

研究进展

## 活性与智能包装技术在食品工业中的研究进展

都凤军<sup>1</sup>, 孙彬<sup>2</sup>, 孙炳新<sup>2</sup>, 冯叙桥<sup>2</sup>, 郭迎<sup>2</sup>, 董萍<sup>2</sup>, 戴慧媛<sup>2</sup>

(1. 沈阳出入境检验检疫局, 沈阳 110016; 2. 沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110866)

**摘要:** **目的** 综述了活性与智能包装技术的主要类型、原理以及在食品工业中的应用研究进展, 并对活性与智能包装技术中存在的问题进行了分析, 对它们未来的发展趋势进行了展望。**结果** 目前活性与智能包装技术的主要问题是现已应用的一些活性与智能包装技术存在安全性问题, 且一些智能包装技术对环境条件的要求限制了它们的应用。**结论** 活性与智能包装技术的结合会是目前的研究热点, 也是未来食品包装技术的发展方向。

**关键词:** 活性包装; 智能包装; 食品包装新技术

**中图分类号:** TS206      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3563(2014)01-0135-06

### Progresses in Active and Intelligent Food Packaging Technology

DU Feng-jun<sup>1</sup>, SUN Bin<sup>2</sup>, SUN Bing-xin<sup>2</sup>, FENG Xu-qiao<sup>2</sup>, GUO Ying<sup>2</sup>, DONG Ping<sup>2</sup>, DAI Hui-yuan<sup>2</sup>

(1. Shenyang Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Shenyang 110016, China;

2. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**ABSTRACT:** **Objective** The main types and the principle of active and intelligent packaging technology and its application in food industry are introduced in this mini review with its current problems analyzed and its development trend prospected. **Results** Main problems existed for the time being include, but not limited to, that some active and intelligent packaging technologies have certain safety issues; and that some intelligent packaging technologies impose restrictions on their application because of their requirement on environmental conditions. **Conclusion** The combination of active and intelligent packaging technology is nowadays a hot spot in packaging research, and also a developmental direction for food packaging in the future.

**KEY WORDS:** intelligent packaging; active packing; novel food packaging technologies

包装在食品流通过程中具有十分重要的作用,一方面,食品包装起着保护食品、使食品流通更加便利的作用,可以使食品不受外界环境条件如微生物、水分、氧气、光线、灰尘和机械作用等因素的影响;另一方面,食品包装能够促进食品的销售,并提供食品的具体信息。随着人们对食品质量和安全性的愈加重视,以及食品生产、销售、贮存方式的变化和科学技术的进步,包装技术也随之发生进步和改变。目前,活

性与智能包装技术受到广泛关注且迅速发展。

### 1 活性包装技术

活性包装是指能够延长包装食品的货架期,保持或改善食品品质的包装技术<sup>[1]</sup>。活性包装体系主要包括吸收剂、释放剂和其他系统。吸收剂主要用于除去氧气、二氧化碳、乙烯、多余水分、污染物等不利于

收稿日期: 2013-09-11

基金项目: 国家质检总局科技计划项目(2013IK195)

作者简介: 都凤军(1967—),男,辽宁抚顺人,沈阳出入境检验检疫局副局长,主要从事健康管理与食品安全及临床外科等方面的研究。

食品保藏的成分。释放剂能够及时地向包装食品或者包装顶隙内释放某些有利于食品保藏的成分,如二氧化碳、抗氧化剂和防腐剂等。其他系统的功能较为复杂,如自加热、自冷却系统等,但都是为了保持食品质量或方便食用。

