

食用油天然抗氧化剂的研究与开发

李 杰¹, 赵声兰², 陈朝银^{1,*}

(1. 昆明理工大学生命科学与技术学院, 云南昆明 650500;

2. 云南中医学院中药学院, 云南昆明 650500)

摘要: 油脂氧化是影响油脂质量的主要因素, 油脂抗氧化剂在油脂贮藏和食品加工过程中起着重要的作用, 尤其天然抗氧化剂既能解决油脂氧化, 又能解决食品安全问题, 而且还可以开发保健型食用油脂。本文阐述了油源及非油源、国标及非国标天然抗氧化剂的种类及其抗氧化效率, 对尚在研发中的葡萄多酚、花生壳多酚、槐角黄酮、麦冬黄酮等非油性天然抗氧化剂进行详述, 其多兼具多重保健功能, 是食用油天然抗氧化剂和复合抗氧化剂的开发方向, 以期为天然抗氧化剂的开发和利用提供参考。

关键词: 食用油, 天然抗氧化剂, 抗氧化作用, 安全性

Research and development on natural antioxidants of edible oil

LI Jie¹, ZHAO Sheng-lan², CHEN Chao-yin^{1,*}

(1. Faculty of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Faculty of Chinese Traditional Medicine, Yunnan University of Chinese Traditional Medicine, Kunming 650500, China)

Abstract: Oil oxidation was the main reason that affects the quality of oils and fats. Antioxidants play an important role in the storage of oil and food processing. Especially the application of natural antioxidants could solve the problems of oil and fats oxidation and food safety, help to develop healthy edible oils and fats. In this paper, the antioxidant effects and varieties of oil-derived and non-oil-derived, GB and non-GB natural antioxidants were expounded, especially the non-oil-derived natural antioxidants in the research and development, including grape polyphenols, peanut shells polyphenols, flavonoids from fructus sophorae, flavonoids from Ophiopogon japonicus and so on, which mostly combined with multiple health functions, which are the development direction of natural antioxidants and complex antioxidants of edible oils, in the hope of providing a reference for the development and utilization of natural antioxidants in the future.

Key words: edible oil; natural antioxidants; antioxidant effect; safety

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)02-0373-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.02.073

食用油通常含有较高的不饱和脂肪酸, 在其贮存、运输和食品加工中常发生不同程度的氧化变质, 不仅导致食用油气味和滋味严重劣变, 影响油脂食用价值, 而且会危及人体健康。目前食用油的抗氧化研究方兴未艾(图1), 其中传统的化学合成抗氧化剂BHA、BHT、PG和TBHQ具有较好的抗氧化效果, 并在油脂中得到了一定的应用, 但其潜在的毒性甚至致癌作用, 具有较高的食品安全风险, 许多国家已禁止其使用。天然抗氧化剂具有高效、安全、无毒或低毒等特点, 是抗氧化研发的重要方向之一。已知食用油天然抗氧化剂有油源性和非油源性两大类, 油源性的研发重点是如何让油料中的抗氧化成分尽可能多

地进入食用油中, 非油源性的研发重点则是研发安全高效的天然抗氧化剂及其制备工艺。加强食用油天然抗氧化剂的研究和开发, 既能解决食用油氧化变质的问题, 也能更好地保障食品安全及提高保健功能, 具有重要的科学及社会经济意义^[1-2]。

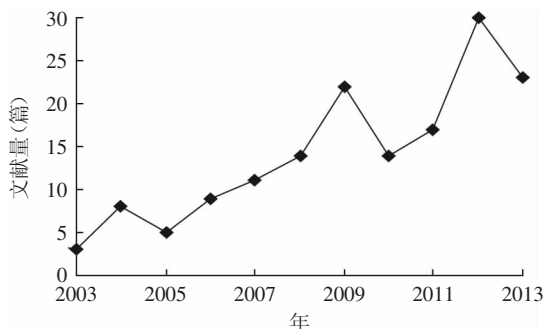


图1 CNKI数据库中近年主题含“食用油”及“抗氧化”的文献量
Fig.1 The amount of literature with the theme “edible” and “antioxidant” in CNKI database in recent years

