

薛佳祺, 王颖, 周辉, 等. 包装技术在肉制品保鲜中的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 367–373. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080047

XUE Jiaqi, WANG Ying, ZHOU Hui, et al. Research Progress of Packaging Technology in the Preservation of Meat Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 367–373. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080047

· 专题综述 ·

# 包装技术在肉制品保鲜中的研究进展

薛佳祺<sup>1,2</sup>, 王 颖<sup>2</sup>, 周 辉<sup>2</sup>, 黄俊逸<sup>1,\*</sup>, 徐宝才<sup>2,\*</sup>

(1. 上海大学生命科学学院, 上海 200444;

2. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230000)

**摘要:** 肉制品包装是保障肉制品质量和延长货架期的重要手段。随着消费者对肉制品质量要求的不断提高, 现代食品包装技术的重要性日益突出。因此, 肉制品包装技术的开发与创新是肉品行业的发展趋势。本文综述了真空包装、气调包装、活性包装以及智能包装在肉制品保鲜领域的研究进展, 提出肉制品保鲜包装技术目前存在的问题以及发展趋势, 以期为我国未来肉制品包装技术的研发和应用提供参考依据。

**关键词:** 肉制品, 包装技术, 保鲜, 货架期

中图分类号: TS206

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)16-0367-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080047

## Research Progress of Packaging Technology in the Preservation of Meat Products

XUE Jiaqi<sup>1,2</sup>, WANG Ying<sup>2</sup>, ZHOU Hui<sup>2</sup>, HUANG Junyi<sup>1,\*</sup>, XU Baocai<sup>2,\*</sup>

(1. School of Life Sciences, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

2. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230000, China)

**Abstract:** Meat product packaging is an important means to ensure the quality of meat products and extend shelf life. With the continuous improvement of consumers' requirements for the quality of meat products, the importance of modern food packaging technology has become increasingly prominent. Therefore, the development and innovation of packaging technology for meat products is the development trend of the meat industry. This article reviews the research progress of vacuum packaging, modified atmosphere packaging, active packaging and intelligent packaging in the field of meat product preservation, and proposes the problems and development trends in the packaging technology of meat products in order to provide reference for the research and application of packaging technology of meat products in the future in China.

**Key words:** meat products; packaging technology; preservation; shelf life

肉制品味道鲜美, 富含蛋白质、脂肪等营养物质。肉制品在贮藏过程中由酶、微生物等导致的腐败变质, 不仅降低了肉制品的营养价值和食用质量, 还会带来食品安全问题<sup>[1]</sup>。采用包装技术是保证肉制品食用安全的重要手段, 也是维护肉制品质量的重要突破<sup>[2]</sup>。随着消费者对肉制品的营养、安全水平的重视以及对保鲜品质要求的增加, 肉制品的包装性能

需要不断提升。因此, 开展肉制品保鲜包装技术的研究对于肉制品保质期的延长以及工业化生产等有较大意义。

传统的食品包装主要作为物理屏障, 起到抵抗外部机械力的作用, 我国市面上的肉制品多采用简单的透氧薄膜托盘包装, 这种包装形式容易造成肉制品腐败, 给生产和销售行业带来巨大的经济损失。随着

收稿日期: 2020-08-13

基金项目: 符离集烧鸡腐败微生物控制技术研究及产业化应用 (201903b06020004)。

作者简介: 薛佳祺 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程, E-mail: 601397821@qq.com。

\* 通信作者: 黄俊逸 (1972-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养与功能, E-mail: jy-huang@shu.edu.cn。

徐宝才 (1973-), 男, 博士, 研究员级高工, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: baocaixu@163.com。

新技术和新材料的发展,食品包装增添了很多新的功能特性,优化肉类包装材料和技术不仅出于健康方面的考虑,而且对于减少肉制品的大量浪费也非常重要<sup>[3]</sup>。

目前国内外关于生鲜肉包装方式的研究已有很多,但对于肉制品而言,不同包装方式对其品质、货架期及微生物多样性等方面研究较少。本文简单介绍了真空包装、气调包装、活性包装和智能包装的概念及原理,论述了国内外肉制品包装技术应用及研究进展,并阐述了肉制品保鲜包装技术存在的问题和应用前景,旨在对我国未来肉制品保鲜包装技术的研发和应用提供参考依据。

