

包装用智能标签的应用及研究进展

谢勇, 刘林, 王凯丽, 谭海湖

(湖南工业大学, 株洲 412007)

摘要: **目的** 综述国内外智能标签在包装中的应用现状及最新研究进展。**方法** 阐明智能包装的定义, 并根据现有文献介绍智能标签的最新研究进展和应用情况。重点介绍时间-温度智能标签 (TTI)、新鲜度智能标签、射频识别 (RFID) 标签等智能标签的最新研究成果和应用情况, 为智能标签未来的研究和商业化应用提出建议。**结论** 智能标签作为一种应用于包装的新型技术, 在国外已经有了长足的发展和商业化应用, 国内智能标签的研究虽然有一些成果, 但缺乏商业化应用, 总体来看我国智能标签的发展仍处于起步阶段, 但其发展潜力巨大, 是我国未来包装技术的发展方向。

关键词: 智能包装; 研究进展; 智能标签; RFID

中图分类号: TB484; F760.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)19-0121-07

Application and Research Progress of the Intelligent Label for Packaging

XIE Yong, LIU Lin, WANG Kai-li, TAN Hai-hu

(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

ABSTRACT: The work aims to review the application status and recent research progress of intelligent label in packaging at home and abroad. The definition of intelligent packaging was elaborated. An introduction to the recent research progress and application status of intelligent label was made according to the existing literature. The latest research achievements and application status of intelligent labels, such as time-temperature intelligent label (TTI), freshness label and radio frequency identification (RFID) were introduced emphatically. Finally, some suggestions for future research and commercialization of intelligent label were proposed. As a new technology applied in packaging, the intelligent label has had great development and been commercially applied. Although some research achievements are made in China, it is short of commercial applications. In general, the development of intelligent label in China is still at the start-up stage, but it has enormous development potentials, and it is the development direction of future packaging technology in China.

KEY WORDS: intelligent packaging; research progress; intelligent label; RFID

从 20 世纪六七十年代开始, 智能化浪潮日渐高涨, 随着科学技术的发展和社会的进步, 人们逐步将智能化应用于各个领域。90 年代之后, 随着全球经济的发展和人们生活方式的改变, 使全球包装工业得到迅速发展, 包装在商品流通中的地位也变得越来越重要, 人们开始将智能化应用到包装领域中来。在满足包装基本功能的前提下, 充分体现个性消费需求, 彰显人文关怀和拓展产品功能的智能包装逐渐兴起。智能包装是未来包装业发展的方向之一, 尽管这项技术还没有完全商业化应用, 但它对提高产品的质量与

安全性, 以及可追溯性方面可以起到非常重要的作用, 给消费者带来了很大的便利性, 有巨大的发展潜力。目前, 智能包装中的智能成分主要以能够传感和指示包装内外环境变化及产品质量状态变化的智能标签的应用为主体, 可以说智能标签的应用和研究进展在某种程度上就代表了智能包装的应用和研究进展。鉴于国内目前对智能包装的商业化应用和研究较少, 消费者对其的了解也较少, 文中将以阐明智能包装的概念作为切入点, 对智能包装进行简单的介绍, 并重点对智能标签的应用和研究进展进行了综述, 为

收稿日期: 2016-07-25

基金项目: 湖南工业大学研究生创新基金 (CX1701); 湖南省研究生创新基金 (CX2017B681)

作者简介: 谢勇 (1964—), 男, 湖南工业大学教授, 主要研究方向为包装防伪技术与功能包装材料。

我国智能包装的基础研究提供素材。

1 智能包装

智能包装早在很多年前就开始频繁出现在一些文献、杂志和会议上,但一直以来对于智能包装的定义学术上仍然没有统一的说法,例如,Karel^[1]将智能包装定义为含有可以反映产品变化的传感器并且能够做出相应的反应来抑制产品发生有害变化的包装。Takhistov等^[2]认为智能包装是能够实现智能功能(如感知、检测环境,记录信息,定位追踪,交流等)的包装,这种包装可以感知包装内外环境变化、对产品出现的问题作出反馈、延长产品保质期、提高安全性,并且可以追踪产品位置。Yam等^[3]将智能包装定义为利用包装系统的交流功能通过监测包装内外环境的变化,能够做出判断和控制并且反映产品状态的科学技术。智能包装虽已成为研究和应用的热点,但业界对智能包装的定义仍在发展中,明确这一概念对界定智能包装的产业边界及其细分市场非常重要。综合相关文献和法规,结合智能包装的功能和实现形式认为智能包装是指人们通过创新思维,在包装中加入了更多的信息和智能成分,使其既具有通用的包装基本功能,又能够执行智慧型功能(包括感知、检测、记忆、跟踪、通信、判断、执行等),具有一定信息处理与决策能力,满足商品的特殊要求和特殊环境条件的一类包装产品及相关技术。