### 1.1 氧气脱除型

氧气可以引起食物成分中油脂、维生素和色素等氧化,霉菌和好氧菌的增殖以及昆虫的生长。真空包装或氮气包装是有效地排除包装顶隙中氧气的包装方法,但不能完全彻底地除去氧气,仍有少量的氧气(0.1%~2%)残留在包装内。此外,对于储存过程中通过包装薄膜渗透进入的氧气,这类方法无法去除。为了最大限度地减少包装中的氧气,需要使用氧气脱除剂,简称脱氧剂。它是一种能与氧气反应从而去除氧气的化学物质,或是一种能催化某些反应从而去除包装袋中氧气的酶,可以避免氧气引起食物腐败和品质劣变。抗坏血酸、铁粉、不饱和脂肪酸和生物酶等常用作氧气脱除剂<sup>[2-3]</sup>。含铁的氧气清除剂可以极大地降低包装顶隙中的氧气含量,使氧气质量分数低于0.01%<sup>[4]</sup>。Berenzon 等人<sup>[5]</sup>研究了脱氧剂对密封包装饼干货架期的影响,结果表明脱氧剂能明显降低乙醇的质量分数,推迟过氧化值的上升时间,明显延迟氧化引起的脂肪酸败时间。

### 1.2 二氧化碳释放/清除型包装

牛奶、禽肉、鲜肉、草莓等新鲜食品需要在高质量分数的二氧化碳中储藏,因为高质量分数的二氧化碳可以抑制食物表面微生物的生长,抑制果蔬的呼吸作用,对保持食品的品质、延长货架期非常重要。Schirmer 等人<sup>[6]</sup>将肉桂醛、乙酸、柠檬酸等和二氧化碳气体联合使用,对大马哈鱼进行保鲜,取得了良好的效果。亚硫酸盐脱氧剂与碳酸氢钠、柠檬酸的混合物或亚硫酸盐脱氧剂与碳酸氢钠、抗坏血酸的混合物,可以制成小袋置于食品包装内,用来产生二氧化碳。

水果储存时,高质量分数的 CO<sub>2</sub> 会促使水果进行无氧呼吸,积累不良产物,降低水果品质,同时也会促进厌氧菌的生长繁殖<sup>[7]</sup>。烤咖啡豆、泡菜等在储藏过程中会产生大量的二氧化碳,会导致涨袋或裂袋。因此需要使用二氧化碳脱除剂。降低二氧化碳的质量分数可以使用能与二氧化碳反应的化学试剂,如氢

氧化钠和氢氧化钙的混合物,氧化钙和硅胶的混合物,也可以使用物理吸附的方式,如使用活性炭或沸石等物质。

### 1.3 湿度调节型

饼干等干燥易碎的食品在高湿度条件下会受潮软化,使品质劣变。一些鲜活食品(如果蔬等)在储存过程中由于呼吸作用会产生水蒸气冷凝在食品表面,从而滋生大量微生物。干燥剂可以吸收食品包装中的过量水分,维持稳定的相对湿度,保证湿敏食品的品质。常用的干燥剂有硅胶、粘土、保湿盐、丙二醇等<sup>[8]</sup>。Mahajan 等人<sup>[9]</sup>研制了一种由山梨糖醇、斑脱土和 CaCl<sub>2</sub> 组成的干燥剂,三者的质量比为 5:11:4,这种干燥剂吸湿缓慢,具有较强的持水能力,可用于新鲜果蔬的保藏。

### 1.4 乙烯吸收型

乙烯作为一种植物成熟激素,对新鲜水果和蔬菜有多种生理作用,可以促进呼吸作用,引起水果的成熟、衰老、软化;可以促进叶绿素的降解,从而导致绿色植物组织变黄,以及引起果蔬采后各种异常的生理变化等<sup>[10]</sup>。乙烯可以被多种物质吸收或吸附,如活性炭、硅胶、硅藻土、铝硅酸盐、分子筛等<sup>[11]</sup>。许多氧化剂(如重铬酸钾、高锰酸钾)已被添加到吸附剂内来脱除吸附的乙烯。乙烯可以被高锰酸钾氧化成二氧化碳和水,许多乙烯脱除剂都以高锰酸钾为基础材料,将其吸附到表面积巨大的载体上使用,如盐类、硅胶、活性炭等。

