

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.02.012

杨丽萍, 郭咪咪, 段章群. 天然抗氧化剂迷迭香提取物在食用植物油中的应用研究进展[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 95-100.

YANG L P, GUO M M, DUAN Z Q. Research progress on application of natural antioxidant rosemary extract in edible vegetable oil[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 95-100.

天然抗氧化剂迷迭香提取物在食用植物油中的应用研究进展

杨丽萍¹, 郭咪咪², 段章群^{1,2}✉(1. 吉林农业大学 食品科学与工程学院, 吉林 长春 130000;
2. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 随着人们对食用植物油的安全和营养愈加关注, 高效保持食用植物油营养品质和稳定性成为油脂行业的关键问题。迷迭香提取物作为天然抗氧化剂, 具有良好的抗氧化能力, 能够有效抑制油脂氧化变质, 延长储存时间, 从而保持油脂良好的感官品质和营养品质, 并且在高温环境中具有更好的稳定性。我国居民主要以热加工的方式摄入油脂, 因此, 天然无毒、高效、耐高温的迷迭香提取物是我国膳食用油的理想抗氧化剂。综述天然抗氧化剂迷迭香提取物在食用植物油中应用的研究进展, 对迷迭香提取物在植物油中的抗氧化研究具有一定参考价值。

关键词: 食用植物油; 安全与营养; 抗氧化; 天然抗氧化剂; 迷迭香提取物

中图分类号: TS225.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)02-0095-06

Research Progress on Application of Natural Antioxidant Rosemary Extract in Edible Vegetable Oil

YANG Li-ping¹, GUO Mi-mi², DUAN Zhang-qun^{1,2}✉(1. School of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130000, China;
2. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: More and more attention has been paid to the safety and nutrition of edible vegetable oil. Maintaining the nutritional quality and stability of edible vegetable oil has become a key issue in the oil industry. Rosemary extract, as a natural antioxidant, has good oxidation resistance, which could inhibit the oxidative deterioration of oil and prolong the storage time for keeping the good sensory and nutritional quality of oil. Also, it shows better stability in high temperature environments. The oil is taken mainly through hot processing in China, so the natural nontoxic, efficient and heat-resistant antioxidant is desired for Chinese edible oils. In this paper, the application research progress of rosemary extract in edible vegetable oil was reviewed, providing theoretical reference for the antioxidant research of rosemary extract in oil.

Key words: edible vegetable oil; safety and nutrition; antioxidation; natural antioxidants; rosemary extract

收稿日期: 2021-10-19

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (ZX2014)

Supported by: Fundamental Research Funds of non-profit Central Institutes (No. ZX2014)

作者简介: 杨丽萍, 女, 1996 年出生, 硕士研究生, 研究方向为食用油脂保鲜。E-mail: ylp3524@163.com.

通讯作者: 段章群, 男, 1981 年出生, 博士, 副研究员, 研究方向为油脂化学与加工技术。E-mail: dzq@ags.ac.cn.

食用植物油含有大量的不饱和脂肪酸,是我们人体必需脂肪酸的重要来源,然而,在储存和热加工过程中不饱和脂肪酸易于氧化,造成油脂品质劣变并产生有害物质^[1]。当前,我国小包装食用植物油一般采用充氮或者利用油脂内源抗氧化剂进行保鲜,消费者开瓶使用一定时间后会出现油脂氧化现象,中包装及以上的食用植物油通过添加特丁基对苯二酚(tertiary butylhydroquinone, TBHQ)防止氧化。TBHQ 存在致畸、致癌等风险^[2-3],不符合高质量发展的新要求,因此,安全高效的天然抗氧化剂受到日益增多的关注。

食用植物油中通常含有微量的营养伴随物,如生育酚,其分子结构中含有活泼酚羟基,可捕获油脂氧化过程中产生的自由基,因而具有抗氧化能力^[4]。由于氧化和降解,生育酚在加热油脂体系中会发生严重损耗从而降低其抗氧化能力^[5-7],而我国消费者的油脂摄取主要是通过煎炒烹炸等热加工方式,因此,我国食用植物油亟需安全、高效、耐高温的抗氧化剂。

