

内外源因子对花生油氧化稳定性的影响

朱明慧¹,孟歆昕¹,温馨¹,刘文¹,倪元颖¹,李景明^{2,*}

(1. 中国农业大学, 国家果蔬加工工程技术研究中心, 北京 100083;

2. 中国农业大学, 食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘要: 本文首先研究花生油中的维生素 E 组成, 共检测出 8 种维生素 E 的同分异构体, 总量为 281.78 $\mu\text{g/g}$, 其中 α -生育酚占 53.7%。以此为基础, 以过氧化值、p-茴香胺值、DPPH 自由基清除能力为评价指标, 考察内源物质(α -生育酚)及外界因素(氧气、温度)对花生油氧化稳定性的影响。结果表明: 在贮藏期内, 低浓度(0.01%)的 α -生育酚有效延缓了花生油的初级氧化进程, 但在次级氧化阶段并未表现出抗氧化效果; 高浓度(0.02%)的 α -生育酚反而产生了促氧化作用, 需要严格控制其添加量。相较于抗氧化剂 α -生育酚及 BHT 的添加, 低温、密封、充氮处理更能有效延缓花生油的氧化进程, 不失为一种方便、有效且安全的保存措施。

关键词: 花生油, 氧化稳定性, 维生素 E, 氧气, 温度

Effect of endogenous and extraneous factors on the oxidation stability of peanut oil

ZHU Ming-hui¹, MENG Xin-xin¹, WEN Xin¹, LIU Wen¹, NI Yuan-ying¹, LI Jing-ming^{2,*}

(1. National Engineering Research Center for Fruits and Vegetables Processing, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: By studying the composition of vitamin E in peanut oil, eight kinds of vitamin E isomers were detected, with the total content of 281.78 $\mu\text{g/g}$, in which α -tocopherol occupied 53.7%. Under the base of above results, the effects of endogenous substance (α -tocopherol) and extraneous factors (oxygen, temperature) on the oxidation stability of peanut oil were studied according to the changes of peroxide value, p-anisidine value, DPPH radical scavenging capacity. The results showed that: in the storage period, low concentration (0.01%) of α -tocopherol delayed the primary oxidation process of peanut oil effectively; while in the secondary oxidation process, it didn't show any antioxidant effect on the peanut oil. However, α -tocopherol with high concentration (0.02%) promoted oxidation process. Therefore, the additive amount of α -tocopherol should be strictly controlled. Compared with adding α -tocopherol and BHT in peanut oil, treatment of low temperature, sealing and filling with nitrogen could delay the oxidation process of peanut oil more effectively, which is a convenient, efficient and safe measure for the preservation of peanut oil.

Key words: peanut oil; oxidation stability; vitamin E; oxygen; temperature

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)17-0058-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.17.003

我国是食用油脂的消费和进口大国, 花生油营养价值高, 具有较好的脂肪酸构成, 其不饱和脂肪酸含量较高, 而且花生油中的维生素 E、甾醇、角鲨烯以及胡萝卜素等功能性成分含量丰富, 是重要的食用植物油^[1-3]。

花生油在加工贮藏过程中, 容易受光、热、酶、氧等因素的影响, 发生氧化反应^[4]。油脂氧化不仅产生令人不愉快的气味, 造成维生素及必需脂肪酸的损失, 而且其降解产物的产生会降低油脂的营养品质

和安全性, 对人体健康产生不良影响^[5-6]。因此, 研究温度、氧气、光照等外界因素对花生油氧化稳定性的影响具有一定的现实意义。

为延缓油脂的氧化降解, 增加油脂保质期, 一些具有高效、经济特性的人工合成抗氧化剂(如 BHT、BHA、TBHQ、PG 等)被广泛应用于食品工业中^[7]。但这些抗氧化剂通常会存在法定的安全限量, 甚至在一些国家不被允许应用于食品体系中^[8-10]。因此, 为满足消费者的安全需求, 近年来对植物源天然抗

收稿日期: 2014-12-24

作者简介: 朱明慧(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物提取及功能食品开发, E-mail: huihui_005@126.com。

* 通讯作者: 李景明(1969-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物功能性研究, E-mail: lyama@cau.edu.cn。

