

植物多酚抑菌机制及其在肉和肉制品中的应用

杨育静, 曾珍*

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 植物多酚具有较好抗菌、抗氧化活性, 且改善肉品质, 近年来受到肉品加工业关注, 广泛应用于肉及肉制品防腐保鲜中。文章从植物多酚概述、抑菌机理及抑菌性能检测方法、保鲜应用制备技术以及肉和肉制品应用等方面开展综述, 分析植物多酚在肉和肉制品应用中存在问题, 并展望植物多酚发展前景, 以期对植物多酚在肉和肉制品中应用提供参考。

关键词: 植物多酚; 抑菌机制; 制备技术; 肉和肉制品; 应用

中图分类号: TS251.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-9369(2021)02-0087-08

杨育静, 曾珍. 植物多酚抑菌机制及其在肉和肉制品中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(2): 87-94. DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2021.02.11.

Yang Yujing, Zeng Zhen. Antibacterial mechanism of plant polyphenols and its application in meat and meat products[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2021, 52(2): 87-94. (in Chinese with English abstract) DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2021.02.11.

Antibacterial mechanism of plant polyphenols and its application in meat and meat products/YANG Yujing, ZENG Zhen(School of Food Science, Sichuan Agricultural University, Yaan Sichuan 625014, China)

Abstract: Plant polyphenols had good antibacterial, antioxidant activities and improved the quality of meat. In recent years, plant polyphenols had attracted the attention of meat processing industry and were applied to the preservation of meat and meat products. The antibacterial mechanism and anti-bacterial performance testing methods of plant polyphenols, the prepared technology of preservation application, and the application of plant polyphenols to meat and meat products were reviewed in this paper. Besides, the problems of plant polyphenols application to meat products were analyzed, and the development prospect of plant polyphenols was prospected. Finally, some advices for the application of plant polyphenols in meat and meat products were provided.

Key words: plant polyphenols; antibacterial mechanism; preparation technology; meat and meat products; application

我国是肉类生产大国, 肉类总产量位于全球前列。从肉类消费情况看, 我国鲜肉消费量占83%, 肉制品消费量占17%^[1]。肉类营养丰富, 储藏过程易发生腐败变质, 其主要原因是微生物污染, 此外, 脂肪氧化、蛋白质分解也是导致肉类

变质原因之一。使用防腐剂是目前常见一种肉类防腐方法, 其可分为化学防腐剂和天然防腐剂两大类。虽然化学防腐剂廉价且效果显著, 受到食品加工行业欢迎, 但随人们食品安全意识和生活水平提高, 消费者越来越青睐绿色、天然防腐

基金项目: 四川省科技计划项目(2020YFN0147)

作者简介: 杨育静(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与安全。E-mail: 1048439694@qq.com

***通讯作者:** 曾珍, 硕士生导师, 博士, 研究方向为畜产品加工与质量安全控制。E-mail: zengzhen201304@163.com

剂,人工合成化学防腐剂已无法满足消费者需求,因此研究人员积极开展天然防腐剂开发和利用。

近年来,植物多酚因具备较好抗菌活性和抗氧化能力而受到广泛关注。植物多酚是植物体中广泛分布的一种次生代谢产物,具有抗菌广谱、安全性高等优点。此外,植物多酚活性化合物种类较化学防腐剂更多样,因此引起致病菌出现抗药性风险极低^[2]。目前,已有研究人员将植物多酚应用于肉类食品防腐保鲜中,例如,刘琨毅等将 $0.61\text{ g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 茶多酚添加到低盐中式腊肠^[3],李颖畅等将0.2%蓝莓叶多酚添加到鱿鱼鱼丸^[4],均获得较好防腐保鲜效果。然而,目前关于植物多酚抗菌机制及肉和肉制品中应用方面系统阐述较少,因此本文从植物多酚概述、抑菌机制、抑菌性能检测方法、保鲜应用制备技术及在肉和肉制品中应用等方面展开综述,以期在植物多酚在肉和肉制品中应用提供参考。

1 植物多酚概述

植物多酚在自然界中分布广、来源多,包含多个亚组,具有高度多样性。植物多酚基本结构单体是酚环,至少含一个酚羟基。根据结构不同,将植物多酚分为两大类:一类是类黄酮,包括黄酮类、黄酮醇类、异黄酮类、查尔酮类等;另一类是非类黄酮,包括芪类、单宁、酚酸类等^[5]。果蔬、全谷物和茶叶是植物多酚主要来源,其植物种子、果实、果皮、树叶和根部均富含多酚^[6]。虽然植物多酚具有良好抗菌和抗氧化活性,但易与蛋白质、金属离子等物质发生反应,且稳定性易受温度、pH影响,因此在应用中受到植物多酚提取方式影响。目前,从植物中提取植物多酚方式使用最为广泛的是溶剂萃取法,具有操作简便、成本低等优点^[7]。此外,植物多酚具有多种生理功能,在预防和对人多种疾病方面发挥积极作用,例如,预防心脑血管疾病、癌症病变、保护肝脏等^[8]。

