

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.01.001

抑菌包装塑料薄膜的研究与应用进展及展望

Research on the advances and prospects application of antibacterial packaging plastic film

杨福馨 丁晓彤 邱艳娜

YANG Fu-xin DING Xiao-tong QIU Yan-na

张炯炯 范飞 陈祖国

ZHANG Jiong-jiong FAN Fei CHEN Zu-guo

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要: 抑菌包装塑料薄膜是一种抵抗微生物侵蚀, 提高食品保质期的新型包装材料。文章分别从抑菌包装塑料薄膜作用、制膜方法、抑菌机理、纳米改性、抗菌剂改性、液体食品抑菌, 以及抑菌包装塑料薄膜应用等方面进行综述, 并对抑菌塑料包装薄膜的应用和研究方向进行了展望。

关键词: 抑菌; 塑料薄膜; 改性; 应用

Abstract: Antibacterial packaging plastic film is a kind of new packaging materials, which can resist to microbial erosion, improve food shelf life, has become a research hotspot. In this paper, the effects of antibacterial plastic film, film preparation method, antibacterial mechanism, nano-modification, antibacterial agent modification, liquid food antibacterial and antibacterial packaging plastic film were reviewed and discussed. It is prospective to the application and research direction of antibacterial packaging plastic film.

Keywords: antibacterial; plastic film; modification; application

1 抑菌塑料薄膜的作用与制膜方法

1.1 抑菌塑料薄膜的作用

随着塑料的广泛使用, 塑料制品已走进食品包装、家用电器、厨用卫品、汽车配件和医疗设备等领域。日常生

活中塑料制品表面往往带有大量细菌, 成为疾病传播的媒介, 对人类健康产生很大威胁。抑菌塑料作为一种新型功能材料, 可以从根源上解决细菌感染问题^[1]。

抑菌塑料薄膜是一种具有抑菌和杀菌性能的新型材料, 用抑菌塑料包装食品, 通过缓释作用, 抑制或杀死食品表面细菌。抑菌塑料包装又称抗菌包装技术, 即在包装材料内部或表面添加抗菌剂或运用满足传统包装要求的抗菌聚合物, 杀死或抑制污染食品表面的腐败菌和致病菌, 使被包装物能较长时间保存的一种包装技术^[2-4]。用于食品抗菌包装的材料主要有: 固定型、释放型、冲刷型塑料包装、抗菌涂层包装、直接加入抗菌剂的塑料包装、表面固定抗菌剂的塑料包装、表面改性的塑料薄膜^[5]。

1.2 抑菌塑料薄膜的制膜方法

1.2.1 造粒吹膜法 造粒即制备抗菌母粒, 是目前最常用的制备方法^[6], 制备过程如下: 将抗菌剂添加到树脂中^[7], 在双螺杆装置中高温熔融并与基材树脂混均, 然后, 通过切粒机制备抗菌母粒。吹膜法即通过单螺杆挤出装置将上述抗菌母粒进行高温熔融, 冷却, 收卷, 得到双层桶状薄膜。

1.2.2 造粒流延法 造粒过程同上, 流延法利用塑料挤出装置将抗菌树脂融化, 通过滚筒装置将薄膜均匀分散, 最终得到单层平面薄膜。

1.2.3 液体涂膜法 利用涂膜机, 将加有抗菌剂的 PVA 液体胶均匀涂抹在已加热好的薄膜表面, 静置 45 min, 将成品膜取出。

2 抑菌包装塑料薄膜的机理研究

对于抑菌包装塑料薄膜机理的研究, 目前还停留在

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(编号: 2018YFD0400701); 上海市科委工程中心建设基金资助项目(编号: 11DZ2280300); 上海市高校一流学科基金资助项目(编号: A2-2019-14-0003)

