

茶多酚可降解复合膜在食品保鲜中的应用研究进展

王玥, 王建川, 朱贵萍, 皮涵, 刘耀文
(四川农业大学 食品学院, 雅安 625014)

摘要: **目的** 介绍茶多酚良好的抗氧化性、抑菌性, 综述国内外将茶多酚与可降解成膜基材复合后应用于食品保鲜的研究进展, 为后续研究提供基础。 **方法** 通过对国内外研究现状和研究成果的综述, 介绍茶多酚的保鲜机理及与可降解成膜基质复合后在食品保鲜(肉类、蔬菜类、水果类等)方面的具体应用, 并分析茶多酚的加入对复合膜保鲜效果的影响。 **结论** 从发展趋势来看, 可降解食品保鲜材料必将拥有广阔的发展前景。茶多酚的添加虽使得可降解复合膜的保鲜效果大大增加, 但国内外在茶多酚复合保鲜材料方面的研究形式相对较单一, 多以复合膜或者膜液形式进行保鲜。利用微胶囊技术与茶多酚复合保鲜材料相结合制备保鲜剂, 既能够更好地控制保鲜剂的使用量, 又能避免直接与食品过多接触, 是一个值得尝试的新思路。

关键词: 茶多酚; 复合材料; 食品保鲜; 研究进展

中图分类号: TB332; S609+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)13-0097-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.13.014

Research Progress of Application of Tea Polyphenols Degradable Composite Films in Food Preservation

WANG Yue, WANG Jian-chuan, ZHU Gui-ping, PI Han, LIU Yao-wen

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

ABSTRACT: The work aims to introduce the good antioxidant and bacteriostatic properties of tea polyphenols, and to summarize the research progress of the application of tea polyphenols and degradable film-forming substrates at home and abroad in food preservation, so as to provide a basis for further research. Through the summary of research status and research results at home and abroad, the preservation mechanism of tea polyphenol and specific application of its recombination with degradable film-forming substrate in food preservation (meat, vegetables, fruits, etc.) were introduced. The effect of the addition of tea polyphenols on the preservation effect of the composite film was analyzed. Biodegradable food preservation materials will have broad development prospects from the perspective of development trend. The addition of tea polyphenols will greatly increase the preservation effect of degradable composite films, but the research forms of tea polyphenol composite preservation materials at home and abroad are relatively simple, mostly in the form of composite film or film liquid preservation. The use of microcapsule technology combined with tea polyphenol composite preservation materials to prepare preservatives can not only control the amount of preservatives better, but also avoid direct contact with food too much, which is also a new idea worth trying.

收稿日期: 2019-03-01

基金项目: 四川省科技计划(2018RZ0034)

作者简介: 王玥(1998—), 女, 四川农业大学本科生, 专业方向为保鲜材料的制备。

通信作者: 刘耀文(1987—), 男, 博士, 四川农业大学副教授, 主要研究方向为食品机械、食品包装及食品、药品安全性评价。

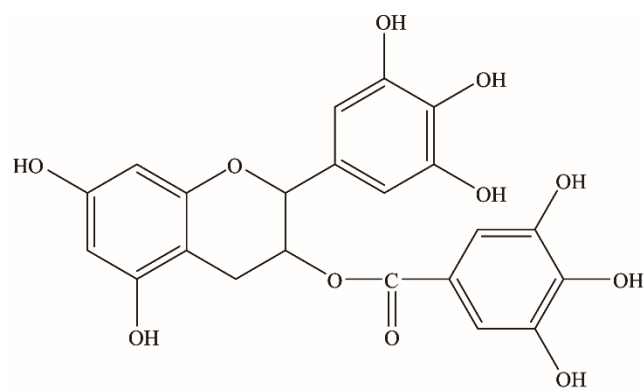
KEY WORDS: tea polyphenols; composite materials; food preservation; research progress

为防止新鲜食品腐败变质并有效地进行保鲜,常采用添加食品防腐剂、气调保鲜、外涂食用膜和辐照等方法对食品进行保鲜处理以延长食品货架期^[1-2]。虽然这些方法都得到了较为广泛的应用,但仍都存在一定的应用缺陷^[3],如化学保鲜剂可能存在化学残留,产生毒副作用,损害人体健康。自然界中许多植物所含的成分也具有保鲜功能,按照成分的性质差异可以分为植物精油类、酚类、中草药类等^[4],属于天然的保鲜材料。天然保鲜材料具有广谱抗菌性、高效性、天然性及安全性等优点,且顺应了人们追求绿色健康的理念,因而在食品领域拥有广阔的应用前景^[5-6]。

