

张茂栖, 罗 薇, 蔡丽莎, 等. 水果副产物抗氧化活性及其在猪肉保鲜中的应用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 800-807.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.03.032

## 水果副产物抗氧化活性及其在猪肉保鲜中的应用

张茂栖, 罗 薇, 蔡丽莎, 杨 宽, 何林枫, 曾 珍, 李 诚  
(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

**摘要:** 水果副产物富含多种抗氧化活性成分, 有极高的资源再利用价值。本文通过总结国内外研究现状, 得出猪肉氧化和多酚抗氧化的机制; 对葡萄、石榴、柑橘、蔓越莓等水果副产物的抗氧化活性、提取方法及其在猪肉保鲜中的应用研究进展进行综述, 并对未来发展趋势进行了展望, 为水果副产物在猪肉保鲜研究中的应用提供一定参考。

**关键词:** 水果副产物; 抗氧化活性; 猪肉保鲜

**中图分类号:** TS255      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2021)03-0800-08

## Antioxidant activity of fruit by-products and their application in pork preservation

ZHANG Mao-xi, LUO Wei, CAI Li-sha, YANG Kuan, HE Lin-feng, ZENG Zhen, LI Cheng  
(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** By-products of fruit are rich in antioxidant active ingredients and have extremely high value for resource reuse. Mechanisms of pork oxidation and antioxidant activity of polyphenol were deduced through summarizing the research status at home and abroad. The antioxidant activity, extraction method of by-products in fruits such as grape, pomegranate, citrus and cranberry and their fresh-keeping application in pork were reviewed. In addition, the future development trend was prospected. The article can provide reference for the application of fruit by-products in the research of pork preservation.

**Key words:** fruit by-products; antioxidant activity; pork preservation

水果副产物主要指水果加工过程中产生的废弃物(果皮、种子、果渣等)及落果和次品<sup>[1]</sup>。水果副产物含有许多可利用的成分, 如多酚、精油、多糖等, 因此对水果副产物进行回收再利用有良好的环保与经济价值。目前, 关于水果副产物的综述大多是广泛探讨其可利用价值, 关于其抗氧化活性的报道较少。

中国是猪肉生产与消费大国, 2018 年中国猪肉的年消费量为  $5.5191 \times 10^7$  t, 占全球总消费量的

50%以上。目前猪肉的储藏保鲜方法众多, 如化学保鲜剂法、辐照处理法、天然保鲜剂法、气调包装法等。使用化学合成保鲜剂存在食品安全风险; 高剂量的辐照处理会极大延缓猪肉的腐败变质, 但是也会造成脂肪、蛋白质发生氧化分解, 导致猪肉营养成分损失、色泽改变、出现异味甚至生成有毒有害物质<sup>[2]</sup>; 单一的气调包装并不能充分抑制微生物的生长<sup>[3]</sup>。天然保鲜剂安全无毒, 适用于多种产品保鲜, 同时消费者也愿意为天然产品支付更高的溢价, 因此目前关于天然产物在保鲜方面的研究日益增多。Lourenço 等<sup>[4]</sup>将菠萝皮提取物制成微胶囊掺入海藻酸钠可食用膜中用于牛肉保鲜, 结果表明, 该保鲜膜有良好的抑菌性, 能稳定肉色及延缓肉中的脂质氧化。本文主要综述近些年来水果副产物的抗氧

收稿日期: 2020-09-30

基金项目: 四川省重点研发项目(2019YFN0172)

作者简介: 张茂栖(1997-), 男, 四川荣县人, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与安全。(E-mail) zhangmaoxi@stu.sicau.edu.cn

通讯作者: 李 诚, (E-mail) lichenglep@163.com

化活性及其在猪肉保鲜中的应用研究进展,以期为猪肉保鲜研究提供一定参考。

## 1 猪肉的氧化机制及其对肉品质的影响

猪肉氧化是其腐败变质的重要因素,氧化方式主要有脂质氧化、蛋白质氧化 2 种,其中脂质氧化受到的关注更多。不饱和脂肪酸和氧是脂质氧化过程中的反应组分,脂质氧化的初级产物是氢过氧化物,氢过氧化物的形成方式主要有 3 种:自氧化、光氧化和酶促氧化。自氧化是活化的不饱和脂肪酸与基态氧发生的连续自由基链式反应,是脂质氧化的肉类最重要的氧化形式。光氧化是在光和光敏化剂(如肌红蛋白、血红蛋白)的作用下形成氢过氧化物的过程。酶促氧化是在氧合脂酶参与的条件下的氧化。肉中不饱和脂肪酸、胆固醇、亚铁离子、氧化酶等的存在会促进脂质氧化,但是也有一些内源性的抗氧化剂(如维生素、抗氧化肽、酵素等)。脂质氧化产物可与蛋白质发生反应,导致食物在质地、颜色上发生变化,影响感官质量,并使食物的营养价值降低(必需脂肪酸损失),甚至可能生成有毒的致癌物质<sup>[5]</sup>。

