

可降解抑菌食品包装膜的研究进展

刘芯钥^{1,3}, 林琼¹, 陈云堂², 崔龙², 段玉权¹, 哈益明¹, 李庆鹏¹

(1.中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100089;

2.河南省科学院同位素研究所有限责任公司, 郑州 450000;

3.中国农业科学院农业农村部食物与营养发展研究所, 北京 100081)

摘要:目的 对常用的抑菌剂和可降解高分子材料在食品包装中的应用进行综述, 以开发具有可降解性、抑菌性、绿色环保的新型智能食品包装材料。方法 总结可降解抑菌膜和可降解高分子材料合成的食品包装膜中常用的抑菌剂(如壳聚糖、植物精油、植物提取物、细菌素)与可降解高分子材料(如淀粉及其衍生物、壳聚糖、纤维素、蛋白质等)的相关学术研究进展。结论 可降解抑菌膜大多被应用于果蔬采收后运输贮藏的包装, 如果将其应用于田间, 可以更好地避免杂菌的污染。

关键词: 食品包装; 抑菌剂; 高分子材料

中图分类号: TS206.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)19-0151-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.022

Research Progress of Degradable Bacteriostasis Food Packaging Films

LIU Xin-yue^{1,3}, LIN Qiong¹, CHEN Yun-tang², CUI Long², DUAN Yu-quan¹,
HA Yi-ming¹, LI Qing-peng¹

(1.Institute of Food Science and Technology CAAS, Beijing 100089, China;

2.Henan Academy of Sciences Isotope Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;

3.Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agricultural CAAS, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: The work aims to review the applications of commonly used antimicrobial agents and degradable polymer materials in food packaging, so as to develop the new intelligent food packaging materials featured by degradability, bacteriostasis and environmental protection. The relevant academic research progress of the antibacterial agents (such as chitosan, plant essential oils, plant extracts, bacteriocins, et al) commonly used in the biodegradable antimicrobial films and food packaging films synthesized from degradable macromolecule materials, and the degradable macromolecule materials (such as starch and its derivatives, chitosan, cellulose, protein and so on) was summarized. Most of the biodegradable antibacterial films are applied in the packaging of postharvest transportation and storage of fruits and vegetables. If they are applied in the field, they can better avoid the contamination of fungi.

KEY WORDS: food packaging; antimicrobial agents; polymeric materials

随着社会经济的发展、人口的不断增加, 环境污染和食品浪费日益严重, 为了提高食品的贮藏期,

减少食品浪费, 食品包装成为生活中必不可少的东西^[1]。目前食品包装行业应用最多的原料是塑料, 塑

收稿日期: 2019-03-16

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(20150314); 河南省科技计划(182106000046)

作者简介: 刘芯钥(1996—), 女, 中国农业科学院硕士生, 主攻食品风险评估。

通信作者: 李庆鹏(1980—), 男, 硕士, 中国农业科学院农产品加工研究所副研究员, 主要研究方向为农产品加工标准、贮藏保鲜、农产品加工副产物高值化利用。

料包装虽给人们带来了许多方便,但难降解废弃塑料带来的白色污染也趋于严重,我国九成食品包装会被废弃,易造成白色污染^[2]。这严重破坏了我国居民的生活环境,引起了全世界的广泛关注,各个国家纷纷制定了相应的法律法规,禁止或限制使用非降解塑料产品和包装材料^[3]。此外,传统塑料的制备原料不足,如石油,其是不可再生资源,最终将面临枯竭,以石油为原料的传统塑料制造产业必然会受到沉重打击^[4]。综上所述,开展绿色环保可降解新型塑料包装的相关研究迫在眉睫,绿色可持续是我国现今社会经济发展的基本理念,也是食品包装行业发展的主要趋势,走绿色可持续发展道路,对人类的生产和生活具有重要意义^[5]。

