

# 维生素 E 在棕榈油煎炸过程中的损耗及其对煎炸油品质的影响

于梦丹<sup>1</sup>, 祝婷婷<sup>2</sup>, 苏沛<sup>2</sup>, 毕艳兰<sup>1,\*</sup>, 刘伟<sup>1</sup>, 袁方博<sup>1</sup>

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001; 2. 中储粮油脂工业东莞有限公司, 广东 东莞 523147)

**摘要:** 本文以分提棕榈油为原料, 在  $180\pm 5$  °C 下间歇煎炸薯条, 研究维生素 E (Vitamin E,  $V_E$ ) 添加量对煎炸过程中生育酚与生育三烯酚损耗及对油脂品质的影响。研究表明:  $V_E$  的添加量越多, 生育酚的绝对损耗量越大, 但并无线性关系; 添加  $V_E$  对棕榈油中内生生育三烯酚具有显著的保护作用,  $V_E$  的添加量越多, 生育三烯酚的损耗越少;  $V_E$  的添加量越大, 抑制酸价升高的效果越好, 但是, 添加  $V_E$  对抑制极性组分含量增加无显著性影响, 还促进了羰基价的增加及色泽的加深; 添加 1000 mg/kg  $V_E$  可以延长棕榈油的氧化诱导期, 而 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  都促进了棕榈油氧化诱导期的缩短; 添加 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  可以有效延长棕榈油的煎炸寿命, 而添加 1000 mg/kg  $V_E$  使棕榈油的煎炸寿命略有减小。

**关键词:** 煎炸油; 维生素 E; 损耗; 稳定性; 品质

## Vitamin E Loss and Its Effect on the Quality and Stability of Palm Oil during Frying

YU Mengdan<sup>1</sup>, ZHU Tingting<sup>2</sup>, SU Pei<sup>2</sup>, BI Yanlan<sup>1,\*</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, YUAN Fangbo<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 4 50001, China;

2. Sinograin Oils & Fats Industrial Dongguan Co.LTD, Guangdong 523147, China)

**Abstract:** The effects of Vitamin E ( $V_E$ ) addition on the loss of tocopherol and tocotrienol and the quality of oil were studied by the palm oil frying French fries intermittently at  $180\pm 5$  °C. The results showed that the more the amount of  $V_E$  added, the greater the absolute loss of tocopherol, but there is no linear relationship.  $V_E$  has a significant protective effect on tocotrienol in palm oil, the more the amount of  $V_E$  added, the less the loss of tocotrienol and the better the effect of inhibiting the increase of acid value. However,  $V_E$  had no significant effect on inhibiting the increase of polar compounds, and promoted the increase of carbonyl value and the deepening of color. Adding 1000 mg/kg  $V_E$  could prolong the induction period of palm oil, while 4000 mg/kg and 8000 mg/kg  $V_E$  could shorten the induction period. Adding 4000 mg/kg and 8000 mg/kg  $V_E$  could extend the frying life of palm oil, while adding 1000 mg/kg  $V_E$  would reduce the frying life of palm oil slightly.

**Keywords:** frying oil; Vitamin E; loss; stability; quality

中图分类号: TS202.3

文献标志码: A

DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20190723-311

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31671818)

第一作者简介: 于梦丹 (1993—) (ORCID: 0000-0002-3412-1850), 女, 硕士, 研究方向为脂质化学与品质。E-mail: yd18224519193@163.com

\*通信作者简介: 毕艳兰 (1969—) (ORCID: 0000-0001-8429-7806), 女, 教授, 硕士, 研究方向为脂质化学与品质。E-mail: bylzry@126.com

