

## 生育酚抑制油脂氧化机制研究进展

周 洋<sup>1</sup>, 杨文婧<sup>1</sup>, 操丽丽<sup>1,2</sup>, 姜绍通<sup>1,2</sup>, 庞 敏<sup>1,2</sup>

(1. 合肥工业大学 食品科学与工程学院, 合肥 230009; 2. 安徽省农产品精深加工重点实验室, 合肥 230009)

**摘要:**生育酚是天然脂溶性抗氧化剂维生素 E 的重要组成部分, 广泛存在于各种食用油中。但在加热条件下, 油脂中生育酚在参与延缓油脂氧化反应过程中自身会发生损耗、转化和迁移, 其转化产物是否还具备抗氧化活性成为研究热点。针对中餐食用油以高温煎炸为主的使用习惯, 研究生育酚在高温煎炸条件下的转化及抗氧化活性维持十分重要。结合油脂氧化机理, 主要总结了油脂中生育酚的抗氧化机制, 重点对加热条件下生育酚抑制油脂氧化机制相关研究进展进行综合分析, 旨在为合理及正确使用脂溶性抗氧化剂维生素 E、发挥其营养保健功效、维持油脂品质提供一定参考。

**关键词:**生育酚; 维生素 E; 抗氧化机制; 油脂氧化

**中图分类号:**TS201.2; TS201.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2018)08-0032-07

### Progress in mechanism of tocopherol inhibiting oil oxidation

ZHOU Yang<sup>1</sup>, YANG Wenjing<sup>1</sup>, CAO Lili<sup>1,2</sup>, JIANG Shaotong<sup>1,2</sup>, PANG Min<sup>1,2</sup>

(1. School of Food Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Tocopherol is an important component of natural fat-soluble antioxidant vitamin E, and it widely exists in edible oils. At high temperature, the tocopherol in edible oil could effectively delay the reaction of oil oxidation, and its loss, transformation, migration would occur during the process. Whether its transformation products still have antioxidant activity became a research hotspot. In view of the Chinese food cooking oil mainly used for high temperature frying, the study of tocopherol transformation and antioxidant activity maintainance at high temperature frying was very significant. Combining with oil oxidation mechanism, the antioxidant mechanism of tocopherol in oil was mainly summarized, and tocopherol inhibiting oil oxidation mechanism during heating was comprehensively analyzed to provide some references for reasonable use of fat-soluble antioxidant vitamin E, play its nutrition health function and maintain the quality of edible oil.

**Key words:** tocopherol; vitamin E; antioxidant mechanism; oil oxidation

维生素 E 是一种强有效的抗氧化剂, 具有预防动脉硬化和心脑血管疾病、提高机体免疫力、延缓衰

老、抗肿瘤等多种生理功能<sup>[1-2]</sup>。维生素 E 作为抗氧化剂添加到油脂中, 不仅可达到预防和延缓油脂氧化的目的, 也可提高油脂的营养价值, 在人体内发挥多种生理功能, 降低疾病风险<sup>[3-4]</sup>。近年来, 由于食用油中广泛添加的人工合成抗氧化剂 TBHQ、BHT、BHA 的安全性受到普遍质疑<sup>[5-6]</sup>, 天然脂溶性抗氧化剂维生素 E 受到食用油行业关注。

生育酚是维生素 E 的重要组成部分。国内外对生育酚的抗氧化机理研究表明, 首先由于不同种类生育酚甲基化的程度不同, 不同种类生育酚的抗氧化活性也不同。其次, 生育酚的抗氧化活性随脂

收稿日期: 2017-09-24; 修回日期: 2018-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371729); 安徽省科技攻关计划项目(1640a0702012); 合肥工业大学博士专项科研资助基金(JZ2015HGBZ0489)