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303072)。

氧化剂的研究愈加深入。维生素 E 是公认的天然抗氧化剂,是植物油脂的重要活性成分,其在花生油中含量丰富^[11]。但 V_E 存在多种同分异构体,其中生育三烯酚在花生油中的组成和含量鲜见报道。因此,本文测定了花生油中 V_E 的组成及含量,并将 V_E 作为内源物质,结合温度、氧气两个外界因素,考察了贮藏期内内外源因子对花生油氧化稳定性的影响,旨在为花生油加工工艺及贮藏技术的改善提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

花生油 购于北京市花旗食用油加工厂,未添加任何抗氧化剂;标准品: α 、 β 、 γ 、 δ -生育酚, α 、 β 、 γ 、 δ -生育三烯酚 色谱纯,北京三区生物技术有限公司;抗氧化剂:DL- α -生育酚(>96.0%)、BHT(>99.0%) 日本东京化成工业株式会社;甲醇 色谱纯,北京迈瑞达科技有限公司;正己烷 色谱纯,北京百灵威科技有限公司;DPPH(2,2-二苯基-1-苦肼基) Sigma-Aldrich 上海贸易有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

LC-20A 高效液相色谱仪、LC-20AT 洗脱泵、RS-20A xs 荧光检测器 日本岛津国际贸易有限公司;Venusil Diol 色谱柱(4.6mm × 250mm, 5 μ m) 天津博纳艾杰尔科技有限公司;T6 新世纪紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;CM-12 水浴氮吹仪 北京成萌伟业科技有限公司;BS223S 电子天平 德国 Sartorius 公司;SHZ-III 循环水真空泵、RE-52A 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;DHG-9053A 电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 维生素 E 组成及含量的测定 参照 AOCS Official Method Ce 8-89。HPLC 条件:检测器类型:荧光检测器;检测波长:激发波长 290 nm,发射波长 330 nm;流动相:正己烷-异丙醇(99.5:0.5, V/V);洗脱方式:等度洗脱;流速:1.0 mL/min;进样体积:20 μ L;检测时间:55 min。

1.2.2 过氧化值的测定 参照 GB/T 5538-2005。

1.2.3 p-茴香胺值的测定 参照 GB/T 24304

-2009。

1.2.4 DPPH 自由基清除能力的测定 参照 Krichene 等人的研究,并进行了适当修改^[12]。准确称取 4 g(精确到 0.001 g)花生油样于 10 mL 棕色容量瓶中,正己烷定容,混匀。吸取 200 μ L 上述试样溶液加入到 7.8 mL 7×10^{-5} mol/L DPPH 正己烷溶液中,室温下避光反应 30 min,于 515 nm 波长处测定吸光度 A ,以正己烷为对照,测定空白溶液的吸光度 A_0 ,每个样品重复 3 次。按式(1)计算试样溶液的 DPPH 自由基的百分清除率。

$$\text{清除率}(\%) = 100 \times \frac{(A_0 - A)}{A_0} \quad \text{式(1)}$$

选用 DL- α -生育酚作为已知抗氧化剂,配制标准溶液,以标准溶液的浓度为横坐标,DPPH 自由基的百分清除率为纵坐标,绘制标准工作曲线。所得回归直线方程为: $y = 74.82x + 3.799, R^2 = 0.9996$ 。以 α -生育酚为外标,按式(2)计算,最终结果以每 100 g 油相当于 α -生育酚的微摩尔当量表示^[12]。

$$M = \frac{x \times V}{m} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中:M 为每 100 g 油相当于 α -生育酚的微摩尔当量, μ mol/100 g;x 为由标准曲线求出的浓度值,mmol/L;V 为溶液的定容体积,mL;m 为油样质量,g。

1.2.5 内源物质组处理方法 由于 GB 2760-2011 对 BHT 的法定限量为 0.02%,因此 α -生育酚的最高添加量也按 0.02% 添加。将不同量的 α -生育酚加入到花生油样品中,60 $^{\circ}$ C 水浴超声 30 min 以充分混匀。称取 250 g 混匀后的花生油样于 340 mL 的广口径玻璃瓶中。采用 Schaal 烘箱法,在 60 $^{\circ}$ C 的恒温箱中避光放置 24 d,定期交换其在烘箱中的位置。以不添加抗氧化剂的油样为空白对照,以人工合成抗氧化剂 BHT 为阳性对照,测定花生油的过氧化值、p-茴香胺值和 DPPH 自由基清除能力。具体设计方案见表 1,每个样品的每个取样间隔均准备三份油样,以作为平行。

