

## TBHQ 对油炸花生米抗氧化稳定性的影响研究

高沛<sup>1,2</sup>, 姜启兴<sup>1,2\*</sup>, 李姝琦<sup>1,2</sup>, 于沛沛<sup>1,2</sup>, 许学勤<sup>1,2</sup>

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 2. 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏无锡 214122)

**摘要** 在 37 °C 加速氧化和不同包装真空度条件下, 探讨叔丁基对苯二酚(TBHQ)的添加方式和添加量对油炸花生米抗氧化稳定性的影响。结果表明, 在 37 °C 加速氧化条件下, 添加 TBHQ 后油炸花生米的酸价(AV)和过氧化值(POV)显著小于对照组( $P < 0.05$ ), 且都不超过国家限量标准。TBHQ(油)添加组酸价(AV)显著低于 TBHQ(拌料)添加组( $P < 0.05$ ), 但过氧化值(POV)没有显著差异( $P > 0.05$ ), 预测货架期均在 12 个月以上。在 37 °C 贮藏第 3 个月, 对照组的 AV 和 POV 值均超过国家限量标准; 在油炸持续过程中 TBHQ 含量不断降低, 8 h 后损耗率接近 60%。综上所述, TBHQ(油)添加组整体抗氧化效果优于 TBHQ(拌料)添加组, 产品保质期可延长 3 个月, 并且实际生产中要及时补充油炸造成的 TBHQ 损耗。研究结果对于提升油炸花生米等高油脂食品的品质具有重要的理论指导意义。

**关键词** 油炸花生米; 叔丁基对苯二酚; 损耗率; 抗氧化稳定性

**中图分类号** TS 255.6 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)03-0186-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.03.049



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study on the Effects of TBHQ on Antioxidation Stability of Fried Peanuts

GAO Pei<sup>1,2</sup>, JIANG Qi-xing<sup>1,2</sup>, LI Shu-qi<sup>1,2</sup> et al (1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122; 2. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control, Wuxi, Jiangsu 214122)

**Abstract** The effects of adding method and amount of TBHQ on the antioxidant stability of fried peanuts were investigated under the conditions of accelerated oxidation at 37 °C and different package vacuum degree. The results showed that the acid value (AV) and peroxide value (POV) of fried peanut with adding TBHQ in oil under the conditions of accelerated oxidation at 37 °C were significantly lower than those of the control group ( $P < 0.05$ ), which did not exceed the limits of national standard. AV of samples with adding TBHQ in oil was significantly lower than that of samples with adding TBHQ in peanut ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference of POV ( $P > 0.05$ ). And the shelf life was predicted as more than 12 months for both treatments of TBHQ. However, after 3 months of storage at 37 °C, AV and POV of the control group exceeded the limits of national standard. The content of TBHQ decreased continuously during the frying process, and its loss rate was close to 60% after 8 h. In conclusion, the overall antioxidant effect of adding TBHQ in oil was better than that of adding TBHQ in peanut, and the shelf life of treated products could be prolonged for 3 months. In addition, TBHQ in oil should be supplemented in time in the actual production. The research results had an important theoretical guidance meaning for improving the quality of fried peanut and other high-fat food.

**Key words** Fried peanut; TBHQ; Loss rate; Antioxidant stability

花生是我国主要的油料作物, 其产量长期居于世界第一位。食用及榨油是花生的主要消费方式<sup>[1]</sup>。油炸花生米是主要的花生仁初级加工产品之一<sup>[2]</sup>。花生中含有大量的不饱和脂肪酸, 在受到光照、热、氧气、金属离子等因素的影响时, 会发生自动氧化反应, 降低油炸花生米的品质, 并带来潜在的安全问题, 如产生的过氧化物进一步分解为醛、酮等致癌物<sup>[3-4]</sup>。目前国内外已经有大量用来提高花生类零食的氧化稳定性的方法, 在货架期内可以提高产品质量, 主要包括低温贮藏、真空包装、气调包装, 采用能够阻隔光与氧的包装材料以及使用脱氧剂清除与产品接触的氧气, 向产品中添加天然或合成的抗氧化剂等<sup>[5]</sup>。