作者简介: 周 洋(1993), 男, 硕士研究生, 研究方向为油脂营养与健康(E-mail) zhouyang5061@163.com。

通信作者: 庞 敏, 副教授, 博士(E-mail) pangmin@hfut.edu.cn。

质基质种类、生育酚浓度不同而表现不同<sup>[7]</sup>。此外,作为天然的酚类抗氧化剂,生育酚在高温条件下发生损耗<sup>[8]</sup>,其转化产物是否还具备抗氧化活性也成为研究热点之一。

本文结合油脂氧化机理,对生育酚在脂质体系中的抗氧化机制研究进展进行总结,并对加热油脂体系中生育酚的转化机制、降解机理及抗氧化、促氧化等相关实验现象进行总结及分析,旨在为合理及正确使用天然脂溶性抗氧化剂维生素E、发挥其营养保健功效、维持油脂品质提供一定的理论支持。

### 1 油脂中生育酚抗氧化机制

生育酚作为一种重要的抗氧化剂,在油脂中主要通过清除不饱和和脂质自由基,达到抑制油脂氧化的目的<sup>[9]</sup>。另外,由于不同种类生育酚甲基化程度

不同,不同生育酚的抗氧化活性也不同。

#### 1.1 油脂中 $\alpha$ -生育酚抗氧化机理

$\alpha$ -生育酚在动物体内含量充足且最具有生物活性,能够作为抗氧化剂抑制脂质过氧化<sup>[10]</sup>。图1为 $\alpha$ -生育酚抑制油脂自动氧化的反应流程图。如图1所示, $\alpha$ -生育酚提供氢原子与脂质自由基结合生成稳定的脂质产物和 $\alpha$ -生育酚自由基。 $\alpha$ -生育酚自由基继续与链式反应中的其他自由基结合,使其脱离链式反应,生成稳定性高的脂质化合物<sup>[11-12]</sup>。微量氧气存在时, $\alpha$ -生育酚自由基相互结合,形成二聚体和三聚体<sup>[13-14]</sup>。上述机制表明1个 $\alpha$ -生育酚分子能够阻断2分子的脂质自由基链式氧化反应。

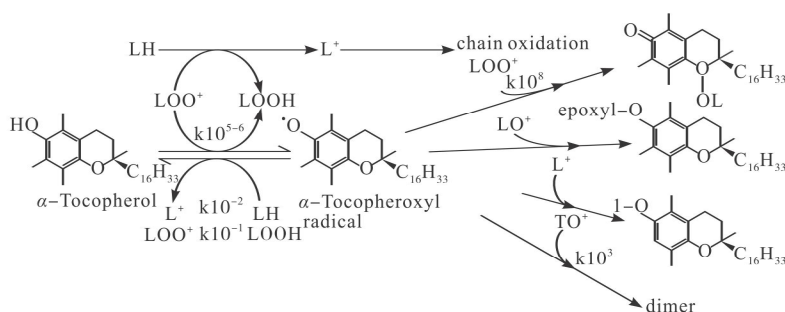


图1  $\alpha$ -生育酚抑制油脂自动氧化反应流程图

#### 1.2 油脂中 $\gamma$ -生育酚抗氧化机理

$\gamma$ -生育酚广泛存在于食用植物油中,作为一种重要的抗氧化剂阻止植物油氧化<sup>[15]</sup>。通过 $\gamma$ -生育酚与过氧烷基自由基反应模型,研究者模拟

$\gamma$ -生育酚与脂质过氧自由基反应,使用反向高效液相色谱在有机溶剂中分离出 $\gamma$ -生育酚与过氧烷基自由基反应的产物<sup>[16]</sup>。推测 $\gamma$ -生育酚与不饱和和脂质的反应流程大致如图2所示。

