

研究进展

抑菌及抗氧化活性食品包装膜的研究进展

王海丽, 杨春香, 杨福馨, 李立

(上海海洋大学 食品热加工工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: **目的** 论述活性食品包装膜的研发技术与功能分类, 为食品包装行业的材料开发与研究提供基础。**方法** 以抑菌及抗氧化活性食品包装膜为主, 总结活性包装膜的制备方法及应用效果, 对活性膜研究过程中存在的问题进行较为深入的分析, 并总结抑菌性、抗氧化活性食品包装膜在国内外的研究进展, 同时展望活性包装膜的未来发展趋势。**结果** 抑菌及抗氧化活性食品包装膜的研究与开发处于起步阶段, 尚未建立起完善的研究应用体系, 其抑菌机理、抗氧化机理、安全性、时效性等相应的理论模型和检测方法还需进一步的深入研究。**结论** 抑菌及抗氧化活性食品包装膜有一定的高效性、稳定性及安全性, 具有较大发展潜力与市场价值。

关键词: 抑菌; 抗氧化; 活性包装; 食品包装膜

中图分类号: TB484.9; TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0083-06

Research Progress in Antimicrobial and Antioxidant Active Food Packaging Film

WANG Hai-li, YANG Chun-xiang, YANG Fu-xin, LI Li

(Engineering Research Center of Food Thermal-processing Technology, Shanghai Ocean University,
Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to discuss the R&D technology and functional classification of active food packaging film to lay a foundation for material development and research in food packaging industry. Based on the antimicrobial and antioxidant active food packaging films, the preparation method and application effect of active packaging film were summarized. An in-depth analysis on the existing problems in the process of researching active films was carried out. Moreover, the research progress in antimicrobial and antioxidant active food packaging film at home and abroad was summarized and the prospects on future development trend of active packaging film was put forward. The research and development of antimicrobial and antioxidant active food packaging film were still in its infancy. Moreover, the perfect research and application system had not been established. Its antibacterial mechanism, antioxidant mechanism, safety, timeliness and other relevant theory model and detection method still needed further intensive research. With certain efficiency, stability and safety, the antibacterial and antioxidant active packaging films have great development potential and market value.

KEY WORDS: antibacterial; antioxidant; active packaging; food packaging film

食品包装具有保护食品不受外来物理、化学及生物因素的破坏, 能够较长时间维持食品质量和营养价值的特点, 且在诸多方面起着越来越重要的作

用^[1]。随着消费者安全意识的提高和政府监管力度的逐步加强, 食品质量与安全已成为食品行业的两大关注热点。为保证食品安全与延长保质期,

收稿日期: 2016-05-20

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目 (14YZ120); 国家 863 项目 (2012AA0992301)

作者简介: 王海丽 (1990—), 女, 山东人, 上海海洋大学硕士生, 主攻食品包装技术。

通讯作者: 李立 (1977—), 男, 湖南人, 上海海洋大学副教授, 主要研究方向为食品包装材料与工艺。

各种新型活性包装技术也应运而生。食品腐败变质主要是由于霉菌、细菌、酵母菌等微生物繁殖^[2]以及虫类的繁殖和食品氧化共同作用的结果^[3]。应从食品腐败的原因出发,针对食品的不同特性以及实际包装需求,研发出具有特定保鲜功能的活性包装膜制备技术及包装膜,如抗氧化活性膜^[4]、抗菌活性膜^[5]等功能性活性食品保鲜膜。

1 抗氧化活性包装膜

抗氧化活性包装膜是通过在包装材料中加入抗氧化剂,包装食品后释放到食品表面以延长保质期、维持食品感官品质的包装材料^[6]。一般情况下为减少食品的脂质过氧化,主要通过直接向食品中添加抗氧化剂或者对食品进行真空包装,但这些已有技术都存在一定缺陷,如真空包装其除氧能力和所能达到的真空度有限,包装效率较低,应用范围窄,不适合外形尖锐、松脆易碎、易结块的产品;充氮包装易发生氧气的二次渗入,且抗氧化保护效果受氮气纯度制约,包装成本随着氮气纯度的升高而升高^[7]。通过对普通塑料树脂膜基材进行物理化学改性,制备出本身具有抗氧化效果的包装薄膜,既简单又经济^[8]。