研究表明,迷迭香提取物是一种天然无毒、高效且耐高温的抗氧化剂^[8-9],特别适合作为热加

工用油的抗氧化剂^[10-11]。本文综述了天然抗氧化剂迷迭香提取物的活性成分、国内外审批情况、抗氧化机理、在食用植物油中应用的研究进展及存在问题。

1 迷迭香提取物

迷迭香(*Rosmarinus officinalis L.*)是原产于地中海地区的唇形科迷迭香属常绿芳香型小灌木,别名艾菊、海之露,具有芳香味,是一种重要的药食同源植物,具有数千年的栽培和食用历史^[12-14]。

以迷迭香的茎、叶为原料经溶剂提取或超临界二氧化碳萃取精制等工艺得到迷迭香提取物。迷迭香提取物含有多种化学成分,主要以黄酮类、萜类、酚类、有机酸等物质为主,拥有优越的抗氧化性、抗菌驱虫性以及良好的香气^[15]。在迷迭香提取物中主要起抗氧化作用的组分为鼠尾草酸、鼠尾草酚和迷迭香酸(见图 1),鼠尾草酸和鼠尾草酚占迷迭香提取物抗氧化特性的 90%以上,其中,鼠尾草酸是抗氧化能力最强、也是含量最高的活性组分^[16-17]。鼠尾草酸和鼠尾草酚属于油溶性,在防止油脂氧化方面具有显著效果。

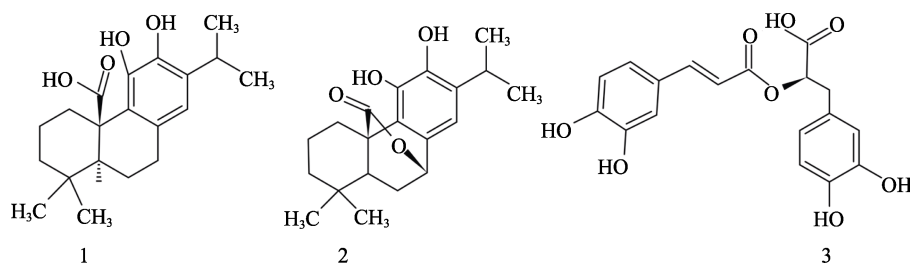


图 1 迷迭香提取物的主要抗氧化成分(1-鼠尾草酸, 2-鼠尾草酚, 3-迷迭香酸)

Fig.1 The main antioxidant components in rosemary extract (1- carnosic acid, 2- carnosol, 3- rosmarinic acid)

大量研究结果显示,迷迭香提取物是一种高效耐高温的天然抗氧化剂,也是当代公认的第三代食用天然抗氧化剂^[18]。迷迭香提取物具有良好的抗氧化性,其抗氧化能力是合成抗氧化剂丁基羟基茴香醚(Butyl hydroxyanisole, BHA)和二丁基羟基甲苯(Butylated hydroxytoluene, BHT)的 2~4 倍,茶多酚的 1~2 倍,优于维生素 E,与 TBHQ 的抗氧化效果相当,并且天然无毒、高效且耐高温,最高可耐受 240 °C,克服了大多数天然抗氧化剂遇高温不稳定的弱点,特别适合作为热加工用油的抗氧化剂^[8-11,19]。

2 迷迭香提取物作为抗氧化剂在国内外的审批情况

1994 年迷迭香提取物通过美国食品及药品监督管理局(FDA)的 GRAS 认证^[20],认为是没有安全风险、可以推荐使用的天然抗氧化剂;2010 年欧盟食品安全委员会批准迷迭香提取物为安全有效的抗氧化剂^[21]。2018 年底,澳大利亚批准了迷迭香提取物可以作为食品添加剂抗氧化剂。现在,日本和欧盟等发达国家和地区已经在食用植物油及富油食品中使用迷迭香提取物^[22]。

2014 年我国批准迷迭香提取物为食品添加剂抗氧化剂,并在国家标准 GB2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中,规定了使用范围及限量值,其中,食用植物油中规定最大使用量为 0.7 g/kg。2017 年开始实施的国家标准 GB1886.172—2016《食品安全国家标准食品添加剂 迷迭香提取物》,规定了迷迭香提取物中总抗氧化成分含量(以鼠尾草酸和鼠尾草酚计)不低于 10%、迷迭香酸含量不低于 5%。