煎炸食品因其独特的风味,深受人们喜爱。但是,在持续的高温煎炸过程中,煎炸油极易发生劣变,生成多种劣变产物,从而对人体健康造成危害<sup>[1,2,3]</sup>,为了保证煎炸油的安全使用,我国 GB 2716-2018 规定食用植物油在煎炸过程中的酸值 $\leq 5$  mg/g,极性组分 $\leq 27\%$ ,多数欧盟成员国要求极性组分 $\leq 25\%$ ,例如,法国要求极性组分 $\leq 25\%$ ,最高煎炸温度  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[4,5]</sup>。为延缓煎炸油劣变,常常添加抗氧化剂。关于合成抗氧化剂在煎炸过程中的变化以及对油脂品质的影响有较多研究。Kim 等<sup>[6]</sup>的研究发现特丁基对苯二酚(tertiary butylhydroquinone, TBHQ)在煎炸温度下的主要氧化产物为叔丁基对苯二醌(2-tert-butyl-1,4-benzoquinone, TQ)。Warner 等<sup>[7]</sup>采用放射性元素  $^{14}\text{C}$  标记法研究了 TBHQ、丁基羟基茴香醚(butyl hydroxy anisole, BHA)、二丁基羟基甲苯(butylated hydroxytoluene, BHT)在高温煎炸过程中的变化情况,研究结果发现这三种合成抗氧化剂都出现很大程度的损耗,且主要以母体挥发的形式而损耗,少量发生转化。Asap 等<sup>[8]</sup>的研究表明 TBHQ 可以降低棕榈油煎炸过程中极性组分和聚合物的生成量,降低碘值和介电常数的变化速率以及 C18:2 的氧化速率。樊之雄等<sup>[9]</sup>研究了合成抗氧化剂 BHA、BHT 和 TBHQ 对抑制高温加热棕榈油劣变的效果,结果表明 TBHQ 抑制酸价和 p-茴香胺值升高的效果最好, BHT 次之, BHA 的效果最弱。随着生活水平的提高,人们对食品质量的要求越来越高,延缓煎炸油氧化时更倾向于选择天然抗氧化剂。维生素 E (Vitamin E,  $V_E$ ) 以其天然、来源广、添加限量高 (GB 2760-2014 规定:  $V_E$  在基本不含水的脂肪和油中的添加量是按照生产需要适量使用) 等特点而越来越受到使用者和消费者的青睐。已有研究表明:  $V_E$  可以延缓油脂在煎炸过程中的劣变。如: Kathleen 等<sup>[10]</sup>研究发现  $\gamma$ -生育酚可以抑制葵花籽油(脱除内源生育酚)煎炸过程中总极性物质含量的升高。范柳萍等<sup>[11]</sup>研究发现在棕榈油  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  煎炸薯条的过程中,  $V_E$  的效果优于植酸和茶多酚。但是,这些研究并不全面,关于  $V_E$  对油脂煎炸过程中色泽以及不同煎炸阶段煎炸油的氧化稳定性的影响未见报道。

棕榈油具有耐煎炸,风味口感好、供应稳定、价格较低等优点,广泛应用于餐饮行业和食品工业,因此,本研究以分提棕榈油为原料,  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  煎炸薯条,研究不同添加量下的  $V_E$  在棕榈油煎炸过程中的损耗及其对煎炸油品质的影响,为餐饮行业以及食品工业合理使用  $V_E$  提供参考和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

精炼分提棕榈油(熔点  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 广东中储粮油脂工业(东莞)有限公司;薯条(水分含量  $72.9\pm 2.2\%$ ,长、宽约  $0.5\text{ cm}$ ,高度  $5\text{--}7\text{ cm}$ ) 麦肯食品(哈尔滨)有限公司;维生素 E (纯度 $\geq 90\%$ ) 西安海斯夫生物科技有限公司;  $\alpha$ -生育酚标品、 $\gamma$ -生育酚标品、 $\delta$ -生育酚标品 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;正己烷、苯、乙醇均为色谱纯;氯仿、碘化钾、乙醚、异丙醇、冰乙酸、石油醚(沸程  $60\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、2,4-二硝基苯肼、氢氧化钠、硫代硫酸钠、甲醇均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

Waters 2695 高效液相色谱仪(配备 Waters 2475 荧光检测器) 美国 Waters 公司;SD-81 电炸锅 广州三鼎厨具有限公司;892 型氧化酸败仪 瑞士万通中国有限公司;7890B 气相色谱仪 安捷伦科技有限公司;TU-1810 紫外可见-分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;EOPC-SEP 型全自动食用油极性组分分离系统 天津博纳艾杰尔科技有限公司;旋转蒸发仪 德国 IKA 仪器设备有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 薯条煎炸过程

取  $6.5\text{ kg}$  棕榈油在  $180\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下进行煎炸,每  $20\text{ min}$  炸一批,每批取  $100\text{ g}$  薯条放入煎炸锅中炸  $3\text{ min}$  捞出沥油,每天煎炸  $12\text{ h}$ ,连续煎炸  $5\text{ d}$ ,共煎炸  $60\text{ h}$ 。在  $0\text{ h}$ 、 $4\text{ h}$ 、 $8\text{ h}$ 、 $12\text{ h}$ 、 $24\text{ h}$ 、 $36\text{ h}$ 、 $48\text{ h}$ 、 $60\text{ h}$  取样,所取油样在  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存,直到分析,煎炸过程中不再添加新油。

#### 1.3.2 生育酚及生育三烯酚含量测定

参照 GB/T 26635-2011/ISO 9936:2006。

### 1.3.3 油脂理化指标的测定

酸价、过氧化值、熔点、水分及挥发物、羰基价、极性组分、诱导期的测定分别参照 GB 5009.229—2016、GB 5009.227—2016、GB/T 12766—2008、GB 5009.236—2016、GB 5009.230—2016、GB 5009.202—2016 和 GB/T 21121—2007。

