

# 茶多酚棕榈酸酯对棕榈油抗冻性和煎炸稳定性的影响

严中和<sup>1</sup>, 胡金华<sup>2</sup>, 杨亚<sup>2</sup>, 仇长璐<sup>2</sup>, 刘启东<sup>2</sup>, 姚永佳<sup>2</sup>, 孙玉萍<sup>2</sup>

(1. 中粮新沙粮油工业(东莞)有限公司, 广东 东莞 523147; 2. 中粮(东莞)粮油工业有限公司, 广东 东莞 523145)

**摘要:**为了对棕榈煎炸油的开发提供参考,以不同茶多酚棕榈酸酯(抗氧化剂)添加量的分提 18 °C 棕榈油为煎炸油,通过 10 °C 和 15 °C 冷冻试验中煎炸油(茶多酚棕榈酸酯含量分别为 0、50、80、100、150、200、300 mg/kg)晶体微量析出时间和发朦时间的变化,以及 180 °C 下薯条煎炸过程中煎炸油酸值、*p*-茴香胺值、总氧化值、色泽、脂肪酸组成、极性组分含量和 3-氯丙醇酯含量的变化,分析了茶多酚棕榈酸酯对棕榈油抗冻性和煎炸稳定性的影响。结果表明:棕榈油的发朦时间与抗氧化剂的添加量整体呈阶梯增长的关系,尤其在 15 °C 条件下,其抗冻性在茶多酚棕榈酸酯含量为 50 mg/kg 和 150 mg/kg 时明显增强;煎炸油的酸值、*p*-茴香胺值、总氧化值、脂肪酸组成、极性组分含量与茶多酚棕榈酸酯添加量无相关性;添加茶多酚棕榈酸酯的棕榈油在煎炸后的色泽均比空白组深;3-氯丙醇酯在煎炸初期降解剧烈,后期降解缓慢,最终趋于平缓,与抗氧化剂的添加量无相关性。总之,向棕榈油中添加茶多酚棕榈酸酯可以明显提高其抗冻性,茶多酚棕榈酸酯含量为 50 mg/kg 或 150 mg/kg 时,其抗冻性改进效果最为明显,但是并不能有效提升煎炸油的煎炸稳定性。

**关键词:**分提 18 °C 棕榈油;茶多酚棕榈酸酯;抗冻性;煎炸稳定性

中图分类号:TS225.1;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)12-0076-07

## Effect of tea polyphenol palmitate on freezing resistance and frying stability of palm oil

YAN Zhonghe<sup>1</sup>, HU Jinhua<sup>2</sup>, YANG Ya<sup>2</sup>, QIU Changlu<sup>2</sup>, LIU Qidong<sup>2</sup>,  
YAO Yongjia<sup>2</sup>, SUN Yuping<sup>2</sup>

(1. COFCO Xinsha Grain and Oil Industry (Dongguan) Co., Ltd., Dongguan 523147, Guangdong, China; 2. COFCO (Dongguan) Grain and Oil Industry Co., Ltd., Dongguan 523145, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to provide a reference for the development of palm frying oil, fractionated 18 °C palm oil with different additions of tea polyphenol palmitate (antioxidant) was used as frying oil, and the changes of trace precipitation time of crystal and hazing time of frying oil (tea polyphenol palmitate content was 0, 50, 80, 100, 150, 200 mg/kg and 300 mg/kg, respectively) in 10 °C and 15 °C freezing tests, as well as the changes of acid value, *p*-anisidine value, total oxidation value, color, fatty acid composition, polar components content and 3-chloropropanol ester content during frying French fries at 180 °C were determined. The effects of tea polyphenol palmitate on the freezing resistance and frying stability of palm oil were analyzed. The results showed that there was a stepwise increase in the hazing time of palm oil in relation to the amount of antioxidant added, especially at 15 °C, the freezing resistance

was significantly enhanced at the tea polyphenol palmitate contents of 50 mg/kg and 150 mg/kg. The acid value, *p*-anisidine value, total oxidation value, fatty acid composition, polar components content of the frying oil were not