3 迷迭香提取物的抗氧化机理

迷迭香提取物是一种亲脂性抗氧化剂,可清除单线态氧、羟基自由基和脂质过氧自由基,从而防止脂质过氧化和生物膜破裂^[3]。因为迷迭香提取物主要成分的苯环上都有 2 个处于邻位的羟基,有利于氧化反应后形成半醌式结构,成单电子通过共振效应与苯环形成大 π 键,半醌结构更稳定,如另一个羟基也被氧化,则会形成更稳定的醌式结构^[23]。所以,迷迭香提取物具有高效的抗氧化能力。迷迭香提取物还含有大量萜类成分以及酚羟基、不饱和双键,可以有效的捕获自由基,抑制植物油氧化^[24]。其中部分二萜类成分结构稳定,在高温环境中不易挥发、分解。因此,迷迭香提取物在食用植物油中不仅具有良好的抗氧化性,还有较高的热稳定性。

4 迷迭香提取物在食用植物油中的应用研究

4.1 迷迭香提取物作为单一抗氧化剂

Zhang 等研究表明,在加速储藏过程中迷迭香提取物对葵花籽油的脂质氧化表现出很强的抑制作用,显著降低了葵花籽油在储存过程中的游离脂肪酸、过氧化值和茴香胺值。抗氧化效果优于合成抗氧化剂 BHT 和 BHA^[3]。刘凤霞等比较栀子油中分别添加迷迭香提取物和化学抗氧化剂后在 63 °C 储藏 20 d 后的效果,结果表明,添加迷迭香提取物可显著抑制栀子油共轭二烯和过氧化物的生成,减缓 DPPH 自由基及 ABTS 自由基清除率的下降幅度,表现出优于化学合成抗氧化剂 BHA+BHT 的抗氧化活性^[25]。Jin 等研究了迷迭香提取物和 TBHQ、抗坏血酸棕榈酸酯、柠檬酸的

混合物在 185 °C 加热 6 h 的玉米油中形成 4-羟基-2-反式壬烯醛(HNE)的抗氧化性能。结果显示, TBHQ、抗坏血酸棕榈酸酯和柠檬酸的混合物在热处理玉米油 6 h 后, HNE 的形成减少了 27%;迷迭香提取物在相同条件下 HNE 的形成减少了 29%^[26]。说明迷迭香提取物耐高温,结构稳定,在高温条件下依然具有良好的抗氧化能力,可有效减缓油脂的氧化。Yang 等的研究结果显示,添加迷迭香提取物后,大豆油、米糠油和棉籽油在储存过程中的 DPPH 和 ABTS 自由基清除能力提高,显著延长了油脂的氧化诱导期,减少了不饱和脂肪酸的损失,这表明迷迭香提取物有效提高了油脂储存过程中的抗氧化能力^[27]。

以上研究均表明,迷迭香提取物能够有效减缓植物油中不饱和脂肪酸发生氧化反应,在自由基清除能力、抑制油脂中氧化产物生成等方面均有明显效果,表现出良好的抗氧化性,并且在高温环境中,迷迭香提取物能显著减缓植物油氧化,减少营养成分的损失,有效延长植物油货架期。

4.2 迷迭香提取物与其它抗氧化剂复配使用

Ibsch 研究表明,迷迭香提取物与抗坏血酸棕榈酸酯联合使用时表现出更好的抗氧化性能,比合成抗氧化剂 BHA 和 BHT 更有效,即使在高温下也能发挥良好的作用,有效减缓大豆油氧化速率^[28]。杨进芳等研究发现,维生素 E、迷迭香提取物和茶多酚添加量为 880、690 和 340 mg/kg 进行复配使用时,核桃油的稳定性最好,保质期是对照核桃油的 5.6 倍^[29]。Wang 等发现,迷迭香提取物与茶多酚棕榈酸酯的比例为 5:3 时,葵花籽油的诱导期分别是迷迭香提取物和茶多酚棕榈酸酯单独使用时的 3.63 倍和 1.91 倍,电子自旋共振波谱分析证实,这是由于复合抗氧化剂大大减少了油脂氧化过程中的自由基^[30]。魏建林等研究表明,茶多酚棕榈酸酯与迷迭香提取物的抗氧化性具有协同能力,当茶多酚棕榈酸酯 0.45 g/kg、迷迭香提取物 0.15 g/kg 时,在葵花籽油中抗氧化能力最强,减缓酸值、过氧化值的效果与 TBHQ 相近,优于 BHA 和 BHT,减缓丙二醛含量上升速率的能力优于 TBHQ^[31]。王凯等研究发现迷迭香提取物和茶多酚棕榈酸酯复配使用时,显示出最

