

气体指示与纳米智能标签在食品包装中的发展综述

封晴霞¹, 王利强^{1,2}

(1.江南大学, 江苏 无锡 214122; 2.江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要: **目的** 综述气体指示型智能标签及纳米智能标签技术的原理、特点以及在食品包装方面的应用。**方法** 重点介绍气体指示型智能标签中新鲜度指示、成熟度指示、泄露型指示、无线射频识别等智能标签和纳米综合性指示器的工作原理、应用研究, 以及智能标签的发展趋势。**结论** 智能标签技术在食品包装行业受到了广泛关注, 在推进食品包装智能化发展, 维护食品安全, 加强包装防护, 提高质量监控等方面起到了重要作用, 是未来食品包装发展的主要方向。

关键词: 气体指示型; 纳米; 智能标签; 应用研究

中图分类号: TB485.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)19-0138-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.020

Review on the Development of Gas Indicator Smart Label and Nanometer Intelligent Label in Food Packaging

FENG Qing-xia¹, WANG Li-qiang^{1,2}

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to review the principle, characteristics and application of gas indicator smart label and nanometer smart label technology in food packaging. The working principle and application research of smart labels, such as freshness indicator label, maturity indicator label, leak indicator label, radio frequency identification label and nanometer integrated indicator in gas indicator smart label, as well as the development trend of smart labels were introduced in detail. Smart label technology has attracted wide attention in food packaging industry. Smart labels play an important role in promoting the intelligent development of food packaging, maintaining food safety, strengthening packaging protection, improving quality monitoring and so on. It is the main direction of food packaging development in the future.

KEY WORDS: gas indicator type; nanometer; smart label; application study

食品质量安全直接关系到人类健康, 且食品安全与食品包装关系密切, 随着人们生活水平的提高, 食品行业不断发展, 对食品包装的技术要求也随之不断提高。当今社会, 包装在保护产品的基础上, 还要延长商品的保质期, 防止营养成分流失, 维持食品原有质量和新鲜度。为满足消费者在商品流通销售过程中

更好地辨别内部食品品质的安全与否, 包装技术应运而生, 成为当今食品包装的热门话题。作为一种新型包装, 智能标签融合了多种智能化包装技术, 可直观表达食品的内部信息^[1-2], 在食品整个供应链周期内监测食品品质、保证食品安全, 同时也在很大程度上给消费者提供了便利, 是未来包装行业发展的主

收稿日期: 2019-03-19

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (JUSRP21115); 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室自主研究课题资助项目 (FMZ201902)

作者简介: 封晴霞 (1995—), 女, 江南大学硕士生, 主攻食品包装技术。

通信作者: 王利强 (1977—), 男, 博士, 江南大学教授, 主要研究方向为食品包装技术。

要方向。

食品品质检测技术有多种,大体可分为色谱技术、光谱技术、生物技术 3 个方面。色谱技术主要包括质谱法^[3]、气相色谱法^[4]、液相色谱法、气相色谱-质谱法^[5]等分析方法,其检测仪器体积大、费用昂贵、耗时较长,不适用于现场快速检测。光谱技术与生物技术是近年来使用的新型检测技术,包括现代光学成像技术^[6]、生物传感技术^[7-8]、近红外光谱技术^[9]、核磁共振检测技术^[10-11]等,与色谱技术相比,其虽快速便捷,但此类检测方法所得数据不能随食品质量变化呈现食品新鲜度的动态变化。智能包装的出现使食品包装功能得到延伸,为广大研究人员提供了新的研究角度和思路。文中主要综述气体指示智能标签与纳米智能标签的原理、国内外最新研究进展,并对智能标签存在的问题及未来发展进行展望。

1 气体指示型智能标签

智能标签系统是一种能够反映包装内食品质量状况和新鲜度,并将食品新鲜度信息直观显示在消费者眼中的一种可视化标签。广义的智能标签主要分为控制型与信息型 2 种^[12],控制型智能标签又分为功能材料型和功能结构型,气体指示型智能标签作为功能材料类智能标签,是对包装内影响食品品质的气体进行检测,并反馈在标签上,以便消费者进行消费判断。

