

包装技术与工程

食品活性包装与智能标签的研究及应用进展

许文才^{1,2}, 付亚波^{1,2}, 李东立², 刘鹏²

(1. 天津科技大学, 天津 300222; 2. 北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 综述活性包装材料和智能标签在食品包装中的应用进展情况。**方法** 针对我国食品包装安全领域存在的问题, 介绍近年来国内外活性包装材料与智能标签的研究进展, 并对其在食品包装领域的一些典型应用进行综述。**结论** 研究成果对于推进食品包装的功能化、信息化和智能化, 促进活性与智能包装标签在我国食品生产、流通和消费全过程中的有效应用, 提升包装安全与管理水平均具有重要的现实意义。

关键词: 活性包装; 智能标签; 应用; 进展

中图分类号: TB484; TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0001-10

Research and Application Progress of Food Active Packaging and Smart Labels

XU Wen-cai^{1,2}, FU Ya-bo^{1,2}, LI Dong-li², LIU Peng²

(1. Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;

2. Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The application progress in active packaging materials and smart labels in food packaging was reviewed. Targeting at the existing problems in the food packaging safety field in China, we introduced the recent research progress in active packaging and smart labels in China and other countries, and reviewed some of their typical applications in the field of food packaging. The research achievement has important practical significance for accelerating the functionalization, informationization and intelligentization of food packaging, promoting the effective application of active and smart packaging labels in the process of food production, distribution and consumption in China, and enhancing the packaging safety and management levels.

KEY WORDS: active packaging; smart label; application; progress

随着消费者对食品的安全、包装保鲜、风味和方便食用等要求的提高, 以及食品生产、流通、贮存和消费等方式的巨大变化, 迫切要求食品包装在保护及营销产品方面不再只发挥被动的作用, 而是逐渐发挥主动、积极的作用。活性包装及智能包装标签顺应了这一发展趋势, 在延长或保持食品货架期、监测食品质量及安全等方面提供许多创新性的解决方案, 从而备受关注。除此之外, 活性包装及智能包装标签不仅能够提高食品的感官品质和风味, 还能提高包装与消费者之间的互动性, 让消费者获得更多有关被包装食品

的生产信息, 提供被包装食品的安全性与卫生状况, 减少因食品过期或变质而造成的浪费。文中通过对活性包装材料与智能包装标签的文献和报道的综述, 介绍该领域国内外最新的研究和应用进展, 以及所在团队北京印刷学院食品软包装材料研究室的相关研究成果。

1 国内外活性包装与智能包装标签的应用前景分析

活性包装是通过材料中的活性组分来改变食品

收稿日期: 2015-02-02

基金项目: 国家自然科学基金(31471653); 北京印刷学院“北印英才”计划

作者简介: 许文才(1957—), 男, 陕西白水人, 北京印刷学院教授, 天津科技大学兼职教授、博士生导师, 主要研究方向为包装印刷、功能包装材料与技术。

的包装环境(氧气与二氧化碳浓度、温度、湿度和微生物等条件)以延长储存期、改善食品安全性和感官特性,同时保持食品品质不变的一种包装体系。智能包装标签是通过具有热敏、湿敏、气敏和光电功能等技术的运用,对包装环境因素具有“识别”和“记录”功能,从而帮助消费者识别包装内食品的品质,减少因食品污染或变质引起的浪费。

2010年,美国浪费了31%的食物,价值达133亿英镑。2011年FDA报告显示,每年大约13亿吨的食品由于腐败而被丢弃,仅欧洲每年就产生0.89亿吨的腐败食品,占欧洲家庭所购买食品的20%~30%。如果这些产品能够使用延长货架期的活性包装盒和监控外界环境变化的智能包装,将大幅减少食物的浪费,降低经济损失。目前,市场上应用的活性包装材料占90%,智能包装标签占10%。其中,在活性包装材料应用领域中,气体吸收类占33%,抗菌类占22%,湿度控制类占20%,其他占15%。相关机构分析估计,未来用智能包装技术生产的包装将增加到占食品包装总数的20%~40%。在美国,活性与智能包装若以年均8%的增长率快速发展,年产值有望于2017年达到35亿美元,具有广阔的市场前景^[1]。

2 国内外活性包装材料的研究进展

活性包装按照大类可分为吸收体系、释放体系和其他体系(包括自加热和自冷却系统等)。按照具体的功能进行分类,常见的活性包装可分为氧气去除型、乙烯吸附型、二氧化碳清除和产生型、异味清除型、温度控制型、湿度控制型、抗菌/杀菌体系和自加热(冷却)包装等。

2.1 氧气去除包装

对于氧敏型食品,如牛奶、蔬菜汁、熟肉制品、糕点、植物油等,通常需要采用对氧气具有高阻隔性的包装材料,传统的高阻隔包装材料很难提供绝对的低氧环境,因此使用具有氧气去除功能的吸氧包装材料可清除包装内的渗透氧、顶空氧和溶解氧,让被包装食物处于绝对低氧环境,从而大幅延长食物货架期。

氧气去除包装的原理是通过除氧剂、填充惰性气体或包装袋本身的除氧作用来脱除包装内的氧气,可有效延长被包装物的货架寿命。常用的除氧剂包括无机除氧剂和有机除氧剂,其中无机除氧剂有铁系除氧剂、亚硫酸盐系除氧剂、加氢催化剂型除氧剂等,有机脱氧剂有抗坏血酸类、儿茶酚类、葡萄糖氧化酶和

维生素E类等。铁系脱氧剂具有原料来源广、加工成本低、氧气去除效果好、安全性高等优点,被广泛用于各种类型的除氧包装中^[2]。

常见除氧包装膜具有从内到外的3层或多层复合薄膜结构,包括高阻隔性聚合物薄膜层(如PA)、除氧剂薄膜层、低阻隔性聚合物薄膜层(如PE或EVA)。除氧剂可以吸收包装内的氧气,且不直接接触被包装物品,既达到了除氧的效果,又保证了包装的安全可靠性。含除氧剂的包装体系一般需要在在一个简易因素的激发下,经过一个活化阶段后对包装内的氧气起作用,有除氧剂层的复合薄膜可以广泛应用于各种产品的包装^[3]。