在食品的贮藏保存中,使用抗菌包装可以有效抑制食品中微生物的生长,微生物的生长繁殖等生命活动是造成食品腐败、品质下降的根本原因^[6]。目前,控制食品中微生物生长的常用手段是在加工处理时采用热杀菌(巴氏杀菌)、冷杀菌等加工工艺以及向食物中添加防腐剂等措施,进而延长食品的保质期。其中巴氏杀菌会造成过多的能量浪费,且由于某些食品的品质特性影响,热杀菌(巴氏杀菌)会使食物自身的营养成分受到损失;防腐剂虽可以有效抑制微生物的生长繁殖,但大多数的防腐剂都存在毒性作用,存在食品安全隐患。抗菌包装则是向包装食品的包装材料中添加抗菌剂,由此起到保护食品质量安全、降低食品营养损失的目的^[7]。以天然生物基为包装膜的主要材料,向膜中添加各种抗菌剂制备出来的抗菌包装,既可以满足包装材料中防腐剂含量低或不含防腐剂的要求,又具有可降解的能力,降低了对环境的污染^[8]。综上,利用可降解的高分子材料和抑菌剂合成可降解抑菌包装既可以节约资源、保护环境,还可以有效提高食品的贮藏期、减少食品浪费,是将来食品包装发展的方向。

1 常用抑菌剂

1.1 壳聚糖

壳聚糖的抗菌活性主要是基于以下 3 点。

1) 与其化学结构中氨基的正电荷的有关,可以与微生物细胞膜带的负电荷作用,通过增加微生物膜的流动性与通透性致使细胞死亡。

2) 干扰微生物 DNA 的转录复制。

3) 阻断病原微生物的代谢。

综上所述,壳聚糖能够抑制许多微生物包括酵母菌、霉菌或致病菌的生长。使用中为了增加壳聚糖的抑菌能力也会添加柠檬烯、植物精油等其他抑菌剂。国内学者在对银杏种核进行保鲜研究中发现,采用壳聚糖膜和海藻酸钠膜制成涂膜液的保鲜效果较好^[9]。

贾小丽等^[10]以壳聚糖为被膜剂制得可食性涂膜保鲜剂。发现以质量分数为 1.5%壳聚糖涂膜处理可以更好地抑制果实的硬度、可溶性固形物含量、酸含量的下降以及叶绿素分解。Zhang 等^[11]美国农业研究所成功利用壳聚糖与月桂酸结合制成了一种可食性的药物胶囊薄膜,可以用于去皮水果的保鲜,不仅能达到保鲜的目的,且不易察觉,因为薄膜厚度仅为 0.2~0.3 mm,透明度极好。

1.2 植物精油及其提取物

精油的抑菌性能主要是靠精油中的酚、醛和萜类等这些易挥发的物质。所以以植物精油或其提取物制成的包装膜不仅能够抑制和杀灭与膜接触的微生物,还能抑制膜周围微生物的生长,其抑菌范围更加广泛。市场上应用较为广泛,且抑菌效果较好的精油主要有连翘、肉桂、牛至、黄芩、大小茴香、鼠尾草、辣椒等。采用迷迭香精油(REO)制备壳聚糖活性膜,有实验证明含有 REO 的膜具有较高的抗菌活性和总酚含量,具有用作食品保鲜活性膜的潜力^[12]。以壳聚糖和金银花提取物为原料研制活性食品包装膜时,金银花提取物的加入不仅提高了壳聚糖膜的抗氧化性和抗菌活性,还极大地改善了壳聚糖膜的保湿性能^[13]。

1.3 细菌素

细菌素是一类具有杀菌作用的蛋白质或多肽类物质。其主要作用机理是抑制那些与产生菌特性较为接近的革兰氏阳性菌(G⁺)。比如 Nisin 是比较常见的一种细菌素之一,是通过乳酸菌产生的小型抗菌肽,可以很好地抑制沙门氏菌等革兰氏阳性细菌(G⁺)和革兰氏阴性菌(G⁻)的生长,在抑菌包装中有很好的应用潜力。目前,已有 50 多个国家允许将 Nisin 用于食品中。

1.4 溶菌酶

溶菌酶又称为细胞壁质酶,是一种碱性酶,可以水解微生物的黏多糖。其作用机理主要是断开细胞壁中的 β -1,4 糖苷键,使不溶性的多糖分解,从而致使细胞死亡。溶菌酶对真菌及革兰氏阴性菌(G⁻)的作用效果较弱,但对革兰氏阳性菌(G⁺)的水解作用较强。刘益丽^[14]用溶菌酶/壳聚糖共混膜抑制奶酪表面上微生物的生长,研究发现在酸性环境中,膜的抗菌作用较其他 pH 条件下强,且溶菌酶/壳聚糖共混膜对抑制霉菌、酵母菌、细菌都有很好的效果。