## 1 肉制品保鲜真空包装技术

真空包装(vacuum packaging, VP)是抽出包装容器内的空气并密封,降低氧含量,并维持包装容器内的高度减压状态,以延长肉制品的贮藏期。

肉制品氧化主要表现为脂质与蛋白质的氧化,脂肪与蛋白质的氧化作用相互促进,导致产品风味、多汁性、嫩度、颜色改变,破坏肉制品的销售外观,降低其食用品质并缩短了货架期。真空包装是肉制品常用的一类包装方式,它对抑制脂肪和蛋白质的氧化降解并保持其感官品质是非常有效的。Cachaldora等<sup>[4]</sup>研究了真空包装对传统香肠“Morcilla”货架期的影响,发现4℃条件下,真空包装香肠的保质期超过8周。Yong等<sup>[5]</sup>研究了真空包装对熟斑节对虾保质期的影响,以虾样品的微生物数量、物理和感官特性进行了14d的货架期分析,发现在4℃贮藏温度下,真空包装微生物的数量最少,在保留对虾感官和质地特性方面最有效。Sun等<sup>[6]</sup>用真空包装结合微生物复合发酵剂处理4℃贮藏下的哈尔滨香肠,其香肠的水分活度、生物胺含量、总挥发性碱态氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)和硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid-reactive substances, TBARs)值低于仅使用微生物发酵剂的处理,该包装对样品在贮藏过程中总需氧菌和肠杆菌科细菌的生长也有明显的抑制作用,可延缓干香肠品质的恶化。

真空包装技术目前被广泛使用,但常用的包装材料在阻隔性方面效果不佳,导致肉品质量变差。肉制品的真空包装材料应具有良好的阻气性,以防止氧气重新进入包装袋,从而导致需氧微生物繁殖。为了防止水分蒸发和肉制品的香味损失,真空包装材料需具有水蒸气和香味阻隔性。另外,防封口破损、抗撕裂性和生理无害性也是真空包装材料的基本特性<sup>[7]</sup>。张泓等<sup>[8]</sup>用阻隔性不同的包装材料对腊肉进行真空包装,发现特高阻隔性遮光铝箔袋对抑制脂肪氧化酸败和微生物生长、保持腊肉风味的效果最好。穆罡等<sup>[9]</sup>通过微生物、理化品质指标研究镀氧化硅类(透氧率 $0.61\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h})$ 、水蒸气透过率 $0.45\text{ g}/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h})$ )、乙烯醇聚合物(透氧率 $3\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h})$ 、水蒸气透过率 $4\text{ g}/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h})$ )、聚偏二氯乙烯(透氧率 $7\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h})$ 、水蒸气透过率 $4\text{ g}/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h})$ )包装材料对真空包装

烤鸭货架期的影响,发现镀氧化硅包装可以有效抑制TVB-N的产生,在贮藏第21d时其含量最低,且低于 $20\text{ mg}/100\text{ g}$ ,并可抑制微生物的生长。

真空包装会影响肉制品的微生物菌相构成,王虎虎等<sup>[10]</sup>分析了真空包装盐水鹅在4、25和30℃贮藏温度下的微生物菌群变化及优势腐败菌,指出真空包装盐水鹅在贮藏期间的优势腐败菌主要为耐受极端环境的芽孢杆菌和类芽孢杆菌、组织菌属和假单胞菌属。Li等<sup>[11]</sup>研究真空包装熏肉储藏过程中微生物群落的变化,结果表明,菌群多样性在早期贮藏期达到最大值,并随着贮藏时间的延长而降低。在贮藏中期和贮藏后期,明串珠菌(*Leuconostoc*)主要为肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)和肉汤明串珠菌(*Leuconostoc carnosum*)成为优势菌,而乳杆菌(*Lactobacillus*)主要为植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、弯曲乳杆菌(*Lactobacillus curvatus*)和沙克乳酸杆菌(*Lactobacillus sakei*)在贮藏末期成为优势菌。

此外,有研究表明真空包装会增加肉制品的汁液流失。Stasiewicz等<sup>[12]</sup>用真空包装和气调包装(20%  $\text{CO}_2$ +80%  $\text{N}_2$ 、50%  $\text{CO}_2$ +50%  $\text{N}_2$ 、80%  $\text{CO}_2$ +20%  $\text{N}_2$ )处理煮熟的香肠,香肠在4℃下储藏15d时,相对于气调包装,真空包装下的香肠由于受低压影响,汁液流失显著增加。吴燕燕等<sup>[13]</sup>对腌制罗非鱼片进行普通包装、真空包装和气调包装,测定鱼片在4℃贮藏过程中汁液流失率,发现真空包装的腌制罗非鱼片比普通包装和气调包装的汁液流失率高,真空包装的鱼片品质不如气调包装,气调包装的腌制罗非鱼片货架期比真空包装延长4d。总之,利用真空包装可以降低肉制品的氧化程度,但此包装方式会导致产品汁液流失,为了更好地保证肉制品在保藏期的品质,在进行包装时应尽量降低汁液损失。

## 2 肉制品保鲜气调包装技术

气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)是通过改变产品所处的气体环境(正常大气约78%  $\text{N}_2$ 、21%  $\text{O}_2$ 和<1%  $\text{CO}_2$ ),防止肉制品在物理、化学和生物方面品质下降或减缓其下降的速度,从而延长食品的保鲜期。