国内外对具有氧气吸收功能的包装薄膜进行了研究,并获得了许多成果。Y.Shin等人^[4]研究了一种由3层膜复合而成的除氧包装膜,最内层和最外层都是聚丙烯膜,中间层是添加了除氧剂的聚丙烯膜,实验结果表明该包装薄膜能延长肉类制品的保存时间。C.Gomes等人^[5]研究了一种复合型吸氧包装薄膜材料,其除氧剂薄膜层由铁系脱氧剂层压而成,在水蒸气激活的条件下即可发挥吸氧作用。D.Granda-Restrepo等人^[6]研究了一种加入有机除氧剂的多层复合膜,该薄膜由添加了二氧化钛的高密度聚乙烯膜、乙醇醇聚合膜和含有丁基羟基苯甲醚、丁基羟基甲苯和 α -生育酚的低密度聚乙烯膜组成,将该包装材料用于全脂奶粉的包装中,结果表明丁基羟基苯甲醚以及丁基羟基甲苯可快速地从复合膜中扩散到奶粉中,而 α -生育酚则具有缓释效果,奶粉中的维生素A得到了很好的保护。采用乙烷基纤维素膜(感光染料均匀分布在膜中)和一个位于透明包装顶部空间的单氧接收器对产品进行包装,当光照射在薄膜上时感光染料被激活,包装内部的氧气变为单态氧,其与单态氧接收器接触发生反应,从而起到降低氧气含量的作用^[7]。EMCO公司的脱氧技术能将氧气转化为臭氧,以降低产品的氧化程度,防止食物发霉、变色。该技术不仅用于包装,还可以用于产品的贮藏。另外,其他种类的吸氧包装包括:将钯片或铂片包埋于阻隔层及透氧层之间制成多层透氧膜;将葡萄糖氧化酶和乙醇氧化酶固定在包装膜的内侧;在包装薄膜中加入有机螯合物复合成薄膜,从而实现包装的吸氧功能^[8]。李东立等所制备的食品包装用多层复合吸氧薄膜,将吸氧树脂共混到LDPE(低密度聚乙烯)中作为吸氧层,当食物中的水分接触到包装材料后,由内层扩散进来的水分与吸氧层接触,使吸氧树脂被活化,开始与氧气发生反应,经过测试发现经过7~10 d就可以完全吸收食品

中的溶解氧和顶空氧,维持包装内的低氧浓度,并且通过对橙汁的保鲜测试表明,其效果十分显著。

目前在市场上出售的用于制作具有吸氧功能包装薄膜的除氧剂有瑞士Ciba公司生产的ShelfplusO₂系列抑氧剂,芬兰Bioka公司生产的Enzymatic系列抑氧剂,CPCChem公司出品的OSP系列抑氧剂,澳大利亚联邦科学与工业研究组织研发并经澳大利亚Southcorp包装公司推向市场的Zero2TM氧气脱除剂^[9]。另外,法国的Standa Industrie公司生产的ACTO HV210、日本Mitsubishi Gas Chemical Company生产的Ageless SS200E、美国Desiccare公司生产的Desiccare O₂ busters FT-200和Multisorb Technologies公司生产的Freshpac R200等除氧剂,在潮湿和干燥的空气中都具有良好的吸氧效果^[10]。

2.2 二氧化碳生成剂和去除包装

在新鲜果蔬包装中往往会产生二氧化碳,而二氧化碳有抑制微生物生长的作用。控制二氧化碳含量可在包装膜内装上二氧化碳产生系统或除去系统。高二氧化碳浓度对于肉禽类和果蔬类的贮藏尤为重要,但如果二氧化碳浓度过高,会使水果进入糖酵解阶段,导致水果品质快速下降,这时需要二氧化碳除去剂。

1) 二氧化碳释放薄膜。二氧化碳为酸性气体,具有抑菌作用,因此对二氧化碳有较高耐受水平的水果,可以使用二氧化碳释放薄膜来保鲜。二氧化碳释放包装的主要形式是将二氧化碳释放剂以小包的形式加入到产品包装中或直接加入到薄膜中,形成具有二氧化碳释放功能的复合包装膜。

肉类、奶类及耐受二氧化碳能力较高的水果等产品,在高浓度的二氧化碳(体积分数为10%~80%)环境中,其表面细菌的生长得到了抑制,产品的货架期得到了延长,因此在一些食品包装内部保持较高浓度的二氧化碳对保持其品质非常有利^[11]。此外,使用氧气脱除包装的产品有些容易发生包装塌陷,影响包装内装物的形态和包装的美观,因此可以在包装中加入具有二氧化碳生成作用的添加剂或薄膜。目前市场上二氧化碳释放剂种类主要包括:法国SARL Codimer公司研发的Verifrais,可用于新鲜肉制品保藏^[9];亚硫酸盐脱氧剂与碳酸氢钠混合体系,可以同时起到除氧和产生二氧化碳的作用;日本三菱公司的Ageless G,Toppan印刷公司生产的Freshlizer C和CW、美国的Freshpax M等氧气吸收剂/二氧化碳生成剂;二氧化碳和有机酸共混体系,B.C.Schirmer等^[12]将二氧化碳和柠

檬酸、乙酸、肉桂醛等混合用于鲜大马哈鱼的保鲜,取得了较好的效果。

2) 二氧化碳去除体系(即含铁粉和氢氧化钙的小包)。可用于新加工咖啡等产品的包装,同时控制包装内氧气和二氧化碳的含量,不仅能解决包装胀袋问题,还能延长货架寿命。常用的方法是在包装中加入二氧化碳吸收剂,将铁粉与氢氧化钙混合后制成的小包可以同时控制包装内氧气和二氧化碳的含量,此方法常用于新加工咖啡的保存。此外,氢氧化钙、氢氧化钠、氢氧化钾、氧化钙和硅胶等都可作为二氧化碳脱除体系中的化合物,除去产品中过量的二氧化碳,以达到延长保质期的作用。利用氢氧化钙和二氧化碳反应生成碳酸钙来除去二氧化碳的Fresh Lock R包装兼具除氧及除二氧化碳的功能,已被成功用于咖啡的包装^[13]。法国Standa Industrie公司生产的ATCO CO-450是一种适用于潮湿食品的二氧化碳吸收剂,使用时需要用水蒸气激活。

2.3 乙烯去除体系

该包装主要用于水果和蔬菜的保鲜,吸收果蔬成熟过程中产生的乙烯气体,降低果蔬呼吸速率,延缓果蔬衰老,延长果蔬货架期。最常见的乙烯去除方法包括:使用高透气率的包装材料包装果蔬,使其中的气体最大程度地逸出;将乙烯去除剂包装在小包内,再将其放入产品的包装中。

1) 乙烯去除剂。具有有效去除乙烯作用的物质包括高锰酸钾、沸石、方石英以及部分种类的碳酸盐,这些去除剂采用对乙烯具有高透过性的小袋进行包装。其中高锰酸钾有毒,呈紫色,将其放入小袋内再加入果蔬包装中,它可以将乙烯氧化成乙醇和醋酸盐来脱除乙烯^[14]。乙烯去除剂中的高锰酸钾质量分数为4%~6%,其成分主要是珍珠岩、氧化铝、硅胶、蛭石、活性炭或者一些盐类。日本Rengo公司研发的Green Pack R是一种含高锰酸钾和硅石的小袋,硅石可以吸收乙烯,高锰酸钾将乙烯氧化成乙醇和醋酸盐。具有活性表面的物质也可以对乙烯进行物理吸附,G. Bailen等人^[15]的研究表明,在活性炭中添加质量分数为1%的钡粉末,对乙烯具有良好的吸附效果。L.A. Terry等人^[16]研究了一种以金属钡为原料制成的乙烯吸附剂,其性能优良,在温度为20℃,相对湿度接近100%时,其乙烯吸附容量达4162 μL/g。