1.5 无机抑菌剂

无机抑菌剂是利用众多金属物质的抗菌性这一特点制成的,其可分为银系列、铜系列、锌系列和钛系列以及其他复合体系等,其作用机理根据材料的

不同各异。Sui^[15]认为抗菌性金属离子(纳米银抗菌)的作用机理是纳米银中阳离子与微生物细胞膜的阴离子作用,破坏了微生物的生命活动,从而导致微生物死亡;光催化类抑菌剂则是通过光照条件下的氧化反应起到杀菌抑菌的作用。无机抗菌剂的耐热性、安全性、耐持久性虽比较好,但其具有迟效性,且价格昂贵。

1.6 有机抗菌剂

有机抗菌剂通常是指以有机物为抗菌基物制成的抗菌剂,其可以分为天然有机抗菌剂、低分子有机抗菌剂、高分子有机抗菌剂、有机-无机复合抗菌剂这4大类。有机抗菌剂的优点是来源广泛、加工便捷、成本低、色泽稳定、杀菌率相比其他抗菌剂较强、具有特异性等,且通过有机-无机连用还可以提高其安全性,是一种具有良好发展与应用前景的抗菌剂。

2 天然高分子材料及其在食品包装膜中的应用研究进展

2.1 淀粉及其衍生物

淀粉广泛存在于植物的根、茎组织中,其易获得、生长周期短,且价格低廉,是人们最喜爱的一类天然高分子材料。与其他可降解材料相比,淀粉薄膜虽具有无色无味、低透氧性、透明度高等优点,但其力学性能较低、亲水较强性的缺点也十分明显,这是淀粉膜在实际应用中存在的主要问题,因此,国内外众多学者致力于通过将淀粉与其他物质混合制备包装膜,以尽可能弥补淀粉薄膜力学性能较低等问题^[16]。李守海^[17]等将淀粉与聚己内酯进行共混制备出了生物可降解薄膜,与淀粉膜相比,其力学性能得到了提高;资名扬^[16]等将玉米淀粉与壳聚糖共混制备出了复合膜,膜的柔韧性及延展性等得到了大大提高。Bhat开发了含有滑石纳米粒子的热塑性淀粉袋,滑石纳米粒子的加入提高了薄膜的强度以及致密性^[18]。Abreu等在季铵盐 C30B/淀粉纳米复合材料(C30B/St-NC)、银纳米粒子/淀粉纳米复合材料(AgNPs/St-NC)和银纳米粒子/C30B/淀粉纳米复合材料(Ag-NPs/C30B/S-NC)中加入蒙脱土制备了淀粉纳米基复合包装膜^[19]。童群义^[20]等研究发现在马铃薯淀粉中加入马铃薯淀粉醋酸酯或海藻酸钠、卡拉胶等增稠剂以及甘油、山梨糖醇等增塑剂可增加淀粉膜的机械强度和柔软性能。胡新宇^[21]等以玉米原淀粉为成膜主体,添加增塑剂甘油和增强剂羧甲基纤维素钠(CMC-Na),在80~85℃下烘干1h左右,可得到具有良好阻湿性与阻气性的淀粉膜。

2.2 壳聚糖

壳聚糖是对甲壳素进行脱乙酰得到的一种碱性氨基类多糖。壳聚糖成膜的透明性和阻氧性十分优秀,被广泛应用于食品保鲜包装领域。壳聚糖通常与其他抗菌剂共同使用制备复合薄膜。与单一的壳聚糖膜相比,纳米二氧化钛/壳聚糖复合膜的湿态抗张强度和抗水性都大大提高。在壳聚糖膜的基础上,使用聚乙烯醇可很好地改善壳聚糖膜的透气率、含水率等。在壳聚糖溶液中,可通过 γ 射线辐照还原硝酸银来制备银纳米粒子。银纳米颗粒的掺入使得多糖基膜的拉伸和氧气阻隔性能略有改善,水蒸气/水分阻隔性能降低。此外,载银纳米颗粒膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有较强的抗菌活性^[22]。Riza将苹果果皮多酚与壳聚糖结合,研制出了一种新型功能膜即质量分数为0.50%的CS-APP薄膜,显著提高了膜的厚度、密度、溶解度、不透明度和溶胀率,降低了水分含量和水蒸气透过率,且具有良好的力学性能和抗菌性能,可作为食品工业的生物复合食品包装材料^[23]。以山药淀粉和壳聚糖为原料,制备出了食用抗菌膜,并研究了其对肠炎沙门氏菌的抑菌效果;结果表明,壳聚糖对肠炎沙门氏菌具有杀菌作用,且薄膜具有良好的柔韧性^[24]。Akyuz将辣椒素与壳聚糖与共混,得到了可食性膜;发现随着辣椒碱浓度的增加,膜的抗群体感应和抗菌活性、抗氧化性和疏水性不断提高^[25]。袁志^[26]通过研究探索出优化壳聚糖纳米SiO₂复合膜CO₂透过性的最佳配料含量:壳聚糖为2g,纳米SiO₂为0.07g,冰乙酸为1.4mL,在该配方下,CO₂透过量最低为0.0909g/d;优化膜处理可有效延长草莓室温、低温下的贮藏保鲜时间。李月明^[27]用可降解壳聚糖淀粉抗菌复合膜对红提葡萄进行了处理;处理后60d的红提葡萄质量损失率仅为18%,好果率可达到60%以上。