1.2.6 外界因素组处理方法 将花生油样置于不同氧气含量和温度条件下,对各处理组设置不同的取样间隔和贮藏时间。具体设计方案也见表 1,其余操作同 1.2.5。

表 1 实验方案设计

Table 1 Design of experiment scheme

处理	名称	添加量(%)	温度($^{\circ}$ C)	放置状态	取样间隔(d)	贮藏时间(d)	备注
内源物质组	空白对照	-	60	敞口	4	24	
	α -生育酚-1	0.01	60	敞口	4	24	
	α -生育酚-2	0.02	60	敞口	4	24	
	BHT	0.02	60	敞口	4	24	
	O_2 -1	-	60	敞口	4	24	同空白对照
外界因素组	O_2 -2	-	60	密封	4	24	
	O_2 -3	-	60	充氮	4	24	
	温度-1	-	60	敞口	4	24	同空白对照
	温度-2	-	40	敞口	8	80	
	温度-3	-	20	敞口	12	96	

2 结果与讨论

2.1 花生油中维生素 E 的组成及含量

维生素 E 是一种脂溶性维生素,具有抗氧化活性,是公认的天然抗氧化剂。本实验对未经处理的花生油样的维生素 E 组成进行了测定,共检出八种维生素 E 的同分异构体,包括 α 、 β 、 γ 、 δ 四种生育酚和四种生育三烯酚,总量为 281.78 $\mu\text{g/g}$ 。图 1、图 2 分别为维生素 E 标准品和花生油样品的色谱图,从图中可以看出,所有的维生素 E 单体组分均具有较好的分离度。

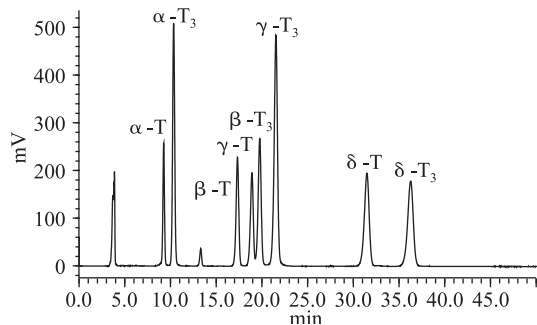


图 1 生育酚和生育三烯酚标准品的色谱图

Fig.1 Chromatogram of tocopherols and tocotrienols standards

注:T 代表生育酚, T_3 代表生育三烯酚,图 2 同。

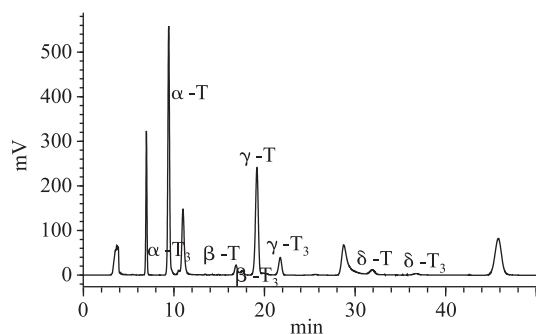


图 2 花生油样品的生育酚和生育三烯酚色谱图

Fig.2 Chromatogram of tocopherols and tocotrienols of peanut oil sample

由表 2 可知,所测得的维生素 E 异构体中,生育酚的含量较高,生育三烯酚的含量则相对较低,仅占 V_E 总量的 3.9%。其中, α -生育酚含量最高,为 151.21 $\mu\text{g/g}$,占维生素 E 总量的 53.7%,因此选用 α -生育酚作为内源物质添加,用于花生油的氧化稳定性实验。

表 2 花生油中生育酚和生育三烯酚的含量

Table 2 Tocopherols and tocotrienols content of peanut oil

组分	含量($\mu\text{g/g}$)	组分	含量($\mu\text{g/g}$)
α -生育酚	151.21 \pm 0.68	α -生育三烯酚	1.94 \pm 0.02
β -生育酚	2.92 \pm 0.10	β -生育三烯酚	0.86 \pm 0.02
γ -生育酚	109.98 \pm 1.03	γ -生育三烯酚	6.16 \pm 0.78
δ -生育酚	6.69 \pm 0.37	δ -生育三烯酚	2.02 \pm 0.06

