

可食性绿色包装膜的研究进展

马胜亮¹, 刘文良¹, 胡亮²

(1.湖南工业大学, 湖南 株洲 412007; 2.湖南化工职业技术学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: **目的** 论述可食性绿色包装膜的种类、技术及其研究进展, 为该类材料的开发和应用提供有力的技术支持和科学依据。**方法** 以可食性膜材料为研究对象, 分别对可食性多糖膜、可食性蛋白质膜、可食性脂质膜、可食性复合薄膜的种类、性能、制备方法及在包装的应用现状进行分析。**结果** 对可食性绿色包装膜开发和性能的研究越来越深入, 并已取得了一些成果, 但仍存在性能缺陷, 因而限制了其广泛应用。**结论** 可食性绿色包装膜的研究和应用是世界食品科技发展的重要方向, 目前从材料的研发到实际应用于包装中仍需大量的实验和分析。开发性能优异且对自然环境和人体健康无害的可食性薄膜材料, 不仅符合包装材料研究的主要趋势, 且具有广阔的应用前景和市场价值。

关键词: 可食性膜; 食品保鲜; 绿色包装材料; 复合材料

中图分类号: TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)23-0090-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.23.013

Research Progress on Edible Green Packaging Film

MA Sheng-liang¹, LIU Wen-liang¹, HU Liang²

(1.Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;

2.Hunan Chemical Vocational Technology College, Zhuzhou 412007, China)

ABSTRACT: The work aims to discuss the category, technology and research progress of different edible packaging films and provide technical support and scientific basis for development and application of this material. With edible film as a research subject, the kinds, properties, preparation methods and application status of different edible food such as edible polysaccharide membrane, edible protein membrane, edible lipid membrane and edible composite film were analyzed. The research on the development and performance of edible packaging film has been more and more in-depth and has made some achievements, but there are still many kinds of performance defects that limit its wide application. The research and application of edible packaging film is an important direction of food science and technology development in the world. At present, a lot of experiments and analysis are required from the research and development of materials to practical application in packaging. The development of edible film materials which has excellent performance with environmental friendliness and biosafety not only accords with the main research trend of packaging materials, but also has broad application prospect and market value.

KEY WORDS: edible film; food preservation; green packaging material; composite material

收稿日期: 2020-08-31

基金项目: 湖南省社会科学基金 (18YBA136); 国家社会科学基金 (17BG129)

作者简介: 马胜亮 (1982—), 男, 硕士, 湖南工业大学讲师, 主要研究方向为绿色包装。

通信作者: 刘文良 (1971—), 男, 博士, 湖南工业大学教授、博导, 主要研究方向为包装设计。

近年来,由于白色污染现象的加剧和石油资源负担的加重,利用可再生资源开发绿色、环保型可降解包装材料对解决石油基塑料带来的环境问题具有重要意义,其研究已成为国内外包装领域研究热点之一。到 2020 年,美国能源部预计可再生资源的基本化学材料要达到 10%,到 2050 年要达到 50%^[1]。习近平总书记在中共中央政治局第四十一次集体学习时强调要推动形成节约适度、绿色低碳、文明健康的生活方式和消费模式,形成全社会共同参与的良好风尚^[2]。由此可见,应摒弃过度包装,逐步向易降解、可再利用的绿色包装材料方向发展。

在众多绿色包装材料中,可食性包装膜以具有其他材料不可比拟的安全性和零废弃等特征,成为食品和药品等包装领域的研究热点。可食性膜主要是以纤维素及衍生物、多糖、脂质和蛋白质等天然可食性物质为原料,通过流延等工艺加工而成的具有网络结构的薄膜。可食性膜具有原料来源广泛、安全可食和环境相容性好等优点,其在实现包装功能后,可转变为人或动物食用的原料,从而达到零废弃零排放的目的。对其性能和应用进行深入优化研究,对于开发塑料包装替代品,解决包装废弃物的污染问题具有重大意义,因而受到了国内外学术界的广泛关注。

1 可食性包装膜的种类

作为包装薄膜,可食用膜具有可生物降解、对环

境无污染、选择透气性和易被加工等优点^[3-4]。在食品贮存期内,其可通过调控外界环境和内部组织,达到延长货架期的目的,同时可以节省包装材料。目前,研究和应用较多的可食性膜主要有多糖膜、蛋白质膜、脂质膜和复合膜等 4 种。可食性包装膜的分类及特点见图 1。

1.1 可食性多糖膜

基于多糖的可食性包装膜以其安全、来源丰富的特点而备受关注。多糖膜主要以壳聚糖、纤维素衍生物、果胶、海藻酸盐、淀粉等为基材,不仅具有透明性高和力学性能好等优点,还可与其它活性物质混合,赋予膜新的性能,如抗菌性、抗氧化性和保鲜性等^[5]。可食性多糖膜的研究主要可分为以下 5 类。