作者简介: 杨福馨(1958—), 男, 上海海洋大学教授, 硕士生导师, 博士。E-mail: fxyang@shou.edu.cn

收稿日期: 2018-09-30

较为浅显的层次。总的来说,大致可分为 3 种类型:内层抗菌外层不释放、单层释放、内层抑菌外层阻隔。

2.1 内层释放型抑菌包装

释放型抑菌包装是将具有抑菌功能的物质(食品级添加剂)直接添加在薄膜基材内制成薄膜,这类薄膜在包装食品过程中会不断向与其接触的食品表面释放抑菌物质实现对食品的抑菌保鲜^[8]。常用的抑菌剂包括食品添加剂、抑生素和溶菌酶等。这类抑菌包装膜的研究和使用最为广泛。

2.2 外层非释放型抑菌包装

复合材料的抑菌是通过在外层添加能够调节包装内封闭环境的物质或利用包装膜对气体的选择透过性调节包装内微环境实现抑菌^[9]。

影响抑菌包装膜效果的因素很多^[9]。为确保抑菌包装的有效性,在制作使用抑菌包装时要充分考虑以下几个因素。

(1) 要充分了解所包装食品的主要易感菌数量及生长繁殖特性。这有助于针对性地选择抑菌剂的种类和添加量,或最有效的包装内微环境调节指标^[10],有助于准确估计抑菌包装的效果及其包装食品的寿命(保质期或最佳食用期)^[11]。抑菌包装的抑菌量和抑菌能力是有限的,所以,要求被包装食品尽可能避免起始污染。

(2) 基材的选择对抑菌包装膜的功能也有非常重要的影响。这主要取决于基材与抑菌剂的相容性、生物学特性以及它与抑菌剂或微环境之间的相容性和包装膜自身的透明度^[12]。因此,基材的性质决定着抑菌包装膜的可使用性,合理的基材选择,也有利于抑菌包装膜的抑菌效果。

(3) 抑菌包装中所添加的活性抑菌剂以及包装膜对环境或食品的稳定性也对抑菌包装的抑菌效果具有重要影响。这取决于抑菌包装的工艺设计,及其对活性抑菌剂与环境的阻隔效果^[13]。当然,选择安全性高、价格低、易获得、能被大众接受的材料是食品抑菌包装走向市场的有利条件。

3 纳米粒子改性塑料薄膜

3.1 纳米材料选择问题

纳米材料是颗粒尺寸 $<10\text{ nm}$ 的超细材料。它具有小尺寸效应、大比表面积效应、体积效应和量子隧道效应^[14]。纳米粒子尺寸较小,透光性好,加入塑料中可使塑料结构变得很致密,不仅有增大薄膜强度的作用,还能赋予基材其他新的性能。

纳米粒子改性塑料按填料种类分为金属纳米塑料、无机非金属纳米塑料和有机纳米塑料^[15],主要研究领域集中在低密度聚乙烯(LDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)、超高分子量聚乙烯(UHMWPE)、PP、PVC、PS、尼龙(PA)、

PVA 和丙烯酸类塑料方面。纳米粒子改性塑料的性能主要包括力学性能^[16-17]、摩擦学性能、电学性能、阻隔性能、抑菌性能等^[18]。

3.2 纳米材料在塑料薄膜中使用

纳米包装材料是一种新型包装材料,通过向原有包装材料中加入纳米材料进行改性、复合,赋予新材料具有纳米材料的表面等离子体性质,并表现出很好的抑菌性、力学性和透气性等^[19],目前已广泛应用于食品、环境、医药等领域^[20]。如纳米银具有良好的抗菌能力、细菌不产生抗药性,具有一定的耐光性、良好的耐热性和缓释性能^[21]。纳米材料能有效阻止微生物生长,延长产品储藏期。特别是半透明塑料薄膜,添加纳米粒子后不但透明度得到提高,韧性、强度也有所改善,且防水性大大增强。