收稿日期: 2014-05-07

作者简介: 李杰(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 生物制药。

* 通讯作者: 陈朝银(1957-), 男, 博士研究生, 教授, 研究方向: 生物资源高效利用。

基金项目: 云南省科技计划项目(2009EB081, 2011AB006); 科技部支撑计划项目(20112011BAD46B00)。

1 油料来源的天然抗氧化剂

1.1 橄榄多酚

橄榄多酚是橄榄果肉中含苯甲酰结构的酚酸类,主要为没食子酸和鞣酸,有较强的抗氧化活性,对羟基自由基、亚硝酸盐具有较强的清除作用,相同浓度下,橄榄多酚对超氧阴离子自由基的清除率低于 V_C 和BHT^[3]。

1.2 芝麻酚

芝麻酚即3,4-亚甲二氧基苯酚,由芝麻籽中的芝麻酚在油脂加工过程中转化而成,是芝麻油的主要香气成分,也是芝麻油重要的抗氧化剂。以大豆油为底物时芝麻酚的抗氧化性弱于BHT,但在猪油中芝麻酚的抗氧化性与TBHQ相当,强于BHT,且在加热过程中比 V_E 具有更高的稳定性和抗氧化性^[4]。

1.3 V_E

V_E 又名生育酚,包括生育酚和生育三烯酚2类共8种化合物,即 α 、 β 、 γ 、 δ 生育酚和 α 、 β 、 γ 、 δ 生育三烯酚。 α -生育酚是自然界中分布最广泛,含量最丰富,活性最高的维生素E形式。对酸、热都很稳定,对碱不稳定,若在铁盐、铅盐或油脂酸败的条件下,会加速其氧化而被破坏。植物油中的 V_E 含量为核桃油>玫瑰茄籽油>香麻油>葵花籽油>花生油,利用本身自带的 V_E 来抗氧化,对于保持植物油的抗氧化性有很大的意义。 V_E 不但可以中断氧化游离基,而且能淬灭单线态氧,0.02% V_E 对红花油的氧化抑制率为32.14%^[5]。

1.4 植物甾醇

为环戊全氢菲的3-羟基化合物,主要成分为4-无甲基甾醇、4-单甲基甾醇和4,4-双甲基甾醇3类。植物油中甾醇主要以游离形式和脂肪酸酯形式存在,通常与亚油酸、油酸结合,少量与酚酸结合。其主要甾醇是4-无甲基甾醇,约占50%~97%。0.5mg/mL植物甾醇对羟基自由基的抑制率为78.3%,对超氧自由基的抑制率为67.5%^[6],与 V_E 一起添加到菜籽油中,能相互协调起到增强其抗氧化能力的作用。

1.5 磷脂

磷脂抗氧化作用较弱,可作为 V_E 的增效剂,协同加强 V_E 发挥其抗氧化性,含有磷脂的毛油比精炼油脂抗氧化性要强。

1.6 米糠素

米糠素又称谷维素,主要由多种类型的环木菠萝醇阿魏酸酯类的混合物构成,对米糠油的抗氧化能力约为 V_E 的1/10~1/5,对猪油也具有较明显的抗氧化效果^[7]。

2 非油料来源的油用天然抗氧化剂

2.1 国标2760中非油料来源油用天然抗氧化剂

2.1.1 茶多酚 茶多酚是茶叶中多酚类物质的总称,主要有儿茶素类、黄酮类、花青素类及酚酸类4大类组成,儿茶素是茶多酚中活性较强的物质,具有较活泼的羟基氢,能提供氢质子,其中表没食子儿茶素没食子酸酯具有很强的清除自由基的活性。对植物油的抗氧化活性高于 V_E 而低于BHT,对动物油脂的抗氧化活性则茶多酚明显强于 V_E 和BHT^[8]。在