1) 纤维素衍生物。纤维素可发生如氧化、醚化、脂化、接枝等反应,生成相应的纤维素衍生物,如羟甲基纤维素钠(CMC)、羟甲基淀粉钠(CMS—Na)和羟丙基甲基纤维素(HPMC)等。纤维素具有阻油性好、弹性好、透明度好和易溶于水等优点,缺点是力学性能低,阻湿性和阻氧性较差^[6]。Sedaghat 等^[7]将 CMC 与香菜和柠檬进行复合,考察其对微生物的特性与功效,结果表明,材料可以减少羊肉中的致病菌,延长其货架期。Alizadehbehbahani 等^[8]研究了红树林植物提取物的纤维素食用膜对柑桔病原物的活性影响,结果表明,该薄膜包装柑橘时可抑制洋地黄青霉和柑桔链格孢菌的生长,控制柑橘表面霉菌的致

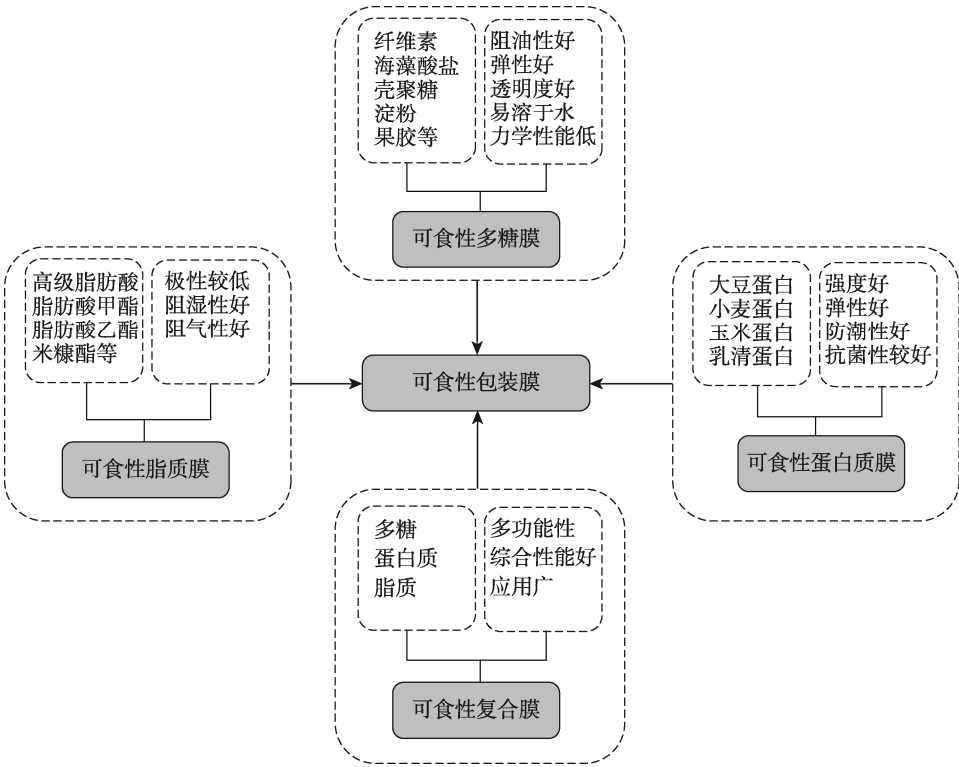


图 1 可食性包装膜的分类及特点
Fig.1 Classification and characteristics of edible packaging films

病性,起到良好的保鲜效果。

2) 淀粉。淀粉是天然存在的多糖,从结构上可以分为直链淀粉和支链淀粉,其结构单元都是D-吡喃葡萄糖^[9]。直链淀粉是含量高的淀粉,具有较好的成膜性且成本较低。淀粉膜透明度较好,同时在低pH条件下淀粉膜透氧性非常小,但也具有阻湿性较低等缺点^[10],因此对淀粉进行改性研究是可食性薄膜的热点课题。Dias等^[11]研究发现大米淀粉可制备可食用薄膜,在此基础上用紫胶醇改性淀粉薄膜,可使其具有较好的防潮性和防水性,并延长食品的保质期。Yepes等^[12]研制了由扁豆粉改性的淀粉可食性薄膜,该薄膜具有较高的储能模量、断裂强度和韧性,阻隔性能也更好,且薄膜在植物堆肥中可以完成生物降解,可以作为可生物降解和食用的食品涂料。

