pf 值响应值的影响排序为: $X_1 > X_2 > X_3$ 。在该值模型中 X_1 的一次项、 X_3 的二次项、 X_1 和 X_3 的交互项、 X_2 和 X_3 的交互项对核桃油 Pf 值的影响达到极显著水平 ($P < 0.01$), 表明各试验因素对响应值并不是简单的线性关系。

由表6可知,核桃油感官评价模型回归极显著 ($P < 0.01$) 且失拟项不显著 ($P > 0.05$), R^2 为 0.9927, 显示该方程拟合良好。在因素水平范围

内,各因素对核桃油感官评价响应值的影响排序为: $X_3 > X_1 > X_2$ 。在该值模型中 X_3 的一次项、 X_3 的二次项对核桃油感官评价的影响达到极显著水平 ($P < 0.01$), 表明各试验因素对响应值并不是简单的线性关系。

表6 核桃油感官评价二次多项式模拟方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	19.15	9	2.13	151.80	<0.0001
X_1	0.07	1	0.07	4.68	0.0558
X_2	1.13×10^{-3}	1	1.13×10^{-3}	0.08	0.7825
X_3	0.31	1	0.31	22.45	0.0008
X_1X_2	0.02	1	0.02	1.56	0.2404
X_1X_3	0.03	1	0.03	2.12	0.1765
X_2X_3	0.02	1	0.02	1.71	0.2207
X_1^2	0.02	1	0.02	1.65	0.2279
X_2^2	0.02	1	0.02	1.66	0.2272
X_3^2	0.32	1	0.32	22.87	0.0007
残差	0.14	10	0.01		
失拟项	0.11	5	0.02	3.00	0.1263
绝对偏差	0.04	5	8.00×10^{-3}		
总和	19.29	19			

葡萄籽油氧化稳定性测试、感官评价二次多项式模拟方差分析分别见表7、表8。

表7 葡萄籽油氧化稳定性测试二次多项式模拟方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	0.54	9	0.06	92.85	<0.0001
X_1	2.70×10^{-3}	1	2.70×10^{-3}	4.19	0.0678
X_2	5.10×10^{-4}	1	5.10×10^{-4}	0.79	0.3948
X_3	1.72×10^{-3}	1	1.72×10^{-3}	2.67	0.1330
X_1X_2	2.27×10^{-4}	1	2.27×10^{-4}	0.35	0.5663
X_1X_3	3.77×10^{-3}	1	3.77×10^{-3}	5.85	0.0361
X_2X_3	2.43×10^{-3}	1	2.43×10^{-3}	3.77	0.0808
X_1^2	4.70×10^{-3}	1	4.70×10^{-3}	7.30	0.0222
X_2^2	2.45×10^{-3}	1	2.45×10^{-3}	3.81	0.0795
X_3^2	2.86×10^{-3}	1	2.86×10^{-3}	4.45	0.0612
残差	6.44×10^{-3}	10	6.44×10^{-4}		
失拟项	4.24×10^{-3}	5	8.48×10^{-4}	1.93	0.2442
绝对偏差	2.20×10^{-3}	5	4.40×10^{-4}		
总和	0.54	19			

由表7可知,葡萄籽油 Pf 值模型回归极显著 ($P < 0.01$) 且失拟项不显著 ($P > 0.05$), R^2 为 0.9882, 显示该方程拟合良好。在因素水平范围内,各因素对葡萄籽油 Pf 值响应值的影响排序为: $X_1 > X_3 > X_2$ 。在该值模型中 X_1 的二次项、 X_1 和 X_3 的交互项对葡萄籽油 Pf 值的影响达到显著水平 ($P < 0.05$), 表明各试验因素对响应值并不是简单的线性关系。

表8 葡萄籽油感官评价二次多项式模拟方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	19.59	9	2.18	154.59	<0.000 1
X_1	0.06	1	0.06	4.25	0.066 2
X_2	8.78×10^{-5}	1	8.78×10^{-5}	6.24×10^{-3}	0.938 6
X_3	0.31	1	0.31	22.26	0.000 8
X_1X_2	9.74×10^{-3}	1	9.74×10^{-3}	0.69	0.424 9
X_1X_3	0.03	1	0.03	1.82	0.207 5
X_2X_3	0.04	1	0.04	2.57	0.140 1
X_1^2	6.66×10^{-3}	1	6.66×10^{-3}	0.47	0.504 7
X_2^2	0.03	1	0.03	1.96	0.192 1
X_3^2	0.26	1	0.26	18.76	0.001 5
残差	0.14	10	0.01		
失拟项	0.11	5	0.02	3.02	0.125 0
绝对偏差	0.04	5	7.00×10^{-3}		
总和	19.73	19			

