

# 天然抗氧化剂作用机理及在肉类制品中的应用研究进展

刘立群, 喻倩倩, 刘毅, 戴瑞彤\*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 肉及肉制品营养丰富, 富含高质量蛋白质、脂肪、维生素、矿物质和一些微量元素。脂肪氧化会影响肉及肉制品的颜色、质构和风味等, 降低其营养价值。使用抗氧化剂可以抑制肉及肉制品的氧化, 延长其货架期。合成抗氧化剂具有一定的安全风险, 因此天然抗氧化剂受到了越来越多的关注。水果、蔬菜、草药、香辛料、食品副产物、维生素、矿物质、蛋白质水解产物都是抗氧化剂的良好来源。本文对天然抗氧化剂在抑制肉类制品脂肪氧化方面的应用进行综述。

**关键词:** 天然抗氧化剂; 肉类制品; 脂肪氧化; 抗氧化机理; 植物提取物

## A Review of the Mechanism of Action and Application of Natural Antioxidants in Meat and Meat Products

LIU Liqun, YU Qianqian, LIU Yi, DAI Ruitong\*

(College of Food Science and Nutritional Engineering, Chinese Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Meat and meat products are highly nutritious sources of food that provide high-quality proteins, minerals, vitamins, and many other micronutrients. Lipid oxidation may have negative effects on the quality of meat and meat products causing changes in sensory (color, texture and flavor) and nutritional quality. Antioxidants are used to minimize oxidative changes in meat and meat products, thereby improving the shelf-life. Natural antioxidants provide a good alternative for synthetic antioxidant additives because of adverse effects of synthetic antioxidants. Fruits, vegetables, herbs, spices, food by-products, vitamins, minerals, peptides and protein hydrolysates have proved beneficial sources of antioxidants. The review is intended to provide an overview of natural antioxidants inhibiting lipid oxidation in meat and meat products.

**Key words:** natural antioxidants; meat products; lipid oxidation; antioxidant mechanism; plant extracts

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706009

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2017) 06-0045-06

引文格式:

刘立群, 喻倩倩, 刘毅, 等. 天然抗氧化剂作用机理及在肉类制品中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(6): 45-50.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706009. <http://www.rlyj.pub>

LIU Liqun, YU Qianqian, LIU Yi, et al. A review of the mechanism of action and application of natural antioxidants in meat and meat products[J]. Meat Research, 2017, 31(6): 45-50. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706009. <http://www.rlyj.pub>

肉及肉制品营养丰富, 富含高质量蛋白质、脂肪、必需氨基酸、B族维生素、矿物质及其他营养素, 是人类膳食中不可或缺的成分<sup>[1]</sup>。肉类制品中的脂肪酸可以分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸, 脂肪酸的组成影响肉的氧化稳定性, 由于肉类制品脂肪中含有丰富的单/多不饱和脂肪酸, 如猪肉中含有丰富的C<sub>18:2</sub>脂肪酸, 牛、羊肉中富含n-3系列多不饱和脂肪酸, 因此其在贮藏、加工过程中极易发生脂肪氧化。不饱和脂肪酸中不稳定的双键氧

化能够产生一些影响肉制品感官(颜色、质构及风味)和营养品质的次级氧化产物, 如己醛、戊醛、庚醛、辛醛等, 它们的产生降低了产品的可接受性、缩短了产品的货架期、使产品产生酸败气味, 严重时还会危害人体健康<sup>[2-5]</sup>。脂肪氧化过程十分复杂, 其受肉制品的化学组分、加工过程、光、氧气及贮藏温度等因素的影响, 尤其是肉糜类产品更容易发生脂肪氧化, 从而导致腐败。在肉及肉制品中添加抗氧化剂可以减少脂肪氧化、提高

收稿日期: 2017-01-03

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YF040040302)

作者简介: 刘立群(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品科学。E-mail: liu\_susan@126.com

\*通信作者: 戴瑞彤(1966—), 女, 教授, 博士, 研究方向为肉品科学。E-mail: dairuitong@vip.sina.com

产品品质、延长货架期。食品中抗氧化剂的使用受到法律和国际贸易标准的调控<sup>[6]</sup>。在美国,抗氧化剂的使用受《联邦食品、药品和化妆品法案》、《肉品检疫法》、《家禽检疫法》及其他相关法律的调控<sup>[7-8]</sup>;对于欧盟来说,食品中抗氧化剂的使用受到欧盟议会和委员会法规的监管;中国则需要按照GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》执行;其他国家按照国际食品法典委员会的标准执行<sup>[7]</sup>。