3) 海藻酸盐。目前在可食性包装薄膜上运用较多的主要是海藻酸钠和海藻酸钾,这2种可食性多糖都是白色至微黄色纤维状或颗粒状粉末^[13]。用海藻酸盐制得的膜不渗透油脂且阻氧性能较好,可以减少食品中的脂肪氧化,保持食品品质和风味,但膜的阻湿性较差。Alizadehbehbahani等^[14]对海藻酸钠膜成膜干燥机理进行了深入研究,其采用低场核磁共振法研究了海藻酸钠膜液中水分在干燥过程中的动态变化,揭示了海藻酸钠中水的多指数弛豫行为,表明聚合物在干燥过程中表现出空间异质性。Abdallah等^[15]利用海藻酸钠为基材,辅以明胶制备了涂膜材料,涂覆于马齿苋表面,考察涂膜材料对马齿苋质量的影响。结果表明,经涂膜材料包覆的马齿苋,降低了其硫代巴比妥酸反应物值,延缓了呼吸速率,增加了氧浓度,明显改善了马齿苋的感官属性。

4) 低甲氧基果胶。低甲氧基果胶(LMP)具有较好的成膜性,其阻气性能良好,但是阻湿性很小,即水蒸气透过系数(WVP)很大,故LMP膜可防止食品失水,其原理与海藻酸盐相同。Eghbal等^[16]利用酪蛋白钠(CAS)与LMP制备薄膜,并考察二者间的协同作用对薄膜性能的影响。研究了CAS与LMP在pH=3条件下的凝聚反应与蛋白质/多糖比值的关系。将LMP(15 g/L)和CAS(50 g/L)分别在25℃的咪唑醋酸盐缓冲液(5 mmol/L; pH=3)中用磁力搅拌器溶解3 h。然后将LMP溶液加入CAS溶液和缓冲液中,得到CAS/LMP的质量浓度比值在0到5之间。结果表明,随着蛋白质浓度的增加,薄膜的含水量和吸水率降低,在CAS/LMP质量比为0.05的条件下,制备的薄膜弹性模量和拉伸强度较好,断裂伸长率略有提高,该薄膜可用来开发含有活性分子的创新包装。Bayarri等^[17]研究了溶菌酶/LMP复合物的性质,利用该复合物制造一种可以控制溶菌酶释放的可食用抗菌膜,结果表明,果胶酶在释放介质中的存在促进了溶菌酶的释放,所研制的可食用抗菌膜可

用于保护食品免受溶菌酶敏感微生物,特别是产果胶酶微生物的侵害。

5) 壳聚糖。壳聚糖是甲壳素的脱乙酰产物,甲壳素是节肢动物(如虾、蟹、昆虫等)外壳的重要组成部分,是一种极为丰富的天然再生资源。壳聚糖膜具有无毒、透明性好、生物相容性好、可生物降解、韧性较好、阻氧性强和抗菌等特点,是一种很有前途的工业级可食性涂料和薄膜材料^[18]。Pushkala等^[19]将壳聚糖膜运用于萝卜片的保鲜,研究表明,萝卜片质量损失率和呼吸速率均有极大程度的降低,壳聚糖膜可增加产品货架期,增加产品包装的附加值。Rhimi等^[20]对壳聚糖薄膜进行了改性研究,4种改性壳聚糖膜的拉伸强度和阻隔性能均得到提高。Jara等^[21]研究了不同聚合物浓度和不同干燥温度对壳聚糖可食性薄膜力学性能和热性能等的影响。实验结果表明,使用较低的干燥温度对薄膜的含水量、溶解度、水蒸气渗透率有积极影响,使用较高的干燥温度以及较高的壳聚糖浓度,增强了膜的拉伸强度和膨胀力等,但降低了它们的光度。

1.2 可食性蛋白质膜

蛋白质通常以纤维蛋白或球状体的形式出现。纤维蛋白不溶于水,球状蛋白既溶于水,又溶于酸、碱或盐的水溶液,可在生物体系中发挥各种功能。蛋白质的理化特性完全取决于氨基酸取代基的排列和它们在聚合物链上的相对数量^[22]。蛋白质膜具有较好的阻湿性和阻氧性,但阻氧性受环境湿度影响较大。

1) 大豆蛋白膜。大豆蛋白膜是以大豆蛋白质为基质的可食性膜,既能保持水分,还具有良好的强度、弹性和防潮性等,有些还有一定的抗菌性^[23]。Ciannamea等^[24]研究了不同浓度甘油对大豆蛋白浓缩物(SPC)薄膜的增塑效果,结果表明,甘油体积分数为40%~50%时,薄膜弹性模量和拉伸强度显著增加,膜的韧性、阻隔性、可溶性和透明度变化不大,薄膜综合性能良好。