气调包装作为一种新型包装技术应用于肉制品,可以隔离外界微生物,也可以通过抑制肉制品中腐败菌的生长和蛋白质及脂质的氧化来保持肉制品品质、色泽、风味及营养,显著延长肉制品的货架期<sup>[14]</sup>。肉制品气调包装中常用的气体有3种: $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 和 $\text{O}_2$ ,可以选择其中两种或三种气体按照不同比例进行气调包装以弥补单一气体存在的不足。Guo等<sup>[15]</sup>对烤鸡进行普通包装和气调包装(100% $\text{N}_2$ 、20% $\text{CO}_2$ +80% $\text{N}_2$ 、30% $\text{CO}_2$ +70% $\text{N}_2$ 、40% $\text{CO}_2$ +60% $\text{N}_2$ ),测定烤鸡的微生物量、酸碱度、顶空气体成分、色差值和脂质氧化程度,发现MAP包装下的硫代巴比妥酸反应物值低于普通包装,能有效减少烤鸡的脂质氧化,

此外 MAP 能抑制烤鸡的乳酸菌、霉菌和酵母菌的生长,并在 4 ℃ 储存期间保持肉制品的颜色稳定性。40% CO<sub>2</sub>+60% N<sub>2</sub> 的效果优于其他三种气调包装,与普通包装相比,烤鸡的货架期延长了 14 d。Zhai 等<sup>[16]</sup>以普通包装为对照,评价气调包装(100% N<sub>2</sub>、30% CO<sub>2</sub>+70% N<sub>2</sub>)对盐水鸭保质期的影响,结果表明,30% CO<sub>2</sub>+70% N<sub>2</sub> 气调包装组的水分活度最低,普通包装组中红度值最低,TBARs 值最高。30% CO<sub>2</sub>+70% N<sub>2</sub> 组比对照组延长了盐水鸭肉的货架期 11 d,比 100% N<sub>2</sub> 组延长了 3 d。Moreira 等<sup>[17]</sup>对烤猪腰进行普通包装和气调包装(40% CO<sub>2</sub>+60% N<sub>2</sub>),在两种不同贮藏温度(3 和 8 ℃)条件下,取样用于微生物、物理化学和感官分析。结果表明,普通包装烤猪腰中假单胞菌属、霉菌和酵母菌的数量较高,硫代巴比妥酸反应物在普通包装下储存的样品中含量较高,分别在 3 和 8 ℃ 下达到 5.6 和 8.3 mg/kg 的平均水平。普通包装中的烤猪腰,8 ℃ 贮存条件下保质期为 3 d,3 ℃ 贮存条件下保质期为 6 d,MAP 中的样品保质期为 20 d(3 ℃)。与普通包装相比,气调包装显著提高了烤猪腰的货架期。Deng 等<sup>[18]</sup>采用普通包装和气调包装(MN: 100% N<sub>2</sub>、MC: 30% CO<sub>2</sub>+70% N<sub>2</sub>)对白切鸡进行包装。在普通包装、MN 和 MC 下分别储存 1.5、2.5 和 4 d 时,总活菌数达到了 4.90 lg CFU/g 的可接受极限。气调包装组的 TVB-N 含量低于空气包装,30% CO<sub>2</sub>+70% N<sub>2</sub> 的 MAP 处理组较 MN 组和普通包装组效果好,能使白切鸡在贮藏期间的货架期延长到 4 d。

气调包装使用不同类型和比例的气体组合来实现不同的肉制品保鲜需求。新鲜红肉通常需要高氧气调包装,以保持氧合肌红蛋白的存在,从而维持颜色稳定<sup>[19]</sup>。对于易腐败且无呼吸作用的熟肉,理想状态应是排除 O<sub>2</sub>,适当增加 CO<sub>2</sub> 或 N<sub>2</sub> 的浓度。马利华等<sup>[20]</sup>研究高氧气调包装(80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub>)、真空包装和普通空气包装对腌制猪肉贮藏期间品质的影响,发现高氧气调包装肉制品的嫩度优于普通空气包装肉制品,感官品质优于普通包装和真空包装,蛋白质氧化程度低于普通包装和真空包装。任思婕等<sup>[21]</sup>研究气调包装对冷藏微波辣子鸡丁品质的影响,测定冷藏过程中微波辣子鸡丁的过氧化值、TBARs、菌落总数、pH,结果表明 O<sub>2</sub> 体积分数越高,辣子鸡丁的氧化和微生物繁殖速率越快。

对于气调包装材料而言,包装材料的组成成分、气体阻隔性会影响包装内的气体交换,对肉制品保鲜效果有一定的影响。聚乙烯(polyethylene, PE)、乙烯-乙醇共聚物(ethylene vinyl alcohol copolymer, EVOH)、乙烯-醋酸乙烯共聚物(ethylene-vinyl acetate copolymer, EVA)、聚丙烯(polypropylene, PP)、聚酰胺(polyamide, PA)、聚偏氯乙烯(polyvinylidene chloride, PVDC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)等人造聚合物常用于气调

