

食品类智能包装技术研究进展

王艳娟, 王桂英, 王艺萌
(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要: **目的** 研究智能包装技术成果在食品包装领域的应用进展。**方法** 综述食品智能包装的技术特点, 按照工作原理分类对食品智能包装的应用进行阐述。探讨食品类智能包装在国内外的发展现状, 及现今制约智能包装发展的安全问题。**结果** 智能包装的加入在食品包装的安全监测、追踪溯源等方面发挥着极其重要的作用, 其不仅推动了食品包装的功能化、信息化和智能化, 并且提升了食品包装的安全与管理水平。**结论** 智能包装是未来食品包装发展的研究热点和方向, 还需要大力提高食品智能包装技术的普及率。

关键词: 智能包装; 食品包装; 包装技术; 应用发展

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)11-0006-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.11.002

Research Progress of Food Intelligent Packaging Technology

WANG Yan-juan, WANG Gui-ying, WANG Yi-meng
(Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: The work aims to research the application progress of technological achievements of intelligent packaging in the field of food packaging. The technical characteristics of food intelligent packaging were summarized. According to the classification of working principle, the application of food intelligent packaging was elaborated. The status quo of the development of food intelligent packaging at home and abroad and the safety issues that restricted the development of intelligent packaging today were explored. The application of intelligent packaging played an extremely important role in the safety monitoring and traceability of food packaging. It not only promoted the functionalization, informatization and intellectualization of food packaging, but also improved the safety and management level of food packaging. The intelligent packaging is the research hotspot and direction of the development of food packaging in the future, and the food intelligent packaging technology and popularization are also required to be greatly improved.

KEY WORDS: intelligent packaging; food packaging; packaging technology; application development

目前, 包装是现代货物贸易必不可少的元素, 起到保护产品不受外部条件影响的关键作用。包装生产是一个全球性的产业, 其特点是内部的多样性。随着人们对食品包装安全的日益关注, 着重体现在消费者对延长新鲜食品保质期的需求上, 制造商为满足市场需求必须提供现代和安全的智能包装, 这对食品包装行业来说既是挑战也是包装技术新一轮发展的动力^[1]。智能包装作

为最有发展潜力的包装技术之一, 融合了各种新型包装技术, 使更多的智能化元素应用于食品包装中, 以便达到方便贮存和物流、延长食品的货架期和保持食品风味品质等功能, 最大限度地为食品安全提供保障, 为消费者提供更便捷的服务。在国内, 随着智能包装的应用逐渐得到推广, 智能已成为包装行业的发展方向, 也是食品包装发展的必然趋势^[2]。

收稿日期: 2017-12-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (2572014CB11)

作者简介: 王艳娟 (1993—), 女, 东北林业大学硕士生, 主攻食品智能包装技术。

通信作者: 王桂英 (1968—), 女, 博士, 东北林业大学副教授, 主要研究方向为包装工艺与设备、智能包装技术。

1 食品类智能包装的技术特点

传统的食品包装是从食品自身出发进行保护,智能包装技术更多地关注影响食品质量的外部因素,如微生物、氧气、异味和光线,其通过对外界环境的监测、控制,达到保证食品质量和延长食品货架期的目的^[3-5]。智能包装技术最大的特点是信息化,模拟人类对外界信息的部分感知功能,用来检查食品的新鲜度、医药用品的真伪等,形成了一套完美的智能体系^[6]。随着智能包装技术的日趋成熟,在食品、印刷工程、通信工程、物理、无机化学等多门学科中已得到广泛应用^[7]。食品智能包装在持续追踪并及时反馈食品品质信息的同时,方便了生产商对食品问题的处理,提高了管理效率,为食品品质和营养价值提供了最大限度的保障^[8]。

2 智能包装在食品工业中的应用

食品包装创新的目标在于改进、组合或延伸等基本功能,由食品包装创新逐渐扩大到智能包装的开发,这一演变反映出食品工业对智能包装的需求。食品智能包装在应用过程中可以实现对包装环境的感知、记录和检测,利用有效的包装方案节约资源,减少产品损失,并解决供应链中食品的质量和安全隐患^[9]。按其工作原理将智能包装分为:功能材料型、功能结构型、信息型。主要体现于利用材料、结构对包装进行积极干预,使得在包装功能和食品保障上进一步得到完善;利用信息的汇总、控制和处理提升对包装管理系统进行优化。