2.2 α -生育酚对花生油氧化稳定性的影响

2.2.1 α -生育酚对花生油过氧化值的影响 过氧化值是评价油脂初级氧化阶段初级氧化产物及氢过氧

化物的重要指标,常被用来评价油脂的氧化酸败程度^[5,13]。图 3 反映了花生油在 60 $^{\circ}\text{C}$, 24 d 贮藏过程中过氧化值的变化。随着贮藏时间的延长,各处理组花生油的过氧化值均呈直线式增长。贮藏 24 d,空白对照组油样的过氧化值变成了原来的 8.1 倍,由 3.16 mmol/kg 增加至 25.64 mmol/kg。

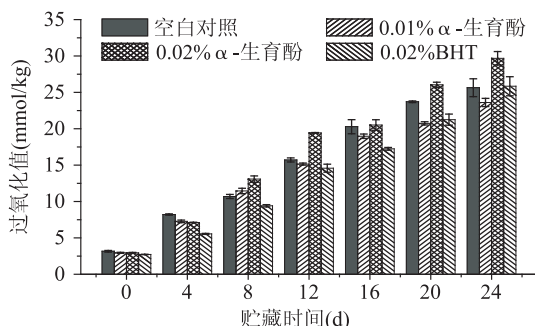


图 3 α -生育酚对花生油过氧化值的影响

Fig.3 Effects of α -Tocopherol on peroxide value of peanut oil

由图 3 可明显看出,相较于空白对照组,添加 0.01% α -生育酚和 0.02% BHT 的处理组的过氧化值变化较为缓慢,说明两者均延缓了花生油的初级氧化进程,较好地保持了油脂品质。而添加 0.02% α -生育酚的处理组的过氧化值增长最快,不但没有抑制油脂初级氧化,反而起到了一定的促进作用,这主要是因为花生油本身含有大量的天然抗氧化剂维生素 E,0.02% 的添加量导致其过量使用,这与黄海娟的研究结果一致,同时李静对牡丹籽油以及高佳佳对棉籽油的研究结果也证实了这一点^[14-16]。

2.2.2 α -生育酚对花生油 p-茴香胺值的影响 p-茴香胺值是评价油脂中次级氧化产物含量的一个指标。图 4 描述了加速氧化过程中花生油茴香胺值的变化。在 24 d 贮藏期内,花生油的茴香胺值持续增大,空白对照组茴香胺值从最初的 2.53 增至 4.61。

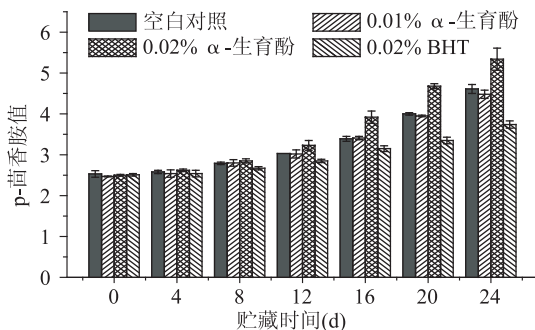


图 4 α -生育酚对花生油 p-茴香胺值的影响

Fig.4 Effects of α -Tocopherol on p-anisidine value of peanut oil

由图 4 可知,在 60 $^{\circ}\text{C}$, 24 d 的加速氧化过程中, BHT 组的茴香胺值显著低于 ($p < 0.05$) 其他处理组,抗氧化活性强;0.01% α -生育酚组与空白对照组的茴香胺值无显著性差异 ($p > 0.05$),说明 α -生育酚在此添加量下不能有效延缓花生油的次级氧化进程;0.02% α -生育酚组的茴香胺值显著高于 ($p < 0.05$) 空白对照组,说明 0.02% α -生育酚对花生油起到了