另一方面,畜禽食用含植物多酚饲料后,可改善畜禽肉质^[9-10]。Cimmino等在幼龄山羊饲料中加入橄榄多酚,饲喂一段时间后发现橄榄多酚改善幼龄山羊肉脂肪酸组成特征,降低羊肉脂质氧化速度^[9]。Mazur-Kuśnirek等将含有洋葱多酚和葡

萄籽多酚制剂加入肉鸡饲料中,结果发现鸡肉保水性增强,滴水损失降低,嫩度增加,且肉中多不饱和脂肪酸含量增加^[10]。

2 植物多酚抑菌机制及抑菌性能检测方法

2.1 植物多酚抑菌机制

由于植物多酚种类繁多,且抑菌机制与作用的微生物菌株有关,因此植物多酚抑菌机制尚不明确^[11]。目前已知抑菌机制主要包括以下方面。

2.1.1 影响菌体细胞膜、细胞壁和细胞器结构和功能

植物多酚对细胞膜、细胞壁和细胞器影响包括:①作用于细胞膜磷脂双分子层结构中的疏水性羟基,改变细胞膜结构、功能和渗透性,加速细胞内物质渗漏,破坏质子动力和电子流入,最终破坏细胞完整性^[12];②使细胞内ATP浓度急剧降低,膜电位发生去极化而改变细胞膜通透性^[13];③与细胞膜相互作用导致细胞壁完整性丧失,细胞内容物渗漏,引起细胞形态发生变化^[14];④通过防御酶活性间接诱导,导致细胞壁剥落和细胞器解体^[14]。

2.1.2 影响大分子合成

DNA和蛋白质是维持微生物正常生命活动必需物质,植物多酚可与蛋白质、DNA合成有关酶结合而影响蛋白质和DNA合成^[15],从而发挥抑菌作用。

2.1.3 影响菌体能量代谢

细胞内ATP浓度反映细胞代谢状态,植物多酚通过影响ATP合成酶正常功能抑制ATP合成,影响微生物正常生命活动^[15]。

2.1.4 损伤菌丝体和孢子

对于霉菌,植物多酚可使菌丝体形态发生不可逆变化,如不规则肿胀、皱褶、缠结、塌陷和断裂,以及使孢子形态变化,如芽管肿胀^[14],达到抑制霉菌生长目的。

2.2 植物多酚抑菌性能检测方法

检测植物多酚抑菌性能方法较多,根据检测目的不同,大致分为定性检测和定量检测,目前常用检测方法包括以下3种。

2.2.1 稀释法

稀释法是一种常见定量检测方法,常用于测定植物多酚对受试菌最低抑菌浓度。将植物多酚

稀释为不同浓度后作用于一定量受试菌，在适宜温度下培养一段时间后未观察到微生物生长的植物多酚最低浓度即为植物多酚对该受试菌最低抑菌浓度。Xu等将葡萄柚籽多酚10倍递增梯度稀释分别作用于沙门氏菌和单增李斯特菌，培养一段时间后检测葡萄柚籽多酚对两种细菌的最低抑菌浓度^[16]。Borges等将稀释成不同浓度没食子酸溶液作用于受试菌稀释液，30℃培养24h后未检测到细菌增长的最低没食子酸溶液浓度即为没食子酸对受试菌最低抑菌浓度^[17]。

2.2.2 抑菌圈法

抑菌圈法是一种定性检测方法，先将一定浓度受试菌菌液涂布于培养基上，然后将植物多酚溶液中浸泡后圆纸片放置于该培养基上，或者使用打孔器在平板上打孔后加入一定量植物多酚溶液，培养一段时间测量抑菌圈直径，根据抑菌圈直径推测受试菌对植物多酚敏感程度。Kumar等在琼脂平板上接种受试菌菌悬液，使用无菌打孔器在平板上切出直径8mm孔，孔中加入富含多酚的沙棘果提取物溶液，培养后测量所得抑菌圈直径^[18]。王景将菌悬液涂布于固体培养基上，然后粘贴盐肤木叶多酚溶液中浸泡后滤纸圆片，37℃培养24h后测量抑菌圈直径^[19]。抑菌圈法也可用于比较不同提取方式提取的植物多酚抑菌效果，例如，王景在比较使用溶剂萃取法、酸水解法和碱水解法提取盐肤木叶多酚抑菌效果时便采用抑菌圈法^[19]。

