

猪肉生物保鲜技术研究进展

李丹丹, 郑 丽, 刘雨晗, 韩庆秋, 王 震*, 周 欣*
(河北农业大学理工学院, 河北 沧州 061100)

摘要: 猪肉蛋白质含量丰富、烹饪后风味鲜美, 深受消费者喜爱。随着人们生活水平不断提高, 新鲜、安全的猪肉更受消费者青睐。然而, 在贮藏、加工和销售过程中, 猪肉易受到微生物、内源酶及自身氧化作用的影响, 引起品质降低甚至引发安全问题。因此, 如何建立环保、便捷的保鲜技术一直是猪肉生产和加工行业的难题。生物保鲜技术以安全、可生物降解、无二次污染等优点成为当今猪肉保鲜领域的研究热点。本文通过对单一生物保鲜技术、复合生物保鲜技术及生物保鲜结合其他保鲜方法的新技术进行归纳总结, 并对未来生物保鲜技术的发展进行展望, 旨在为猪肉生产加工、销售过程中的防腐保鲜提供参考。

关键词: 猪肉; 品质; 生物保鲜; 复合保鲜; 研究进展

Recent Progress in Pork Biopreservation Technologies

LI Dandan, ZHENG Li, LIU Yuhan, HAN Qingqiu, WANG Zhen*, ZHOU Xin*
(College of Science and Technology, Hebei Agricultural University, Cangzhou 061100, China)

Abstract: Because of its rich protein and delicious flavor after cooking, pork is very popular among consumers. With the continuous improvement of people's living standards, fresh and safe pork is more favored by consumers. However, during storage, processing and sale, pork is susceptible to microorganisms, endogenous enzymes and auto-oxidation, resulting in quality degradation and even safety problems. Hence, how to establish an environmentally friendly and convenient preservation technology has always been a difficult problem for the pork production and processing industry. Biopreservation technology has become a research hotspot in the field of pork preservation due to its advantages of safety, biodegradability, and no secondary pollution. In this article, the single and combined pork biopreservation technologies, as well as new technologies integrating biopreservation and other preservation methods are summarized, and an outlook on the future of bio preservation technology, aiming to provide reference for pork quality preservation during processing and sale.

Keywords: pork; quality; biopreservation; combined preservation; progress

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200923-231

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2020) 11-0098-08

引文格式:

李丹丹, 郑丽, 刘雨晗, 等. 猪肉生物保鲜技术研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 98-105. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200923-231. <http://www.rlyj.net.cn>

LI Dandan, ZHENG Li, LIU Yuhan, et al. Recent progress in pork biopreservation technologies[J]. Meat Research, 2020, 34(11): 98-105. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200923-231. <http://www.rlyj.net.cn>

猪肉因富含蛋白质和脂肪且肉质细软、香嫩可口, 深受国内外消费者喜爱, 在畜禽肉类消费市场中始终占据主体地位^[1]。我国是肉类生产和消费大国, 肉类总产量约占世界总产量1/3, 其中猪肉占一半以上。随着经济的飞速发展, 人们

对猪肉的需求量不断攀升, 并且对其品质提出更高的要求。保鲜是肉类产品生产、运输、销售过程中必需的处理过程, 保鲜方式不合理将导致肉的风味和色泽发生变化, 严重影响肉类产品的品质和食用价值, 甚至引发公共卫生问题^[2]。

收稿日期: 2020-09-23

基金项目: 河北省自然科学基金青年科学基金项目 (C2020204013);

河北农业大学引进人才专项科研启动基金项目 (YJ201950)

第一作者简介: 李丹丹 (1998—) (ORCID: 0000-0003-1779-5607), 女, 本科生, 研究方向为食品保鲜技术。

E-mail: DanLi18@163.com

*通信作者简介: 王震 (1988—) (ORCID: 0000-0001-5405-7801), 男, 副教授, 博士, 研究方向为功能食品开发。

E-mail: wangzhen@hebau.edu.cn

周欣 (1979—) (ORCID: 0000-0002-4101-2986), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为农药残留检测。

E-mail: zhouxin@hebau.edu.cn

保鲜技术不仅影响猪肉的品质和食用价值,也对其经济价值有重要影响。当下,受非洲猪瘟病毒、生猪饲料价格上涨和我国环保政策等因素的影响,我国生猪存栏量和猪肉产量显著下降,猪肉价格大幅飙升^[3-4]。开发和优化建立安全、高效的生物保鲜技术不但可以最大限度地保持猪肉品质,还可以延长猪肉的货架期,在一定程度上减少当下供不应求和价格昂贵的猪肉贮藏和销售过程中因贮藏不当带来的经济损失,具有重要的经济意义。