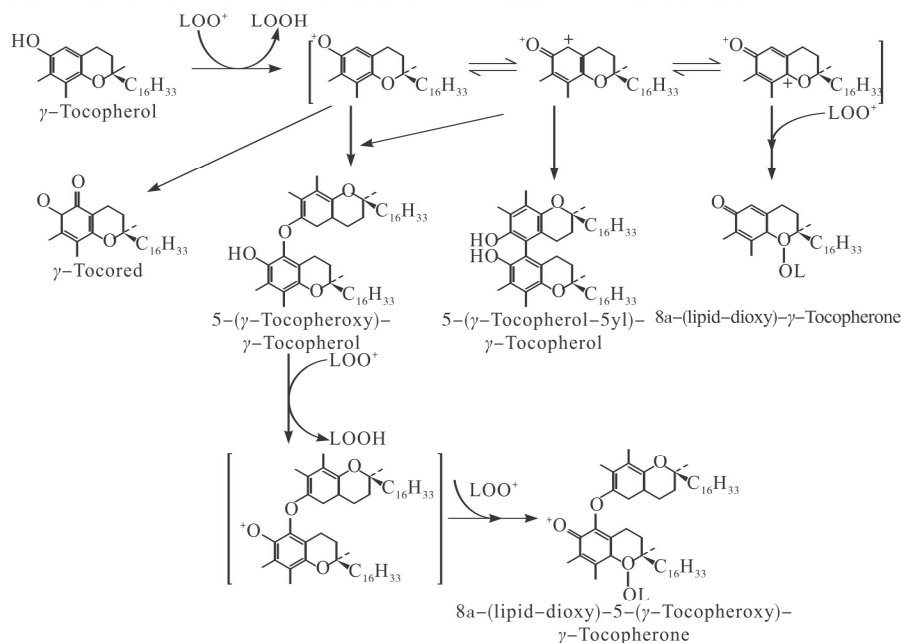


图2  $\gamma$ -生育酚与不饱和脂质反应流程图



置、煎炸材料、加热环境等因素有关。

### 2.1 食用油品种的影响

不同种类,精炼程度不同的食用油中维生素 E 含量不同,每种生育酚、生育三烯酚组分也有显著差异<sup>[24]</sup>。温运启等<sup>[25]</sup>系统检测 9 种常见食用油中维生素 E 含量以及生育酚和生育三烯酚的比例。发现维生素 E 在大豆油中含量最多,山茶油中含量最少;米糠油各组分种类最丰富。刘玉兰等<sup>[26]</sup>研究米糠油、大豆油、棕榈油、米糠调和油 4 种食用油煎炸过程中维生素 E 各组分含量的变化趋势。发现大豆油维生素 E 含量高,能够很好地阻止油脂氧化,达到防止油脂劣变目的。但是随着煎炸时间延长,大豆油羰基值和极性组分含量迅速上升;而其他 3 种油上升趋势并不明显。结合不同食用油中维生素 E 组分的不同,发现其他 3 种油生育三烯酚含量明显高于大豆油,在高温煎炸条件下,生育三烯酚比生育酚具有更强的抗氧化活性和氧化稳定性,这可能是导致煎炸后期大豆油品质显著下降原因之一。徐婷婷等<sup>[27]</sup>研究不同脂肪酸组成的食用油热氧化实验过程中发现:花生油中不饱和脂肪酸含量高,加热过程中维生素 E 损耗明显,反式脂肪酸含量上升明显,劣变程度深。这可能是由于加热过程中,通过消耗大量的维生素 E 保护不饱和脂肪酸被氧化。总结上述实验表明:食用油中维生素 E 含量越高,油煎炸过程中抗氧化活性越强;生育三烯酚占比越高,煎炸时间越持久;不饱和脂肪酸不利于维生素 E 表达其抗氧化活性。