蛋白质氧化一般由活性氧引发,肌红蛋白、血红蛋白、脂质氧化产物、过渡金属离子可以促进或引起蛋白质发生氧化。肽主链和氨基酸残基侧链的官能团是活性氧的主要作用点,它们能够使蛋白质形成自由基,引起蛋白质羰基化,并最终形成各类氧化产物。自由基之间还可相互反应生成交联衍生物,或者发生与脂质氧化中自由基链式反应相似的反应,而且在脂质氧化过程中形成的过氧自由基可被蛋白质的氢原子吸收,形成蛋白质自由基,并转化形成烷氧基及羟基衍生物。肌球蛋白是肌原纤维蛋白中对氧化最敏感的蛋白质<sup>[6]</sup>,半胱氨酸、色氨酸和蛋氨酸是更易被氧化的氨基酸,半胱氨酸中的硫醇基对活性氧特别敏感。蛋白质氧化不仅可导致蛋白质颜色和质地劣化,而且会造成营养物质(如必需氨基酸)流失,并降低蛋白质的消化率<sup>[7-11]</sup>。

## 2 多酚抗氧化机制

多酚主要可以分为三大类:黄酮类、类芪类和酚酸类,其基本母体如图 1 所示。多酚的抗氧化机制主要有清除自由基、还原氧化剂、螯合金属离子和抑

制脂氧合酶活性等。在多酚清除自由基的过程中,多酚酚羟基上的氢原子转移到自由基上,苯氧自由基自身形成醌或相互结合生成二聚产物<sup>[12]</sup>。由于酚类物质是良好的电子、质子供体,过氧化氢可被这些化合物还原为水,由此发挥多酚还原氧化剂的作用;此外,多酚还可淬灭单线态氧。在多酚螯合金属离子的过程中,由于在多酚 3、5、3'或 4'位置含有羟基,在 4 位置含有羰基的类黄酮,因此可以形成金属配合物的位点。多酚抑制脂氧合酶活性主要体现在与其疏水性活性位点结合、清除脂质自由基、与疏水性脂肪酸底物相互作用等方面<sup>[13]</sup>。

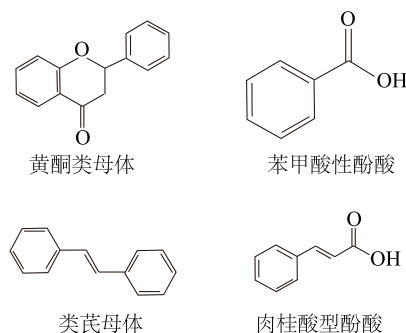


图 1 常见的多酚基本母体

Fig.1 Basic matrices of common polyphenols

## 3 水果副产物的抗氧化性能及其在猪肉保鲜中的应用

### 3.1 葡萄副产物的抗氧化性能及其在猪肉保鲜中的应用

葡萄(*Vitis vinifera* L.)是鼠李目多年生藤本植物,大部分用于生产果汁、葡萄酒等,其副产物主要是果皮和葡萄籽,其中葡萄籽的研究较受关注。葡萄籽提取物(GSE)主要含有原花青素、儿茶素、表儿茶素等,其中原花青素含量高达 95% 以上,总酚含量(以没食子酸当量计,下同)高达(865.0±11.5) mg/g<sup>[14]</sup>。原花青素有较好的抗氧化、金属螯合、清除自由基及与其他抗氧化剂协同的作用<sup>[15-16]</sup>,葡萄籽提取物的抗氧化能力分别比维生素 E、维生素 C 高 20 倍、50 倍<sup>[17]</sup>。葡萄皮渣的总酚含量为 106.4 mg/g,明显低于葡萄籽<sup>[18]</sup>。刘以娟等<sup>[19]</sup>对 GSE 的抗氧化能力进行研究发现,其对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基的清除能力远高于维生素 C、维生素 E;当质量浓度为 20 μg/ml 时,GSE 与格酸丙酯(PG)、叔丁基氢醌(TBHQ)清除 DPPH 自由

基的能力相当, 强于二丁基羟基甲苯 (BHT); GSE 的还原能力比维生素 E、TBHQ 和 BHT 强, 弱于 PG、维生素 C; GSE 螯合金属离子的能力仅弱于维生素 C, 强于维生素 E、BHT 和 TBHQ; GSE 对羟自由基的清除率较低, 远远低于维生素 C。

在萃取多酚的过程中, 溶剂的种类对提取量有显著影响。有机试剂的萃取效率高于水, 而且有机溶剂-水双相系统的萃取效率显著优于水或有机溶剂的单相萃取系统, 不同溶剂的萃取效率排序为丙酮水溶液>甲醇水溶液>乙醇水溶液<sup>[20]</sup>。在提取过程中辅以超声波、微波、脉冲电场等, 可显著提高萃取效率。Chen 等<sup>[21]</sup>比较了微波辅助萃取法、常规溶剂萃取法提取葡萄籽中原花青素和儿茶素的效果, 结果表明, 微波辅助萃取法提取的原花青素、儿茶素含量分别比常规溶剂萃取法增加了 5.5 倍、3.9 倍。Xia 等<sup>[22]</sup>研究了超过 30 个不同品种葡萄籽的总酚含量, 发现欧洲赤霞珠葡萄籽的总酚含量最高 $[(95.23 \pm 0.78) \text{ mg/g}]$ , 中国毛葡萄葡萄籽的总酚含量最低 $[(12.88 \pm 0.57) \text{ mg/g}]$ 。Adámez 等<sup>[23]</sup>对葡萄籽水提物进行体外抗氧化研究, 结果表明, 葡萄籽水提物的抗氧化能力与总多酚含量有关, 但酿酒后的葡萄籽水提物的抗氧化活性较低。