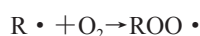
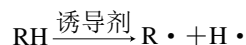
肉与肉制品中经常使用的化学合成抗氧化剂主要有丁基羟基茴香醚(butyl hydroxyanisole, BHA)、二丁基羟基甲苯(butylated hydroxytoluene, BHT)和特丁基对苯二酚(tert-butylhydroquinone, TBHQ)<sup>[9-11]</sup>。这些合成抗氧化剂具有很好的抗氧化效果,可以与自由基发生反应、螯合金属离子(如铜离子和铁离子),进而延缓脂肪氧化,使肉制品具有稳定的货架期。但是由于这些合成抗氧化剂具有潜在的毒性,其安全性受到质疑<sup>[12-14]</sup>,因此天然抗氧化剂受到了越来越多的关注<sup>[15]</sup>。天然抗氧化剂是从天然可食用的食品中提取出来的、具有抗氧化活性的物质,具有安全性高、抗氧化能力强、无副作用和能够防腐保鲜等优点<sup>[16-17]</sup>。水果、蔬菜、草药、香辛料等都是天然抗氧化剂的良好来源,研究者们不断尝试用它们替代传统的抗氧化剂<sup>[18]</sup>。本文将对天然抗氧化剂在肉及肉制品中的应用进行综述。

## 1 肉及肉制品的脂肪氧化

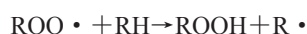
肉及肉制品的脂肪氧化是降低产品质量和可接受性的主要因素之一。脂肪氧化的主要原因是肉及肉制品中的不饱和脂肪酸通过游离基链式反应与氧结合后发生自动氧化,产生氢过氧化物,降解后形成有特殊气味的低分子质量醛、酮、醇,从而导致产品酸败<sup>[19-20]</sup>。

脂肪氧化机制可以概括为以下3步:

1) 引发: 不饱和脂肪酸(RH)经光、热或金属催化失去氢自由基( $H\cdot$ ),与氧气( $O_2$ )反应生成过氧游离基( $ROO\cdot$ )。



2) 传递: 过氧游离基与更多不饱和脂肪酸反应生成氢过氧化物( $ROOH$ )。



3) 终止: 当2个过氧游离基反应生成非自由基( $ROOR$ 或 $RR$ )时,氧化链式反应终止<sup>[21]</sup>。



脂肪氧化的最终产物主要是具有刺激气味的短链羰基化合物,其能够引发肉及肉制品的酸败。

## 2 抗氧化剂的作用机理

### 2.1 氢原子转移

抗氧化剂通过阻止脂肪氧化链式反应的引发或传递过程,形成稳定自由基( $ROO\cdot + AH \rightarrow ROOH + A\cdot$ ),这种自由基自身不发生反应或反应生成非自由基产物,从而延迟或抑制脂肪及其他物质的氧化<sup>[22]</sup>。这类抗氧化剂主要是多酚、VE等物质。

### 2.2 金属离子螯合

生物体中含有游离的金属离子,它们能够通过Fenton反应催化过氧化氢生成羟自由基,从而导致氧化反应的发生。一些抗氧化剂可以络合游离金属离子,减少羟自由基的形成<sup>[23]</sup>。

### 2.3 电子伴随质子转移

抗氧化剂首先发生电子转移,生成正离子自由基,然后再进行质子转移完成整个抽氢反应,并形成一个苯氧自由基,它可以通过共振作用而达到稳定,从而减缓或终止自由基链式反应<sup>[24]</sup>。例如, $\beta$ -胡萝卜素具有很好的抗氧化性能,它能够通过提供电子抑制活性氧的生成,达到清除自由基的目的,还能够清除单线态氧,减少光过敏作用;VC能够通过逐级供给电子转变成半脱氢抗坏血酸和脱氢抗坏血酸,从而实现清除活性氧自由基的目的<sup>[25]</sup>。

## 3 天然抗氧化剂的来源

天然抗氧化剂由活细胞产生,在营养代谢和免疫调节中维持氧化-还原平衡。抗氧化剂由于氧化应激与自由基或非自由基发生反应,引发防御机制,保护细胞内及细胞外的成分。研究者们致力于天然抗氧化剂在肉制品中的应用,一些天然抗氧化剂已投入商业化生产中。植物是天然抗氧化剂的主要来源,一些植物来源的香辛料、草药和精油已应用于肉制品,用来抑制脂肪氧化、提升产品感官品质。水果、蔬菜及茶叶中含有大量的酚类化合物,它们也是天然抗氧化剂的良好来源<sup>[26]</sup>。

### 3.1 果蔬及其提取物

果蔬中的抗氧化成分主要为黄酮类物质(原花青素、槲皮素、儿茶素)和水溶性维生素(VC)。不同莓类中酚类物质的种类和含量各不相同,例如,蓝莓、蔓越莓、北美沙果中都含有大量的花青素;蓝莓富含绿原酸,蔓越莓富含槲皮素,北美沙果富含咖啡酸<sup>[27]</sup>。植物多酚具有很强的抗氧化性,可以与肌肉组织氧化形成的自由基发生反应。因此,很多果蔬及其提取物都可以作为抗氧化剂应用于肉制品中。