2.3 纤维素及其衍生物

纤维素是植物细胞壁的主要成分,是一种由D型吡喃葡萄糖通过 β -1,4糖苷键组成的大分子多糖。纤维素原料来源广泛,具有良好的可降解性、稳定性、安全性,备受人们欢迎,是制备可降解包装的原材料之一。甲基纤维素(MC)、羟丙基甲基纤维素(HPMC)、羟丙基纤维素(HPC)、羧甲基纤维素(CMC)等是其主要的衍生物。鲍文毅^[28]使用壳聚糖溶液并采用包覆法制备出的透明纤维素膜具有良好的阻隔性能以及抗菌性能;与共混膜相比,纯纤维素膜的力学性能相对较好,且纤维素膜的疏水性能和氧气阻隔性能得到大幅提高;此外,其氧气渗透系数比乙烯-乙醇共聚物(EVA)等氧气阻隔材料还要低。Sircioe^[29]对纤维素膜进行了金黄色葡萄球菌抗菌测试,研究表明,壳聚糖包覆法可以明显提高纤维素膜

的抗菌性能。纳米纤维素和微纤维素可以提高以未改性桦木浆、微纤化纤维素(MFC)、纳米纤维素(NFC)和以桦木浆衍生物为原料的纤维素/海藻酸钠海藻酸钠生物复合薄膜的力学性能。Gao将溶菌酶掺入醋酸纤维素(CA)膜中,获得了抗菌包装材料^[30]。Seyhun以甘蔗渣纳米纤维为原料,制备的全纤维素纳米复合材料膜具有优异的性能(韧性、生物性、可生物降解性和可接受的水蒸气透过率水平),因而被认为是一种具有巨大应用潜力的多性能材料^[31]。Durango制备了pH-响应性微胶囊,即聚丙烯酸和溶菌酶的复合物,通过溶液流延在玻璃平板上,然后将此微胶囊加入到纳米纤维素溶液中,并在烘箱干燥成膜,即一种pH-响应性纳米纤维素抗菌控释薄膜。其具有良好的力学性能、抗菌性能,且pH-响应性的结合能够在不同pH环境下控制活性物质的释放,能够更好地延长食品的货架期,具有广泛的用途^[32]。

2.4 蛋白质

蛋白质是蛋白原氨基酸通过酯胺键结合形成的一种多肽化合物。蛋白质具有独特的空间结构,因此蛋白质的功能特性也非常广泛。与其他合成膜相比,蛋白质膜的力学性能和阻气性能虽较好,但其应用却因为阻水性能差而受到抑制,因而蛋白质膜通常会与疏水材料、高分子聚合物混合使用,以提高蛋白质膜的阻隔性能。酪蛋白、玉米蛋白、乳清分离蛋白、明胶等都是可降解膜中常用的蛋白质。Ghaderi^[33]以大豆分离蛋白(SPI)为主要原料,利用增塑剂和还原剂进行共价交联反应,制备了食品包装膜;实验采用玻璃材料浇铸成型,在60℃下干燥2h,即为最佳成膜工艺;最佳成膜配方:大豆分离蛋白为20 mg/mL、甘油为15 μL/mL和亚硫酸钠为1.0 mg/mL。Wang采用溶液浇铸法制备了嵌有玉米蛋白纳米颗粒(ZNP)的乳清分离蛋白(WPI)基生物纳米复合膜。玉米蛋白纳米颗粒是一种用酪蛋白钠包覆纳米粒子,这样可以使其在薄膜中分布地更均匀。其加入可以明显改善乳清分离蛋白的水蒸气势垒和力学性能,降低膜的亲水性能^[34]。将含有质量分数为1.0%的牛至、质量分数为1.0%胡椒粉或1.0%牛至-胡椒粉(质量比为1:1)混合得到的乳蛋白基可食性薄膜涂布于牛肉肌肉切片上,以控制病原菌的生长,提高在4℃条件下贮藏时的货架期^[35]。乳清蛋白膜可以在一定程度上减缓圣女果的腐烂、失重、变软,添加了山梨酸钾的乳清蛋白比未添加山梨酸钾的乳清蛋白对圣女果的保鲜作用更好^[36]。