包装材料的制作。郭光平等<sup>[22]</sup>采用阻隔性能低的 PP/PP/胶黏剂(tackiness agent, TIE)/PA/TIE/PP/PP 包装膜材料和高阻隔性的 PP/TIE/PA/EVOH/PA/TIE/PP 包装膜对烧肉进行气调包装,发现低阻隔性的包装膜中烧肉蛋白质分解、脂质氧化速度加快,低阻隔性的包装膜不利于保持烧肉的品质。Lloret 等<sup>[23]</sup>制备了含有低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)和纯聚酰胺或聚酰胺纳米复合材料(polyamide nanocomposite, PAN)层的两种新型共混物,并对其在 MAP 中用于熟制火腿冷藏的潜力进行了评价。在 PAN 袋中,火腿的红度在 27 d 内保持稳定,而在 PA 袋中,第 7 d 后颜色劣变严重。聚酰胺纳米复合材料包装下火腿颜色的变化与高阻隔性商用聚合物包装相当,货架期可以达到 27 d,显示出聚酰胺纳米复合材料在火腿贮藏方面的良好前景。

气调包装能在一定程度上弥补真空包装的缺陷,对产品副作用小。Mahgoub 等<sup>[24]</sup>将熏制火鸡片接种单核细胞增生李斯特菌(*Listeria monocytogenes*),然后分别进行真空包装和气调包装(40% CO<sub>2</sub>+60% N<sub>2</sub>)。处理后的切片保存 179.88 d 后,发现在火鸡片货架期内,MAP(0 和 5 ℃)对熏制火鸡中单核细胞增生李斯特菌的抑制作用明显高于 VP。海丹等<sup>[25]</sup>用真空和气调(5% O<sub>2</sub>+70% CO<sub>2</sub>+25% N<sub>2</sub>)包装酱牛肉。结果表明,在 18 d 的贮藏期内(10 ℃),气调包装组的微生物总数、TBARs 和 TVB-N 含量显著低于真空包装。气调包装酱牛肉的红度(a\*值)变化较真空包装平缓,真空包装的色泽不稳定,色泽保持效果不如气调包装。说明气调包装可有效提高酱牛肉品质稳定性,更有利于延长酱牛肉的保质期。

气调包装中 CO<sub>2</sub> 被肉制品吸收会导致气体体积减少,造成包装塌陷,使消费者误认为包装不严或包装材料存在缺陷。由于肉制品种类及气调包装气体比例不同,目前气调包装技术在肉制品中的应用效果各不相同,对于特定产品的气调包装还需要加深研究,寻求最适宜的气调包装条件。

### 3 肉制品保鲜活性包装技术

材料科学和工程的发展催生了活性包装技术,其将去氧剂、抗菌剂、异味消除剂、水分和 CO<sub>2</sub> 控制剂等与包装材料结合起来,这些成分可延缓化学反应、抑制微生物生长、抑制酶促反应和氧化变质<sup>[26]</sup>。活性包装通过改变食品包装的贮存环境维持食品品质,提高食品的卫生安全性,延长食品保质期<sup>[27-28]</sup>。本文依据对影响货架期的因素的调控方法将活性包装分为吸收型、释放型和涂膜型三大类<sup>[29]</sup>。

#### 3.1 吸收型活性包装

吸收型活性包装主要有降低湿度、消除异味、吸收氧气以及二氧化碳等类型。由于一些发酵肉制品的降解和呼吸,包装内产生的二氧化碳必须从包装中移除,以避免包装膨胀或破裂。Lee 等<sup>[30]</sup>研究了真空或气调包装条件对泡菜成熟动力学的影响,我国传

统发酵肉制品的包装可借鉴该研究,在酸鱼等发酵肉制品中引入  $\text{CO}_2$  去除体系,可加快其工业化进程。

湿度的控制主要针对贮藏期间会发生水分迁移、易吸湿的肉制品。常用的干燥剂有山梨糖醇、硅胶、膨润土、氧化钙、氯化钠和蒙脱土等,国内超市售卖的猪肉干和牛肉粒等肉制品就是通过将干燥剂密封于小袋内并置于包装中来降低食品包装内湿度。卢唱唱等<sup>[31]</sup>在羧甲基纤维素钠与壳聚糖基材中添加纳米蒙脱土,制备出具有良好吸湿性的海绵衬垫,可应用于肉类的保鲜包装中。后来该研究团队在此基础上,通过添加乳酸链球菌素制备了一种高吸湿性抗菌衬垫,这种复合衬垫具有良好的生物可降解性以及良好的吸湿性,可用于保存易腐败的肉制品<sup>[32]</sup>。

另外,Contini 等<sup>[33]</sup>将含有柠檬酸和黄烷酮混合物的柑橘提取物添加到聚对苯二甲酸乙二醇酯托盘上,制备了一种抗氧化活性包装,研究该包装对降低熟制火鸡肉脂质氧化的影响。结果表明,柑橘提取物抗氧化剂包装能显著地减少熟制火鸡在贮藏过程中的氧化反应,并保持其感官特性。Yildirim 等<sup>[34]</sup>采用磁控溅射技术在聚对苯二甲酸 (polyethylene terephthalate, PET)/SiO<sub>x</sub> 膜上镀钼,开发了基于钼催化体系的氧清除系统,该膜可用于易氧化的肉制品。Hutter 等<sup>[35]</sup>研究了以钼催化体系为基础的  $\text{O}_2$  清除膜防止腌制火腿品质变化的效果,发现该膜可以在 35 min 内清除气调包装 (2%  $\text{O}_2$ +5%  $\text{H}_2$ +93%  $\text{N}_2$ ) 的顶隙空间中 2% 的  $\text{O}_2$ ,抑制了火腿的变色,并有效延长了货架期。