收稿日期:2022-08-28;修回日期:2023-07-20

作者简介:严中和(1969),男,工程师,主要从事油脂生产技术及管理工作(E-mail) yzh-0301@163.com。

通信作者:孙玉萍,工程师(E-mail)1251866712@qq.com。

related to the content of tea polyphenol palmitate. The color of palm oil added with tea polyphenol palmitate after frying was darker than that of the blank group. 3-Chloropropanol ester degraded severely at the initial stage of frying, and then slowly and gradually, which was not related to the amount of antioxidant added. In conclusion, the addition of tea polyphenol palmitate to palm oil can significantly improve its freezing resistance. When the content of tea polyphenol palmitate is 50 mg/kg or 150 mg/kg, its freezing resistance effect is the most obvious, but it can not effectively improve the frying stability of frying oil.

**Key words:** fractionated 18 °C palm oil; tea polyphenol palmitate; freezing resistance; frying stability

棕榈油因具有良好的氧化稳定性和相对低廉的市场价格而受到食品行业的青睐,被广泛用作煎炸油。在煎炸过程中,油脂因发生氧化、水解和聚合反应而分解变质,油脂加工厂一般通过添加天然或合成抗氧化剂来提升煎炸油的稳定性。

食品行业中常用的合成抗氧化剂有丁基羟基茴香醚(BHA)、二丁基羟基甲苯(BHT)、没食子酸丙酯(PG)、特丁基对苯二酚(TBHQ)等<sup>[1]</sup>。随着人们生活水平的提高,天然抗氧化剂受到了消费者的青睐。如来自鼠尾草、迷迭香、绿茶的抗氧化剂<sup>[2]</sup>。茶多酚棕榈酸酯是以绿茶为原料提取的茶多酚与棕榈酸酯化而成的一种新型脂溶性抗氧化剂<sup>[3-6]</sup>,其本身安全无毒,在GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中规定其在食用植物油中的添加量不得超过600 mg/kg。

在华南市场,以棕榈油作为基底油的煎炸油是最受市场欢迎的调和油产品,其中又以分提18 °C棕榈油使用最为广泛,但其因在低温条件下存放一段时间后会出晶体析出、发朦或者浑浊现象,在一定程度上影响了消费者的购买欲。为了提高棕榈油的抗冻性以适应气温变化,寻找一种既能提升煎炸油氧化稳定性又能延缓结晶时间的抗氧化剂是十分必要的。

本文选择不同茶多酚棕榈酸酯添加量的分提18 °C棕榈油作为煎炸油,通过分析冷冻过程中油品微量析出时间和发朦时间以及煎炸过程中油品的酸值、*p*-茴香胺值、总氧化值、色泽、脂肪酸组成、极性组分含量和3-氯丙醇酯含量等理化指标变化,评价茶多酚棕榈酸酯在以棕榈油作为煎炸油中的使用效果,以为棕榈煎炸油的开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

冷冻薯条,东莞市麻涌镇农贸市场;分提18 °C棕榈油,中粮(东莞)粮油工业有限公司。

氢氧化钾、酚酞、淀粉、碘化钾、冰乙酸、硫酸、碳酸氢钠、无水硫酸钠、硫代硫酸钠、*p*-茴香胺、无水硫酸氢钠,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;苯基硼酸(纯度≥97%)、1,2-二棕榈酸-3-氯丙醇酯(纯度≥95%)、氘代1,2-二棕榈酸-3-氯丙醇酯(纯度≥95%),百灵威科技有限公司;异丙醇、甲醇、无水乙醇、异辛烷、三氯甲烷、叔丁基甲醚、正己烷、丙酮,均为色谱纯,上海安谱实验科技股份有限公司;茶多酚棕榈酸酯(纯度为70.42%),宁波四明山生物科技有限公司;超纯水(电导率≥18 Ω),实验室提供。