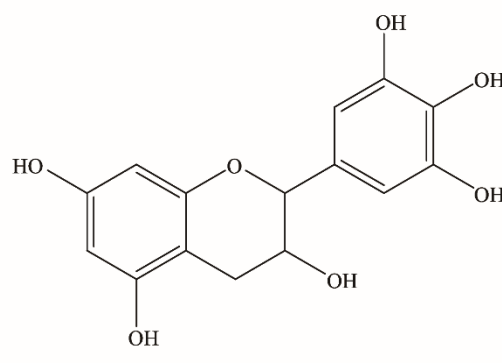
茶多酚是从茶叶中提取的酚类化合物,因其天然安全,且具有良好的抑菌及抗氧化活性,已被广泛用于食品中。其可延长保质期,防止食品褪色,维持食品品质并有效保护其各种营养成分^[7-11];此外,因其易溶于水而不影响食品的口味,且复合其他材料后,能够起到更好的保鲜效果^[12-13],因此利用茶多酚制备复合保鲜材料成为一大研究热点。

1 茶多酚的组成及理化性质

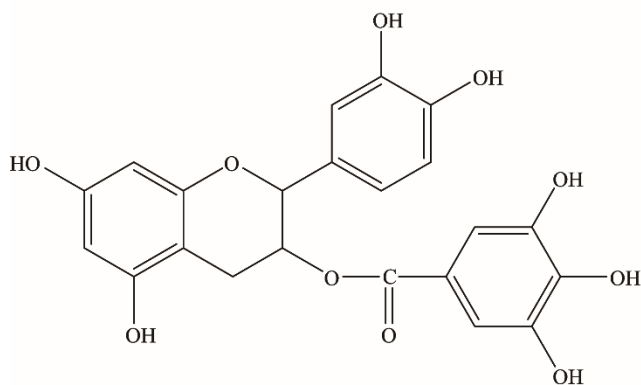
茶多酚是指茶叶中富含的 30 多种酚类化合物的总



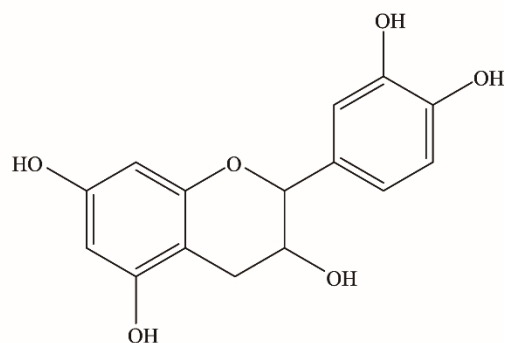
a 表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)



b 表没食子儿茶素(EGC)



c 表儿茶素没食子酸酯(EGCg)



d 表儿茶素(EC)

图 1 儿茶素结构

Fig.1 Structure of catechins

称,其质量分数在干茶中的占比可达 20%~35%^[14]。茶多酚中主要包含有黄烷醇类、黄酮类、黄酮醇类、花色苷类等成分,其中以黄烷醇类物质为主,又叫儿茶素(常见结构见图 1),其质量分数高达 60%~80%,均具有活性多羟基结构,该结构是茶多酚良好抗氧化性能的结构基础,也是确定抗氧化能力的常用指标^[15-16]。茶多酚因这些多酚结构基础而具备能够形成稳定氢键结构的潜能,被称为高效、安全的天然改性剂^[17]。

茶多酚在潮湿的空气中极易被氧化,颜色因氧化程度不同呈淡黄色至褐色,其略有涩味,具有吸潮性,易溶于水、甲醇、乙醇、丙酮、乙酸乙酯等,微溶于油脂,不溶于氯仿、苯等有机溶剂;在 250 °C 左右的环境中,能保持 1.5 h 的稳定,pH 在 4~8 时,稳定性强,虽然在一定范围的热和酸条件下,性质比较稳定,但在 pH>8 或者湿热以及光照下极易发生氧化变质^[18-19]。基于茶多酚这些优良性能,将其用于食品保鲜中,能达到较好的保鲜效果,且因其易溶于水,即使残留在食品表面也可以直接通过清洗祛除,避免了对食品口味产生影响。