目前气体指示型智能标签主要检测的气体包括 O_2 、 CO_2 、乙烯、挥发性含硫化合物及挥发性含氮化合物等 5 种,其中 O_2 、 CO_2 ^[13]是水果奶制品检测的主要气体;乙烯^[14-15]是果蔬在供氧充足的条件下释放出的特征气体;挥发性含硫及含氮化合物是肉类产品腐败后酸臭味的主要气体来源^[16],气体指示智能标签是通过采集食品的某种特征性气体并经过一系列化学反应,使标签颜色改变,进而有效监测包装内部气体的组分变化^[17],保证食品的质量安全。文中针对气体指示型智能标签,主要对新鲜度指示标签、成熟度指示标签、泄露型指示标签、无线射频识别标签这 4 类进行详细阐述。

1.1 新鲜度指示标签

食品新鲜度受食品本身、酶的催化及外界温湿度等多种因素的影响,仅从食品保质期和颜色状态等方面并不能具体表征产品的新鲜程度。新鲜度指示标签是利用生物传感器或颜色指示剂对包装内食品 CO_2 、 O_2 、乙烯、挥发性含硫含氮化合物等气体以及引起食品腐败变质的微生物含量进行检测^[18],根据标签颜色变化对食物的新鲜度进行合理判断。

Jung 等^[19]利用 CO_2 在壳聚糖中溶解速率不同所

产生的色差变化制作出一种基于 CO_2 的泡菜指示标签,见图 1。将以壳聚糖为原料的指示剂置于 LDPE 膜袋,并将膜袋置于泡菜包装的顶部空间中。实验表明,随着泡菜中乳酸菌无氧呼吸产生 CO_2 ,包装内 pH 迅速降低,具体表现为 CO_2 溶于标签的模型传感器中并形成 H_2CO_3 , H_2CO_3 解离后的 H^+ 与 H_2O 结合形成 H_3O^+ ,最后水合氢离子与碱性染料发生反应产生颜色变化。该指示剂易受环境因素影响,稳定性较差。



图 1 监测泡菜新鲜度的 CO_2 指示标签
Fig.1 CO_2 indicator label for monitoring freshness of kimchi

Prietto 等^[20]制备出了以红甘蓝中花青素作为指示剂的 pH 敏感膜,可检测食品中多种酸碱成分(例如 CO_2 、有机酸、胺、氨等)。Prietto 等在对照试验冷却和不冷却的条件下进行了为期 28 d 的观察,实验表明指示剂在冷却条件下颜色稳定性更高,可用于鱼肉等冷藏食品的新鲜度检测。据报道,英国大学生 Solveiga Pakstaite 发明了一款名为“Bump Mark”的三角形凹凸标签^[21],见图 2。从上到下分别为外层塑料膜、明胶层、塑料凹凸层和内层塑料膜,见图 3。标签材料是一种蛋白质类明胶,变质速度与含蛋白类食物相同,当食物品质发生改变,明胶将由固态变为液态,食物越不新鲜,标签凹凸不平越明显,可以让消费者通过触摸快速了解食品新鲜状况。由于标签材料自身成分的限制,目前只能应用于牛奶、肉类食品上。



图 2 三角形智能标签
Fig.2 Triangular smart label

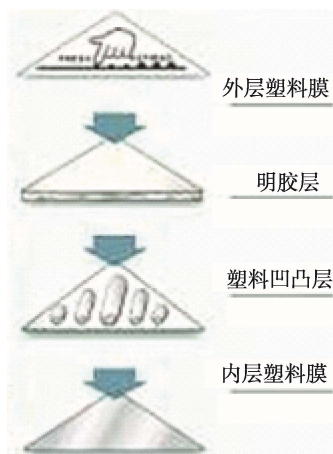


图3 凹凸标签的结构

Fig.3 Structure of concave and convex labels

1.2 成熟度指示标签

成熟度指示标签主要用于鉴别包装内果蔬的成熟状态,为消费者提供当前的成熟度信息,并防止腐败造成损失。果蔬具有较强的时效性,且保鲜贮藏要求高,因处理不当导致其腐败变质的情况屡见不鲜。气调保鲜^[22]、减压保鲜^[23]、熏蒸保鲜^[24]、涂膜保鲜^[25]等技术虽可以有效延长果蔬的储存时间,但选购方便和新鲜美味无疑是促进消费者消费的主要动力,成熟度感知标签能很好地帮助消费者实现方便快捷地选购产品这一目的。