#### 1.1.2 仪器与设备

Agilent 7890B 气相色谱仪、Agilent 7890B - 5977B 气质联用仪,美国安捷伦科技有限公司;Alliance E2695 高效液相色谱仪,美国沃特斯科技有限公司;Model F 油脂比色仪,英国罗维朋公司;UV1800 紫外可见分光光度计,日本岛津仪器有限公司;DF25A 煎炸锅(额定容量2.5 L),中山市斯乐得电器有限公司;Testo270 食用油品质检测仪,德国德图仪器有限公司;QUINTIX224 - 1CN 万分之一分析天平,德国赛多利斯科学仪器有限公司;BPS - 30 计价电子秤,佰伦斯电子科技有限公司;EPED - 20TH 纯水仪,南京易普易达科技发展有限公司;VM - 01U 涡旋混匀仪,美国精琪有限公司;SHA - BA 水浴恒温振荡器,江苏中大仪器科技有限公司;G70D20CN1P - D2(S0)微波炉,广东格兰仕集团有限公司;KB53 恒温恒湿箱,德国宾得环境试验设备有限公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油的配制

50 000 mg/kg 茶多酚棕榈酸酯母液的配制:称取一定量茶多酚棕榈酸酯于500 mL 烧杯中,再加入分提18 °C棕榈油,用玻璃棒搅拌均匀,90 °C烘箱中

加热 30 min(茶多酚棕榈酸酯在常温油中的溶解度不高,但易溶于热油),溶解完全后冷却至室温,装入 300 mL PET 瓶中,贴好标签于 0℃ 下低温保存备用。

不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油的配制:分别称取 0、3.2、5.12、6.4、9.6、12.8、19.2 g 50 000 mg/kg 的茶多酚棕榈酸酯母液于 PET 瓶中,分别向其中添加分提 18℃ 棕榈油至 3.2 kg,配制成茶多酚棕榈酸酯含量分别为 0、50、80、100、150、200、300 mg/kg 的棕榈油,混合均匀后密封,常温下储存待用。

### 1.2.2 冷冻试验

分别准确称取 32 g 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油各 2 份于 50 mL 玻璃样品瓶中,贴好标签,于微波炉中加热 1 min,使其澄清透明且无气泡后,盖上瓶盖,分别置于 10、15℃ 恒温恒湿箱中,固定双人观察油品状态,记录微量析出时间和发朦时间,微量析出前每 1 h 观察 1 次,微量析出后每 2 h 观察 1 次。

### 1.2.3 煎炸试验

分别称取 3 kg 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油于不同煎炸锅中,待油温升至(180 ± 5)℃ 时,加入 100 g 冷冻薯条,开始计时,每 15 min 煎炸 1 次,每次炸 3 min 后捞出薯条,滤干油脂,同时撇掉油脂表面的浮渣,另 12 min 空烧煎炸油,每日煎炸 8 h,共煎炸 5 d,每 4 h 取 45 mL 油样于 50 mL 玻璃样品瓶中,待油样冷却至室温时,密封,标注,于 0℃ 下低温保存。

### 1.2.4 理化指标的测定

酸值测定参考 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值测定参考 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;*p*-茴香胺值测定参考 GB/T 24304—2009《动植物油脂 茴香胺值的测定》;总氧化值为 4 倍的过氧化值与 *p*-茴香胺值之和;色泽测定参考 GB/T 22460—2008《动植物油脂 罗维朋色泽的测定》;脂肪酸组成测定参考 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》酯交换法;极性组分含量测定参考 Testo270 食用油品质检测仪说明书,使用前先将仪器用极性组分含量为(20.0 ± 0.5)% 的校准液进行校准,然后将感应探头伸入到油样中,测定极性组分含量,每测一个样品需要将探头清理干净,防止对下个样品的测定结果造成干扰;3-氯丙醇酯含量测定参考 SN/T 5220—2019《出口食品中 3-氯丙醇酯及缩水甘油酯的测定 气相色谱-质谱法》。

### 1.2.5 数据统计与分析

采用 Excel 2016 软件进行数据处理与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 茶多酚棕榈酸酯对棕榈油抗冻性的影响