1.1 食品抗氧化剂的类型

食品抗氧化剂是指能防止或延缓食品被氧化从而延长贮存期的食品添加剂。具有抗氧化作用的物质有很多,但可用于食品的抗氧化剂应具备以下条件:安全性高;抗氧化效果优良且稳定性高(不易分解);使用方便,价格便宜^[9]。抗氧化剂种类较多,主要来源于人工合成与天然提取,像丁基羟基茴香醚(BHA)、2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)等都是常见的合成型抗氧化剂,但化学合成抗氧化剂一直存在着敏感的安全性问题。天然抗氧化剂主要以植物提取物或者植物精油的应用形式存在,其原材料在自然界分布很广泛,主要有谷物类、果蔬类、油料作物种子、豆科植物、可可、香辛料、精油^[10-11]以及中草药等。相对于化学合成的抗氧化剂,天然抗氧化剂更加安全、健康,因而成为目前食品抗氧化研究的重点。

1.2 制备方法及其应用

释放型、吸收型和固化型是抗氧化活性包装体

系的3种主要抗氧化作用形式^[12]。释放型抗氧化包装是通过扩散作用到达食品表面或逐步扩散在被包装食品周围,使被包装食品处于无氧环境内从而达到抑制食品氧化酸败的作用^[13]。吸收型抗氧化包装主要是通过向包装袋内添加小袋包装的抗氧化剂或抗氧化衬垫的形式吸收包装内环境的O₂,从而抑制食品的氧化酸败。固化型抗氧化包装系统不释放抗氧化剂,仅保护与包装接触的食品表面不被氧化。

目前关于抗氧化活性包装薄膜已有很多不同制备方法,按照对塑料树脂改性方式的不同可分为物理改性与化学改性两大类。

1.2.1 物理改性法

抗氧化活性剂与树脂母粒共混后挤出吹塑或流延成膜,这是最简便、经济的制备方法。Dicastillo等^[14]将天然抗氧化剂儿茶素与槲皮素加入EVOH中,通过挤出吹塑工艺,制成活性抗氧化膜。该研究使得EVOH共聚物保持了EVOH材料的原有典型特性,且依赖于薄膜所暴露于食品模拟物的类型释放活性剂,获得较强的抗氧化能力。另有研究将绿茶提取物、抗坏血酸、阿魏酸、栝精等以不同比例通过溶液-流延工艺制备出样品薄膜,测试薄膜的各种表征性能,并实际应用于腌渍沙丁鱼的包装,结果发现在储存的15 d中,含绿茶提取物的薄膜包装的沙丁鱼样品中的过氧化值从34 mol/kg降低到24 mol/kg(脂肪),丙二醛的浓度减少了25%^[15]。

目前,将天然抗氧化剂与纳米材料相结合已成为研究热点。Beltran等^[16]用羟基络醇与纳米蒙脱土(Cloisite 30B)对聚乙烯(PE)树脂进行改性,结果纳米蒙脱土可减慢活性PE包装膜中羟基络醇的释放。韩甜甜等^[17]以槲皮素为活性抗氧化剂,以改性前后的膨润土、高岭土、硅藻土为缓释剂,制备出具有缓释抗氧化剂性能的缓释抗氧化膜,并研究了填料种类、改性、添加量对缓释抗氧化包装膜物理性能和缓释性能的影响。纳米材料,例如蒙脱土、膨润土等之所以能够增强抗氧化性且起到缓释、控释的作用,是因为纳米黏土的层状结构改变了抗氧化剂等渗透的流动轨道,使其更加曲折,避免抗氧化剂的快速释放并增加氧气等物质渗透途径的曲折度,从而增强了薄膜对气体的阻隔性^[18]。

1.2.2 化学改性法

微囊型和分子键合型活性抗氧化薄膜是2种典型的化学制备方法。大多数天然抗氧化剂具有高

挥发、低溶解的特点,在实际应用过程中存在不少问题。Dias 等^[19]基于壳聚糖的正电性,选择蒙脱土(MMT-Na)作为改性剂,不仅能够改善壳聚糖膜的力学性能与阻隔性能,而且提供一种负电荷性,通过静电相互作用形成微囊,将 α -生育酚包合在微胶囊中。与此类似,还有研究将 β -环糊精与柠檬醛制成微胶囊复合基后加入壳聚糖成膜液,涂布成膜后应用于牛肉的保鲜包装,使其货架期延长 5~7 d^[20]。Tian 等^[21]将羧酸嫁接到聚丙烯(PP)膜表面,制备出的非迁移性纳米型金属螯合改性膜(PP-g-PAA 膜)可有效抑制脂质氧化。