将葡萄副产物提取物用于猪肉保鲜具有良好的效果。将 GSE 直接掺入猪肉糜中, 冷藏 8 d 后, 与空白组相比, 添加 0.05% GSE 试验组的冷却猪肉糜的过氧化值 (POV)、挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量、硫代巴比妥酸含量 (TBA 值) 分别减少了 62%、31%、68%, 且 GSE 用量越高, 抑制效果越好, 与其他抗氧化剂相比, GSE 的保鲜效果显著优于维生素 C、蜂胶, 与儿茶素的效果相似<sup>[24]</sup>。Garrido 等<sup>[25]</sup>将用不同提取方式得到的红葡萄渣提取物 (GP) 掺入猪肉馅饼中, 探索高压处理后的红葡萄渣提取物 (GP1) 和未额外处理的红葡萄渣提取物 (GP2) 对猪肉馅饼品质的影响, 结果表明, 冷藏 6 d 时, 与空白组相比, 0.06% GP1、0.06% GP2 处理组的丙二醛 (MDA) 含量分别降低了 83%、59%,  $L^*$  值 (亮度)、 $a^*$  值 (红度) 无显著差异,  $b^*$  值 (黄度) 分别降低了 59%、21%, 结果表明, GP1、GP2 都具有良好的抑制猪肉氧化的能力, 并且 GP1 的效果更好。而 Carpenter 等<sup>[14]</sup>研究发现, 添加 0.1% GSE 显著提高了生猪肉的  $a^*$  值, 造成该差异的原因可能是添加浓度不同所致。Xiong 等<sup>[26]</sup>将 0.5% GSE 掺入壳聚糖-明胶

(CHI-GEL) 可食用膜中对猪肉进行涂膜保鲜试验, 结果表明: 加入 0.5% GSE 可显著提高保藏过程中猪肉样品的  $a^*$  值、 $b^*$  值; 在冷藏 20 d 时, 试验组的 MDA 含量减少了 50% 左右, 硫醇值最高, 表明 GSE 能有效抑制脂质、蛋白质氧化, 并且在相对更高用量条件下才能显著提高猪肉的  $a^*$  值、 $b^*$  值, 此外, 猪肉样品的菌落总数显著减少, 与掺有 0.1% 乳酸链球菌肽 (Nisin) 的无显著差异, 表明 0.5% GSE 有良好的抑菌效果, 与 0.1% Nisin 相当。

### 3.2 石榴副产物的抗氧化性能及其在猪肉保鲜中的应用

石榴 (*Punica granatum* L.) 是桃金娘目乔木, 其果实营养丰富, 石榴皮和石榴籽是加工过程中的主要副产物, 均含有较多多酚类化合物, 具有良好的抗氧化活性。石榴皮提取物 (PPE) 的主要活性物质有花色素苷、没食子酸酯、羟基肉桂酸、羟基苯甲酸和可水解单宁酸<sup>[27]</sup>。石榴籽除了是不饱和脂肪酸的优质来源外, 还含有丰富的酚酸、类黄酮、原花青素和生育酚等物质。石榴皮提取物的总酚含量为  $98.24 \sim 413.00 \text{ mg/g}$ <sup>[28]</sup>, 石榴籽提取物的总酚含量为  $1.29 \sim 2.17 \text{ mg/g}$ <sup>[29]</sup>。不同石榴皮提取物之间的总酚含量差异较大, 而品种是影响总酚含量的重要因素之一, 因此开发出具有高抗氧化活性与保鲜效果的优质石榴品种意义重大。提取方式同样是影响石榴籽中总酚含量的重要因素。Jing 等<sup>[29]</sup>通过比较天红蛋、三百甜、净皮甜和酸石榴 4 个中国本地品种石榴籽的抗氧化性能发现, 酸石榴籽的总酚含量 ( $2.17 \text{ mg/g}$ )、DPPH· 清除能力 ( $EC_{50}$  为  $6.4 \text{ mg/ml}$ )、ABTS<sup>+</sup> [2,2'-联氮双-(3-乙基苯并噻唑林-6-磺酸) 二胺盐阳离子自由基] 清除能力 ( $17.8 \text{ } \mu\text{mol/g}$ , 以生育酚当量计, 下同) 及还原能力 ( $8.6 \text{ } \mu\text{mol/g}$ ) 最佳, 随后依次为天红蛋、三百甜、净皮甜。Kennas 等<sup>[30]</sup>比较了 5 种溶剂提取的 PPE 总酚含量, 结果表明, 将溶剂按其提取的总酚含量由高到低排序依次为乙醇、50% 甲醇、丙酮、甲醇、水。Rajha 等<sup>[31]</sup>研究了红外、超声、脉冲电场、高压放电辅助提取及普通水浴浸提 5 种提取方式对总酚提取效率的影响, 结果表明, 当提取时间为 7 min 时, 提取效率 (以没食子酸当量计,  $\text{mg/g}$ ) 由高到低依次为高压放电 ( $46 \text{ mg/g}$ )、脉冲电场 ( $39 \text{ mg/g}$ )、超声 ( $14.5 \text{ mg/g}$ )、红外 ( $8 \text{ mg/g}$ )、普通水浴浸提 ( $5 \text{ mg/g}$ ), 可能由于高压放电对石榴皮造成了电击穿, 形成冲击