新西兰研究成功并推出了名为 Ripe Sense 的成熟度感知包装技术^[26],在 2014 年 1 月首次出现在超市的货架上。标签上的特定涂层能够检测水果成熟过程中散发出的天然芳香族化合物,密封包装上方贴有标签指示卡,指示卡上有红色到黄色的圆形图案,图案颜色会根据水果成熟过程中散发出来的芳香族化合物浓度进行变色。以梨为例,标签颜色由红色逐渐变为黄色,代表着梨从青涩到成熟多汁的变化过程,见图 4。当前该成熟度感知标签技术已应用于牛油果、梨、猕猴桃、甜瓜等夏季水果,能否应用于其他水果还有待验证。此外, Meng 等^[27]制备的不可逆型 CO_2 传感器是将 3 g/L 的壳聚糖溶液与 3 g/L 的考马斯亮蓝染料 (BB) 溶液分别按 10:1, 10:2, 10:5 的体积比混合。试验数据表明,该指示剂指示参数与样品的 CO_2 含量有直接关系,能有效监测 CO_2 浓度变



图4 Ripe Sense 指示标签

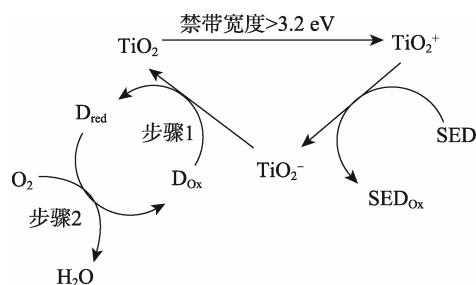
Fig.4 Ripe Sense indicator label

化,且随着 CO_2 浓度的升高,标签颜色由浅蓝变为深蓝。目前由于检测气体单一,其应用仅限于膳食纤维丰富且经过发酵的果蔬类产品。

1.3 泄露型指示标签

水果蔬菜以及肉类食品易受环境中 O_2 与 CO_2 的影响,近年来,许多研究者都致力于开发 O_2 和 CO_2 的气体指示剂。据调查,食品经过处理放入包装袋密封后,内部 O_2 体积分数维持在 2%~5%、 CO_2 体积分数维持在 20%~80%^[28],当包装袋发生泄漏后, O_2 与 CO_2 体积改变,食品的营养价值和外观口感随之降低。泄露型指示标签是通过检测包装内 O_2 或 CO_2 气体浓度来表征食品品质状态。

以 O_2 指示标签为例,常用的 O_2 指示标签材料主要有具有氧化还原作用的染料 (2,6-二氯酚、亚甲基蓝或 N, N, NO, N'-四甲基对苯二胺等)、还原化合物 (还原糖等) 及碱性化合物 (氢氧化钠)^[29]。典型的 O_2 指示剂是利用氧化还原染料亚甲基蓝进行操作,如 Andrew Mills 等^[30]介绍的 UV 激活 O_2 指示剂,其具有防水、可重复使用、紫外活化、 O_2 敏感等特点,该薄膜将半导体催化剂纳米颗粒 SiC 和电子体 SED 封装在聚合物里,利用亚甲基蓝对 O_2 进行判断。紫外线照射后,亚甲基蓝迅速变为无色 (D_{red} , LMB), LMB 对 O_2 敏感,因此在包装泄露后,无色 LMB 被重新氧化成吸收性很强的蓝色亚甲基蓝 (D_{ox} , MB),从而充当 O_2 指示剂。该指示剂置于新鲜的肉类产品包装上时效果良好且使用期限超 6 个月。由于其成本高、应用范围有限,目前还处于研究阶段。

图5 UV 激活 O_2 指示剂显色机理Fig.5 Color developing mechanism of UV activated O_2 indicator

1.4 无线射频识别标签

无线射频识别 (RFID) 作为气体指示标签时,通常与其他传感器技术 (温度传感器、 CO_2 传感器、新鲜度传感器等) 相结合。这是一种将射频识别技术和传感器技术结合起来新型技术,具有存储信息量高、成本低、传输速度快等优点^[31-32],被广泛应用于智能包装、无人超市、物流等领域^[33]。其由芯片标签、读取器和应用系统这 3 个主要部分组成^[34-35],连接到天线的芯片可储存商品的生产日期、适宜温