添加抗氧化剂是各企业最常用、最方便、最经济的方法。天然抗氧化剂包括 V<sub>E</sub>、抗坏血酸等酚类以及多糖类、色素类物质<sup>[6]</sup>, 但是天然抗氧化剂的生产成本较高, 且其含有的活性成分含量低, 对光、热等促氧化因素极易敏感, 因此其使用受到限制<sup>[7]</sup>。合成抗氧化剂主要包括叔丁基对苯二酚(TBHQ)、没食子酸丙酯、二丁基羟基甲苯等。其中, TBHQ 对植物油脂的抗氧化性能较其他合成类抗氧化剂更好<sup>[8]</sup>。Ume-

da 等<sup>[9]</sup>研究表明 TBHQ 对大豆油的抗氧化效果甚至优于紫皮洋葱黄酮提取物。在油炸试验中, 相较于天然抗氧化剂, TBHQ 的抗氧化能力更强<sup>[10]</sup>。TBHQ 中含有 2 个酚羟基, 可以在氧化过程中作为供氢体阻断氧化反应, 同时自身形成稳定的醌类物质, 因此 TBHQ 的抗氧化能力优于其他合成类抗氧化剂甚至天然类抗氧化剂<sup>[11]</sup>。

目前关于天然抗氧化剂、合成抗氧化剂对油脂的氧化稳定性研究较多, 而对油炸花生米等含油量较高的休闲食品在贮藏期间的抗氧化稳定性研究较少。目前, 合成抗氧化剂的添加方式和添加量对油脂稳定性的影响研究较少。笔者以油炸花生米为研究对象, 探讨合成抗氧化剂的添加方式和添加量对过氧化值(peroxide value, POV)、酸价(acid value, AV)的影响, 并结合生产实际, 探究油炸过程中 TBHQ 的损耗率, 旨在为油炸花生米等高油脂休闲食品的品质提升提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与主要仪器

**1.1.1 材料。** 生花生, 市售河南省正阳市 2019 年秋收小白沙花生; 菜籽油, 金龙鱼一级菜籽油/福临门三级菜籽油; 无水乙醚、异丙醇、三氯甲烷、冰醋酸、30~60 °C 石油醚、无水乙醇、无水 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、可溶性淀粉、酚酞、碘化钾、硫代硫酸钠、NaOH、重铬酸钾、邻苯二甲酸氢钾, 均为分析纯, 购自国药集团化学试剂有限公司; 食品级叔丁基对苯二酚(TBHQ), 购自

**基金项目** 苏北科技专项(XZ-SZ201945)。

**作者简介** 高沛(1988—), 男, 湖北红安人, 助理研究员, 博士, 从事食品加工与保藏研究。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事食品加工与保藏及综合利用方面的研究。

**收稿日期** 2021-06-24

翁源广业清怡食品科技有限公司。

**1.1.2 主要仪器。**恒温恒湿箱,为上海一恒科学仪器有限公司产品;电热鼓风干燥箱,为上海一恒科学仪器有限公司产品;电子分析天平,为梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产品;粉碎机,为慈溪市奈欧电器有限公司产品;旋转蒸发器,为上海亚荣生化仪器厂产品;高效液相色谱仪,为美国安捷伦科技有限公司产品;恒温煎炸锅,为斯乐得(SILEDE)电器有限公司产品。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 样品的制备。**选择颗粒饱满的花生米放入鼓风干燥箱中烘 5 min 左右,便于取出后人工去皮,干燥箱温度设置为 120 ℃。为便于腌渍入味,将去皮花生米提前放入 80 ℃ 热水中浸泡 4 min;捞出后沥干水分,加入糖盐比 1:1 的拌料腌渍 70 min,在 170 ℃ 油温下煎炸 6 min,冷却至 35 ℃ 以下进行封装。按照表 1 进行添加剂处理,油炸花生米样品置于 37 ℃ 下恒温放置,每隔 15 d 测定其 POV 和 AV 值。TBHQ 添加方式和添加量见表 1。