160℃的食用油中添加茶多酚30min后茶多酚仅降低了25%,食用油的过氧化值几乎不变,说明其在高温下具有很好的抗氧化效果。

2.1.2 苹果多酚 苹果多酚主要成分为原花青素、酚酸和黄酮类物质,含有大量的酚羟基,具有较强的提供氢质子的能力,将高度氧化性的自由基还原形成稳定自由基,从而终止自由基连锁反应达到清除自由基和抑制脂质过氧化的目的。通过苹果多酚提取物的体外抗氧化实验得到,苹果多酚对植物油和动物油均有明显的抗氧化作用,尤其对延长芝麻油的保质期有明显效果,其对植物油的抗氧化效果远优于BHT,清除自由基的能力高于茶多酚,并且与螯合剂柠檬酸复配后,其抗氧化能力增强^[9]。

2.1.3 迭迭香提取物 迭迭香提取物有效成分为迭迭香酚、迭迭香酸、鼠尾草酚、鼠尾草酸等。以红花油为底物,0.005% BHA脂质氧化抑制率为32.14%,0.015% BHT脂质氧化抑制率为49.90%^[5],迭迭香提取物鼠尾草酸的抗氧化功效远高于 V_C 、 V_E 、茶多酚等天然抗氧化剂,更优于合成抗氧化剂BHT、BHA^[10-11],且其结构稳定、不易分解,能耐190~240℃高温。

2.1.4 竹叶抗氧化物 竹叶抗氧化物主要活性成分是以荭草苷、异荭草苷、牡荆苷和异牡荆苷为代表的黄酮苷,具有良好的类SOD活性,能有效地阻断亚硝化反应,张英^[12]对竹叶提取物的抗氧化活性进行了研究,发现竹叶提取物具有很好的清除有机自由基DPPH、超氧阴离子、羟自由基的能力,又通过竹叶功能因子生物抗氧化性研究,得到其具有优良和稳定的抗活性氧自由基效能,且不会因使用量的增加而出现相反的促氧化作用。

2.1.5 植酸 植酸又名环己六醇六磷酸酯,分子结构成环状对称,具有很强的络合能力,可与有促进氧化作用的金属离子螯合而使金属离子失去活性,并且同时释放H,破坏自动氧化产生的过氧化物,使之不能继续形成醛、酮等产物。在浓度为0.5mg/L时,对DPPH自由基、羟基自由基、超氧阴离子的清除率分别为25.81%、15.93%、5.90%,在Fenton反应和Haber-Weiss循环中不会催化羟自由基的产生,成为一种较好的抗氧化剂^[13]。添加0.01%植酸到植物油中,可以提高其抗氧化活性,棉籽油提高2倍,大豆油提高4倍,花生油提高40倍,其抗氧化性优于BHT和 V_E ^[14]。

2.1.6 β -胡萝卜素 GB 2760中规定以物理方法从杜氏盐藻(*Dunaliella salina*)养殖湖中得到杜氏盐藻的浓缩悬浮水溶液,用物理方法进一步浓缩,得到天然类胡萝卜素的浓缩物,其中含有90%以上的 β -胡萝卜素,10%以下的 α -胡萝卜素及2%以下的其他胡萝卜素异构体,然后用食品级的植物油稀释成所需浓度的油悬浮液。在植物油中, β -胡萝卜素作为抗氧化剂,不仅能淬灭自由基,还可以淬灭自由基前体单线态氧,对花生油和猪油的抗氧化性弱于番茄红素,但在猪油中强于 V_C ^[15]。

2.1.7 番茄红素 番茄红素是一种不含氧的类胡萝卜素,由11个共轭及2个非共轭碳-碳双键组成,能淬灭单线态氧和清除过氧化自由基,抑制脂质过氧化。

其抗氧化能力是 β -胡萝卜素的2.0~3.2倍, V_E 的100倍。对猪油和菜籽油具有较好的抗氧化效果,强于人工合成的油用抗氧化剂TBHQ、BHA和BHT,与茶多酚相当^[16]。20ppm番茄红素添加量能有效抑制大豆