2) 小麦蛋白膜。小麦面筋蛋白是小麦粉的疏水蛋白,被认为是由球状蛋白质组成的组合体多肽分子。面筋的特性(如内聚性和弹性)有助于成膜过程^[25],即使低离子强度的小麦面筋也可以溶解在或高或低pH值的水溶液中。加入增塑剂后,可制得韧性较好的可食性蛋白膜。Rayas等^[26]以不同种类的小麦粉为原料,制备了可食性膜,并测试其与温度有关的透氧性。实验结果表明,薄膜的透氧率与工业所用尼龙相近,且薄膜具有较好的韧性,其断裂伸长率从490%提高到640%。Mojumdar等^[27]制备了3种不同的小麦蛋白可食性膜,研究了各种薄膜的老化性能、力学性能和热性能等。结果表明,软质小麦面筋膜的断裂伸长率最高,且3种蛋白膜的含水量均在5%左右。

3) 玉米蛋白膜。玉米是玉米醇溶蛋白的主要来源,可溶解于乙醇中,因含有大量非极性氨基酸而呈现出疏水性,因其能快速成膜,可用来制备生物降解膜和涂层^[28]。Nonthanum 等^[29]研究了 pH 值、乙醇含量对不同种类玉米醇溶蛋白及其混合物的流变性能的影响,其研究结果对玉米醇溶蛋白提取工艺的设计和玉米醇溶蛋白应用的开发具有一定的参考价值。Gu 等^[30]发现玉米醇溶蛋白和醇溶蛋白均可溶于乙醇水溶液中,且具有良好的成膜性。实验结果表明,在玉米醇溶蛋白成膜液中加入醇溶蛋白有助于提高玉米醇溶蛋白膜的柔韧性,复合膜的形态组织均匀。这为柔性食品包装中玉米醇溶蛋白的研究开辟了一个新的视角。

4) 乳清蛋白膜。乳清蛋白通常用于幼儿配方奶粉和体育活动食品,并显示出较好的成膜能力。以乳清蛋白为原料所研制的可食性膜,具有透明性好、强度高和透水低等优点,同时有一定的抗菌性,对鲜切果蔬的货架期的延长有明显的作用^[31]。Tien 等^[32]将酪蛋白钙和乳清蛋白溶液用于苹果和马铃薯切片的保鲜实验。结果表明,这 2 种涂膜材料可有效延缓切片的褐变,实现薄膜的抗氧化性能。乳清蛋白表现出更好的抗氧化能力。此外,在配方中添加 CMC 更能显著提高涂膜材料的抗氧化能力。

1.3 可食性脂质膜

用来制备可食性薄膜的脂质化合物(如高级脂肪酸、米糠酯和脂肪酸甲酯等)有很多,将这些脂质化合物添加到基体中或者作为主要的成膜物质,可以改善基体膜的性能^[33]。由于脂质对水具有很低的亲和力,含脂类的涂层通常具有良好的阻水性,可以调节新鲜果蔬的呼吸作用,降低果蔬的腐烂损耗,所以特别适用于果蔬的涂层保鲜。

唐辰炜等^[34]制备了不同取代度的辛烯基琥珀酸淀粉酯,并以此制备了可食性薄膜,结果表明,当取代度为 0.021 时,可食膜具有较佳的应用性能,其力学性能、透光性能、耐水程度等指标均达到较佳。刘彬^[35]对非均相法制备纤维素硫酸酯(NaCS)的工艺进行了改进,并以此为基材制备了芥末精油(MO)和罗伊氏乳杆菌(*L. reuteri*)发酵液改性的抗菌薄膜。结果显示,薄膜的力学性能较好,柔韧性较高,阻隔性能和透明性能均较佳,同时,薄膜对各类细菌和霉菌均存在一定的抑制效果,具有较好的广谱抗菌性,该薄膜用于食品保鲜的前景可期。陈楚英等^[36]制备了羧甲基纤维素基可食性涂膜液,其中添加蔗糖酯作为改性成分,并考察涂膜材料对新鲜蜜桔果实的保鲜效果。实验结果表明,涂膜液能显著降低果实常温贮藏过程中的烂果率和失重率,同时可以提高果实的抗

病性。

1.4 可食性复合薄膜

单一物质类的可食性膜和涂层往往存在一定的不足,如多糖类膜和蛋白质类膜,其自身具有亲水性,故透水性较高,阻水性较差。疏水性的脂类膜具有优越的阻水性,能减缓或完全防止 O₂ 和 CO₂ 的迁移,但易出现厌氧呼吸。可以通过将不同类型的膜原料复合,以克服一些缺陷,更好地满足需求^[37]。