2.5 聚乳酸(PLA)

聚乳酸是一种可完全降解、对环境友好的脂肪族聚酯类高分子材料,是由谷物发酵产生的乳酸为原料

聚合而成,可在微生物、酸、碱等作用下完全分解,分解产物为水和二氧化碳。聚乳酸也可以回收,在酶的作用下降解成乳酸,可进行循环使用。PLA具有成膜透明性高、力学性能好、易于加工成型等各种优点,因此被广泛认为是最有发展前途的可降解包装材料。PLA在国内外已经被广泛应用,且开发出多种以PLA为原料的绿色包装材料。张玉琴^[37]等使用生物可降解性聚乳酸(PLLA)、聚乙烯醇(PVA)和聚己内酯(PCL),制备了PLLA/PVA/PCL复合膜,且结合了天然防腐剂乳酸链球菌素(Nisin)。在使用PLLA/PVA/PCL-Nisin复合抑菌膜包装后,冷鲜肉的货架期可延长到22 d,使用PLLA/PVA/PCL复合膜包装的冷鲜肉货架期为17~19 d,作为空白使用PE保鲜膜包装的冷鲜肉货架期仅为11 d。

在PLA中加入适量的纤维素纳米纤维(CNF)可以提高PLA的脆性,使之更加适应产品的包装。Oussalah将PLA和CNFs混合制备复合包装材料,并对其力学性能、透光率等进行了表征。通过红外光谱(FTIR)测试、扫描电镜(SEM)观察复合材料表面形貌,发现加入CNFs后,复合材料的力学性能提高。当CNFs的质量分数为2%时,复合材料的拉伸强度和冲击强度达到最大值;随着CNFs含量增加,虽然CNFs/PLA复合膜的透光率降低,雾度增加,增强增韧效果明显,但对包装材料的可见度影响不大^[38]。

Martins以PLA为基材,采用挤出法将绿茶提取物(GTE)固定化,研制了一种新型具有抗氧化活性的包装膜,PLA膜中的GTE可以更好地保护烟熏鲑鱼脂质,防止其发生氧化^[39]。

Tawakkal以PLA、红麻纤维和百里香酚为主要原料,制备了生物基复合材料;加入质量分数为20%~30%百里酚的复合膜,在37℃下可以保持胰蛋白酶原大豆汤中的大肠杆菌数量在2 d不变;加入天然纤维可以降低生产成本,提高生物聚合物如PLA的力学性能;此外,添加抗菌剂(AM)如精油提取物可进一步增强包装功能,以便更好地保存各种食品。这项研究提出了一种包装系统,即以生物衍生聚合物(PLA)和天然纤维(红麻)以及精油提取物(麝香草酚)为基料制备出新的材料,这种材料延长肉制品货架寿命的潜力极大^[40]。

2.6 聚乙烯醇(PVA)

聚乙烯醇是一种乙烯基聚合物,具有诸多优良性质,如PVA,其具有耐水、耐油以及耐溶剂性,因此被广泛用于食品工业制膜和食品包装中。然而,PVA结构分子中的羟基含量太高,致使其熔融温度高于分解温度,难以进行热塑成型,因此在生产加工中通常会将PVA与其他物质共混改性,如以甘油和麦芽糖为复合助剂,可改善PVA膜的柔韧性^[41]。屈奥运^[42]等

利用玉米粉与PVA制备了共混膜,研究其性能结构,以期替代传统塑料包装袋,缓解白色污染等危害;实验发现共混膜的拉伸强度、断裂伸长率和撕裂强度均随PVA含量的增加而升高,吸湿率和水蒸气透过率随PVA含量的增加而降低,吸水后共混膜的力学性能有所下降;实验结果表明玉米粉与PVA制备的共混膜有一定的抗水蒸气和油渗透功能,基本可满足普通包装材料的要求。