油体系光敏氧化作用,能使大豆油POV值平均降低31.78%。同时番茄红素是脂溶性物质,溶于食用油中可得到功能性油脂,更好地促进番茄红素的吸收。

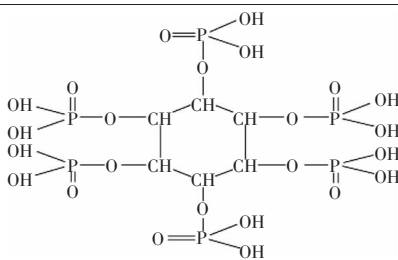
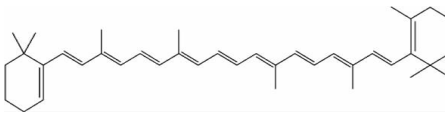
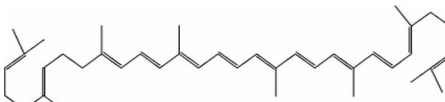
由表1可看出,不同抗氧化剂化学结构不同,抗

表1 食用油天然抗氧化剂及其抗氧化活性

Table 1 Natural antioxidants of edible oil and its antioxidant activity

抗氧化物	结构式	抗氧化活性
芝麻酚 ^[4]		植物油中弱于BHT,动物油中强于BHT、 V_E 与TBHQ相当
V_E		强于磷脂
油源性天然 抗氧化剂		
磷脂		弱于 V_E
米糠素 ^[7]		弱于 V_E
茶多酚 ^[8]		强于 V_E ,植物油中弱于BHT,动物油中强于BHT
迭迭香酚 ^[17]		强于TBHQ、BHA、BHT
迭迭香酸 ^[18]		强于BHT
迭迭香提取物		
鼠尾草酚 ^[17]		强于TBHQ、BHA、BHT
非油源性天然 抗氧化剂		
鼠尾草酸 ^[10-11]		强于 V_E 、BHT、BHA和茶多酚

续表

抗氧化物	结构式	抗氧化活性
植酸 ^[14]		强于BHT、V _E
胡萝卜素 ^[15]		强于V _C , 低于番茄红素
番茄红素 ^[16]		强于β-胡萝卜素、V _E

氧化效果也不同。同一种抗氧化剂在植物油和动物油中的抗氧化效果也不同。迷迭香提取物与其他化学和天然抗氧化剂相比,抗氧化性能更好,且许多欧美国家对其添加量没有限制,可得到更广泛的应用。

2.2 研发中的非油料来源油用天然抗氧化剂

2.2.1 葡萄多酚 葡萄多酚主要来源于葡萄皮和葡萄籽。葡萄皮中的多酚成分主要为花色素类、黄酮和白藜芦醇,葡萄籽中的多酚成分主要为原花青素、儿茶素类、槲皮苷、单宁。200mg/kg的浓度即可使葡萄籽油的保质期延长近4倍,猪油的保质期延长15倍,其作用效果强于BHT^[19]。但对氧自由基和羟自由基的IC₅₀远不如花生壳多酚(表2)。

2.2.2 核桃叶多酚 核桃叶多酚是用热水从核桃叶中提取的抗氧化物质,通过对羟自由基和DPPH自由基的清除作用,来防止食用油抗氧化,其清除羟自由基的能力远高于茶多酚^[20],不仅减少了核桃油的过氧化,还减少了外来添加剂对核桃油色泽、口感造成的不足。

2.2.3 木醋液多酚 木醋液多酚是木材干馏得到的冷凝液经静置并分离出焦油后的棕红色液体。核桃壳、棕榈壳、杏仁壳均可通过干馏得到这种液体。研究发现,木醋液多酚具有很好的抗氧化活性,不仅可以很好地清除自由基,抗脂质过氧化能力也非常明显,并且在持续高温、煎炸条件下对核桃油过氧化仍有很好的抑制作用^[21]。

2.2.4 花生壳多酚 花生壳中含有3.34%~7.13%的多酚类化合物,其中黄酮类物质木犀草素含量约0.3%。对花生油、葵花籽油和猪油的抗氧化作用弱于TBHQ,但对花生油和葵花籽油的抗氧化效果优于茶多酚^[22]。对氧自由基和羟自由基的IC₅₀均为微克级水平,优于葡萄多酚的毫克级水平(表2)。

2.2.5 槐角黄酮 槐角黄酮是槐角的主要活性成分,通过测定油脂的过氧化值发现,其对大豆油有一定的抗氧化效果,添加量为0.025%时,抗氧化作用强于TBHQ,其同V_C或柠檬酸联合使用时,存在协同作