表 1 TBHQ 的添加方式与添加量

Table 1 The adding method and amount of TBHQ

序号 No.	TBHQ 添加方式 Adding method of TBHQ	TBHQ 添加量 Addition amount of TBHQ/%	包装 Package
1	煎炸油	0.100	0.08 MPa、0.09 MPa 真空度
2	煎炸油	0.050	0.08 MPa、0.09 MPa 真空度
3	拌料	0.010	0.08 MPa、0.09 MPa 真空度
4	拌料	0.015	0.08 MPa、0.09 MPa 真空度

**1.2.2 煎炸油处理。**煎炸花生米的油用福临门三级菜籽油,向 2 500 mL 的菜籽油中添加 0.23 g 食用级 TBHQ(TBHQ 含量为 0.1 g/kg),在 175~180 ℃ 的油温下连续加热 8 h,在此期间每隔 0.5 h 加入 120 g 花生米,煎炸 10 min 后捞出,模仿食品工厂生产油炸花生米时煎炸用油的质量变化,煎炸 8 h 后停止试验,对煎炸用油中 TBHQ 的残留量进行定量,并计算 TBHQ 损耗率。

**1.2.3 过氧化值(POV)测定。**将花生米粉碎成直径 0.8~3.0 mm 的细颗粒,称量 40 g 花生碎置于广口瓶中,加入样品体积 2~3 倍的 30~60 ℃ 石油醚,混匀,静置浸提 12 h 以上。将无水硫酸钠置于布氏漏斗上抽滤后获得滤液,并于 35 ℃ 水浴中旋转蒸发去除有机溶剂,残留油脂即为待测样品。参照 GB 5009.227—2016 滴定法,利用以下公式计算样品的 POV 值。

$$X = (V - V_0) \times c \times 126.9 / m \quad (1)$$

式中, $X$  为过氧化值,单位 g/kg; $V$  为试样消耗硫代硫酸钠标准溶液的体积,单位 mL; $V_0$  为空白试验消耗硫代硫酸钠标准溶液的体积,单位 mL; $c$  为硫代硫酸钠标准溶液的浓度,单位 mol/L; $m$  为试样质量,单位 g。

**1.2.4 酸价(AV)测定。**参照“1.2.3”中油脂试样制备方法制备油脂样品。参照 GB 5009.229—2016 冷溶剂指示剂滴定法,利用以下公式计算样品的 AV 值。

$$X_{AV} = (V - V_0) \times c \times 56.1 / m \quad (2)$$

式中, $X_{AV}$  为酸价,单位 mg/g; $V$  为试样消耗氢氧化钠溶液的体积,单位 mL; $V_0$  为空白试验消耗氢氧化钠溶液的体积,单位 mL; $c$  为氢氧化钠溶液的浓度,单位 mol/L; $m$  为试样质量,单位 g。

**1.2.5 货架期预测。**通过 T/CNFIA 001—2017 加速破坏性试验来预测产品货架期。将包装完好的油炸花生米成品放入恒温生化培养箱中储藏,设置培养箱温度为 37 ℃,进行周期性试验。为保持受热均匀,每隔 12 h 更换 1 次烘箱中产品的相对位置。根据 Arrhenius 经验公式以及烘箱设定温度,由烘箱温度下的油炸花生米货架期推测产品在常温 20 ℃ 下可存放时间。常温下油炸花生米货架期  $Q_s(20)$  可按以下公式计算:

$$Q_s(20) = Q_s(T) \times 2^{(T-20)/10} \quad (3)$$

式中, $T$  为恒温试验贮藏温度,单位为 ℃; $Q_s(T)$  为恒温试验贮藏温度下的货架期。

**1.2.6 TBHQ 剩余量测定。**分别称取“1.2.2”中煎炸时间为 0、1.0、2.0、4.0、5.5 和 8.0 h 的煎炸油样品 2 g,采用国家标准 GB/T 21512—2008 中的液相色谱法对煎炸用油在油炸过程中 TBHQ 的剩余量进行测定,采用外标法定量,并计算 TBHQ 损耗率<sup>[12]</sup>。

**1.3 数据统计与分析** 每个试验重复 3 次,结果均以平均值±标准差表示,使用 Excel 软件进行数据统计分析,最后使用 Origin 8.1 (Microcal Software, Inc., Northampton USA) 制图软件绘图。