2 抗菌性活性包装膜

微生物是影响食品货架期的重要因素之一^[22]。随着人们对食品质量要求的提高,在食品加工中应尽量减少化学添加剂,这对食品从加工产地流通到销售市场的储存提出了新的挑战。抗菌材料一方面可尽量降低微生物污染,保障食品品质安全;另一方面因为减少了食品中防腐剂的含量,可满足消费者的购买需求。

抗菌材料是指在包装材料表面或内部添加抗菌剂或用抗菌剂对塑料包装材料的树脂母粒进行共混改性,使材料自身具有抑制、延缓食品表面微生物生长繁殖的作用,如抗菌包装膜、抗菌塑料、抗菌纸^[23]等,具有广泛的开发应用前景^[24—25]。其抗菌功能的实现主要通过 2 种方式:直接抗菌,即包装材料与食品直接接触,抗菌剂直接起作用,实现抗菌目的^[26];间接抗菌,即在包装材料中添加抗菌成分改变了包装内微环境,抗菌剂可从包装材料上释放到食品表面,充溢着整个包装内环境。当抗菌剂与细菌体接触时,可渗透细胞壁,破坏其功能,从而抑制微生物的生长繁殖^[27]。

2.1 抗菌剂的类型

抗菌剂是抑菌包装材料的核心物质,其来源也十分广泛。首先,它可来源于植物提取物的天然抗菌剂,如孟宗竹、薄荷^[28]、山葵、蓖麻油等的提取物、植物精油^[29—30]以及壳聚糖等。有研究发现,将壳聚糖涂覆于聚丙烯(PP)薄膜不仅使 PP 包装膜具有了一定的抗菌功能,而且改善了其物理性能^[31]。其次,它可来源于无机抗菌剂^[32],以 Ag, Cu, Zn, Ti 等金属离子和金属氧化物为主,且以 Ag⁺为活性

组分的金属离子型和以 TiO₂ 为代表的光催化型应用最为广泛。为避免长期使用过程中 Ag⁺被光、热等还原而丧失其抗菌效果,使 Ag⁺缓释的载体制备的载银抗菌剂有较大应用空间^[33]。再次,它可来源于有机化学抗菌剂^[34],主要分为低分子有机抗菌剂和高分子有机抗菌剂。其中,有机金属、季铵盐类、双胍类、醇类、酚类、咪唑类等是低分子有机抗菌剂的主要代表;高分子有机抗菌剂主要是通过引入抗菌官能团而获得相应的抗菌性,包括官能团单体均聚、共聚引入或接枝引入^[35]。最后,抗菌剂可原来与细菌素和溶菌酶。细菌素是一种抑菌范围广、热稳定性高,且在不破坏食品风味和组织状态的同时延长食品保质期^[36]的生物活性蛋白质或多肽,是由某些细菌的代谢过程中通过核糖体合成。另外,有研究表明,碱性球蛋白中的溶菌酶^[37—38]对大肠杆菌等细菌具有明显抑制作用^[39],但溶菌酶对革兰氏阴性菌的抗菌效果相对较弱^[40]。

2.2 制备方法及应用

2.2.1 直接添加抗菌剂

该方法主要针对具有高稳定性的抗菌剂,主要存在 3 种应用方式:直接共混法,即将抗菌剂与树脂母粒按照所需比例混合,直接加工成膜;抗菌剂母粒化法,即抗菌剂与树脂母粒共混后进行二次造粒得到抗菌母粒,之后再挤出吹塑或流延成膜,使抗菌剂分散更加均匀,抗菌效果也有所提升,杨辉等^[41]将丁香精油和葡萄籽精油与 EVOH 树脂共混造粒再制膜,并对草鱼进行包装实验,可延长保质期至 8 d;抗菌剂纳米控制型抗菌膜,因一些抗菌剂具有高挥发、低溶解等特性,在高温成膜过程中会有大量损失,所以加入纳米蒙脱土对抗菌剂形成一定的保护层并控制包装过程中抗菌剂的释放,从而有效延长抗菌剂的有效期^[42—44]。