### 1.5 抗菌型

抗菌包装是指能够杀死或者抑制污染食品的腐败菌和致病菌的包装,通过在包装系统里增加抗菌成分,使其具有抗菌功能,能够有效地提高食品的货架寿命。抗菌剂加入活性包装中的形式有<sup>[12]</sup>:将具有挥发性的抗菌物质置于小袋中并放入包装内;将抗菌物质直接加入到高分子聚合物中;将抗菌物质涂抹在聚合物表面;使抗菌物质通过化学键固定在聚合物表面;使用某些具有抑菌活性的高分子聚合物。可以用在包装材料中的抗菌剂:有机酸(乙酸、丙酸、苯甲酸、山梨酸酯等)、细菌素(乳酸链球菌素、乳酸菌细菌素等)、酶(溶菌酶、葡萄糖氧化酶)、杀真菌剂(苯菌灵、抑霉唑等)、天然抗菌剂(丁香提取物、肉

桂醛等)、阴离子等<sup>[13]</sup>。李侠等人<sup>[14]</sup>在聚丙烯薄膜中加入酸盐玻璃载银作为抗菌剂,加入抗菌粉体(0.002%)后,抗菌率可以达到99%,而且抗菌活性持久。Gucbilmez等人<sup>[15]</sup>通过将EDTA和溶菌酶加入玉米蛋白膜中,使其对大肠杆菌具有有效的抗菌活性。由于壳聚糖及其衍生物本身具有抗菌活性,壳聚糖涂膜已经在肉类及果蔬的保鲜上得到了广泛的应用<sup>[16]</sup>。

## 2 智能包装

智能包装是指能监测并指示包装内部食品周围环境变化的包装技术<sup>[1]</sup>,它可以提供食品在存储和运输过程中的相关质量信息。智能包装根据功能可以分为时间温度指示卡、新鲜度指示卡、泄露指示卡、病原体指示卡、生物传感器等。安装在包装外部的指示卡属于外用指示卡(时间-温度指示卡),安装在包装内部(如放置于包装的顶隙内、贴在瓶盖内)的指示卡属于内用指示卡(泄露指示卡、新鲜度指示卡、病原体指示卡)。通过智能包装可以获取诸如新鲜度、微生物污染、温度变化、包装完整性等产品信息。

### 2.1 时间温度指示卡

时间温度指示卡可以记录食品在不同温度下所经历时间的长短(温度历史),并通过其颜色变化向消费者传递包装食品的货架期相关信息<sup>[17]</sup>。时间温度指示卡的原理主要基于酶促反应、扩散、化学反应等,通常以机械变形或颜色变化的形式表现为可目测响应。现在商业上应用的主要有VISAB, Lifelines Freshness Monitor和3M Monitor Mark等3种时间温度指示卡。VITSAB是一种酶型指示卡,其工作原理是底物经过酶促反应导致pH值降低,从而引起颜色的变化。Lifelines Freshness Monitor是建立在聚合反应基础上的指示产品<sup>[18]</sup>。3M Monitor Mark指示卡基于脂质扩散原理。

### 2.2 泄露指示卡

包装的密封性是保持无菌食品和自发气调包装食品等产品品质的必要条件。泄露指示卡可以指示包装在整个流通过程中的完整性。无呼吸作用食品的气调包装特点是较低质量分数的氧气(2%)和高质量分数的二氧化碳(20%~80%),泄露会导致氧气质

量分数的增加和二氧化碳质量分数的降低,泄露指示卡通常贴在包装的内侧,可以提供包装内这2种气体的质量分数信息,从而指示包装的完整性。

#### 2.2.1 氧气指示卡

氧气指示卡分为2类:可视化氧气指示卡、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<sup>[19]</sup>。指示卡可以做成片状,可以作为印刷涂层,也可以轧制成聚合膜。Ahvenainen等人<sup>[20-21]</sup>将这种指示器用来作为自发气调包装的碎牛排和碎披萨的泄露指示器。基于酶反应的氧气指示卡也有报道<sup>[22-23]</sup>。