2.2.3 应用试验

应用试验是指将一定量植物多酚直接或经处理后加入肉或肉制品中，一定温度下储藏一段时间后检测样品中微生物数量变化，以对照组作为参照评价植物多酚抑菌性能，应用试验更适合于工业生产实际^[20]。Wang等在干燥培根表面分别涂抹绿茶多酚、葡萄籽提取物后将培根制成稀释液并接种于琼脂平板，培养一段时间后检测嗜温性需氧菌数量^[21]。Lorenzo等将绿茶、葡萄、栗子和海藻提取物加入生猪肉碎肉馅饼，检测生猪肉碎肉馅饼脂质氧化指标和微生物数量，结果表明，葡萄和绿茶提取物均导致乳酸菌、假单胞菌和专性需氧菌数量显著减少，且为最有效抗脂质氧化剂^[22]。

3 植物多酚保鲜应用制备技术

3.1 微胶囊

微囊化技术是经混合、均质、干燥等工艺使壁材将芯材包裹成微小颗粒的技术。壁材可减少环境对芯材影响，目前多种壁材已用于植物多酚微囊化处理，包括多糖、蛋白质、脂质等，微胶囊化处理还可降低植物多酚气味对食品感官特性的影响，且可提高植物多酚稳定性^[23]。Xu等将桑葚多酚加入阿拉伯胶溶液，均质后制成乳浊液，再经冷冻干燥等制作工艺获得桑树多酚微胶囊，将该桑树多酚微胶囊加入猪肉饼切片中，研究发现桑葚多酚微胶囊有效抑制猪肉饼切片脂质和蛋白质氧化，并有效保持猪肉饼切片良好颜色^[23]。芬妮使用乳清蛋白分离物和麦芽糊精作为壁材，加入绿茶提取物后通过喷雾干燥制成绿茶提取物微胶囊，将该微胶囊加入新鲜干酪，储藏一段时间后发现绿茶提取物微胶囊可有效抑制多种病原菌生长，且使新鲜干酪货架期延长10d^[24]。

3.2 活性包装膜

活性包装膜是将天然提取物加入成膜材料，经混合、加热搅拌、消泡、干燥成型等工艺制成具有抗菌活性和/或抗氧化活性包装膜。目前，使用成膜材料主要包括多糖(如淀粉、纤维素)、蛋白质(如大豆分离蛋白、玉米醇溶蛋白)、脂类化合物(如蜂蜡)等。含有天然提取物活性包装膜延缓抗菌和抗氧化成分释放，从而延长食品货架期^[20]。Alves等将葡萄籽提取物和香芹酚加入脱乙酰壳多糖溶液，均质并用超声浴除去气泡后将混合溶液滴加到三聚磷酸钠溶液，充分反应后获得葡萄籽提取物和香芹酚微胶囊，然后将微胶囊干燥后加入壳聚糖薄膜，制备得到一种含有葡萄籽提取物和香芹酚微胶囊的壳聚糖薄膜，将制得的膜放在鲑鱼块上表面并用聚乙烯薄膜包裹后在5℃下冷藏14d，与对照组相比，该膜有效保持样品光度值接近新鲜鲑鱼光度值，并延缓鲑鱼块TVB-N值、pH和细菌数上升^[25]。Giteru等在高粱醇溶蛋白乙醇溶液中加入槲皮素和柠檬醛，经倒模并烘干后制成复合薄膜，将薄膜包裹在鸡柳上并在2℃条件下保存96h，与未包裹薄膜鸡柳相比，该复合膜抑制鸡柳脂质氧化和微生物生长，且有效保持鸡柳良好色泽^[26]。

3.3 纳米颗粒

纳米技术是将大分子转化为纳米分子的技术,通过纳米技术可改变物质理化特性,例如溶解度和生物利用率等,纳米技术已广泛应用于食品和医药等领域^[27]。Martínez-Hernández等将香芹酚溶液滴加到壳聚糖溶液中,经搅拌、离心等处理后制备得到一种香芹酚-壳聚糖纳米颗粒,然后将鲜切胡萝卜片放入该香芹酚-壳聚糖纳米颗粒溶液中浸泡4 min后捞出沥干,放入保鲜盒,5℃保存13 d,经检测发现香芹酚-壳聚糖纳米颗粒处理的胡萝卜鲜切片微生物数量比壳聚糖处理少,颜色变化和感官品质下降最少,可较好保持鲜切胡萝卜片品质,且纳米颗粒化处理可掩盖香芹酚异味^[27]。Riaz使用溶剂置换法制备苹果皮多酚纳米颗粒,并将该苹果皮多酚纳米颗粒加入含壳聚糖和明胶溶液,经搅拌、消泡等处理后将新鲜草莓放入该混合溶液处理30 s,捞出干燥后放入塑料托盘,20℃下放置一段时间后检测发现与对照组相比使用富含苹果皮多酚纳米颗粒的壳聚糖和明胶溶液处理的草莓重量损失和营养流失较少,保质期也相对延长^[28]。