波和空化气泡,从而加速了多酚提取。

石榴皮作为抗氧化性能最好的石榴加工副产物,颇受研究者的关注。将 0.01% PPE 直接加入猪肉饼中,冷藏 7 d 时,与空白对照相比,POV 值、硫代巴比妥酸反应物(TBARs)含量显著降低,其中 TBARs 含量减少了 50% 左右,比 0.01% BHA 的效果略佳,表明 PPE 有较好的抑制猪肉饼氧化酸败的能力<sup>[32]</sup>。Qin 等<sup>[33]</sup>用 0.02% 石榴皮提取物、0.02% 石榴汁和 0.02% 石榴籽提取物对冷却猪肉进行保鲜试验,结果表明,3 种提取物均有保鲜效果,冷藏 10 d 时,显著降低了猪肉中的菌落总数、TBARs 含量、POV 值,其中石榴皮提取物的效果最好,猪肉中的菌落总数、TBARs 含量、POV 值分别降低了 90%、46%、21%,抗氧化能力与 BHT 相当(BHT 无抑菌效果);与 BHT、空白对照相比,亮度( $L^*$ )、黄度( $b^*$ )较低,红度( $a^*$ )较高,整体感官可接受性优于对照。还有学者用含有 PPE 的双层活性薄膜包装冷鲜猪肉,发现 PPE 的添加可增强膜的拉伸性能,能有效减少滴水损失并提高感官评分,延缓了 TVB-N 含量、TBA 含量和 pH 值的变化,使猪肉保质期延长 3 d<sup>[34]</sup>。Firuzi 等<sup>[35]</sup>将 0.01% 没食子酸当量的石榴汁浓缩物与石榴皮提取物混合物(PRPE)加入猪肉香肠中,结果表明,在冷藏期间,0.01% PRPE、0.01% BHT、0.012% 亚硝酸盐处理组与空白组相比,TBARs 含量分别下降了 59%、58%、61%,表明 PRPE 是一种有效的天然抗氧化剂。石榴皮作为一种可利用的废弃资源,在肉类、肉制品抗氧化保鲜领域可作为一种潜在的天天然廉价的抗氧化剂材料。

### 3.3 柑橘类副产物的抗氧化性能及其在猪肉保鲜中的应用

柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)是芸香目乔木,其加工副产物主要是果皮,其果皮中富含橘皮精油、橘皮多酚和维生素 C 等活性物质。橘皮精油的主要成分包括柠檬烯、香叶醇和柠兰醇<sup>[36]</sup>,酚类化合物主要包括酚酸(主要为咖啡酸、芥子酸、对香豆酸和阿魏酸)、黄酮酮(通常为柚皮苷、橙皮苷)和聚甲氧基化的黄酮类物质<sup>[37]</sup>。橘皮中的多酚含量为 131.0~223.2 mg/g,品种对橘皮中多酚含量的影响很大,其中酸橙(*Citrus aurantium* L.)的总酚含量较高。微波辅助提取、超声波辅助提取等新兴技术均能提高橙皮中酚类物质的提取效率。Khan 等<sup>[38]</sup>将超声波用于提取脐橙果皮多酚,发现超声波处理显

著提高了提取物中的柚皮苷、橙皮苷含量。由于总酚含量较高,橘皮提取物有良好的抗氧化活性,DP-PH·清除活性为 8.35~18.20 mg/g,不同萃取相所得提取物的抗氧化活性存在差异,将萃取相按所提物质的抗氧化活性由大到小排序为 70% 丙酮、70% 甲醇、70% 乙醇、水<sup>[39]</sup>。橘皮精油同样有良好的抗氧化性能[抗氧化活性强于 BHT<sup>[40]</sup>,表征 DPPH·清除活性的  $IC_{50} = (3.01 \pm 0.20) \text{ mg/ml}^{[41]}$ ],然而其抗氧化性能与总酚含量没有明显关联性,因此有待研究其抗氧化活性的决定因素<sup>[42]</sup>。陈林林<sup>[43]</sup>将柑橘皮精油涂抹在冷却猪肉表面进行 12 d 的储藏试验,结果显示,在储藏期间,2.4% 精油试验组的  $H_2S$  试验结果一直呈阴性(空白组第 3 d 开始出现阳性),第 12 d 时,TVB-N 含量及菌落总数的对数分别减少了 75%、88%,由此可见橘皮精油对冷却猪肉有十分明显的保鲜效果,并且还和维生素 C、柠檬酸等其他保鲜剂有协同作用。还有研究者将橘皮提取物和 PPE 的混合物与猪肉等制成熟香肠,当橘皮提取物添加量为 1% 时,猪肉的 TBARs 含量减少了 50% 以上,菌落总数减少了 90% 左右<sup>[44]</sup>。Kumar<sup>[45]</sup>研究发现,将柑橘果渣粉加入猪肉饼中,可以提高猪肉饼的蒸煮得率、乳化稳定性。大部分水果副产物的多酚提取物对猪肉或猪肉制品的感官质量没有影响,但精油类物质对保鲜产品的风味有较大影响,用于风味调理猪肉,影响是积极的;用于冷却猪肉,影响则是消极的。目前可行的解决办法是将精油置于可食用膜或微胶囊中进行缓释,不仅能够减少对风味的影响,还能延长保鲜时间<sup>[46]</sup>。