西梅在预煮猪肉肠、经辐照的火鸡和预制烤牛肉中都有良好的抗氧化效果<sup>[13,18,28-29]</sup>。Lee等<sup>[28]</sup>发现在辐照的



火鸡胸肉卷中添加质量分数为3%的西梅提取物可以抑制脂肪氧化。Gonzalez等<sup>[13,18]</sup>发现添加质量分数为3%和6%的干西梅果浆或质量分数为6%的西梅-苹果混合果浆可以抑制预煮香肠冷藏过程中的脂肪氧化,添加质量分数为2.5%的鲜西梅浓缩汁或干西梅浓缩汁可以抑制预制烤牛肉冷藏过程中的脂肪氧化。Yildizturp等<sup>[29]</sup>在低脂牛肉饼中添加质量分数为5%、10%、15%的西梅果浆,同样能够抑制脂肪氧化。蔓越莓中含有高浓度的酚类化合物(158.8  $\mu\text{mol}$ 总酚/g干质量),因此其具有良好的抗氧化性<sup>[30]</sup>。Lee等<sup>[31]</sup>研究了蔓越莓中不同种类多酚对抑制火鸡和碎猪肉脂肪氧化的潜在作用,发现在分割火鸡中添加质量分数为0.32%的蔓越莓粉末可以抑制脂肪氧化。Gil等<sup>[32]</sup>发现商业化石榴汁的抗氧化性是绿茶和红酒的3倍。Vaithiyathan等<sup>[33]</sup>将鸡肉在石榴汁中浸泡60 s,然后在4  $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏28 d,发现鸡肉的脂肪氧化受到抑制。绿叶蔬菜富含多种生物活性物质,如叶绿素、多酚、维生素、胡萝卜素等,它们具有猝灭单线态氧的能力,可以作为天然抗氧化剂应用于食品中<sup>[34]</sup>。Banerjee等<sup>[35]</sup>将西兰花提取物应用于山羊肉中评价其抗氧化性,结果表明,添加西兰花提取物的山羊肉的硫代巴比妥酸反应物质(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)值显著降低。Kim等<sup>[36-37]</sup>将10种植物提取物(茼蒿、南瓜、韭菜、刺五加、大豆、蜂斗菜等)应用于新鲜的碎牛肉中,评价提取物的抗氧化性,结果表明,这些植物提取物都可以显著降低碎牛肉的TBARs值。此外,添加质量分数为0.5%的蜂斗菜与添加质量分数为0.5%的BHT具有相同的抗氧化效果。Tang等<sup>[38]</sup>发现盐水腌制过的洋葱提取物可以降低火鸡胸肉卷的TBARs值<sup>[38]</sup>。Verma等<sup>[39]</sup>发现绿色卷心菜可以抑制鸡肉丸冷藏过程中的脂肪氧化,延长其货架期。

### 3.2 草药、香辛料及其提取物

草药和香辛料中的主要抗氧化成分为一些酚类物质,包括酚酸(没食子酸、咖啡酸、迷迭香酸)、酚二萜(鼠尾草酸、鼠尾草酚)、黄酮(儿茶酸、槲皮素、芹黄素、山柰酚、油皮素、橙皮素)和挥发油(丁子香酚、香芹酚、百里香酚、薄荷醇)<sup>[40]</sup>。

迷迭香及其提取物作为天然抗氧化剂在肉类产品中的应用已有大量研究。Nissen等<sup>[41]</sup>将猪肉绞碎后,添加质量分数为0.2%的迷迭香提取物制成猪肉饼,加热至中心温度达80  $^{\circ}\text{C}$ ,真空包装后于(4.5 $\pm$ 0.5)  $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏10 d,发现添加迷迭香的猪肉饼TBARs值低于对照组。Mielnik等<sup>[42]</sup>在3种不同脂肪含量的机械去骨火鸡肉中使用了5种市售的迷迭香产品,真空包装后于-25  $^{\circ}\text{C}$ 贮藏7 d,发现5种迷迭香都具有抑制脂肪氧化的作用,但是效果有所差别。Ding Yi等<sup>[43]</sup>在猪肉丸中分别添加3种浓度(质量分数分别为0.5%、1.0%、1.5%)的荔枝花粉,

水浴加热至中心温度达75  $^{\circ}\text{C}$ ,真空包装后于-20  $^{\circ}\text{C}$ 条件下冻藏4周。结果表明,3种浓度的荔枝花粉都表现出了抑制脂肪氧化的作用。Cuong等<sup>[44]</sup>在猪肉饼中添加质量分数分别为0.1%、0.25%和0.5%的胭脂树籽粉末,4  $^{\circ}\text{C}$ 条件下冷藏14 d,发现胭脂树籽可以抑制脂肪氧化。Fernandes等<sup>[45]</sup>将28.57%的牛至提取物应用于羊肉饼中,添加量为1%, (2 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏20 d。结果表明,贮藏15 d内牛至提取物可以抑制羊肉饼的脂肪氧化。Kobus-Cisowska等<sup>[46]</sup>将银杏叶应用于猪肉丸中,发现银杏叶可以抑制猪肉丸在烹调和冷藏过程中的脂肪氧化。