用,与V_C复配时,抗氧化作用尤其明显^[23]。

2.2.6 笋壳黄酮 经70%的乙醇提取、大孔树脂纯化可得得率为0.07%的笋壳黄酮。以菜籽油为底物,采用国标“碘.硫代硫酸钠滴定法”(GB/T 5009.37)测得笋壳黄酮的抗氧化活性高于芦丁,但小于同等浓度条件下人工合成的TBHQ^[24]。

2.2.7 鼠曲草总黄酮 鼠曲草(*Gnaphalium affine* D. Don)又名佛耳草、清明菜,系菊科鼠曲草属植物,具有降血脂、降血糖、降血压、抗衰老、消炎抑菌、增强免疫力等多种功效。采用60%醇提、大孔树脂纯化可得纯度达59.4%的总黄酮产品^[25]。鼠曲草总黄酮对大豆油有一定的抗氧化效果,且V_C、柠檬酸和酒石酸对鼠曲草总黄酮的抗大豆油氧化效果均有增效作用,0.05%鼠曲草总黄酮与0.02%的人工合成的BHT抗大豆油效果相近,且0.05%总黄酮和0.02%TBHQ混合使用时,抗大豆油氧化效果更好^[26]。

2.2.8 麦冬总黄酮 用80%乙醇超声辅助提取麦冬叶中的总黄酮得率约为1.7%,该提取物清除羟基自由基的IC₅₀为2.868mg/mL,从麦冬须根中分离得到10个异黄酮类化合物,最高清除羟基自由基的IC₅₀为0.125μg/mL^[27],对植物油和动物油的抗氧化效果强于V_C和柠檬酸,尤其对动物油的保护效果更佳^[28]。

2.2.9 银杏叶黄酮 银杏叶黄酮提取液对羟自由基、超氧自由基、DPPH自由基均有较强的清除作用,与V_C溶液有协同作用,混合后清除率有所提升。能有效抑制大豆油的自动氧化,相同浓度下苷元型比糖苷型有更强的抑制脂质氧化的能力($p < 0.05$),且抗氧化作用随着时间延长越接近同浓度BHT的抗氧化能力^[29]。

通过比较分析(表2)可知,对羟自由基的清除作用为麦冬总黄酮>槐角黄酮>鼠曲草黄酮>花生壳多酚>银杏总黄酮>葡萄多酚>笋壳黄酮;对氧自由基的清除作用为槐角黄酮>花生壳多酚>麦冬总黄酮>银杏黄酮>笋壳黄酮>葡萄多酚;对DPPH自由基的清除作用为葡萄多酚>槐角黄酮>笋壳黄酮>麦冬总黄酮>花生壳多酚>银杏黄酮>鼠曲草黄酮。综合比较,槐角

表2 潜在油用天然抗氧化剂的抗氧化活性及其抗自由基活性

Table 2 Antioxidant activity and anti-free radical activity of potential natural antioxidants for edible oil

潜在油用天然抗氧化剂	抗氧化活性	清除DPPH自由基IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$)	抑制羟自由基活性IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$)	抑制氧自由基活性IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$)
葡萄多酚 ^[19,30]	强于BHT, 弱于茶多酚	1.96	1910	7500
花生壳多酚 ^[22]	弱于TBHQ, 强于茶多酚	101.1	35.1 $\pm$ 1.8	21.4 $\pm$ 2.7
槐角黄酮 ^[23,31]	强于TBHQ	19.2	16	12.7
笋壳黄酮 ^[24]	弱于TBHQ	22.9	2004	1130
鼠曲草黄酮 ^[26,32]	略弱于V _C	118.2	16.3	略低于V _C
银杏总黄酮 ^[33-34]	强于V _C	114.6	245 $\pm$ 5	165 $\pm$ 5
麦冬总黄酮 ^[27,35]	强于V _C	24.43	0.125	35.6