2 茶多酚的保鲜机理

茶多酚由于内部结构中具有许多活性多羟基结构,

可发生比较强烈的氧化反应,反应机理(以过氧化自由基 $\text{ROO}\cdot$ 、氧化为酚氧自由基 $\text{ArO}\cdot$ 为例)见图 2^[20],因此可用作一种高效的天然抗氧化剂。其可通过与自由基反应生成较为稳定的酚氧自由基,直接清除自由基;也能通过与金属离子络合,抑制金属离子对氧化反应的催化作用,从而发挥其抗氧化作用^[21]。研究表明,超氧化物歧化酶的抗氧化性弱于茶多酚^[22-24]。还有学者认为有些金属离子是一些酶的辅酶,而茶多酚是天然金属离子络合剂,茶多酚与微生物内的金属离子发生络合可影响其酶的活性,从而影响微生物代谢,如茶多酚中黄酮类化合物的酮基与 3 位或 5 位羟基联合作用,可以螯合金属离子^[25],反应机理见图 3。虽然茶

多酚的抑菌机理尚且有待考究,但有大量研究表明,茶多酚具有高效的抑菌性,少量使用即可达到理想的抑菌效果,且抑菌谱广泛^[26]。

3 茶多酚复合保鲜剂的研究现状

茶多酚因其本身良好的抗氧化性和抑菌性,单独使用时虽具有一定的保鲜效果,但将其与具有不同功能的物质协同使用时,保鲜效果更佳。综上所述,国内外许多学者将茶多酚与其他物质复配,制备茶多酚复合保鲜剂,从而达到协同增效,延长食品保质期。

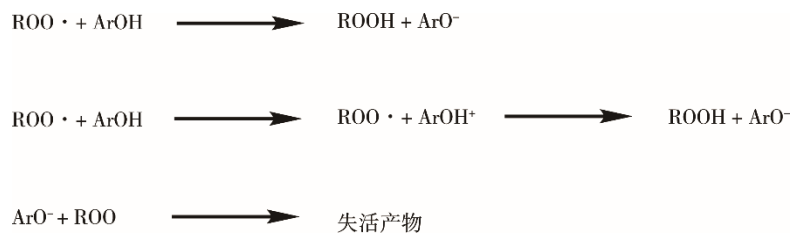


图 2 过氧化自由基 $\text{ROO}\cdot$ 氧化机理

Fig.2 Oxidation mechanism of peroxide free radical $\text{ROO}\cdot$

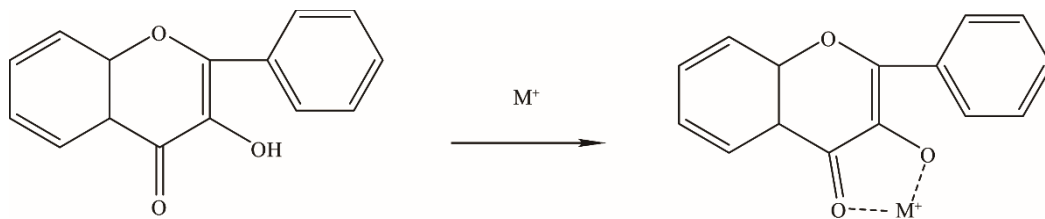


图 3 黄酮醇类与金属类络合机理

Fig.3 Complexation mechanism of flavonols and metals

3.1 茶多酚与海藻酸钠复合

海藻酸钠是从海带等褐藻中提取的一种产物,具有一定的成膜能力,常用作增稠剂和稳定剂。李媛^[27]在香肠表面分别涂抹 3 种配方的茶多酚/海藻酸钠复合物(配方 1 为 0.25 g/mL 的茶多酚+0.15 g/mL 的海藻酸钠,配方 2 为 0.01 g/mL 的茶多酚+0.10 g/mL 的海藻酸钠,配方 3 为 0.15 g/mL 的海藻酸钠),再涂以钙交联剂置于冰箱中冷藏,同时设置一组空白对照组进行保鲜实验,实验发现,不同配方的茶多酚/海藻酸钠复合膜比单一海藻酸钠涂膜组保鲜效果显著,尤其是配方 1,在冷藏 40 d 后,pH 值基本无变化,脂肪氧化度和过氧化物酶活性显著低于其他组。赵梅等^[28]研究了不同配比的茶多酚与海藻酸钠混合液对双孢菇的保鲜效果。实验发现,与蒸馏水处理的对照组相比,各实验组均在不同程度上降低了双孢菇的褐变指数和质量损失率,延缓了抗坏血酸和可滴定酸的降解,特别是茶多酚与海藻酸钠的质量比为 1:1 时保鲜效果最好。尽管茶多酚和海藻酸钠复合膜对肉类、蔬菜类等会起到延长保质期的作用,但其作用机理仍