### 3.3 植物性食品加工副产物

植物性食品加工副产物中的主要抗氧化成分为多酚类物质,例如,石榴籽和石榴皮中富含单宁、花青素和黄酮类物质,因此具有很好的抗氧化性<sup>[12]</sup>。Basappam等<sup>[47]</sup>在100 g鲜鸡肉中添加与10 mg单宁酸酚类物质相当的石榴皮粉,制成鸡肉饼,加热熟制,4  $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏15 d后发现添加石榴皮粉鸡肉饼的TBARs值低于对照组,说明石榴皮粉可以有效抑制脂肪氧化。Turgut等<sup>[48]</sup>在牛肉丸中添加质量分数为0.5%和1.0%的石榴籽提取物,发现2个添加量的石榴籽提取物均可抑制脂肪和蛋白质氧化。Devatkal等<sup>[49-50]</sup>将金诺橘皮粉、石榴皮粉和石榴籽粉添加到生羊肉饼和熟羊肉饼中,发现添加石榴皮粉可降低生羊肉饼和熟羊肉饼的TBARs值。葡萄籽提取物中富含黄酮类物质,其可以通过减少初级脂肪氧化产物和次级脂肪氧化产物来抑制肉制品的氧化酸败<sup>[51]</sup>。在牛肉、鸡肉、火鸡肉的冷藏过程中,添加质量分数为0.1%的葡萄籽提取物可以很好地清除肌肉组织中的自由基,减少次级脂肪氧化产物的生成<sup>[52-54]</sup>。Hawashin等<sup>[55]</sup>将质量分数为2%、4%、6%的橄榄油副产物添加到牛肉饼中,发现4%的添加量既能够抑制脂肪氧化、延长产品货架期又不影响感官品质。

### 3.4 精油

精油是从芳香植物或药用植物的花、叶、茎、根或果实中提炼、萃取出的挥发性芳香物质<sup>[56]</sup>。精油的主要活性成分为多酚和萜类化合物,如丁子香酚,它可以清除自由基,抑制脂肪氧化<sup>[57-58]</sup>。Dragoev等<sup>[59]</sup>发现黑胡椒和小茴香精油可以有效抑制干发酵香肠的脂肪氧化。Zhang Jing等<sup>[60]</sup>在鲜猪肉表面喷洒体积分数0.1%、0.5%的黑胡椒精油,发现实验组鲜猪肉的TBARs值显著低于对照组。Botsoglou等<sup>[61]</sup>研究了牛至精油对火鸡肉脂肪氧化的影响,发现200 mg/kg的添加量可以显著抑制火鸡肉的脂肪氧化。Loizzo等<sup>[57]</sup>评价了23种市售精油对熟制火鸡肉抗氧化效果的影响,发现丁香、肉桂、百里香精油与合成抗氧化剂BHT具有相当的抗氧化效果。

### 3.5 维生素

维生素一般以单独添加、与其他物质共同添加或者作为添加剂组分的形式应用于食品中,比如在低脂肉制品中添加富含VE的植物油,在肉制品中添加富含VC的苹果渣<sup>[26]</sup>。已有研究<sup>[62]</sup>表明,一些维生素具有抗氧化性,可以保护肌肉组织和细胞免受自由基的损害。Kim等<sup>[63]</sup>将酱油和抗坏血酸溶液共同应用于生牛肉饼中,发现二者共同使用具有更好的防止变色和抑制脂肪氧化的效果。Wong等<sup>[64]</sup>评价了15种维生素对牛肉饼胆固醇氧化的抑制情况,发现VB<sub>6</sub>、视黄酸、 $\alpha$ -生育酚、L-抗坏血酸具有很好的抗氧化性。Cheng等<sup>[65]</sup>发现在低盐猪肉饼中添加质量分数为0.55%的抗坏血酸可以有效抑制猪肉饼的氧化和变色。