杜运鹏等^[22]研究了纳米改性聚乙烯醇抗氧复合包装薄膜的制备及对山药保鲜作用,发现纳米改性物质的加入提高了聚乙烯醇薄膜的拉伸强度,降低了薄膜的水蒸气透过率和氧气透过率,延长了鲜切山药的保存期。余科林等^[23]用纳米聚乙烯包装袋包装草菇,显著延长了草菇的保存期。王超^[24]将表面改性纳米 TiO_2 添加到聚丙烯中,发现添加 5% 的纳米 TiO_2 改性聚丙烯的弯曲、拉伸和冲击力学性能最优。

纳米材料在延长保质期的同时能很好地维持产品的感官品质,但其安全性仍需进一步证实。纳米材料在食品包装过程中的迁移规律及在细胞内的生物毒性是未来研究的热点^[20]。

4 抗菌剂改性塑料薄膜

4.1 抗菌改性塑料薄膜的定性

抗菌改性塑料薄膜是把塑料树脂和抗菌剂组合起来,把制约食品保存的各种因素结合,以提高食品货架期和安全性的综合方法^[25]。抗菌改性塑料薄膜是具有杀菌性和抑菌性的新型功能性薄膜,其核心成分就是抗菌剂,将微量抗菌剂添加到普通材料中制成的抗菌薄膜具有卫生自洁功能^[26]。

4.2 抗菌剂的选取分类

抗菌剂改性塑料薄膜使用的抗菌剂分为无机抗菌剂、合成抗菌剂和天然抗菌剂。无机抗菌剂有两类,一是把无机化合物中具有抗菌功能的金属离子作为抗菌性物质;二是使用光化学反应中产生的原子氧来灭菌。合成抗菌剂中山梨酸可抑制细菌、真菌,特别是霉菌的生长。天然抗菌剂主要来自天然物的提取,如壳聚糖、甲壳素、山葵等,使用简便,但抗菌作用有限,耐热性较差,杀菌率低,不能广谱长效使用且数量很少^[27]。

4.3 抗菌改性塑料薄膜的性能

抗菌剂改性塑料薄膜加工的关键是提高抗菌剂在树脂中的分散性、相容性和稳定性。其生产工艺复杂,既需

满足树脂本身的性能,还要有抗菌能力^[28]。有资料^[29]显示,日本是抗菌食品包装薄膜研究最多的国家;此外,英、法、美等国家的研究也已取得了长足进展。抗菌剂改性塑料薄膜的研究和应用已成为当今材料科学研究和发展的前沿与热点,必将逐步实现多功能化和性能多指标化^[1]。

户帅锋^[30]的研究表明,添加2%以上山梨酸的山梨酸-LDPE薄膜对单增李斯特菌和金黄色葡萄球菌具有很好的抑制作用。尹兴等^[31]的研究表明,当Nano-TiO₂的质量分数为4%时,Nano-TiO₂/PLA抗菌薄膜具有优良的抑菌效果。以海藻酸钠为基材、1%(质量分数)甘油为增塑剂、2%CaCl₂溶液为交联剂,ε-聚赖氨酸作为抗菌剂,制备的具有抑菌性的复合膜,抗菌性随ε-聚赖氨酸浓度的增大而增加,ε-聚赖氨酸的添加量为8%时,薄膜抗菌能力最强^[32]。Gutiérrez等^[33]将肉桂精油固定于厚度30μm聚丙烯薄膜上,使焙烤食品货架期延长了3~10d。李梅^[34]在LDPE中添加ZSM-5分子筛和二氧化钛制备了具有乙烯清除功能的抗菌保鲜薄膜,试验表明:分子筛含量为10%时,乙烯清除性最佳,二氧化钛含量5%时,薄膜抗菌率达到90%以上。魏丽娟^[35]研制的抗菌防雾包装膜用于香菇保鲜达到了很好的抗菌和保鲜效果。