### 2.2 煎炸材料的影响

食用油在煎炸过程中,食材的水分、脂肪、蛋白质、淀粉等含量不同。因此煎炸过程中食材与维生素 E 反应机制也不同。王莹辉<sup>[28]</sup>、侯利霞<sup>[29]</sup>等在  $(190 \pm 5)^\circ\text{C}$  温度下,分别使用米糠油和玉米油煎炸不同食材,探究不同食材对米糠油和玉米油中维生素 E 含量影响情况。结果表明:煎炸食材对米糠油中维生素 E 影响大小次序为淀粉 > 蛋白质 > 脂肪 > 水分;煎炸食材对玉米油中维生素 E 影响大小次序为脂肪 > 蛋白质 > 淀粉 > 水分。郝乾有等<sup>[30]</sup>探究不同水分含量食材对玉米油中维生素 E 含量的影响情况。结果表明:煎炸食材的水分含量与维生素 E 含量成反比;水分含量对  $\gamma$ -生育酚影响最显著。总结上述实验结果:油脂煎炸过程中,煎炸材料的不同对维生素 E 影响显著;但由于不同食用油脂脂肪酸组成、精炼程度等区别,煎炸食材对维生素 E 影响大小次序也不同;水分含量越高越不利于煎炸条件下维生素 E 的保留,水分含量对  $\gamma$ -生育酚的影响

更为显著。

### 2.3 加热方式的影响

我国食用油加热方式主要有平底加热、微波加热、深度油炸等,不同加热方式维生素 E 流失速率,油脂劣变程度区别较大。冯山山等<sup>[31]</sup>研究微波加热与常规加热维生素 E 含量变化情况,结果表明:微波加热对两种植物油中维生素 E 的影响更大。Albi 等<sup>[32]</sup>研究微波加热和传统加热处理 4 种常见的动植物油,结果表明,微波加热处理后的油脂密度、黏度、角鲨烯含量、反式异构体含量等油脂品质衡量指标比传统加热处理明显变差,而且维生素 E 的抗氧化活性显著下降。微波处理油脂中维生素 E 抗氧化活性降低的原因可能是:微波的热能将植物油中饱和脂肪酸的降解为不饱和脂肪酸,增加植物油中的过氧化物和游离基,其可与生育酚苯环上的羟基结合,抑制生育酚阻断链式反应的能力;微波能让生育酚所含的极性基团降解失效,失去抗氧化活性<sup>[32-33]</sup>。比较平底加热和深度油炸对食用橄榄油品质影响情况,结果证明:平底加热导致橄榄油理化指标更不理想,维生素 E 损失更明显。用 3 个不同温度梯度平底加热不同食用油,探究平底加热对食用油中生育酚的影响,结果表明:在这 3 个温度下,加热不同食用油 10 min 时,生育酚总量减少近 100%,而且食用油不饱和脂肪酸越多生育酚损耗越快,温度越高损耗越快;但是将食用油预热至  $180^\circ\text{C}$  煎炸面包片,8 min 后生育酚含量损失率不到 30%<sup>[34]</sup>。Fišnar 等<sup>[35]</sup>研究微波加热、平底加热、深度油炸 3 种方式;发现微波加热食用油中生育酚和脂肪酸降解速率是其他加热方式的 2~3 倍,并且在很短时间内形成具有细胞毒性的  $\gamma$ -生育酚醌。通过比较深度油炸与平底加热,发现平底加热更不利于生育酚保存<sup>[36]</sup>。比较上述 3 种加热方式对油脂品质和维生素 E 影响大小情况,得出结论:微波加热影响最大,平底加热其次,深度油炸影响最小。

## 3 生育酚热降解机理及氧化产物抗氧化机理

### 3.1 生育酚热降解机理

在高温加热油脂过程中  $\alpha$ -生育酚与脂质自由基反应被氧化生成  $\alpha$ -生育酚醌( $\alpha$ -tocopherolquinone, TQ)、 $\alpha$ -生育酚醌-5,6-环氧化物( $\alpha$ -tocopherolquinone-5,6-epoxide, TQE1)、 $\alpha$ -生育酚醌-2,3-环氧化物( $\alpha$ -tocopherolquinone-2,3-epoxide, TQE2)(见图 4)。煎炸温度为  $90^\circ\text{C}$  时, $\alpha$ -生育酚主要分解产物为 TQ,还有少量的 TQE1 和 TQE2 生成;当煎炸温度达到  $180 \sim 220^\circ\text{C}$  时,生成大量的 TQE1 和少量的 TQ,而不生成 TQE2。当煎炸