## 2 结果与分析

**2.1 TBHQ 对油炸花生米过氧化值(POV)的影响** TBHQ 对不同真空度条件下油炸花生米 POV 的影响如图 1~2 所示。

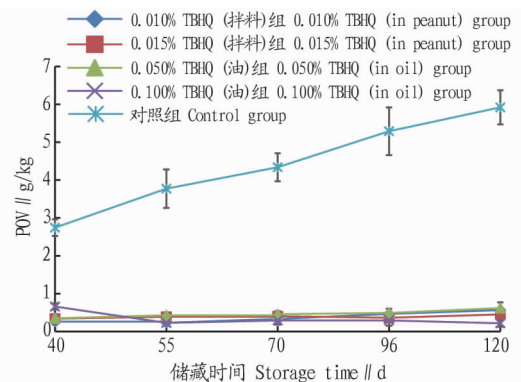


图 1 0.08 MPa 真空度下添加 TBHQ 油炸花生米的过氧化值(POV)

Fig. 1 Peroxide value (POV) of fried peanuts with adding TBHQ at the vacuum degree of 0.08 MPa

由图 1~2 可知,不同真空度条件下,各 TBHQ 添加组油炸花生米样品的 POV 值均未超标,不添加任何抗氧化剂的对照组在贮藏第 3 个月的 POV 值超过国家标准(5.0 g/kg)。在 0.08 MPa 真空度下,除 0.100% TBHQ(油)添加组外,其余 TBHQ 添加组油炸花生米的 POV 值整体上呈现上升趋势;在 0.09 MPa 真空度下,除 0.100% TBHQ(油)添加组外,其余组

POV 值呈现先上升后下降的趋势。在紫苏籽<sup>[12]</sup> 储藏试验中,POV 值呈现逐渐增加的趋势;在肉粽<sup>[13]</sup> 储藏试验中,POV 值呈现先上升后下降的趋势。储藏前期,随着油脂酸败的进行,具有热不稳定性的氢过氧化物也会分解,但分解速率小于生成速率,此时过氧化值呈上升趋势。当酸败至最大程度时,分解速率大于生成速率,产生醛、酮、醇、脂肪酸等物质,过氧化值呈现下降趋势<sup>[14]</sup>。

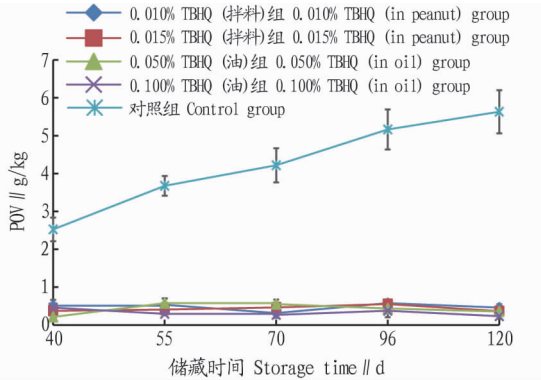


图2 0.09 MPa 真空度下添加 TBHQ 油炸花生米的过氧化值 (POV)

Fig. 2 Peroxide value (POV) of fried peanuts with adding TBHQ at the vacuum degree of 0.09MPa

由图 1~2 可知,在真空度 0.08 MPa 条件下,120 d 0.100% TBHQ (油) 添加组的 POV 值最低;在真空度 0.09 MPa 条件下,96 d 0.010% TBHQ (拌料) 添加组的 POV 峰值最高。不同真空度下,相同处理条件下的油炸花生米样品 POV 值存在差异,且达到酸败峰值的时间点也存在差异。高真空度下,氧气残留量低导致油脂氧化速率更慢、氢过氧化物生成速率更小,导致出现降解速率大于生成速率的时间点提前。

**2.2 TBHQ 对油炸花生米酸价 (AV) 的影响** TBHQ 对不同真空条件下油炸花生米 AV 的影响如图 3~4 所示。

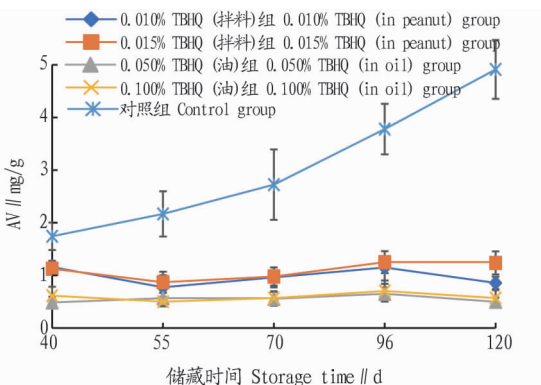


图3 0.08 MPa 真空度下添加 TBHQ 油炸花生米的酸价 (AV)