### 3.4 蔓越莓副产物的抗氧化性能及其在猪肉保鲜中的应用

蔓越莓(*Vaccinium macrocarpon*)是杜鹃花目的非落叶小灌木,又名鹤莓,常见于中国东北地区。蔓越莓果渣是蔓越莓的主要副产物,含有多种类型的多酚,包括酚酸、黄酮醇苷、花色苷和原花青素等<sup>[47]</sup>。目前,将蔓越莓果渣用于人类健康的研究也颇多,例如用于预防尿路感染的研究。蔓越莓的总酚含量达 138 mg/g,对 DPPH 自由基的清除活性(以没食子酸当量计)为 109.9  $\mu\text{g/g}$ ,对 ABTS 自由基的清除能力(以水溶性维生素 E 当量计)为 5.35 g/g<sup>[48]</sup>。Yan 等<sup>[49]</sup>从蔓越莓甲醇提取物中鉴定出 7 种黄酮醇苷,并对这些物质的 DPPH·清除活性和抑制低密度脂蛋白的氧化能力进行分析,发现大部

分黄酮醇苷活性优于维生素 E 或与其相当;关于上述 2 种抗氧化活性的测定结果显示,矢车菊素-半乳糖苷均优于其他几种黄酮类化合物及维生素 E、Trolox(水溶性维生素 E)。Raghavan 等<sup>[50]</sup>对不同溶剂、不同提取方法的蔓越莓提取物进行了抗氧化性比较,发现提取物中的槲皮素当量取决于提取溶剂中的水量,显著减少提取溶剂中的水量可提高所得提取物中的槲皮素当量;将提取溶剂按照对 TBARS 的抑制能力从大到小排序依次为 100% 丙酮提取物、100% 乙醇提取物、水提取物,当辅以微波处理时,从大到小排序依次为 100% 乙醇提取物、100% 丙酮提取物、水提取物,此外,微波处理可显著提高乙醇提取物的抗氧化活性,其活性是上述方法中最高;用过氧化物值测量猪肉的氧化情况,结果表明,有机溶剂提取物显著( $P < 0.01$ )抑制了猪肉的氧化作用,而水提取物则没有明显的抑制作用。Tamkutea 等<sup>[51]</sup>认为,蔓越莓果渣乙醇提取物在肉制品领域是一种有前景的天然抗氧化成分,添加有 2% 蔓越莓果渣提取物的猪肉糜在冷藏 16 d 时,MDA 生成量减少了 85%,对常见的几种腐败菌的抑制率均达 90% 以上, $a^*$  值显著提高,说明添加该提取物可提高猪肉糜的微生物学安全性,改善猪肉的氧化稳定性,并且即使添加高浓度的蔓越莓渣提取物(7.5%)也对猪肉的感官特性没有负面影响<sup>[52]</sup>。

### 3.5 其他水果副产物的抗氧化性能及其在猪肉保鲜中的应用

由于大多数水果都含有丰富的多酚,因此具有较好的抗氧化活性。除了上述几种水果外,还有多种水果副产物被用于猪肉保鲜研究。熊果叶提取物(BBE)中的主要功能成分有熊果苷(含量为 5%~15%)、甲基熊果苷和少量游离糖苷配基,其他成分包括熊果酸、槲皮素、单宁酸、没食子酸、杨梅酮、*p*-香豆酸、丁香酸和山柰酚等<sup>[53]</sup>,由此可见,BBE 具有良好的抗氧化活性,并且使用超声波辅助提取熊果叶,可使提取物的抗氧化活性提升至原来的 2 倍<sup>[54]</sup>。Amarowicz 等<sup>[55]</sup>对 BBE 的抗氧化活性进行研究,发现其多酚化合物含量高达 312 mg/g,对自由基的清除能力较强,在  $\beta$ -胡萝卜素和亚油酸水乳液体体系的热诱导氧化测试中所体现的效果与 BHT 相当。Carpenter 等<sup>[14]</sup>利用熊果提取物对猪肉进行保鲜,发现其降低了猪肉的氧化程度,并且对感官没有明显影响。熊果有优异的保鲜潜力,但是目前对