然有待进一步研究分析。

3.2 茶多酚与肉桂精油复合

肉桂精油能够有效抑制各种微生物,具有极强的抗菌活性,作为天然防腐剂被广泛应用于食品工业^[29-31]。余小亮等^[32]分别用体外抗氧化法和抑菌圈法测定了茶多酚/肉桂精油复合保鲜膜的抗氧化能力及抑菌效果。董晓敏^[33]等选择易引发食源性疾病的金黄色葡萄球菌作为实验对象,发现复合保鲜剂的最小抑菌浓度(MIC)为 0.5 mg/mL,清除 1,1-二苯基-2-苦肼基自由基(DPPH 自由基)、羟基自由基的半抑制浓度(IC₅₀)和超氧阴离子自由基分别为 4.02 μg/mL,0.61 mg/mL,9.15 μg/mL,有效抑制了金黄色葡萄球菌的生长。此外,天然抗氧化物茶多酚,在水中溶解性较好,不仅能弥补肉桂精油水溶性差的缺陷,且具有很强的抗氧化活性,将两者进行复配,能达到单一保鲜剂达不到的理想保鲜防腐效果。

3.3 茶多酚与壳聚糖复合

将茶多酚添加到以壳聚糖、聚乙烯醇等为基材的

高分子膜中进行改性,可以明显提高膜的耐水性,改善膜的透气性能和综合力学性能,使其具备更好的抗菌性和抗氧化性,还可在一定程度上降低壳聚糖抗菌膜的生产成本^[34-35]。朱明秀等^[36]以茶多酚为改性剂制备茶多酚/壳聚糖复合膜,研究了不同质量分数的茶多酚对复合膜结构、水溶性、力学性能、抗氧化性和气体阻隔性的影响,为研发基于壳聚糖和聚乙烯醇的抗菌绿色包装材料提供了基础数据和理论依据。刘军等^[37]将天然抑菌抗氧化物质茶多酚与壳聚糖复配,制备了菜心复合涂膜保鲜剂,以呼吸强度、质量损失率、维生素C和感官评价为测试指标,研究了不同浓度配比的复合涂膜保鲜剂对菜心低温(10℃)贮藏时品质的影响。结果表明,采用质量分数为2.0%的壳聚糖、质量分数为0.2%的茶多酚的实验组质量损失率为24.96%,呼吸强度为99.59 mg/(kg·h)(以呼出CO₂计算),维生素C含量为0.6289 mg/g,感官评价值为38,综合保鲜效果最好。于林^[38]发现在胶原蛋白-壳聚糖复合膜中添加茶多酚改性后,能够有效抑制石斑鱼鱼肉中微生物的滋生和蛋白质的变性,延长斜带石斑鱼的货架期。另外,以壳聚糖为成膜材料,添加不同浓度的天然抑菌抗氧化物质茶多酚,制备复合涂膜保鲜液,采用浸泡法对香菇和青椒进行处理,进行涂膜保鲜实验并设置对照,均发现茶多酚在果蔬贮藏过程中可有效减弱其呼吸作用^[39-40],从而延长果蔬的保质期。Wang等^[41]将茶多酚与壳聚糖复合后,抗氧化活性显著增加,协同作用明显,能够更好地发挥抑菌保鲜作用。

3.4 茶多酚与大豆蛋白复合

刘开华等^[42]将茶多酚添加到大豆分离蛋白中制成复合涂膜保鲜液,以硬度、腐烂指数、感官指标、可溶性固形物等为指标,研究复合涂膜保鲜液在室温条件下对甜樱桃的保鲜效果。数据显示,保鲜效果最为显著的是质量分数为5%的大豆分离蛋白与200 mg/kg茶多酚的复配液,通过降低甜樱桃的腐烂率,延缓维生素C和可溶性固形物含量的下降,延缓樱桃腐烂,将甜樱桃的室温保鲜期延长了144 h。郭丛珊等^[43]用一定比例的大豆分离蛋白和茶多酚制成了新型可食性抗菌膜。与未添加茶多酚时相比,茶多酚显著提高了复合膜的拉伸强度和阻水性能;添加浓度2 g/L的茶多酚时效果最佳,膜的水蒸气透过系数降低了24.5%,拉伸强度提高了93.2%。随后将所制成的复合涂膜液研究对圣女果的保鲜效果,结果表明在室温下储藏12 d后,复合膜组圣女果的品质更好。