Fig. 3 Acid value (AV) of fried peanuts with adding TBHQ at the vacuum degree of 0.08MPa

由图 3~4 可知,各 TBHQ 添加组 120 d 酸价均未超出国标规定的最大值,符合食用安全标准。根据货架期的预测方程计算可知,在只考虑酸价的情况下货架期至少在 12 个月以上。不添加任何抗氧化剂的对照组在贮藏第 3 个月的酸

价超过国家标准 (3.0 mg/g)。

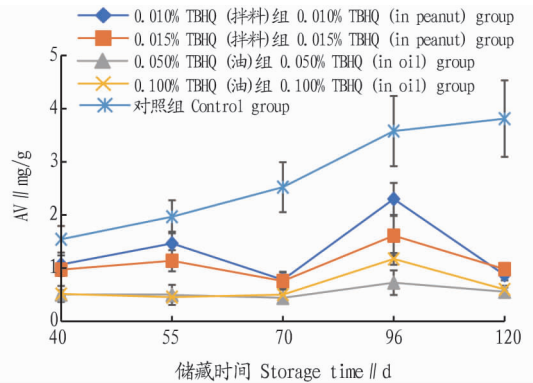


图4 0.09 MPa 真空度下添加 TBHQ 油炸花生米的酸价 (AV)

Fig. 4 Acid value (AV) of fried peanuts with adding TBHQ at the vacuum degree of 0.09MPa

由图 3~4 可知,在 0.08、0.09 MPa 真空度条件下,以拌料形式添加 0.010% 和 0.015% TBHQ 组油炸花生米样品的酸价高于拌料添加 TBHQ 组。花生米在油炸过程中吸收的煎炸油质量约占花生米质量的 4%,花生米中脂肪含量约 40%,粗略估计 0.100% TBHQ 的煎炸用油所煎炸出的花生米 TBHQ 含量 (相对于花生米油脂) 约 0.010%; 0.010% TBHQ (拌料) 添加组的花生米 TBHQ 含量为 0.010%,也就是说花生米油脂质量计算时 TBHQ 含量大于 0.010%。导致高浓度 TBHQ 添加组酸价高的原因如下:首先花生米颗粒表面规则程度不一致,拌料在不同花生米表面的分布不均匀,导致酸价变化较大。TBHQ 是一种典型的脂溶性抗氧化剂,将其以拌料形式与花生米混匀的过程中可能未以理想形式完全吸附在花生米表面,导致抗氧化效果低于 TBHQ (油) 添加组。根据 TBHQ 的性质,后续可探究均匀喷涂或涂抹含有 TBHQ 的油脂溶液对油炸花生米氧化稳定性的影响。

### 2.3 煎炸用油品质的测定

**2.3.1 TBHQ 损耗率。**从图 5 可以看出,煎炸用油中的 TBHQ 会随着煎炸时间的延长而不断损耗,在油炸初始阶段 TBHQ 的损耗相对较少。煎炸 4 h 后损耗率在 20% 以上,8 h 时损耗率接近 60%,油炸过程中 TBHQ 的含量波动较大且损耗迅速。陈锦豪<sup>[11]</sup> 研究表明油中剩余的 TBHQ 会随油炸次数的增加而减少,当油温高于 160 °C 时损耗更明显,这与该试验中的 TBHQ 损耗趋势相一致。此外,笔者还建立了油中 TBHQ 与花生米中 TBHQ 的含量关系式。TBHQ 在油中的损耗形式主要为挥发损失,其相对分子质量为 166.2,在煎炸过程中由于其分子质量低,容易受到高温的影响,从而升华挥发,且损耗程度会随油温的升高而增大<sup>[15]</sup>。TBHQ 会随着煎炸用油一起进入花生油脂中,从而导致浓度降低,在持续煎炸条件下会与食品中其他化合物发生化学反应或持续受热时分解<sup>[16]</sup>,这也是 TBHQ 随煎炸时间的增长而不断损耗的原因。因此,油炸过程中持续高温会使一部分 TBHQ 受热分解。此外,在煎炸过程中部分 TBHQ 会随油脂进入花生米中。低分子质量导致的挥发是 TBHQ 大量损耗的主要原因。