2.2.2 化学键合法

化学键合法主要包括 2 种类型:首先遴选出具有广谱抗菌性、无毒副作用且稳定性高的抗菌官能团,并将其以离子键或共价键的形式与包装材料相结合,可克服普通有机抗菌剂与包装材料的耐热性差、相容性差和易解析出等缺点^[45],Galet 等^[46]将溶菌酶以共价键固定于 EVOH 表面,改变 EVOH 的表面特性且证实了 EVOH 表面固定化溶菌酶能够制备出抗菌包装;为避免抗菌剂的挥发流失、控

制其释放速率,因而用具有“内疏水,外亲水”性质的 β -环糊精等这类化学物质对抗菌剂进行包埋,形成特殊的包络物,Chen等^[47-48]用 β -环糊精对柠檬醛进行包埋后制成壳聚糖薄膜,对牛肉片进行包装,结果发现可将新鲜牛肉的保质期延长5 d。

2.2.3 包覆或吸附型的抗菌包装

应用不耐高温性质的抗菌剂时,主要通过包覆或者吸附的形式实现。实际生产时,先将包材制备成一定的应用形式(如薄膜)后,再对其进行表面处理以获得较高的吸附能力,在表面吸附或包覆一定量的抗菌剂,从而具备一定的抗菌性^[49]。

2.2.4 成膜基材

自然界中存在很多不仅具有良好的成膜性,而且安全无毒、抗菌效果良好的材料可直接用作食品的抗菌包装,如聚-L-赖氨酸、山梨酸和壳聚糖等。壳聚糖自身易成膜,且透气性和抗菌性都很好,已被广泛用于果蔬和肉类的保鲜研究应用。另外,壳聚糖与其他物质(如聚乙烯醇、淀粉等)的共混改性及应用已成为包装材料研究的新方向^[50-51]。

3 结语

抑菌及抗氧化活性包装膜因其在抑制食品氧化腐败和细菌滋生、延长货架期等方面表现出多重优势,已引起研究者及食品产业的广泛关注。活性包装膜的发展处于起步阶段,并未建立起成熟完整的研究应用体系,缺乏系统的理论知识作基础。如抗氧化包装膜与被包装食品间的抗氧化机制以及抑菌膜与相关微生物间的抑菌机制有待深入探讨;活性剂与薄膜基材的相容性需要进一步提高;薄膜挤出吹塑过程中,高温及高剪切力可能会损坏活性剂的结构,不能充分实现理想的活性包装膜的功能等。

就目前研究现状来看,抑菌及抗氧化活性包装已经成为食品包装界具有较大发展潜力的发展方向之一,未来发展可能会出现4个趋势:根据研究及使用目的,将会使用高效绿色且与薄膜基材有良好相容性的活性剂作为添加剂;抗菌剂、抗氧化剂从包装膜中的溶出速率以及向食品中扩散的动态变化规律有待深入且系统的研究;根据活性物质的结构特性、释放特点及其影响因素,建立和完善活性物质释放速率的研究模型;针对特定食品,活性包装膜可与其他包装技术相结合,从而延长食品货架期。

参考文献:

- [1] 黄志刚,刘凯,刘科.食品包装新技术与食品安全[J].包装工程,2014,35(13):161—166.
HUANG Zhi-gang, LIU Kai, LIU Ke. New Technologies in Food Packaging and Food Safety[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 161—166.
- [2] 曾荣,陈金印,林丽超.丁香精油及丁香酚对食品腐败菌的抑菌活性研究[J].江西农业大学学报,2013(4):852—857.
ZENG Rong, CHEN Jin-yin, LIN Li-chao. Antimicrobial Activity of Clove Essential Oils and Eugenol against Food-borne Bacteria[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2013(4): 852—857.
- [3] 贺琛,王臻,梅婷,等.食品活性包装研究的进展与趋势[J].包装与食品机械,2011(3):40—44.