棕榈油含有较高的饱和脂肪酸,在低温环境下,油品表面会出现晶体析出、发朦或凝固现象<sup>[7]</sup>,影响产品外观。茶多酚棕榈酸酯作为抗氧化剂,可以增加油脂的氧化稳定性<sup>[8-9]</sup>,同时也可以作为抑晶剂<sup>[3]</sup>,提高油脂的抗冻性。表 1 为不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在 10℃ 和 15℃ 条件下晶体微量析出时间和发朦时间。

表 1 茶多酚棕榈酸酯添加量对棕榈油抗冻性的影响

茶多酚棕榈酸酯含量/ (mg/kg)	10℃		15℃	
	微量析出 时间/h	发朦 时间/h	微量析出 时间/h	发朦 时间/h
0	0.5	2	13	17
50	3	4	17	33
80	4	10	27	33
100	6	10	31	38
150	10	15	33	66
200	10	15	36	66
300	12	17	37	68

由表 1 可知,茶多酚棕榈酸酯可以延长棕榈油在 10℃ 和 15℃ 时的晶体微量析出时间和发朦时间,在一定添加量范围内,微量析出时间和发朦时间增长较缓慢,当茶多酚棕榈酸酯含量达到某一点时,又增长迅速,整体上呈梯度增长的关系。本试验用发朦时间来间接评价棕榈油的抗冻效果:在 15℃ 条件下,当茶多酚棕榈酸酯含量为 50 mg/kg 时,棕榈油发朦时间相较于空白组(未添加)由 17 h 延长至 33 h,抗冻效果提升了近 1 倍;当茶多酚棕榈酸酯含量为 150 mg/kg 时,发朦时间由 17 h 延长至 66 h,与茶多酚棕榈酸酯含量为 50 mg/kg 时相比,抗冻效果提升了 1 倍。考虑到华南地区春冬季气温基本在 15℃ 左右,在开发以棕榈油为主要基底油的煎炸专用调和油时,建议将茶多酚棕榈酸酯添加量控制在 50 mg/kg 或 150 mg/kg,以提高产品的抗冻性,从而有效改善其外观品质。

### 2.2 茶多酚棕榈酸酯对棕榈油煎炸稳定性的影响

#### 2.2.1 酸值变化

在煎炸过程中,煎炸油因薯条本身提供的水分会不断发生水解反应,生成甘油一酯、甘油二酯和游离脂肪酸,导致酸值升高。不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中酸值的变化情况如表 2 所示。

表2 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中酸值的变化

煎炸时间/h	不同茶多酚棕榈酸酯含量下的酸值(KOH)/(mg/g)						
	0 mg/kg	50 mg/kg	80 mg/kg	100 mg/kg	150 mg/kg	200 mg/kg	300 mg/kg
0	0.32	0.32	0.32	0.34	0.33	0.33	0.36
4	0.55	0.56	0.57	0.60	0.63	0.60	0.60
8	0.79	0.81	0.83	0.84	0.94	0.93	0.90
12	1.15	1.17	1.19	1.28	1.33	1.32	1.26
16	1.50	1.51	1.53	1.66	1.76	1.74	1.61
20	1.97	2.03	2.04	2.36	2.28	2.14	2.09
24	2.47	2.50	2.55	2.63	2.87	2.78	2.56
28	3.09	3.12	3.27	3.27	3.61	3.49	3.36
32	3.66	3.69	3.90	3.79	4.17	4.20	3.85
36	4.46	4.58	4.85	4.70	5.06	5.04	4.60
40	5.10	5.25	5.54	5.20	5.86	5.79	5.26

由表2可知,茶多酚棕榈酸酯含量为0~300 mg/kg的棕榈油在相同煎炸时间下的酸值整体比较接近,说明在本试验范围内茶多酚棕榈酸酯不能延缓棕榈油在煎炸过程中的水解反应。GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》规定煎炸过程中的食用植物油酸值(KOH)不得超过5 mg/g,而本试验在煎炸40 h后酸值均超过了国标的限量值,说明