1 贮藏期间影响猪肉品质的因素

猪肉的品质在生产、贮藏和销售过程中易受到微生物、内源酶与自身氧化作用的影响(图1)。在有氧贮藏环境中,引起猪肉污染变质的微生物主要为假单胞菌,而乳酸菌群和肠杆菌群是引起猪肉在缺氧甚至无氧条件下变质的主要微生物^[5-6]。冷却肉中的亚铁红素、氧化酶、某些金属离子可使蛋白质和脂质发生氧化反应,且猪肉本身多不饱和脂肪酸含量较高,使其更易于氧化^[7];脂肪氧化与蛋白质氧化并非单独存在,二者可能存在着复杂的交互作用^[8];适度氧化对猪肉的风味、质构等品质特性具有促进作用,但过度氧化会影响肉质保水性、嫩度、色泽与风味,使冷鲜肉产生哈喇味,造成肉类品质下降^[9],当猪肉中蛋白质、脂肪变质后产生的醛、酮、醇、胺、硫化氢等积累到一定程度后使猪肉品质急剧下降。除此之外,贮藏温度、pH值、猪肉中氧含量等理化因素通过影响附着在猪肉上的微生物影响猪肉的货架期^[10]。

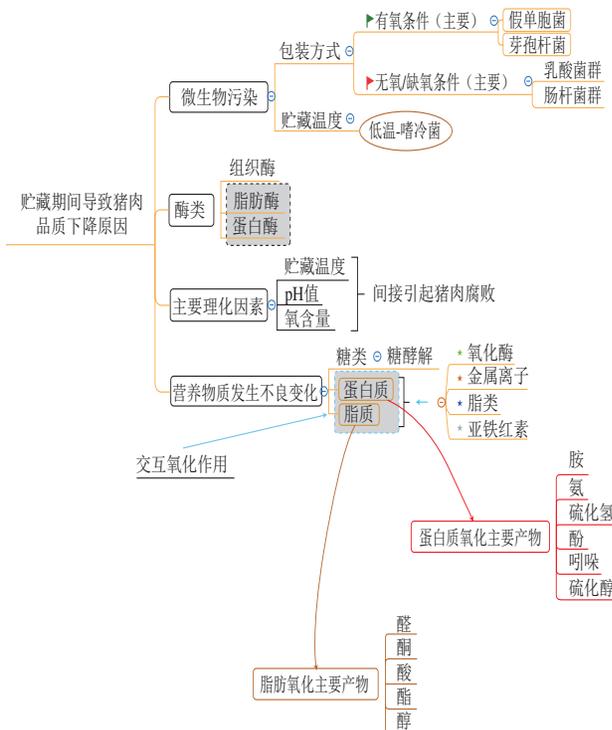


图1 贮藏期间导致猪肉品质下降的主要因素

Fig. 1 Main factors causing deterioration of pork quality during storage

猪肉腐败过程中色泽、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substance, TBARs)值、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量、pH值等会出现不同程度的变化,变化程度反映猪肉的新鲜程度。其中,猪肉的色泽由肉中肌红蛋白、氧合肌红蛋白、高铁肌红蛋白3种蛋白的比例及分布共同决定^[11-12],肉类颜色变化由冷鲜肉中肌红蛋白大量氧化成为高铁肌红蛋白引起;TBARs值反映猪肉中脂质氧化程度^[13];TVB-N含量的变化源于猪肉贮藏过程中自身酶与附着在猪肉上的细菌共同作用下肉中蛋白质被分解产生碱性物质氮与胺,碱性物质的增多又导致猪肉pH值升高。猪肉保鲜技术的作用机理是阻止微生物和酶的作用,减缓猪肉自身氧化进程,从而使猪肉TBARs值等指标处于适当范围内。