3.4 共聚物

共聚物是指由两种或两种以上单体发生聚合反应产生的聚合物,目前有关植物多酚聚合物种类主要是壳聚糖-植物多酚聚合物,是将植物多酚接枝到壳聚糖上形成的共聚物^[29]。壳聚糖-植物多酚共聚物形成提高多酚稳定性并有助于其有效成分缓慢释放,且共聚物抗氧化性、抗菌活性和水溶性高于单一壳聚糖和植物多酚^[30]。Fang等将壳聚糖加入乙酸溶液中搅拌均匀后又加入没食子酸溶液,经混匀、调节pH后制成壳聚糖-没食子酸共聚物溶液,将新鲜猪肉在该共聚物溶液中浸泡1 min后室温下风干,经气调包装后4℃下存放,结果表明,壳聚糖-没食子酸共聚物相比单一壳聚糖更有效降低新鲜猪肉脂质氧化和蛋白质氧化速度,且有效抑制腐败微生物生长^[30]。孟晨光等制备一种原儿茶酸-壳聚糖接枝共聚物溶液,将杏鲍菇放入该溶液中浸泡30 s,干燥后放入薄膜袋中,在4℃条件下储存15 d,期间每隔一段时间检测杏鲍菇质构、色泽变化、氧化程度等品质指标,发现原儿茶酸-壳聚糖接枝共聚物处理杏鲍菇无明显腐败现象,有效延长货架期^[31]。

3.5 直接应用

许多研究将食物来源植物多酚制备成粉末或溶液直接加入需保鲜食品样品,王敏等利用超声辅助提取方法提取板栗壳多酚,经真空冷冻干燥后制成板栗壳多酚粉末,然后将该板栗壳多酚粉末直接加入不同种类食用油脂中,结果表明,板栗壳多酚可清除油脂中自由基,延缓油脂氧化^[32]。张典等采用乙醇浸提法提取香蕉皮多酚,然后在猪肉斩拌过程中加入香蕉皮多酚,制成猪肉丸后4℃储存,每隔3 d取样检测,结果显示香蕉皮多酚降低猪肉丸感官品质下降速度,有效延长猪肉丸货架期^[33]。

3.6 其他

除以上应用方法外,部分研究中还将植物多酚制备成其他形式应用于食品保鲜,林亚楠等将茶多酚溶液加入大豆卵磷脂溶液中,经加热搅拌和旋转蒸发等操作处理后得到磷脂茶多酚复合物混悬液,将该复合物应用于鱼松加工和贮藏后发现,经磷脂茶多酚复合物处理鱼松过氧化值上升缓慢,且鱼松炒制和贮藏过程中脂质氧化程度降低,鱼松保质期延长^[34]。崔京燕利用花青素遇酸碱呈不同颜色特性,将树莓多酚添加到海藻酸钠和果胶混合物中,制备得到一种pH智能指示膜,并用于检测猪肉和豆浆新鲜度^[35]。Wang等在乳清蛋白纳米纤维溶液中加入香芹酚,均质后加入甘油作为增塑剂,再经搅拌混匀后制成一种可食用涂层溶液,然后将咸鸭蛋黄在涂层溶液中浸泡1 min后捞出,4℃存放10 d后发现乳清蛋白纳米纤维-香芹酚涂层降低咸蛋黄硬度和纹理恶化速度,抑制金黄色葡萄球菌和大肠杆菌等病原菌生长^[36]。

4 植物多酚在肉及肉制品中应用

4.1 抗菌和抗氧化应用

植物多酚种类丰富、来源广泛,具有良好抗菌、抗氧化效果。肉和肉制品富含营养物质,易被微生物污染而腐败变质,近年来关于植物多酚在肉和肉制品防腐保鲜中应用研究较多,如表1所示。Juhee等研究丁基羟基茴香醚、二丁基羟基甲苯、葡萄籽多酚和碧萝芷对煮熟碎牛肉储藏过程中微生物生长影响,结果表明,1.0%葡萄籽多酚和碧萝芷可有效减少大肠杆菌O157:H7和鼠伤寒沙门氏菌数量,延缓单增李斯特菌和假单胞菌生