3.5 茶多酚与其他物质复合

柠檬酸分子中具有许多羟基结构,其中的质子可以释放出来,并对茶多酚进行还原。此外,也能与金属离子络合,使其不再加速茶多酚氧化变质。朱军莉

等^[44]研究了质量分数为0.15%的茶多酚及质量分数为0.05%的茶多酚复合5 mmol/L柠檬酸制成的茶多酚复合保鲜膜对秘鲁鱿鱼丝保质期的影响,将其置于25℃环境下贮藏,感官特性及理化性质变化显示,质量分数为0.05%的茶多酚复合柠檬酸保鲜膜能显著减少水分损失,抑制乳糖分解,延缓脂肪氧化,进而更好地保持鱿鱼丝的品质。由此可知,茶多酚和柠檬酸复合保鲜膜相比于纯茶多酚膜,对食品的保鲜效果更好,柠檬酸等有机酸类物质在一定程度上加强了茶多酚的保鲜效果。李学鹏等^[45]将茶多酚和丹皮提取物复合制得保鲜剂,应用于冷藏大菱鲆鱼块的保鲜,研究其协同保鲜效果。实验表明,复合保鲜剂处理的大菱鲆鱼块品质劣变减缓,pH值、菌落总数、硫代巴比妥酸含量、挥发性盐基氮含量等均显著低于对照组、丹皮提取物处理组以及茶多酚处理组。可见,丹皮提取物与茶多酚具有协同保鲜效果,能够有效保持冷藏大菱鲆鱼块的品质。柳丽莉^[46]制备了20 g/L的茶多酚和不同浓度纳他霉素复合保鲜剂对桑树果实进行处理,与对照组相比,发现处理后的果实的黄酮、维生素、花青素等含量显著提高,硬度得以保持,同时降低了腐烂率和质量损失率。

4 结语

虽然单一茶多酚保鲜剂效果一般,抑菌性不够全面,与海藻酸钠复合后,成膜性能更好,抑菌性更稳定;与肉桂精油复合后,抑菌性能大大增强;与壳聚糖以及大豆蛋白复合后,复合膜综合性能大大提高,从而使保鲜效果更佳。综上所述,通过将茶多酚与其他物质复合、协同增效,增加了保鲜时间,能够更好地发挥抑菌保鲜作用,更适合在产品中使用。

现有保鲜技术主要有气调保鲜、低温保鲜、化学保鲜以及保鲜膜保鲜,其中化学保鲜虽因其高效而得到广泛应用,但可能存在化学残留,产生毒副作用,危害人体健康,因此,研发新型生物保鲜技术势在必行。生物保鲜技术因其具有天然无毒和安全方便等优点,迎合了人们绿色健康的消费观念,已成为食品贮藏保鲜的研究热点,目前国内外学者开始探索将超高压等新型保鲜技术应用于生物保鲜剂的保鲜方式,市场前景广阔。除此之外,据报道,辐照和改性气调包装与茶多酚联用,也具有更好的抗菌和抗氧化功能。茶多酚除了可与柠檬酸、壳聚糖、肉桂精油、大豆蛋白等单一复合以外,也可以进行多种混合复配制备保鲜膜,还可以与聚乙烯醇等塑料复合,利用协同效应,对食品起到更好的保鲜效果,从而一定程度上代替或者减少塑料保鲜膜,缓解环境压力。为了使茶多酚充分传递和缓释,可以利用微胶囊技术制作茶多酚保鲜剂,既能够更好地控制保鲜剂的使用量又能避免直接与食品过多接触,同时也增加

了保鲜剂的使用时间,在一定程度上减少了成本。目前,对此方面的研究相对较少,因此是食品保鲜领域值得开辟的一个研究方向。

参考文献:

- [1] ZHANG S, YU Y, XIAO C, et al. Effect of Ultraviolet Irradiation Combined with Chitosan Coating on Preservation of Jujube under Ambient Temperature[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 57(2): 749—754.
- [2] D'AQUINO S, MISTRIOTIS A, BRIASSOULIS D, et al. Influence of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality Ofcherry Tomatoes Held at 20 °C [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 115: 103—112.
- [3] LI X, LI J, ZHU J, et al. Postmortem Changes in Yellow Grouper (*Epinepheluswoara*) Fillets Stored under Vacuum Packaging at 0 °C [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(3): 896—901.
- [4] GUTIÉRREZDELRIÓ I, FERNÁNDEZ J, LOMBÓ F. Felipe LombóPlant Nutraceuticals as Antimicrobial Agents in Food Preservation: Terpenoids, Polyphenols and Thiols.[J]. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2018, 52: 309—315.
- [5] JIA S, HUANG Z, LEI Y, et al. Application of Illumina-MiSeq High Throughput Sequencing and Culture-dependent Techniques for the Identification of Microbiota of Silver Carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) Treated by Tea Polyphenols[J]. *Food Microbiology*, 2018, 76: 52—61.
- [6] SHAO P, NIU B, CHEN H, et al. Fabrication and Characterization of Tea Polyphenols Loaded Pullulan-CMC Electrospun Nanofiber for Fruit Preservation[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 107: 1908—1914.
- [7] FENGLF, JIANG TJ, WANG YB, et al. Effects of Tea Polyphenol Coatingcombined with Ozone Water Washing on the Storage Quality of Black Seabream (*Sparusmacrocephalus*)[J]. *Food Chemistry*, 2012, 135: 2915—2921.
- [8] LITT, LI JR, HU WZ, et al. Quality Enhancement in Refrigerated Red Drum (*Sciaenopsocellatus*) Fillets Using Chitosan Coatings Containing Naturalpreservatives[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138: 821—826.
- [9] BORA A F M, MA S, LI X, et al. Application of Microencapsulation for the Safe Delivery of Green Tea Polyphenols in Food Systems: Review and Recent Advances[J]. *Food Research International*, 2018, 105: 241—249.
- [10] HU H, SHEN W, LI P. Effects of Hydrogen Sulphide on Quality Andantioxidant Capacity of Mulberry Fruit[J]. *International Journal Food Science Technology*, 2014, 49(2): 399—409.
- [11] FENG M, YU L, ZHU P, et al. Development and Preparation of Active Starch Films Carrying Tea Polyphenol[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 196: 162—167.
- [12] YANG H J, LEE J H, WON M, et al. Antioxidant Activities of Distiller Dried Grains with Solubles as Protein Films Containing Tea Extracts and Their Application in the Packaging of Pork Meat[J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 174—179.
- [13] 鞠健, 乔宇, 李冬生, 等. 茶多酚对冷藏鲈鱼鲜度变化及肌原纤维蛋白氧化的影响[J]. *食品工业科技*, 2018(2): 290—294.
JU Jian, QIAO Yu, LI Dong-sheng, et al. Effects of Tea Polyphenols on Freshness Changes and Myofibrillar Protein Oxidation in Refrigerated Carp[J]. *Food Science and Technology*, 2018(2): 290—294.
- [14] 张健, 柳丽莉, 王丹丹, 等. 将茶多酚作为桑椹保鲜剂的保鲜效果试验[J]. *蚕业科学*, 2017(5): 831—835.
ZHANG Jian, LIU Li-li, WANG Dan-dan, et al. Experiment on the Preservation Effect of Tea Polyphenols as Mulberry Preservatives[J]. *Sericulture Science*, 2017(5): 831—835.
- [15] 申芮一. 茶多酚在食品贮藏保鲜中的应用研究进展 [J]. *食品工程*, 2017(4): 12—13.
SHEN Rui-yi. Research Progress of Application of Tea Polyphenols in Food Storage and Preservation[J]. *Food Engineering*, 2017(4): 12—13.
- [16] ZHANG C, SUN C L, YANG C, et al. Antioxidant Capacity and Major Polyphenol Composition of Teas as Affected by Geographical Location, Plantation Elevation and Leaf Grade[J]. *Food Chemistry*, 2018, 244: 109.
- [17] 陈达佳, 赵利, 袁美兰, 等. 茶多酚对胶原蛋白-壳聚糖复合膜的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(20): 55—58.
CHEN Da-jia, ZHAO Li, YUAN Mei-lan, et al. Effects of Tea Polyphenols on Collagen-Chitosan Composite Films[J]. *Food Science*, 2014, 35(20): 55—58.
- [18] 张宇航, 王荣荣, 邢淑婕. 茶多酚在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(11): 210—214.
ZHANG Yu-hang, WANG Rong-rong, XING Shu-jie. Advances in the Application of Tea Polyphenols in Fruit and Vegetable Storage and Preservation[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(11): 210—214.
- [19] 陈文慧, 徐莉, 禰开智. 茶多酚在水产品保鲜中的应用研究[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(4): 12—15.
CHEN Wen-hui, XU Li, XUAN Kai-zhi. Application of Tea Polyphenols in Preservation of Aquatic Products[J]. *Food and Oil*, 2018, 31(4): 12—15.
- [20] 顾瑛. 茶多酚抗氧化效果在化妆品领域的应用与发展研究[J]. *福建茶叶*, 2018, 40(6): 309.
GU Ying. Study on the Application and Development of Anti-oxidation Effect Of Tea Polyphenols in Cosmetics Field[J]. *Fujian Tea*, 2018, 40(6): 309.
- [21] 周向军, 高义霞, 谢天柱. 天然抗氧化剂茶多酚的研究进展[J]. *资源与环境*, 2015(2): 35—39.