油品品质已经发生了劣化,不得再继续使用。

### 2.2.2 *p*-茴香胺值变化

*p*-茴香胺值反映的是油脂氧化后的二次生成物醛类(主要是2-直链烯醛)的含量,对煎炸油品质的分析具有重要意义<sup>[10]</sup>。不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中*p*-茴香胺值的变化情况如表3所示。

表3 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中*p*-茴香胺值的变化

煎炸时间/h	不同茶多酚棕榈酸酯含量下的 <i>p</i> -茴香胺值						
	0 mg/kg	50 mg/kg	80 mg/kg	100 mg/kg	150 mg/kg	200 mg/kg	300 mg/kg
0	26.62	25.92	24.71	25.39	21.80	23.02	24.37
4	30.23	28.41	26.32	27.67	26.60	26.67	27.76
8	33.14	32.90	33.30	32.31	30.37	31.77	30.59
12	33.24	34.00	34.66	32.83	31.35	31.53	31.90
16	33.85	36.58	36.90	36.49	35.55	33.94	35.76
20	39.09	38.17	38.51	38.49	37.79	41.13	41.46
24	38.51	38.53	36.96	42.12	38.78	39.98	38.11
28	41.23	40.87	38.46	44.78	39.65	39.34	40.12
32	41.77	39.91	37.88	45.05	40.26	39.20	39.47
36	39.33	39.58	35.08	42.75	39.95	40.03	40.97
40	40.82	43.23	37.59	45.39	39.16	40.38	42.33

由表3可知:茶多酚棕榈酸酯含量为0~300 mg/kg的棕榈油的*p*-茴香胺值在煎炸20 h内总体上与煎炸时间呈正相关,在煎炸时间延长至40 h时,*p*-茴香胺值增长缓慢或趋于稳定;在相同的煎炸时间下,随着茶多酚棕榈酸酯添加量的不断增加,*p*-茴香胺值在不断波动,并没有呈现出明显的相关性,说明在本试验范围内茶多酚棕榈酸酯不能有效提高棕榈油的煎炸稳定性。

### 2.2.3 总氧化值变化

总氧化值能更好地评价油脂煎炸过程中的稳定性<sup>[11]</sup>。不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中总氧化值的变化情况如表4所示。

由表4可知,茶多酚棕榈酸酯含量为0~300 mg/kg的棕榈油总氧化值在煎炸过程中的变化总体与煎炸时间呈正相关,而与茶多酚棕榈酸酯添加量无相关性,说明在本试验范围内茶多酚棕榈酸酯不能在煎炸油中发挥明显的抗氧化作用。

表4 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中总氧化值的变化

煎炸时间/h	不同茶多酚棕榈酸酯含量下的总氧化值						
	0 mg/kg	50 mg/kg	80 mg/kg	100 mg/kg	150 mg/kg	200 mg/kg	300 mg/kg
0	31.46	29.44	28.63	29.15	25.60	25.98	28.57
4	33.51	30.93	28.76	30.63	29.52	30.31	32.32
8	36.34	35.50	35.38	37.47	33.57	35.01	34.59
12	39.88	38.96	39.34	37.63	37.27	37.57	38.82
16	38.81	40.78	40.90	40.81	41.67	38.90	42.20
20	44.81	43.45	43.87	43.65	45.43	48.37	48.42
24	43.11	41.97	40.04	47.92	46.58	47.42	45.75
28	48.15	45.83	43.54	50.90	45.93	46.66	47.00
32	47.29	43.71	41.27	49.41	44.98	44.96	44.87
36	46.77	45.62	43.15	49.39	45.95	46.63	48.13
40	46.70	46.42	43.23	51.39	45.52	47.42	49.97

## 2.2.4 色泽变化

植物油因含有不饱和脂肪酸,在高温煎炸时易发生聚合、氧化和分解反应,生成甘油三酯的单聚体、二聚体和寡聚体,环状和环氧物质,以及小分子

的醛、醇、酮和游离脂肪酸等,导致油脂色泽加深<sup>[12]</sup>。不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中色泽红值(R)和黄值(Y)的变化情况如表5所示。