### 1.4 生育酚损耗率计算公式

$$\text{生育酚损耗率}/\% = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$$

式中： $A_1$  为煎炸前棕榈油中生育酚的初始含量/（mg/kg）； $A_2$  为煎炸后棕榈油中生育酚的含量/（mg/kg）。

### 1.5 数据处理

所有实验数据至少重复两次，均以平均值±标准偏差表示，数据使用 SPSS 20 Duncan 进行显著性方差分析， $P<0.05$  表示具有显著性差异；采用 Origin 8.5 进行绘图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 原料棕榈油分析

首先对原料棕榈油的酸价、过氧化值、熔点、水分及挥发物、极性组分以及生育酚和生育三烯酚含量进行分析，结果见表 1。

表 1 棕榈油的主要理化指标及生育酚和生育三烯酚含量

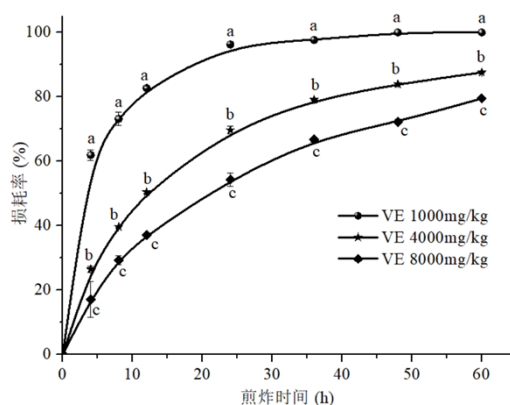
Table 1 The main physical and chemical indicators and tocopherol and tocotrienol content of palm oil

酸价 (mg/g)	过氧化值 (meq/kg)	熔点 (°C)	水分及挥发物 (%)	极性组分 (%)	生育酚 (mg/kg)	生育三烯酚 (mg/kg)
0.15±0.00	2.1±0.01	23.4±0.1	0.02±0.03	2.8±0.27	126.0±3.5	311.2±11.0

从表 1 可以得出实验中所用的棕榈油的酸价、过氧化值、熔点以及水分及挥发物均符合 GB 15680—2009 中对成品棕榈油酸价≤0.20 mg/g、过氧化值≤2.5 meq/kg、熔点≤24 °C 以及水分及挥发物≤0.05 % 的规定，极性组分 2.8%，生育酚含量 126.0 mg/kg，生育三烯酚含量 311.2 mg/kg，油脂品质良好，可用于后续研究。

### 2.2 煎炸过程中生育酚和生育三烯酚的损耗

#### 2.2.1 煎炸过程中生育酚的损耗



相同煎炸时间下，不同字母表示维生素 E 添加量对结果影响显著（ $P<0.05$ ），下同

图 1 棕榈油中生育酚的损耗率随煎炸时间的变化

Fig.1 Tocopherols loss in palm oil changed as frying time prolonged

从图 1 中可知，随着煎炸时间的延长，棕榈油中生育酚的损耗率增加（ $P<0.05$ ）。随着添加量的增加，生育酚的损耗率减小（ $P<0.05$ ）。在煎炸 24 h 后，添加 1000 mg/kg、4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  的棕榈油中生育

育酚的损耗率分别为  $96.3 \pm 0.1\%$ 、 $69.7 \pm 1.2\%$  和  $54.3 \pm 2.0\%$ ，此时，其绝对损耗量（与初始量相比的减少量）分别为  $1154.4 \pm 1.7 \text{ mg/kg}$ 、 $2781.5 \pm 46.0 \text{ mg/kg}$  和  $4580.5 \pm 170.0 \text{ mg/kg}$ 。即：虽然添加量增加时，损耗率下降，但是其绝对损耗量是增加的。已有的研究表明生育酚在煎炸温度下的挥发性非常低，主要以转化和降解而损耗<sup>[12]</sup>。在煎炸过程中，温度较高，并且与氧气接触，必然导致生育酚因抗氧化作用发生转化而损耗。当  $V_E$  的添加量增加时，发生反应的生育酚增加，其绝对损耗量增大。

为了更直观的反应棕榈油煎炸过程中生育酚和生育三烯酚含量的变化，将测定其含量的高效液相色谱图进行叠加，如图 2 所示，从图 2 可以清楚的看到添加  $1000 \text{ mg/kg } V_E$  的棕榈油中生育酚和生育三烯酚含量的变化。