### 3.6 多肽及蛋白质水解产物

诸多已有研究表明,多肽具有良好的自由基清除能力和金属离子螯合能力,可作为抗氧化剂应用于食品加工中。多肽和蛋白质水解产物中的主要活性成分为短肽,如肌肽、Tyr-Phe-Glu等<sup>[66-69]</sup>。影响活性肽抗氧化能力的因素包括底物蛋白、蛋白酶的种类及活性、温度、pH值、水解度以及肽的化学结构等。国内外已经以动、植物为原料进行了大量的研究,主要集中在以廉价易得的原料制备高效、高值的抗氧化肽产品<sup>[70]</sup>。在动物蛋白方面,Li Bo等<sup>[71]</sup>酶解猪皮胶原蛋白得到具有清除自由基、螯合金属离子能力的抗氧化肽。Li Xue等<sup>[72]</sup>用木瓜蛋白酶酶解草鱼蛋白,发现其水解产物可以抑制冷冻鱼糜的脂肪氧化。Rival等<sup>[73]</sup>发现酪蛋白和酪蛋白肽可以抑制脂氧合酶的活性,从而抑制脂肪氧化。Seo等<sup>[74]</sup>发现牛血浆蛋白水解产物可以抑制猪肉饼冷藏过程中的脂肪氧化。在植物蛋白方面,Decker等<sup>[66]</sup>研究发现在腌制猪肉糜中添加质量分数为0.5%的肌肽可以显著抑制冻藏过程中发生的脂肪氧化。Nieto等<sup>[67]</sup>将碱性蛋白酶水解的马铃薯蛋白添加至法兰克福香肠中,发现2.5%的添加量可以有效抑制熟制的法兰克福香肠在冷藏过程中的脂肪氧化。Wang等<sup>[68]</sup>将碱性蛋白酶水解的马铃薯蛋白添加至熟制的牛肉糜中,发现冷藏过程中的脂肪氧化受到抑制。Sun等<sup>[69]</sup>将豌豆粉、豌豆分离蛋白和豌豆蛋白水解产物分别添加至煮熟的腌牛肉糜中,发现豌豆分离蛋白和豌豆蛋白水解产物可以有效抑制脂肪氧化。

## 4 结 语

天然抗氧化剂的来源丰富,包括水果、蔬菜、草药、香料、食品副产物、维生素及多肽等,将其应用于肉制品已经成为一种趋势,也有一些研究者将天然抗氧化剂用于开发功能性肉制品,评价天然抗氧化剂对人体的有益作用,但是具体哪些天然抗氧化剂可以被人体吸收利用还缺乏体内实验证据。

天然抗氧化剂的使用也存在一些弊端,表现在以下几个方面:1)天然抗氧化剂成分较为复杂,可能影响肉制品的其他品质;2)天然抗氧化剂不稳定,在肉制品中使用可能会影响其自身的抗氧化效果;3)某些天然抗氧化剂具有特殊气味,会影响肉制品本身的风味。目前,国内外针对动、植物来源的天然抗氧化剂均已大量研究,但是开发出安全、高效、价格低廉、易得的天然抗氧化剂依然是肉制品领域的一大挑战。未来需要进一步研究天然抗氧化剂的抗氧化机制。另外,针对天然抗氧化剂的稳定性及其在不同肉制品中的应用需要做进一步研究,尤其要考虑天然抗氧化剂对肉制品感官、风味等因素的影响。也可以将几种抗氧化剂的混合物应用于肉制品中,评价抗氧化剂之间的协同作用。

### 参考文献:

- [1] ZHANG W G, XIAO S, SAMARAWEEERA H, et al. Improving functional value of meat products[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 15-31. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.018.
- [2] KANNER J. Oxidative process in meat and meat products: quality implications[J]. Meat Science, 1994, 36(1/2): 169-189. DOI:10.1016/0309-1740(94)90040-X.
- [3] KARAKAYA M, BAYRAK E, ULUSOY K. Use of natural antioxidants in meat and meat products[J]. Journal of Food Science and Engineering, 2011, 1(1): 1-10.
- [4] CORTINAS L, BARROETA A, VILLAYERDE C, et al. Influence of the dietary polyunsaturation level on chicken meat quality: lipid oxidation[J]. Poultry Science, 2005, 84(1): 48-55. DOI:10.1093/ps/84.1.48.
- [5] GRUN I U, AHN J, CLARKE A D, et al. Reducing oxidation of meat[J]. Food Technology, 2006, 60(1): 40-43.
- [6] KARRE L, LOPEZ K, GETTY K J. Natural antioxidants in meat and poultry products[J]. Meat Science, 2013, 94(2): 220-227. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.01.007.
- [7] MIKOVÁ K. Antioxidants in food[M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001: 267-284. DOI: 10.1016/9781855736160.4.267.
- [8] FEREIDOUN S, ZHONG Y. Bailey's industrial oil and fat products[M]. New York: John Wiley & Sons, 2005: 437-453. DOI: 10.1002/047167849X.
- [9] BISWAS A K, KESHRI R C, BISHT G S. Effect of enrobing and antioxidants on quality characteristics of precooked pork patties under chilled and frozen storage conditions[J]. Meat Science, 2004, 66(3): 733-741. DOI:10.1016/j.meatsci.2003.07.006.
- [10] FORMANEK Z, KERRY J P, HIGGINS F M, et al. Addition of synthetic and natural antioxidants to  $\alpha$ -tocopheryl acetate supplemented beef patties: effects of antioxidants and packaging on lipid oxidation[J]. Meat Science, 2001, 58(4): 337-341. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00149-2.
- [11] JAYATHILAKAN K, SHARMA G K, RADHAKRISHNA K, et al. Antioxidant potential of synthetic and natural antioxidants and its effect on warmed-over-flavour in different species of meat[J]. Food Chemistry, 2007, 105(3): 908-916. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.04.068.
- [12] NAVEENA B M, SEN A R, VAITHIYANATHAN S, et al. Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1304-1308. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.06.005.