佳的协同效果,有效延长了葵花籽油的氧化诱导时间,高效抑制了初级氧化产物和次级氧化产物的产生,减少了加热挥发性产物的生成^[32]。

以上研究表明迷迭香提取物与其他抗氧化剂复配使用可以增加其抗氧化能力,减少高温环境中挥发性物质的产生,保持良好的感官和营养品质。无论是作为单一抗氧化剂还是与其他抗氧化剂复配添加到植物油中,迷迭香提取物都表现出良好的抗氧化作用。

5 迷迭香提取物在食用植物油应用中存在的问题

5.1 迷迭香提取物与其它抗氧化剂之间的相互作用

Zhao 等研究发现,根据萝卜籽油中酸值、过氧化值等指标的变化,迷迭香提取物和 TBHQ 在抗氧化方面具有协同作用。0.01%迷迭香提取物和 0.01%TBHQ 复合物的抗氧化效果分别优于 0.07%迷迭香提取物和 0.02%TBHQ^[33]。Jaswir 等研究表明,通过对比棕榈油煎炸过程中脂肪酸含量的变化情况,发现迷迭香提取物与柠檬酸有良好的协同作用,对棕榈油中必需脂肪酸有最佳的保留;Malihe 等研究中同样发现,迷迭香提取物与柠檬酸显著延缓了橄榄油的氧化,增加橄榄油的氧化稳定性显示出协同增效的作用^[34-35]。Hras 等研究发现,60 °C 储存的葵花籽油中,用过氧化值和茴香胺值表征抗氧化能力时,迷迭香提取物分别与柠檬酸和抗坏血酸棕榈酸酯协同作用时、抗氧化能力呈现加和效应,与 α -生育酚共同使用时则显示了拮抗作用^[36]。Hwang 等研究了大豆油中氨基酸与天然抗氧化剂之间的相互作用,用聚合甘油三酯和自由基的含量表征抗氧化能力,结果表明,在大豆油中蛋氨酸与迷迭香提取物呈现加和作用、而赖氨酸与迷迭香提取物呈现拮抗作用^[37]。

以上研究表明,迷迭香提取物与其它抗氧化剂共同作用时,表现出两种效果:一种是增强其在植物油中抗氧化能力,具有协同增效的作用,有效减缓油脂氧化;另一种会抑制其抗氧化能力,降低在植物油中的抗氧化效果。因此,迷迭香提取物与哪些抗氧化剂具有协同增效的作用,哪些

抗氧化剂具有拮抗作用,需要进一步研究,从更深层次分析迷迭香提取物与其他抗氧化剂之间的作用机理和对植物油氧化稳定性的影响机制。

5.2 迷迭香提取物在食用植物油抗氧化过程中的转化

迷迭香提取物主要起抗氧化作用的成分是鼠尾草酸,鼠尾草酸通过自身羟基提供的氢原子中断氧化链式反应,保护油脂不被氧化。当鼠尾草酸被消耗时会降解成鼠尾草酚和其它中间产物^[38],鼠尾草酚是具有抗氧化能力的脂溶性物质,但其它中间产物是否也具有抗氧化能力、对人体是否有危害,目前尚没有深入研究。

6 结论

随着人们对食品安全的广泛关注,天然健康、对人体没有安全隐患的抗氧化剂越来越受到消费者的青睐。迷迭香提取物作为天然抗氧化剂在食用植物油中具有显著的抗氧化效果,并且在高温条件下,仍能发挥很好的抗氧化作用。但迷迭香提取物与其他抗氧化剂之间的相互作用,及其在食用植物油抗氧化过程中的转化值得关注和进一步研究。

近年来,迷迭香在我国种植规模日益增大,促进了迷迭香提取物作为抗氧化剂在食用植物油产业的快速发展,具有广阔的应用前景,有望引领食用植物油行业更好满足人民群众安全营养健康的消费升级需求,丰富“优质粮食工程”建设内容。