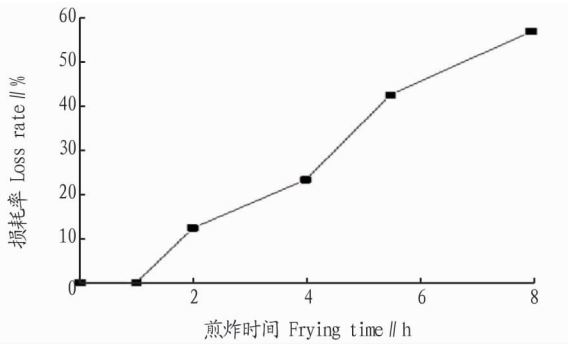


图 5 煎炸用油中 TBHQ 的损耗率

Fig. 5 Loss rate of TBHQ in frying oil

在实际生产中每天煎炸时间为 8 h,煎炸结束后对抗氧化剂进行补充。煎炸工作进行时,煎炸用油中 TBHQ 的含量会随煎炸时间的增加而逐渐降低,这使得同一天不同批次产品中所含的抗氧化剂含量存在差异,进一步导致产品的风味、口感、氧化稳定性、货架期等存在差异。通过在油炸过程中不断对 TBHQ 进行补充,可以保证煎炸用油中的 TBHQ 浓度处于动态稳定状态,使得不同批次产品的氧化稳定性保持一致。

**2.3.2 煎炸花生米品质测定。**煎炸油持续受热 0 和 8 h 时 TBHQ 含量差异显著,因此在相同的储存条件下 2 个时间点煎炸的花生米具有不同的抗氧化性能。对比二者在存放 3 个月时煎炸花生米的过氧化值与酸价,结果见图 6。

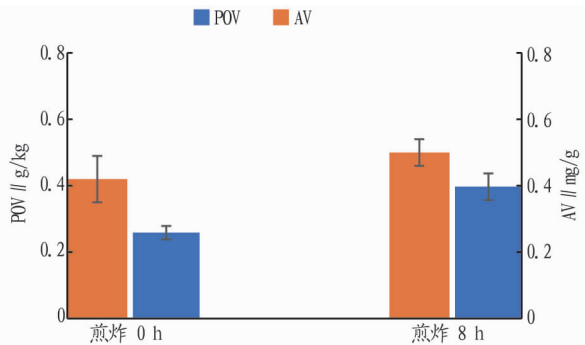


图 6 不同时间煎炸花生米的过氧化值 (POV) 及酸价 (AV)

Fig. 6 Peroxide value (POV) and acid value (AV) of peanuts fried at different time

从图 6 可以看出,不向煎炸用油中额外补充 TBHQ 时,最初一批油炸花生米与最后一批油炸花生米的抗氧化性存在差异,酸价和过氧化值变化明显。在 37 °C 下存放 3 个月后,煎炸 0 与 8 h 的花生米 POV 值分别为 0.26 和 0.40 g/kg,酸价分别为 0.42 和 0.50 mg/g。因此,工厂生产

的油炸花生米出现蚝败现象的原因是使用加热时间较长的煎炸用油对花生米进行煎炸,导致抗氧化剂含量较低,无法起到应有的抗氧化作用。

### 3 结论

在 37 °C 恒温条件下,向煎炸用油中添加 TBHQ 后再对油炸花生米进行煎炸,可以有效降低油炸花生米的 AV,延缓 POV 峰值的出现时间。适量添加 TBHQ 能够提高油炸花生米的抗氧化稳定性,但是高浓度 TBHQ 的添加对油炸花生米的抗氧化稳定性的提升作用较小。考虑到经济效益,在实际生产中可选择向煎炸用油中加入 0.100% 的 TBHQ,每隔 2 h 或 4 h 进行动态补充。根据 AV 和 POV 值的变化,预测出添加 TBHQ 后的油炸花生米均能够常温贮藏 12 个月以上。