抗菌剂改性塑料薄膜作为一种新型食品包装材料,不仅能抑制微生物侵害食品,还极大地延长了食品的保质期。因此,抗菌剂改性塑料薄膜正逐渐应用到食品包装的各行各业中。另外,把抗菌剂做成微软胶囊并与包材结合,也是抗菌剂改性塑料薄膜的另一个重要研究方向。

5 用于液体食品的抑菌塑料薄膜研究

随着饮料、乳品业迅速发展,液体类食品种类越来越多,品种不断丰富,不断增大的需求也带动了饮料、乳品生产商对包装的需要^[36-37]。

产品本身、环境与包装材料等都会影响液体食品的货架期^[38-40]。引起食品变质的微生物种类较多,常见的有杆菌类、沙门氏、霉菌等^[41]。延长食品货架期的传统方法是将防腐剂直接添加到食品中或提高包装袋的阻隔性^[42-43]。万重等^[44]研究了新型高阻隔包装材料在乳品包装领域的应用,但还不能从根本上解决微生物导致的乳品变质。魏凤玉等^[45]研究了竹叶黄酮在豆浆保鲜中的应用,延长豆浆的保质期8h,但对微生物的抑制效果有待进一步研究。

6 抑菌包装塑料薄膜的应用

当前世界各国的食品加工、储藏和运输技术正不断发展,形形色色的食品可以流通到世界各国,这不仅需要食品有较长货架寿命,还需要在运输储藏过程中保持新

鲜。将防腐剂直接添加到食物中可达到较长的保鲜效果,但可能导致防腐剂过量使用,影响食品本身味道。

6.1 在液体食品包装中的应用

新型包装材料针对特定微生物研究,能从根本上解决液体食品因微生物引起的变质和对人体健康的威胁。新型材料具有高阻隔性、抗菌性及防潮性等功能,包装能够改善食品口感,抑制微生物生长,延长食品货架期^[46]。随着生活质量的提高,牛奶和饮料等日常饮品的包装安全问题逐渐引起了人们的关注,因此,包装材料的卫生安全就显得尤为重要。黄志刚等^[9]研究了壳聚糖与其他物质的共混改性及应用,已成为包装材料研究的新方向。因此,新型材料已成为现在研究的热点。

6.2 在肉品包装中的应用

张玉琴等^[47]使用生物可降解性聚乳酸(PLLA)、聚乙烯醇(PVA)和聚己内酯(PCL),天然防腐剂乳酸链球菌素(Nisin)制备出抑菌薄膜,并用于冷鲜肉真空包装,能够保持贮藏期内肉品色泽,延长冷鲜肉货架期10d。Chen等^[48]用β-环糊精对柠檬醛进行包埋后制成壳聚糖薄膜,并用于牛肉片包装,可将新鲜牛肉的保质期延长5d。

6.3 在鱼品包装中的应用

杨福馨等^[49]用新鲜柚子皮与聚乙烯醇混合,研制出一种新型抑菌保鲜包装薄膜,并用于鱼品包装,改善了薄膜的性能,延长了鱼品的储藏期。杨福馨等^[50]利用自制的抑菌抗氧包装袋和生物气调保鲜包装袋包装半干草鱼块,可延长半干鱼品的保质期2~6d。蒋硕等^[51]以聚乙烯醇为基材制得抗菌包装薄膜,并用于鳊鱼肉包装,发现添加0.5g/100mL茶多酚、对羟基苯甲酸乙酯,1.5g/100mL丙酸钙的聚乙烯醇抗菌保鲜薄膜对(4±1)℃鳊鱼具有最佳的保鲜效果。

6.4 在果品包装中的应用

张燕等^[52]制备出聚乙烯醇柠檬酸改性抑菌薄膜,并研究其对鲜切苹果保鲜性能的影响,结果发现质量分数为2%的柠檬酸改性的薄膜可将鲜切苹果保质期延长5d。周斌等^[53]将柠檬草精油与聚乙烯醇复配成涂膜液,涂布于LDPE膜上,用于葡萄保鲜,结果发现该抑菌薄膜对葡萄的保鲜效果明显。Espitia等^[54]将吸有牛至、肉桂和柠檬草精油的聚合物树脂制成小袋,结合包装木瓜的纸袋对木瓜进行包装,发现能延长木瓜的保质期。