2 猪肉保鲜技术

目前,中国市场上猪肉的消费方式主要有热鲜肉、冷却(鲜)肉和冷冻肉,热鲜肉和冷冻肉是我国肉品消费的主流,占70%以上^[14]。然而,热鲜肉中微生物生长繁殖较快,影响肉品质量,甚至引发食品安全事件,冷冻贮藏会影响肉品的多汁性、嫩度和风味等^[15]。相较于热鲜肉与冷冻肉,对屠宰后的畜胴体迅速进行保鲜处理的冷却肉具有更高安全系数、营养价值、感官优势,正逐步成为我国鲜猪肉重要销售方式^[16]。由于化学保鲜剂具有潜在毒性,故在猪肉保鲜过程中极少应用化学保鲜法。目前猪肉保鲜的方法主要采用生物保鲜法和物理保鲜法。物理保鲜法又包括低温贮藏保鲜法、气调保鲜法、辐射保鲜法及真空包装等。传统的物理保鲜法在猪肉保鲜发展进程中起到了重要作用,尽管近些年对传统物理保鲜方法研究更加深入,但其依旧存在不可忽略的缺点(表1)。

生物保鲜技术是指利用一些天然来源、具有抗菌或抗氧化作用的绿色提取物,或微生物菌群及其代谢物来提高食品安全性和延长食品货架期的食品保鲜方法。生物保鲜技术依据保鲜剂的来源分为植物源、动物源及微生物源保鲜技术,具有来源广、安全性高、广谱抑菌等优势,逐渐成为保鲜研究中的热点。生物保鲜技术又可以按照保鲜物质使用情况分为单一生物保鲜技术、复合生物保鲜技术及生物保鲜与其他方法相结合的保鲜技术(图2)。

表1 不同物理保鲜技术应用于猪肉保鲜的优缺点
Table 1 Advantages and disadvantages of different physical techniques for pork preservation

保鲜技术	应用	优点	局限性	参考文献
真空包装	冷鲜猪背最长肌经分割后使用真空包装袋密封处理, 通过分析菌落总数、贮藏损失率、色差、剪切力及综合感官评价确定最适保藏条件	可有效延长冷鲜猪肉货架期	会使肉色呈紫红色, 货架展示前需要发色, 有时甚至会导致肉色不可修复劣变, 还存在汁液流失较高等问题	[14,17]
气调包装	利用气调保鲜技术, 测定新鲜猪肉0~4℃条件下贮藏过程中病原微生物含量、TVB-N含量、pH值变化, 探究最适气调保鲜条件(N ₂ 、O ₂ 、CO ₂)	安全卫生, 可以保护良好肉色、抑制微生物生长	预混气体调配相对复杂, 不同种类气体对不同肉类保鲜效果不同; 如氧气含量高时, 影响猪肉肌红蛋白氧化还原形式和亮度值	[14,18-19]
辐射处理	使用电子束辐照技术研究冷鲜猪肉中微生物、脂肪及蛋白质特性, 探究最适辐照条件	改良感官特性, 减少或清除导致腐败变质的微生物和病菌, 极大延长肉类货架期	猪肉保水性降低, 出现明显异味, 猪肉颜色发生变化, 存在引发猪肉氧化的风险	[20-23]
低温贮藏保鲜(冰鲜)	采用聚乙烯(polyethylene, PE)、聚偏二氯乙烯2种材料对猪肉分别进行冷藏和微冻贮藏, 从猪肉色泽、气味、组织形态三方面进行感官评价, 确定适宜保鲜方法	有效抑制微生物的生长繁殖, 降低猪肉氧化速率	对猪肉组织破坏较大, 结冻时汁液流失多; 长时间贮藏会使猪肉制品发生干耗、变色等; 冷链环节不完整	[24-25]