其研究还较少。有研究者对芒果仁在猪肉保鲜方面的效果进行了分析,发现冻干芒果仁或果皮中含有抗氧化剂,而且与果皮或 BHT 相比,果仁显示出最高的抗氧化能力;将芒果仁用于猪肉保鲜,发现可以抑制脂质氧化(TBARS)并防止猪肉颜色、气味发生改变,从而延长芒果的货架寿命;与不含芒果仁提取物的小馅饼或香肠相比,芒果仁提取物可将猪肉产品的保存期限延长 4 d(小馅饼)或 6 d(香肠)。由此可见,芒果副产物是良好的天然抗氧化剂来源,可有效延缓猪肉产品的氧化损伤<sup>[56]</sup>。柿子(*Diospyros kaki* Thumb)含有多酚、类胡萝卜素、维生素 A 和维生素 C 等生物活性物质,其花萼、果皮、果肉中的总酚含量分别为  $(67.77 \pm 1.38)$  mg/g、 $(9.87 \pm 0.29)$  mg/g、 $(7.43 \pm 0.11)$  mg/g<sup>[57]</sup>。有研究发现,柿子皮提取物可有效抑制猪肉中的脂质与蛋白质氧化,当冷藏 10 d 时,0.2% 柿子皮提取物试验组的共轭二烯(CD)含量是对照组的 23%,POV 值、MDA 含量分别降低了 44.6%、42.9%,蛋白质氧化抑制率(以羰基含量计)为 53.6%,并且在稳定  $a^*$  方面比 BHT 更有效<sup>[58]</sup>。类似的研究结果还出现在火龙果皮、香蕉皮、苹果皮等众多水果副产物上,由于它们都含有大量多酚类化合物,可有效延缓猪肉氧化酸败,并且对延长猪肉保质期有良好的积极作用<sup>[59-61]</sup>,多酚类化合物在抑菌方面的效果较精油差,并且更偏向于抑制革兰氏阳性菌,但是其抗氧化性能更佳<sup>[62]</sup>。

## 4 展 望

大多数水果副产物中都含有丰富的多酚类化合物,因此将多酚类提取物作为天然抗氧化剂来保鲜猪肉有较好的效果,可作为化学合成保鲜剂的潜在替代品。天然保鲜剂之间大多存在协同作用,少数存在拮抗作用,因此目前的研究趋向于采用多种元素进行复合保鲜。石榴、葡萄、熊果、蔓越莓、柑橘等在加工中的副产物均具有良好的抗氧化活性,能有效抑制猪肉氧化酸败,具有保鲜潜力,其中葡萄籽提取物、石榴皮提取物的抗氧化能力可与合成抗氧化剂相媲美。但是,目前关于提取物中各个独立成分在抗氧化和猪肉保鲜过程中的贡献还不明朗,不同种提取物之间的协同作用机制还有待研究,掩盖精油强烈气味的研究还需深入。同时,也有必要进一步研究以确定哪些物质可有效防止蛋白质氧化,哪些物质可有效阻止脂质氧化以解决不同脂肪含量肉

品的保鲜问题。

水果副产物提取物的研究从 20 世纪末就开始了,21 世纪开始,研究热度逐渐上升,前 10 年的研究主要集中在提取物的成分分析、提取方式优化、提取物体外抗氧化试验等。最近 10 年的研究主要是利用高新技术提高提取率、更精细的成分分析、更系统的抗氧化抑菌试验。此外,越来越多的冷门提取物也开始被研究。水果副产物提取物的保鲜应用也从刚开始的单一要素到结合涂膜、微胶囊等技术,再到利用多种天然物质的协同作用进行复合保鲜。虽然这些提取物是从无毒无害的水果副产物中提取的,但是还需要对其进行系统的体内外毒理学研究,确定使用剂量,明确其安全可食用。