表5 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中色泽的变化

煎炸时间/h	不同茶多酚棕榈酸酯含量下的色泽(R/Y)						
	0 mg/kg	50 mg/kg	80 mg/kg	100 mg/kg	150 mg/kg	200 mg/kg	300 mg/kg
0	0.9/9.0	0.9/9.0	0.9/9.0	0.9/9.0	0.9/9.0	0.9/9.0	0.9/9.0
4	1.1/11.0	1.2/12.0	1.3/13.0	1.3/13.0	1.3/13.0	1.3/13.0	1.4/14.0
8	1.3/13.0	1.5/15.0	1.5/15.0	1.6/16.0	1.7/17.0	1.8/18.0	1.8/18.0
12	1.6/16.0	1.8/18.0	1.9/19.0	2.0/20.0	2.3/23.0	2.3/23.0	2.5/25.0
16	2.4/24.0	2.4/24.0	2.4/24.0	2.7/27.0	3.0/30.0	3.0/30.0	3.1/31.0
20	3.2/32.0	3.4/34.0	3.4/34.0	4.9/49.0	4.9/49.0	4.3/43.0	4.4/44.0
24	4.3/43.0	4.8/48.0	5.1/51.0	5.4/54.0	5.9/59.0	5.8/58.0	5.7/57.0
28	5.4/54.0	5.9/59.0	5.9/59.0	6.3/63.0	8.0/70.0	8.0/70.0	7.4/74.0
32	6.4/64.0	7.6/76.0	7.9/79.0	8.9/79.0	9.9/79.0	10.2/79.0	9.2/79.0
36	9.1/70.0	10.1/79.0	10.7/79.0	12.0/79.0	13.9/79.0	13.1/79.0	11.1/79.0
40	11.6/79.0	12.2/79.0	12.5/79.0	15.2/79.0	18.1/79.0	16.2/79.0	14.2/79.0

由表5可知:未煎炸时,不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油的红值和黄值均相同,说明茶多酚棕榈酸酯本身未对棕榈油色泽造成影响;而在煎炸过程中,添加了茶多酚棕榈酸酯的棕榈油的红值和黄值总体均高于空白组,说明茶多酚棕榈酸酯在煎炸过程中产生了其他的色素,导致棕榈油色泽加深。

## 2.2.5 脂肪酸组成变化

植物油中的脂肪酸分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸,在高温煎炸下,不饱和脂肪酸不断与空气中的氧气发生氧化反应,导致油中的不饱和脂肪酸含量降低,饱和脂肪酸含量升高。不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中脂肪酸组成的变化情况如表6所示。

表6 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中脂肪酸组成的变化

茶多酚棕榈酸酯含量/(mg/kg)	煎炸时间/h	含量/%				C18:2/C16:0	变化率/%				
		SFA	UFA	MUFA	PUFA		SFA	UFA	MUFA	PUFA	C18:2/C16:0
0	0	43.65	56.25	44.74	11.52	0.29					
	40	47.25	52.65	43.23	9.42	0.22	8.23 ↑	6.41 ↓	3.37 ↓	18.21 ↓	24.67 ↓
50	0	43.68	56.22	44.80	11.42	0.29					
	40	47.26	52.70	43.17	9.53	0.22	8.20 ↑	6.26 ↓	3.63 ↓	16.57 ↓	23.31 ↓