Gailwad将质量分数为1%, 5%, 10%, 30%的苹果渣(AP)分别加入PVA基体中,制备出了一种活性抗氧化食品包装膜,并对其热、结构、机械和功能进行了表征分析。结果表明,AP的加入提高了PVA膜的总酚含量和抗氧化性能;在物理性能方面,加入到PVA薄膜的AP含量越高,拉伸强度、断裂伸长率和厚度显著降低。与对照膜相比,PVA-AP膜具有较低的透明值,且随着AP浓度的增加,PVA-AP膜的热稳定性得到改善和提高^[43]。与市售PE保鲜膜相比,膨润土/壳聚糖/PVA保鲜膜在芒果的套袋保鲜中,可以更加有效地降低芒果的质量损失率和腐烂指数,并抑制果实的呼吸作用,从而延长芒果的贮藏期^[44]。

3 结语

重视可降解塑料在食品包装领域的发展符合我国的“可持续发展”战略。可降解抑菌包装是绿色友好型的包装材料,其具有可抑制食品腐败和细菌增长、延长货架期等多重优势,引起食品行业的广泛关注,是目前食品包装研究的热点之一。此外,可降解抑菌包装具有一定的机械强度、可高效抑菌以及无毒无害,因此对人体不会产生任何有害影响,且在材料使用完成后,最终以无机物形式进入环境,不会受自然环境中微生物和紫外线的作用产生二次污染,所以是各国研究的重点。现阶段可降解抑菌膜基本是用于果蔬采后运输贮藏时的包装,采摘前田间用于保护果实免受病虫害灾难的可降解抑菌膜并不常见,如果将可降解抑菌膜运用到田间保果上,可以做到防患于未然。此外,可降解抑菌塑料也逐渐被广泛应用于人们日常生活、生产工作中的各个方面。

参考文献:

- [1] 殷涵之. 食品包装之浅见[J]. 科学技术创新, 2019(13): 189—190.
YIN Han-zhi. Superficial Views on Food Packaging[J]. Scientific and Technological Innovation, 2019(13): 189—190.
- [2] 中国九成多食品包装易成白色污染[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2009(2): 66.
More than 90% of Food Packaging in China is Liable to White Pollution[J]. Agricultural Engineering Technology (Agricultural Products Processing Industry), 2009(2): 66.
- [3] 霍鹏. 可降解塑料的研究现状及发展趋势[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(3): 150—153.
HUO Peng. Research Status and Development Trend of Degradable Plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(3): 150—153.
- [4] 王梅. 可降解塑料的绿色环保发展路径探索[J]. 资源节约与环保, 2016(5): 11—15.
WANG Mei. Exploration of Green Environmental Protection Development Path of Degradable Plastics[J]. Resources Economization and Environment Protection, 2016(5): 11—15.
- [5] 臧文苑. 可降解塑料包装材料的研究现状及展望[J]. 科技风, 2017(4): 88.
ZANG Wen-yuan. Research Status and Prospects of Degradable Plastic Packaging Materials[J]. Technology Wind, 2017(4): 88.
- [6] 刘岩莲. 食品保藏原理与方法的类型[J]. 现代食品, 2017(10): 34—36.
LIU Yan-lian. Types of Principles and Methods of Food Preservation[J]. Modern Food, 2017(10): 34—36.
- [7] 杨福馨, 丁晓彤, 邱艳娜, 等. 抑菌包装塑料薄膜的研究与应用进展及展望[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 1—5.
YANG Fu-xin, DING Xiao-tong, QIU Yan-na, et al. Progress and Prospect of Research and Application of Antimicrobial Packaging Plastic Film[J]. Food and Machinery, 2019, 35(1): 1—5.
- [8] 张芮菡. 可降解塑料的种类与应用现状[J]. 当代化工研究, 2019(1): 20—21.
ZHANG Rui-yi. The Species and Application Status of Degradable Plastics[J]. Contemporary Chemical Industry, 2019(1): 20—21.
- [9] 高康, 黄倩. 生物降解包装材料研究现状[J]. 绿色包装, 2019(2): 50—54.
GAO Kang, HUANG Qian. Research Status of Biodegradable Packaging Materials[J]. Green Packaging, 2019(2): 50—54.
- [10] 贾小丽, 张平, 马涛. 壳聚糖涂膜对海红果贮藏效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(2): 151—153.
JIA Xiao-Li, ZHANG Ping, MA Tao. Effect of Chitosan Coating on Storage of Haihong Fruit[J]. Food Research and Development, 2006, 27(2): 151—153.
- [11] ZHANG C, PING Q, ZHANG H, et al. Preparation of N-alkyl-O-sulfate Chitosan Derivatives and Micellar Solubilization of Taxol[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 54: 137—141.
- [12] ABDOLLAHI M, REZAEI M, FARZI G. Improvement of Active Chitosan Film Properties with Rosemary Essential Oil for Food Packaging[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(4): 847—853.