参考文献:

- [1] CHOE E, MIN D B. Mechanisms and factors for edible oil oxidation[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2006, 5: 169-186.
- [2] HOU D X. Potential mechanism of cancer chemoprevention by anthocyanin[J]. *Current Molecular Medicine*, 2003, 3: 149-159.
- [3] ZHANG Y, YANG L, ZU Y G, et al. Oxidative stability of sunflower oil supplemented with carnolic acid compared with synthetic antioxidants during accelerated storage[J]. *Food Chemistry*, 2009, 118(3): 656-662.
- [4] LIU R J, LU M Y, ZHANG T, et al. Evaluation of the antioxidant properties of micronutrients in different vegetable oils[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2020, 122: 1900079.
- [5] WU G C, CHANG C, HONG C C, et al. Phenolic compounds as

- stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: a comprehensive review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2019, 92: 33-45.
- [6] TANNO R, KATO S, SHIMIZU N, et al. Analysis of oxidation products of α -tocopherol in extra virgin olive oil using liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2020, 306: 125582.
- [7] TANG C H, TAO G J, WANG Y, et al. Identification of α -tocopherol and its oxidation products by ultra-performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68: 669-677.
- [8] XIE J, VAN ALSTYNE P, YANG X. A review on rosemary as a natural antioxidation solution[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2017, 119: 1600439.
- [9] ALADEDUNYE F, PRZYBYLSK R, MATTHAUS B. Performance of antioxidative compounds under frying conditions: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57: 1539-1561.
- [10] CHAMMEM N, SAOUDI S, SIFAQUI I, et al. Improvement of vegetable oils quality in frying conditions by adding rosemary extract[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 74: 592-599.
- [11] GUO Q, GAO S, SUN Y, et al. Antioxidant efficacy of rosemary ethanol extract in palm oil during frying and accelerated storage[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 94: 82-88.
- [12] ALEXANDER W, ELODIE P, JAMAL C, et al. Antioxidant activity of hydro distillation water residues from *Rosmarinus officinalis* L. leaves determined by DPPH assays[J]. Comptes Rendus Chimie, 2016, 19(6): 754-765.
- [13] SABBAHI M, EI HASSOUNI A, TAHANR A. Composition of rosemary's essential oil and its antioxidant activity in the region of talsint (morocco) with focus on the altitude factor[J]. Polish Journal of Natural Sciences, 2020, 35(2): 219-231.
- [14] 张海豹. 迷迭香在烹调肉类食物中的应用研究[J]. 中国调味品, 2013, 38(8): 117-120.
ZHANG H B. Study on application of rosemary in cooking meat[J]. China Condiment, 2013, 38(8): 117-120.
- [15] 何立威, 付晨青, 姚珊, 等. 迷迭香提取物的有效成分及其药理作用简述[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(10): 2068-2073.
HE L W, FU C Q, YAO S, et al. Brief introduction of effective components and pharmacological effects of rosemary extract[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2020, 61(10): 2068-2073.
- [16] ARUOMA O I, HALLIWELL B, AESCHBACH R, et al. Antioxidant and pro-oxidant properties of active rosemary constituents: carnosol and carnosic acid[J]. Xenobiotica, 1992, 22(2): 257-268.
- [17] BIRTIC B, DUSSORT P, PIERRE F X, et al. Carnosic acid[J]. Phytochemistry, 2015, 115: 9-19.
- [18] 邵金良, 董宝生, 黎其万, 等. 迷迭香在油香椿制品储藏过程中的抗氧化效果研究[J]. 中国食品添加剂, 2009(4): 86-88.
- SHAO J L, DONG B S, LI Q W, et al. Studies on the antioxidative effect of the rosemary in the storage of products of toona sinensis roem[J]. China Food Additives, 2009(4): 86-88.
- [19] 李鹏娟. 迷迭香源抗氧化物对薯条煎炸油品质的影响研究[D]. 暨南大学, 2020.
LI P J. Effect of rosemary-based antioxidants on the oil quality during deep frying of french fries[D]. Jinan University, 2020.
- [20] 杜纪权, 徐宏, 曹庸, 等. 迷迭香提取物的抗氧化特性及应用中存在的问题[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7): 467-469+473.
DU J Q, XU H, CAO Y, et al. Antioxidative properties of rosemary extract and its problems in used process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7): 467-469+473.
- [21] Amending Regulation (EC) No 889/2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control: (EC) No 344/2011[S]. <http://news.foodmate.net/2018/07/476735.html>.
- [22] 郑秋闯. 迷迭香抗氧化剂的提取和鉴定[J]. 潍坊学院学报, 2010, 10(4): 95-98.
ZHENG Q A. Extraction and identification of antioxidant from rosemary[J]. Journal of Weifang University, 2010, 10(4): 95-98.
- [23] 王有娣, 姚小丽, 肖青林, 等. 迷迭香精油和马郁兰精油化学成分及抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 135-141.
WANG Y D, YAO X L, XIAO Q L, et al. Study on the chemical components and antioxidant activities of rosemary essential oils and marjoram essential oils[J]. China Condiment, 2021, 46(1): 135-141.
- [24] 刘凤霞, 王莹, 薛刚, 等. 迷迭香脂溶性提取物在梔子油中的抗氧化性研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(1): 101-104.
LIU F X, WANG Y, XUE G, et al. Antioxidation of liposoluble rosemary substance in gardenia oil[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(1): 101-104.
- [25] JIN W, SHOEMAN D W, SHUKLA VIJAI K S, et al. Retardation of 4-hydroxy-2-transnonenal (HNE), a toxic aldehyde formation by antioxidants in heat-treated corn oil at frying temperature[J]. Food and Nutrition Sciences, 2020, 11(7): 669-683.
- [26] YANG Y, SONG X X, SUI X N, et al. Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 80: 141-147.
- [27] IBSCH R B M, REITER M G R, BERTOLI S L, et al. Study of pure and combined antioxidants for replacing TBHQ in soybean oil packed in pet bottles[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(3): 821-831.
- [28] 杨进芳, 彭丹, 陈名扬, 等. 复配天然抗氧化剂对核桃油抗氧化性能及货架期的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2021, 42(5): 64-69.
YANG J F, PENG D, CHEN M Y, et al. Effect of compound natural antioxidants on the antioxidant performance and shelf life of walnut oil[J]. Journal of Henan University of Technology