6.5 在蛋品包装中的应用

蛋品中抑菌薄膜主要是通过涂膜。赵美美等^[55]用中药材南五味子乙醇提取液复配Vc、柠檬酸及蔗糖脂肪酸酯、羧甲基纤维素和黄原胶制成抗菌乳液,对鸡蛋进行涂膜保鲜,30℃条件下,可延长保质期8d。龙门等^[56]将聚乙烯醇单膜和纳米Fe³⁺/TiO₂改性聚乙烯醇基紫胶复

合膜涂在新鲜鸡蛋表面,结果发现,鸡蛋的储藏期可延长 50 d 左右。顾凤兰等^[57]用聚偏二氯乙烯、纳米 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 功能改性聚乙烯醇基蜂蜡复合材料和紫胶复合材料 3 种涂膜材料对清洁鸡蛋进行 2 次浸涂风干涂膜处理,结果发现 3 种抑菌涂膜材料均能显著提高鸡蛋的储藏期。

7 研究与应用展望

7.1 研究展望

(1) 研究内容涉及面广、应用面多,形成多种成膜方法和众多产品应用,未来将会有更多的成果出现。

(2) 纳米改性的理论研究多,而将纳米改性的成膜,并有实际应用效果的研究少。

(3) 具有能形成产业化的抑菌薄膜研究较少,需要加强与产业相结合的研究,特别是工业化的抑菌薄膜亟待突破。

(4) 抑菌剂与成熟塑料树脂的相容性研究仍是空白。

7.2 应用展望

应用包括抑菌物料在塑料薄膜上的应用和制得的塑料薄膜在产品包装抑菌方面的应用。

(1) 抑菌物料单一而缺少突破的原理与技术。现很多研究都是局限于已知的几种抑菌物料,如壳聚糖、甲壳素、纳米钛、纳米银等。

再者如何将所选取的已知抑菌物料与塑料聚合物结合,其结合方式和原理缺乏研究,需要大量的分析、试验和探索等等,都急需研究并加以工程化应用。

(2) 纳米抑菌塑料薄膜已流于形式,现有许多的研究,都把纳米技术作为热点研究,但是纳米原材料、纳米尺度与塑料聚合物种类及流变性问题,都未有相关报告,急需针对塑料聚合物树脂的特性进行研究与试验。例如纳米材料在塑料聚合物中的分散性,就是抑菌塑料薄膜中的最大难题,进而实现成膜,其膜在经过高温混炼后,抑菌功能是否有影响?这也是研究中要解决的问题。

(3) 抑菌塑料薄膜在产品上的抑菌研究十分欠缺。现在研究塑料薄膜与产品抑菌效果脱离,做薄膜的不做微生物研究测试;做微生物研究的不知如何通过抑菌薄膜实现。未来的研究应将两者结合。

(4) 抑菌成分的量化问题。选择了抑菌成分后,为了实现最大的抑菌效果,需增大其用量但很多抑菌成分加入塑料聚合物中的比例很难提高,也不利于成膜。这需要各个参数的量化,如比例、温度、速度、温区长度等等。

参考文献

[1] 张立娟. 抗菌塑料的研究进展简述[J]. 广州化学, 2016, 41(1): 76-79.
[2] 赵俊燕, 罗世勇, 许文才. 抗菌包装研究进展[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 132-137.