2.1 功能材料型智能包装

利用功能材料型智能包装的主要目的是为满足某些特定包装的需求,通过在包装工艺中应用一些带有功能性的包装材料,来改善和增加包装的部分功能^[10]。与传统包装材料相比,智能包装材料会与包装食品进行互动,改变包装食品的条件,提高生物安全性和感官特性,在保证质量的同时延长食品的保质期^[11-13]。植物叶子是最早用于“智能”包装的材料,在非洲、亚洲和南美等地区,采用植物叶子对食品进行包装是保留下来的传统。利用不同的植物叶子所带有的芳香、着色物质、酶或抗菌物质与食品相互作用,发挥其质地、感官特性以及减缓微生物腐败的功能。随着人们探索的加深,植物叶子在食品包装中随着温度和时间变化而变化的特性也被用于烹饪或作为新鲜度指标。目前,智能包装材料在食品、药品包装中得到了广泛应用^[14],这类材料常用作指示型包装和气体产生吸收型包装。

2.1.1 新鲜度指示型包装

食品腐败的主要因素是受到微生物污染、自身酶

的影响,以及环境温度、湿度、光和氧的作用。新鲜度指示型包装通过检测食品腐败变质过程中产生的 CO_2 气体、挥发性含氮化合物和 H_2S 等含量来指示新鲜度。芬兰 VTT 生物化学实验室研制了一款新鲜度指示剂,专门针对肉、禽类新鲜度进行检测,指示剂中所含有的肌红蛋白可以与产品产生的挥发性气体 H_2S 相结合,生成绿色的硫化氢肌红蛋白。将此新鲜度指示剂置于包装内部,只要有 H_2S 气体生成,指示剂就会发生可视性颜色变化^[15]。英国某大学研发的一款新鲜度智能指示塑料包装袋^[16],通过在包装材料中添加一种特殊添加剂,可智能反应出包装食品的质量问题,当放置的食物新鲜度降低到某一界限,智能塑料包装袋就会发生颜色变化。

2.1.2 泄露型指示包装

泄露指示剂用以检测食品包装在流通环节中的完整情况^[17]。气调包装作为未来鲜切和新鲜食品包装的主力军^[18],常在其内部放置标签形式的氧气泄露指示剂,起着监测包装内部气体组成变化的作用^[19]。

氧气指示剂利用氧气传感器指示包装内部氧气的存在,并对气态阶段和溶解态进行量化^[20]。典型的可视化氧气指示剂是利用氧化还原染料进行操作,Andrew Mills^[21-23]报道的 UV 激活氧气指示剂薄膜,将电子体 SED 和半导体催化剂纳米颗粒 SC 一起封装在聚合物里面,利用氧化还原染料对氧气的敏感性进行判断,比如甲基蓝在无氧状态下显示无色,一旦遇到氧气,无色甲基蓝立刻被氧化为蓝色。非可视氧气指示剂是一种会发出荧光的内源指示剂,通过扫描可以在不影响食品质量的情况下对氧气含量进行测定,如 Zeev Rosenzweig^[24]等人研发的微米级荧光氧气传感器,可以完成鼠类吞噬细胞内分子氧含量的检测,较可视性指示剂更加客观准确。

2.1.3 气体产生和吸收型包装

包装内的氧气会加速食品的氧化变质,影响风味,降低营养品质,缩短保质期,因此控制食品包装中的氧气含量,可采用脱氧包装技术将包装中的氧含量降至 196.4 mg/m^3 ^[25]。FreshMax®氧气吸收剂是世界上第1枚自动粘贴氧气吸收剂,将其粘贴于需要保护的食品包装内,可以有效防止食品酸败和营养价值损失,在包装行业已获得国内和国际大奖。目前以铁粉氧化为基础的脱氧剂使用最为广泛,日本的三菱瓦斯化学公司推出了一款二价铁氧气清除剂,将该清除剂贴于包装内即能有效去除包装内的氧气成分。

CO_2 可以抑制食物表面微生物的生长繁殖,降低呼吸速率,所以高浓度的 CO_2 对延长食品保存期限非常有利。三菱瓦斯化学公司生产了一种名为“保险锁囊”的产品,它兼具着吸收包装袋内的 O_2 和 CO_2 ,此产品已成功应用于咖啡包装中^[26]。

乙烯会加速水果和蔬菜的成熟,即使在低浓度下也会使果实软化和衰老,导致蔬菜变黄,出现斑点,因此包装内的乙烯必须清除。日本的 SedoMate®和 Hatofresh®乙烯吸收剂利用沸石嵌入聚乙烯来吸收包装内的乙烯气体,此种吸收剂极大地减缓了香蕉和猕猴桃的软化,以及菠菜中叶绿素的降解。在水果贮藏包装中常用含有高锰酸钾的硅胶作为乙烯吸收剂,将吸收剂封装在具有乙烯高渗透率的小袋中,乙烯吸收剂一般配合脱氧剂使用,将二者放入水果包装体系中,吸收乙烯后高锰酸钾从紫色氧化成棕色。