长,保持煮熟牛肉红度,且葡萄籽多酚和碧萝芷比其他两种人工合成防腐剂更有效抑制硫代巴比妥酸反应物质产生^[37]。Valencia等制作一种部分猪肉脂肪被鱼油代替新鲜猪肉香肠,并将绿茶多酚加入该种香肠,经气调包装后于4℃下放置7d,并研究绿茶多酚对该新鲜猪肉香肠脂质氧化、颜色变化和感官特性影响,结果表明绿茶多酚显著降低鱼油香肠的脂质氧化速度并改善鱼油香肠风味和总体可接受度^[38]。Vaithyanathan等利用石榴汁多酚溶液浸泡鸡肉后4℃保存,每隔2d检测样品中硫代巴比妥酸反应性物质和微生物数量,结果表明经石榴汁多酚溶液浸泡后鸡肉脂质氧化水平和微生物数量相比对照组均显著下降^[39]。Sun等研究苹果多酚对使用透氧膜包装鲜猪肉颜色稳定性和脂质氧化影响,发现0.05%苹果多酚可有效阻止鲜猪肉脂质氧化和稳定鲜猪肉红色色泽^[40]。Nowak等将酸樱桃多酚和黑醋栗多酚应用于猪肉香肠保鲜中,研究得出酸樱桃多酚和黑醋栗多酚可显著抑制猪肉香肠中假单胞菌和肠杆菌科细菌生长,显著抑制硫代巴比妥酸产生^[41]。吴琳通过研究发现,牛肉、羊肉、猪肉中加入没食子酸、安石榴苷、石榴多酚和维生素C,可使肉储藏过程中亚硝酸钠减少量达 $10\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[42]。陈雨晴等采用超声辅助法提取石菖多酚,然后将石菖多酚经无菌水溶解后均匀涂抹于新鲜猪肉丸表面,无菌保鲜袋包装后置于4℃冰箱冷藏,每隔3d检测猪肉丸微生物和理化指标,结果表明石菖多酚明显抑制猪肉丸中微生物繁殖、蛋白质分解和脂质氧化^[43]。郝教敏等利用乙醇浸提法提取荞麦多酚,经浓缩和冷冻干燥后制成粉末,并用无菌水配制成荞麦多酚溶液,然后将冷却后卤猪肉在荞麦多酚溶液中浸泡片刻后捞出,经真空包装后4℃冰箱冷藏,通过检测发现荞麦多酚可抑制卤猪肉中微生物生长以及硫代巴比妥酸和挥发性盐基氮产生,对卤猪肉有较好防腐保鲜效果^[44]。Al-Juhaimi等指出,银杏叶提取物富含多酚,并利用水提法获得银杏叶提取物,冷冻干燥制成粉末后用无菌水溶解,加入碎鸡肉中制成鸡肉丸放入无菌保鲜袋,4℃保存20d,每隔5d检测一次微生物和理化指标,结果表明银杏叶提取物可改善鸡肉丸中微生物稳定性并抑制脂质氧化^[45]。Zhao等将富含大量多酚紫苏叶提取物加入新鲜鱼糜中,制成鱼糜鱼丸,再用保

鲜袋包装后4℃保存12d,检测后发现紫苏叶提取物可有效抑制大肠杆菌生长、硫代巴比妥酸和挥发性盐基氮产生,并改善鱼糜鱼丸感官品质^[46]。Wang等将冷冻羊肉分别在茶多酚、壳聚糖、山梨酸钾溶液中浸泡后捞出风干,并用保鲜膜包裹后放置于4℃冰箱,每隔2、4、6、8d检测冷冻羊肉氧化程度和菌群生长情况,结果表明,茶多酚处理冷冻羊肉挥发性盐基氮和大肠菌群数量均比壳聚糖和山梨酸钾组增加缓慢,且用茶多酚处理冷冻羊肉货架期延长7d^[47]。杨文平等在新鲜猪肉中加入皮燕麦多酚,然后将处理猪肉放置于1℃冰箱冷藏7d,期间每隔一段时间检测猪肉蛋白质氧化情况,结果表明,皮燕麦多酚抑制猪肉肌原纤维蛋白总巯基含量减少和羰基产生,有效延缓蛋白质氧化^[48]。

4.2 改善肉质应用

高品质肉制品离不开高品质原料肉,而原料肉品质与产肉动物饮食密不可分,研究表明将植物多酚作为动物饲料添加剂加入动物饲料中可起到改善肉质的作用,植物多酚可降低肌纤维密度、改善肉色和口感、提高肌肉保水性等^[49-50]。Arsyad等将富含多酚的橄榄叶粉加入红绸鱼饲料,饲养40d后发现鱼肉中肌原纤维和酸溶性胶原蛋白含量增加,对于改善红绸鱼肉质有一定作用^[49]。Zhang等对肉鸡喂食白藜芦醇,经研究发现被喂食白藜芦醇肉鸡肌肉pH增加,滴水损失和鸡肉中丙二醛含量降低^[50]。Ioannis等在羔羊饲料中添加葡萄多酚,喂食55d后发现羊肉脂肪酸组成被改善^[51]。Chen等将桉树叶多酚加入鸡饲料,饲养后发现鸡肌肉红度值增加,滴水损失降低,且鸡食入桉树叶多酚后无不良反应^[52]。Zhou等将0.08%杜仲叶多酚混合加入猪日常饲料,喂养60d后与对照组相比发现,杜仲叶多酚可使猪背最长肌红度值和纤维密度增加,并使纤维直径减小,肌肉脂肪含量增加,肉质更细嫩^[53]。Salami等在羔羊饲料中加入菜豆多酚提取物,喂养9d后发现羊肌肉表现良好抗脂质氧化活性,且肌肉中硬脂酸和部分脂溶性维生素含量增加^[54]。