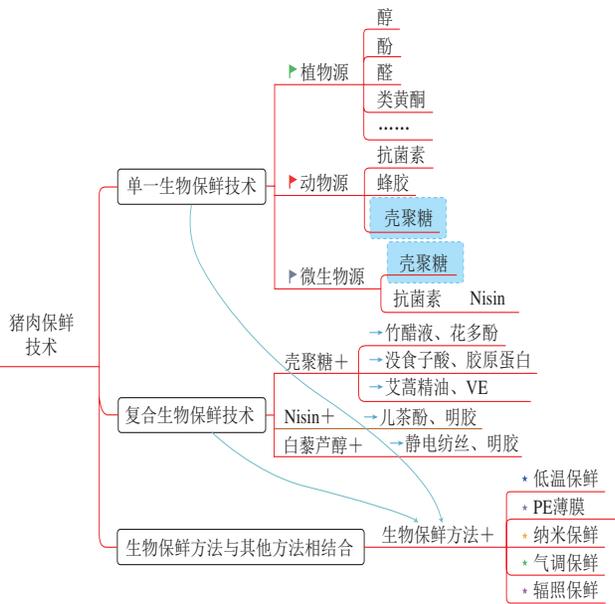


图2 猪肉生物保鲜技术概况
Fig. 2 Overview of pork biopreservation technologies

2.1 单一生物保鲜技术

单一生物保鲜技术是指在食品保鲜过程中仅使用一种保鲜剂, 按照保鲜剂的来源可分为植物源生物保鲜技术、动物源生物保鲜技术和微生物源生物保鲜技术。

2.1.1 植物源生物保鲜技术

植物源生物保鲜技术所用的保鲜剂主要是指从植物叶、根、花等组织中提取得到的天然物质, 主要包含植物精油、含酚类物质和植物多糖三大类, 通常利用这些物质对酶类的抑制作用以及抗氧化性控制猪肉贮藏过程中高铁肌红蛋白含量、脂质氧化进程、TVB-N含量及TBARs值。植物源生物保鲜剂具有来源广泛、成分相对较低、对环境无污染或污染程度低等优点, 但同时也存在生物利用率较低等问题。杨新磊等^[26]研究表明, 茶多酚能够有效抑制猪肉中微生物的繁殖, 明显减缓冷却肉中脂质氧化, 并延缓TVB-N含量增加, 从而延长猪肉货架期。尹爱武等^[27]研究表明, 质量浓度1.0 g/100 mL

刺儿茶多酚对冷却猪肉具有良好的保鲜效果。李伟等^[11]研究表明, 桉叶多酚对冷藏猪肉中高铁肌红蛋白含量、TBARs值、TVB-N含量及汁液流失率有明显的降低作用, 说明桉叶多酚在冷藏猪肉保鲜过程中发挥显著的抗氧化作用, 对猪肉颜色稳定具有积极作用。潘婷婷等^[28]以连翘叶为原料, 以其乙醇提取物作为保鲜剂, 研究发现, 8月份的连翘叶提取物效果最佳, 可将猪肉贮藏期延长3~4 d。除此之外, 高良姜精油^[29]、香茅精油^[30]均被用于猪肉保鲜研究中。唐森等^[30]从香茅草中提取得到香茅精油, 利用其中含有的醇类、醛类等抗菌活性物质有效降低猪肉糜pH值、菌落总数、TVB-N含量等, 结果表明, 由去离子水配制成体积分数4%的香茅精油对猪肉糜保鲜效果最好。 α -三联噻吩(α -terthienyl, α -T)是存在于万寿菊根和花中的物质, 以 α -T为抗菌剂, 用明胶、甘油作为辅助, 制成的保鲜膜可以降低猪肉氨味的产生, 抑制pH值升高速率, 有效抑制猪肉的腐败变质^[31]。Kim等^[32]研究发现, 添加原花青素的可食性薄膜对猪肉贮藏过程中TVB-N含量、TBARs值及细菌总数的增加具有显著抑制作用, 对延长猪肉贮藏期具有重要意义。

2.1.2 动物源生物保鲜技术

动物源生物保鲜技术主要依靠动物产生具有抗菌、杀菌作用的分泌物发挥作用。一些动物产生的代谢物具有良好的成膜性, 形成的膜可以包裹在猪肉表面, 起到阻挡外源微生物污染的作用。该方法具有可供选择的品种多、来源较广的优点, 但提取工艺较为复杂。

抗菌肽(antimicrobial peptides, AMPs)具有天然抗菌性。王盼等^[33]研究表明, 山羊乳来源的抗菌肽对猪肉中的主要腐败菌有很好的抑制作用。此外, 节肢动物昆虫也是AMPs的重要来源。目前已从昆虫中分离纯化得到近300种AMPs, 其中多数具备抗菌、抗病毒活性^[34]。Dang Xiangli等^[35]研究表明, 来源于家蝇的AMPs可以破坏细菌细胞膜并与细菌DNA结合, 从而有效抑制冷藏猪肉中细菌的生长, 显著延长猪肉保质期。

蜂胶是由工蜂加工而成的胶状物,具有芳香味道,其中含有大量具有抗菌、抗氧化、抗病毒作用的物质,具有保鲜猪肉的潜能^[36]。我国养蜂人士较多,蜂胶易于获得,具有价格便宜、来源广、抗菌能力强等优势。孟良玉等^[37]研究发现,适宜质量浓度蜂胶提取液可有效阻止猪肉中TVB-N含量的升高、降低颜色变化速率,当蜂胶提取液质量浓度为0.015 g/mL时,猪肉保鲜效果最好,可在4℃条件下贮藏12 d以上。