2) 乙烯去除包装膜。将乙烯去除剂加入薄膜中,制成具有乙烯吸附功能的薄膜,用此薄膜对果蔬进行包装,可以达到去除乙烯的作用。将粉末状或

多孔性无机物质(如沸石、陶土)直接混入聚乙烯或聚丙烯的塑料材料内挤压成薄膜,具有吸收乙烯的功能。奥地利 EIA Warenhandels 公司利用沸石生产的 Profresh 品牌添加剂,可直接用于普通聚乙烯薄膜的生产,无需采用多层复合薄膜也可获得良好的保鲜效果,并已获得美国 FDA 和德国官方颁发的食品认证^[17]。C. Maneerat 等人^[18]发明了一种加速包装内乙烯降解的活性膜,将质量分数为 10%的二氧化钛悬浮液涂在聚丙烯薄膜包装袋的内侧并风干,分布在包装内侧的二氧化钛纳米颗粒具有很强的吸附作用,可以加速乙烯降解。

2.4 活性抗/杀菌包装材料

抗/杀菌包装种类繁多,是目前活性包装领域的一个研究热点。它是将具有抗/杀菌的活性组分,如二硫化硫、二氧化氯、乙醇、壳聚糖、Nisin、动植物精油、生物抑菌制剂等组分,添加到薄膜结构中使其具有一定的活性,达到抑制食品包装内细菌滋生和延长货架期的目的。

1) 乙醇杀菌包装。乙醇是一种理想的食品杀菌剂,日本研制出一种乙醇杀菌袋,由纸与乙烯醋酸乙酯共聚物积层材料制成,内装食品级乙醇(质量分数为 55%)、水分(质量分数为 10%)及二氧化硅粉末(质量分数为 35%)。乙醇蒸汽可控制 10 种霉菌、15 种细菌及 3 种致腐败的酵母菌。

2) 二氧化氯杀菌包装。二氧化氯具有有效的杀菌活性及漂白作用,被美国食品药品监督管理局批准添加到食品包装材料上^[19]。

3) 二氧化硫杀菌包装。二氧化硫常被用来抑制葡萄霉菌的生长,用于葡萄储藏的真菌杀菌剂,由快速释放系统和慢速系统组成,释放少量的二氧化硫对新鲜葡萄的贮藏非常有利^[20]。李东立等人研发的葡萄智能缓释杀菌保鲜包装材料,其具有专利技术的含双组分保鲜剂材料配方,能够根据所包装保鲜葡萄等水果的呼吸和腐烂情况,智能调节二氧化硫的释放量,经权威机构检测未检出药剂残留,起到了长效保鲜的效果,葡萄能够保鲜 75~100 d,好果率超过 90%。该保鲜薄膜在低温条件下对冬枣、樱桃、荔枝和石榴都具有较好的长效保鲜效果。

4) 金属离子杀菌包装。金属离子抗菌剂是以离子状态存在的银、铜和锌,通过离子交换或直接合成,以制剂的形式与载体结合。锌离子和银离子在抗菌薄膜中的含量很低,必须制成含银、锌的有效载体,再加入到包装材料中^[21]。由于银或铜等金属离子

与细菌或霉菌的活性酶中心有很强的结合能力,因而具有抗菌保鲜作用。阿克苏诺贝尔和 BioCote 联合开发的银离子抗菌涂层,可以达到较好的灭菌和保鲜效果。

5) 尼生素杀菌包装。生物分泌物细菌素主要包括尼生素、乳链球菌素、乳酸片球菌素和丙酸菌素。其中尼生素是普遍采用的食品杀菌剂,尼生素可抑制鼠伤寒沙门氏菌、热杀索氏菌、单增生李斯特菌和金黄色葡萄球菌。另外,大量试验结果表明,尼生素的不同混合物具有不同的抗菌作用,如尼生素和乳链球菌素在聚酰胺/低密度聚乙烯中抑制单增生李斯特菌和黄色微球菌。尼生素还可以与柠檬酸、月桂酸、乳酸片球菌素等混用起到杀菌作用^[22]。

6) 天然高分子杀菌包装。壳聚糖是具有抗菌活性的天然聚合物,具有良好的抗菌活性。壳聚糖及其衍生物是制备抗菌膜的优良材料,一直是包装材料研究的热点。J. Duan 等人^[23]开发了一种由壳聚糖和溶菌酶组成的抗菌膜,其中溶菌酶的质量分数为 60%。通过奶酪保鲜的实验可知,它对大肠杆菌、单增李斯特菌、磷光假单胞菌等具有良好的抑制作用。以色列 OPLON 公司正与 REYNOLDS Group 进行合作,生产的杀菌涂层由安全的生物材料构成(如虾皮),并与纳米技术结合,以期在杀菌包装上有所突破。他们希望采用涂料聚合电解质的方法,在聚合物基质上创建电场与液体接触,以破坏细胞膜,这种杀菌包装无毒、便宜。J. Sangsuwana 等人^[24]研究了壳聚糖抗菌膜对水果的保存效果,在壳聚糖/甲基纤维素膜中加入香兰素之后,对鲜切菠萝中的大肠杆菌和酿酒酵母都有很好的抑制作用,而且可以降低鲜切菠萝的呼吸速率和乙醇的产生量。此外,这种抗菌膜还具有良好的保湿效果,能较好地保留菠萝的颜色,但会使维生素 C 损失严重。同时一些研究认为,并不是所有的壳聚糖都具有抗菌活性,只有分子量在一定范围内的壳聚糖物质才有抗菌性。

7) 植物、动物精油杀菌包装。近年来,植物和动物精油用于杀菌包装材料的研究受到广大科研工作者的青睐。华中农业大学的李斌等人^[25]在魔芋胶与结冷胶的混合膜中添加了乳链球菌肽并进行相关实验,结果表明抗菌效果与混合膜中的结冷胶含量成正比,并推测结冷胶的存在有利于乳链球菌肽的释放。S. Flores 等人^[26]研制了一种由山梨酸钾和木薯淀粉组成的可食用抗菌膜,并进一步探讨了不同条件下山梨酸钾从包装膜到食品的扩散情况。L. Gutierrez 等人将肉桂精油固定在 30 μm 厚的微孔聚

丙烯薄膜上,用于保存焙烤食品,将其货架期提高了3~10 d。J.Miltz 等人^[27]将皮隔膜蛋白 K4K20-S4 与玉米淀粉的混合物涂在厚度为 80 μm 的聚乙烯热收缩膜上用于保存鲜黄瓜,实验表明这种抗菌膜对霉菌和好氧菌有很好的抑制效果。将牛至精油、壳聚糖、环糊精配成混合液涂布于瓦楞纸板表面,研究涂布量对青霉、腐霉、交链孢霉、灰霉的熏蒸抑菌活性,结果表明抑菌活性随着牛至精油涂布量的增多而增强,牛至精油使用量大于 3.04 g/m²时,瓦楞纸板对 4 种霉菌具有完全抑制作用^[28]。Fenugreen 公司的 freshpaperTM 技术是在纸张上涂防腐抗菌的涂层(比如迷迭香),通过激活沉积在薄膜或纸张上的防腐涂层,使水果和蔬菜新鲜期提升 2~4 倍。