#### 参考文献:

- [1] 黄林华,吴厚玖. 我国水果副产物综合利用的研究及应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4446-4452.
- [2] 刘俊轩,苏霞,何彦瑾,等. 辐照保鲜技术对肉类及其制品影响的研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(10): 151-154.
- [3] 赵春侠,孔保华,陈洪生. 气调包装与复合保鲜剂协同对冷却肉的保鲜研究[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(11): 91-96.
- [4] LOURENÇO S C, FRAQUEZA M J, FERNANDES M H, et al. Application of edible alginate films with pineapple peel active compounds on beef meat preservation[J]. Antioxidants, 2020, 9(8): 667.
- [5] DOMINGUEZ R, PATEIRO M, GAGAOUA M, et al. A Comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products[J]. Antioxidants, 2019, 8(10): 429.
- [6] MARTINAUD A, MERCIER Y, MARINOVA P, et al. Comparison of oxidative processes on myofibrillar proteins from beef during maturation and by different model oxidation systems[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(7): 2481-2487.
- [7] 程述震,王志东,张春晖,等. 肉及肉制品中蛋白氧化的研究进展[J]. 食品工业, 2017, 38(1): 230-234.
- [8] 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.
- [9] GUYON C, MEYNIER A, DE LAMBALLERIE M. Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 50: 131-143.
- [10] SOLADOYE O P, JUÁREZ M L, AALHUS J L, et al. Protein oxidation in processed meat: mechanisms and potential implications on human health[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, 14(2): 106-122.
- [11] ESTÉVEZ M. Protein carbonyls in meat systems: A review[J]. Meat Science, 2011, 89(3): 259-279.
- [12] DI MEO F, ANOUAR E, PODLOUCKA' P, et al. Understanding antioxidant properties of natural compounds at the atomic scale[J]. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, 2013, 7: 58-70.
- [13] PAPUC C, GORAN G V, PREDESCU C N, et al. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(6): 1243-1268.
- [14] CARPENTER R, O'GRADY M N, O'CALLAGHAN Y C, et al. Evaluation of the antioxidant potential of grape seed and bearberry extracts in raw and cooked pork[J]. Meat Science, 2007, 76(4): 604-610.
- [15] LU Y, FOO L Y. The polyphenol constituents of grape pomace[J]. Food Chemistry, 1999, 65(1): 1-8.
- [16] JOSE M L, JORGE S, ISABEL R A, et al. Influence of natural extracts on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 526-534.
- [17] SHI J, YU J, POHORLY J E, et al. Polyphenolics in grape seeds-biochemistry and functionality[J]. Journal of Medicinal Food, 2003, 6(4): 291-299.
- [18] 刘芸,仇农学,杨玺玉. 葡萄皮渣提取物总酚含量及体外抗氧化活性、抑菌活性[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 5-9.
- [19] 刘以娟,范方辉,王芳兵,等. 葡萄籽提取物体外抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(18): 143-146, 151.
- [20] YILMAZA Y, ROMER T T. Oxygen radical absorbance capacities of grape/wine industry byproducts and effect of solvent type on extraction of grape seed polyphenols[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(1): 41-48.
- [21] CHEN J, THILAKARATHNA W P D W, ASTATKIE T, et al. Optimization of catechin and proanthocyanidin recovery from grape seeds using microwave-assisted extraction[J]. Biomolecules, 2020, 10(2): 243.
- [22] XIA L L, XU C M, HUANG K L, et al. Evaluation of phenolic compounds, antioxidant and antiproliferative activities of 31 grape cultivars with different genotypes[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(6): e12626.
- [23] ADÁMEZ J D, SAMINO E G, SÁNCHEZ E V, et al. *In vitro* estimation of the antibacterial activity and antioxidant capacity of aqueous extracts from grape-seeds (*Vitis vinifera* L.) [J]. Food Control, 2012, 24(1/2): 136-141.
- [24] 刘以娟,王芳兵,唐玲,等. 葡萄籽提取物对冷却猪肉糜抗脂质氧化的研究[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(11): 141-145.
- [25] GARRIDO M D, AUQUI M, MARTI N, et al. Effect of two different red grape pomace extracts obtained under different extraction systems on meat quality of pork burgers[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(10): 2238-2243.
- [26] XIONG Y, CHEN M, WARNER R D, et al. Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatine edible coating and its effect on cold storage of fresh pork[J]. Food Control, 2020, 110:



- 107018.
- [27] AKHTAR S, ISMAIL T, FRATERNALE D, et al. Pomegranate peel and peel extracts: chemistry and food features [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 417-425.
- [28] DERAKHSHAN Z, FERRANTE M, TADI M, et al. Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of pomegranate peels, juice and seeds [J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 114: 108-111.
- [29] JING P, YE T, SHI H M, et al. Antioxidant properties and phytochemical composition of China-grown pomegranate seeds [J]. Food Chemistry, 2012, 132(3): 1457-1464.
- [30] KENNAS A, AMELLAL-CHIBANE H. Comparison of five solvents in the extraction of phenolic antioxidants from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel [J]. The North African Journal of Food and Nutrition Research, 2019, 3(5): 140-147.
- [31] RAJHA H N, ABI-KHATTAR A M, EL KANTAR S, et al. Comparison of aqueous extraction efficiency and biological activities of polyphenols from pomegranate peels assisted by infrared, ultrasound, pulsed electric fields and high-voltage electrical discharges [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 58: 102212.
- [32] 曹云刚, 李颖, 李春强, 等. 石榴皮提取物对猪肉饼冷藏过程中脂肪氧化稳定性的影响 [J]. 肉类研究, 2018, 32(12): 14-18.
- [33] QIN Y Y, ZHANG Z H, LI L, et al. Antioxidant effect of pomegranate rind powder extract, pomegranate juice, and pomegranate seed powder extract as antioxidants in raw ground pork meat [J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(4): 1063-1069.
- [34] HU S F, WANG H L, HAN W Y, et al. Development of double-layer active films containing pomegranate peel extract for the application of pork packaging [J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40(2): e12388.
- [35] FIRUZI M R, NIAKOUSARI M, ESKANDARI M H, et al. Incorporation of pomegranate juice concentrate and pomegranate rind powder extract to improve the oxidative stability of frankfurter during refrigerated storage [J]. LWT, 2019, 102: 237-245.
- [36] QADIR R. Variations in chemical composition, antimicrobial and haemolytic activities of peel essential oils from three local *Citrus* cultivars [J]. Pure and Applied Biology, 2018, 7(1): 282-291.
- [37] SINGH B, SINGH J P, KAUR A, et al. Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel [J]. Food Research International, 2020, 132: 109114.
- [38] KHAN M K, ABERT-VIAN M, FABIANO-TIXIER A S, et al. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel [J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 851-858.
- [39] LIEW S S, HO W Y, YEAP S K, et al. Phytochemical composition and in vitro antioxidant activities of *Citrus sinensis* peel extracts [J]. PeerJ, 2018, 6: e5331.
- [40] BEN HSOUNA A, BEN HALIMA N, SMAOUI S, et al. *Citrus lemon* essential oil: chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities with its preservative effect against *Listeria monocytogenes* inoculated in minced beef meat [J]. Lipids in Health and Disease, 2017, 16(1): 146.
- [41] YANG C, CHEN H, CHEN H, et al. Antioxidant and anticancer activities of essential oil from gannan navel orange peel [J]. Molecules, 2017, 22(8): 1391.
- [42] GUO J J, GAO Z P, XIA J L, et al. Comparative analysis of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activity of citrus essential oils from the main cultivated varieties in China [J]. Lwt-Food Science and Technology, 2018, 97: 825-839.
- [43] 陈林林. 柑橘皮精油对鲜切马铃薯褐变及冷却猪肉保鲜的影响 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 106-109.
- [44] RANUCCI D, ROILA R, ANDONI E, et al. *Punica granatum* and *Citrus* spp. extract mix affects spoilage microorganisms growth rate in vacuum-packaged cooked sausages made from pork meat, emmer wheat (*Triticum dicoccum* Schübler), almond (*Prunus dulcis* Mill.) and hazelnut (*Corylus avellana* L.) [J]. Foods, 2019, 8(12): 664.
- [45] KUMAR D, MEHTA N, CHATLI M K, et al. Quality attributes of functional pork patties incorporated with kinnow (*Citrus reticulata*) pomace powder [J]. Journal of Animal Research, 2019, 9(3): 411-417.
- [46] 杨宽, 陈洁, 何林枫, 等. 含精油可食膜在肉及肉制品保鲜中的应用 [J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(11): 79-86.
- [47] VVEDENSKAYA I O, VORSA N. Flavonoid composition over fruit development and maturation in American cranberry, *Vaccinium macrocarpon* Ait [J]. Plant Science, 2004, 167(5): 1043-1054.
- [48] LAROZE L E, DÍAZ-REINOSO B, MOURE A, et al. Extraction of antioxidants from several berries pressing wastes using conventional and supercritical solvents [J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(5): 669-677.
- [49] YAN X J, BRIAN T M, GERALD B H, et al. Antioxidant activities and antitumor screening of extracts from cranberry fruit (*Vaccinium macrocarpon*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(21): 5844-5849.
- [50] 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]. Food Chemistry, 2006, 102(3): 818-826.
- [51] TAMKUTEA L, MELEROGILB B, ROVIRACARBALLIDOB J, et al. Effect of cranberry pomace extracts isolated by pressurized ethanol and water on the inhibition of food pathogenic/spoilage bacteria and the quality of pork products [J]. Food Research International, 2019, 120: 38-51.
- [52] STOBNICKA A, GNIEWOSZ M. Antimicrobial protection of minced pork meat with the use of Swamp Cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) fruit and pomace extracts [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(1): 62-71.
- [53] AMAROWICZ R, PEGG R B. Inhibition of proliferation of human

- carcinoma cell lines by phenolic compounds from a bearberry-leaf crude extract and its fractions[J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(2): 660-667.
- [54] GRIBOVA N U, FILIPPENKO T A, NIKOLAEVSKII A N, et al. Effect of ultrasound on the extraction of antioxidants from bearberry (*Arctostaphylos adans*) leaves [J]. *Khimiko-Farmatsevticheskii Zhurnal*, 2008, 42(10): 43-45.
- [55] AMAROWICZ R, PEGG R B, RAHIMI-MOGHADDAM P, et al. Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies[J]. *Food Chemistry*, 2004, 84(4): 551-562.
- [56] LE H M. Antioxidative effects of mango wastes on shelf life of pork products [D]. United Kingdom:Lincoln University, 2012.
- [57] JANG I C, OH W G, AHN G H, et al. Antioxidant activity of 4 cultivars of persimmon fruit[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2011, 20(1): 71-77.
- [58] JU-HUI CHOE H-Y K, CHEON-JEI KIM. Effect of persimmon peel (*Diospyros kaki* Thumb.) extracts on lipid and protein oxidation of raw ground pork during refrigerated storage [J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2017, 37(2): 254-263.
- [59] 张典,陈金玉,张坤生,等. 香蕉皮多酚的提取及其对肉丸贮藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(3): 23-30, 111.
- [60] JENSEN G, ATTRIDGE V, BRATTON D, et al. Dried apple peel powder decreases microbial expansion during storage of beef, pork and turkey, and protects against carcinogen production during heat processing of ground beef[J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2016, 25(2): 167-173.
- [61] CUNHA L C M, MONTEIRO M L G, COSTA-LIMA B R C, et al. Effect of microencapsulated extract of pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel on color, texture and oxidative stability of refrigerated ground pork patties submitted to high pressure processing[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 49: 136-145.
- [62] 蓝梧涛,吴雪辉,章文. 油茶叶多酚纯化工艺优化及其对油脂的抗氧化作用[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(9): 2058-2064.

(责任编辑:徐 艳)