2.1.4 其他类型包装

美国某公司研制的一种塑料薄膜^[27],在外力作用下薄膜会发生颜色变化。由最初的明亮色彩变成灰色,且薄膜会开始剥落,剥落部位出现花纹,为消费者发出警示信号,提示该包装极大可能已被启封过,此类包装材料很适合作为包封记号。

2.2 功能结构型智能包装

功能结构型智能包装指为满足安全的产品包装、可靠的物流运输等某些特定需求,从而对包装结构进行相应的增加或改进的一类智能型包装^[28]。相较于功能性材料的研发,功能结构型智能包装多依赖于生物化学原理,大多数是物理学上的原理,通过创新整合使得食品包装更具有简便性和安全性,为其提供更好的市场效果。在功能结构型智能包装中最典型的有自动报警、自动加热和自动冷却。

在自动报警包装体系中,包装袋底部嵌有依靠压力作用实现报警的封闭报警系统。当包装袋内的食品品质发生变化时,其膨胀产生的压力就会大于预设定的压力值,报警系统就会被启动,这样可以提示消费者食品已出现质量问题,同时商家也可依此将商品下架^[29]。

自动加热的即食餐包装是未来智能包装的一个重要应用,自动加热型包装是一种利用压铸形成的多层、无缝的容器,容器内层分多个隔间,利用简单的化学原理,在没有外部热源的情况下释放热量自动加热食品^[30]。日本自动加温的清酒罐,在饮用前只需要在罐底的小孔内插入“附用”的塑料小棒^[31],水便会在瞬间与生石灰混合到一起,只需 3 min 就能将一罐清酒加热至 58 ℃。自动冷却型包装较加热型层次要少,生产商将冷凝器、干燥剂、蒸发槽置于包装内部,利用产生的蒸汽和液体可在短时间大幅降低食品温度。Crown Cork seal 公司和 Tempra 公司合作开发的自动冷却罐,能在 3 min 内将一罐 355 mL 的啤酒温度下降 16.7 ℃。自动加热、冷却这 2 种智能型包装面对的消费群主要是野外作业人士,如探险、钓鱼、单车爱好者等。

2.3 信息型智能包装

信息型智能包装技术主要是指在整个流通链中以反映包装内容物品品质变化信息为主的新型包装技术^[32]。信息型智能包装可以实现对食品的精细化管理,对食品存储、运输到销售整个过程中的食品质量、环境、参数信息进行追踪,为食品的安全提供更高强度的保障。常见的信息型智能包装技术有条形码技术、RFID 技术、TTI 技术。

2.3.1 条形码技术

条形码在食品包装和物流管理中处处可见,它的应用已有 20 年之久,其技术已相当成熟。生活中常见的条形码主要是一维码和二维码,相比较而言,二维码具有编码密度高、信息量大、防伪功能强和成本低等方面的优点^[33]。在全球范围内,每天都需要大量运用到条形码,应用范围更是涵盖了各个行业和领域,在食品类中条形码更是起到安全追溯的作用。美国 Rutgers 大学研发的一款智能化微波加热包装^[34],通过微波炉上配备的条码扫描仪对编入食品加工信息的信息码进行扫描,与微处理器协同合作控制微波炉的加热效果。这种包装就成为一个在食品、包装和微波炉之间建立起便捷信息通道的载体。应用条形码技术能够快速地进行信息的获取,极大地方便了人们的生活,且保证了食品的质量。

2.3.2 RFID 技术

射频识别(RFID)是一种基于标签读取的自动识别系统,这种技术可以在没有人为干预下使用无线传感器来识别产品并收集数据^[35-36]。目前,国内外学者利用 RFID 技术结合包装标识实现了对食品原产地的追溯和供应链流程的管理,其中包括关系人民生活的肉^[37]、蛋^[38]、奶^[39]、蔬菜^[40]、水果^[41]、生鲜食品^[42]和农作物^[43]等。在国外 RFID 电子标签已经如同商品条码一样普及,国内智能包装方面 RFID 也开始应用于食品质量监督,如 2007 年上海已将 RFID 电子标签应用于月饼包装,为消费者提供了产品的质量信息。RFID 标签读取能力强大,可以通过读取器将数据库中信息进行处理并执行,极大地方便了产品分类和货物流通管理^[44-45]。现今 RFID 技术不仅可以存取温度、相对湿度等实时信息,甚至可以读取营养成分和烹调指引等信息^[46]。近几年,在 RFID 的基础上又提供了一种信息交换的方法,国内外已有将 RFID 用于活体动物从出生到屠宰全过程的范例^[47-49]。