8) 多种杀菌方法结合包装。抗菌包装可以与其他抗菌方法共同作用,如对包装材料的聚合物进行辐射处理或气流喷射等方法处理,使包装材料具有抗菌活性,有利于更好地保存食品。J.Han 等人^[29]研究了涂有抗菌物质的低密度聚乙烯/聚酰胺膜在致电离辐射剂量下的各种变化,所选择的抗菌物质有山梨酸、香芹酚、反式肉桂醛、麝香草酚、迷迭香油等。将抗菌物质涂在低密度聚乙烯内侧后进行干燥,这些物质经电离辐射处理后都保持着抗菌活性。辐射处理和抗菌物质都没有影响膜的抗张强度,反而使膜变得更加有韧性,而且具有更好的隔湿性,也没有改变对氧的渗透性。该研究的意义在于可以将抗菌活性包装和辐射杀菌结合起来,抗菌包装内食品表面的微生物会受到抗菌物质的抑制,变得对辐射敏感,此时采用较低剂量的照射,可起到杀菌作用,从而避免高剂量辐射对食品品质和安全性的影响。Cohen 等人通过研究表明,紫外激发态原子激光在空气中在波长为 193 nm 的条件下辐射尼龙膜和其他织品,可导致 10% 的酰胺基转化为具有抗菌活性的胺基。李东立等人研发的水蜜桃专用保鲜袋——自气调活性包装薄膜,可以在室温条件下,将无锡九成熟的水蜜桃货架期从裸放 2 d 延长至 8 d,具有明显的保鲜效果。

2.5 异味清除包装

水产品等在包装流通过程中由于正常代谢或腐烂会产生胺、硫化氢、醛等异味,使用异味清除型包装可以清除这些异味,提升所包装产品的感官品质,具有广阔的应用前景。如 MINIPAX 和 STRIPPAX 等包装产品可以清除硫醇和硫化氢等物质,含亚铁盐和有机酸等 Anico 包装产品可以去除鱼肉蛋白变质产生的胺类物质,使用杜邦公司的一些母料做成的包装材料

可以清除食品包装中产生的醛类物质^[30]。在 2 层包装膜之间填充净化剂来吸收异味、降解氧化反应,比如在柑橘类产品包装中使用醋酸丁酸纤维素胺,可以吸收柑橘类产品在腐败过程中释放出的化合物,从而阻止其继续进入柑橘内部,延长它的保鲜期。在海鲜类包装中,日本 NAIC 公司研制出了亚铁盐涂层和抗坏血酸(维生素 C)涂层,这些涂层可以消除海鲜类产品在腐败过程中散发出的臭味。

2.6 自加热(自冷却)包装

自加热智能包装由一种多层、无缝的容器,以注塑成形方法制成,容器内层分成多个间隔,容许产品自我加热。它的加热原理是:当使用者拿下容器上的箔,并按压容器底部时,容器内的水及石灰石便会产生化学反应,放出热能,进而令产品加热^[31]。自加热咖啡罐采用聚丙烯、钨黄铜覆膜材质,以氧化钙-水或氧化镁-水为加热介质,加热 6~8 min 后即可食用。在自加热方面的典型应用还包括日本自加热清酒罐、雀巢公司推出的 330 mL 自动加热牛奶咖啡罐。

自冷却智能包装是在包装内置 1 个冷凝器、1 个蒸发格及 1 包以盐做成的干燥剂,冷却时由催化作用所产生的蒸气及液体会贮藏于包装底部。该技术可应用于普通容器,它能在几分钟内将容器内物品的温度降低至摄氏 17 ℃。自冷却型啤酒罐,采用水作为冷却介质,当水从容器外壁汽化后带走热量,使啤酒冷却,最后水被吸附剂吸附。

3 国内外智能包装研究进展

智能包装标签按照大类可分为功能材料型、功能结构型和信息型等智能包装。按照包装所要表达的信息,包装种类见表 1。

表 1 智能包装的分类
Tab.1 Classification of smart packaging

包装需要表达的信息	智能包装解决方案
食品是否受到污染	微生物鉴定墨水
被包装物内部细菌滋生情况	气敏标识,抗体涂层
包装内部气体	气敏标识
贮存温度	极限温度指示,时间温度指示
包装完整性	热封完整性指示,收缩套管
防伪	全息标签,微型标记
防丢失	磁条
产地	电子射频
消费者便利	加热自开启

3.1 功能材料型智能包装

功能材料型智能包装是采用温敏、湿敏、气敏或具有光电功能的材料,得到对环境因素具有“识别”和“判断”功能的包装^[32]。它能够改善或增加包装功能,以满足特定的包装要求。常见的功能材料型智能包装有食品新鲜度指示型、食品成熟度指示型和泄露指示型等。

3.1.1 食品新鲜度指示型智能包装

导致食品腐败的主要因素包括食品自身酶的催化作用、外界微生物污染,及环境温度、湿度、氧化作用的影响等。食品新鲜度指示型智能包装的应用主要包括:通过检测导致食品腐败微生物的存在与否、检测呼吸作用产生二氧化碳气体的含量、检测挥发性含氮化合物的含量、检测硫化氢的含量、检测乙烯气体的含量等来判断食物的新鲜度。如根据DNA聚合酶反应原理制备的食品新鲜度指示卡,可用于检测大肠杆菌,当大肠杆菌存在时,指示卡会由蓝色变为红色。利用二氧化碳水解呈酸性原理制备的pH指示剂变色薄膜,可用于检测食品呼吸作用产生二氧化碳气体的含量,指示出某些食物的新鲜度。利用硝酸铅与硫化氢特征反应原理制备的食品新鲜度指示卡检测硫化氢的含量,当因食品腐败产生硫化氢时,指示剂会由棕色变为黑色,从而判断肉类食物的新鲜度。利用芳香气体与乙烯的特征反应原理制作的Ripe Sence™,可用于检测乙烯气体的含量,随着乙烯浓度的升高,标签颜色由红色逐渐变为橙色,最后为黄色,不同颜色表示水果不同的成熟度和新鲜度^[33]。

在市场应用方面,2006年加拿大Toxin Alert公司将William T的微生物敏感型智能包装成果商业化,研发了可用于致病菌(沙门氏菌、弯曲杆菌、大肠杆菌、李斯特菌等)检测Toxin Guard™产品,并将其成功应用于牛奶包装上。通过应用该技术,可直观地监测到牛奶的品质变化,当包装内乳酸菌的数量增加、牛奶品质下降时,指示标签将由白色变为红色。美国加利福尼亚州SIRA Technologies公司将R. M. Goldsmith的成果商业化,研制出Food Package Sentinel System™产品,用于海产品的指示。二氧化碳敏感型智能包装,早在1962年Ray F. Lawdermilt就介绍了一种用于指示奶制品新鲜度的标签。该标签包含了吸收二氧化碳的碱性液体氢氧化钾溶液,以及pH指示剂碱性品红,并在标签外部覆盖一层保护性膜,以防止包装内的水蒸气进入标签,同时也防止标签内的碱性溶液和pH指示剂进入包装内,确保只有二氧化碳气体通