温度达到 220 °C 时, TQ 产生后会快速发生降解<sup>[37]</sup>。生物体内生育酚醌能够被还原为生育氢醌。γ-、α-生育酚还能被空气中的氧气氧化为 TQ 和 α-生育氢醌(α-tocopherolhydroquinone, TQH)<sup>[38]</sup>。在 δ-生育酚在加热条件下, 也会发生类似的变化, 生成 γ-、δ-生育酚醌及其环氧化物。

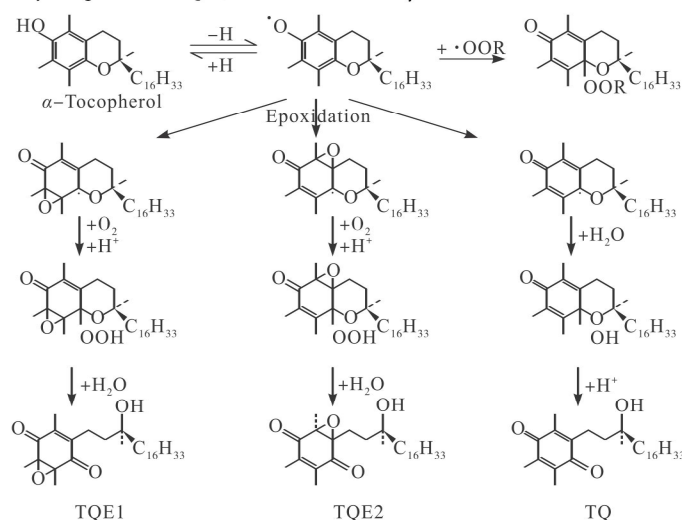


图4 α-生育酚热降解机理图

### 3.2 生育酚氧化产物抗氧化机理

α-生育氢醌(TQH)作为α-生育酚的氧化产物, 抗氧化的能力比α-生育酚更强。一方面, TQH通过阻止油脂自动氧化起始阶段脂质自由基的产生表达抗氧化活性, 每个TQH分子被氧化, 通过电子的转移表达其抗氧化能力, 约清除2分子的脂质氢过氧自由基<sup>[39]</sup>。TQH氧化产物主要为TQ, 还有少部分的TQE1和TQE2(见图5)。另一方面, 研究表

明TQH可作为氧化还原剂, 将生育酚自由基还原为生育酚, 保护生物体内的低密度脂蛋白<sup>[40]</sup>。TQ也具有抗氧化活性, 但是抗氧化能力比TQH、TQE1和TQE2弱<sup>[41-42]</sup>。TQ在医疗领域也具有特定的运用, 研究表明TQ对阿尔兹海默症具备一定的疗效, 且高浓度时无细胞毒性<sup>[43]</sup>。然而γ-、δ-生育酚醌高浓度时对正常细胞和癌细胞都具有细胞毒性<sup>[44-45]</sup>。

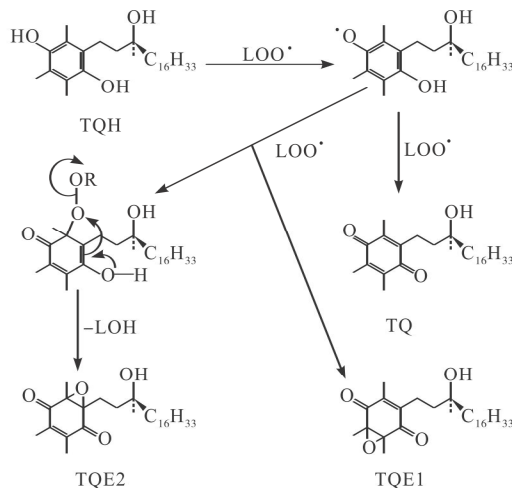


图5 TQH氧化流程图

## 4 结语与展望

近年来, 食用植物油中广泛添加的人工合成抗氧化剂TBHQ、BHT、BHA在加热条件下的安全隐患得到重视, 维生素E以其天然及营养特性受到食用油行业关注, 维生素E在脂质中的抗氧化作用主要