HE Chen, WANG Zhen, MEI Ting, et al. Research Progress and Trends of Food Packaging[J]. Packaging and Food Machine, 2011(3): 40—44.
- [4] OUSSALAH M, CAILLET S, SALMIÉRI S, et al. Antimicrobial and Antioxidant Effects of Milk Protein-based Film Containing Essential Oils for the Preservation of Whole Beef Muscle[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(18): 598—605.
- [5] 匡衡峰,胡长鹰,刘芳,等.纳米ZnO复合食品抗菌包装膜研究进展[J].包装工程,2015,36(11):16—23.
KUANG Heng-feng, HU Chang-ying, LIU Fang, et al. Research Progress of Nano Zinc Oxide in Food Antimicrobial Composite Packaging Film[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(11): 16—23.
- [6] CASTRO L M, DICASTILLO C, VILARINO J M, et al. Improving the Capacity of Polypropylene to Be Used in Antioxidant Active Films: Incorporation of Plasticizer and Natural Antioxidants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(35): 62—70.
- [7] 孙建明,李昭,吴龙奇.抗氧化包装之无氧包装设计研究[J].包装工程,2014,35(9):41—46.
SUN Jian-ming, LI Zhao, WU Long-qi. Research on Design of Oxygen-free Packing for Antioxidant Packaging[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 41—46.
- [8] 陈晨伟,段恒,贺璇璇,等.茶多酚改性对聚乙烯醇膜吸湿特性及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2016(1):40—44.
CHEN Chen-wei, DUAN Heng, HE Xuan-xuan, et al. The Effect of Tea Polyphenols Modification to PVA-Film on Moisture Absorption Characteristics and Antioxidant Activity[J]. Food Science, 2016(1): 40—44.
- [9] 李银聪,阚建全,柳中.食品抗氧化剂作用机理及天然抗氧化剂[J].中国食物与营养,2011(2):24—26.
LI Yin-cong, KAN Jian-quan, LIU Zhong. Food Antioxidant Mechanism and the Natural of Antioxidant[J]. China's Food and Nutrition, 2011(2): 24—26.
- [10] 章林,黄明,周光宏.天然抗氧化剂在肉制品中的应用研究进展[J].食品科学,2012(7):299—303.
ZHANG Lin, HUANG Ming, ZHOU Guang-hong.