### 3.2 释放型活性包装

释放型活性包装主要有释放乙醇、 $\text{CO}_2$ 、生物抗菌活性物质等类型。乙醇是一种理想的食品杀菌剂,将乙醇杀菌袋放入包装中,贮藏期内乙醇蒸汽缓释能抑制霉菌和病原体生长。Appendini 等<sup>[36]</sup>提到将乙醇发生器密封于聚合物袋子内,在保藏期内乙醇释放到包装顶部空间,可运用到肉制品中,但是乙醇缓释包装可能给肉制品带来异味,影响肉制品风味。市场上常见的  $\text{CO}_2$  释放装置产品有 Mitsubishi Gas Chemical 公司的 Ageless® GE(日本)、SARL Codimer 公司的 Verifraise(法国)和 Multisorb Technologies 公司的 FreshPax®M(美国)。释放  $\text{CO}_2$  的包装不仅可以抑制食品氧化,还能抑制大量需氧细菌和真菌的生长。然而在大多数塑料包装中, $\text{CO}_2$  的渗透率比氧气高,当包装中使用  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  等混合气体时,即使在较低的温度下, $\text{CO}_2$  也会溶解在产品中,因此需要释放  $\text{CO}_2$  以保持包装内的适当浓度<sup>[37]</sup>。Chen 等<sup>[38]</sup>将接种单核细胞增生李斯特氏菌的熟制火腿样品包装在具有  $\text{CO}_2$  释放器的活性包装结构中,并以非抗菌包装结构中的样品为对照,贮藏期间内测定总需氧菌、肠杆菌科细菌和接种的单核细胞增生李斯特菌的数量。结果表明,具有  $\text{CO}_2$  释放器的包装结构中的火腿在 4、10 和 22 °C 时分别比对照低 1.11~

1.63、4.30~4.45 和 4.01~4.44 lg CFUg<sup>-1</sup>,对需氧菌和肠杆菌也有明显的抑制作用,在提高加工即食肉制品安全性和延长保鲜期方面具有较大潜力。

### 3.3 涂膜型活性包装

涂膜型活性包装通常具有抗菌功能,抗菌材料与食品表面直接接触可以抑制甚至杀死微生物。天然抗菌剂大多来自植物,如丁香、百里香、迷迭香等。纳他霉素、乳酸链球菌素(Nisin)和各种细菌素则可以从细菌和真菌中获得。Quesada等<sup>[39]</sup>为延长即食肉制品的保质期,设计了一种活性包装系统。将含有百里香精油的壳聚糖膜涂到包装膜内表面,对肉制品 pH、色差、微生物数量和感官特性进行评估,结果发现,该膜对酵母菌有较高的抑菌活性,减少包装渗出物。此外,百里香对肉制品气味有改善作用。Ferrocino 等<sup>[40]</sup>在 4 °C 条件下将牛肉堡进行 Nisin 抗菌真空包装,采用基于 RNA 的变性梯度凝胶电泳和焦磷酸测序技术对贮藏 0~21 d 的样品进行微生物分析,发现使用以乳酸链球菌素为基础的抗菌包装可以减少产生与腐败相关的特定代谢化合物的微生物的数量,延长肉制品货架期。

## 4 肉制品保鲜智能包装技术

智能包装运用生物学、材料科学、人工智能、化学、物理和电子信息等多元学科知识,来识别、判断、控制环境和包装内装物的变化,目的是为了保障食品的质量、防范运输过程中可能遇到的损坏、提高食品安全性以及调控食品的保鲜期。与活性包装相比,智能包装则强调对有关产品的质量及整个食品供应链的信息进行检测、传感、记录、跟踪或沟通的能力<sup>[41]</sup>,并将信息数据通过一定的方式传达给消费者。智能包装技术在我国尚处在起步阶段,是食品包装的未来,目前用于肉制品智能包装系统的主要技术有三种:指示器:旨在提供更多便利以及告知消费者食品质量;数据载体:例如条形码和射频识别标签(radio frequency identification, RFID),可用于仓储管理和产品追溯;传感器:能够快速和明确地量化食品中的分析物<sup>[42-43]</sup>。

### 4.1 指示器型

指示器型向消费者传达与某种物质存在与否及其浓度有关的信息。指示器型可以归为三类:时间-温度型指示器(time temperature indicator, TTI): Mataragas 等<sup>[44]</sup>开发了一种多用途的微生物 TTI,其基于紫罗兰素的形成,紫罗兰素是由细菌 *Janthinobacterium* sp.在早期生长过程中产生的一种紫色色素,取决于生长介质的温度和固有特性。该微生物 TTI 可通过调整其输入参数来匹配产品变质动力学,从而适用于多种肉制品。气体指示型:包装中的气体成分的变化直接关系到包装系统中肉制品的完整性、货架期、质量和安全性。气体指示型能用以监测由于食品基质中理化反应以及包装材料的渗透引起的内部气体变化,还用于评估例如  $\text{O}_2$  和  $\text{CO}_2$  清除剂