通过延缓油脂或者含油食品的氧化酸败过程, 但在加热条件下生育酚在参与延缓油脂氧化反应过程中自身会发生损耗、转化和迁移, 其转化产物的安全性、是否还具备抗氧化活性也成为研究热点。加强对油脂加热条件下生育酚的转化机制、降解机理及

抗氧化、促氧化研究,为合理及正确使用维生素E、发挥其营养保健功效、维持油脂营养与健康提供重要的理论及应用指导参考。

#### 参考文献:

- [1] GLICKMAN - SIMON R, LINDSAY T. Cannabinoids for chronic pain, mediterranean diet, and cognitive function; vitamin E and selenium for cataract prevention; and acupuncture and moxibustion for primary dysmenorrhea, massage therapy, and in vitro fertilization [J]. *Explore*, 2016, 11(6): 489 - 493.
- [2] RAEDERSTORFF D, WYSS A, CALDER P C, et al. Vitamin E function and requirements in relation to PUFA [J]. *Brit J Nutr*, 2015, 114(8): 1113 - 1122.
- [3] FUKUI A, KAWABE N, HASHIMOTO S, et al. Vitamin E reduces liver stiffness in nonalcoholic fatty liver disease [J]. *World J Hepatol*, 2017, 7(27): 2749 - 2756.
- [4] UEDA S, HAYASHI T, NAMIKI M. Effect of ascorbic acid on lipid autoxidation in a model food system [J]. *Agric Biol Chem*, 1986, 50(1): 1 - 7.
- [5] ELGAZAR A F. Effects of butylated hydroxytoluene and butylated hydroxyanisole against hepatotoxicity induced by carbon tetrachloride in rats [J]. *World Appl Sci J*, 2013, 22(1): 63 - 69.
- [6] WILLIAMS G M, IATROPOULOS M J, WHYSNER J. Safety assessment of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene as antioxidant food additives [J]. *Food Chem Toxicol*, 1999, 37(793/798): 1027 - 1038.
- [7] NYSTROM L, ACHRENIUS T, LAMPI A M, et al. A comparison of the antioxidant properties of steryl ferulates with tocopherol at high temperatures [J]. *Food Chem*, 2006, 101(3): 947 - 954.
- [8] BABJI A S. Tocopherol and tocotrienol contents of chicken nuggets blended with red palm oils before and after frying [J]. *J Oil Palm Res*, 2015, 27(1): 82 - 89.
- [9] VAN ACKER S A, KOYMANS L M, BAST A. Molecular pharmacology of vitamin E: structural aspects of antioxidant activity [J]. *Free Radical Biol Med*, 1993, 15(3): 311.
- [10] KREPS F, KYSELKA J. Synthesis and analysis of tocopheryl quinone and tocopherol esters with fatty acids in heated sunflower oil [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2016, 118(5): 788 - 802.
- [11] CHIMI H, CILLARD J, CILLARD P, et al. Peroxyl and hydroxyl radical scavenging activity of some natural phenolic antioxidants [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1991, 68(5): 307 - 312.
- [12] PEERS K E, COXON D T, CHAN W S. Autoxidation of methyl linolenate and methyl linoleate: the effect of  $\alpha$ -tocopherol [J]. *J Sci Food Agric*, 2010, 32(9): 898 - 904.