度、产地等信息,并将反馈信息处理后传送至计算机网络,由管理人员接受处理^[36—37]。

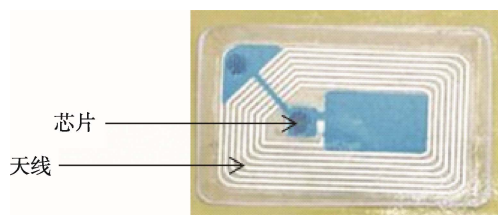


图 6 射频识别标签
Fig.6 Radio frequency identification label

保鲜食品通常需要低温保存来防止细菌快速繁殖滋生,将 RFID 技术与时间-温度指示剂 (TTI) 或新鲜度指示剂联合使用,标签上的化学成分会根据时间温度或气体的变化产生聚合作用,标签特定图层将出现相应的明暗颜色变化,消费者或管理人员可通过监控系统及时获取商品品质信息。Lin 等^[38]研究出了一种基于气体传感器的肉类新鲜度监测智能 RFID 标签,由 H_2S 气体传感器、温湿度传感器、RFID、读取器和服务器组成。研究人员在猪肉上进行了实验,通过与食物中毒指数比较,将测量指标分为高、中、低和变质 4 类,在温度分别为 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行了 3 次实验,成功评估了肉类的新鲜度。相较于其他单一性气体指示智能标签,无线射频识别标签可监测多种因素,准确度高。贾先勇等^[39]研究了一种基于 RFID 技术的 TTI 标签,可监测食品周围温湿度和光照变化情况,并通过无线射频识别技术将反馈信息传送至计算机。

2 纳米智能标签

2.1 工作原理及应用

基于各种类型聚合物纳米复合材料和纳米传感器的智能包装材料的应用前景十分广阔,可根据 pH、发酵产物等参数检测存储食品的质量,延长保质期^[40]。纳米智能标签是一种可以监测产品品质变化及包装内外气体、温湿度、酸碱度等的综合性指示剂,标签监控的有效温度范围是 $-10\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,适用于大多数食品包装。

在 2016 年的中国无菌包装产业发展论坛上,中科院院士、北京大学教授严纯华公布了世界首款纳米“智能标签”^[41]。其基本原理为随着温度升高和时间的延长,金属银逐渐堆积在金纳米颗粒上,导致壳层厚度不断升高,进而改变了纳米颗粒的形状、尺寸和化学组成,标签颜色由绿到红发生渐变,这种渐变不可逆转,且变色速率与时间温度精准耦合。以牛奶包装为例,将标签贴于牛奶外包装上,在流通销售过程中,当某环节温度出现异常,标签颜色将发生改变,商家或厂家可直观识别出产品的质量状况。

由莱斯大学和麻省理工学院的材料科学家共同开发而成的超薄变色薄膜,由名为光子凝胶的亲水性聚 2-乙烯基吡啶 (P2VP) 和疏水性聚苯乙烯的纳米层制成。Thomas 团队^[42]把聚合物结合到一种自组装超纳米级嵌段共聚物中,当凝胶被球形压头压缩时,光子带中会观察到大量的可逆移动,产生颜色变化。当变色材料暴露在溶于溶液的离子中时,亲水性 P2VP 层膨胀,材料根据离子渗入亲水层的能力来呈现不同的颜色变化,见图 7。这种纳米材料制成的模内标签在遇到变质或不新鲜食物释放出的化学物质时会发生变色,不需查看保质期,就可直接获取商品品质信息,目前已应用于番茄、香肠、鱼、牛肉等多种食品包装。