- [13] NUÑEZ de GONZALEZ M T, HAFLEY B S, BOLEMAN R M, et al. Antioxidant properties of plum concentrates and powder in precooked roast beef to reduce lipid oxidation[J]. *Meat Science*, 2008, 80(4): 997-1004.
- [14] RAGHAVAN S, RICHARDS M P. Comparison of solvent and microwave extracts of cranberry press cake on the inhibition of lipid oxidation in mechanically separated turkey[J]. *ChemInform*, 2008, 102(47): 818-826. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.04.049.
- [15] SEBRANEK J, BACUS J. Natural and organic cured meat products: regulatory, manufacturing, marketing, quality and safety issues[G]. American meat science association white paper series. Champaign: American Meat Science Association, 2007: 1-16.
- [16] 肖雷, 姚菁华, 朱红菊, 等. 茶多酚防腐机理及其在肉制品加工中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(6): 160-162. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2009.06.048.
- [17] 郝婕, 董金皋. 天然抗氧化剂的提取分离及功能研究[J]. *河北林果研究*, 2005, 20(4): 369-372. DOI:10.3969/j.issn.1007-4961.2005.04.015.
- [18] NUÑEZ de GONZALEZ M T, BOLEMAN R M, MILLER R K, et al. Antioxidant properties of dried plum ingredients in raw and precooked pork sausage[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(5): 63-71. DOI:10.1111/j.1750-3841.2008.00744.x.
- [19] 王正勇, 盛益东. 肉制品中的脂肪氧化[J]. *江苏食品与发酵*, 1999(1): 16-19.
- [20] MEYNIER A, GENOT C, GANDEMER G. Volatile compounds of oxidized pork phospholipids[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1998, 75(1): 1-7. DOI:10.1007/s11746-998-0001-3.
- [21] PERUMALLA A V S, HETTIARACHCHY N S. Green tea and grape seed extracts: potential applications in food safety and quality[J]. *Food Research International*, 2011, 44(4): 827-839. DOI:10.1016/j.foodres.2011.01.022.
- [22] HUANG D J, OU B X, PRIOR R L. The chemistry behind antioxidant capacity assays[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(6): 1841-1856. DOI:10.1021/jf030723c.
- [23] LEOPOLDINI M, RUSSO N, CHIODO S, et al. Iron chelation by the powerful antioxidant flavonoid quercetin[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(17): 6343-6351. DOI:10.1021/jf060986h.
- [24] 陈卫军. 酚类化合物抗氧化机理分析及新型抗氧化剂合成思路的理论研究[D]. 西安: 西北大学, 2007: 4-5. DOI:10.7666/d.y1091400.
- [25] 朱将伟. 天然抗氧化剂的研究概况[J]. *饲料工业*, 2007, 28(24): 59-63. DOI:10.3969/j.issn.2095-6495.2014.04.016.
- [26] JIANG J, XIONG Y L. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: a review[J]. *Meat Science*, 2016, 120: 107-117. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.04.005.
- [27] ZHENG W, WANG S Y. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(2): 502-509. DOI:10.1021/jf020728u.
- [28] LEE E J, AHN D U. Quality characteristics of irradiated turkey breast rolls formulated with plum extract[J]. *Meat Science*, 2005, 71(2): 300-305. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.03.017.
- [29] YILDIZTURP G, SERDAROGLU M. Effects of using plum puree on some properties of low fat beef patties[J]. *Meat Science*, 2010, 86(4): 896-900. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.07.009.
- [30] VINSON J A, SU X H, ZUBIK L, et al. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(11): 5315-5321. DOI:10.1021/jf034189k.
- [31] LEE C H, REED J D, RICHARDS M P. Ability of various polyphenolic classes from cranberry to inhibit lipid oxidation in mechanically separated turkey and cooked ground pork[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2006, 17(3): 248-266. DOI:10.1111/j.1745-4573.2006.00048.x.
- [32] GIL M I, TOMÁSBARBERÁN F A, HESSPIERCE B, et al. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(10): 4581-4589. DOI:10.1021/jf000404a.
- [33] VAITHIYANATHAN S, NAVEENA B M, MUTHUKUMAR M, et al. Effect of dipping in pomegranate (*Punica granatum*) fruit juice phenolic solution on the shelf life of chicken meat under refrigerated storage (4 °C)[J]. *Meat Science*, 2011, 88(3): 409-414. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.01.019.
- [34] GARDNER P T, TAC W, MCPHAIL D B, et al. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices[J]. *Food Chemistry*, 2000, 68(4): 471-474. DOI:10.1016/S0308-8146(99)00225-3.
- [35] BANERJEE R, VERMA A K, DAS A K, et al. Antioxidant effects of broccoli powder extract in goat meat nuggets[J]. *Meat Science*, 2012, 91(2): 179-184. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.01.016.
- [36] KIM S J, CHO A R, HAN J. Antioxidant and antimicrobial activities of leafy green vegetable extracts and their applications to meat product preservation[J]. *Food Control*, 2013, 29(1): 112-120. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.05.060.
- [37] KIM S J, MIN S C, SHIN H J, et al. Evaluation of the antioxidant activities and nutritional properties of ten edible plant extracts and their application to fresh ground beef[J]. *Meat Science*, 2013, 93(3): 715-722. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.11.029.
- [38] TANG X, CRONIN D A. The effects of brined onion extracts on lipid oxidation and sensory quality in refrigerated cooked turkey breast rolls during storage[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(2): 712-718. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.10.042.
- [39] VERMA A K, PATHAK V, SINGH V P, et al. Storage study of chicken meatballs incorporated with green cabbage (*Brassica oleracea*) at refrigeration temperature (4±1 °C) under aerobic packaging[J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2015, 44(1): 409-414. DOI:10.1080/09712119.2015.1091328.
- [40] BREWER M S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2011, 10(4): 221-247. DOI:10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x.
- [41] NISSEN L R, BYRNE D V, BERTELSEN G, et al. The antioxidative activity of plant extracts in cooked pork patties as evaluated by descriptive sensory profiling and chemical analysis[J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 485-495. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.05.004.
- [42] MIELNIK M B, AABY K, SKREDE G. Commercial antioxidants control lipid oxidation in mechanically deboned turkey meat[J]. *Meat Science*, 2003, 65(3): 1147-1155. DOI:10.1016/S0309-1740(02)00345-5.
- [43] DING Yi, WANG Shengyao, YANG Dengjiye, et al. Alleviative effects of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) flower on lipid peroxidation and protein degradation in emulsified pork meatballs[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2015, 23(3): 501-508. DOI:10.1016/j.jfda.2015.02.004.
- [44] CUONG T V, CHIN K B. Effects of annatto (*Bixa orellana* L.) seeds powder on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activities of pork patties during refrigerated storage[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2016, 36(4): 476-486. DOI:10.5851/kosfa.2016.36.4.476.