- [13] CSALLANY A S, MEI C, DRAPER H H. Oxidation products of  $\alpha$ -tocopherol formed in autoxidizing methyl linoleate [J]. *Lipids*, 1970, 5(1): 63 - 70.
- [14] YAMAUCHI R, KATO K, UENO Y. Formation of trimers of  $\alpha$ -tocopherol and its model compound, 2,2,5,7,8-pentamethylchroman-6-ol, in autoxidizing methyl linoleate [J]. *Lipids*, 1988, 23(8): 779 - 783.
- [15] GOTTSSTEIN T, GROSCH W. Model study of different antioxidant properties of  $\alpha$ - and  $\gamma$ -tocopherol in fats [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2010, 92(4): 139 - 144.
- [16] YAMAUCHI R, MATSUI T, KATO K, et al. Reaction products of  $\gamma$ -tocopherol with an alkylperoxyl radical in benzene [J]. *Agric Biol Chem*, 2014, 54(10): 2703 - 2709.
- [17] WAYNER D D, BURTON G W, INGOLD K U, et al. The relative contributions of vitamin E, urate, ascorbate and proteins to the total peroxyl radical-trapping antioxidant activity of human blood plasma [J]. *Biochim Biophys Acta*, 1987, 924(3): 408.
- [18] LECLERCQ S, REINECCIUS G A, MILO C. Effect of type of oil and addition of  $\delta$ -tocopherol on model flavor compound stability during storage [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(22): 9189 - 9194.
- [19] KADOMA Y, ISHIHARA M, OKADA N, et al. Free radical interaction between vitamin E ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherol), ascorbate and flavonoids [J]. *Vivo*, 2006, 20(6B): 823 - 827.
- [20] YAMAUCHI R, MATSUI T, MIYAKE N, et al. Reaction of  $\delta$ -tocopherol with an alkylperoxyl radical [J]. *Agric Biol Chem*, 1990, 54(11): 2993 - 2999.
- [21] HA K H, IGARASHI O. The oxidation products from two kinds of tocopherols co-existing in autoxidation system of methyl linoleate [J]. *J Nutr Sci Vitaminol*, 1990, 36(4): 411 - 421.
- [22] GORDON M H, LOVEGROVE J A, NIRANJAN K. Frying of potato chips in a blend of canola oil and palm olein: changes in levels of individual fatty acids and tocopherols [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2012, 47(8): 1701 - 1709.
- [23] ALADEDUNYE F A, PRZYBYLSKI R. Protecting oil during frying: a comparative study [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2009, 111(9): 893 - 901.
- [24] 黄百芬, 谭莹, 姚建花, 等. 浙江省居民常用食用植物油中4种生育酚异构体的含量分析 [J]. *营养学报*, 2013, 35(1): 78 - 82.
- [25] 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.
- [26] 刘玉兰, 王莹辉, 张振山, 等. 4种油脂煎炸过程中维生素E组分含量变化的研究 [J]. *中国油脂*, 2015, 40(12): 48 - 52.
- [27] 徐婷婷, 李静, 阚丽娇, 等. 不同脂肪酸组成的食用油热氧化稳定性研究 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34(24): 93 - 97.
- [28] 王莹辉, 刘玉兰, 田瑜, 等. 不同煎炸食材对米糠油煎