智能包装的出现使包装的功能得到延伸,满足了各种不同的需求。具有信息处理能力的智能包装,拓展了包装的信息传达功能。具有调节包装微环境的智能包装,延伸了包装的基本防护功能(变被动为主动)。具有改善环境相容性的绿色包装,衍生了包装的环境保护功能。智能包装的任务是监测包装内容物的质量状况,反馈质量影响因素的变化信息,响应系统维护与修复的控制指令,使商品在流通周期内,延长保质期、增强安全性(跟踪、溯源、预警、防伪等)、保证商品质量。

智能包装由智能组件、工业互联网和包装件等3个要素构成,智能组件则由若干智能材料、智能元件、中央处理单元等构成的信号(发生、记录、储存、发送)处理器和控制器。其中,智能材料包括各种功能油墨和涂料(导电、温敏、湿敏、气敏、光敏、磁敏、压敏等材料)、形状记忆材料、气体选择透过材料、印刷电子材料等。智能元件包括各类指示器(如时间-温度指示器、密封性指示器、新鲜度指示器等)、各类传感器(如重力传感器、加速度传感器、PH传感器、生物传感器、气体传感器、基于荧光的氧传感器等)、条形码和射频识别标签(RFID)等。中央处理单元包括各类嵌入式电子型、纳米型、有机型、生物型等微型芯片。这些智能组件通常贴附于包装上或

置于包装内部,将其称为智能标签。

2 智能标签的研究进展

智能标签可以传达产品中或产品包装中某种物质的存在或缺乏的信息,显示某2种或多种物质的反应程度,或者某种特殊物质的浓度,从而说明产品的质量状况,多数情况下,这些信息都是通过直接的视觉变化表现出来的。尽管用于包装的智能标签是多种多样的,但是根据国内外文献情况来看,大致有以下几种类型:时间-温度智能标签、新鲜度智能标签、气体型智能标签和射频识别标签^[4]。

2.1 时间-温度智能标签(TTI)

2.1.1 定义及分类

人们购买食品药品时习惯于靠生产日期判断其是否变质,而以牛奶、疫苗为代表的需冷链运输的食品药品,单靠生产日期无法监控质量而成为盲区。时间-温度智能标签(TTI)是一种可以感知和记录环境变化 and 产品质量变化的装置,一般通过化学、力学、酶学、微生物学等各个领域发生不可逆反应,使其颜色或结构发生变化来判断其所处的环境的变化,可以对产品的整个运输、储存及销售阶段的一些重要参数进行监控和记录,并通过时间温度积累效应指示产品的温度变化历程和显示剩余货架期等信息。食品、药品等的质量易受温度波动与时间变化的影响较大,因此将时间-温度智能标签应用于食品包装、药品包装以及对温度、时间等有要求的包装中,记录产品在全供应链期间的时间-温度历史,可以良好地表征产品的实时状态^[5]。

时间-温度智能标签是目前智能包装中应用较为广泛的技术之一,国外在20世纪60年代就已经进行了研究并开始商业化应用,到20世纪70年代,美国政府就要求在某些特殊的产品上必须应用TTI。目前,瑞典Vitsab公司、美国3M公司和Lifelines Technology公司、法国Cryolog公司等相继研究并开发了TTI,并已得到商业化应用^[6-7]。相对来说,国内关于TTI的研究起步较晚,并且主要集中在TTI理论方面的研究上,商业化应用较少。目前国内外的科学研究和已实现或接近商业化应用的主要有扩散型TTI、聚合型TTI和酶型TTI^[8-9]等。

2.1.2 扩散型TTI

扩散型TTI利用的是热熔性指示剂(如丁基硬脂酸酯、辛酸辛酯等)的扩散原理制成的,将其放置或集成于包装中时,当环境温度高于某一设置值时,其中的热熔性指示剂熔化并开始扩散,温度越高,热熔性指示剂的扩散速度越快,因此可以根据热熔性指示剂的扩散情况来反映产品经历的时间-温度历史,从

而判断产品的状态和剩余货架寿命, 这种智能标签的适用范围和使用期与指示剂的类型密切相关。美国 3M 公司生产的 Monitor Mark 智能标签见图 1。当产品的储存温度高于某一个值时, 标签内的物质开始扩散, 并且随着环境温度上升, 标签内物质扩散加快, 通过观察标签上的进度条可直接看出产品剩余货架期。当整个刻度条被充满时, 表明该产品已无法再继续使用^[10]。这类智能标签原理比较简单, 技术也较成熟, 在国外很多年前就已经得到商业化生产和应用。



图 1 Monitor Mark 智能标签, 扩散型 TTI
Fig.1 Monitor Mark intelligent label, diffusion TTI