[3] 段华伟, 汤树海. 食品包装用高阻隔抗菌薄膜的制备及性能分析[J]. 印刷技术, 2015(18): 46-48.
[4] 科学家开发出可食用抗菌薄膜[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(6): 208.
[5] 孙成伦, 王海鹰, 武文, 等. 抗菌塑料的研发及应用进展[J]. 塑料科技, 2013, 41(3): 96-98.
[6] 卢森林. 纳米氧化锌抗菌塑料性能研究[J]. 化工管理, 2015(6): 76-77.
[7] 卢叶, 杨福馨, 张恒光. 载银抗菌剂/LDPE 抗菌薄膜的制备与性能研究[J]. 包装工程, 2013, 34(11): 27-30.
[8] 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.
[9] 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.
[10] 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.
[11] 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.
[12] 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.
[13] 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.
[14] 孙向民, 汪信, 杨绪杰. 纳米材料改性塑料的研究进展[J]. 工程塑料应用, 2003, 31(10): 63-66.
[15] 雷毅, 郭建良, 余焱群. 基于纳米粒子改性塑料性能的研究[J]. 工程塑料应用, 2004, 32(11): 64-67.
[16] 孙向民, 汪信, 杨绪杰. 纳米材料改性塑料的研究进展[J]. 工程塑料应用, 2003, 31(10): 63-66.
[17] 刘大晨, 刘策, 吴子敬. 埃洛石纳米管/三元乙丙橡胶复合材料的导热机理及力学性能研究[J]. 沈阳化工大学学报, 2018, 32(04): 345-350.
[18] 周宛棣, 于德梅, 郭秀生, 等. 尼龙 6/粘土聚合物纳米复合材料的性能表征 II: 结晶行为研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2004(3): 136-139.
[19] 李倩, 刘晨光. 纳米技术在食品科学中的应用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2009(6): 24-29.
[20] 杨龙平, 章建浩, 黄明明, 等. 纳米材料在食品包装中的应用及安全性评价[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 19-23.
[21] 张然, 吴安琪, 施伶俐. 纳米银抗菌剂性能评价和应用现状综述[J]. 长江大学学报自然科学版: 理工, 上旬, 2015, 12(9): 23-25.
[22] 杜运鹏. 纳米改性聚乙烯醇(PVA)抗氧复合包装薄膜的制备及对鲜切山药保鲜的应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 32-49.
[23] 余科林, 方东路, 陈梅香, 等. 纳米聚乙烯包装结合打孔气调对草菇采收后贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 292-298.
[24] 王超. 纳米 TiO₂ 表面改性及对聚丙烯力学性能的影响[J].