非可视化氧气指示卡含有能发荧光的内置体系,同时通过配置外部设备检测荧光强度来测定包装内的氧气质量分数。与可视化的氧气指示器相比,它能更客观,更准确地反映氧气的质量分数。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,可在不到1s时间内完成测定<sup>[24]</sup>。

#### 2.2.2 二氧化碳指示卡

在MAP中,高质量分数的二氧化碳作为保护气被广泛应用,在包装后的一定阶段,二氧化碳质量分数显著降低是包装泄露的明显特征。作为漏洞指示卡二氧化碳并不可靠,因为在包装泄露时微生物的增殖会产生二氧化碳,可能会导致二氧化碳的质量分数降低不显著。由于二氧化碳的聚集可以当做微生物生长的标志,二氧化碳指示卡也可以作为指示食品新鲜度的指示物质。

Balderson和Whitwood<sup>[25]</sup>制作了一个可用在气调包装中的可逆二氧化碳指示器,指示器由5条指示带组成,每个色带都由指示阴离子和亲脂性的有机四元阳离子构成的二氧化碳灵敏指示材料组成。当二氧化碳低于某个限度时,指示带颜色就会发生变化,二氧化碳浓度靠一个或多个指示带的颜色变化来指示。Nopwinyuwong<sup>[26]</sup>用一种基于pH染色原理的二氧化

碳指示剂,来实时监控中等湿度下保存的甜点的新鲜度。这个指示器对作为腐败代谢物的二氧化碳质量分数有可视的颜色变化,而且二氧化碳的变化与甜点中微生物的生长模式有很好的相关性。Hong 等人<sup>[27]</sup>将基于 pH 染色原理的二氧化碳指示卡用于指示韩国泡菜后熟的程度。

### 2.3 新鲜度指示卡

泄漏指示卡可以提供包装完整性信息,时间温度指示卡可以提供产品的时间温度记录,而新鲜度指示卡可以直接提供产品品质的信息。食品中腐败微生物的代谢会产生许多代谢产物,如有机酸、乙醇、挥发性含氮化合物、生物胺、二氧化碳、含硫化合物等。大量不同概念的新鲜度指示卡是基于腐败微生物的代谢产物会引起指示标签变色的原理。

#### 2.3.1 pH 值敏感指示卡

这种指示卡大多是基于 pH 染色液的应用,当遇到腐败过程产生的挥发性化合物时,pH 染色液的颜色会发生变化。配制 pH 染色液的试剂有溴百里香酚蓝<sup>[28]</sup>、溴甲酚紫、溴甲酚绿、甲酚红和茜素<sup>[29]</sup>等。用来作为 pH 敏感型指示剂的目标分子,除了二氧化碳外,适用的还有  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NH}_4$ 、挥发性胺和有机酸<sup>[29]</sup>。

#### 2.3.2 对挥发性物质或气体敏感的指示卡

Miller 等人设计了一种指示海产品新鲜度的指示卡,它可以与挥发胺反应同时产生颜色变化。利用硫化氢与血红蛋白反应制作的新鲜度指示卡已经被用于指示 MAP 包装家禽肉的品质。

### 2.4 病原体指示卡

新鲜度指示卡用来检测腐败微生物导致的食品品质劣变,病原体指示卡用来检测食品中的特定污染物(某些致病菌和毒素)。ToxinAlert 公司生产的 ToxinGuard 体系就是一种病原体指示卡,它可以通过固定的抗体来检测病原体(沙门氏菌、弯曲杆菌、大肠杆菌 O157 和李斯特菌)。另一种应用于商业体系的 Food Sentinel System 同样基于免疫反应,用于检测特定的微生物,如沙门氏菌、李斯特菌、大肠杆菌。反应发生在条形码内,当遇到特定的微生物时条形码就会变得模糊不清<sup>[33]</sup>。