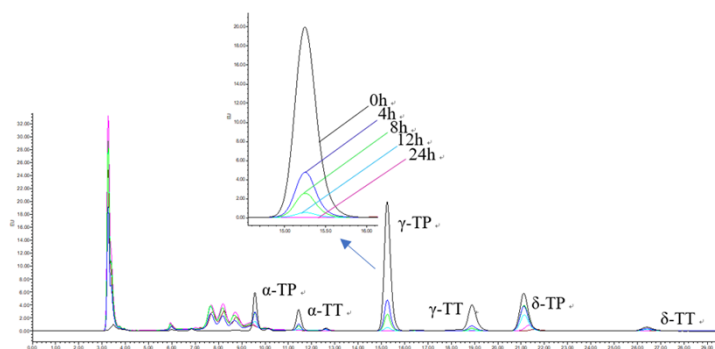


图 2 生育酚和生育三烯酚含量随煎炸时间变化的高效液相色谱图

图 2 High performance liquid chromatogram of tocopherols and tocotrienols content changed as frying time prolonged

（注：上图为添加  $1000 \text{ mg/kg } V_E$  的棕榈油油）

## 2.2.2 煎炸过程中生育三烯酚的损耗

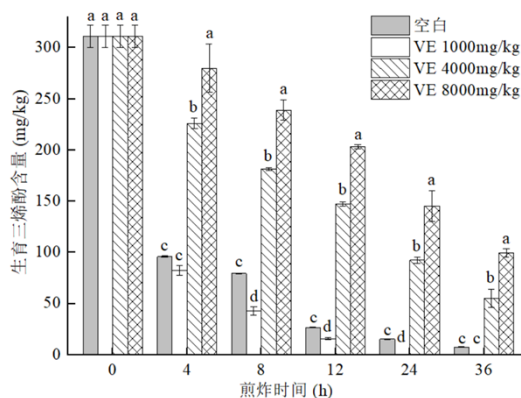


图 3 棕榈油中生育三烯酚含量随煎炸时间的变化

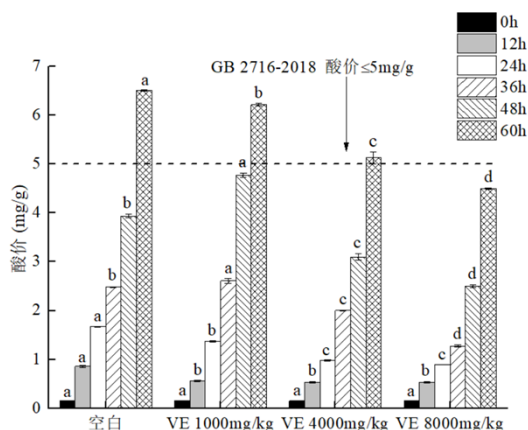
Fig.3 Tocotrienols content in palm oil changed as frying time prolonged

从图 3 可知，随着煎炸时间的延长，棕榈油中生育三烯酚的含量降低（ $P < 0.05$ ）。外源  $V_E$ （生育酚）对棕榈油煎炸过程中生育三烯酚含量的变化具有显著性影响（ $P < 0.05$ ）。

添加  $4000 \text{ mg/kg}$  和  $8000 \text{ mg/kg } V_E$  对煎炸过程中的生育三烯酚具有显著的保护效果（ $P < 0.05$ ），并且， $8000 \text{ mg/kg } V_E$  的保护效果更好。如煎炸  $12 \text{ h}$  后，空白及添加  $4000 \text{ mg/kg}$  和  $8000 \text{ mg/kg } V_E$  的棕榈油中生育三烯酚的含量分别为  $26.7 \pm 0.5 \text{ mg/kg}$ 、 $147.2 \pm 2.2 \text{ mg/kg}$  和  $203.5 \pm 2.1 \text{ mg/kg}$ 。可能的原因是外源  $V_E$  和内源生育三烯酚的结构相似，其抗氧化能力主要都是通过清除过氧自由基阻断链传播来实现的<sup>[13]</sup>，当  $V_E$  的添加量为  $4000 \text{ mg/kg}$  和  $8000 \text{ mg/kg}$ （主要含生育酚）时，棕榈油中生育酚的含量分别是生育三烯酚的  $12.8$  倍和  $27.1$  倍，生育酚有更多的机会参与清除过氧自由基的反应，从而保护了生育三烯酚。添加  $1000 \text{ mg/kg } V_E$  时，对生育三烯酚的保护效果不明显。