JIMÉNEZ 等^[38]将高直链玉米淀粉与壳聚糖共混,制备出了可食性复合膜,提高了复合膜的延展性和柔韧性。曾少甫等^[39]将肉桂醛添加到壳聚糖基膜中,制成了壳聚糖-肉桂醛复合膜,研究了肉桂醛体积分数对复合膜的物理性质、力学性能、抗菌性能及结晶程度等的影响。结果表明,当肉桂醛的体积分数为 2% 时,膜的抗拉强度最大。Su 等^[40]以 CMC 和大豆分离蛋白(SPI)为原料,通过溶液浇铸法制备了可食性薄膜,研究了 CMC 含量对共混物结构、热稳定性、水溶性、吸水性和力学性能等影响。实验结果表明,随着 CMC 含量的增加,共混膜的力学性能得到显著提高,但降低了共混膜的水敏性。由此证明与 CMC 共混可以改善 SPI 可食性薄膜的结构和性能。Gómez-Estaca 等^[41]研究了牛皮明胶和金枪鱼皮明胶对薄膜性能的影响,实验结果表明,金枪鱼明胶壳聚糖膜具有较强的耐水性,牛皮明胶壳聚糖薄膜具有更高的强度,同时,其综合性能均高于普通明胶薄膜。

2 可食性膜在包装中的应用

可食性膜具有保持食品品质、降低环境污染、减少包装材料和可食用等优点,同时可以延长食品的贮藏寿命和货架期,并具有阻气、防腐和抗菌等不同性质,在包装中的用途越来越广泛。一些可食性膜在食品包装中的作用及实际应用见表 1^[42-50]。

由表 1 可知,目前可食膜材料在食品保鲜包装领域得到了较为广泛的应用,主要用在果蔬保鲜、肉类保鲜和食品包装中。如美国研发的动物胶原制成的胶原膜,烹饪后可食用,具有强度高和耐水性好等优点;英国研发了用海藻糖保存肉类技术,不仅肉类的维生素不会流失,其营养成分也不会被改变;国内研发了淀粉和壳聚糖等可食性膜,主要用于水果、蛋糕和方便食品等的内包装中,具有较好的耐水性。当前,可食性膜的研究基本集中在简单的材料组合、共混和配比上,其具有的机械强度低、吸水性高、耐候性较差等缺陷,并未得到有效改善,因此,深入研究基材的改性、基体间的相互作用,对于深化可食膜材料的理论研究,拓宽其在包装上的应用范围具有重要的意义。

表 1 可食性膜在食品包装中的作用及实际应用
Tab.1 Application of edible membrane in food packaging

膜的种类	名称	应用实例	作用
多糖膜	纤维素衍生物	MC 猪肉片、鸡肉片等	使淀粉更好地粘附
		CMC 苹果、梨子、橙子、香蕉、 葡萄和土豆等果蔬	阻止 O ₂ 和 CO ₂ 渗透
		奶酪、香肠和火腿等	抑制霉菌
		HPMC 杏仁和果仁等	阻止失水和 O ₂ 渗透
	淀粉	糖果制品	阻止产品吸水
		直链淀粉 葡萄干、炸土豆	阻止粘附和油脂渗透
		羟丙基淀粉 杏仁和果仁等	阻止 O ₂ 渗透
	低甲氧基果胶	糊精 切片苹果和梨子等	阻止 O ₂ 渗透
		果胶 糖果制品	阻止吸水和粘结
		奶酪、香肠和火腿等	阻止油脂进入
蛋白质膜	壳聚糖	苹果、梨子、草莓、李子、 黄瓜和桃子等	阻止 O ₂ 和 CO ₂ 渗透， 抑制腐烂程度
	海藻酸盐	鸡肉、牛肉和猪排等	阻止失水，改善质构
	玉米醇溶蛋白	鸡蛋和土豆等	阻止 H ₂ O、O ₂ 和细菌渗透
	明胶	鸡肉、猪肉和肉片	阻止吸水和油脂进入，阻止失水和 O ₂ 渗透
	小麦蛋白	杏仁和果仁等	粘附食盐，改善风味
复合膜	醇蛋白	苹果、梨子、芹菜和冷冻 鱼等	阻止失水
	MC/HPMC	炸土豆和炸洋葱卷等	阻止油脂进入
	壳聚糖/白藜芦醇	蓝莓果	阻止 O ₂ 和 CO ₂ 渗透， 抑制腐烂程度， 具有保鲜效果
	玉米醇溶蛋白/植物油	杏仁、果仁和糖果等	阻止 H ₂ O 和 O ₂ 渗透， 携带氧化剂
	醇蛋白/蜂蜡	去皮黄瓜和胡萝卜等	阻止失水
	脂质/CMC	肉制品和果蔬等	阻止 H ₂ O 和 O ₂ 渗透