2.1.3 微生物源生物保鲜技术

目前,微生物源保鲜剂主要依靠微生物自身与造成猪肉品质下降的微生物之间的竞争作用,或微生物产生具有抗菌作用的次级代谢产物达到保鲜猪肉的目的。通过筛选得到的菌种抗菌性相对较广,但目前该技术主要应用于果蔬保鲜,在肉类食品保鲜领域的应用尚处于初步阶段,研究相对较少。周艳等^[38]从菌落总数、pH值、TVB-N含量等指标出发,研究嗜热乳酸杆菌NX2-6细菌素用于猪肉保鲜的效果,发现4 g/100 mL嗜热乳酸杆菌NX2-6抗菌素抑菌效果最好,可使猪肉变质时间推迟2 d。李新福等^[39]研究表明,以Nisin单独作为保鲜剂时,在4℃条件下,质量浓度为0.5 g/L、喷涂量为1 mL时,猪肉保鲜效果最佳。Meng Demeng等^[40]研究发现,由毕赤酵母产生的抗菌肽Hispidalin具有较强的抗菌活性,对猪肉保鲜具有重要意义。除此之外,还有一大批品质优良的微生物保鲜剂具有潜在的猪肉保鲜价值,但多数情况下,这些保鲜剂与其他保鲜方法相结合形成复合保鲜技术^[2],如Nisin与壳聚糖、茶多酚等与低温贮藏协同作用,共同起到保鲜猪肉的效果^[41]。

2.2 复合生物保鲜技术

2.2.1 茶多酚与其他保鲜物质结合

茶多酚作为一种天然的抗氧化、杀菌、除臭物质,既绿色又安全,越来越受到猪肉养殖和加工行业的重视。茶多酚既可以作为饲料添加剂抑制大肠杆菌^[42]、促进生猪生长、提高猪肉鲜度、嫩度和持水性,又可以单独或与其他物质制成保鲜剂用于猪肉保鲜。许琦炀等^[43]发现,在羧甲基纤维素钠/壳聚糖/蒙脱土复合衬垫中添加10 g/100 mL茶多酚制成复合吸湿衬垫,可将冷鲜肉的保质期延长2 d。相洋^[44]采用正交试验确定由1.5%茶多酚、2.0%丁香提取物、0.2%蒜辣素和2.5%壳聚糖组成的复配保鲜剂对冷却猪肉保鲜效果最佳。于海燕等^[45]发现,由0.1 g茶多酚、1 g乙酸、1 g乳酸、0.5 g壳聚糖和100 g蒸馏水制备的保鲜溶液延长冷却猪肉货架期的效果最为明显。夏天兰^[46]研究多种复合天然保鲜剂对冷却猪肉的保鲜作用,发现由2.0%茶多酚、1.0%壳聚糖、2.0%姜辣素和0.3%蒜辣素组成的复合天然保鲜剂具有明显的保鲜效果。此外,周洁等^[47]总结茶多酚及其复配剂在不同肉制品保鲜中的应用研究,为拓展茶多酚在猪肉保鲜方面的应用提供理论指导。

2.2.2 壳聚糖与其他保鲜物质结合

壳聚糖是由几丁质通过脱乙酰作用得到的天然多糖类物质,具有优良的抗菌性、抗氧化、防腐作用且成膜性良好的特性^[48],目前已广泛应用于食品保鲜行业。韩紫音等^[49]通过实验研制出壳聚糖、竹醋液与茶多酚混合保鲜剂最佳组成为壳聚糖、茶多酚添加量0.9 g/mL、竹醋液体积分数2%,此时可以有效延长冷却猪肉保质期。曲文娟等^[50]开发出一种可以有效延长猪肉贮藏期的胶原蛋白-壳聚糖复合膜,在该研究中,胶原蛋白从金枪鱼皮中提取而得,采用改性没食子酸以增强复合膜的抗氧化与抗菌特性,利用超声波改性增强复合膜的机械性,解决了传统保鲜膜机械性能、阻湿性能差、抗菌、抗氧化性弱的问题。艾蒿中含有黄酮类、三萜类、多糖等多种功能性物质,徐鑫等^[51]以艾蒿精油、壳聚糖、VE为原料制成的复合涂膜可使冷鲜肉中内源酶活性及微生物生命活动受到抑制,从而达到延长冷鲜肉保质期的效果。Xiong等^[7]研究添加Nisin和葡萄籽提取物的壳聚糖-明胶可食性复合薄膜的性质,并测定其对猪肉的保鲜效果,研究发现,壳聚糖具有抗菌、抗氧化作用,可有效抑制猪肉pH值的变化,壳聚糖与明胶可形成致密结构,进一步加强猪肉保鲜效果,再加入富含酚类化合物的葡萄籽提取物,可将复合薄膜的保鲜性能进一步提高,表明壳聚糖-明胶-葡萄籽提取物复合保鲜膜可作为猪肉保鲜膜延长其保质期。