- Research Progress on Natural Antioxidant for the Application in Meat Products[J]. Food Science, 2012(7): 299—303.
- [11] 许艺涵, 张炜杰. 具有抗菌功能明胶膜的研究进展[J]. 明胶科学与技术, 2015(3): 124—127.
- XU Yi-han, ZHANG Wei-jie. Research Progress on Gelatin Films with Antibacterial Properties[J]. The Science and Technology of Gelatin, 2015(3): 124—127.
- [12] HAN J H. Antimicrobial Food Packaging[J]. Novel Food Packaging Techniques, 2003(8): 50—70
- [13] 陈晨伟, 段恒, 杨福馨, 等. 释放型食品抗氧化活性包装膜研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 36—42.
- CHEN Chen-wei, DUAN Heng, YANG Fu-xin, et al. Research Progress in Release-type Food Antioxidant Active Packaging Film[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 36—42.
- [14] DICASTILLO C, ALONSO J M, CATALA R, et al. Improving the Antioxidant Protection of Packaged Food by Incorporating Natural Flavonoids into Ethylene-vinyl Alcohol Copolymer (EVOH) Films[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(20): 58—64.
- [15] DICASTILLO C, ESTACA J, CATALA R, et al. Active Antioxidant Packaging Films: Development and Effect on Lipid Stability of Brined Sardines[J]. Food Chemistry, 2012(4): 1376—1384.
- [16] BELTRAN A, VALENTE A J M, JIMENEZ A, et al. Characterization of Poly (ϵ -caprolactone)-Based Nanocomposites Containing Hydroxytyrosol for Active Food Packaging[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(10): 2244—2252.
- [17] 韩甜甜. 新型缓释型食品抗氧化包装膜的研发[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- HAN Tian-tian. Development of New Slow-Release Antioxidant Food Packaging Film[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [18] AZEREDO H M. Nanocomposites for Food Packaging Applications[J]. Food Research International, 2009, 42(9): 1240—1253.
- [19] DIAS M V, AZEVEDO V M, BORGES S V, et al. Development of Chitosan/Montmorillonite Nanocomposites with Encapsulated α -Tocopherol[J]. Food Chemistry, 2014(5): 323—329.
- [20] CHEN H J, SHU J W, PENG L P, et al. Application of Coating Chitosan Film-forming Solution Combined β -CD-Citral Inclusion Complex on Beef Fillet[J]. Food and Nutrition Research, 2014(10): 692—697.
- [21] TIAN F, DECKER E A, GODDARD J M. Control of Lipid Oxidation by Nonmigratory Active Packaging Films Prepared by Photoinitiated Graft Polymerization[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(31): 7710—7718.
- [22] 周三九, 李月明, 韩德权, 等. 可食性降解抗菌保鲜膜的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(11): 3542—3547.
- ZHOU San-jiu, LI Yue-ming, HAN De-quan, et al. The Research Progress of Degradation Antimicrobial Preservative Film Edibility[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2014(11): 3542—3547.
- [23] 袁麟, 钱学仁. 国内外抗菌纸的研发现状与发展趋势[J]. 中国造纸, 2013(2): 56—60.
- YUAN Lin, QIAN Xue-ren. Research & Development Situation and Trend of Antibacterial Paper at Home and Abroad[J]. China's Paper Industry, 2013(2): 56—60.
- [24] 赵俊燕, 罗世永, 许文才. 抗菌包装研究进展[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 132—137.
- ZHAO Jun-yan, LUO Shi-yong, XU Wen-cai. Developments of Antimicrobial Packaging[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 132—137.
- [25] 束浩渊, 潘磊庆, 屠康, 等. 抗菌材料在食品包装中的研究进展[J]. 食品科学, 2015(5): 260—265.
- SHU Hao-yuan, PAN Lei-qing, TU Kang, et al. Advances in Research on Antibacterial Materials in Food Packaging[J]. Food Science, 2015(5): 260—265.
- [26] 毕海丹. 抗菌包装技术及其在肉类保鲜中的应用[J]. 肉类研究, 2009, 23(2): 57—61.
- BI Hai-dan. Antimicrobial Packaging Technology and Its Application in Meat Preservation[J]. Meat Research, 2009, 23(2): 57—61.
- [27] 付丽, 孔保华. 抗菌包装在肉类保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2004(8): 128—130.
- FU Li, KONG Bao-hua. Antimicrobial Packaging Application in Meat Preservation[J]. The Food Industry Science and Technology, 2004(8): 128—130.
- [28] 王宇. 抗菌剂、抗菌材料及其在包装中的应用[J]. 中国包装工业, 2008(3): 36—38.
- WANG Yu. Antibacterial, Antibacterial Materials and Their Application in the Packaging[J]. China Packaging Industry, 2008(3): 36—38.
- [29] CHEN M, WANG Z W, HU C Y, et al. Effects of Temperature on Release of Eugenol and Isoeugenol From Soy Protein Isolate Films into Simulated Fatty Food[J]. Packaging Technology and Science, 2012, 25(8): 485—492.
- [30] 王丹, 周才琼. 植物精油在可食性抗菌膜中的应用[J]. 食品工业科技, 2014(1): 349—354.
- WANG Dan, ZHOU Cai-qiong. The Application of Plant Essential Oil in Edible Antimicrobial Film[J]. The Food Industry Science and Technology, 2014(1): 349—354.
- [31] 柴福莉, 王家俊. 壳聚糖乳清分离蛋白在食品包装中的应用[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 37—38.
- CHAI Fu-li, WANG Jia-jun. The Application of Chitosan Isolates Whey Protein in Food Packaging[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 37—38.
- [32] 《中国组织工程研究与临床康复》杂志社学术部. 抗菌生物材料在临床医学领域中的应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010(2): 95—96.