促氧化的作用。这是因为维生素 E 的抗氧化活性与添加浓度具有很大关系,当添加浓度较低时, V_E 能够产生酚氧基, 猝灭单线态氧 (1O_2) 并与其反应, 同时可被超氧阴离子自由基和羟自由基氧化, 从而保护不饱和脂肪酸免受单线态氧 (1O_2) 损伤及自由基攻击, 抑制油脂的自动氧化^[14]; 而当添加量超过一定浓度时, 其在猝灭单线态氧被自由基氧化的同时, 其生育酚自由基还会分解 ROOH 产生 ROO·, 逆反应过程发生, 反而促进油脂氧化, 因此需严格控制其添加量^[15,17]。

2.2.3 α -生育酚对花生油 DPPH 自由基清除能力的影响 DPPH 经常被用来作为“指示化合物”, 用以评价氢贡献能力和抗氧化能力^[18]。图 5 显示, 随着贮藏时间的延长, 各处理组花生油的 DPPH 自由基清除能力均显著降低 ($p < 0.05$), 这表明油脂抗氧化能力及其氧化稳定性的降低。

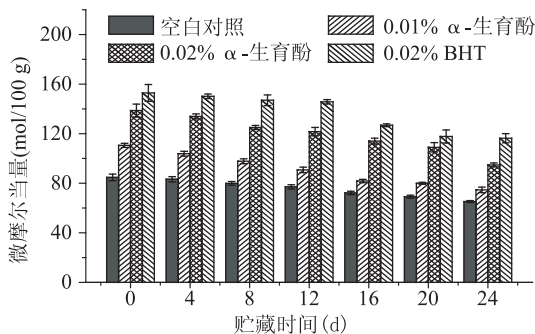


图 5 α -生育酚对花生油 DPPH 自由基清除能力的影响
Fig.5 Effect of α -Tocopherol on DPPH radical scavenging capacity of peanut oil

由图 5 可以看出, 经过 24d 的加速氧化, 空白对照组花生油的 DPPH 自由基清除能力的降低率最小, 为 23.0%, 这说明相较于油脂本身的抗氧化物质, 人为添加的抗氧化剂在高温下稳定性较差。氧化初期, 花生油的 DPPH 自由基清除能力在一定程度上反映了添加剂的抗氧化活性, 即 0.02% BHT > 0.02% α -生育酚 > 0.01% α -生育酚; 但前期对过氧化值、p-茴香胺值的测定结果显示, 抗氧化剂用于花生油体系的抗氧化效能为 0.02% BHT > 0.01% α -生育酚 > 0.02% α -生育酚 (图 3、图 4)。即高浓度 (0.02%) α -生育酚自身的抗氧化活性高于低浓度 (0.01%) α -生育酚, 但其用于花生油体系中的抗氧化效能却低于低浓度 α -生育酚, 这表明 0.02% α -生育酚的促氧化作用是由于 V_E 添加过量导致的。

2.3 氧气、温度对花生油氧化稳定性的影响

2.3.1 氧气、温度对花生油过氧化值的影响 氧气和温度对花生油过氧化值的影响结果如图 6 所示。在 60 °C 加速氧化过程中, 三个氧气处理组花生油样的过氧化值均呈现增长趋势。同预期结果, 敞口组油样的过氧化值增长最快, 相反, 由于氧气含量的限制, 密封组和充氮组油样的过氧化值变化非常缓慢, 贮藏 24 d 后, 其过氧化值分别为 3.57、4.2 mmol/kg, 完全符合 GB 1534-2003 对一级压榨花生成品油的要求 (≤ 6 mmol/kg)。Schaal 烘箱实验在 60 °C 条件

下, 其贮藏 1 d 相当于在 20 °C 条件下贮藏 16 d^[15,19], 由此可推知, 在密封和充氮条件下, 花生油在 20 °C 条件下的预期贮藏时间超过 384 d。

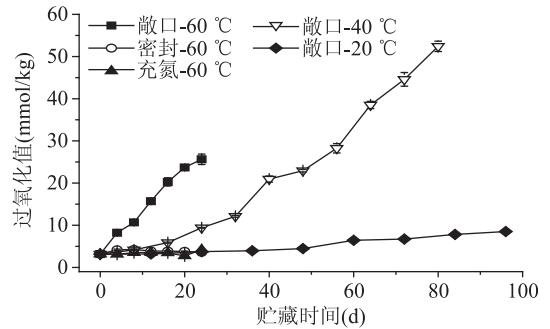


图 6 氧气和温度对花生油过氧化值的影响
Fig.6 Effects of oxygen and temperature on peroxide value of peanut oil