过。当奶制品中的乳酸菌发酵时,其释放的二氧化碳进入指示标签内,并被吸收,从而引起标签内pH值的改变,表现为标签的颜色变化。目前通过物品酸碱度改变引起的颜色变化作为指示剂指示食品腐败的应用非常多,根据不同食品释放二氧化碳的规律不同,采用多种pH指示剂,如溴百里酚蓝、溴甲酚绿、溴甲酚紫、甲基红、二甲酚蓝等,并采用更加灵敏、快捷的共混挤出吹塑成型法、涂膜法、浸渍法等制备方法。

Infratab的freshtime标签重点作用是“新鲜保证”,其中心点是它的智能传感器标签可以监测食物的保质期,用数字提供食物的新鲜度,特别适用于一些对温度敏感的易腐品。用数字标示的新鲜度让消费者知道食物的新鲜程度,以及还有多少保质期。通过Infratab公司的智能标签,生产商、零售商和消费者都对食物的新鲜度一目了然,最重要的是每个人都对食物有了信心,不用担心吃不到不新鲜的食物。最显著的成果是,通过使用这种标签,鲜切果蔬等食品浪费的比例由50%降到了20%以下^[1]。

2004年新西兰P-P Enterprises超级市场推出了Ripe Sence™洋梨新包装,该标签可通过检测水果成熟后所产生的天然芳香成分来判断其成熟度。当果实坚硬而不成熟时,标签会呈现红色;当水果完全成熟时,标签会由红色变成黄色^[34]。挥发性物质智能包装,主要包括含氮化合物、硫化氢。Miller等人设计了一种海产品新鲜度的智能包装,它可以与挥发胺发生反应,通过相应颜色的变化来进行判断。根据硫化氢与血红蛋白反应原理制作的智能包装,可以用来指示家禽肉的新鲜度。

3.1.2 食品成熟度指示型智能包装

成熟度指示性智能标签主要应用于水果包装。智能包装上的特定图层能够感知、判定水果成熟过程中散发出的芳香族化合物的浓度,色标会根据所感知的芳香族化合物浓度从红色变为黄色,如梨子从生脆到完全成熟的过程中,色卡将由红色变为黄色^[35]。消费者可以根据成熟度智能包装上色卡颜色的变化,准确地判断出水果的成熟度,不必再使用传统的判断方法进行揣摩和猜测,这将改变消费者的判别方法、购买水果的方式,可以延长水果的储存时间。

Hort研究所研发了可以表示梨子成熟度的智能包装,包装上标签的特定涂层能够感知水果成熟过程中散发出的芳香族化合物浓度,密封包装上方贴有从红色到黄色的圆点色标,色标会根据芳香族化合物的浓度而变色,表示梨子从生脆到完全成熟过程中标签颜色的变化。

3.1.3 泄露指示型智能包装

正常情况下由于包装袋里食物的呼吸作用使其氧气的体积分数较低(约2%~5%)、二氧化碳的体积分数较高(约20%~80%),泄漏将导致氧气的体积分数增加、二氧化碳的体积分数降低。泄露指示型智能包装通过将指示卡(氧气指示卡、二氧化碳指示卡)贴在包装内侧,可分别测出包装袋内氧气、二氧化碳的体积分数,进而确定包装是否完整。氧气指示卡包括可视化氧气指示卡和不可视氧气指示卡。典型的可视氧指示卡包括一种具有氧化还原作用的染料、一种还原化合物和一种碱性物质。当指示卡上的氧化还原染料被氧化时,可以观察到染料颜色的变化。指示卡上最常用的染料是亚甲基蓝,其还原态呈白色,氧化态呈蓝色。指示卡中还原性化合物的作用是还原染料,使之在包装过程中一直处于还原态。碱性物质的作用是保持pH值大于7,防止染料的氧化速度过快^[36]。

Ahvenainen 等人将可视化氧气指示卡用来作为自发气调包装的碎牛排和碎披萨的泄漏指示器^[37]。非可视化氧气指示卡含有能发出荧光的内置体系,同时通过配置外部设备检测荧光强度来测定包装内氧气的质量分数。TNO开发了光学氧气传感法,将荧光猝灭在特殊处理的染料上,染料受脉冲激活后,会发出强度跟氧气质量分数成正比的荧光,这种方法对氧气非常敏感,可在1 s内完成测定^[38]。

二氧化碳指示卡在MAP的应用中,高浓度的二氧化碳作为保护气被广泛应用,在包装后的一定阶段,二氧化碳浓度显著降低是包装泄漏的明显特征。将二氧化碳浓度的变化用于泄露指示卡的判断并不十分可靠,因为在包装泄漏时微生物的繁殖也会产生二氧化碳,可能会导致二氧化碳浓度降低不显著^[39]。

3.2 功能结构型智能包装

功能结构型智能包装打破了传统包装的形式及其功能,通过改变包装的结构并应用现代技术,达到某些自动化、智能化的特殊功能。这种结构型智能包装大大提高了食品的安全性和方便性。目前应用主要包括自动加热、自动冷却、自动报警等智能包装。

3.2.1 消费者便利智能包装

加热自开启包装用于方便面等食品的智能包装,当从注入孔加入开水后,受热到一定程度后该包装会自动打开,方便食用。用于面包等食品的智能包装,具有多层层叠结构,当用微波炉加热到一定程度后,该食品包装会完全打开,方便消费者食用。加热自开

启包装的核心是控制所使用包装材料的热力学性能。

3.2.2 自动报警智能包装

在包装袋底部内嵌一个封闭的报警系统,报警系统靠压力作用实现报警。当包装袋内食品胀袋产生的压力大于设计的标准压力时,报警系统就会自动报警,用以提醒食品质量已不适宜食用,提醒商家及时调整商品下架,以免发生买卖冲突。同时对消费者的提醒作用更为重要,可以保证消费者的健康^[40]。

3.2.3 防护型智能包装

针对儿童误服中毒事件,国内外相继开发了利于儿童保护的智能瓶盖。功能结构型儿童安全包装与普通包装相比,结构更复杂,成本更高。通过相关数据分析,这种包装显著降低了包装物对儿童的伤害,对于保障儿童安全非常有效。目前市场上儿童安全包装主要结构有:压扭盖、掀开盖、泡罩式包装、迷宫式盖、拉拔盖、单剂量药物防童包装、卡口式封盖等。

孙诚等人介绍了一种儿童安全盖智能设计,能够起到较好的保护作用。王立党、赵美宁等人设计了一种新智能儿童安全盖,其原理为设计一个特定的轨道,通过压旋或拔旋2种动作的若干次组合达到开启或盖紧的目的。动作的组合次数可以通过增加或减少轨道的长度和改变轨道的形状来改变,这要视所包装物品的安全等级来决定,成人配以说明可以顺利开启,而儿童一般在5 min内不能打开^[41]。