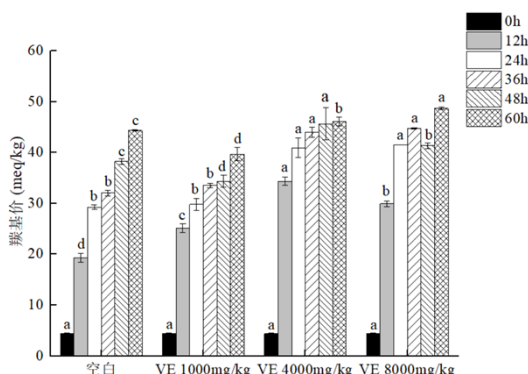
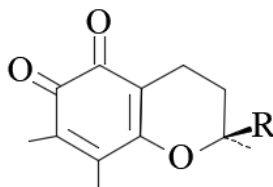
## 2.3 维生素 E 对煎炸过程中棕榈油理化指标的影响

## 2.3.1 维生素 E 对煎炸过程中棕榈油酸价的影响

图4  $V_E$  对棕榈油酸价的影响Fig.4 Effect of  $V_E$  content on acid value of palm oil

酸价越高油脂中游离脂肪酸的含量越高, 导致煎炸油的烟点降低, 煎炸食品吸油量增加, 产生哈喇味, 从而影响煎炸食品的风味<sup>[14,15,16]</sup>。由图 4 可知, 随着煎炸时间的延长, 棕榈油的酸价逐渐升高 ( $P<0.05$ )。煎炸过程中引起油脂酸价升高的原因主要是水解和氧化。食材的加入向煎炸油中带来了较多的水分, 加剧了油脂的水解, 生成游离脂肪酸、甘油酯和甘油酯等; 高温煎炸体系下油脂氧化生成的氢过氧化物不稳定, 易分解产生醛、酮, 酸等小分子, 促进酸价上升<sup>[17]</sup>。 $V_E$  对棕榈油煎炸过程中酸价的变化具有显著性影响 ( $P<0.05$ )。 $V_E$  的添加量越大, 其抑制酸价升高的效果越好。在 60 h 的煎炸过程中, 添加 8000 mg/kg  $V_E$  的棕榈油的酸价未超出国标要求, 添加 1000 mg/kg 和 4000 mg/kg  $V_E$  的棕榈油均超出国标要求。

## 2.3.2 维生素 E 对煎炸过程中棕榈油羰基价的影响

图5  $V_E$  对棕榈油羰基价的影响Fig.5 Effect of  $V_E$  content on carbonyl value of palm oil图6  $\gamma$ -生育邻醌的化学结构式Fig.6 Chemical structure of  $\gamma$ -producing orthoquinone

羰基价评价油脂中含有孤立羰基的化合物含量的高低, 如醛、酮等。羰基价越大, 油脂品质越差<sup>[18]</sup>。由图 5 可知, 在 60 h 的煎炸过程中, 棕榈油的羰基价随着煎炸时间的延长而增大 ( $P<0.05$ )。添加 1000 mg/kg  $V_E$  对羰基价的升高无显著性影响 ( $P>0.05$ ), 但是, 添加 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  会促进棕榈油羰基价的上升 ( $P<0.05$ )。这可能是由于  $V_E$  的添加量比较大, 使得其转化产物的含量比较多。Murkovic 等<sup>[19]</sup>的研究发

现  $\alpha$ -生育酚的氧化产物为  $\alpha$ -生育醌-2,3-环氧化物、 $\alpha$ -生育醌-5,6-环氧化物和  $\alpha$ -生育醌。Yamauchi 等<sup>[20]</sup>研究发现  $\gamma$ -生育酚的氧化产物有 9 种, 主要为醌类物质。生育醌含有孤立的羰基结构 (如  $\gamma$ -生育醌的结构, 见图 6)。Yamauchi 等<sup>[21]</sup>的研究表明  $\delta$ -生育酚的氧化产物主要是  $\delta$ -生育邻醌, 5-( $\delta$ -生育酚基)- $\delta$ -生育酚二聚体,  $\delta$ -生育酚三聚体等。在测定油脂羰基价时可能导致羰基价升高。实验数据表明: 添加 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  的棕榈油煎炸 60 h 后,  $\alpha$ -、 $\gamma$ -和  $\delta$ -生育酚的总损耗量分别为  $3495.7 \pm 17.5$  mg/kg 和  $6706.8 \pm 116.4$  mg/kg, 其损耗以转化成醌类物质为主, 这使得  $V_E$  既可以降低油脂氧化产生的羰基化合物的量, 又自身氧化使羰基价升高, 测定的羰基价是这两者综合作用的结果。添加 1000 mg/kg  $V_E$  时,  $V_E$  的添加量比较小, 转化产物也比较少, 对羰基价的升高无显著性影响 ( $P>0.05$ )。