续表 6

茶多酚棕榈酸酯含量/ (mg/kg)	煎炸 时间/h	含量/%				C18:2/ C16:0	变化率/%				
		SFA	UFA	MUFA	PUFA		SFA	UFA	MUFA	PUFA	C18:2/ C16:0
80	0	43.67	56.22	44.80	11.42	0.29					
	40	47.21	52.62	43.15	9.47	0.22	8.11 ↑	6.40 ↓	3.69 ↓	17.06 ↓	23.63 ↓
100	0	43.77	56.20	44.79	11.41	0.29					
	40	47.15	52.77	43.23	9.54	0.22	7.73 ↑	6.10 ↓	3.49 ↓	16.38 ↓	22.67 ↓
150	0	43.68	56.27	44.64	11.63	0.30					
	40	46.66	53.25	43.58	9.67	0.23	6.82 ↑	5.37 ↓	2.36 ↓	16.89 ↓	22.42 ↓
200	0	43.69	56.18	44.77	11.41	0.29					
	40	47.13	52.82	43.24	9.57	0.23	7.89 ↑	5.98 ↓	3.41 ↓	16.08 ↓	21.42 ↓
300	0	43.66	56.29	44.77	11.52	0.29					
	40	47.06	52.81	43.17	9.65	0.23	7.78 ↑	6.17 ↓	3.58 ↓	16.24 ↓	22.63 ↓

由表 6 可知,在煎炸 40 h 时,饱和脂肪酸的变化率为 6.82%~8.23%,不饱和脂肪酸的变化率为 5.37%~6.41%,其中单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸变化率分别为 2.36%~3.69% 和 16.08%~18.21%。对比发现,在煎炸 40 h 时,煎炸油各脂肪酸含量变化规律与茶多酚棕榈酸酯添加量无明显相关性。

有文献<sup>[13]</sup>将 C18:2/C16:0 的变化作为衡量煎炸油稳定性的一个指标,其变化率越小,表明油品煎炸稳定性越好。由表 6 可知,当茶多酚棕榈酸酯含量分别为 0、50、80、100、150、200、300 mg/kg,煎炸 40 h 时,棕榈油的 C18:2/C16:0 分别下降 24.67%、

23.31%、23.63%、22.67%、22.42%、21.42%、22.63%,C18:2/C16:0 的变化率随茶多酚棕榈酸酯添加量的增加并无明显的降低趋势,说明在本试验范围内茶多酚棕榈酸酯不能明显地提高棕榈油的煎炸稳定性。

#### 2.2.6 极性组分变化

植物油在高温长时间加热条件下会发生氧化、聚合、分解等反应,从而产生比甘油三酯极性高的物质,导致体系极性组分含量增加<sup>[14]</sup>。不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中极性组分的变化如表 7 所示。

表 7 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中极性组分的变化

煎炸时间/h	不同茶多酚棕榈酸酯含量下的极性组分含量/%						
	0 mg/kg	50 mg/kg	80 mg/kg	100 mg/kg	150 mg/kg	200 mg/kg	300 mg/kg
0	6.0	6.0	6.0	6.5	5.5	6.0	6.0
4	8.5	9.0	8.5	8.5	8.5	8.5	9.5
8	9.0	9.0	9.0	9.5	8.5	9.0	9.5
12	10.5	10.5	10.0	10.0	9.5	10.0	11.0
16	10.0	10.5	11.0	10.5	10.5	10.5	11.0
20	11.5	12.0	11.0	11.5	11.5	12.0	12.0
24	13.0	12.0	12.0	13.0	12.0	12.0	13.0
28	14.5	14.0	14.5	15.5	15.5	15.5	15.0
32	15.0	15.5	16.0	15.0	17.0	15.5	14.5
36	16.5	17.0	16.0	17.0	17.0	17.5	17.5
40	18.0	18.5	18.0	17.0	19.0	18.5	18.5

注:Testo270 食用油品质检测仪测定偏差在 ±0.5%

由表 7 可知,随着煎炸时间的延长,极性组分含量总体呈递增的变化规律,而不同茶多酚棕榈酸酯添加量的煎炸油的极性组分含量均比较接近,说明茶多酚棕榈酸酯含量在 300 mg/kg 以下时,其抗氧

化效果不明显。本试验在煎炸 40 h 时煎炸油极性组分含量的最大值为 19.0%,尚未超过 GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》所规定的 27% 的极性组分限定值。