研究表明,RFID 食品追踪系统优于黑白纸条形码,它实现了供应链的可视性,使得供应链上的快速自动化流程透明化,产品信息实现了共享。2015 年 RFID 标签的使用量已达到 10 000 亿枚,有专家预计,在不久以后,智能标签将贴在每个独立包装产品上,

从 RFID 的需求上足以见得,智能包装具有广阔的市场前景^[50]。2009 年五粮液集团斥巨资购进了 RFID 系统,用来满足对其高端产品的安全防伪和原产地追溯等功能的需要。使用 RFID 标签后,每瓶五粮液酒都拥有其特有的标签,避免了人为修改和伪造。此外,采用 RFID 系统优化和改善了五粮液集团产品的操作流程,使得包装流水线的运作及产品流通和仓储更加精确化、数据化和规范化。

2.3.3 TTI 技术

有些食品人们习惯以生产日期来判断是否变质,而以牛奶为代表的需要冷链运输的食品对温度尤其敏感,因此在物流链条上控制其保存温度显得尤为重要。在这样的背景下,时间温度指示器 TTI 应运而生。近几年来,对 TTI 的研究和关注也越来越多,在许多文献中已显示温度指标(TTI)已深入食品包装领域^[51-54]。TTI 是通过时间温度累积效应来指示食品温度的变化历程,预测剩余货架期等信息。按照工作机理,TTI 分为化学型、酶型、微生物型、纳米型等,在使用过程中根据颜色或结构发生不可逆的变化来感知所处环境的改变^[55]。法国的 Monoprix“不二价”连锁超市将 TTI 标签正式应用于新鲜食品中。这种标签形似射击用的靶子,在正中心的圆环内含有一种特质化合物,外围是许多圈套圈的透明圆环。利用食品上的细菌随着温度升高和时间延长而增加的特性,当内圈变黑时,就说明食品不再新鲜,消费者可以根据标签颜色的变化来判断食品是否因高温存放时间过久而变质。统计显示,使用这种标签后超市顾客退货现象明显减少。

3 食品类智能包装技术的发展现状

3.1 食品智能包装在国外的发展

食品智能包装体系在国外一些国家的应用发展已趋于成熟,针对智能包装在食品安全上的应用,一些发达国家已进行了较长时间的研究,并有很广的应用范围^[56]。据专家预测,新一代智能包装是食品包装的未来^[57-62]。据估计,所谓创新型包装的份额约占包装市场总价值的 5%,其中 35%属于智能包装系统。尽管现有智能包装在所有包装的销售价值中所占的份额不大,但从专利申请数量和授权数量上足以窥见其销售量在未来几年会迅速增长。在国外,新鲜度、TTI 指示标签以及 RFID 系统等智能包装技术已经实现了商业化。国外的一些研究小组将食品包装与 RFID 技术相结合,通过射频识别系统识别食品反应分泌的聚合物,获得探测信号电子势的变化,用以判断食品的质量和剩余货架期。日本某公司研发出一种用于鱼类食品保鲜的智能包装材料“Zeomic”,该抗菌

材料由离子工艺制成,根据沸石阴阳离子交换的原理,抑制微生物的生长繁殖,尤其适于鱼类食品的贮藏^[63-64]。可果美公司通过采用无线射频识别技术(RFID),使每个西红柿都附有可记录来源的 RFID 卷标记录,通过 RFID 卷标提供的信息在提高可果美生产效率的同时使产品的来源更透明化。

3.2 食品智能包装在国内的发展

随着世界经济的发展,世界包装产业总规模从 2002 年的 3828 亿美元增长至 2012 年的 6739 亿美元,年均复合增长率为 5.82%,表明包装行业在全球范围得到持续、稳定的增长。由于我国在智能型包装方面起步较晚,所以现今正处于快速发展阶段。在政府相关政策的扶持下,中国智能包装行业也得到了不错的成效。中国农业大学成功研发出应用于猪肉新鲜度指示的 TTI 标签,上海海洋大学研发出应用于食品包装的快速检测食品新鲜度的“电子鼻”和检测致病菌“生态芯片”,这都将有助于我国智能包装技术的发展。随着 RFID 技术在我国逐渐推广,电子门票在旅游景点、演出会、运动会等场合都得到了应用,2008 年北京奥运会更是首次将射频识别技术应用于奥运门票中,成功地提高了奥运门票的防伪能力和检票速度。根据预测,预计到 2018 年全球包装工业总产值将达到 10 000 亿美元^[65]。根据统计资料显示,截止“十二五”末,我国包装企业已发展到 25 万余家,其中大型规模企业有 3 万余家。2015 年包装工业总产值突破 1.8 万亿元,位列全国 38 个主要工业门类的第 14 位^[66]。在食品包装技术方面,智能包装主要应用于延长食品的货架期和食品卫生安全的监视,集中于指示剂的应用。