- ZHOU Xiang-jun, GAO Yi-xia, XIE Tian-zhu. Research Progress of Natural Antioxidant Tea Polyphenols[J]. *Resources & Environment*, 2015(2): 35—39.
- [22] 黄芳, 黄琳, 杨光. 一种新型布洛芬-细菌纤维素膜透皮缓释系统[J]. *武汉大学学报(理学版)*, 2015, 61(1): 99—102.
- HUANG Fang, HUANG Lin, YANG Guang. A Novel Transdermal Delivery System of Ibuprofen-bacterial Cellulose Film[J]. *Journal of Wuhan University*, 2015, 61(1): 99—102.
- [23] 杨海伦, 刘小香, 朱军莉, 等. 茶多酚的抗菌特性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(21): 385—389.
- YANG Hai-lun, LIU Xiao-xiang, ZHU Jun-li, et al. Research Progress on Antibacterial Properties of Tea Polyphenols[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(21): 385—389.
- [24] 鲁吉珂, 郝利民, 陶如玉, 等. 不同纯度茶多酚和茶黄素的抗氧化活性[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 17—21.
- LU Ji-ke, HAO Li-min, TAO Ru-yu, et al. Antioxidant Activity of Tea Polyphenols and Theaflavins with Different Purities[J]. *Food Science*, 2015, 36(17): 17—21.
- [25] 周一鸣. 苦荞麸皮中黄酮类化合物的提取、分离及其抗氧化活性的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2008.
- ZHOU Yi-ming. Extraction, Separation and Antioxidant Activity of Flavonoids from Tartary Buckwheat Bran[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2008.
- [26] YANG C S, LAMBERT J D, SANG S. Antioxidative and Anti-carcinogenic Activities of Tea Polyphenols[J]. *Archives of Toxicology*, 2009, 83(1): 11—21.
- [27] 李媛. 茶多酚与海藻酸钠涂膜对香肠储藏期品质的影响[J]. *食品工业*, 2018, 39(5): 159—161.
- LI Yuan. Effects of Tea Polyphenols and Sodium Alginate Film on the Quality of Sausage during Storage[J]. *Food Industry*, 2018, 39(5): 159—161.
- [28] 赵梅, 李文香. 海藻酸钠与茶多酚复配液对双孢菇保鲜效果的影响[J]. *食品工业*, 2017(10): 53—55.
- ZHAO Mei, LI Wen-xiang. Effects of Sodium Alginate and Tea Polyphenols on the Preservation of *Agaricus bisporus*[J]. *Food Industry*, 2017(10): 53—55.
- [29] 吕明珠, 于爽, 朱恩俊. 肉桂精油对红提葡萄保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(6): 272—277.
- LYU Ming-zhu, YU Shuang, ZHU En-jun. Effects of Cinnamon Essential Oil on Preservation of Red Grapes[J]. *Food Science*, 2016, 37(6): 272—277.
- [30] CUI H, WEI L, LI C, et al. Liposome Containing Cinnamon Oil with Antibacterial Activity Against Methicillin-resistant *Staphylococcus Aureus* Biofilm[J]. *Biofouling*, 2016, 32(2): 215—225.
- [31] GHADERI-GHAHFAROKHI M, BARZEGAR M, SAHARI M A, et al. Chitosan-cinnamon Essential Oil Nano-formulation: Application as a Novel Additive for Controlled Release and Shelf Life Extension of Beef Patties[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 102: 19—28.
- [32] 余小亮, 陈舜胜, 袁三月, 等. 茶多酚-肉桂精油复合保鲜剂抗氧化活性及抑菌作用[J]. *食品工业科技*, 2017(22): 226—230.
- YU Xiao-liang, CHEN Shun-sheng, YUN San-yue, et al. Antioxidant Activity and Antibacterial Activity of Tea Polyphenol-cinnamon Essential Oil Composite Preservative[J]. *Food Science and Technology*, 2017(22): 226—230.
- [33] 董晓敏, 韩瑞芳, 刘天明. 葡萄籽原花青素对金黄色葡萄球菌的抑菌研究[J]. *食品工业*, 2015, 36(8): 188—192.
- DONG Xiao-min, HAN Rui-fang, LIU Tian-ming. Study on the Antibacterial Activity of Grape Seed Proanthocyanidins Against *Staphylococcus Aureus*[J]. *Food Industry*, 2015, 36(8): 188—192.
- [34] RAFIQUE A, ZIA KM, ZUBER M, et al. Chitosan Functionalized Poly (Vinyl Alcohol) for Prospects Biomedical and Industrial Applications: a Review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 87: 141—154.
- [35] WU J L, CHEN S F, GE S Y, et al. Preparation, Properties and Antioxidant Activity of an Active Film from Silver Carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) Skin Gelatin Incorporated with Green Tea Extract[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 32(1): 42—51.
- [36] 朱明秀, 黄崇杏, 蓝鸿雁, 等. 茶多酚对壳聚糖/聚乙烯醇复合膜性能的影响[J]. *包装工程*, 2018, 39(5): 110—114.
- ZHU Ming-xiu, HUANG Chong-xing, LAN Hong-yan, et al. Effect of Tea Polyphenols on the Properties of Chitosan/Polyvinyl Alcohol Composite Films[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(5): 110—114.
- [37] 刘军, 龚丽, 姜艳, 等. 壳聚糖茶多酚复合涂膜对菜心低温贮藏保鲜影响的研究[J]. *现代农业装备*, 2017(2): 21—25.
- LIU Jun, GONG Li, JIANG Yan, et al. Effect of Chitosan Tea Polyphenol Composite Coating on Low Temperature Storage and Preservation of Chinese Cabbage[J]. *Modern Agricultural Equipment*, 2017(2): 21—25.
- [38] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2017, 38(3): 220—226.
- YU Lin, CHEN Shun-sheng, WANG Juan-juan, et al. Fresh-keeping Effect of Tea Polyphenol Modified Collagen-chitosan Composite Film on Cold-spotted Grouper[J]. *Food Science*, 2017, 38(3): 220—226.
- [39] 刘开华, 邢淑婕. 含茶多酚的壳聚糖涂膜对青椒的保鲜效果研究[J]. *中国食品添加剂*, 2013(2): 224—228.
- LIU Kai-hua, XING Shu-jie. Study on the Preservation Effect of Chitosan Coating with Tea Polyphenols on Green Pepper[J]. *China Food Additives*, 2013(2): 224—228.