### 2.3.3 维生素 E 对煎炸过程中棕榈油极性组分的影响

极性组分 (Polar Components, PC) 指植物油在煎炸过程中所产生的比甘三酯分子极性大的成分<sup>[22,23]</sup>。由图 7 可知, 随着煎炸时间的延长, 棕榈油中极性组分的含量呈现上升趋势 ( $P<0.05$ )。添加  $V_E$  对 PC 的上升无显著性影响 ( $P>0.05$ )。在煎炸 60 h 内, 棕榈油中极性组分没有超出国标的要求。

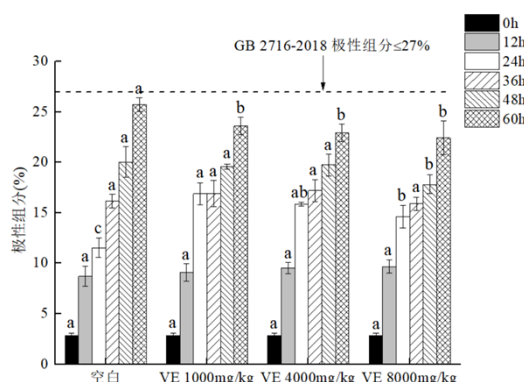


图 7  $V_E$  对棕榈油极性组分的影响

Fig 7. Effect of  $V_E$  content on Polar components of palm oil

### 2.3.4 维生素 E 对煎炸过程中棕榈油色泽的影响

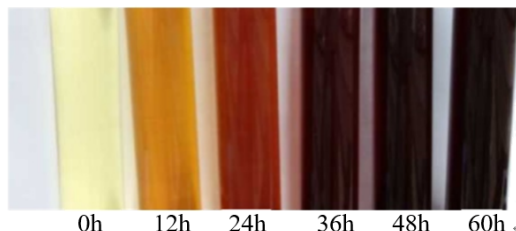


图 8 添加 8000 mg/kg  $V_E$  的棕榈油不同煎炸时间的色泽

Fig. 8 Color of palm oil added with 8000 mg/kg  $V_E$  with different frying time

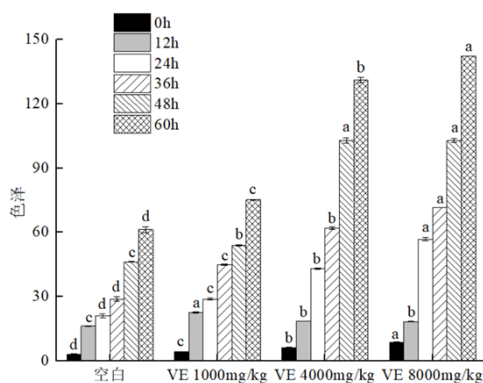


图 9  $V_E$  对棕榈油色泽的影响



Fig.9 Effect of  $V_E$  content on color of palm oil

由图 8 可以明显的看到,随着煎炸时间的延长,棕榈油的色泽加深 ( $P<0.05$ ),油脂色泽由淡黄色逐渐加深至深褐色,透明度也不断降低。实验中采用紫外-可见分光光度计对不同煎炸时间的油样在 400-800nm 下进行波谱扫描<sup>[24]</sup>,从而定量表征煎炸油样品色泽深度,结果如图 9 所示。从图 9 中可以看到,棕榈油色泽随着煎炸时间的延长而加深 ( $P<0.05$ )。这是因为食物在煎炸过程中发生美拉德反应和焦糖化反应等生成棕色或黑色的碎屑溶于油脂中<sup>[25,26]</sup>。另外,油脂在高温煎炸过程中生成羰基化合物、酮基酸、环氧酸等物质,增加了对可见光的吸收,使得煎炸油的色泽随着煎炸时间的延长而加深<sup>[27]</sup>。添加  $V_E$  严重促进了煎炸过程中棕榈油色泽的加深,且添加量越大,色泽加深越严重。这是由于  $V_E$  的氧化产物为生育醌<sup>[19,20,28]</sup>,其颜色为红棕色,  $V_E$  的添加量越大生育醌的生成量也越大,从而使油脂色泽加深。

### 2.3.5 维生素 E 对煎炸过程中棕榈油氧化稳定性的影响

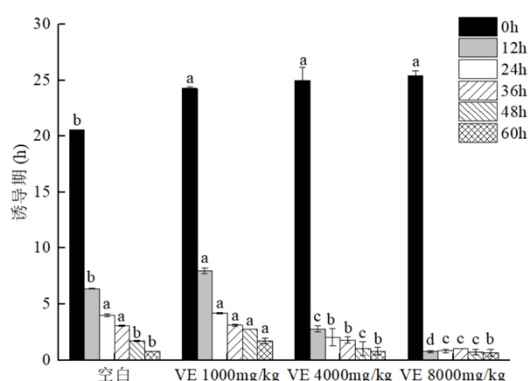


图 10 煎炸了不同时间的棕榈油的氧化诱导期

Fig.10 Induction period of palm oil of frying different time

煎炸油的氧化稳定性与煎炸食品密切相关,通过煎炸油的氧化稳定性可以初步判定煎炸食品的货架期<sup>[29]</sup>。由图 10 可知,经过煎炸,棕榈油的氧化诱导期迅速缩短,这与蒋晓菲等<sup>[30]</sup>的研究结果是一致的。添加 1000 mg/kg  $V_E$  可以延长煎炸过程中棕榈油的氧化诱导期,而 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  都促进了煎炸过程中棕榈油氧化诱导期的缩短。