陈明等将不同浓度茶多酚加入育肥猪饲料,饲养46d后发现 $300\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 茶多酚添加量可有效改善育肥猪猪肉大理石花纹,降低猪肉剪切力,增加嫩度^[55]。

表1 植物多酚在肉和肉制品中抗菌和抗氧化应用

Table 1 Antibacterial and antioxidant applications of plant polyphenols in meat and meat products

多酚种类 Categories of polyphenols	应用的肉和肉制品 Application of meat and meat products	应用结果 Results of application	参考文献 References
葡萄多酚 Grape polyphenols	碎牛肉	致病菌数量和TBA含量降低	[37]
	鲑鱼块	TVB-N含量、pH、细菌数降低, 光度值不变	[25]
	猪肉香肠	抑制脂质氧化, 改善风味和总体可接受度	[38]
茶多酚 Tea polyphenols	鱼松	过氧化值降低, 保质期延长	[34]
	冷冻羊肉	挥发性盐基氮和大肠菌群数量降低	[47]
石榴多酚 Pomegranate polyphenols	鸡肉	TBA含量和微生物数量降低	[39]
	牛肉、羊肉、猪肉	亚硝酸钠含量降低	[42]
苹果多酚 Apple polyphenols	猪肉	脂质氧化减少, 稳定猪肉色泽	[40]
酸樱桃多酚和黑醋栗多酚 Tart cherry polyphenols and black currant polyphenols	猪肉香肠	假单胞菌和肠杆菌科细菌减少, TBA含量减少	[41]
石莼多酚 Ulva lactuca polyphenols	猪肉丸	菌落总数降低, 抑制蛋白质和脂肪氧化	[43]
荞麦多酚 Buckwheat polyphenols	卤猪肉	微生物数量、TBA和TVB-N含量降低	[44]
银杏叶多酚 Ginkgo biloba polyphenols	鸡肉丸	微生物数量, 抑制脂肪氧化	[45]
紫苏叶多酚 Perilla leaf polyphenols	鱼糜鱼丸	TBA和TVB-N含量降低	[46]
香蕉皮多酚 Banana peel polyphenols	猪肉丸	pH上升缓慢, 感官品质下降延缓	[33]
槲皮素 Quercetin	鸡柳	抑制脂质氧化和微生物生长, 且更好保持鸡柳色泽	[26]
桑葚多酚 Mulberry polyphenols	猪肉饼切片	抑制脂质和蛋白质氧化, 并保持良好颜色稳定性	[23]
皮燕麦多酚 Avena sativa polyphenols	鲜猪肉	抑制总巯基含量减少和羰基产生	[48]

5 存在问题和展望

随着植物多酚逐渐成为天然植物防腐剂研究热点, 其应用存在问题也日益突显。首先, 植物多酚抑菌机理尚未完全明确, 目前大多数研究探讨对细胞形态结构的影响, 而在对菌体大分子和细胞代谢影响、以及植物多酚和受试菌菌株关系方面研究还不够全面。第二, 将植物多酚制备成活性包装膜用于食品保鲜时, 膜含水量影响防腐保鲜效果。第三, 植物多酚原有风味可能对食品风味产生影响, 从而影响产品感官品质。第四, 将植物多酚与其他防腐剂复配使用已成为一种趋势, 然而不同防腐保鲜剂间相互作用如何影响保鲜效果还未明确。第五, 不同肉制品加工方式也可能对植物多酚活性产生影响, 如发酵对植物多酚抑菌效果和抗氧化效果的影响还尚未见报道。第六, 植物多酚毒理性研究较少。

针对以上问题, 建议今后植物多酚研究中关注以下方面: ①进一步探明植物多酚对菌体大分子和细胞代谢的影响, 揭示植物多酚抑菌机制; ②在含植物多酚活性包装膜研发中, 降低膜含水

量同时保证其抑菌效果, 为开发出具有优良保鲜效果的植物多酚活性包装膜提供试验依据; ③进一步研究植物多酚对肉制品风味的影响, 保证食品原有独特风味; ④深入研究植物多酚与其他食品防腐剂相互作用及其对抗菌效果的影响; ⑤提高植物多酚稳定性方法技术, 以便植物多酚在肉制品中得到广泛应用; ⑥检测不同种类植物多酚毒理性, 为植物多酚在食品中应用提供科学、安全依据。

消费者对天然食品添加剂需求将促使植物多酚得到进一步研究和开发。尽管植物多酚应用仍面临诸多挑战, 但随微胶囊化处理等新技术应用, 植物多酚应用前景将更加广阔。

[参 考 文 献]

- [1] 刘九生. 国际禽肉消费市场需求分析[J]. 中国畜牧业, 2020 (10): 42-44.
- [2] Gupta P D, Birdi T J. Development of botanicals to combat antibiotic resistance[J]. Journal of Ayurveda and Integrative Medicine, 2017, 8(4): 266-275.