### 2.5 生物传感器

生物传感器是一种微型的分析装置,能够检测、

记录、传递特定生物反应的信息<sup>[34]</sup>。这些装置由生物部分和物理部分组成,生物部分可与特定分析物反应,物理部分可将生物信号转换为物理信号。物理信号可以用多种方法检测,如安培计、电位计、光学或者测热量的方法。Okuma 等人<sup>[35]</sup>将腐胺氧化酶反应器与氢过氧化物电极电流计组合在一起,测定家禽肉中二元胺的增加量。Frebort 等人<sup>[36]</sup>设计一种基于分光光度法的体系来测定虹鳟鱼中的组胺。

### 2.6 射频识别技术

射频识别(RFID)是一种非接触式无线数据通信形式,它由射频识别标签和识别器组成,标签会对从识别器天线发出的信号进行响应,并将它的信息通过无线电波反馈给识别器。标签通常内置芯片,编有特定信息的程序,用来识别和跟踪。它给食品的生产、运输、销售提供了很多的益处,这些益处包括可溯性强,便于存货管理,节约劳动力成本,提升食品安全等<sup>[37]</sup>。

射频识别标签可携带简单的信息,例如用来追溯产品用的识别码,也可以携带复杂的信息,例如温度、相对湿度数据、营养信息、烹饪说明等。当贴有标签的物品经过识别器时,标签上的数据被解码并传送到计算机上进行处理。射频识别标签与条形码相比,它可以嵌入包装或者容器内部,因此不用担心数据被篡改。射频识别标签提供一种非接触的,在视距之外传输信息的方式,而且传输信号能够穿透包括生物物质在内的非金属材料,因为它可以唯一地识别这个物品,增加了这种技术用于召回物品的可能性<sup>[38]</sup>。RFID 标签可以分为 2 种,一种是由电池供电,有效距离约为 50 m;另一种由识别器提供能量,有效距离约为 5 m。一般的 RFID 标签频率从低频到高频,以及微波频率。低频标签更便宜,耗能更少,能够更好地穿透非金属材料。

## 3 存在的问题及展望

活性包装可以确保食品的质量与安全,同时使食品的加工和处理条件最少。智能包装可以实时监控食品的品质。这 2 种包装形式在维持食品品质、保证食品安全方面有着重要的作用,因此关于活性和智能包装的研究越来越多。同时,活性和智能包装还存在一些问题:由于置于包装内或添加在包装材料中的活

性和智能包装物质所用的化学成分可能存在毒性,并可能迁移到食品中,所以进入商业应用的活性与智能包装必须进行毒理学评估和暴露评估,以此来确定该化学成分在包装中的添加量和添加方式。一些以小袋形式的活性包装容易引起消费者误食,对此要做好标识,并规定小袋的最小尺寸。目前投入使用的一些时间温度指示卡和氧气指示卡,其参加反应的起始物质为光敏性物质和热敏性物质,外界自然光和温度能降低他们的敏感性,限制了它们在更大温度范围和自然条件下的应用<sup>[39]</sup>。

活性包装未来的趋势是将吸收剂或者释放剂添加到包装材料内,而不再以独立的形式出现在包装内,以此减少消费者对这种包装技术的不满意度。未来的智能化包装会包括更多可远程读取的不可目测信息,将多种功能包含在同一个电子标签中,除了产品识别、生产日期、价格等基本信息外,电子标签的功能还同时具有时间温度指示卡、泄漏与新鲜度指示卡等多种功能。智能包装和活性包装结合起来使用是将来包装技术发展的方向,为消费者提供更加安全的食品。当然,未来的活性和智能包装还必须达到低成本,适合包装工序操作,不受装卸的影响等要求。