由 2.2.1 可知,相同煎炸时间下,  $V_E$  的添加量越大,其绝对损耗量越大,生育酚的转化产物就越多,其转化产物主要是醌类物质,醌类物质能够夺取活泼氢原子<sup>[31]</sup>。因此,当棕榈油中醌类化合物的浓度比较大时,会夺取不饱和脂肪酸亚甲基上的氢原子,产生脂质自由基,引起自由基氧化反应,可能是 Rancimat 测定油脂氧化诱导期时氧气压力高,使醌类物质的促氧化作用占据了主导作用,加速了油脂的氧化,使得油脂的氧化诱导期缩短。

### 2.4 维生素 E 对棕榈油煎炸寿命的影响

综合以上  $V_E$  对煎炸过程中棕榈油品质的影响,依据我国国标 GB 2716-2018 的规定,估计  $V_E$  对棕榈油煎炸寿命的影响。煎炸寿命指当棕榈油在煎炸过程中的酸价和极性组分任一指标超出国标,必须废弃时,棕榈油的煎炸时长。

采用 Origin 8.5,根据煎炸油的酸价以及极性组分和煎炸时间的拟合曲线,读出当酸价=5 mg/g,极性组分=27 %时的煎炸时间,从而确定添加不同量的  $V_E$  时,棕榈油的煎炸寿命,结果如表 2 所示。

表 2 添加不同量  $V_E$  的棕榈油的煎炸寿命Table 2 Frying life of palm oil with different amounts of  $V_E$ 

$V_E$ 添加量/ mg/kg	0	1000	4000	8000
煎炸寿命/h	53.0	52.3	59.2	62.3

从表 2 可知,添加 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  可以有效延长棕榈油的煎炸寿命,1000 mg/kg  $V_E$  使棕榈油的煎炸寿命略有减小,考虑到评估误差,1000 mg/kg  $V_E$  很可能对棕榈油的煎炸寿命无显著影响。

### 3 结论

通过煎炸实验表明:天然抗氧化剂  $V_E$  的损耗率随着添加量的增加而减小;添加 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  可以有效保护棕榈油中的生育三烯酚, 1000 mg/kg  $V_E$  对生育三烯酚无保护效果。添加 4000 mg/kg 和 8000 mg/kg  $V_E$  可以延长棕榈油的煎炸寿命, 但是, 缩短了其氧化诱导期, 添加 1000 mg/kg  $V_E$  对棕榈油的煎炸寿命无显著性影响, 但是, 可以延长棕榈油的氧化诱导期。因此, 在煎炸油中  $V_E$  的添加量并不是越多越好, 应根据实际需要适量添加, 其最适添加量可能会因煎炸油的种类、煎炸食材等的不同而不同, 这仍需实验来确定。