2.2.3 Nisin与其他保鲜物质结合

Nisin是乳酸乳球菌产生的一种具备天然生物活性的抗菌肽,具有天然、安全、高效的特点,对多种革兰氏阳性菌(如金黄色葡萄球菌、李斯特菌等)的生长及芽孢杆菌有极强的抑制作用。近年来,Nisin已被广泛添加于食品包装材料与食品保鲜薄膜中用于食品保鲜,在延长猪肉制品保质期方面占有重要地位。Kaewprachu等^[52]研究表明,添加Nisin与儿茶酚的明胶薄膜对促进猪肉保鲜有显著效果,Nisin和儿茶酚分别起抗菌和抗氧化作用。明胶在水中溶解度较高,通过在成膜悬浮液中添加转谷氨酰胺酶可使明胶分子内部发生交联反应,降低其溶解度,从而可使保鲜薄膜实现抑制猪肉中脂质氧化、微生物活动的目的。何叶子等^[53]以羧甲基纤维素钠、壳聚糖和蒙脱土为原料,添加不同浓度的Nisin制备高吸湿性的抗菌衬垫,促进鲜肉颜色和硬度的保持,并将鲜肉的保质期延长2 d。赵敏等^[54]研究表明,0.06 g/100 mL的Nisin与体积分数0.5%乳酸溶液协同处理对冷却猪肉进行保鲜,能够使猪肉中脂质氧化较慢,并能使冷却肉的红度值下降延迟,从而到达良好的保鲜效果。王建清等^[55]利用Nisin和罗勒精油制成复配保鲜剂用于猪肉保鲜,结果表明,添加体积分数1%的复配保鲜剂可使冷鲜猪肉的贮藏期延长6 d。Yang Yang等^[56]以甘蔗渣纳米纤维

素-Nisin复合膜为原料, 研制一种具有抗菌性能的纳米纤维素杂化膜, 作为低密度PE塑料包装即食火腿的内衬。

2.3 生物保鲜技术与其他技术相结合

2.3.1 生物保鲜与低温保鲜技术结合

低温保鲜技术在保持猪肉品质、延长贮藏期中被广泛使用, 猪肉保鲜技术大多以低温贮藏为前提。低温环境可以减弱微生物的生命活动^[57]、抑制酶活性, 同时阻止猪肉氧化进程。猪肉贮藏过程中使用适宜浓度的香茅精油与4℃冷藏结合, 可使猪肉贮藏14 d时依旧保持新鲜状态, 21 d时维持在次新鲜水平^[58]。于海燕等^[45]通过使用复合生物保鲜剂(1 g乙酸+1 g乳酸+1 g壳聚糖+100 g蒸馏水)结合4℃低温贮藏, 使猪肉的一级鲜度达15 d。任清杰等^[59]发现, 低温贮藏环境(约3.79℃)下以自制“悬浮”抑菌形式使抑菌剂均匀扩散, 可以将鲜猪肉的腐败临界点由8 d延长至10 d。贺羽等^[60]在冷却处理猪肉的基础上, 分别研究不同配比ε-聚赖氨酸和壳聚糖复合保鲜剂的作用, 结果表明, 单独使用ε-聚赖氨酸时, 随着ε-聚赖氨酸添加量的增大, TVB-N含量、细菌总数、pH值均受到一定抑制, 使用ε-聚赖氨酸和壳聚糖复合保鲜剂处理不仅对TVB-N含量、细菌总数、pH值起到抑制作用, 还可以改善猪肉的色泽和保水性, 并发现2.4 g/L ε-聚赖氨酸+0.18 g/L壳聚糖的复合保鲜剂对冷却猪肉保鲜效果最好。谢菁^[9]以冷却猪肉为基础, 探究真空包装、高氧气调包装条件下生物保鲜剂(α-生育酚、茶多酚、壳聚糖)最佳复配比, 以TVB-N含量反映猪肉保鲜效果, 结果表明, 高氧气调包装和真空包装下α-生育酚、茶多酚、壳聚糖最佳复配比分别为0.001%、0.200%、1.810%和0.006%、0.250%、1.000%, 分别使猪肉贮藏期延长18、28 d。