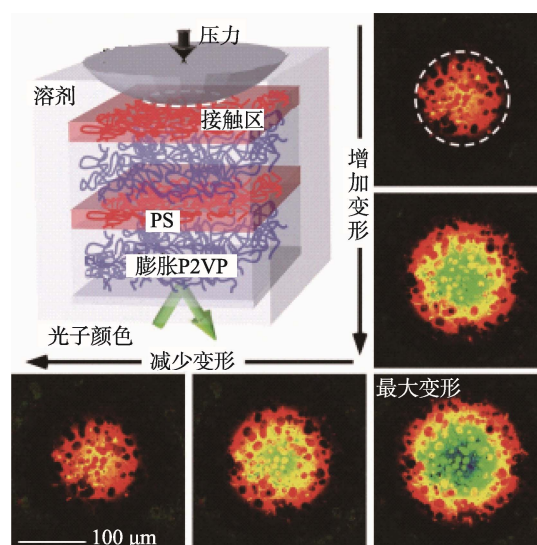


图 7 光子凝胶变色机理
Fig.7 Discoloration mechanism of photonic gel

2.2 纳米智能标签的优势

气体指示型智能标签的研究虽已获得很大成效,但仍处于起步阶段,尚未大规模投入市场,一些技术难题至今尚未突破,且绝大多数气体型智能标签只能针对某一食品的单一特征性气体进行监测,使用范围有限,不能大规模商业化生产。目前市场上常见的智能标签主要是时间温度指示器 (Time-Temperature Indicator),例如美国 Temptime 公司生产的聚合物型 TTI、瑞典 VITSAB 公司生产的酶型 TTI、3M 公司生产的扩散型 TTI^[43]、瑞典 Vitsab A.B.公司生产的脂肪酶型 TTI (CheckPoint™) 等,但 TTI 易受环境温度湿度影响,例如聚合物型 TTI 生产出来后就处于激活状态^[44],要求必须冷冻贮藏和运输;液态脂肪酶型 TTI 易失活和泄漏,要求包装强度高。纳米智能标签作为一种综合型智能标签,具有应用范围广、检测因素可实现多样化、不易受环境因素影响等优点,随着研究的深入发展,可商业化应用于食品包装、药品包装、环境监测等多种领域,有望在未来智能标签领域占有重要地位。

3 存在的问题及发展趋势

当前气体指示性智能标签在食品包装方面虽已获得一定成效,但仍需进一步深入研究,以便达到市场应用的需要;包装用纳米型智能标签这一想法是近几年刚刚提出的,研究尚未投入大量人力、物力,研究深度、广度和应用方面还需进一步加强。技术与成本问题是制约国内包装用智能标签发展的主要因素,智能标签涉及的技术相对复杂、研究基础薄弱、制作成本高,大约能占到整个包装成本的 50%~80%^[45],目前已应用的智能标签,如新鲜度智能标签、泄漏型智能标签、TTI 等对自身贮存条件要求较高,易受周围环境影响,难以大规模投入生产。此外,智能包装安全与否的问题尚未得到证实,相关监管制度和原料用量要求也没有明确的法律规定,比如气体指示性智能标签指示剂成分的安全性、纳米智能标签中金属离子的迁移对食品的危害性、消费者的信任程度以及安全评价体系的完整可靠性等都需进一步加强。

智能包装在食品安全、包装防护等方面具有重要意义,因此,人们利用智能标签系统来探测食品品质的研究急剧增长^[46—47]。在“工业 4.0”和“中国制造 2025”成为制造业发展趋势下,以大数据、互联网、集成为背景^[48—49],包装工业将会向装备智能化和生产过程智能化迈进^[50],据专家预测,智能标签是食品包装未来发展的主要方向^[51—53],智能标签技术将朝着智能包装一体化、信息交互功能化、制备简洁化及材料优化等方向发展。

4 结语

随着包装人文化、高端化的需求越来越多,包装企业正努力建立智能包装物联网平台、打造智能包装生态链,包装智能化、个性化、信息化已成为时代发展的主要趋势。由于智能标签核心技术是指示剂颜色变化,但显色类指示剂易受环境中 pH、温湿度等多种因素的影响,因此当前智能标签稳定性差、存在误差,这也是制约智能标签市场化应用的主要因素之一,未来智能标签要向着稳定性好、灵敏、安全可靠、不易受环境干扰的智能化方向发展,打破常规,将创新与技术相结合,因此,包装研究者与相关行业需进一步加强技术研发及智能型转化,整合智能技术手段创新互动体验模式,使用可与食品直接接触的天然绿色染料,降低成本并提高性价比、安全性、可靠性、实用性,使消费者易于接受,以便开拓智能包装市场应用,推动智能标签技术产业的发展。

参考文献:

[1] 王艳娟,王桂英,王艺萌.食品类智能包装技术研究

进展[J].包装工程,2018,39(11):6—12.