智能包装的优点是显而易见的,但依然存在着制约发展的因素,尤其显著的是成本和安全问题。食品智能包装涉及一些先进技术,具有较高的研发成本,一般占整个包装成本的 50%~80%。一种智能包装的产生不仅要经过漫长的研发期、测试期、推广期,还要考虑失败的可能性,在成本控制精益化的市场经济氛围下,好多企业并不愿意进行此类风险投资。对于消费者来说,智能包装虽然保证了食品的安全性,但是较普通包装的价位要高,所以是否可以接受,还不太能确定。

包装被定义为隔离产品的屏障,从这个意义上讲,包装应与产品互不影响,因此在食品智能包装材料中,还应考虑材料的组成成分向食品迁移的可能性^[67],如新鲜度标签、气体泄露指示剂等,一些具有活性的物质可能会迁移到食物中,或是在包装线的运营管理中引发相应问题。包装中化学成分的迁移程度和迁移剂的毒性这两者都会给人类健康带来风险。欧美等国家对特定物质的迁移限量都有相应法规,主要

方法为通过迁移实验来量化食品中的有害物质,以此进行判定,一般包装中化学成分的迁移限量为 $0.01\sim 60\text{ mg/kg}$ ^[68]。RFID 标签在监测食品品质、提供相关产品信息方面发挥着越来越重要的作用,但是目前也存在着数据易缺失泄露,缺乏相应行业标准,高频射线对人体的健康有影响等问题,这些都制约着 RFID 的市场推广。

4 结语

随着时代的发展,包装所肩负的功能也越来越多。食品包装在具备包装所具有的基本功能外,同时也对食品安全和监管等方面提出了要求。虽然食品智能包装存在一定的安全隐患,但瑕不掩瑜,智能包装作为效果显著的包装方案将会给食品包装工业带来革命性的改变。21 世纪的智能包装,将着重突出延长食品保质期、监控食品质量等功能。随着生产技术的不断改进,生产者和消费者功能机制知识的积累以及食品安全的有效运作,预计在未来几年,智能包装将成为食品包装发展的导向,因此有必要更好地理解智能包装技术,掌握它的机制,减少不利方面的影响,并基于潜在危害进行准确评估。

参考文献:

- [1] DARIO D, NATHALIE G, DIMITRIOS S, et al. Active and Intelligent Food Packaging: Legal Aspects and Safety Concerns[J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19: 103—112.
- [2] 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 Chnology of Food Packaging and Food Safety[J]. Packaging Engineering, 2014, 35 (13): 161—166.
- [3] GHAANI M, COZZOLINO C, CASTELLI G, et al. An Overview of the Intelligent Packaging Technologies in the Food Sector[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 51: 1—11.
- [4] DOBRUCKA R, CIERPISZEWSKI R, KORZENIO WSKI A. Intelligent Food Packaging-research and Development[J]. Scientific Journal of Logistics, 2015, 11(1): 7—14.
- [5] MOHEBI E, MARQUEZ L. Intelligent Packaging in Meat Industry: an Overview of Existing Solutions[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(7): 3947—3964.
- [6] 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, CHE Jian-chu, WANG Yan-bin. Food Intelligent Packaging System[J]. Food Industry, 2004 (5): 38—40.
- [7] 刘东, 王建华. 信息型智能包装技术及其应用[J]. 网印工业, 2014(6): 47—51.
- LIU Dong, WANG Jian-hua. Information Smart Packaging Technology and Its Application[J]. Screen Printing Industry, 2014(6):47—51.
- [8] BRODY A L. Products and Technologies Packaging[J]. Food Technology, 2001(1): 82—84.
- [9] MIKE V, PETER R, FRANK D, et al. Intelligent Food Packaging: The Next Generation[J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 39: 47—62.
- [10] 夏征. 智能包装技术[J]. 包装世界, 2011(2): 4—6.
XIA Zheng. Intelligent Packaging Technology[J]. Packaging World, 2011 (2): 4—6.
- [11] POPOWICZ R, LESIOW T. The Principle of Operation of Innovative Packaging Active in the Food Industry [J]. Engineering Sciences and Technologies, 2014, 1 (12): 82—101.
- [12] LOPACKA J, POLTORAK A. Nanotechnology Solutions in Active Food Packaging[J]. Package, 2014, 5: 60—63.
- [13] MAKALA H. Trends on the Food Packaging Market[J]. Active and Intelligent Packaging, 2010, 11: 23—25.
- [14] 朱勇, 胡长鹰, 王志伟. 智能包装技术在食品保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2007(6): 356—359.
ZHU Yong, HU Chang-ying, WANG Zhi-wei. Application of Smart Packaging Technology in Food Preservation[J]. Food Science, 2007(6): 356—359.
- [15] 郭筱虹. 芬兰智能包装新概念试验研究[J]. 中国包装工业, 2001(7): 51—52.
GUO Xiao-hong. Finnish Smart Packaging New Concept of Experimental Study[J]. China Packaging Industry, 2001 (7): 51—52.
- [16] 樊美娟. 智能包装的概念和分类[J]. 印刷质量与标准化, 2012(2): 10—14.
FAN Mei-juan. Concept and Classification of Smart Packaging[J]. Journal of Printing Quality and Standardization, 2012 (2): 10—14.
- [17] 刘东红, 吕飞, 叶兴乾. 食品智能包装体系的研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 286—290.
LIU Dong-hong, LYU Fei, YE Xing-gan. Advances in the Research of Intelligent Food Packaging System[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2007, 23 (8): 286—290.
- [18] ZHANG M, MENG X, BHESH B, et al. Recent Application of Modified Atmosphere Packaging(MAP) in Fresh and Fresh-cut Foods[J]. Food Reviews International, 2015, 31(2): 172—193.
- [19] 陈丹青, 廖雨瑶, 李伟, 等. 泄漏指示剂在气调包装中的应用研究[J]. 包装学报, 2016, 8(4): 71—77.
CHEN Dan-qing, LIAO Yu-yao, LI Wei, et al. Leakage Indicator in Modified Atmosphere Packaging[J]. Journal of Packaging, 2016, 8 (4): 71—77.
- [20] MOHEBI E, MARQUEZ L. Intelligent Packaging in Meat Industry: an Overview of Existing Solutions[J]. Journal of Food Science and Technology-mysore, 2014, 52(7) :1—18.
- [21] ANDREW M, DAVID H. A Solvent-Based Intelligence