- [40] 刘开华, 邢淑婕. 壳聚糖中添加茶多酚对香菇贮藏品质的影响[J]. 食用菌学报, 2012, 19(3): 54—58.
LIU Kai-hua, XING Shu-jie. Effects of Adding Tea Polyphenols on Chitosan on Storage Quality of Mushrooms[J]. Journal of Edible Fungi, 2012, 19(3): 54—58.
- [41] WANG L, YAN D, MEN H, et al. Preparation and Characterization of Active Films Based on Chitosan Incorporated Tea Polyphenols[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 35—41.
- [42] 刘开华, 张宇航, 邢淑婕. 含茶多酚的大豆分离蛋白涂膜对甜樱桃保鲜效果的影响[J]. 茶叶科学, 2013(1): 67—73.
LIU Kai-hua, ZHANG Yu-hang, XING Shu-jie. Effects of Soy Protein Isolate Coatings Containing Tea Polyphenols on Preservation of Sweet Cherries[J]. Tea Science, 2013(1): 67—73.
- [43] 郭丛珊, 张丽叶. 含茶多酚大豆分离蛋白抗菌膜的制备及其性能和保鲜效果[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2011, 38(4): 104—109.
GUO Cong-shan, ZHANG Li-ye. Preparation, Properties and Fresh-keeping Effect of Tea Polyphenol Soy Protein Isolate Antibacterial Film[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science Edition), 2011, 38(4): 104—109.
- [44] 朱军莉, 孙丽霞, 董靓靓, 等. 茶多酚复合柠檬酸和氯化钙对秘鲁鱿鱼丝贮藏品质的影响[J]. 茶叶科学, 2013, 33(4): 377—385.
ZHU Jun-li, SUN Li-xia, DONG Liang-liang, et al. Effects of Tea Polyphenols Combined with Citric Acid and Calcium Chloride on the Storage Quality of Peruvian Squid Silk Storage[J]. Tea Science, 2013, 33(4): 377—385.
- [45] 李学鹏, 陈桂芳, 王金厢, 等. 基于群体感应抑制的丹皮提取物和茶多酚对冷藏大菱鲆的协同保鲜作用[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 223—229.
LI Xue-peng, CHEN Gui-fang, WANG Jin-xiang, et al. Synergistic Preservation Effect of Paeonol Extract and Tea Polyphenols on Refrigerated Turbot Based on Quorum Sensing Inhibition[J]. Food Science, 2017, 38(19): 223—229.
- [46] 柳丽莉. 植物多酚及其复方提高桑椹品质的研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2017.
LIU Li-li. Plant Polyphenols and Their Compounds Improve the Quality of Mulberry[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2017.