WANG Yan-juan, WANG Gui-ying, WANG Yi-meng. Research Progress of Intelligent Packaging Technology for Food[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 6—12.

[2] 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. Progress in Research and Application of Intelligent Packaging[J]. Green Packing, 2016(2): 39—46.

[3] 姚海波.质谱联用技术在食品安全检测领域的应用[J].广州化工,2018,46(19):27—29.

YAO Hai-bo. Application of Mass Spectrometry in Food Safety Detection[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2018, 46(19): 27—29.

[4] PETRARCA M H, GODOY H T. Gas Chromatography-mass Spectrometry Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Baby Food Using QuEChERS Combined with Low-density Solvent Dispersive Liquid-liquid Microextraction[J]. Food Chemistry, 2018, 257: 44—52.

[5] AISALA H, SOLA J, HOPIA A, et al. Odor-contributing Volatile Compounds of Wild Edible Nordic Mushrooms Analyzed with HS-SPME-GC-MS and HS-SPME-GC-O/FID[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 566—578.

[6] 田瑾,王冬.现代光学成像技术在食品品质快速检测中的应用[J].黑龙江科技信息,2015(26):63.

TIAN Jin, WANG Dong. Application of Modern Optical Imaging Technology in Fast Detection of Food Quality[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2015(26): 63.

[7] INGRID B, SCHERRINE A, AKHTAR H, et al. New Biorecognition Molecules in Biosensors for the Detection of Toxins[J]. Biosens Bioelectron, 2017, 87: 285—298.

[8] SILVA N F D, MAGALHAES J M C S, FREIRE C, et al. Electrochemical Biosensors for Salmonella: State of the Art and Challenges in Food Safety Assessment[J]. Biosensors&Bioelectronics, 2018, 99: 667—682.

[9] 陈向东,吴晓军,姜小苓,等.不同小麦品种营养成分含量的近红外光谱分析[J].食品研究与开发,2019,40(1):163—167.

CHEN Xiang-dong, WU Xiao-jun, JIANG Xiao-ling, et al. Analysis of Nutritional Components in Different Wheat Varieties by Near Infrared Spectroscopy[J]. Food Research and Development, 2019, 40(1): 163—167.

[10] KIRTIL E, CIKRIKCI S, MCCARTHY M J, et al. Recent Advances in Time Domain NMR&MRI Sensors and Their Food Applications[J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 17: 9—15.

[11] LIN S Y, YANG S L, LI X F, et al. Dynamics of Water Mobility and Distribution in Soybean Antioxidant Pep-