## 2.2.7 3-氯丙醇酯变化

3-氯丙醇酯具有致癌性和基因毒性。不同茶

多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中3-氯丙醇酯的变化情况如表8所示。

表8 不同茶多酚棕榈酸酯添加量的棕榈油在煎炸过程中3-氯丙醇酯的变化

煎炸时间/h	不同茶多酚棕榈酸酯含量下的3-氯丙醇酯含量/(mg/kg)						
	0 mg/kg	50 mg/kg	80 mg/kg	100 mg/kg	150 mg/kg	200 mg/kg	300 mg/kg
0	2.330	2.120	2.350	2.300	2.340	2.290	2.370
4	1.060	0.690	0.645	0.705	0.523	0.707	0.868
8	0.236	0.270	0.242	0.250	0.229	0.222	0.340
24	0.164	0.126	0.134	0.140	0.153	0.190	0.209
32	0.125	0.128	0.156	0.124	0.130	0.133	0.120
40	0.148	0.136	0.144	0.151	0.133	0.130	0.141

由表8可知,在180℃条件下,3-氯丙醇酯随着煎炸时间的延长而不断降解,其中在煎炸4h和8h时,降解剧烈,而在8h后降解速度缓慢,甚至在煎炸至24h后基本趋于平衡。比较发现,茶多酚棕榈酸酯添加量与3-氯丙醇酯含量无相关性。

## 3 结论

在饱和脂肪酸含量高的分提18℃棕榈油中添加茶多酚棕榈酸酯可以显著提高其流通环节的抗冻性,在茶多酚棕榈酸酯含量为50mg/kg或150mg/kg时,其抗冻性改进效果最为明显,但是并不能有效提升以薯条作为淀粉类食材代表的煎炸油的煎炸稳定性,反而加深了煎炸过程中煎炸油的色泽,影响了食品的外观。

## 参考文献:

- [1] BREWER M S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications [J]. *Compr Rev Food Sci F*, 2011, 10(4): 221-247.
- [2] 魏红艳, 张玉斌, 石岩. 3种天然抗氧化剂在双低菜籽油中的抗氧化效果[J]. *中国油脂*, 2022, 47(3): 38-40.
- [3] 苏沛, 刘行, 张克克, 等. 茶多酚棕榈酸酯在棕榈油中的抗冻应用[J]. *中国食品添加剂*, 2022(2): 82-87.
- [4] 穆子明, 郑聪, 薛斌, 等. 茶多酚棕榈酸酯在猪油中的应用[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(7): 103-104.
- [5] 王春花, 汪叔雄, 姚波, 等. 茶多酚棕榈酸酯在食用油脂中的应用[J]. *中国油脂*, 2015, 40(6): 40-42.
- [6] 吕俊梅, 樊丹敏, 兰玉倩. 抗氧化剂在青刺果油贮藏稳定性中的应用研究[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(4): 56-59, 64.
- [7] 蒋甜燕, 魏为连, 崔海明, 等. 棕榈油抗冻性分析[J]. *粮食与油脂*, 2015, 28(11): 54-55.
- [8] 魏建林, 左文杰, 闵光, 等. 茶多酚棕榈酸酯和迷迭香提取物复合抗氧化剂对葵花籽油的抗氧化效果研究[J]. *粮食储藏*, 2018, 47(5): 39-43.
- [9] 王凯. 迷迭香提取物与茶多酚棕榈酸酯协同抗油脂氧化及机理解析[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2020.
- [10] 穆昭. 煎炸油加热过程品质变化与评价[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2008.
- [11] 张栩, 李颖, 汪勇, 等. 亚麻籽油和棕榈液油用于煎炸油条过程中的品质变化研究[J]. *中国油脂*, 2021, 46(7): 41-47, 68.
- [12] 张文龙, 黄成义, 赵晨伟, 等. 植物油中的色素及吸附脱色研究进展[J]. *中国油脂*, 2022, 47(6): 21-28.
- [13] 张铁英. 煎炸油在煎炸过程中脂肪酸组成的变化[J]. *食品科学*, 2013, 34(5): 132-136.
- [14] 许泽群, 张乐, 杨静媚, 等. 食用油煎炸过程特征指标的相关性分析[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(5): 131-137.