- [13] WANG L, WANG Q, TONG J, et al. Physicochemical Properties of Chitosan Films Incorporated with Honey-suckle Flower Extract for Active Food Packaging[J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40(1).
- [14] 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. Research Progress on Antimicrobial Activity and Detection Method of Lysozyme[J]. China Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2013, 40(8): 189—194.
- [15] SUI Z M, CHEN X, WANG L Y, et al. Capping Effect of CTAB on Positively Charged Ag Nanoparticles[J]. Physical Review E, 2006, 33: 308—314.
- [16] 资名扬, 胡碧君, 温其标, 等. 高直链玉米淀粉/壳聚糖可食性复合膜的制备与性能的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(4): 97—99.
ZI Ming-yang, HU Bi-jun, WEN Qi-biao, et al. Study on Preparation and Properties of High Amylose Corn Starch/Chitosan Edible Composite Film[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(4): 97—99.
- [17] 李守海, 储富祥, 王春鹏, 等. 淀粉/聚己内酯复合材料的进展[J]. 现代化工, 2009, 29(S2): 57—61.
LI Shou-hai, CHU Fu-xiang, WANG Chun-peng, et al. Research Progress of Starch/Polycaprolactone Composites[J]. Modern Chemical Industry, 2009, 29(S2): 57—61.
- [18] BHAT R, ABDULLAH N, DIN R H, et al. Producing Novel Sago Starch Based Food Packaging Films by Incorporating Lignin Isolated from Oil Palm Black Liquor Waste[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(4): 707—713.
- [19] LÓPEZ O V, CASTILLO L A, GARCÍA M A, et al. Food Packaging Bags Based on Thermoplastic Corn Starch Reinforced with Talc Nanoparticles[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43(43): 18—24.
- [20] ABREUA S, OLIVEIRA M, SÁ A D, et al. Antimicrobial Nanostructured Starch Based Films for Packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 129: 127—134.
- [21] 胡新宇, 李新华. 可食性淀粉膜制备材料与工艺的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2000(3): 267—271.
HU Xin-yu, LI Xin-hua. Study on the Materials and Technology of Edible Starch Film[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2000(3): 267—271.
- [22] YOKSAN R, CHIRACHANCHAI S. Silver Nanoparticle-loaded Chitosan-starch Based Film: Fabrication and Evaluation of Tensile, Barrier and Antimicrobial Properties[J]. Materials Science and Engineering C, 2010, 30(6): 891—897.
- [23] RIAZ A, LEI S, HMS A, et al. Preparation and Characterization of Chitosan-based Antimicrobial Active Food Packaging Film Incorporated with Apple Peel Polyphenols[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018.
- [24] AKYUZ L, KAYA M, MUJTABA M, et al. Supplementing Capsaicin with Chitosan-based Films Enhanced The Anti-quorum Sensing, Antimicrobial, Antioxidant, Transparency, Elasticity and Hydrophobicity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 115.
- [25] 谢晶, 唐智鹏, 王金锋, 等. 一种 pH-响应性纳米纤维素抗菌控释薄膜的制备方法: CN107057127A[P]. 2017.
XIE Jing, TANG Zhi-peng, WANG Jin-feng, et al. Preparation of pH-responsive Nanocellulose Antibacterial and Controlled-release Films : CN107057127A[P]. 2017.
- [26] 袁志, 王明力, 李霞. 纳米 SiO₂ 壳聚糖复合膜保鲜草莓的研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(1): 11—15.
YUAN Zhi, WANG Ming-li, LI Xia. Study on Preservation of Strawberry with Nano-SiO₂ Chitosan Composite Membrane[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(1): 11—15.
- [27] 李月明, 张泓, 周三九, 等. 可降解壳聚糖淀粉抗菌复合膜对红提葡萄保鲜效果的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017(5): 1579—1584.
LI Yue-ming, ZHANG Hong, ZHOU San-jiu, et al. Study on The Fresh-keeping Effect of Degradable Chitosan Starch Antibacterial Composite Film on Red Grape[J]. Food Safety and Quality Detection Technology, 2017(5): 1579—1584.
- [28] 鲍文毅, 徐晨, 宋飞, 等. 纤维素/壳聚糖共混透明膜的制备及阻隔抗菌性能研究[J]. 高分子学报, 2015(1): 49—56.
BAO Wen-yi, XU Chen, SONG Fei, et al. Preparation of Cellulose/Chitosan Blend Transparent Membranes and Their Barrier and Antimicrobial Properties[J]. Acta Polymerica Sinica, 2015(1): 49—56.
- [29] SIRCIOE J A, KOLEHMAINEN A, LIIMATAINEN H, et al. Biocomposite Cellulose-alginate Films: Promising Packaging Materials[J]. Food Chemistry, 2014, 151(4): 343—351.
- [30] GAO F, ZHANG D, LI Z, et al. Parameters Optimization of Composite Packaging Film Prepared by Crosslinked Corn Starch and Straw Stalk Fiber[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2017.
- [31] SEYHUN G, AHMET Y, SACIDEALSOY A. Development of Cellulose Acetate Based Antimicrobial Food Packaging Materials for Controlled Release of Lysozyme[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(4): 453—462.
- [32] DURANGO A M, SOARES N F F, BENECHES S, et al. Development and Evaluation of an Edible Antimicrobial Film Based on Yam Starch and Chitosan[J]. Packaging Technology & Science, 2010, 19(1): 55—59.
- [33] GHADERI M, MOUSAVI M, YOUSEFI H, et al. All-cellulose Nanocomposite Film Made from Bagasse Cellulose Nanofibers for Food Packaging Application[J].