- 化工新型材料, 2015, 43(7): 161-162.
- [25] 乐志文, 凌新龙, 岳新霞. 抗菌材料的研究现状及发展趋势[J]. 成都纺织高等专科学校学报, 2016, 33(2): 58-66.
- [26] GUO Hai-sheng, GUO Xi-ping. Microstructure evolution and room temperature fracture toughness of an integrally directionally solidified Nb-Ti-Si based ultrahigh temperature alloy[J]. *Scr Mater*, 2011, 4(7): 637.
- [27] 赵冉冉, 高晶晶, 黄利强, 等. 抗菌剂及其在包装材料中的应用[J]. 上海包装, 2017(4): 66-68.
- [28] 潘晓勇, 杜岩岩, 陈伟, 等. 载银纳米二氧化钛在抗菌塑料中的应用研究进展[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(11): 101-105.
- [29] 陈超, 叶秀娟, 卢婷. 食品抗菌保鲜膜的研究现状与展望[J]. 农产品加工: 创新版, 2012, 9: 53-58.
- [30] 户帅锋, 杨福馨, 张勇, 等. 山梨酸-LDPE 抗菌薄膜的制备与性能[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 15-19.
- [31] 尹兴, 孙诚, 付春英, 等. 纳米二氧化钛/聚乳酸抗菌薄膜的制备和性能[J]. 包装工程, 2017, 38(15): 36-40.
- [32] 汤秋治, 潘道东, 孙杨赢, 等. ϵ -聚赖氨酸/海藻酸钠抗菌复合膜的制备及性能研究[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 101-107.
- [33] GUTIÉRREZ L, SÁNCHEZ C, BATLLE R, et al. New antimicrobial active package for bakery products [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2009, 20(2): 92-99.
- [34] 李梅. 一种具乙烯清除和抗菌功能的果蔬保鲜包装膜研发[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 20-55.
- [35] 魏丽娟. 防霉抗菌聚乙烯包装薄膜的制备及对生鲜香菇保鲜包装应用的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 26-68.
- [36] 杨昌照. 茶饮料的发展前途广阔[J]. 饮料工业, 2000(6): 1.
- [37] 邵际涛, 曲丹. 饮料、乳品包装机械设备的的发展趋势及展望[J]. 中国包装工业, 2015(5): 51-52.
- [38] 王海丽, 杨春香, 杨福馨, 等. 抑菌及抗氧化活性食品包装膜的研究进展[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 83-86.
- [39] 李颜丽. 奶饮料软包装脂氧化影响研究与材料选用[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 17-50.
- [40] 王燕. 乳制品包装概述[J]. 印刷质量与标准化, 2010(9): 12-14.
- [41] 杨楠, 陈洪仪. 三种食品防腐剂的抑菌效果研究[J]. 食品工业科技, 2007(1): 189-191.
- [42] 闫杨娟. 长沙市液态食品塑料包装安全性评价[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013: 10-41.
- [43] 江谷. 软包装材料及复合技术[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008: 10-65.
- [44] 万重, 朱立民, 刘燕. 新型高阻隔包装材料在乳品包装领域的应用[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5): 175-177.
- [45] 魏凤玉, 方菊, 陈玮, 等. 竹叶黄酮在豆浆保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 312-315.
- [46] CHEN Hai-jun, YANG Fu-xin, OU Li-juan, et al. The Effects of the Film Made by Citral β -Cyclodextrin Inclusion Complex Combined with Chitosan on Fresh Beef[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 1662-8985 (989/994): 1 052-1 055.
- [47] 张玉琴, 梁敏, 齐小晶, 等. 高阻隔性可降解抑菌薄膜的制备及其在冷鲜肉中的应用[J]. 食品科技, 2016, 41(2): 140-148.
- [48] CHEN Hai-jun, SHU Jia-wei, LI Peng, 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] 杨福馨, 王金鑫, 石秋霞, 等. 柚皮浆/聚乙烯醇保鲜膜的制备及其在鱼品防霉包装中的应用[J]. 包装学报, 2017, 9(2): 50-55.
- [50] 杨福馨, 丁晓彤, 叶敦越, 等. 包装材料和腌制溶液对半干鱼品保质效果的影响[J]. 包装学报, 2016, 8(4): 13-18.
- [51] 蒋硕, 杨福馨, 张燕, 等. 聚乙烯醇抗菌包装薄膜对鲮鱼冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 226-231.
- [52] 张燕, 杨福馨, 蒋硕, 等. 聚乙烯醇柠檬酸改性薄膜对鲜切苹果保鲜性能的影响[J]. 包装工程, 2014(9): 32-35.
- [53] 周斌, 王建清. 柠檬草精油涂膜包装袋对葡萄保鲜效果的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 14-17.
- [54] ESPITIA P J P, SOARES N F F, BOTTI L C M, et al. Assessment of the efficiency of essential oils in the preservation of postharvest papaya in an antimicrobial packaging system[J]. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2012, 15(4): 333-342.
- [55] 赵美美, 于新, 杨鹏斌, 等. 南五味子提取液复配剂涂膜对鸡蛋常温保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 269-275.
- [56] 龙门, 马磊, 宋野, 等. 纳米 $\text{Fe}^{3+}/\text{TiO}_2$ 改性聚乙烯醇基紫胶复合膜对鸡蛋的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2014, 30(20): 313-324.
- [57] 顾凤兰, 章建浩, 马磊, 等. 不同涂膜材料对清洁鸡蛋的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 303-310.