2.1.3 聚合型 TTI

聚合型 TTI 利用的原理是聚合单体发生聚合反应生成固态聚合物的过程中, 颜色会逐渐发生变化。在反应过程中, 外界温度越高, 聚合反应速率越大, 其颜色变化越明显, 以此来反映产品经历的时间-温度历史, 可以直接用肉眼将其颜色与参考色对比来评估产品质量的变化^[11]。此类智能标签在使用前对于保存温度要求较为严格, 一旦接触温度高于某一个值, 即被激活开始发生聚合反应, 目前主要用于对冷藏食品的监控。聚合型 TTI 见图 2, 它由 2 个同心圆环组成, 智能标签被激活后, 随着温度的升高和反应时间的增加, 内部圆环的颜色逐渐变暗, 温度越高反应时间越长, 内部圆环颜色变化越大。当内部圆环颜色比外部圆环颜色深时, 意味着该产品的货架期终结。



图 2 聚合型 TTI
Fig.2 Polymeric TTI

在目前应用的聚合型 TTI 中, 应用最早最为广泛的一类是以含乙炔基单体的固态聚合反应为原理制成的聚合型 TTI。在该聚合反应中, 单体中的联乙炔基团在热的作用下发生加成聚合反应生成聚联乙炔 (PDA) 化合物, 反应过程中, 其颜色会由蓝色逐渐变为红色, 并且温度越高颜色变化的速率越快, 由此产生的温度-速率-颜色三者之间的变化关系就能够用来指示食品的品质变化。例如, Phollookin 等^[12]提出用聚氯乙烯和聚乙酸乙烯酯组成的聚酯用作丝网印刷油墨配方的基质, 将印刷出透明的 PDA 薄膜作为热反应标签, 可以用于 20 ~ -65 °C 的环境中记

录产品的质量变化。Song 等^[13]用丙炔胺和异氰酸酯合成了一种乙炔化合物并研究了它的聚合反应, 发现该化合物随着聚合反应程度的增加颜色由白变蓝再变黑。钱志勇等^[14]发明的基于 PDA 膜壳和两亲性聚合物溶液的 TTI, 可以检测 0 ~ 50 °C 环境下产品质量的变化。

2.1.4 酶型 TTI

酶型 TTI 通常利用酶和底物水解致使 pH 值发生改变, 配合 pH 指示剂, 产生可见的颜色变化, 或者是酶直接催化底物发生有颜色变化的反应, 从而实现对食品品质变化的检测。酶型 TTI 具有稳定性强、成本较低以及易于控制等优点, 已成为时间温度指示器研究领域的焦点。目前酶型 TTI 商业化应用很少, 还处于研究阶段, 并且目前所做的研究主要针对食品包装领域, 由于食品的品质与其所经历的时间温度历史密切相关, 并且食品的质量与时间、温度的动态变化关系可以通过质量方程表示, 而酶型 TTI 可以通过改变酶的类型与浓度, 添加辅酶、抑制剂等手段使其具备与食品质量变化相近的活化能, 因此酶型 TTI 的颜色变化可以较为精确地显示出食品的质量变化。

这类智能标签在国内外的研究较多, 所研究的酶的类型主要包括脂肪酶、漆酶、脲酶、淀粉酶等, 如 KIM K 等^[15]研究出一种基于漆酶的酶型 TTI, 可以通过这种智能标签的颜色变化来预测食品剩余货架寿命。Wang Y 等^[16]和 Wu D 等^[17]分别研究了基于脲酶和基于黑曲脂肪酶的 TTI。吕志业、卢立新等^[18]对碱性脂肪酶时间温度器变色效应进行了研究, 后来开发出一种新型酶型 TTI, 可以通过显色圈大小来判断其反应进行的程度, 从而可视地表征食品剩余的货架寿命。唐圆圆^[19]等以糖化酶、淀粉为主要原料, 研制出的固态酶型 TTI 不仅激活方便, 而且通过改变其反应配方, 可用于指示不同产品的货架期。冯钦等^[20]研究了淀粉酶型 TTI 反应体系的稳定性和最佳适用条件。乔磊等^[21]研制出了碱性脂肪酶型时间温度智能标签, 并评估了该 TTI 在贮藏中作为冷鲜猪肉的质量指示器使用时的可靠性。酶型 TTI 是一种种类丰富, 性能稳定且易于控制的智能标签, 有较大的发展潜力, 值得继续研究。

2.1.5 其他类型的 TTI

随着智能标签研究的逐渐深入, 除了以上几种研究和应用较多的时间-温度智能标签外, 光致变色型 TTI、纳米型 TTI、电化学型 TTI 等新型 TTI 也逐渐成为研究热点。OnVu™ TTI (见图 3) 是一种新型基于光色固态反应原理的可印刷的智能标签, 用于印刷这种 TTI 的油墨经紫外线照射后可由无色变为蓝色, 未激活的 TTI 稳定且不随时间延长而变化, 当其被激活后, 卡上以热转换带 (TTR) 的形式覆盖一层滤光