随着消费者对食品品质 and 安全的重视,以及供应链的延长对食品的安全性提出的更高要求,食品活性和智能包装将会在未来的食品包装中起到更重要的作用。

#### 参考文献:

- [1] DE KRUIJF N, VANBEEST M, RIJK R, et al. Active and Intelligent Packing: Applications and Regulatory Aspects [J]. *Food Additives and Contaminants*, 2002, 19 (4): 144—162.
- [2] MEXIS S F, BADEKA A V, KONTOMINAS M G. Quality Evaluation of Raw Ground Almond Kernels (*Prunus Dulcis*): Effect of Active and Modified Atmosphere Packaging, Container Oxygen Barrier and Storage Conditions [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2009, 10 (6): 580—589.
- [3] FLOROS J D, DOCK L L, HAN J H. Active Packaging Technologies and Applications [J]. *Food Cosmetics and Drug Packaging*, 1997, 11 (9): 10—17.
- [4] VERMEIREN L, DEVLIEGHERE F, VAN BEEST M, et al. Developments in the Active Packaging of Foods [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 1999, 10 (3): 77—86.
- [5] BERENZON S, SAGUY I S. Oxygen Absorbers for Extension of Crackers Shelf-life [J]. *Food Science and Technology*, 1998, 31 (1): 1—5.
- [6] SCHIRMER B C, HEIBERG R, EIE T, et al. A Novel Packaging Method with a Dissolving CO<sub>2</sub> Headspace Combined with Organic Acids Prolongs the Shelf Life of Fresh Salmon [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009, 113 (12): 154—160.
- [7] 吕飞, 叶兴乾. 食品活性包装研究进展 [J]. *中国食品学报*, 2007 (4): 138—143.  
LYU Fei, YE Xing-qian. The Research Progress of Active Packing Technologies [J]. *Journal of Chinese Food*, 2007 (4): 138—143.
- [8] PEREIRA D E ABREU D A, CRUZ J M, et al. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry [J]. *Food Reviews International*, 2012, 28 (2): 146—187.
- [9] MAHAJAN P V, RODRIGUES F A S. Development of a Moisture Absorber for Packaging of Fresh Mushrooms (*Agaricus Bisporus*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48 (3): 408—414.
- [10] 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.
- [11] MARTINEZ-ROMERO D, BAILEN G, SERRANO M, et al. Tools to Maintain Postharvest Fruit and Vegetable Quality through the Inhibition of Ethylene Action: A Review [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2007, 47 (6): 543—560.
- [12] 赵艳云, 连紫璇, 岳进. 食品包装的最新研究进展 [J]. *中国食品学报*, 2013, 13 (4): 1—10.  
ZHAO Yan-yun, LIAN Zi-xuan, YUE Jin. The Latest Research Progress in Food Packaging [J]. *Journal of Chinese Food*, 2013, 13 (4): 1—10.
- [13] 崔建云, 任发政, 郑丽敏, 等. 现代食品包装新技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.  
CUI Jian-yun, REN Fa-zheng, ZHENG Li-min, et al. *New Technology of Modern Food Packaging* [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2006.
- [14] 李侠, 薛涛, 何力, 等. 磷酸盐玻璃载银抗菌 PP 复合材料的性能研究 [J]. *塑料*, 2007, 36 (2): 19—22.  
LI Xian, XUE Tao, HE Li, et al. Phosphate Glass Silver Antibacterial Properties of PP Composite Materials Research [J]. *Plastics*, 2007, 36 (2): 19—22.
- [15] GUCBILMEZ M C, YEMENICIOGLU A, ARSLANOGLU A, et al. Antimicrobial and Antioxidant Activity of Edible Zein Films Incorporated with Lysozyme, Albumin Proteins and Disodium EDTA [J]. *Food Research International*, 2007, 40