2.3.2 生物保鲜与纳米保鲜技术结合

纳米包装技术近几年才开始兴起, 通常被划分为纳米涂膜技术与纳米包装技术两大类。可食用纳米涂层和纳米包装技术在各种食品包装和贮藏中表现出独特的保鲜能力^[61]。纳米保鲜技术主要通过阻止食品自动氧化, 控制O₂、CO₂气体交换, 达到抗菌保鲜的目的^[62]。纳米材料主要有纳米Ag、纳米TiO₂、纳米SiO₂, 其中纳米Ag具有广谱杀菌性^[63], 但在保鲜过程中还存在纳米颗粒泄露的风险。生物保鲜技术与纳米保鲜技术相结合进一步改善了食品保鲜效果^[64]。Wu Zhengguo等^[65]以月桂精油、纳米Ag、壳聚糖、PE材料制成多功能薄膜用于猪肉贮藏, 研究表明, 4℃条件下可使猪肉货架期延长至15 d, 比用普通PE膜包装的猪肉延长6 d, 并且该研究中使用脂质体封装纳米Ag颗粒以防止纳米Ag颗粒的泄露。张慧芸等^[66]以壳聚糖为壁材, 利用离子凝胶法制备丁香精油纳米胶

囊, 显著延长了鲜猪肉的货架期。此外, 肉桂精油壳聚糖纳米颗粒、壳聚糖包覆精油纳米胶囊、山梨酸纳米颗粒和丁香酚纳米微粒等多种技术已在猪肉保鲜方面进行系统研究^[67-70]。但总体而言, 纳米材料保鲜还处于初步探索阶段, 有待进一步开发和验证。

2.3.3 生物保鲜与气调保鲜技术结合

气调包装通常是将N₂、O₂、CO₂作为填充气体, 其中N₂为惰性气体, 无抗菌活性, 可以置换O₂同时防止包装塌陷, 而O₂的作用是抑制厌氧微生物的生长^[71]; 高氧气调包装(high oxygen modified atmosphere packaging, HOMAP)中O₂含量比较高, 不仅可抑制厌氧微生物的生长, 还可以使肉质颜色保持红润, 在肉类保鲜中备受欢迎^[72], 但也正因为O₂含量较高, 使肉类与O₂接触更多, 更易使猪肉中蛋白质与脂质发生氧化, 而且所用包装膜难以回收, 且成本较高^[73]。为了解决这一问题, 研究人员采用具有抗氧化性的壳聚糖、Nisin、没食子酸制备复合薄膜, 并与HOMAP相结合, 使冷鲜猪肉在贮藏期间保持颜色红润, 抑制脂质、蛋白质的氧化与微生物的活动, 延长猪肉保质期^[74]。李诚等^[75]将PE/聚酰胺塑料袋气调包装(50% O₂、25% CO₂和25% N₂)与生物保鲜剂(5 g/100 mL乳酸钠、0.2 g/100 mL异抗坏血酸钠和体积分数0.4%乙酸)结合可使冷鲜猪肉的保存期达到15 d以上。

2.3.4 生物保鲜与辐照保鲜技术结合

辐照保鲜作为能够消除微生物污染从而确保肉类产品安全的新兴技术之一^[76], 主要通过射线照射, 利用其能量杀灭食品中微生物, 破坏食品中酶活性, 从而起到延长食品货架期的作用。徐艺青等^[77]研究表明, 采用体积分数2%大蒜提取液与体积分数4%姜汁保鲜剂处理鲜猪肉, 并进行25 kGy辐照, 猪肉的抗氧化能力和保鲜效果均有显著提高。贺红军等^[78]研究表明, 辐照保鲜和生物保鲜剂对冷却肉的保鲜有协同作用, 同时结合真空包装, 可使冷却肉的保质期达到21 d以上。近来研究发现, 猪肉保鲜过程中, γ射线照射的猪肉发生氧化效应, 而电子束辐照后导致的猪肉脂肪氧化效应小于γ射线照射, 且电子束照射后猪肉的内在品质与风味均优于γ射线照射后, 进一步探究生物保鲜与电子束照射相结合的保鲜技术具有一定研究和应用价值^[79]。