片,避免阳光再激发。滤光片的褪色与时间、温度及光照强度成比例,因此油墨的颜色变化可以显示产品环境的时间-温度历史。根据智能标签上以环形形式印刷在油墨周围的参考色可以判定产品的货架期,并且可以通过改变参考色的颜色使此种 TTI 应用于不同的产品。Brizio^[22]将 OnVu™ 智能标签应用于冷冻鸡肉储存运输中,达到了对冷冻鸡肉的质量监控。王卫^[23]等对一种新型光致变色 TTI 的紫外激活时间和不同环境温度对其变色过程的影响进行了研究,验证了此类 TTI 的可靠性。



图3 OnVu™ 型 TTI
Fig.3 OnVu™ TTI

尽管我国在智能包装起步较发达国家晚,智能标签在市场上的应用不及发达国家广泛,但近年来随着我国在智能标签方面研究的日渐深入,也取得了一些先进性成果。例如,我国中科院院士严纯华团队研发出了世界首款纳米型 TTI,其基本原理是,随着时间推移,金属银逐渐沉积在金纳米颗粒上,形成厚度连续变化的壳层,改变了纳米颗粒的尺寸、形状和化学组成,从而改变标签颜色,且其变色速率与时间和温度精准耦合。该智能标签可实时、可视化、精准监控食品和药品的储运和保存温度,保障食品和药品的品质安全,并且具有成本低廉、安全便捷、直观显示、兼容性强和应用广泛等优势。

可见,虽然 TTI 种类很多,反应原理也各有不同,但它们的共同点是都可以通过时间-温度累积效应对产品进行指示,使消费者可以很方便地通过可视的颜色变化来了解产品的质量变化情况。尽管国内外科研机构对 TTI 的研究很多,但目前已实现商业化应用的 TTI 较少,且主要出现在食品和药品行业,这可能是由于 TTI 的成本较高,激活不方便或体积过大等问题。尤其是在国内,对 TTI 的研究还处于科研阶段,我国由于现今水平相对落后,反而具有良好的发展势头,随着对科研的投入增大,相信我国 TTI 的发展及应用一定会达到世界领先水平。

2.2 新鲜度智能标签

新鲜度指示卡的出现源自人们对健康、新鲜的食物需求的增加,将新鲜度指示卡放在食品包装中可以在储存和运输中实时监测食品的质量变化。食品新鲜度的衰减可能是由于食品暴露在有害环境中导致微生物生长繁殖或食物中自身的物质之间相互发生反应,新鲜度指示卡可以直接提供食物中有关微生物生

长情况或发生化学变化的质量信息。微生物新陈代谢是食品变质的主要原因,食品中腐败微生物的代谢会产生许多代谢产物,如有机酸、挥发性含氮化合物、生物胺、乙醇、含硫化合物等,大量不同概念的新鲜度指示卡就是根据这些腐败微生物的代谢产物会引起指示标签变色的原理制成的,它反应了细菌的生长和新陈代谢,因此能够更加真实地反映食品的品质。例如, Vaikousi H 等^[24]利用乳酸杆菌消耗葡萄糖产生乳酸,使 pH 发生改变,产生可视的颜色变化,并将此智能标签用于监测冷冻食品的质量。Ellouze M 等^[25]通过研究乳酸菌产生乳酸,对乳酸的 pH 值建模,研究出一种特定的新鲜度指示卡。海鲜、肉类等产品的变质会产生大量的挥发性含氮化合物,大部分用于监测海鲜新鲜度的智能标签通过利用电导法^[26]、pH 值^[27]等方法检测挥发性含氮化合物(如胺类)的原理制成的。孙媛媛等^[28]通过测定了猪肉中挥发性盐基氮的含量,研究了一种能够根据包装内猪肉的腐败程度显示不同颜色的智能标签,用于指示猪肉的新鲜度。

还有一类智能标签是通过监测包装中氧气、二氧化碳或乙烯等气体的含量来判定果蔬、食物等的新鲜度^[29-30]。食物中微生物的生长和果蔬等呼吸作用的主要产物是二氧化碳,因此二氧化碳含量的上升标志着食品新鲜度的下降。Jung 等^[29]根据在泡菜发酵过程中乳酸菌生长代谢产生的二氧化碳不断增高使得包装的 pH 迅速降低的原理,制成了表征泡菜新鲜度的智能标签。Nopwinyuwong A 等^[31]基于 pH 染色原理制成的可监测二氧化碳得智能标签,来实时监控中等湿度下保存的甜点的新鲜度。果蔬类产品成熟之后会释放乙烯气体,因此通过测定乙烯的含量可以表征果蔬类产品的新鲜度^[32],由新西兰 Enterprises 公司开发的可监测乙烯浓度的智能标签可以用来判断水果的成熟度。此外,附带能够监测氧气和二氧化碳浓度智能标签的包装还可以起到防泄露的作用,正常情况下一些需要密封的包装或气调包装中都有规定的气体比例,一旦包装出现破损,会导致气体的体积分数发生变化,因此这类智能标签可以实时监控包装的完整性。