- Carbohydrate Polymers, 2014, 104(1): 59—65.
- [34] WANG R, YAN Qin Y U, BAI J, et al. Preparation of Soybean Protein Isolate-based Food Packaging Films[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015.
- [35] 阳晖, 雍凯. 乳清蛋白可食性膜对圣女果贮藏品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 258—260.
- YANG Hui, YONG Kai. Effect of Whey Protein Edible Membrane on Storage Quality of Saint Lady Fruit[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(1): 258—260.
- [36] OYMACI P, ALTINKAYA S A. Improvement of Barrier and Mechanical Properties of Whey Protein Isolate Based Food Packaging Films by Incorporation of Zein Nanoparticles as a Novel Bionanocomposite[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 54.
- [37] 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]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(18): 5598—5605.
- [38] YIN X, SUN C, YUE L I, et al. Preparation and Characterization of Cellulose Nanofibers/Poly Lactic Acid Composite Packaging Films[J]. Packaging Engineering, 2016.
- [39] MARTINS C, VILARINHO F, SILVA A S, et al. Active Polylactic Acid Film Incorporated with Green Tea Extract: Development, Characterization and Effectiveness[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 123: 100—110.
- [40] TAWAKKAL I S M A, CRAN M J, BIGGER S W. Effect of Poly (Lactic Acid)/Kenaf Composites Incorporated with Thymol on The Antimicrobial Activity of Processed Meat[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, 41.
- [41] 代红光, 王娟, 刘旭慧. 麦芽糖改性聚乙烯醇膜的制备与表征[J]. 塑料科技, 2018, 46(8): 56—62.
- DAI Hong-guang, WANG Juan, LIU Xu-hui. Preparation and Characterization of Maltose Modified Polyvinyl Alcohol Membrane[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(8): 56—62.
- [42] 屈奥运, 郝艳玲, 张羽. 玉米全粉/PVA 共混膜的制备及性能[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 69—73.
- QU Ao-yun, HAO Yan-ling, ZHANG Yu. Preparation and Properties of Corn Flour/PVA Blend Membranes[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 69—73.
- [43] GAILWAD K K, LEE J Y, LEE Y S. Development of Polyvinyl Alcohol and Apple Pomace Bio-composite Film with Antioxidant Properties for Active Food Packaging Application[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(3): 1608—1619.
- [44] 范方方, 刘琨. 膨润土/壳聚糖/PVA 保鲜膜对芒果保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2017(3): 54—59.
- FAN Fang-fang, LIU Kun. Effect of Bentonite/Chitosan/PVA Fresh-keeping Film on Fresh-keeping Effect of Mango[J]. Food Science and Technology, 2017(3): 54—59.
- [45] 罗大伟. 可降解包装材料的发展现状及趋势[J]. 上海包装, 2018(6): 42—45.
- LUO Da-wei. Development and Trend of Degradable Packaging Materials[J]. Shanghai Packaging, 2018(6): 42—45.