- 炸品质影响的研究 [J]. 中国油脂, 2014, 39(11): 48-51.
- [29] 侯利霞, 马玉婷, 刘玉兰, 等. 煎炸不同食材对玉米油品质的影响 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(5): 26-30.
- [30] 郝乾有, 侯利霞. 煎炸不同含水量食材对玉米油理化指标和维生素 E 含量变化影响的研究 [J]. 粮食与食品工业, 2016, 23(4): 16-20.
- [31] 冯山山, 王多娇, 孙昕祈, 等. 常规加热和微波加热对两种植物油维生素 E 含量的影响 [J]. 食品安全质量检测学报, 2013(2): 439-443.
- [32] ALBI T, LANZ N A, GUINDA A, et al. Microwave and conventional heating effects on some physical and chemical parameters of edible fats [J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(8): 3000-3003.
- [33] 张桂英, 李琳, 郭祀远. 微波对植物油中维生素 E 抗氧化性能的作用 [J]. 食品科学, 1998, 19(2): 15-17.
- [34] ANDRIKOPOULOS N K, KALOGEROPOULOS N, FALIREA A, et al. Performance of virgin olive oil and vegetable shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes [J]. Int J Food Sci Technol, 2010, 37(2): 177-190.
- [35] FIŠNAR J, DOLEŽAL M, RÉBLOVÁ Z. Tocopherol losses during pan-frying [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2015, 116(12): 1694-1700.
- [36] KREPS F, SCHMIDT Z B S, et al. Degradation of fatty acids and tocopherols to form tocopheryl quinone as risk factor during microwave heating, pan-frying and deep-fat frying [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2016, 119(5): 1600309.
- [37] MURKOVIC M, WILTSCHEK D. Formation of  $\alpha$ -tocopherolquinone and  $\alpha$ -tocopherolquinone epoxides in plant oil [J]. Lipid, 1997, 99(5): 165-169.
- [38] KOHAR I, BACA M, SUARNA C, et al. Is  $\alpha$ -tocopherol a reservoir for  $\alpha$ -tocopheryl hydroquinone? [J]. Free Radical Biol Med, 1995, 19(2): 197-207.
- [39] LIEBLER D C, BURR J A. Antioxidant reactions of  $\alpha$ -tocopherol hydroquinone [J]. Lipids, 2000, 35(9): 1045-1047.
- [40] NEUZIL J, WITTING P K, STOCKER R.  $\alpha$ -tocopheryl hydroquinone is an efficient multifunctional inhibitor of radical-initiated oxidation of low density lipoprotein lipids [J]. P Nat Acad Sci USA, 1997, 94(15): 7885.
- [41] MARMESAT S, MORALES A, VELASCO J, et al. Action and fate of natural and synthetic antioxidants during frying [J]. Grasas Aceites, 2010, 61(4): 333-340.
- [42] BINDOLI A, VALENTE M, CAVALLINI L. Inhibition of lipid peroxidation by  $\alpha$ -tocopherolquinone and  $\alpha$ -tocopherol-hydroquinone [J]. Biochem Int, 1985, 10(5): 753-761.
- [43] WANG S W, YANG S G, LIU W, et al.  $\alpha$ -tocopherol quinone ameliorates spatial memory deficits by reducing  $\beta$ -amyloid oligomers, neuroinflammation and oxidative stress in transgenic mice with Alzheimer's disease [J]. Behav Brain Res, 2015, 296: 109-117.
- [44] GREGOR W, STANIEK K H, GILLE L. Distribution of tocopheryl quinone in mitochondrial membranes and interference with ubiquinone-mediated electron transfer [J]. Biochem Pharmacol, 2006, 71(11): 1589-1601.
- [45] JAISWAL A K. Regulation of genes encoding NAD(P)H:quinone oxidoreductases [J]. Free Radical Biol Med, 2000, 29(3/4): 254.

· 广告 ·

## 上海久星导热油股份有限公司

上海股权托管交易中心挂牌 简称:久星股份 代码:E100341



久星导热油 导热永长久

二苯基甲苯化学合成导热油(沸点392°C)	Y-QQL第二代强力型清洗剂
单苯基化学合成导热油(纯度99%)	Y-XNJ导热油修复剂(黏度)
L-QC320合成导热油	LYM-225合成高温链条油
L-QC310导热油	LHM32、LHM46、LHM68抗磨液液压油
Y-QZX导热油在线清洗剂	C101合成电力电容器油

地址: 上海茂兴路86号22D  
 总机: 021-58708588  
 热线: 4008-810-018  
 13331833379  
 网址: www.9xchem.com  
 邮编: 200127



久星官方微信 久星官方网站