- Ink for Oxygen[J]. *Analyst*, 2008, 133: 213—218.
- [22] ANDERW M, KATHERINE L, JULIE B, et al. An O₂ Smart Plastic Film for Packaging[J]. *Analyst*, 2012, 137: 106—112.
- [23] ANDREW M, DAVID H, KATHERINE L. Novel Photocatalyst-based Colorimetric Indicator for Oxygen[J]. *Catalysis Today*, 2011, 161: 59—63.
- [24] ZEEV R, RAOUL K. Analytical Properties of Miniaturized Oxygen and Glucose Fiber Optic Sensors[J]. *Sensors and Actuators B*, 1996, 36: 475—483.
- [25] BIJI K B, RAVISHANKAR C N, MOHAN C O, et al. Srinivasa Gopal Smart Packaging Systems for Food Applications[J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(10): 6125—6135.
- [26] KERR J P, O'GRADY M N, HOGAN S A. Current and Potential Utilisation of Active and Intelligent Packaging Systems for Meat and Muscle-Based Products: a Review[J]. *Meat Sci*, 2006, 74: 113—130.
- [27] 吴塞. 智能包装技术的应用[J]. *印刷质量与标准化*, 2015(1): 28—31.
WU Sai. Application of Smart Packaging Technology[J]. *Printing Quality and Standardization*, 2015 (1): 28—31.
- [28] 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 on the Characteristics of Intelligent Packaging Technology[J]. *Packaging Engineering*, 2004, 25(3): 40—42.
- [29] 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(7): 214.
JIANG Hai-peng. Analysis on the Progress of Food Smart Packaging System[J]. *Science and Technology Entrepreneur*, 2014 (7): 214.
- [30] 胡兴军. 智能包装的分类、应用及前景[J]. *印刷工业*, 2010(3): 24—27.
HU Xing-jun. Classification, Application and Prospect of Intelligent Packaging[J]. *Printing Industry*, 2010(3): 24—27.
- [31] 杨艳华. 新型自热饮料罐[J]. *中国包装工业*, 2004(2): 46—47.
YANG Yan-hua. A New Self-heating Beverage Can[J]. *China Packaging Industry*, 2004(2): 46—47.
- [32] 廖雨瑶, 陈丹青, 李伟, 等. 智能包装研究及应用进展[J]. *绿色包装*, 2016(2): 39—46.
LIAO Yu-yao, CHEN Dan-qing, LI Wei, et al. Research and Application Progress of Intelligent Packaging[J]. *Green Packaging*, 2016 (2): 39—46.
- [33] 李志浩. 信息型智能包装技术及应用实践探微[J]. *中国包装工业*, 2015(20): 100—101.
LI Zhi-hao. Information-based Intelligent Packaging Technology and Application of Practice[J]. *China Packaging Industry*, 2015(20): 100—101.
- [34] 武英佑. 信息型智能包装技术[J]. *市场周刊(新物流)*, 2009(4): 34—35.
WU Ying-you. Information-based Intelligent Packaging Technology[J]. *Market Weekly(New Logistics)*, 2009(4): 34—35.
- [35] TAJIMA M. Strategic Value of RFID in Supply Chain Management[J]. *J Purch Supply Manag*, 2007, 13: 261—273.
- [36] HONG H, DANG J, TSAI Y, et al. An RFID Application in the Food Supply Chain: a Case Study of Convenience Stores in Taiwan[J]. *J Food Eng*, 2011, 106: 119—126.
- [37] MOUSAVI A, SARHAVE M, LENK A, et al. Tracking and Traceability in the Meat Processing Industry: a Solution[J]. *British Food Journal*, 2002, 104(1): 7—19.
- [38] 沈振华. 禽蛋食品的全产业链追溯系统的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
SHEN Zhen-hua. The Design and Implementation of the Whole Industry Chain Tracing System of Egg Food[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015.
- [39] 范伟超. 奶产品溯源系统中的信息标识应用研究[D]. 南京: 南京大学, 2012.
FAN Wei-chao. Application of Information Identification in Dairy Product Traceability System[D]. Nanjing: Nanjing University, 2012.
- [40] 钱建平, 吴晓明, 范蓓蕾, 等. 基于条码-RFID 关联的蔬菜流通过程追溯精确度提高方法[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(18): 3857—3863.
QIAN Jian-ping, WU Xiao-ming, FAN Bei-lei, et al. Based on the Bar Code-RFID Correlation of Vegetable Circulation Process to Improve the Accuracy of Tracing [J]. *Chinese Agricultural Science*, 2013, 46 (18): 3857—3863.
- [41] 华佳林, 陈舒娅. 基于 RFID 技术的赣南脐橙溯源系统的设计[J]. *赣南师范学院学报*, 2014(3): 51—54.
HUA Jia-lin, CHEN Shu-ya. Design of Gannan Navel Orange Traceability System Based on RFID Technology[J]. *Journal of Gannan Teachers' College*, 2014(3): 51—54.
- [42] ABAD E, PALACIO F, NUIN M, et al. RFID Smart Label for Traceability and Cold Chain Monitoring of Foods: Demonstration in an Intercontinental Fresh Fish Logistic Chain[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 93(4): 394—399.
- [43] CHEN S C, CHIU K, CHEN H H. A Reference Model of RFID-enabled Application for Traceability of Foods Production and Distribution[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2011, 22(6): 5192—5197.
- [44] SARAC A, ABSI N, DAUZÈRE-PÈRÈS S A. Literature Review on the Impact of RFID Technologies on Supply Chain Management[J]. *Int J of Prod Econ*, 2010, 128 (1): 77—95.
- [45] RUIZ-GARCIA L, LUNADE L. The Role of RFID in Agriculture: Applications, Limitations and Challenges[J]. *Comput Electron Agr*, 2011, 79: 42—50.
- [46] CHEN S C, CHIU K, CHEN H H. A Reference Model of RFID-enabled Application for Traceability of Foods