目前,新鲜度智能标签已在发达国家的部分食品中有了商业化的应用,未来用于包装的智能标签不应仅仅是一个信息载体,还应该是一种分析工具,可以用来表征产品的安全性与新鲜度,应该将电子学、生物学等多个领域的技术结合起来,以更加智能化的功能来指示产品的新鲜度。

2.3 射频识别标签(RFID)

2.3.1 组成及原理

射频识别标签由微芯片和微型天线组成,芯片内储存有产品的相关信息,天线用于发射信号,每个标签都有唯一的编码。射频识别标签与读写器、通信和

基础设施(如局域网、网络服务器等)共同组成射频识别系统,其中读写器用于发射无线电信号和读写标签的信息,通信和基础设施的作用是把射频识别硬件与企业应用联系起来,起到桥梁作用^[33]。整个系统的工作原理是,当标签进入读写器的磁场时,读写器会发出射频信号,标签感应到这个信号后,会将存储在芯片中的数据信息通过天线送给读写器,读写器接收并处理该信号后,将其返回给计算机等信息系统进行相应的数据操作。RFID最显著的2个优点一是标签储存量大,可以储存大量的信息,二是可以无接触远距离的传递和交流信息,并且可以在运动中识别,因此可以提高产品的自动识别效率,方便快捷,可应用于各种复杂环境^[34]。由于每个标签都有唯一的ID,将每个产品的ID和数字签名,以及生产信息、储存信息、物流及分销等信息通过一定的手段储存在RFID标签中,同时通过中间件或手持读写器将这些信息上传到系统后台的数据库中,就可以达到溯源、防伪等目的。一方面消费者可以通过智能手机或读写器终端查询产品信息,一旦产品出现问题消费者可以向上溯源,追溯到产品的销售、物流、生产厂家等信息流;另一方面,企业和总销售点可以向下追溯到产品物流、分销点和消费群体,同时可以在产品供应链上防止货物偷换、窃启等现象。如此,达到了产品防伪和企业、消费者的双向追溯的目的,典型的例子如日本的食物追溯系统、瑞典的农产品可追溯管理系统以及颜波等^[35]开发的水产品供应链可追溯平台等。

2.3.2 研究及应用情况

射频识别标签是研究最热门的智能标签之一,从国内外文献情况来看,目前对于射频识别技术和射频识别标签的应用在国内外均有大量的研究,Nash Ii D等^[36]通过实验研究了物流包装中RFID标签的移动速度、阅读器位置对智能标签识别性能的影响,表明了移动速度越快其检测率越低、标签距离阅读器水平距离越近,其信号强度和检测率越高。Dennard等^[37]发明了一种射频识别标签,除了可以直接访问其中储存的信息外(这些信息包括产品类型、价格、联系方式等),还允许用户从一个网站实时检索该智能标签中储存的信息或相关的服务。Knepler等^[38]介绍了一种用于饮料包装的RFID标签,它可以用于饮料的生产、储存和分销中,可以利用射频识别系统监测饮料状态并将信息发送到服务器,来确定饮料是否新鲜。

射频识别技术对现代物流系统也起到了重要的作用。物流包装是现代商品不可或缺的部分,作为商品生产环节的末端和物流过程的开始,它在现代物流中起着至关重要的作用。近年来,随着物流成本的不断增加,环境保护监管力度日趋严格以及包装技术的提升,物流包装在供应链管理中的角色越发重要,已成为影响现代物流产业的基础因素之一^[39]。将RFID

标签应用于物流包装,在收货和储存工程中,只要货物进入标签阅读器的识别范围,便可完成货物的自动识别,并将产品信息、到货时间、货物数量甚至货物质量状态等信息自动显示和储存,降低劳动成本、缩短收货时间。在分拣和发货过程中,位于发货处的阅读器会自动识别标签,当存在错误或不完整的出货时,系统会发出警报,可以大大提高发货准确性^[40]。RFID在物流包装上运用的一个成功案例之一是我国顺丰公司的货物配送综合服务平台,它借助于互联网、GPS、集合条码、RFID等技术的移动终端,将货物的收取、分拣、入库、出库等各个环节进行信息无缝对接,实现了快递过程的统一调度和监控,提升了配送效率降低了成本,同时在运输车辆上安装RFID标签使得运输过程更加透明,车辆管理更加有效。一般来说,在货物的运输和仓储阶段会出现RFID标签的密集放置现象,易导致标签之间相互耦合,对部分标签的读取造成一定的影响,为解决这一问题,李忠建等^[41]分析了RFID系统的前后向链路,通过仿真和计算得出了限制标签读取的主要链路,对于密集情况下标签的放置位置以及提高标签读取效率方面有重要的作用。在物流和仓库管理过程中,货物数量会实时变动,易出现货物丢失现象。梁雪萍等^[42]提出一种基于迭代识别的RFID丢失标签快速检测方法,能够及时的发现货物丢失,从而提高整体的检测效率。