由图 6 可知, 对于温度处理组, 随着贮藏温度的降低, 花生油过氧化值的增长趋于缓慢, 这表明降低贮藏温度能够有效延缓花生油的氧化进程。由此可见, 控制贮藏环境的氧气和温度参数, 对花生油品质的保持起到了决定性作用, 尤其是对氧气的控制, 这表明简单的密封操作即可大大抑制花生油的初级氧化。

2.3.2 氧气、温度对花生油 p-茴香胺值的影响 图 7 反映了氧气和温度对花生油 p-茴香胺值的影响, 在不同贮藏条件下, 各处理组的茴香胺值均显著升高 ($p < 0.05$), 这说明花生油均发生了不同程度的氧化。对于氧气组, 敞口放置油样的茴香胺值从 2.53 升至 4.61, 变化最快, 说明氧气的驱除与隔离确实起到了抑制油脂氧化的效果。相较于密封组, 充氮组茴香胺值整体较低, 对油脂品质起到了更好的保护作用。

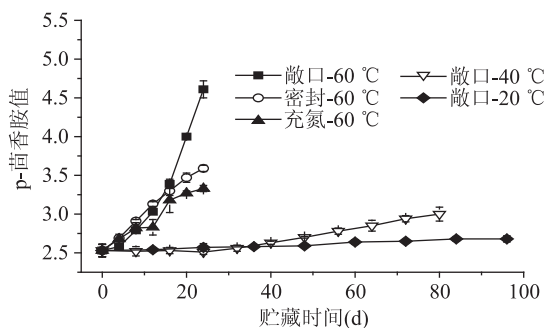


图 7 氧气和温度对花生油 p-茴香胺值的影响
Fig.7 Effects of oxygen and temperature on p-anisidine value of peanut oil

由图 7 可知, 茴香胺值与过氧化值相似, 其变化速率与贮藏温度也呈正相关。60 °C 组油样的茴香胺值变化速率明显高于 40 °C 和 20 °C 组, 这说明花生油的次级氧化过程受温度的影响较大。

2.3.3 氧气、温度对花生油 DPPH 自由基清除能力的影响 不同氧气和温度条件下, 花生油 DPPH 自由基清除能力的变化如图 8 所示, 其中三个氧气处理组花生油样品的 DPPH 自由基清除能力均显著降低 ($p < 0.05$), 在一定程度上反映了油样中具有抗氧化活性的物质含量的减少。60 °C 加速氧化 24 d, 密封

组 DPPH 自由基清除能力的变化趋势接近于敞口组,其 α -生育酚摩尔当量从 84.7 $\mu\text{mol}/100\text{g}$ 降至 64.47 $\mu\text{mol}/100\text{g}$,下降了约 23.9%。相比较而言,充氮组下降趋势明显缓慢,说明氧气的驱除对花生油品质的长期保持是有效的。

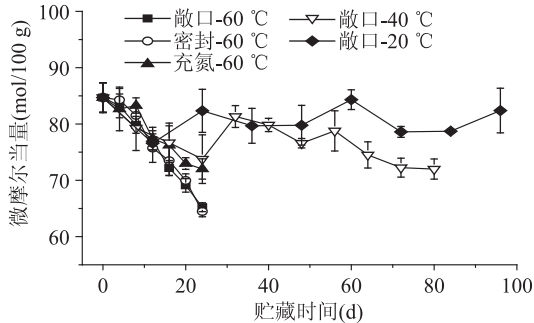


图8 氧气和温度对花生油 DPPH 自由基清除能力的影响

Fig.8 Effect of oxygen and temperature on DPPH radical scavenging capacity of peanut oil

由图8可明显看出,相较于60℃敞口组,低温条件下贮藏的花生油 DPPH 自由基清除能力的降低则明显较缓,其中20℃处理组经96d的贮藏,其 DPPH 自由基清除能力与氧化原点并没有显著性差异($p > 0.05$)。这一结果同样表明油脂的贮藏温度对其品质的保持具有较大的影响。