3.3 信息型智能包装

信息型智能包装技术是一种通过现代科技手段来记录、反映食品相关信息,以及在运输、销售过程中相关信息的新型包装技术。该技术主要涉及两方面:食品的生产信息以及食品本身的一些性能;食品在运输、储存、销售过程中,食品本身的变化、周围环境的变化以及对食品产生的影响。随着社会的进步,信息型智能包装的研究越来越多,常见的信息型智能包装技术有条形码、RFID技术、TTI标签等。

3.3.1 时间-温度指示器(TTI)标签

时间-温度指示器标签是一种以化学、力学、酶学、微生物学等各个领域发生的不可逆变化为原理,通过相关的反应使其颜色发生变化、结构发生变形来判断其温度的变化,属于一种可目测响应。这种可目测响应能够显示时间-温度指示器所经过不同储藏条件的累积效应,反映时间-温度指示器的历史记录,其响应程度与指示器类型及其物理化学原理有关^[42]。时间-温度指示器作为一种新型的智能包装标签,将食品在运输过程中每时每刻的温度信息记录下来。如

果食品在运输、储存、销售的过程中存在温度控制不当等问题,则食品可能被微生物污染。

目前时间-温度指示器应用已非常广泛,其技术发展已经日趋成熟,TTI在国外大都用于易腐产品包装、冷链运输、高温杀菌的监测等。现在普遍应用的时间-温度指示器主要有3种:VISAB, Lifelines Freshness Monitor, 3M Monitor Mark。VITSAB是酶促反应型TTI,其工作原理是时间-温度指示器上的底物经过酶促反应导致pH值降低,其颜色将发生琥珀色—橙色—紫红色的不可逆变化。Lifelines Freshness Monitor是基于聚合反应引起颜色变化的TTI。3M Monitor Mark是基于染色脂肪酸脂融化、扩散原理引起颜色变化的TTI。时间-温度指示标签的使用,使消费者对商品的品质有了更直接的了解,通过标签指示器上的感应变化,对照标准,可以知悉食品是否发生变质^[30,43]。应当提倡使用TTI标签,以便消费者对商品能有更加直观的了解,使自身的利益得到保障,对商品的选择更具有公平性。

国内严纯华教授研发的基于化学反应的TTI智能标签,采用含有金纳米颗粒、银源及还原剂维生素C的配方。通过精确控制该反应的动力学过程,使生成的单质银沉积在金纳米颗粒表面,从而使标签改变颜色。随着银壳层厚度的增加,标签可由最初的红色依次变为橙色、黄色、绿色、蓝色甚至紫色,可以用来模拟绝大多数易变质产品(如食品、饮料、药品、疫苗、化妆品等)在出厂后随时间和温度变化而变质的过程,通过颜色的变化表明产品是否已经变质。该标签呈凝胶状,只有玉米粒大小,其物料成本约为0.2美分,且安全无毒,不会对食品造成污染,具有较好的市场应用前景^[4]。

3.3.2 RFID智能标签

无线射频识别(RFID)是一种射频通信技术,可通过无线电讯号识别特定目标并读写相关数据,无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。RFID标签因其具有存储量高、不可复制及安全性极高等优点,可以用作防伪标签。RFID在工作时,读写器通过天线发射射频信号,当有RFID应答器出现在读写器的覆盖区域内时,应答器产生感应电流并被激活,再将信息通过内置天线发射,读写器天线接收到应答器的载波信号后,读写器对接收的信号进行解调和解码后将合法信息传送到主机,完成一次完整的通讯过程。RFID在读取上并不受尺寸大小与形状限制,不需为了读取精确度而配合纸张的固定尺寸和印刷质量。将商品包装贴上RFID标签后,在商场出入口处

放置无线识别设备,当带有RFID标签的商品经过识别设备时,其自动识别,产生感应电流,从而激发报警器,提醒销售人员有未缴费商品经过,从而实现防盗的功能。

在RFID标签中写入程式或数字信息,当读取信息后,将信息上传至总服务器,与主机内的信息相匹配,从而辨别真伪,在酒类包装、药类包装以及票务证件上都得到了较为广泛的应用。目前,RFID标签往往被做成各式各样不同的形状,并往小型化与多样形态发展,以应用于不同产品^[44-45]。

3.3.3 条形码和二维码智能标签

随着手机等带有智能识别终端设备的普及,以及3G网络、4G网络、大数据平台和云存储等信息技术的规模化推广,使得产品包装上条形码和二维码智能标签的市场应用快速升温。如用手机APP扫描智能包装标签,通过网络连接与后台数据库进行相连,不仅可以帮助消费者识别产品真伪,还可帮助生产厂家,通过后台软件系统手机的大数据进行市场分析和决策。

1) 条形码包装标签。条形码在商品包装和物流管理中的应用技术已非常成熟,它是将宽度不等的多个黑条和空白,按照一定的编码规则排列,用以表达一组信息的图形标识符。常见的条形码是由反射率相差很大的黑条和白条排成的平行线图案,以数字的形式将商品的信息贮存于条形码中,顾客通过智能手机等移动终端,可以随时随地读取包装上的所有信息,如名称、产地、成分、保质期、功能和使用指南等。

2) 二维码智能防伪包装标签。以HENKES酒为例,HENKES在非洲的销量很高,但有近40%的酒都是假冒酒,所以为了防止假冒酒泛滥,采取了相关措施:在酒瓶上做一个二维码,鼓励客户通过读取二维码来获悉是否中奖,中奖者额外可领取一瓶酒。没中奖的消费者每扫描一次,其手机里面展示的酒瓶里面就会有20%的酒水增长,此举大大增添了消费者购买的趣味性。同时,通过扫描,也可以辨别酒的真伪,利于打假。数据显示,有近30%的消费者扫描了这个二维码,HENKES酒在使用了二维码标签后,一年的销量增加了26%^[4]。

3) 食品过敏源包装标签。将相应的过敏源信息标注在包装标签上,当消费者通过手机APP扫描时,如果标签上有过敏信息,且刚好是这位消费者的过敏源,则会闪烁红色的灯,提醒消费者不要接触和食用;如果是安全的,则会闪烁绿色的灯。

4 活性与智能包装应用中面临的问题及发展趋势

活性与智能包装在维持食品品质、保证食品安全和帮助消费者获取有效消息等方面分别发挥着重要的作用。既是目前国内外食品包装领域的研究热点,也是包装行业未来重要的利润增长点。存在的主要问题有:技术的复杂性和高度专业化使产品成本较高,难以满足大众商品的市场要求,成为其推广的阻力;消费者对活性和智能包装的认知水平较低,导致对其功效和安全性的接受程度较低,如活性包装中添加的很多成分,使包装具有一定气味和颜色,影响其商业性;在活性和智能包装方面尚没有完善的法规,缺乏合适的评估方法及明确的监管措施,如有关纳米金属离子迁移到食品中的危害性、活性包装中活性组分的安全性和智能包装评价体系的可靠性和科学性等问题,都需要验证。