- Production and Distribution[J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 22(6): 5192—5197.
- [47] TOWNSEND A, MENNECKE B. Application of Radio Frequency Identification (RFID) in Meat Production: Two Case Studies[J]. CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources, 2008, 3(7): 1—10.
- [48] FENG J, FU Z, WANG Z, et al. Development and Evaluation on a RFID-Based Traceability System for Cattle/Beef Quality Safety in China[J]. Food Control, 2013, 31(2): 314—325.
- [49] SARAC A, ABSI N, DAUZERE-PERES S. A Literature Review on the Impact of RFID Technologies on Supply Chain Management[J]. International Journal of Production Economics, 2010, 128(1): 77—95.
- [50] 王长安, 陈杰, 陈玉婷, 等. 活性-智能包装在肉类工业中的应用进展[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 130—134. WANG Chang-an, CHEN Jie, CHEN Yu-ting, et al. Application of Active-smart Packaging in the Meat Industry[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 130—134.
- [51] GABRIELA S L, TUULA S, TEEMU S N. Smart and RFID Assisted Critical Temperature Indicator Forsupply Chain Monitoring[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 193: 20—28.
- [52] WANIHSUKSOMBAT C, HONGTRAKUI V, SUPPAL KUI P. Development and Characterization of a Prototype of Lactic Acidbased TimeTemperature Indicator for Mmonitoring Food Product Quality[J]. J Food Eng, 2010, 100: 427—434.
- [53] MACIEL V B V, YOSHIDA C M P, FRANCO T T. Development of a Prototype of a Coloumetric TemperatureIndicator for Monitoring Food Quality[J]. J Food Eng, 2012, 111: 21—27.
- [54] KUSWANDI B, OKTAVIANA R, ABDULLAN A, et al. A Novel On-Package Sticker Senso Based on Methyl Red for Real-Time Monitoring of Broiler Chicken Cur Freshness[J]. Packag Technol Sci, 2014, 27: 69—81.
- [55] 钱静, 郑光临, 冯钦. 基于冷鲜肉脂肪氧化的糖化酶型时间-温度指示器的研究[J]. 食品科学, 2013(18): 343—348. QIAN Jing, ZHENG Guang-lin, Feng Qin. Study on the Time-Temperature Indicator of Glucoamylase Based on the Fatty Oxidation of Chilled Meat[J]. Food Science, 2013(18): 343—348.
- [56] 马常阳, 傅泽田, 姚萌萌. 基于等量线匹配的时间温度指示器匹配性评估方法[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 183—188. MA Chang-yang, FU Ze-tian, YAO Meng-meng. Method of Matching Evaluation of Time-Temperature Indicator Based on Isometric Line Matching [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 183—188.
- [57] PEREIRA D A, CRUZ J M, PASEIRO L P. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry[J]. Food Rev Int, 2012, 28(2): 146—187.
- [58] DOBRUCKA R. The Future of Active and Intelligent Packaging Industry[J]. Logforum, 2013, 9(2): 103—110.
- [59] VANDERROOST M, RAGAERT P, DEVLIEGHERE F, et al. Intelligent Food Packaging: the Next Generation[J]. Trends Food Sci Technol, 2014, 39(1): 47—62.
- [60] REALINI C E, MARCOS B. Active and Intelligent Packaging System for a Modern Society[J]. Meat Sci, 2014, 98(3): 404—419.
- [61] LEE S Y, LEE S J, CHOI D S, et al. Current Topics in Active and Intelligent Food Packaging for Preservation of Fresh Foods[J]. J Sci Food Agric, 2015, 95(14): 2799—2810.
- [62] GHAANI M, COZZOLINO C A, CATELLI G, et al. An Overview of the Intelligent Packaging Technologies in the Food Sector[J]. Trends Food Sci Technol, 2016, 51: 1—11.
- [63] OTLES S. Intelligent Food Packaging[J]. Comprehensive Analytical Chemistry, 2016(4): 377—387.
- [64] FIDDES L K, CHANG J, YAN N. Electrochemical Detection of Biogenicamines during Food Spoilage Using an Integrated Sensing RFID Tag[J]. Sens Actuat B: Chem, 2014, 202: 298—304.
- [65] 2017 年中国包装行业竞争格局、市场化程度及影响行业发展[EB/OL]. (2017-09-27)[2017-10-21]. <http://www.chyxx.com/industry/201709/566733.html>. In 2017 China's Packaging Industry Competition Pattern, Marketization Degree and Influence Industry Development[EB/OL]. (2017-09-27) [2017-10-21]. <http://www.chyxx.com/industry/201709/566733.html>.
- [66] 2020 年中国包装工业年收入将达 2.5 万亿元[EB/OL]. (2017-01-13)[2017-10-21]. <http://www.keyin.cn/news/sczc/201701/13-1101872.shtml>. 2020 Annual Income of China's Packaging Industry will Reach 2.5 Trillion Yuan [EB/OL]. (2017-01-13) [2017-10-21]. <http://www.keyin.cn/news/sczc/201701/13-1101872.shtml>.
- [67] RESTUCCIA D, SPIZZIRRI UG, PARISI OI, et al. New EU Regulation Aspects and Global Market of Active and Intelligent Packaging for Food Industry Applications[J]. Food Control, 2010, 21(11): 1425—1435.
- [68] 郝倩, 苏荣欣, 齐崑, 等. 食品包装材料中有害物质迁移行为的研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 279—286. HAO Qian, SU Rong-xin, QI Wei, et al. Research Progress of Harmful Material Migration Behavior in Food Packaging Materials[J]. Food Science, 2014, 35(21): 279—286.