### 参考文献:

- [1] RAIMONDI S, MAISONNEUVE P, LOWENFELS AB. Epidemiology of pancreatic cancer: an overview.[J]. Cancer Detection & Prevention, 2009, 27(2):87-93. DOI:10.1016/S0361-090X(03)00002-3.
- [2] 周中凯, 王雨扬, 刁永佳, 等. 过度煎炸油对大鼠氧化应激及相关基因表达的影响[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(5):43-46. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2016.05.013.
- [3] 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. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2006.05.013.
- [4] 王兴国, 金青哲. 煎炸过程的科学管理及煎炸油品质控制[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1):1-5. DOI:10.16429/j.1009-7848.2015.01.001.
- [5] 王莉蓉, 金青哲, 冯国霞, 等. 我国及欧美煎炸食用油法律法规与标准概述[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(9):3774-3779.
- [6] KIM C M, PRATT D E. Degradation products of 2-tert-butylhydroquinone at frying temperature.[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(3):847-847. DOI:10.1111/j.1365-2621.1990.tb05245.x.
- [7] WARNER C R, DANIELS D H, LIN F S D, et al. Fate of antioxidants and antioxidant-derived products in deep-fat frying and cookie baking[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1986, 34(1):1-5. DOI:10.1021/jf00067a001.
- [8] ASAP T, AUGUSTIN M A. Effect of TBHQ on quality characteristics of RBD olein during frying[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1986, 63(9):1169-1172. DOI:10.1007/BF02663944.
- [9] 樊之雄, 刘元法, 陶涛, 等. 几种抗氧化剂控制煎炸棕榈油劣变的比较研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4):357-359.
- [10] KATHLEEN W, JILL M. Frying Stability of Purified Mid-Oleic Sunflower Oil Triacylglycerols with Added Pure Tocopherols and Tocopherol Mixtures[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2009, 86(12):1199. DOI:10.1007/s11746-009-1461-9.
- [11] 范柳萍, 鲁璐, 刘元法, 等. 高温煎炸棕榈油体系抗氧化剂的选择[J]. 中国油脂, 2012, 37(3):40-43. DOI:10.3969/j.issn.1003-7969.2012.03.010.
- [12] BRUSCATTO M H, ZAMBIAZI R C, SGANZERLA M, et al. Degradation of Tocopherols in Rice Bran Oil Submitted to Heating at Different Temperatures[J]. Journal of Chromatographic Science, 2009, 47(9):762-765. DOI:10.1093/chromsci/47.9.762.
- [13] FEREIDOUN SHAHIDI. 油脂化学与工艺学[M]. 王兴国. 金青哲 译 第六版. 北京: 中国轻工业出版社, 2016.2-26.
- [14] 穆昭, 王兴国, 刘元法. 加热过程煎炸油品质分析[J]. 粮油加工, 2008(2):65-67.
- [15] 穆昭. 煎炸油加热过程品质变化与评价[D]. 无锡: 江南大学, 2008:1-12.
- [16] 张国治. 油炸食品生产技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [17] 何爱丽. 几种食用油在煎炸过程中的品质变化研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015:2-5.
- [18] 李桂华. 油料油脂检验与分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.136-138.
- [19] MURKOVIC D I M, WILTSCHEKO D I D, PFANNHAUSER W. Formation of  $\alpha$ -Tocopherolquinone and  $\alpha$ -Tocopherolquinone Epoxides in Plant Oil[J]. Lipid, 1997, 99(5):165-169. DOI:10.1002/lipi.19970990504.
- [20] YAMAUCHI, MATSUI T, KATO K, et al. Reaction Products of  $\gamma$ -Tocopherol with an Alkylperoxyl Radical in Benzene[J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 1990, 54(10):2703-2709. DOI:10.1271/bbb1961.54.2703.
- [21] YAMAUCHI, TOMOATSU MATSUI, NOBUYUKI MIYAKE, et al. Reaction of  $\delta$ -Tocopherol with an Alkylperoxyl Radical[J]. Journal of the



- Agricultural Chemical Society of Japan, 2014,54(11):2993-2999. DOI:10.1007/BF02536640.
- [22] ABDULKARIM S M, LONG K, LAI O M, et al. Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils[J]. Food Chemistry, 2007, 105(4):1382-1389. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.05.013.
- [23] FARHOOSH R, TAVASSOLIKAFRANI M H. Simultaneous monitoring of the conventional qualitative indicators during frying of sunflower oil[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1):209-213. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.08.064.
- [24] 付元元, 毕艳兰, 彭丹, 等. 分光光度法测定一级大豆油色泽的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(4):32-38.
- [25] DEBNATH S, RASTOGI N K, GOPALA KRISHNA A G, et al. Effect of frying cycles on physical, chemical and heat transfer quality of rice bran oil during deep-fat frying of poori: An Indian traditional fried food[J]. Food and Bioproducts Processing, 2012, 90(2):249-56. DOI:10.1016/j.fbp.2011.05.001
- [26] 张清. 大豆油在不同煎炸体系中的特征理化性质的变化研究[D]. 中国农业大学, 2014.
- [27] 宋丽娟, 于修烛, 张建新, 等. 煎炸油在薯片煎炸过程中的品质变化[J]. 食品科学, 2011, 32(5):70-74.
- [28] MUN YHUNG JUNG, DAVID B.MIN. Effects of oxidized  $\alpha$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherols on the oxidative stability of purified soybean oil[J]. Food Chemistry, 1992, 45(3):183-187. DOI:10.1016/0308-8146(92)90112-F.
- [29] MIN HU and CHARLOTTE JACOBSEN. Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats [M]. Champaign: Journal of the American Oil Chemists' Society, 2016.
- [30] 蒋晓菲, 杨叶波, 金青哲, 等. 5 种精制食用油在煎炸薯条过程中的品质变化[J]. 中国油脂, 2014, 39(8):47-51. DOI:10.3969/j.issn.1003-7969.2014.08.011
- [31] 王瀛. 醌类化合物催化氧化性能的研究[D]. 郑州:郑州大学, 2010.