- [45] FERNANDES R P P, TRINDADE M A, LORENZO J M, et al. Effects of oregano extract on oxidative, microbiological and sensory stability of sheep burgers packed in modified atmosphere[J]. Food Control, 2015, 63: 65-75. DOI:10.1016/j.foodcont.2015.11.027.
- [46] KOBUS-CISOWSKA J, FLACZYK E, RUDZIŃSKA M, et al. Antioxidant properties of extracts from *Ginkgo biloba* leaves in meatballs[J]. Meat Science, 2014, 97(2): 174-180. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.01.011.
- [47] BASAPPAM N, ARUPR S, ROSEP K, et al. Antioxidant activity of pomegranate rind powder extract in cooked chicken patties[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(10): 1807-1812. DOI:10.1111/j.1365-2621.2007.01708.x.
- [48] TURGUT S S, SOYER A, IŞIKÇI F. Effect of pomegranate peel extract on lipid and protein oxidation in beef meatballs during refrigerated storage[J]. Meat Science, 2016, 116: 126-132. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.02.011.
- [49] DEVATKAL S K, NARSAIAH K, BORAH A. Anti-oxidant effect of extracts of kinnow rind, pomegranate rind and seed powders in cooked goat meat patties[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 155-159. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.12.019.
- [50] DEVATKAL S K, NAVEENA B M. Effect of salt, kinnow and pomegranate fruit by-product powders on color and oxidative stability of raw ground goat meat during refrigerated storage[J]. Meat Science, 2010, 85(2): 306-311. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.01.019.
- [51] BRANNAN R G, MAH E. Grape seed extract inhibits lipid oxidation in muscle from different species during refrigerated and frozen storage and oxidation catalyzed by peroxynitrite and iron/ascorbate in a pyrogallol red model system[J]. Meat Science, 2007, 77(4): 540-546. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.05.001.
- [52] AHN J, GRÜN I U, FERNANDO L N. Antioxidant properties of natural plant extracts containing polyphenolic compounds in cooked ground beef[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(4): 1364-1369. DOI:10.1111/j.1365-2621.2002.tb10290.x.
- [53] MIELNIK M B, OLSEN E, VOGT G, et al. Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat[J]. Food Science and Technology, 2006, 39(3): 191-198. DOI:10.1016/j.lwt.2005.02.003.
- [54] RABABAH T, HETTIARACHCHY N S, HORAX R, et al. Thiobarbituric acid reactive substances and volatile compounds in chicken breast meat infused with plant extracts and subjected to electron beam irradiation[J]. Poultry Science, 2006, 85(6): 1107-1113. DOI:10.1093/ps/85.6.1107.
- [55] HAWASHIN M D, AL-JUHAIMI F, AHMED I A M, et al. Physicochemical, microbiological and sensory evaluation of beef patties incorporated with destoned olive cake powder[J]. Meat Science, 2016, 122: 32-39. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.07.017.
- [56] HYLDGAARD M, MYGIND T, MEYER R L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components[J]. Frontiers in Microbiology, 2011, 3(12): 1-24. DOI:10.3389/fmicb.2012.00012.
- [57] LOIZZO M R, TUNDIS R, MENICHINI F, et al. Anti-rancidity effect of essential oils, application in the lipid stability of cooked turkey meat patties and potential implications for health[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2015, 66(1): 1-8. DOI:10.3109/09637486.2014.953454.
- [58] CHALESHTORI R S, ROKNI N, RAFIEIANKOPAEI M, et al. Antioxidant and antibacterial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil in beef burger[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2015, 17(4): 817-826.
- [59] DRAGOEV S G, BALEV D K, NENOV N S, et al. Antioxidant capacity of essential oil spice extracts versus ground spices and addition of antioxidants in Bulgarian type dry-fermented sausages[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2016, 118(10): 1450-1462. DOI:10.1002/ejlt.201500445.