3 结论

3.1 在花生油中共检测出八种维生素 E 的同分异构体,包括 α 、 β 、 γ 、 δ 四种生育酚和四种生育三烯酚,其总量为 281.78 $\mu\text{g}/\text{g}$, α -生育酚占 53.7%。

3.2 在贮藏期内,低浓度(0.01%)的 α -生育酚有效延缓了花生油的初级氧化进程,但在次级氧化阶段并未表现出抗氧化效果;由于维生素 E 的过量使用,高浓度(0.02%)的 α -生育酚反而产生了促氧化作用,需要严格控制其添加量。

3.3 花生油在氧气存在的条件下能够发生自动氧化,密封及充氮处理能有效防止花生油的氧化。温度对花生油的氧化速度也有较为显著的影响,降低温度也可有效延缓花生油的氧化进程。由于花生油本身含有较多的抗氧化成分,相较于抗氧化剂 α -生育酚及 BHT 的添加,对食用花生油进行低温、充氮、密封保存是更为方便、有效且安全的措施。

参考文献

[1] Shad M A, Pervez H, Zafar Z I, et al. Physicochemical properties, fatty acid profile and antioxidant activity of peanut oil [J]. Pakistan Journal of Botany, 2012, 44(1): 435-440.
[2] Li C, Yao Y, Zhao G, et al. Comparison and analysis of fatty acids, sterols, and tocopherols in eight vegetable oils [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2011, 59(23): 12493-12498.
[3] 陈学兵, 史宣明, 赵抒娜, 等. 植物油中提取角鲨烯的研究

进展 [J]. 中国油脂, 2013, 38(11): 72-75.

[4] Erkan N, Ayranci G, Ayranci E. A kinetic study of oxidation development in sunflower oil under microwave heating: Effect of natural antioxidants [J]. Food research international, 2009, 42(8): 1171-1177.

[5] Zhang Y, Yang L, Zu Y, et al. Oxidative stability of sunflower oil supplemented with carnosic acid compared with synthetic antioxidants during accelerated storage [J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 656-662.

[6] 李桂华. 油料油脂检验与分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 98-99.

[7] Giese J. Antioxidants: tools for preventing lipid oxidation [J]. Food Technology, 1996, 50(11): 73-81.

[8] Suja K P, Abraham J T, Thamizh S N, et al. Antioxidant efficacy of sesame cake extract in vegetable oil protection [J]. Food chemistry, 2004, 84(3): 393-400.

[9] Iqbal S, Bhanger M I. Stabilization of sunflower oil by garlic extract during accelerated storage [J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 246-254.

[10] Farag R S, Badei A, El Baroty G S A. Influence of thyme and clove essential oils on cottonseed oil oxidation [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1989, 66(6): 800-804.

[11] Mariod A, Matthäus B, Hussein I H. Fatty acids, tocopherols and sterols of Cephelocroton cordofanus in comparison with sesame, cotton, and groundnut oils [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(9): 1297-1303.

[12] Krichene D, Allalout A, Mancebo-Campos V, et al. Stability of virgin olive oil and behaviour of its natural antioxidants under medium temperature accelerated storage conditions [J]. Food chemistry, 2010, 121(1): 171-177.

[13] Emre Bakkalbasi, Özey Menteş Yılmaz, I Javidipour, et al. Effects of packaging materials, storage conditions and variety on oxidative stability of shelled walnuts [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46: 203-209.

[14] 黄海娟. 花生油氧化稳定性控制技术研究 [D]. 广州: 广东工业大学, 2012: 13-15.

[15] 李静, 姚茂君, 王旭东, 等. 牡丹籽油自氧化及抗氧化性能的研究 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 84-87.

[16] 高佳佳, 郑洋, 黄训端, 等. 几种抗氧化剂对棉籽油氧化稳定性的影响 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 283-286.

[17] 郭红菊. 维生素 E 功能的研究进展 [J]. 天水师范学院学报, 2005, 25(5): 44-46.

[18] Roy L G, Arabshahi-Delouee S, Urooj A. Antioxidant efficacy of mulberry (Morus indica L.) leaves extract and powder in edible oil [J]. International Journal of Food Properties, 2010, 13(1): 1-9.

[19] 张佰清, 吴迪. 树莓籽油的自氧化及几种抗氧化剂对其抗氧化性能影响的研究 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 125-128.