3 结语

随着食品包装的“绿色与安全”问题越来越受到关注，可食性包装材料随之成为包装领域的研究热点，这不仅是因为其具有良好的生物安全性和环境友好性，还具有易操作，且对水分、氧气和包装内装物有良好的阻隔性等特点。由于可食性材料在性能、加工工艺上还存在较多的技术难题，限制了其在包装行业的广泛应用，因而可食性包装材料未来的研究方向应着眼于以下几方面。

1) 可食材料成膜机理的研究和性能优化。成膜基材的物性和膜的内部结构与可食性膜的性能紧密相连，膜的加工方式和工艺参数对膜的性能有较大的影响。

2) 以应用为导向的改性研究。在可食膜的实际生产中应根据不同内装物的特殊需求，对膜的性质进行改善。对于食品而言，包装膜应该给予良好的气体和微生物稳定性。对于一些特定的内容物，应赋予可食膜某些不可替代的特性，从而实现对市面上同类塑料包装产品的替代。

3) 实验室研究与工程产业的转化。目前可食膜的研究基本停留在实验室的小样制备和小批量生产上，应对技术路线、工艺参数和成本进行控制和优化，以期实现实际应用的转化，达到服务于包装行业的目的。

总体而言，可食膜材料作为一种新型的绿色包装材料，具有较好的研究潜力，是一种开发性能优异且对自然环境和人体健康无害的可食性薄膜材料，不仅符合包装材料研究的主要趋势，且具有广阔的应用前

景和市场价值。

参考文献:

- [1] 马靓. 生物降解塑料聚乳酸(PLA)的研究及其在包装领域的应用[J]. 包装工程, 2010, 31(3): 119—123.
MA Liang. Research and Application of Polylactic Acid(PLA) Biodegradable Plastics in Packaging Field[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 119—123.
- [2] 刘阳. 让包装回归“绿色”[N]. 新华社北京, 2017-05-27(5).
LIU Yang. Let Packaging Return to 'Green'[N]. Xinhua News Agency, Beijing, 2017-05-27(5).
- [3] VIANA R M, Sá, Nádia M.S.M, BARROS M O, et al. Nanofibrillated Bacterial Cellulose and Pectin Edible Films Added with Fruit Purees[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 196: 27—32.
- [4] FBARA, María José, Falcó, IRENE, RANDAZZO W, et al. Antiviral and Antioxidant Properties of Active Alginate Edible Films Containing Phenolic Extracts[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 2: 26.
- [5] WU S, WANG W, YAN K, et al. Electrochemical Writing on Edible Polysaccharide Films for Intelligent Food Packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 186: 236—242.
- [6] WANG Y, LI S, DENG W, et al. Catalytic Transformation of Cellulose and Its Derivatives into Functionalized Organic Acids[J]. Chemosuschem, 2018, 11(13): 1995—2028.
- [7] SEDAGHAT N, MOHAMMAD H M, KHOSHNOUDINIA S, et al. Antimicrobial Properties of CMC-based Edible Films Incorporated with Coriander and Citrus Lemon Essential Oils on the Shelf-life of Fresh Lamb-meat at Refrigerator Temperature[J]. Iranian Journal of Nutrition Sciences&Food Technology, 2015, 9(4): 53—62.
- [8] ALIZADEHBAHANII B, TABATABAEIYAZDI F, SHAHIDI F, et al. Antifungal Effect of Edible Film(CMC) Containing Aqueous and Ethanolic Mangrove Plant Extract on Citrus Pathogens in Vitro[J]. Scientific Journal of Agricultural, 2013, 2(1): 47—52.
- [9] NOORBAKHSHSOLTANI S M, ZERAFAT M M, SABBAGHI S. A Comparative Study of Gelatin and Starch-Based Nano-composite Films Modified By Nano—Cellulose and Chitosan for Food Packaging Applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 189: 48—55.
- [10] MEIMOUN J, WIATZ V, SAINT-LOUP R, et al. Modification of Starch by Graft Copolymerization[J]. Starch-Stärke, 2018, 70(1): 1600351.
- [11] DIASAB, MÜLLERCMO, LAROTONDAFDS, et al. Biodegradable Films Based on Rice Starch and Rice Flour[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(2): 213—219.
- [12] YEPES O O, JARAMILLO C M, GUZ L, et al. Biodegradable and Edible Starch Composites with Fiber-Rich Lentil Flour to Use as Food Packaging[J]. Starch-Stärke, 2018, 70(7): 1700222.
- [13] SHAO Y, WU C, WU T, et al. Green Synthesis of Sodium Alginate-Silver Nanoparticles and Their Antibacterial Activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111: 1281—1292.
- [14] ALIZADEHBEHBAHANI B, TABATABAEIYAZDI F, SHAHIDI F, et al. Antifungal Effect of Edible Film (CMC) Containing Aqueous and Ethanolic Mangrove Plant Extract on Citrus Pathogens in Vitro[J]. Scientific Journal of Agricultural, 2013, 2(1): 47—52.
- [15] ABDALLAH M R, MOHAMED M A, MOHAMED H, et al. Application of Alginate and Gelatin-Based Edible Coating Materials as Alternatives to Traditional Coating for Improving the Quality of Pastirma[J]. Food Science & Biotechnology, 2018, 27(6): 1589—1597.
- [16] EGHBAL N, YARMAND M S, MOUSAVI M, et al. Complex Coacervation for the Development of Composite Edible Films Based on LM Pectin and Sodium Caseinate[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 151: 947—956.
- [17] BAYARRI M, OULAHAI N, DEGRAEVE P, et al. Properties of Lysozyme/Low Methoxyl (LM) Pectin Complexes for Antimicrobial Edible Food Packaging[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 131(2): 18—25.
- [18] MA H, MENG G, CUI B K, et al. Chitosan Crosslinked with Genipin as Supporting Matrix for Biodegradation of Synthetic Dyes: Laccase Immobilization and Characterization[J]. Chemical Engineering Research & Design, 2016, 137: 184—190.
- [19] PUSHKALA R, PARVATHY K R, SRIVIDYA N. CHITOSAN Powder Coating, a Novel Simple Technique for Enhancement of Shelf Life Quality of Carrot Shreds Stored in Macro Perforated LDPE Packs[J]. Innovative Food Science&Emerging Technologies. 2012, 10(16): 11—20.
- [20] RHIM J W, WANG L F. Mechanical and Water Barrier Properties of Agar/Kcarrageenan/Konjac Glucomannan Ternary Blend Biohydrogel Films[J]. CarbohydrPolym, 2013, 96(1): 71—81.
- [21] JARA A K H, DAZA L D, AGUIRRE D M, et al. Characterization of Chitosan Edible Films Obtained with Various Polymer Concentrations and Drying Tempera-