等活性包装组件的功效。Won 等<sup>[45]</sup>使用漆酶、愈创木酚和半胱氨酸设计了一种氧指示器,通过颜色变化检测食品包装中的氧气。这些成分由一个压力致裂的不透水屏障物理隔开,只有当屏障被破坏时,氧指示器被激活并起作用,其颜色变化速率与氧浓度成正比。将这种比色氧指示器引入肉制品包装,可以监控肉制品的保质期。新鲜度指标型:新鲜度指示器必须放在包装内,通过葡萄糖、有机酸、乙醇、挥发性盐基氮和生物胺等来表征肉制品的新鲜程度。Wang 等<sup>[46]</sup>研发了一种基于聚苯胺(polyaniline, PANI)的可再生指示器,当 TVB-N 达到临界值时, PANI 膜从绿色变为孔雀蓝,以帮助消费者识别食品的新鲜度。该新鲜度指示器提供了一种简单直观的方法来检测肉制品贮藏过程的品质变化。Li 等<sup>[47]</sup>利用紫薯提取物(purple potato extractions, PPE)、壳聚糖(chitosan, CS)和表面脱乙酰化的甲壳素纳米纤维(chitin nanofibers, CN)开发一种新型的 pH 指示智能包装。CS-CN-PPE 膜不仅力学性能和耐水性得到改善,还具有抗氧化性能和 pH 指示能力,CS-CN-PPE 的这些特性使其作为智能包装在肉制品工业中具有很大的应用潜力。

## 4.2 传感器型

传感器型智能包装是分析仪器的最佳替代品,能够快速、无损地检测包装食品中的化合物或气体,在肉制品包装保鲜监测领域有广阔的发展空间。加拿大 Toxin Alert 公司开发的 Toxin Guard™ 是一种基于抗体-抗原反应的生物传感器,通过固定在聚乙烯薄膜上的抗体与目标病原体反应改变其形状或颜色,从而显示肉类食品的保鲜程度<sup>[48]</sup>。Ding 等<sup>[49]</sup>将酸性染料修饰的纤维素与聚乙烯醇复合,研制了一种传感器。该传感器在 pH 为 5~12 时,颜色发生从黄色到紫色的显著改变,可用于肉制品保鲜实时监测。Zhai 等<sup>[50]</sup>研制了一种基于结冻胶(gellan gum, GG)包覆银纳米颗粒(AgNPs)的比色硫化氢传感器,该传感器归因于 Ag 与 H<sub>2</sub>S 形成 Ag<sub>2</sub>S 的超强结合能力,能在检测限为 0.81 μmol/L 的条件下对 H<sub>2</sub>S 进行分析,呈现出从黄色到无色的可见颜色变化。由于 GG-AgNPs 生物纳米复合材料的颜色信息可以通过肉眼很容易观察到,也可以通过智能手机等数字测量技术获得,因此可以作为一种低成本、便携式的比色 H<sub>2</sub>S 传感器,方便无损地监测智能包装中的肉制品腐败。

## 4.3 射频识别

RFID 标签是数据载体设备的最先进示例,与条形码相比,RFID 标签更昂贵,需要更强大的电子信息网络。其采用无线射频进行非接触双向通信的识别方式,对食品包装的温度、湿度等实时信息进行采集、存储、传输,数据存储容量高达 1 MB。射频识别技术的应用可以实现对肉制品“生产-运输-消费”全过程的追踪,对标签食品有溯源性,可以帮助消费

者判断肉制品保鲜期,对于帮助回收某一批次不合格食品非常精确且高效。RFID 技术已经使用了大约 40 年,然而,它单独或与条形码数据载体结合用于肉制品包装是一种可行的新方法。Eom 等<sup>[51]</sup>提出了一种基于智能 RFID 标签的肉类新鲜度监测系统,该系统由 RFID 标签、温度传感器、湿度传感器、气体传感器组成,通过比较肉类贮藏环境的温度、湿度和气体浓度,得到肉类新鲜度与传感器信号的关系,能对肉品的新鲜度进行优、中、差和变质 4 个等级的评判。

## 5 存在的问题及展望

肉制品种类繁多,特点不一,包装要求各异。未来肉制品保鲜包装技术会朝着多元化的方向发展。我国用于肉制品包装的材料大多是非生物可降解的,废弃的包装材料会对环境造成极大的污染,食品保藏期间包装材料的物质迁移也会带来食品安全问题。开发可生物降解、对人体无毒无害的新型包装将是未来发展趋势。