- [60] ZHANG Jing, WANG Ying, PAN Daodong, et al. Effect of black pepper essential oil on the quality of fresh pork during storage[J]. Meat Science, 2016, 117: 130-136. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.03.002.
- [61] BOTSOGLOU N A, GRIGOROPOULOU S H, BOTSOGLOU E, et al. The effects of dietary oregano essential oil and  $\alpha$ -tocopheryl acetate on lipid oxidation in raw and cooked turkey during refrigerated storage[J]. Meat Science, 2003, 65(3): 1193-1200. DOI:10.1016/S0309-1740(03)00029-9.
- [62] HERCBERG S, PREZIOSI P, BRIANÇON S, et al. A primary prevention trial using nutritional doses of antioxidant vitamins and minerals in cardiovascular diseases and cancers in a general population: the SU.VI.MAX study-design, methods, and participant characteristics[J]. Controlled Clinical Trials, 1998, 19(4): 336-351. DOI:10.1016/S0197-2456(98)00015-4.
- [63] KIM H W, CHOI Y S, CHOI J H, et al. Antioxidant effects of soy sauce on color stability and lipid oxidation of raw beef patties during cold storage[J]. Meat Science, 2013, 95(3): 641-646. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.06.006.
- [64] WONG D, WANG M F. Inhibitory activities of some vitamins on the formation of cholesterol oxidation products in beef patties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(35): 8471-8476.
- [65] CHENG J H, WANG S T, OCKERMAN H W. Quality preservation of reduced sodium pork patties: effects of antioxidants on colour and lipid stability[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(12): 2959-2962. DOI:10.1002/jsfa.6124.
- [66] DECKER E A, CRUM A D. Inhibition of oxidative rancidity in salted ground pork by carnosine[J]. Journal of Food Science, 1991, 56(5): 1179-1181. DOI:10.1111/j.1365-2621.1991.tb04728.x.
- [67] NIETO G, CASTILLO M, XIONG Y L, et al. Antioxidant and emulsifying properties of alcalase-hydrolyzed potato proteins in meat emulsions with different fat concentrations[J]. Meat Science, 2009, 83(1): 24-30. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.03.005.
- [68] WAND L L, XIONG Y L. Inhibition of lipid oxidation in cooked beef patties by hydrolyzed potato protein is related to its reducing and radical scavenging ability[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(23): 9186-9192. DOI:10.1021/jf051213g.
- [69] SUN W Q, XIONG Y L. Stabilization of cooked cured beef color by radical-scavenging pea protein and its hydrolysate[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(2): 352-358. DOI:10.1016/j.lwt.2014.12.048.
- [70] 张昊, 任发政. 天然抗氧化肽的研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 443-447. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.04.100.
- [71] LI Bo, CHEN Feng, WANG Xi, et al. Isolation and identification of antioxidative peptides from porcine collagen hydrolysate by consecutive chromatography and electrospray ionization-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1135-1143. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.07.002.
- [72] LI Xue, LUO Yongkang, YOU Juan, et al. Stability of papain-treated grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) protein hydrolysate during food processing and its ability to inhibit lipid oxidation in frozen fish mince[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 1-7. DOI:10.1007/s13197-013-1031-x.
- [73] RIVAL S G, FORNAROLI S, AND C G B, et al. Caseins and casein hydrolysates. 1. Lipoxigenase inhibitory properties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(1): 287-294. DOI:10.1021/jf000392t.
- [74] SEO H W, SEO J K, YANG H S. Supplementation of pork patties with bovine plasma protein hydrolysates augments antioxidant properties and improves quality[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2016, 36(2): 198-205. DOI:10.5851/kosfa.2016.36.2.198.