- tide Powders Monitored by LF-NMR[J]. Food Chem, 2016, 199: 280—286.
- [12] 赵彬, 杨祖彬, 崔爽. 信息型智能包装标签技术的研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 67—72.
ZHAO Bin, YANG Zu-bin, CUI Shuang. Research Progress of Information-based Intelligent Packaging Label Technology[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 67—72.
- [13] ADAY M S, BUYUKCAN M B, CANER C. Maintaining the Quality of Strawberries by Combined Effect of Aqueous Chlorine Dioxide with Modified Atmosphere Packaging[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2013, 37(5): 568—581.
- [14] 李梅. 一种具乙烯清除和抗菌功能的果蔬保鲜包装膜研发[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
LI Mei. The Development of Fresh-keeping Packaging Film with the Function of Ethylene Scavenging and Antimicrobial for Fruit and Vegetable[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.
- [15] 侯玉婷, 施威, 孔令云, 等. 采后水果保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2015(8): 226—231.
HOU Yu-ting, SHI Wei, KONG Ling-yun, et al. Research Progress of Postharvest Fruit Preservation Technology[J]. Food Industry, 2015(8): 226—231.
- [16] 沈力, 胥义, 占锦川, 等. 智能化标签在食品包装中的应用及研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 377—383.
SHEN Li, XU Yi, ZHAN Jin-chuan, et al. The Application of Intelligent Label in Food Packaging and Its Research Progress[J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(5): 377—383.
- [17] 郭鹏飞, 何昊葳, 付亚波, 等. 气敏类智能包装标签技术的研究进展[J]. 包装工程, 2018, 39(11): 13—18.
GUO Peng-fei, HE Hao-wei, FU Ya-bo, et al. Research Progress on the Technology of Air-sensitive Intelligent Packaging Label[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 13—18.
- [18] SHILLINGFORD C, RUSSELL C W, BURGESS I B, et al. Bioinspired Artificial Melanosomes as Colorimetric Indicators of Oxygen Exposure[J]. Acs Applied Materials & Interfaces, 2016, 8(7): 4314—4317.
- [19] 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.
- [20] PRIETTO L, MIRAPALHETE T C, PINTO V Z, et al. pH-sensitive Films Containing Anthocyanins Extracted from Black Bean Seed Coat and Red Cabbage[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2017, 80: 492—500.
- [21] 义峰. 英国大学生发明智能标签-可辨别食品新鲜度[J]. 广东印刷, 2014(6): 23.
YI Feng. British College Students Invent Smart Tags-Discernible Food Freshness[J]. Guangdong Printing, 2014(6): 23.
- [22] ALAMARM. C, COLLINGS E, COOLS K, et al. Impact of Controlled Atmosphere Scheduling on Strawberry and Imported Avocado Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 134: 76—86.
- [23] WANG J, YOU Y, CHEN W, et al. Optimal Hypobaric Treatment Delays Ripening of Honey Peach Fruit via Increasing Endogenous Energy Status and Enhancing Antioxidant Defence Systems During Storage[J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 101(8): 1—9.
- [24] RODRIGUEZ J, ZOFFOLI J P. Effect of Sulfur Dioxide and Modified Atmosphere Packaging on Blueberry Postharvest Quality[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016(117): 230—238.
- [25] DURAN M, ADAY M S, ZORBA N N D, et al. Potential of Antimicrobial Active Packaging 'Containing Natamycin, Nisin, Pomegranate and Grape Seed Extract in Chitosan Coating' to Extend Shelf Life of Fresh Strawberry[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016(98): 354—363.
- [26] 黄钧浩. 智能标签的新发展[J]. 印刷杂志, 2014(5): 15—17.
HUANG Jun-hao. New Development of Smart Tag[J]. Journal of Printing, 2014(5): 15—17.
- [27] MENG X, LEE K, KANG T Y, et al. An Irreversible Ripeness Indicator to Monitor the CO₂ Concentration in the Headspace of Packaged Kimchi during Storage[J]. Food Science & Biotechnology, 2015, 24(1): 91—97.
- [28] 许文才, 付亚波, 李东立, 等. 食品活性包装与智能标签的研究及应用进展[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 1—10.
XU Wen-cai, FU Ya-bo, LI Dong-li, et al. The Research and Application of the Food Active Packaging and the Smart Label[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 1—10.
- [29] 付秋莹. 智能包装技术在食品行业的应用概述[J]. 印刷杂志, 2019(1): 49—53.
FU Qiu-ying. Application of Intelligent Packaging Technology in Food Industry[J]. Journal of Printing, 2019(1): 49—53.
- [30] ANDREW M, KATHERINE L, JULIE B, et al. An O₂ Smart Plastic Film for Packaging[J]. Analyst, 2012, 137: 106—112.
- [31] FUERTES G, SOTO I, VARGAS M, et al. Nanosensors for a Monitoring System in Intelligent and Active Packaging[J]. Journal of Sensors, 2016, 1: 1—8.
- [32] 邱华卿. RFID 智能标签的应用及发展[J]. 印刷杂志, 2018(2): 9—13.
QIU Hua-qing. The Application and Development of RFID Intelligent Tag[J]. Journal of Printing, 2018(2): 9—13.
- [33] 金迪. RFID 包装系统中防冲突算法研究[J]. 包装工