- (1):80—91.
- [16] 吕飞,叶兴乾,刘东红. 食品抗菌包装系统的研究与展望[J]. 农业机械学报,2009,40(6):138—142.  
LYU Fei, YE Xing-qian, LIU Dong-hong. Food Antimicrobial Packaging System Research and Its Prospect[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2009, 40(6):138—142.
- [17] TAOUKIS P S, LABUZA T P. Applicability of Time Temperature Indicators as Shelf-life Monitors of Food Products[J]. Journal of Food Science, 1989, 54:783—788.
- [18] 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,2007,28(6):356—359.  
ZHU Yong, HU Chang-ying, WANG Zhi-wei. The Application of Intelligent Packaging Technology in Food Preservation[J]. Food Science, 2007, 28(6):356—359.
- [19] 吴丹陈,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, CHEN Jian-chu, WANG Yan-bin. Food Intelligent Packaging System[J]. Food Industry, 2004(5):38—40.
- [20] AHVENAINEN R, EILAMO M, HURME E. Detection of Improper Sealing and Quality Deterioration of Modified-atmosphere-packed Pizza by a Colour Indicator[J]. Food Control, 1997, 8(4):177—184.
- [21] EILAMO M, AHVENAINEN R, HURME E, et al. The Effect of Package Leakage on the Shelf-life of Modified Atmosphere Packed Minced Meat Steaks and Its Detection[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1):62—71.
- [22] GARDIOL A E, HERNANDEZ R J, HARTE B R. Method and Device for Reducing Oxygen with Reduced Oxidase with Colour Formation; US, 5654164[P]. 1997.
- [23] GARDIOL A E, HERNANDEZ R J, REINHAMMAR B, et al. Development of a Gas-phase Oxygen Biosensor Using a Blue Copper Containing Oxidase[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1996, 18(5):347—352.
- [24] MILLS A. Oxygen Indicators and Intelligent Inks for Packaging Food[J]. Chemical Society Reviews, 2005, 34(12):1003—1011.
- [25] BALDERSON S N, WHITWOOD R J. Gas Indicator for a Package (Trigon Industries Limited, Auckland, New Zealand); US, 5439648[P]. 1995.
- [26] 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.
- [27] HONG S I, PARK W S. Development of Color Indicators for Kimchi Packaging[J]. Journal of Food Science, 1999, 64(2):255—257.
- [28] MATTILA T, TAWAST J, AHVENAINEN R. New Possibilities for Quality Control of Aseptic Packages: Microbiological Spoilage and Seal Defect Detection Using Head-space Indicators[J]. LWT-Food Science and Technology, 1990, 23(3):246—251.
- [29] HORAN T J. Method for Determining Deleterious Bacterial Growth in Packaged Food Utilizing Hydrophilic Polymers; US, 6149952[P]. 2000.
- [30] MILLER D W, WILKES J G. Food Quality Indicator Device; US, 7014816[P]. 1999.
- [31] AHVENAINEN R, PULLINEN T, HURME E, et al. Package for Decayable Foodstuffs, WO9821120[P]. 1998.
- [32] SMOLANDER M, HURME E, LATVA-KALAK, et al. Myoglobin-based Indicators for the Evaluation of Freshness of Unmarinated Broiler Cuts[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2002, 3(3):277—285.
- [33] 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-qian. The Research Progress of Food Intelligent Packaging System[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2007, 23(8):286—290.
- [34] YAM K L, TAKHISTOV P T, MILTZ J. Intelligent Packaging: Concepts and Applications[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1):1—10.
- [35] OKUMA H, OKAZAKI W, USAMI R, et al. Development of the Enzyme Reactor System with an Amperometric Detection and Application to Estimation of the Incipient Stage of Spoilage of Chicken[J]. Analytica Chimica Acta, 2000, 411(1):37—43.
- [36] FREBORT I, SKOUPA L, PEC P. Amine Oxidase-based Flow Biosensor for the Assessment of Fish Freshness[J]. Food Control, 2000, 11(1):13—18.
- [37] 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.
- [38] KUMAR S, BUDIN E M. Prevention and Management of Product Recalls in the Processed Food Industry: A Case Study Based on an Exporter's Perspective[J]. Technovation, 2006, 26(5):739—750.
- [39] KERRY J P, O'GRADY M N, HOGAN S A. Past, Current and Potential Utilisation of Active and Intelligent Packaging Systems for Meat and Muscle-based Products: A Review[J]. Meat Science, 2006, 74(1):113—130.