- Academic Department of the Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research. The Application of Antibacterial Biomaterials in Clinical Medicine Field[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2010(2): 95—96.
- [33] 莫尊理, 胡惹惹, 王雅雯, 等. 抗菌材料及其抗菌机理[J]. 材料导报, 2014(1): 50—52.
MO Zun-li, HU Re-re, WANG Ya-wen, et al. Antibacterial Materials and the Antibacterial Mechanism[J]. Material Review, 2014(1): 50—52.
- [34] 夏金兰, 王春, 刘新星. 抗菌剂及其抗菌机理[J]. 中南大学学报, 2004(1): 31—38.
XIA Jin-lan, WANG Chun, LIU Xin-xing. Antibacterial Agent and Its Antibacterial Mechanism[J]. Journal of Central South University, 2004(1): 31—38.
- [35] 张葵花, 林松柏, 谭绍早. 有机抗菌剂研究现状及发展趋势[J]. 涂料工业, 2005(5): 45—49.
ZHANG Kui-hua, LIN Song-bai, TAN Shao-zao. Research Status and Development Trend Organic Antibacterial[J]. Coating Industry, 2005(5): 45—49.
- [36] 田晓乐, 孟庆繁, 周杰, 等. 微生物防腐剂——细菌素的研究与应用[J]. 食品工业科技, 2004(1): 120—123.
TIAN Xiao-le, MENG Qing-fan, ZHOU Jie, et al. The Research and Application of Microbial Preservatives: Bacteriocin[J]. The Food Industry Science and Technology, 2004(1): 120—123.
- [37] 刘益丽, 邓霄禹, 江明锋. 溶菌酶抑菌活性及检测方法研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(8): 189—194.
LIU Yi-li, DENG Xiao-yu, JIANG Ming-feng. Review of Lysozyme Bacteriostatic Activity and Detection Methods[J]. China Animal Husbandry and Veterinary, 2013, 40(8): 189—194.
- [38] 贾向志, 李元, 马文煜. 溶菌酶的研究进展[J]. 生物技术通讯, 2002, 13(9): 374—377.
JIA Xiang-zhi, LI Yuan, MA Wen-yu. The Research Progress of Lysozyme[J]. Biotechnology Communications, 2002, 13(9): 374—377.
- [39] 尹金凤. 溶菌酶对大肠杆菌的抗菌作用机制及其增效技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
YIN Jin-feng. Study on the Antibacterial Mechanism of Lysozyme against Escherichia Coli and Its Synergistic Effect[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [40] 邓霄禹, 胡明军, 江明锋. 反刍动物胃溶菌酶的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2012, 39(9): 143—147.
DENG Xiao-yu, HU Ming-jun, JIANG Ming-feng. The Research Progress of Ruminant Stomach Lysozyme[J]. China Animal Husbandry and Veterinary, 2012, 39(9): 143—147.
- [41] 杨辉, 杨福馨, 欧丽娟, 等. 植物精油-EVOH 活性包装膜对草鱼鱼肉保鲜效果的研究[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 320—324.
YANG Hui, YANG Fu-xin, OU Li-juan, et al. Evaluation of Active EVOH Packaging Films Incorporated with Essential Oils for Quality Preservation of Grass Carp during Cold Storage[J]. Food Science, 2014, 35(22): 320—324.
- [42] TUNC S, DUMAN O. Preparation of Active Antimicrobial Methyl Cellulose/Carvacrol/Montmorillonite Nanocomposite Films and Investigation of Carvacrol Release[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(2): 465—472.
- [43] SHEMESH R, KREPKER M, GOLDMAN D, et al. Antibacterial and Antifungal LDPE Films for Active Packaging[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2015, 26(1): 110—116.
- [44] BARZEGAR H, AZIZI M H, BARZEGAR M, et al. Effect of Potassium Sorbate on Antimicrobial and Physical Properties of Starch-clay Nanocomposite Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 110(18): 26—31.
- [45] 安美清. 抗菌材料在食品包装中的应用[J]. 重庆工商大学学报, 2009, 26(3): 295—297.
AN Mei-qing. The Application of Antibacterial Material in Food Packaging[J]. Journal of Chongqing Industry and Commerce University, 2009, 26(3): 295—297.
- [46] GALET V, TALBERT J N, MUNOZ P, et al. Covalent Immobilization of Lysozyme on Ethylene Vinyl Alcohol Films for Nonmigrating Antimicrobial Packaging Applications[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(27): 6720—6727.
- [47] CHEN H J, YANG F X, OU L J, et al. The Effects of the Film Made by Citral β -Cyclodextrin Inclusion Complex Combined with Chitosan on Fresh Beef[C]//Guangzhou: Advanced Materials Research, 2014.
- [48] CHEN H, SHU J, PENG L I, et al. Application of Coating Chitosan Film-forming Solution Combined β -CD-Citral Inclusion Complex on Beef Fillet[J]. SAGE, 2014, 2(10): 692—697.
- [49] 刘冰. 抗菌技术及其在食品包装中的应用[J]. 湖南包装, 2008(2): 21—23.
LIU Bing. The Antibacterial Technology and Its Application in Food Packaging[J]. Hunan Packaging, 2008(2): 21—23.
- [50] 李婷, 钟泽辉, 邵杰, 等. 食品抗菌包装材料的研究进展[J]. 包装学报, 2011, 3(2): 34—36.
LI Ting, ZHONG Ze-hui, SHAO Jie, et al. The Research Progress of Food Antimicrobial Packaging Materials[J]. Journal of Packaging, 2011, 3(2): 34—36.
- [51] YANG F, HU S, LU Y, et al. Effects of Coatings of Polyethyleneimine and Thyme Essential Oil Combined with Chitosan on Sliced Fresh C Hanna Argus During Refrigerated Storage[J]. Journal of Food Process Engineering, 2015, 38(3): 225—233.