- tures[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 113:1233—1240.
- [22] MOHAMMAD ZADEH E, O'KEEFE S F, KIM Y T, et al. Evaluation of Enzymatically Modified Soy Protein Isolate Film Forming Solution and Film at Different Manufacturing Conditions[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(4):946—955.
- [23] KANG H, SONG X, WANG Z, et al. High-Performance and Fully Renewable Soy Protein Isolate-Based Film from Microcrystalline Cellulose Via Bio-Inspired Poly(dopamine)Surface Modification[J]. Acs Sustainable Chemistry&Engineering, 2016, 4(8): 4354—4360.
- [24] CIANNAMEA E M, ESPINOSA J P, STEFANI P M, et al. Long-Term Stability of Compression-Molded Soybean Protein Concentrate Films Stored Under Specific Conditions[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 448—452.
- [25] PRABHAKAR M N, REHAMAN SHAH A U, SONG J. Fabrication and Characterization of Eggshell Powder Particles Fused Wheat Protein Isolate Green Composite for Packaging Applications[J]. Polymer Composites, 2016, 37(11): 3280—3287.
- [26] RAYAS L M, HERNANDEZ R J, NG P K W. Development and Characterization of Biodegradable/Edible Wheat Protein Films[J]. Journal of Food Science, 2010, 62(1): 160—162.
- [27] MOJUMDAR S C, MORESOLI C, SIMON L C, et al. Edible Wheat Gluten (WG) Protein Films[J]. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2011, 104(3): 929—936.
- [28] JIANG Y, ZHANG M, LIN S, et al. Contribution of Specific Amino Acid and Secondary Structure to the Antioxidant Property of Corn Gluten Proteins[J]. Food Research International, 2018, 105: 836—844.
- [29] NONTHANUM P, LEE Y, PADUA G W. Effect of PH and Ethanol Content of Solvent on Rheology of Zein Solutions[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 58(1): 76—81.
- [30] GU L, WANG M, ZHOU J. Effects of Protein Interactions on Properties and Microstructure of Zein-Gliadin Composite Films[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(2): 288—298.
- [31] WANG L, GAO Y, LI J, et al. Effect of Resveratrol Or Ascorbic Acid on the Stability of α -Tocopherol in O/W Emulsions Stabilized by Whey Protein Isolate: Simultaneous Encapsulation of the Vitamin and the Protective Antioxidant[J]. Food Chemistry, 2016, 196(4): 466—474.
- [32] TIEN C L, VACHON C, MAREESCU M A, et al. Milk Protein Coatings Prevent Oxidative Browning of Apples and Potatoes[J]. Journal of Food Science, 2010, 66(4): 512—516.
- [33] LIU R, CONG X, SONG Y, et al. Edible Gum-Phenolic-Lipid Incorporated Gluten Films for Food Packaging[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(6):1622—1630.
- [34] 唐辰炜, 邵静, 李沅, 等. 辛烯基琥珀酸淀粉酯可食膜的制备[J]. 大连工业大学学报, 2014(4): 262—265. TANG Chen-wei, Shao Jing, LI Yuan, et al. Preparation of SSOS Edible Films[J]. Journal of Dalian Polytechnic University, 2014(4): 262—265.
- [35] 刘彬. 纤维素硫酸酯基可食性抗菌复合膜研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2014: 25—30. LIU Bin, Studies of Antimicrobial Edible Composite Films Based on Cellulose Sulfate[D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2014: 25—30.
- [36] 陈楚英, 陈明, 付永琦, 等. 丁香提取液可食性复合涂膜对新余蜜橘常温保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2014(2): 117—123. CHEN Chu-ying, CHEN Ming, FU Yong-qi, et al. Preservation of Postharvest Xinyu Tangerine Coated with Edible Compounds from Clove Extracts under Ambient Temperature Storage[J]. Modern Food Science and Technology, 2014(2): 117—123.
- [37] EGHBAL N, YARMAND M S, MOUSAVI M, et al. Complex Coacervation for the Development of Composite Edible Films Based on LM Pectin and Sodium Caseinate[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 151: 947—956.
- [38] JIMÉNEZ A, FABRA M J, TALENS P, et al. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review[J]. Food Bioprocess Technol, 2012, 5(6): 2058—2076.
- [39] 曾少甫, 胡长鹰, 刘婧. 壳聚糖—肉桂醛复合抗菌降解膜的制备及性能[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 6—11. ZENG Shao-fu, HU Chang-ying, LIU Jing. Preparation and Properties of Chitosan Cinnamaldehyde Biodegradable Antibacterial Composite Films[J]. Food Science, 2016, 37(10): 6—11.
- [40] SU J F, HUANG Z, YUAN X Y, et al. Structure and Properties of Carboxymethyl Cellulose/Soy Protein Isolate Blend Edible Films Crosslinked by Maillard Reactions[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(1): 145—153.
- [41] GMEZ-ESTACA J, GMEZ-GUILLÉN M C, FERNÁNDEZ-MARTÍN F, et al. Effects of Gelatin Origin, Bovine-hide and Tuna-Skin, on the Properties of Compound Gelatin-chitosan Films[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(6): 1461—1469.
- [42] PELISSARI, MARIA F, AADRADE-MAHECHA, et al. Comparative Study on the Properties of Flour and Starch Films of Plantain Bananas(Musa Paradisia-