真空包装和气调包装在生鲜肉包装中得到了广泛的应用,但在应用效果方面与肉制品有较大的区别,未来还需加深入研究。筛选具有适当阻隔性的包装材料对真空包装而言非常重要,气调包装则必须根据肉制品的特点科学设计气体比例,合理优化包装参数。

活性包装由于添加了很多活性物质,成本较高。在实际运用中,活性物质的选择、剂量和添加方式需要进行严谨的毒理学研究,以防止由于物质迁移而引起的食品质量和安全问题。此外,消费者对活性包装的认知和接受程度低,会给肉制品活性包装市场销售带来困难。未来的发展应注重于研制更安全更容易获取的活性物质,并研究如何将活性物质更好的与包装材料相结合,同时需要加强活性包装的宣传及普及,减少消费者对活性包装技术的抵触。

智能包装技术具有巨大的发展潜力,未来更多基于新原理研发的智能包装将会不断出现并商业化。新型智能包装可以同真空包装技术、气调包装技术、活性包装技术结合起来,更全面科学的指示肉制品信息,最大限度地提高肉制品安全性和保鲜品质。

## 参考文献

- [1] 杨方,胡方园,景电涛,等.水产品活性包装和智能包装技术的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2017,8(1):6-12.
- [2] Torngren M A, Darre M, Gunvig A, et al. Case studies of packaging and processing solutions to improve meat quality and safety[J]. *Meat Science*, 2018, 144: 149-158.
- [3] Schumann B, Schmid M. Packaging concepts for fresh and processed meat—Recent progresses[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 47: 88-100.
- [4] Cachaldora A, Garcia G, Lorenzo J M, et al. Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on some quality characteristics

- and the shelf-life of “morcilla”, a typical cooked blood sausage[J]. *Meat Science*, 2013, 93(2): 220–225.
- [5] Young H, Anang D M, Tiwari B K. Shelf life and textural properties of cooked-chilled black tiger prawns (*Penaeus monodon*) stored in vacuum pack or modified atmospheric packaging at 4 or 20 °C[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2014, 2(2): 59–64.
- [6] Sun Q, Sun F, Zheng D, et al. Complex starter culture combined with vacuum packaging reduces biogenic amine formation and delays the quality deterioration of dry sausage during storage[J]. *Food Control*, 2019, 100: 58–66.
- [7] 赵嘉越, 张一敏, 罗欣, 等. 熏烧烤肉制品包装方式研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 279–286.
- [8] 张泓, 黄艳杰, 胡宏海, 等. 包装阻隔性对腊肉储存期间品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 346–351.
- [9] 穆昱, 罗欣, 梁荣蓉, 等. 不同高阻隔包装材料对烤鸭微生物及菌群多样性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 171–177.
- [10] 王虎虎, 董洋, 李诺, 等. 真空包装盐水鹅贮藏期间菌群多样性动态分析[J]. 中国食品学报, 2017, 17(4): 258–264.
- [11] Li X, Li C, Ye H, et al. Changes in the microbial communities in vacuum-packaged smoked bacon during storage[J]. *Food Microbiology*, 2019, 77: 26–37.
- [12] Stasiewicz M, Lipinski K, Cierach M. Quality of meat products packaged and stored under vacuum and modified atmosphere conditions[J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 51(9): 1982–1989.
- [13] 吴燕燕, 赵志霞, 李来好, 等. 不同包装与贮藏条件对两种低盐腌制罗非鱼片的品质影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 241–247.
- [14] Kimbuathong N, Leelaphiwat P, Harnkarnsujarit N. Inhibition of melanosis and microbial growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using high CO<sub>2</sub> modified atmosphere packaging[J]. *Food Chemistry*, 2020, 312: 126114.
- [15] Guo Y, Huang J, Sun X, et al. Effect of normal and modified atmosphere packaging on shelf life of roast chicken meat[J]. *Journal of Food Safety*, 2018, 38(5): 1–8.
- [16] Zhai Y, Huang J, Khan I A, et al. Shelf-Life of boiled salted duck meat stored under normal and modified atmosphere[J]. *J Food Sci*, 2018, 83(1): 147–152.
- [17] Moreira M J, Oliveira I, Silva J A, et al. Safety and quality assessment of roasted pork loin obtained by cook-chill system and packed in modified atmosphere[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 101: 711–722.
- [18] Deng S, Li M, Wang H, et al. Enhancement of the edible quality and shelf life of soft-boiled chicken using MAP[J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(3): 1596–1602.
- [19] Guo Y, Huang J, Chen Y, et al. Effect of grape seed extract combined with modified atmosphere packaging on the quality of roast chicken[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(3): 1598–1605.
- [20] 马利华, 宋慧, 王卫东, 等. 不同 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 分压包装对肉制品蛋白质氧化的影响[J]. 肉类研究, 2017, 31(7): 29–33.
- [21] 任思捷, 胡吕霖, 沈清, 等. 不同气体比例气调包装对冷藏微波辣子鸡丁品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 245–252.
- [22] 郭光平, 张建梅, 刘彩霞, 等. 气调包装技术对烧肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2015, 29(9): 20–24.
- [23] Lloret E, Picouet P A, Trbojevich R, et al. Colour stability of cooked ham packed under modified atmospheres in polyamide nanocomposite blends[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 66: 582–589.
- [24] Mahgoub S A, El-Mekkawy R M, Abd El-Hack M E, et al. Inactivation of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat smoked turkey meat by combination with packaging atmosphere, oregano essential oil and cold temperature[J]. *AMB Express*, 2019, 9(1): 54.
- [25] 海丹, 黄现青, 柳艳霞, 等. 酱牛肉气调和真空包装保鲜效果比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 297–300.
- [26] Umaraw P, Munekata P E S, Verma A K, et al. Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 98: 10–24.
- [27] Fang Z, Zhao Y, Warner R D, et al. Active and intelligent packaging in meat industry[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 61: 60–71.
- [28] Mousavi Khaneghah A, Hashemi S M B, Limbo S. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2018, 111: 1–19.
- [29] Yildirim S, Röcker B, Pettersen M K, et al. Active packaging applications for food[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2018, 17(1): 165–199.
- [30] Lee H L, An D S, Lee D S. Effect of initial gas flushing or vacuum packaging on the ripening dynamics and preference for kimchi, a korean fermented vegetable[J]. *Packaging Technology and Science*, 2016, 29(8-9): 479–485.
- [31] 卢唱唱, 许琦炀, 徐丹. 蒙脱土对纤维素基吸湿衬垫结构与性能的影响[J]. 包装工程, 2016, 37(11): 6–10.
- [32] 何叶子, 徐丹, 张春森, 等. 含壳聚糖和 Nisin 的复合衬垫对鲜肉的保鲜效果[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 286–291.
- [33] Contini C, Alvarez R, O’Sullivan M, et al. Effect of an active packaging with citrus extract on lipid oxidation and sensory quality of cooked turkey meat[J]. *Meat Science*, 2014, 96(3): 1171–1176.
- [34] Yildirim S, Roecker B, Rueegg N, et al. Development of palladium-based oxygen scavenger: Optimization of substrate and palladium layer thickness[J]. *Packaging Technology and Science*, 2015, 28(8): 710–718.
- [35] Hutter S, Ruegg N, Yildirim S. Use of palladium based oxygen scavenger to prevent discoloration of ham[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2016, 8: 56–62.
- [36] Appendini P, Hotchkiss J H. Review of antimicrobial food packaging[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2002, 3(2): 113–126.
- [37] Vilela C, Kurek M, Hayouka Z, et al. A concise guide to active agents for active food packaging[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 80: 212–222.
- [38] Chen J, Brody A L. Use of active packaging structures to control the microbial quality of a ready-to-eat meat product[J]. *Food Control*, 2013, 30(1): 306–310.