尽管活性和智能包装标签目前仍存在功效性、安全性和可靠性等诸多问题,但随着技术的发展和消费者认知水平的不断提高,活性包装与智能标签必将成为产品包装中一个重要的组成部分,也将成为引领包装行业技术进步新的利润增长点。未来的发展趋势包括:活性包装使用天然的单一或复配的活性组分,可与食品直接接触,在食品安全性方面消费者易于接受;开发兼具活性包装和智能标签的活性智能包装系统,该一体化包装不仅能够有效延长食品的货架期,改善食品品质,还可以自主判断所包装产品本身的新鲜度等信息;智能包装标签与信息技术、智能生活终端的深度融合。随着4G移动网络、云存储、大数据平台和智能家居的逐渐普及,包装标签除了发挥产品信息呈现和防伪的功能外,还可以赋予其“对话”的功能。将智能标签赋予信息交互功能,可以将新鲜度、保鲜剩余期限、包装完整性等信息通过存储场所的接受装置,智能发送到消费者的手机等智能终端,提醒人们及时处理,从而减少食品浪费,降低经济损失。

5 结语

随着人们生活水平的提高,产品物流供应链的延长,以及消费者对食品品质 and 安全的日益重视,对食品包装提出了更高的要求,这为活性包装和智能包装标签未来的应用提供了广阔的市场空间。尽管我国在这方面起步较发达国家晚,但发展迅速。如

果包装行业能够抓住机遇,朝着功能化、智能化和信息化的方向努力,不断提升产品包装的性价比、质量可靠性和安全性,一定能够在包装行业技术升级中有所作为。

参考文献:

- [1] 范军红,沈晓芸. 智能包装惊艳登场,中外专家共享包装前沿技术[EB/OL]. <http://www.pack168.com/pack/zineArticle.asp?id=1414>.
- FAN Jun-hong, SHEN Xiao-yun. Smart Packaging Stunning Debut, Chinese and Foreign Experts Shared Cutting-edge Packaging Technology[EB/OL]. <http://www.pack168.com/pack/zineArticle.asp?id=1414>.
- [2] POLYAKOV V A, MILTZ J. Modeling of the Humidity Effects on Oxygen Absorption by Iron-based Scavengers[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): 91—99.
- [3] 袁晓林,李艳. 活性包装材料与技术探讨[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 30—32.
- YUAN Xiao-lin, LI Yan. Discussion on Active Packaging Material and Technology[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 30—32.
- [4] SHIN Y, SHIN J, LEE Y. Effect of Oxygen Scavenging Package on the Quality Change of Processed Meatball Product [J]. Food Science and Technology, 2009, 18(1): 73—78.
- [5] COMES C, CHIMBOMBI E, SUN D, et al. Effect of Oxygen Absorbing Packaging on the Shelf Life of a Liquid-based Component of Military Operational Rations[J]. Food Engineering and Physical Properties, 2009, 74(4): 167—176.
- [6] GRANDA-RESTREPO D, PERALTA E, TRONCOSO R R, et al. Release of Antioxidant from Co-extruded Active Package Developed for Whole Milk Powder[J]. International Dairy Journal, 2009, 19(8): 481—488.
- [7] LABUZA T P, BREENE W M. Applications of Active Packaging for Improvement of Shelf-life and Nutritional Quality of Fresh and Extended Shelf-life Foods[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1989, 13: 1—69.
- [8] GRAFF E, PILLSBURG C O. Oxygen Removal: US, 5284871 [P]. 1994.
- [9] SUPPAKUL P, MILTZ J, SONNEVELD K, et al. Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and Its Applications[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(2): 408—420.
- [10] 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, 29(3): 40—44.
- HE Chen, WANG Zhen, MEI Ting, et al. The Recent Research and Trend of Food Active Package[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(3): 40—44.
- [11] FLOROS J D, DOCK L L, HAN J H. Active Packaging

- Technologies and Application[J]. Food Cosmetics and Drug Packaging, 1997, 20: 10—17.
- [12] SCHIRMER B C, HEIBERG R, EIE T, et al. A Novel Packaging Method with a Dissolving CO₂ Headspace Combined with Organic Acids Prolongs the Shelf Life of Fresh Salmon[J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 113 (1/2): 154—160.
- [13] ROONEY M L. Active Food Packaging[M]. London: Chapman & Hall, 1995.
- [14] VERMEIREN L, DEVLIEGHERE F, BEEST M, et al. Developments in the Active Packaging of Foods[J]. Trends in Food Science & Technology, 1999, 10: 80—84.
- [15] BAILEN G, GUILLEN F, CASTILLO S, et al. Use of a Palladium Catalyst to Improve the Capacity of Activated Carbon to Absorb Ethylene and Its Effect on Tomato Ripening [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2007, 5 (4): 579—586.
- [16] TERRY L A, ILKENHANS T, POULSTON S, et al. Development of New Palladium-promoted Ethylene Scavenger[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(2): 214—220.
- [17] 邱伟芬. 食品的活性包装[J]. 食品科学, 1998(11): 11—14.
- QIU Wei-fen. Food Active Packaging[J]. Food Science, 1998 (11): 11—14.
- [18] MANEERAT C, HAYATA Y. Gas-phase Photocatalytic Oxidation of Ethylene with TiO₂-coated Packaging Film for Horticultural Products[J]. Transaction of the Asabe, 2008, 51 (1): 163—168.
- [19] OZEN B F, FLOROS J D. Effects of Emerging Food Processing Techniques on the Packaging Materials[J]. Trends of Food Science Technology, 2001, 12(2): 7—67.
- [20] XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo, et al. Preparation and Measurement of Controlled Release SO₂ Fungicide Active Packaging at Room Temperature[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 26(S1): 51—58.
- [21] 李勇, 高明侠. 金属离子抗菌保鲜薄膜的试验研究[J]. 包装工程, 2002, 23(11): 11—14.
- LI Yong, GAO Ming-xia. Study on Antibacterial Membrane of Metal Ion[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(11): 11—14.
- [22] 吕飞, 叶兴乾, 李俊, 等. 食品活性包装研究进展[J]. 中国食品学报, 2007, 7(4): 137—143.
- LYU Fei, YE Xing-qian, LI Jun, et al. Research Progress of Food Packaging[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2007, 7(4): 137—143.
- [23] DUAN J, PARK S I, DAESCHEL M A, et al. Antimicrobial Chitosan-Lysozyme (CL) Films and Coatings for Enhancing Microbial Safety of Mozzarella Cheese[J]. Food Microbiology and Safety, 2007, 72(9): 355—362.
- [24] SANGSUWAN J, RETTANAPAONE N, RACHTANAPUN P. Effect of Chitosan/Methyl Cellulose Films on Microbial and Quality Characteristics of Fresh-cut Cantaloupe and Pineapple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49 (3): 403—410.
- [25] XU X, LI B, KENNEDY J F, et al. Characterization of Konjac Glucomannan-gellan Gum Blend Films and Their Suitability for Release of Nisin Incorporated Therein[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 70(2): 192—197.
- [26] FLORES S, HAEDO A S, CAMPOS C, et al. Antimicrobial Performance of Potassium Sorbate Supported in Tapioca Starch Edible Films[J]. Eur Food Res Technol, 2007, 225 (3/4): 375—384.
- [27] MILTZ J, RYDLO T, MOR A, et al. Potency Evaluation of a Dermaseptin S4 Derivative for Antimicrobial Food Packaging Applications[J]. Packaging Technology Science, 2006, 19(6): 345—354.
- [28] 王建清, 赵亚珠, 金政伟. 牛至精油涂膜瓦楞纸板的制备及抑菌活性研究[J]. 包装工程, 2010, 31(23): 1—3.
- WANG Jian-qing, ZHAO Ya-zhu, JIN Zheng-wei. Preparation of Corrugated Board Coated with Oregano Oil and Study on Its Anti-microbial Activity[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 1—3.
- [29] HAN J, CASTELL-PEREZ M E, MOREIRA R G. The Influence of Electron Beam Irradiation of Antimicrobial-coated LDPE/Polyamide Films on Antimicrobial Activity and Film Properties[J]. LWT Food Science and Technology, 2007, 40 (9): 1545—1554.
- [30] 王长安, 陈晓翔, 邹永德. 活性-智能食品包装的应用进展[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 69—73.
- WANG Chang-an, CHEN Xiao-xiang, ZHOU Yong-de. Advances in Applications of Active and Intelligent Food Packaging[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 69—73.
- [31] 陈新. 智能包装技术特点研究[J]. 包装工程, 2004, 25(3): 40—42.
- CHEN Xin. Study of the Characteristics of Intelligent Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3): 40—42.
- [32] 蒋嘉. 智能包装技术[J]. 包装论坛, 2011(3): 4—6.
- JIANG Jia. Intelligent Packaging Technology[J]. Packaging Forum, 2011(3): 4—6.
- [33] 孙媛媛. 食品新鲜度指示型智能包装的研究与应用[J]. 包装学报, 2012, 4(3): 16—20.
- SUN Yuan-yuan. Research and Application of Freshness Indicative Smart Packaging for Food[J]. Packaging Journal, 2012, 4(3): 16—20.
- [34] 盛国华. 食品智能包装的新典型[EB/OL]. <http://news.pack.cn/show-96387.html>.
- SHENG Guo-hua. A New Food Smart Packaging[EB/OL]. <http://news.pack.cn/show-96387.html>.