- ca)[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 30(2): 681—690.
- [43] SALGADO P R, ELVIRA LÓPEZ-CABALLERO M, CARMEN GÓMEZ-GUILLÉN M, et al.. Sunflower Protein Films Incorporated with Clove Essential Oil Have Potential Application for the Preservation of Fish Patties[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 33(1): 74—84.
- [44] VALENZUELA C, ABUGOCH L, TAPIA C, et al. Effect of Alkaline Extraction on the Structure of the Protein of Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) and Its Influence on Film Formation[J]. *International Journal of Food Science & Technology*. 2013. 48(4): 843—849.
- [45] 张玮圳. 白藜芦醇-壳聚糖可食性复合膜的制备及其在蓝莓果保鲜中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2018: 19—23.
- ZHANG Wei-zhen. Preparation of Resveratrol-Chitosan Edible Composite Membrane and the Application in the Preservation of *Lonicera Edulis*[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2018: 19—23.
- [46] LOREVICE M V, OTONI C G, Márcia Regina de Moura, et al. Chitosan Nanoparticles on the Improvement of Thermal, Barrier, and Mechanical Properties of High and Low-Methyl Pectin Films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 52: 732—740.
- [47] EGHBAL N, YARMAND M S, MOUSAVI M, et al. Complex Coacervation for the Development of Composite Edible Films Based on LM Pectin and Sodium Caseinate[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 151: 947—956.
- [48] MURRIETA-MARTINEZ C L, SOTO-VALDEZ H, PACHECO-AGUILAR R, et al. Edible Protein Films: Sources and Behavior[J]. *Packaging Technology & Science*, 2018, 31(3): 113—122.
- [49] HASSAN B, CHATHA S, HUSSAIN A I, et al. Recent Advances on Polysaccharides, Lipids and Protein Based Edible Films and Coatings: a Review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 109:1095—1107.
- [50] CUQ B, GONTARD N, GUILBERT S. Proteins as Agricultural Polymers for Packaging Production[J]. *Cereal Chemistry*, 2018, 75(1): 1—9.