- [ 39 ] Quesada J, Sendra E, Navarro C, et al. Antimicrobial active packaging including chitosan films with thymus *Vulgaris* L. essential oil for ready-to-eat meat[J]. *Foods* (Basel, Switzerland), 2016, 5(3): 57.
- [ 40 ] Ferrocino I, Greppi A, La Stora A, et al. Impact of nisin-activated packaging on microbiota of beef burgers during storage[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2016, 82(2): 549–559.
- [ 41 ] 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.
- [ 42 ] Müller P, Schmid M. Intelligent packaging in the food sector: A brief overview[J]. *Foods*, 2019, 8(1): 16.
- [ 43 ] 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.
- [ 44 ] Mataragas M, Bikouli V C, Korre M, et al. Development of a microbial time temperature indicator for monitoring the shelf life of meat[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 52: 89–99.
- [ 45 ] Won K, Jang N Y, Jeon J. A natural component-based oxygen indicator with in-pack activation for intelligent food packaging[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(51): 9675–9679.
- [ 46 ] Wang W, Li M, Li H, et al. A renewable intelligent colorimetric indicator based on polyaniline for detecting freshness of tilapia[J]. *Packaging Technology and Science*, 2018, 31(3): 133–140.
- [ 47 ] Li Y, Ying Y, Zhou Y, et al. A pH-indicating intelligent packaging composed of chitosan-purple potato extractions strength by surface-deacetylated chitin nanofibers[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 127: 376–384.
- [ 48 ] Biji K B, Ravishankar C N, Mohan C O, et al. Smart packaging systems for food applications: A review[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(10): 6125–6135.
- [ 49 ] Ding L, Li X, Hu L, et al. A naked-eye detection polyvinyl alcohol/cellulose-based pH sensor for intelligent packaging[J]. *Carbohydr Polym*, 2020, 233: 115859.
- [ 50 ] Zhai X, Li Z, Shi J, et al. A colorimetric hydrogen sulfide sensor based on gellan gum-silver nanoparticles bionanocomposite for monitoring of meat spoilage in intelligent packaging[J]. *Food Chemistry*, 2019, 290: 135–143.
- [ 51 ] Eom K, Hyun K, Lin S, et al. The meat freshness monitoring system using the smart RFID tag[J]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014, 10(7): 591812.