同时,由于RFID标签在使用过程中,其所有权会产生多次转移,在这个过程中由于涉及RFID标签中储存的新旧所有者信息的替换,普遍存在隐私泄露、数据重放等风险,所以在RFID系统建立过程中如何提高流通过程中射频识别标签的安全性也是现在的研究重点。Sheetal^[43]详细介绍了使用射频识别标签的安全性问题。Baranowski^[44], Gandino^[45]等都对射频识别标签的安全性方面提出了解决方案。Qian^[46]提出一种新的基于椭圆曲线密码的RFID安全协议,提高了RFID标签的稳定性,保证了标签的数据安全,减少了隐私数据泄漏。

2.4 发展趋势及建议

智能标签在包装中的使用使产品具有更高的质量和安全性,为产品的储存、运输、销售等整个供应链,以及消费者带来了极大的方便,增加了产品的可追溯性。尽管相关技术已经有了广泛的研究,其应用和发展潜力巨大,但目前来看,商业化应用较预期仍然不多,究其原因成本是一个重要方面。由于智能标签涉及到一些先进技术,具有较高的研发和制作成本,大约占到整个包装成本的50%~80%,甚至更多,但期望是智能标签的成本最终占整个包装成本最小部分,因此,未来的研究需要考虑的一个重要方面,就是智能标签的商业可行性,使其最终能够应用于日

常的包装商品中。

在降低成本的同时,还应有技术上的要求,要保证用于包装中的这些智能标签的可靠性与适用性。在现有的大量文献和研究中可以看出,大部分的时间-温度智能标签和新鲜度智能标签利用的都是一些显色反应的基质或材料,这些智能标签虽然使用方便但易受到外界温度、酸碱度等诸多因素的影响,因此结合电子学、生物学等多个领域的技术开发可特异性检测产品质量的智能标签将是今后智能标签研发的重点之一。此外,由于产品的供应链及周围环境是复杂多变的,试验获得的结果与实际应用相比往往有所差异,在设计智能标签时要根据实际应用情况去改善一些性能,保证其在实际使用中的适用性。按照现在全球普遍提倡的可持续性绿色包装的概念与要求,研究如何促进智能标签的可持续性、可逆性和可重复利用,也是未来面临的挑战之一。

3 结语

智能标签作为一种应用于包装的新型技术,能够给消费者带来更加真实的品质保证,拥有巨大的市场价值。在欧美等发达地区已经有很多种智能标签实现了商业化的应用,但国内的发展情况是理论研究较多,实际应用情况很少,再加上存在经济性和适用性等问题,使得目前我国还没有成熟的商用智能标签,市场上基本没有附带智能标签的包装流通,因此,我国未来的研究需要考虑的一个重要方面是智能标签的商业可行性,在理论研究上需要更多的创新思维和方法,使智能标签最终能够更加安全可靠地应用于日常的商品包装中。

参考文献:

- [1] KAREL M. Tasks of Food Technology in the Coming Century[J]. Food Technology, 2000, 54: 56—65.
- [2] TAKHISTOV P T, YAM K L, MILTZ J. Intelligent Packaging: Concepts and Applications[J]. Journal of Food Science, 2004, 70(1): 1—10.
- [3] YAM K L. Intelligent Packaging to Enhance Food Safety and Quality[M]. Emerging Food Packaging Technologies, 2012.
- [4] ROBERTSON G L. Food Packaging : Principles and Practice[M]. CRC Press: Taylor & Francis Group, 2006.
- [5] ZABALA S, CAST J, MARTÍNEZ C. Development of a Time-temperature Indicator (TTI) Label by Rotary Printing Technologies[J]. Food Control, 2015(50): 57—64.
- [6] 贾增芹, 卢立新. 商业化时间-温度指示器的研究进展及应用[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 250—252.
- [7] JIA Zeng-qin, LU Li-xin. Research and Application on Commercial Time-temperature Indicator[J]. Food and Machinery, 2012, 28(1): 250—252.
- [8] 吕长鑫, 孙炳新, 冯叙桥. 时间温度指示器(TTIs)在食品包装中的应用研究现状[J]. 食品与营养科学, 2014, 1(2): 5—9.
- [9] LYU Chang-xin, SUN Bing-xin, FENG Xu-qiao. Application of Time-temperature Indicators as Quality Monitors in Food Packaging[T]. Food and Nutrition Sciences, 2014, 1(2): 5—9.
- [10] WU D, WANG Y, CHEN J, et al. Preliminary Study on Time-temperature Indicator (TTI) System Based on Urease[J]. Food Control, 2013, 34(1): 230—234.
- [11] 郑伟洲, 卢立新. 时间温度指示器在低温流通食品包装上的研究现状及其应用[J]. 包装工程, 2010, 31(23): 105—109.
- [12] ZHENG Wei-zhou, LU Li-xin. Development and Application of Time-temperature Indicators for Package of Food in Low Temperature Distribution[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 105—109.
- [13] GHAANI M, COZZOLINO C A, 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.
- [14] KUSWANDI B, WICAKSONO Y, JAYUS, et al. Smart Packaging: Sensors for Monitoring of Food Quality and Safety[J]. Sensing & Instrumentation for Food Quality & Safety, 2011, 5(3): 137—146.
- [15] PHOLLOOKIN C, WACHARASINDHU S, AJAVAKOM A, et al. Tuning Down of Color Transition Temperature of Thermochromically Reversible Bisdiynamide Polydiacetylenes[J]. Macromolecules, 2010, 43(18): 7540—7548.
- [16] SONG R, ZHU G, XIE J, et al. Synthesis of 2,4-Hexadiyn-1,6-Bis(Ethylurea) and Its Polymerization[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(5): 1—4.
- [17] QIAN Zhi-yong, WEI Yu-quan, et al. Time-temperature Color-changing Indicator and Application and Using Method Thereof: China, 102336996 B[P]. 2013.
- [18] KIM K, KIM E, LEE S J. New Enzymatic Time-temperature Integrator(TTI)that Uses Laccase[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(1): 118—123.
- [19] WU D, WANG Y, CHEN J, et al. Preliminary Study on Time-temperature Indicator(TTI) System Based on Urease[J]. Food Control, 2013, 34(1): 230—234.
- [20] WU D, HOU S, CHEN J, et al. Development and Characterization of an Enzymatic Time-temperature Indicator(TTI) Based on Aspergillus Niger Lipase[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 1100—1104.
- [21] 吕志业, 卢立新. 碱性脂肪酶时间温度指示器变色效应的研究[J]. 包装工程, 2000, 21(7): 8—9.
- [22] LYU Zhi-ye, LU Li-xin. Study on Alkaline Lipase Time Temperature Indicator Discoloration Effect[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 8—9.
- [23] 唐圆圆, 钱静. 固态酶型时间温度指示器性能研究[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 97—102.
- [24] TANG Yuan-yuan, QIAN Jing. Characteristics of Time-temperature Indicator with Solid-state Enzyme[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(1): 97—102.
- [25] 冯钦, 钱静, 刘婧. 固定化淀粉酶时间-温度指示剂性能的研究[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 60—65.
- [26] FENG Qin, QIAN Jing, LIU Jing. Performance of Tim-