黄酮的抗氧化活性较强,更具有研发价值。

3 食用油用天然抗氧化剂的使用

3.1 在制油过程中从油料中直接引入

尽可能将油料的天然抗氧化剂直接引入食用油中是食用油天然抗氧化的最佳方法。不同加工工艺提取的食用油中所含的抗氧化成分含量不同。例如油橄榄叶通过120℃高温短时萃取可获得多酚含量较高的橄榄油^[36];水代法制备芝麻油可获得芝麻酚含量较高的芝麻油;在萃取压力32MPa、萃取温度45℃、CO₂流量为16~20L/h的条件下超临界CO₂萃取相比于水代法和溶剂法可获得黄酮含量较高的核桃油,而料液比1:6的正己烷浸提、离心旋蒸后可获得植物甾醇、V_E含量较高的核桃油^[37];热榨茶籽油中茶多酚类物质、角鲨烯、甾醇含量较冷榨油样明显升高^[38]等。

3.2 提取添加法

将提取得到的天然抗氧化剂添加到植物油中的研究开发较多,例如将竹叶提取物和核桃壳乙醇提取物添加到核桃油中,其抗氧化效果均随添加浓度的增加而增强,且核桃壳提取物的加入不仅减少杂质的引入,还充分、合理地利用了资源;将超声波萃取得到的麦冬叶总黄酮加入到植物油和动物油中^[28];在芝麻油和猪油中按油重的0.5%添加苹果多酚,可显著延长芝麻油的保质期,并对猪油氧化有很强的抑制功效^[39]。

3.3 修饰法

天然多酚、黄酮、咖啡酸的油溶性较差,通过修饰可提高其油溶性,按修饰机理可分为醚化(甲基化)、酰化、酯化及其他修饰。目前所用的分子修饰主要是化学修饰法和酶修饰法,化学修饰工艺已比较成熟,用乙酰化法制备的油溶性茶多酚是一种优良的抗氧化剂,可完全溶于油样中,大大提高了植物油的抗氧化性;在亚油酸及其乳化体系氧化实验中,也表明脂溶性茶多酚和水溶性茶多酚混合处理组的抗氧化作用显著优于水溶性茶多酚和脂溶性茶多酚单独处理组。以对甲苯磺酸为催化剂酯化生成的烷基咖啡酸酯,兼具强脂溶性和高抗氧化性,明显增强了食用油的稳定性^[40]。陈晓东^[41]以脂肪酸酐和茶多酚为原料酯化合成茶多酚酯大大改善了茶多酚的脂溶性,并且保留其抗氧化性,为茶多酚在油脂领域的复配添加提供一定的技术支持,但其存在的缺陷也很明显,一是修饰过程中酚羟基损失大,导致抗氧化活

性降低;二是反应的选择性较差,缺乏专一性的催化条件不利于产物的分离和结构鉴定;另外所使用的有机反应试剂也限制了天然抗氧化剂在食用油中的应用。所以,酶修饰法受到了越来越多的重视,Sakai利用羧酸酯酶进行酯交换制备的脂溶性儿茶素,在油脂中得到了安全、有效的抗氧化效果,与柠檬酸、没食子酸、V_C或V_E中的一种或几种配合使用更有协同增效作用^[42]。采用酯化修饰的方法,以脂肪酶作催化剂,在黄酮类化合物的分子中引入不饱和脂肪酸不仅可以提高其在油脂中的溶解性,还可以提高油脂的抗氧化性,安全高效,具有更大的开发潜力,为黄酮在食用油抗氧化领域的应用开辟了途径^[43]。

4 展望

用天然抗氧化剂和复配抗氧化剂取代合成抗氧化剂是今后食品工业的发展趋势,油源性天然抗氧化剂的研发重点是如何让油料中的抗氧化成分尽可能多地进入食用油中,非油源性天然抗氧化剂的重点则是研发安全高效的食源性天然抗氧化剂及其制备工艺及其复合抗氧化剂的开发及应用,既有望较好地解决食用油氧化变质及食品安全问题,也有望兼顾保健功能强化,具有重要的科学及社会经济意义。

此外,在开发油用天然抗氧化剂的同时,探索一种安全、高效、副产物少的分子修饰方法,使得水溶性天然抗氧化剂能够更好地溶解于食用油中,并且不影响其抗氧化活性及油脂的理化性质,这对深化我国天然产物资源的利用、开发具有多功能的食品添加剂以及提高油脂的氧化稳定性都具有重要的意义。