- [3] 刘琨毅, 王琪, 王卫, 等. 茶多酚对低盐中式腊肠防腐保鲜的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(3): 34-39.
- [4] 李颖畅, 杨钟燕, 仪淑敏, 等. 蓝莓叶多酚和大蒜提取物对冷藏鲑鱼鱼丸品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 331-336.
- [2] Abbas M, Saeed F, Anjum F M, et al. Natural polyphenols: An overview[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 20(8): 1689-1699.
- [6] Tsao R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols[J]. Nutrients, 2010, 2(12): 1231-1246.
- [7] 田富林, 黄文晶, 王展, 等. 植物多酚提取研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 211-216.
- [8] 孙悦, 左丽丽. 植物多酚功能的研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2020, 41(5): 386-388.
- [9] Cimmino R, Barone C M A, Claps S, et al. Effects of dietary supplementation with polyphenols on meat quality in Saanen goat kids [J]. BMC Veterinary Research, 2018, 14(1): 181.
- [10] Mazur-Kuśnirek M, Antoszkiewicz Z, Lipiński K, et al. The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens exposed to high temperature[J]. Archives of Animal Nutrition, 2019, 73(2): 111-126.
- [11] Lynda B C, Valérian F, Pierre L, et al. Antibacterial properties of polyphenols: Characterization and QSAR (Quantitative structure-activity relationship) models[J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 829.
- [12] Shi C, Sun Y, Zheng Z W, et al. Antimicrobial activity of syringic acid against *Cronobacter sakazakii* and its effect on cell membrane [J]. Food Chemistry, 2016, 197: 100-106.
- [13] Fei P, Ali M A, Gong S, et al. Antimicrobial activity and mechanism of action of olive oil polyphenols extract against *Cronobacter sakazakii*[J]. Food Control, 2018, 94: 289-294.
- [14] Yang X P, Jiang X D. Antifungal activity and mechanism of tea polyphenols against *Rhizopus stolonifer*[J]. Biotechnology Letters, 2015, 37(7): 1463-1472.
- [15] 费鹏, 赵胜娟, 陈曦, 等. 植物多酚抑菌活性、作用机理及应用研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 226-230.
- [16] Xu W T, Qu W, Huang K L, et al. Antibacterial effect of grapefruit seed extract on food-borne pathogens and its application in the preservation of minimally processed vegetables[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 45(1): 126-133.
- [17] Borges A, Ferreira C, Saavedra M J, et al. Antibacterial activity and mode of action of ferulic and gallic acids against pathogenic bacteria[J]. Microbial Drug Resistance, 2013, 19(4): 256-265.
- [18] Kumar M S Y, Tirpude R J, Maheshwari D T, et al. Antioxidant and antimicrobial properties of phenolic rich fraction of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves *in vitro*[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3443-3450.
- [19] 王景. 盐肤木叶不同形态多酚生物活性研究及在冷鲜猪肉保鲜中的应用[D]. 太原: 山西大学, 2020.
- [20] 杨宽, 陈洁, 何林枫, 等. 含精油可食膜在肉及肉制品保藏中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(11): 79-86.
- [21] Wang Y L, Li F, Zhuang H, et al. Effects of plant polyphenols and α -tocopherol on lipid oxidation, residual nitrites, biogenic amines, and N-nitrosamines formation during ripening and storage of dry-cured bacon[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 199-206.
- [22] Lorenzo J M, Sineiro J, Amado I R, et al. Influence of natural extracts on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 526-534.
- [23] Xu L, Cheng J R, Liu X M, et al. Effect of microencapsulated process on stability of mulberry polyphenol and oxidation property of dried minced pork slices during heat processing and storage[J]. LWT, 2019, 100: 62-68.
- [24] 芬妮. 绿茶提取物微胶囊化及其对新鲜干酪抗氧化、抗菌性及品质特性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [25] Alves V L C D, Rico B P M, Cruz R M S, et al. Preparation and characterization of a chitosan film with grape seed extract-carvacrol microcapsules and its effect on the shelf-life of refrigerated salmon (*Salmo salar*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 89: 525-534.
- [26] Giteru S G, Oey I, Ali M A, et al. Effect of kafirin-based films incorporating citral and quercetin on storage of fresh chicken fillets [J]. Food Control, 2017, 80: 37-44.
- [27] Martínez-Hernández G B, Amodio M L, Colelli G. Carvacrol-loaded chitosan nanoparticles maintain quality of fresh-cut carrots [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2017, 41: 56-63.
- [28] Riaz A. 基于富含苹果皮多酚的壳聚糖/明胶生物复合材料延长草莓货架期的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2018.
- [29] 荆迎军, 黄江浩, 禹雪晴. 壳聚糖-多酚共聚物的绿色制备、特性及应用研究进展[J]. 食品工业, 2018, 39(10): 244-247.
- [30] Fang Z X, Lin D, Warner R D, et al. Effect of gallic acid/chitosan coating on fresh pork quality in modified atmosphere packaging [J]. Food Chemistry, 2018, 260: 90-96.