### 参考文献

- [1] 张立伟,王辽卫.我国花生产业发展状况、存在问题及政策建议[J].中国油脂,2020,45(11):116-122.
- [2] 马娇豪,孙瑞琳,郑其良,等.花生食品加工现状概述[J].河南农业,2020(27):41-42,45.
- [3] XIE Y F,JIANG S H,LI M,et al. Evaluation on the formation of lipid free radicals in the oxidation process of peanut oil[J]. LWT,2019,104:24-29.
- [4] 王洁,邹惠玲,夏攀登,等.植物油脂氧化及其氧化稳定性研究进展[J].保鲜与加工,2019,19(4):207-210.
- [5] 邵海燕,陈抗君,穆宏磊,等.坚果类食品氧化及抗氧化研究进展[J].中国食品学报,2017,17(11):1-8.
- [6] 常馨月,陈程莉,龚娣,等.天然抗氧化剂抑制油脂氧化的研究进展[J].中国油脂,2020,45(4):46-50.
- [7] 刘荣,郑旭煦,殷钟意.天然抗氧化剂在植物油脂中的应用研究进展[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2015,32(10):43-47.
- [8] 刘玉兰,邓金良,马宇翔,等.不同储藏温度和抗氧化剂对花生油和大豆油氧化稳定性的影响[J].粮食与油脂,2021,34(3):1-5,16.
- [9] UMEDA W M,JORGE N. Oxidative stability of soybean oil added of purple onion (*Allium cepa* L.) peel extract during accelerated storage conditions [J/OL]. Food control, 2021, 127 [2021-01-17]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108130>.
- [10] LI P J,YANG X H,LEE W J,et al. Comparison between synthetic and rosemary-based antioxidants for the deep frying of French fries in refined soybean oils evaluated by chemical and non-destructive rapid methods [J/OL]. Food chemistry, 2021, 335 [2021-01-17]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127638>.
- [11] 陈锦豪.加工及包装工艺对油炸花生保质期影响研究[D].广州:华南农业大学,2017.
- [12] 徐静,王涛,商志伟,等.储藏条件及杂质含量对紫苏种子活力及制油品质的影响[J].植物生理学报,2021,57(7):1410-1418.
- [13] 蒋珊珊.真空包装肉粽中铜和油脂氧化的风险评估[D].厦门:集美大学,2019.
- [14] 王璋,许时婴,汤坚.食品化学[M].北京:中国轻工业出版社,2003:126-129.
- [15] RYAN L C,MESTRALLET M G,NEPOTE V,et al. Composition, stability and acceptability of different vegetable oils used for frying peanuts [J]. International journal of food science & technology, 2008,43(2):193-199.
- [16] 李军,毕艳兰,杨会芳,等.加热条件下大豆油中 TBHQ 的挥发、转化规律及其对大豆油品质的影响[J].食品科学,2014,35(14):106-112.

(上接第 160 页)

- [9] 周长军.大豆花荚期生物、根瘤鲜质量及农艺性状对产量的影响[J].江苏农业科学,2020,48(14):99-103.
- [10] 王囡囡.不同施肥处理对大豆产量及肥料效应的影响[J].中国种业,2020(6):56-58.
- [11] 张成兰,刘春增,李本银,等.有机肥对大豆生产效应研究进展[J].安徽农业科学,2018,46(18):25-28.
- [12] 徐明岗,张文菊,黄绍敏,等.中国土壤肥力演变[M].2版.北京:中国农业科学技术出版社,2015.

- [13] 王鹏辉,姜昕,马鸣超,等.一株耐干燥大豆根瘤菌菌株的筛选与固氮效果评价[J].大豆科学,2020,39(1):90-96.
- [14] 马飞.不同氮素形态下大豆对磷的吸收[D].包头:内蒙古科技大学,2020.
- [15] 刘迎春,丁素荣,周学超,等.不同肥料配施根瘤菌剂对大豆产量性状及产量的影响[J].吉林农业科学,2015,40(4):9-12.
- [16] 闫春娟,宋书宏,王文斌,等.大豆钾营养研究进展[J].大豆科学,2009,28(5):926-930.