- e-temperature Indicator with Immobilized Amylase[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(7): 60—65.
- [21] 乔磊, 卢立新, 唐亚丽, 等. 酶型时间温度指示器监测冷鲜猪肉贮藏货架期[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(13): 263—269.
- QIAO Lei, LU Li-xin, TANG Ya-li. Monitoring Storage Shelf Life for Chilled Fresh Pork Using Enzymatic Time-temperature Indicator[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(13): 263—269.
- [22] APDR B, PRENTICE C. Use of Smart Photochromic Indicator for Dynamic Monitoring of the Shelf Life of Chilled Chicken Based Products[J]. *Meat Science*, 2014, 96(3): 1219—1226.
- [23] 王卫, 张佳敏, 张崑, 等. 一种新型冷链管理 TTI 系统的应用[J]. *食品与发酵科技*, 2013(2): 89—93.
- WANG Wei, ZHANG Jia-min, ZHANG Yin, et al. A Novel Photochromic Time-temperature Indicator to Support Cold Chain Management[J]. *Food and Fermentation Technology*, 2013(2): 89—93.
- [24] VAIKOUSI H, BILIADERIS C G, KOUTSOUMANIS K P. Applicability of a Microbial Time Temperature Indicator (TTI) for Monitoring Spoilage of Modified Atmosphere Packed Minced Meat[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009, 133(3): 272—278.
- [25] ELLOUZE M, PICHAUD M, BONAÏTI C, et al. Modeling pH Evolution and Lactic Acid Production in the Growth Medium of a Lactic Acid Bacterium: Application to Set a Biological TTI[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 128(1): 101—107.
- [26] HEISING J K, BOEKEL M A J S V, DEKKER M. Simulations on the Prediction of Cod (*Gadus Morhua*) Freshness from an Intelligent Packaging Sensor Concept[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2015(3): 47—55.
- [27] KUSWANDI B, JAYUS, OKTAVIANA R, et al. A Novel On-Package Sticker Sensor Based on Methyl Red for Real-Time Monitoring of Broiler Chicken Cut Freshness[J]. *Packaging Technology & Science*, 2014, 27(1): 69—81.
- [28] 孙媛媛, 张蕾. 猪肉新鲜度指示卡的研究[J]. *包装工程*, 2013, 34(5): 29—33.
- SUN Yuan-yuan, ZHANG Lei. Development of Pork Freshness Indicator Card[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(5): 29—33.
- [29] LAWRIE K, MILLS A, HAZAFY D. Simple Inkjet-printed, UV-activated Oxygen Indicator[J]. *Sensors & Actuators B Chemical*, 2013, 176(6): 1154—1159.
- [30] JUNG J, LEE K, PULIGUNDLA P, et al. Chitosan-based Carbon Dioxide Indicator to Communicate the Onset of Kimchi Ripening[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 54(1): 101—106.
- [31] NOPWINYUWONG A, TREVANICH S, SUPPAKUL P. Development of a Novel Colorimetric Indicator Label for Monitoring Freshness of Intermediate-moisture Dessert Spoilage[J]. *Talanta*, 2010, 81(3): 1126—1132.
- [32] LANG C, HÜBERT T. A Colour Ripeness Indicator for Apples[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2012, 5(8): 3244—3249.
- [33] SARAC A, ABSI N, DAUZÈRE-PÈRÈS 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.
- [34] PLESSKY V P, REINDL L M. Review on SAW RFID Tags[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonic's Ferroelectrics & Frequency Control*, 2010, 57(3): 654—668.
- [35] 颜波, 石平. 基于 RFID 和 EPC 物联网的水产品供应链可追溯平台开发[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(15): 172—179.
- YAN Bo, SHI Ping. Development of Traceability System of Aquatic Foods Supply Chain Based on RFID and EPC Internet of Things[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(15): 172—179.
- [36] NASH I D, MWAKALONGE J L, PERKINS J A. An Investigation of Factors Influencing Performance of Radio Frequency Identification (RFID): Applications in Transportation[J]. *Medical Journal of Australia*, 2016, 10(4): 25—29.
- [37] DENNARD M D, JOHNSON R S, LEWIS E L, et al. System and Method for RFID Dynamic Content Presentation: US, 9230274[P]. 2016.
- [38] KNEPLER J T. Brewer System Including Pervasive RFID Sensing for Servers: US, 200912920581[P]. 2016-02-23.
- [39] AZZI A, BATTINI D, PERSONA A, et al. Packaging Design: General Framework and Research Agenda[J]. *Packaging Technology and Science*, 2012, 25(8): 435—456.
- [40] 邹饶邦彦, 张春和, 何健. 基于 RFID 技术的包装储运模式优化探析[J]. *包装工程*, 2016, 37(1): 39—42.
- ZOU Rao-bang-yan, ZHANG Chun-he, HE Jian. Optimization of Warehouse Packaging Mode Based on RFID Technology[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(1): 39—42.
- [41] 李忠建, 张雪凡, 叶旸, 等. 多标签环境下 RFID 系统的受限链路[J]. *电子测量技术*, 2016(1): 9—13.
- LI Zhong-jian, ZAHNG Xue-fan, YE Yang. Link Constraints in RFID with Intensive Tags[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2016(1): 9—13.
- [42] 梁雪萍, 马存庆, 梁颖升. 一种快速检测 RFID 丢失标签的方法[J]. *计算机工程*, 2016, 42(1): 133—137.
- LIANG Xue-ping, MA Cun-qing, LIANG Ying-sheng. A Fast Detection Method for RFID Missing Tag[J]. *Computer Engineering*, 2016, 42(1): 133—137.
- [43] SHEETAL S. Technical Analysis of Security Mechanisms Used in RFID E-passport, Related Threats, Security and Privacy Issues[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2016, 61(2): 324—336.
- [44] BARANOWSKI J A. System and Method for Enhanced RFID Instrument Security: US, 9262655[P]. 2016.
- [45] GANDINO F, MONTRUCCHIO B, REBAUDENGO M. A Security Protocol for RFID Traceability[J]. *International Journal of Communication Systems*, 2017, 30(6): 142—151.
- [46] QIAN Q, JIA Y L, ZHANG R. A Lightweight RFID Security Protocol Based on Elliptic Curve Cryptography[J]. *International Journal of Network Security*, 2016, 18(2): 354—361.