参考文献

- [1] 王茜茜,袁建,王立峰,等. 3种天然抗氧化剂对菜籽油储藏稳定性影响的研究[J]. 中国油脂,2013,38(1):60-63.
- [2] 钟秀倩,钟俊辉. 抗氧化剂与人体保健[J]. 微量元素与健康研究,2007,24(4):53-55.
- [3] 孙瑾,王宗举,陈岗,等. 橄榄中多酚类物质体外抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂,2010(3):69-73.
- [4] Lee J, Lee Y, Choe E. Effects of sesamol, sesamin, and sesamolins extracted from roasted sesame oil on the thermal oxidation of methyl linoleate[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10):1871-1875.
- [5] 陈莹. 抗氧化剂的抗氧化活性评价方法研究[D]. 无锡:江南大学,2012.

- [6] 高政. 菜籽植物甾醇的提取,纯化及抗氧化活性研究[D]. 武汉:华中农业大学,2009.
- [7] 罗嗣良,陆仲华,周宝兰. 谷维素对油脂的抗氧化性及其应用研究[J]. 中国油脂,1987,12(2):11-24.
- [8] 张才煜,张本刚,杨秀伟. 亚麻子化学成分及其药理作用研究进展[J]. 中国新药杂志,2005,14(5):525-530.
- [9] 古绍彬,吴影,董红敏,等. 苹果多酚抗氧化作用及其清除自由基能力的研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(4):58-61.
- [10] Liu H F, Booren A M, Gray J I, *et al.* Antioxidant efficacy of oleoresin rosemary and sodium tripolyphosphate in restructured pork steaks[J]. Journal of Food Science, 1992, 57(4):803-806.
- [11] Richheimer S L, Bernart M W, King G A, *et al.* Antioxidant activity of lipid-soluble phenolic diterpenes from rosemary[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1996, 73(4):507-514.
- [12] 张英,唐莉莉. 竹叶功能因子生物抗氧化性质的研究[J]. 营养学报,1998,20(3):367-371.
- [13] Zang H W, Bai X L. Optimization of extraction conditions for phytic acid from rice bran using response surface methodology and its antioxidant effects[J]. Journal of Food Science Technology, 2014, 51(2):371-376.
- [14] 汪秋安. 天然抗氧化剂及其在食品中的应用[J]. 粮油食品科技,2000,8(1):33-35.
- [15] 郭鹏飞. 番木瓜中番茄红素和 β -胡萝卜素的制备及抗氧化性与稳定性研究[D]. 广州:暨南大学,2008.
- [16] 孙茜,李凌君,严勇,等. 番茄红素的提取及其抗氧化作用研究[J]. 中国调味品,2012,37(8):108-110.
- [17] 陈如,翁新楚. 引进香料——迷迭香抗氧化活性的研究[J]. 上海大学学报:自然科学版,2006,12(1):78-83.
- [18] 隋小宇. 迷迭香天然功能成分的提取,精制工艺及活性测定的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2009.
- [19] 张峻,吉伟之,齐欣. 葡萄籽中多酚类物质的提取及其对油脂的抗氧化作用[J]. 食品科学,2001,22(10):43-45.
- [20] 梁俊玉,赵宝堂,殷振雄,等. 核桃叶多酚的抗氧化活性测定[J]. 食品与发酵工业,2012,38(11):171-174.
- [21] 施琳,尉芹,赵忠,等. 苦杏仁木醋液多酚对核桃油过氧化的抑制作用[J]. 食品科学,2013,34(5):76-80.
- [22] 刘晓丽,吴克刚,柴向华,等. 花生壳多酚对食用油抗氧化作用的研究[J]. 中国食品添加剂,2012(3):99-103.
- [23] 薛畅敏,申艳艳,赵越. 槐角黄酮抗油脂氧化作用[J]. 食品研究与开发,2013,34(13):117-120.
- [24] 杨乐,王洪新. 笋壳黄酮分离纯化工艺及其抗氧化性[J]. 食品与发酵工业,2010,36(8):184-189.
- [25] 石青浩,李荣,姜子涛. 大孔树脂纯化鼠曲草总黄酮的研究[J]. 中国食品添加剂,2012(3):93-98.
- [26] 李超. 鼠曲草总黄酮的抗大豆油氧化活性研究[J]. 农业机械,2011(20):65-67.
- [27] Zhou Y F, Qi J, Zhu D N, *et al.* Homoisoflavonoids from ophiopogon japonicu and its oxygen free radicals (OFRS) scavenging effects[J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2008, 6(3):201-204.