- [31] 孟晨光. 壳聚糖-原儿茶酸接枝共聚物的合成及其对杏鲍菇的保鲜效果[D]. 扬州: 扬州大学, 2016.
- [32] 王敏, 周劲杰, 谢媛媛, 等. 板栗壳多酚对食用油脂的抗氧化作用[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 148-151.
- [33] 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.
- [34] 林亚楠, 王海星, 阳丽红, 等. 磷脂茶多酚复合物的制备及其对淡水鱼松的抗氧化作用[J]. 中国食品学报, 2020, 20(1): 205-211.
- [35] 崔京燕. 树莓果实成熟过程中多酚类化合物的变化及其提取和应用[D]. 太原: 中北大学, 2019.
- [36] Wang Q N, Liu W H, Tian B, et al. Preparation and characterization of coating based on protein nanofibers and polyphenol and application for salted duck egg yolks[J]. Foods, 2020, 9(4): 449.
- [37] Juhee A, Ingolf U G, Azlin M. Effects of plant extracts on microbial growth, color change, and lipid oxidation in cooked beef[J]. Food Microbiology, 2006, 24(1): 7-14.
- [38] Valencia I, O'Grady M N, Ansorena D, et al. Enhancement of the nutritional status and quality of fresh pork sausages following the addition of linseed oil, fish oil and natural antioxidants[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1046-1054.
- [39] Vaithyanathan 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 [J]. Meat Science, 2011, 88(3): 409-414.
- [40] Sun C F, Yang J R, He H J. Effect of apple polyphenol on color stability and lipid oxidation of fresh meat[J]. Food Science, 2005, 26(9): 153-157.
- [41] Nowak A, Czyzowska A, Efenberger M, et al. Polyphenolic extracts of cherry (*Prunus cerasus* L.) and blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves as natural preservatives in meat products[J]. Food Microbiology, 2016, 59(10): 142-149.
- [42] 吴琳. 石榴皮多酚对牛肉中亚硝酸钠降低效果影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [43] 陈雨晴, 吕峰, 俞灿杰. 石莼多酚对冷藏猪肉丸的保鲜效果[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 165-172.
- [44] 郝教敏, 杨文平, 靳明凯, 等. 荞麦多酚在卤猪肉制品防腐保鲜中的应用[J]. 中国调味品, 2019, 44(12): 22-25, 30.
- [45] Al-Juhaimi F Y, Shahzad S A, Ahmed A S, et al. Effect of argel (*Solenostemma argel*) leaf extract on quality attributes of chicken meatballs during cold storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(5): 1797-1805.
- [46] Zhao Y L, Kong H Y, Zhang X, et al. The effect of perilla (*Perilla frutescens*) leaf extracts on the quality of surimi fish balls[J]. Food Science and Nutrition, 2019, 7(6): 2083-2090.
- [47] Wang W D, Sun Y E. Preservation effect of meat product by natural antioxidant tea polyphenol[J]. Cellular and Molecular Biology, 2016, 62(13): 44-48.
- [48] 杨文平, 郝教敏, 靳明凯, 等. 皮燕麦多酚提取物对冷却猪肉抗蛋白氧化评价[J]. 中国调味品, 2020, 45(6): 1-4, 9.
- [49] Arsyad M A, Akazawa T, Nozaki C, et al. Effects of olive leaf powder supplemented to fish feed on muscle protein of red sea bream [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2018, 44(5): 1299-1308.
- [50] Zhang C, Zhao X H, Wang L, et al. Resveratrol beneficially affects meat quality of heat-stressed broilers which is associated with changes in muscle antioxidant status[J]. Animal Science Journal, 2017, 88(10): 1569-1574.
- [51] Ioannis K, Basiliki K, Vladimirov C, et al. Effects of dietary grape pomace supplementation on performance, carcass traits and meat quality of lambs[J]. In Vivo, 2018, 32(4): 807-812.
- [52] Chen Y, Chen H, Li W, et al. Polyphenols in eucalyptus leaves improved the egg and meat qualities and protected against ethanol-induced oxidative damage in laying hens[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2018, 102(1): 214-223.
- [53] Zhou Y, Ruan Z, Li X L, et al. Eucommia ulmoides olive leaf polyphenol supplementation improves meat quality and regulates myofiber type in finishing pigs[J]. Journal of Animal Science, 2016, 94: 164-168.
- [54] Salami S A, Valenti B, O'Grady M N, et al. Influence of dietary cardoon meal on growth performance and selected meat quality parameters of lambs, and the antioxidant potential of cardoon extract in ovine muscle homogenates[J]. Meat Science, 2019, 153: 126-134.
- [55] 陈明, 李明谕, 任善茂, 等. 茶多酚对苏姜育肥猪生长性能及肉品质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(24): 114-117.