- 程, 2018, 39(1): 1—5.
- JIN Di. Anti-collision Algorithm in RFID Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 1—5.
- [34] 黄爱宾, 刘彩凤, 陈浙泊. RFID 智能识别产品的设计与制造技术[J]. 绿色包装, 2017(2): 35—38.
- HUANG Ai-bin, LIU Cai-feng, CHEN Zhe-bo. Design and Manufacture Technology of RFID Intelligent Identification Product[J]. Green Packing, 2017(2): 35—38.
- [35] TAO F, CHENG Y, ZHANG L, et al. Advanced Manufacturing Systems: Socialization Characteristics and Trends[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2017, 28(5): 1079—1094.
- [36] 黄玉兰. 物联网-射频识别(RFID)核心技术教程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
- HUANG Yu-lan. Internet of Things-RF Identification (RFID) Core Technology Course[M]. Beijing: People's Post and Telecommunications Press, 2016.
- [37] BATRA N. Long Range RFID Device for Battery Monitoring and Systems Implementing Same: US, 8941496[P]. 2015.
- [38] LIN S, HYUN K H, KIM J W, et al. The Design of Smart RFID System with Gas Sensor for Meat Freshness Monitoring[J]. Advanced Science and Technology Letters, 2013, 41: 17—20.
- [39] 贾先勇, 叶志能, 钟飞. 基于 RFID 技术的时间-温度指示标签研究[J]. 商品与质量(科教与法), 2011(9): 140—141.
- XIA Xian-yong, YE Zhi-neng, ZHONG Fei. Research on Time-temperature Indicator Label Based on RFID Technology[J]. Goods and Quality (Science Education and Law), 2011(9): 140—141.
- [40] MADHUSUDAN P, CHELLUKURI N, SHIVAKUMAR N. Smart Packaging of Food for the 21st Century-a Review with Futuristic Trends, Their Feasibility and Economics[J]. Materials Today: Proceedings, 2018, 5(10): 21018—21022.
- [41] 镭彩. 纳米智能标签技术催生新“时尚”[J]. 印刷杂志, 2016(10): 78.
- LAN Cai. Nano-smart Tag Technology Spawns a New "Fashion"[J]. Journal of Printing, 2016(10): 78.
- [42] CHAN E P, WALSH J J, THOMAS E L, et al. Block Copolymer Photonic Gel for Mechanochromic Sensing[J]. Advanced Materials, 2011, 23(40): 4702—4706.
- [43] 张岩, 韩珊. 食品包装用时间-温度指示剂原理与现状分析[J]. 塑料包装, 2018, 28(2): 59—62.
- ZHANG Yan, HAN Shan. Principle and Current Situation Analysis of Time-temperature Indicator for Food Packaging[J]. Plastic Packing, 2018, 28(2): 59—62.
- [44] 崔庆斌. TTI 在冷链包装中的应用[J]. 上海包装, 2018(10): 37—39.
- CUI Qing-bin. Application of TTI in Cold Chain Packaging[J]. Shanghai Packing, 2018(10): 37—39.
- [45] 谢勇, 刘林, 王凯丽, 等. 包装用智能标签的应用及研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(19): 121—127.
- XIE Yong, LIU Lin, WANG Kai-li, et al. Application and Research Progress of Intelligent Tag for Packaging[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(19): 121—127.
- [46] MOHEBI E, MARQUEZ L. Intelligent Packaging in Meat Industry: an Overview of Existing Solutions[J]. Journal of Food Science and Technology-mysore, 2015, 52(7): 3947—3964.
- [47] 蒋海云, 曾慧, 张诗浩, 等. 食品新鲜度指示器的研究与发展趋势[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(12): 3027—3033.
- JIANG Hai-yun, ZENG Hui, ZHANG Shi-hao, et al. Research and Development Trend of Food Freshness Indicator[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2018, 9(12): 3027—3033.
- [48] ZHONG R Y, XU X, WANG L H. IoT-enabled Smart Factory Visibility and Traceability Using Laser-scanners[J]. Procedia Manufacturing, 2017, 10: 1—14.
- [49] 李光, 韩芮. “工业 4.0”视阈下智能包装装备发展趋势[J]. 包装学报, 2018, 10(1): 34—41.
- LI Guang, HAN Rui. Development Trend of Intelligent Packaging Equipment from the Perspective of "Industrial 4.0"[J]. Packaging Journal, 2018, 10(1): 34—41.
- [50] MCFARLANE D, GIANNIKAS V, LU W. Intelligent Logistics: Involving the Customer[J]. Computers in Industry, 2016, 81: 105—115.
- [51] GHAANI M, COZZOLINO C A, CATELLI G, et al. An Overview of the Intelligent Packaging Technologies in the Food Sector[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 51: 1—11.
- [52] 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]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(14): 2799—2810.
- [53] 琴心. 智能包装市场的机会[J]. 印刷杂志, 2018(10): 6—10.
- QIN Xin. Smart Packaging Market Opportunity[J]. Printed Magazine, 2018(10): 6—10.