- [28] 陈莉华,李三艳,张辉,等. 麦冬叶中总黄酮的抗油脂氧化研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(3):70-73.
- [29] 张静,张晓鸣,佟建明,等. 银杏黄酮抑制脂质氧化的研究[J]. 食品与生物技术学报,2010,29(6):842-845.
- [30] 吕禹泽,宋钰,吴国宏,等. 葡萄多酚的抗氧化活性[J]. 食品科学,2006,27(12):213-216.
- [31] 陈明珠,申艳艳,赵越,等. 槐角黄酮的体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2013,34(4):94-96.
- [32] 李超,王孟楚. 鼠曲草总黄酮的抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂,2012(1):111-115.
- [33] 李敏. 银杏叶总黄酮的提取及其抗氧化性的研究[J]. 应用化工,2013,42(6):1023-1025.
- [34] 黄相中. 昆明产银杏叶总黄酮含量测定及抗氧化活性研究[J]. 云南民族大学学报:自然科学版,2010,19(5):369-371.
- [35] 夏道宗,于新芬,王慧铭,等. 麦冬总黄酮提取的响应面法优化及抗氧化性研究[J]. 中华中医药杂志,2009(12):1629-1632.
- [36] Delgado-Adamez J, Baltasar M N, Yuste M C, *et al.* Oxidative stability, phenolic compounds and antioxidant potential of a virgin olive oil enriched with natural bioactive compounds[J]. Journal of Oleo Science, 2014, 63(1):55-65.
- [37] 蔡达,刘红芝,刘丽,等. 不同工艺制备核桃油品质比较及相关性分析[J]. 中国油脂,2014,39(3):80-84.
- [38] 朱晋萱. 茶叶籽制油过程中油的品质变化研究[D]. 无锡:江南大学,2013.
- [39] 古绍彬,吴影,董红敏,等. 苹果多酚抗氧化作用及其清除自由基能力的研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(4):58-61.
- [40] Wang J, Gu S S, Pang N, *et al.* Alkyl caffeates improve the antioxidant activity, antitumor property and oxidation stability of edible oil[J]. PLoS One, 2014, 9(4):1-10.
- [41] 陈晓东. 茶多酚酯的合成、抗氧化特性及应用研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2013.
- [42] Sakai M, Suzuki M, Nanjo F, *et al.* 3-O-acetylated catechins and methods of producing same[P]. Patent EP, 1994, 618203.
- [43] 王炼. 黄酮脂溶性衍生物的酶促合成与抗氧化活性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013.

(上接第367页)

- cholesterol[J]. Atherosclerosis, 2002, 163(2):385-398.
- [27] Fung T T, Rexrode K M, Mantzoros C S, *et al.* Mediterranean diet and incidence of and mortality from coronary heart disease and stroke in women[J]. Circulation, 2009, 119(8):1093-1100.
- [28] Assy N, Nassar F, Nasser G, *et al.* Olive oil consumption and non-alcoholic fatty liver disease[J]. World Journal of Gastroenterology: WJG, 2009, 15(15):1809.
- [29] Tapsell L C, Gillen L J, Patch C S, *et al.* Including walnuts

in a low-fat/modified-fat diet improves HDL cholesterol-to-total cholesterol ratios in patients with type 2 diabetes[J]. Diabetes Care, 2004, 27(12):2777-2783.

- [30] Thomsen C, Rasmussen O, Christiansen C, *et al.* Comparison of the effects of a monounsaturated fat diet and a high carbohydrate diet on cardiovascular risk factors in first degree relatives to type-2 diabetic subjects[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1999, 53(10):818-823.