- (Natural Science Edition), 2021, 42(5): 64-69.
- [29] WANG K, ZHENG Z J, LIU C H, et al. Identification and quantification of synergetic antioxidants and their application in sunflower oil[J]. LWT- Food Science and Technology, 2020, 118: 108726.
- [30] 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.
- WEI J L, ZUO W J, MIN G, et al. Study on antioxidant effect of tea polyphenols palmitate and rosemary extract composite antioxidants on sunflower oil[J]. Grain Storage, 2018, 47(5): 39-43.
- [31] 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]. 江南大学, 2020.
- WANG K. Study of synergistic interactions between rosemary extract and tea polyphenol palmitate on oil[D]. Jiangnan University, 2020.
- [32] ZHAO J L, LI B, GUO Y C. Effect of rosemary extract and TBHQ on the stability of radish seed oil[J]. Journal of the Chemical Society of Pakistan, 2016, 38(4): 631-637.
- [33] JASWIR I, MAN Y B C, KITTS D D. Synergistic effects of rosemary, sage, and citric acid on fatty acid retention of palm olein during deep-fat frying[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2000, 77(5): 527-533.
- [34] MALIHE K, TAGHI G M, MAHMOUD A, et al. Comparative effect of buniun persicum and rosmarinus officinalis essential oils and their synergy with citric acid on the oxidation of virgin olive oil[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19: 2666-2681.
- [35] HRAS A R, HADOLIN M, KNEZ Z, et al. Comparison of antioxidative and synergistic effects of rosemary extract with α -tocopherol, ascorbyl palmitate and citric acid in sunflower oil[J]. Food Chemistry, 2000, 71: 229-233.
- [36] HWANG H S, WINKLER-MOSER J K, LIU S X. Study on antioxidant activity of amino acids at frying temperatures and their interaction with rosemary extract, green tea extract, and ascorbic acid[J]. Journal of Food Science, 2019, 84: 3614-3623.
- [37] GINSBURG S R, MALEKY F. Extraction of lipid-soluble antioxidants from rosemary leaves using vegetable oils[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2020, 55: 3135-3144. 