- 包装与食品机械,2005,23(2):18—20.
- LIU Gong, SONG Hai-yan, LIU Zhan-sheng, et al. The Study on Performance of Air Cushion Mats[J]. Packaging and Food Machinery, 2005, 23(2): 18—20.
- [12] 周清艳, 言金. 自落式缓冲气囊仿真研究[J]. 航天返回与遥感, 2014, 35(2): 25—30.
- ZHOU Qing-yan, YAN Jin. Simulation of the Self-dropping Cushion Airbag[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2014, 35(2): 25—30.
- [13] ESGAR J B, MORGAN W C. Analytical Study of Soft Landings on Gas-filled Bags[J]. NASA, 1960(19980223608).
- [14] 龚科家, 危银涛, 叶进雄. 填充橡胶超弹性本构参数试验与应用[J]. 工程力学, 2009, 26(6): 193—198.
- GONG Ke-jia, WEI Yin-tao, YE Jin-xiong. Constitutive Parametric Experiment of Tire Rubber Hyperelastic Laws with Application[J]. Engineering Mechanics, 2009, 26(6): 193—198.
- [15] MAY-NEWMAN K, LAM C, YIN F C. A Hyperelastic Constitutive Law for Aortic Valve Tissue[J]. Journal of Biomechanical Engineering, 2009, 131(8): 81009.
- [16] SASSO M, PALMIERI G, CHIAPPINI G, et al. Characterization of Hyperelastic Rubber-like Materials by Biaxial and Uniaxial Stretching Tests Based on Optical Methods[J]. Polymer Testing, 2008, 27(8): 995—1004.
- [17] KIM B, LEE S B, LEE J, et al. A Comparison among Neo-Hookean Model, Mooney-Rivlin Model, and Ogden Model for Chloroprene Rubber[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2012, 13(5): 759—764.
- [18] LAPRADE E J, LONG R, PHAM J T, et al. Large Deformation and Adhesive Contact Studies of Axisymmetric Membranes[J]. Langmuir, 2013, 29(5): 1407—1419.
-
- (上接第10页)
- [35] 黄钧浩. 智能标签的新发展[N]. 印刷杂志, 2014-5(003).
- HUANG Jun-hao. New Development of Intelligent Label[N]. Printing Field, 2014-5(003).
- [36] 吴丹, 陈健初, 王衍彬. 食品智能包装体系[J]. 食品工业, 2004(5): 38—40.
- WU Dan, CHEN Jian-chu, WANG Yan-bing. Food Intelligent Packaging System[J]. The Food Industry, 2004(5): 38—40.
- [37] AHVENAINEN R, EILAMO M, HURME E. Detection of Improper Sealing and Quality Deterioration of Modified-atmosphere-packed Pizza by a Colour Indication[J]. Food Control, 1997, 8(4): 177—184.
- [38] MILLS A. Oxygen Indicators and Intelligent Inks for Packaging Food[J]. Chemical Society Reviews, 2005, 34(12): 1003—1011.
- [39] 都凤军, 孙彬, 孙炳新. 活性与智能包装技术在食品工业中的研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(1): 135—140.
- DU Feng-jun, SUN Bin, SUN Bing-xin. Progresses in Active and Intelligent Food Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(1): 135—140.
- [40] 蒋海鹏. 食品智能包装体系的研究进展分析[J]. 科技创业家, 2014(4): 214—215.
- JIANG Hai-peng. Research Progress of Food Intelligent Packaging System[J]. Technological Pioneers, 2014(4): 214—215.
- [41] 刘莹, 刘兆熙. 包装产业智能化研究综述[J]. 山东艺术学院学报, 2014(1): 69—73.
- LIU Ying, LIU Zhao-xi. Review of Smart Packaging Industry[J]. Journal of Shandong College of Arts, 2014(1): 69—73.
- [42] 刘东, 王建华. 信息型智能包装技术及其应用[J]. 印网工业, 2014(6): 47—51.
- LIU Dong, WANG Jian-hua. Information Intelligent Packaging Technology and Applications[J]. Screen Printing Industry, 2014(6): 47—51.
- [43] ANONYMOUS. Active, Intelligent and Green[J]. Technology Watch, 2008, 4(1): 1—12.
- [44] 许文凯. 智能包装的新宠—RFID技术[J]. 包装装潢, 2013(2): 57—59.
- XU Wen-kai. A New Favorite of Intelligent Packaging—RFID Technology[J]. Packaging Docraton, 2013(2): 57—59.
- [45] MOUSAVI A, SARHAVI M, LENK A, et al. Tracking and Traceability in the Meat Processing Industry: a Solution[J]. British Food Journal, 2002, 104(1): 7—19.