由表8可知,葡萄籽油感官评价模型回归极显著($P < 0.01$)且失拟项不显著($P > 0.05$), R^2 为0.992 9,显示该方程拟合良好。在因素水平范围内,各因素对葡萄籽油感官评价响应值的影响排序为: $X_3 > X_1 > X_2$ 。在该值模型中 X_3 的一次项、二次项对核桃油感官评价响应值的影响达到极显著水平($P < 0.01$),表明各试验因素对响应值并不是简单的线性关系。

在Design Expert软件中,将感官评价的响应值控制在4~6分之间(感官评价在可接受范围内),让Pf值最大化,优化出抗氧化效果最佳配方。经优化后的天然抗氧化剂复合配方在核桃油中的组成为:茶多酚棕榈酸酯0.40 g/kg,抗坏血酸棕榈酸酯0.02 g/kg,迷迭香提取物0.15 g/kg;在葡萄籽油中的组成为:茶多酚棕榈酸酯0.39 g/kg,抗坏血酸棕榈酸酯0.04 g/kg,迷迭香提取物0.11 g/kg。

2.4 试验结果验证分析

将上述优化后的配方应用到核桃油和葡萄籽油中,分别进行3次验证试验,所得核桃油的Pf值为1.74(预测值为1.76),感官评价得分为4.10(预测值为4.00);所得葡萄籽油的Pf值为1.54(预测值为1.56),感官评价得分为4.20(预测值为4.10)。可见验证试验结果与预测值基本一致,此模型可靠,具有一定的实用价值。

3 结论

本文以茶多酚棕榈酸酯、抗坏血酸棕榈酸酯、迷迭香提取物、维生素E 4种油溶性天然抗氧化剂为

主要研究对象,研究其在核桃油和葡萄籽油中的抗氧化能力,并对其进行适当的复配试验。结果表明经优化后的天然抗氧化剂复合配方在核桃油中的组成为茶多酚棕榈酸酯0.40 g/kg、抗坏血酸棕榈酸酯0.02 g/kg、迷迭香提取物0.15 g/kg;在葡萄籽油中的组成为茶多酚棕榈酸酯0.39 g/kg、抗坏血酸棕榈酸酯0.04 g/kg、迷迭香提取物0.11 g/kg。

参考文献:

- [1] 周晔,裴东. 核桃油品质及贮藏稳定性的影响因素探讨[J]. 中国油脂, 2016, 41(1):60-63.
- [2] 张宏丽,马海军,张军翔. 葡萄籽油的研究进展[J]. 中国酿造, 2013(4):20-23.
- [3] 杨春燕,厉重先,荣瑞芬. 植物油脂的氧化酸败机制及其预防研究[J]. 农产品加工(学刊), 2010(12):85-88.
- [4] 李银聪,阙建全,柳中. 食品抗氧化剂作用机理及天然抗氧化剂[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(2):24-26.
- [5] 龚艳振,徐亚健,刘华巍,等. 天然抗氧化剂复配研究进展[J]. 食品科技, 2012, 37(6):264-267, 272.
- [6] 方晓璞,解克伟,任春明,等. 迷迭香天然抗氧化剂的应用研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(7):27-29.
- [7] 李书国,赵文华,陈辉. 食用油脂抗氧化剂及其安全性研究进展[J]. 粮食与油脂, 2006(5):34-37.
- [8] 石亚中,伍亚华,许晖,等. 竹叶黄酮与 V_C 、 V_E 复配对冷却猪肉品质的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1):180-183.
- [9] 王苗苗,罗庆华,宋英杰,等. 天然抗氧化剂对大鲵油的抗氧化研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(12):53-56.
- [10] PARK H Y, RHO H S, KIM D H, et al. Modified rancimat method for evaluation of antioxidative effect against skin lipids[J]. Bull Korean Chem Soc, 2010, 31(6):1751-1752.
- [11] AKCAR H H, GUMUSKESEN A S. Sensory evaluation of flavored extra virgin olive oil[J]. GIDA, 2011, 36(5):249-253.
- [12] 黄克,崔春,赵谋明,等. 天然抗氧化剂的增效作用及其对花生油抗氧化效果研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(9):1139-1141, 1119.
- [13] 陆洋,杨波涛,陈凤香. 复配天然抗氧化剂对食用油脂抗氧化效果研究[J]. 食品科学, 2009, 30(11):55-57.
- [14] 刘庆慧,李勃生. δ -维生素E和迷迭香在鲱鱼油中的抗氧化效果[J]. 海洋科学, 1998(4):64-66.
- [15] 吕军伟. DHA藻油抗氧化特性研究[D]. 上海:上海海洋大学, 2015.