3 结语

本文主要介绍生物保鲜技术在猪肉保鲜中的应用。单一来源的生物保鲜剂在猪肉保鲜中应用较少, 2种或多种保鲜物质的协同作用建立的复合生物保鲜技术不仅可



以使保鲜效果增强，还可以减少单一保鲜剂大量使用，更为安全、高效，因此更受欢迎。此外，生物保鲜技术与其他保鲜技术相结合衍生的新型保鲜技术也在飞速发展，并逐步应用于猪肉保鲜。

尽管生物保鲜技术已成为保鲜研究中的重点，但仍然还有许多问题亟待解决，如植物源和动物源生物保鲜剂的提取效率有待提升，微生物源生物保鲜方法是否会带来新的污染和过敏源等。此外，生物保鲜技术中绝大多数技术还处于研究探索阶段，保鲜机理尚未明确，未实现生产中大规模应用。因此，今后应该响应国家环保政策，利用迅猛发展的生物技术，加大生物保鲜方法研究和开发的力度，加快阐明不同生物保鲜剂的作用机理，加快猪肉保鲜技术从传统保鲜技术向新型安全无污染生物保鲜技术的转变，并建立规范合法的生物保鲜政策和风险规避机制，使生物保鲜技术更好、更快地应用于猪肉及其他食品保鲜。

参考文献：

- [1] KU S K, JEONG J Y, PARK J D, et al. Quality evaluation of pork with various freezing and thawing methods[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2014, 34(5): 597-603. DOI:10.5851/kosfa.2014.34.5.597.
- [2] 谢海伟, 吴琳芝, 黄欲菲, 等. 食品保鲜剂研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(15): 13-17. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.15.004.
- [3] 2020年4月全国畜产品和饲料价格情况[J]. *中国饲料*, 2020(10): 1-4. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20201001.
- [4] 王锋. 养殖场建设如何顺应国家环保政策[C]//第七届(2017)中国兔业发展大会. 济源: 中国畜牧业协会, 2017: 408-409.
- [5] ZHOU G H, XU X L, LIU Y. Preservation technologies for fresh meat: a review[J]. *Meat Science*, 2010, 86(1): 119-128. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.033.
- [6] 赵建生, 李志成, 曹翠红. 不同气调包装对冷却猪肉在冷藏过程中的微生物变化的研究[J]. *肉类研究*, 2010, 24(7): 36-39. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2010.07.012.
- [7] XIONG Y, CHEN M, WARNER R D, et al. Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatin edible coating and its effect on cold storage of fresh pork[J]. *Food Control*, 2019, 110: 107018. DOI:10.1016/j.foodcont.2019.107018.
- [8] 王兆明, 贺稚非, 李洪军. 脂质和蛋白质氧化对肉品品质影响及交互氧化机制研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(11): 295-301. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811045.
- [9] 谢菁. 冷却猪肉复合保鲜包装技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 3-23.
- [10] 程述震, 王晓拓, 王志东. 冷却肉保鲜技术研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(16): 194-198. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.16.042.
- [11] 李伟, 张小英, 陈熔, 等. 桉叶多酚对冷却猪肉的保鲜效果研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(11): 252-257. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022781.
- [12] 付丽, 胡晓波, 高雪琴, 等. 茶多酚协同冰温保鲜对牛肉抗氧化的护色效果[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(7): 211-217. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.029.
- [13] KUCHA C T, NGADI M O. Rapid assessment of pork freshness using miniaturized NIR spectroscopy[J]. *Journal of Food Measurement and Charact*, 2020, 14(2): 1105-1115. DOI:10.1007/s11694-019-00360-9.
- [14] 戴璿, 梁荣蓉, 罗欣, 等. 不同包装方式对冷却猪肉的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(6): 171-178. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2014.06.029.
- [15] 赵冰, 李素, 张顺亮, 等. 保鲜方式对冷却猪肉挥发性风味物质的影响[J]. *肉类研究*, 2017, 31(2): 51-56. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201702010.
- [16] 彭佳程. 冷却肉品质安全控制技术的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014: 4-20.
- [17] 蒋兆景, 马汉军, 康壮丽, 等. 包装方式对冷却猪肉贮藏品质的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(4): 71-76. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2019.04.013.
- [18] 栗云鹏, 高晨, 王蕊, 等. 气调包装保鲜技术对猪肉冷藏保鲜效果的影响[J]. *北京农学院学报*, 2017, 32(1): 43-47. DOI:10.13473/j.cnki.issn.1002-3186.2017.0121.
- [19] KERNBERGER-FISCHER I, KEHRENBURG C, KLEIN G, et al. Influence of modified atmosphere and vacuum packaging with and without nanosilver-coated films on different quality parameters of pork[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 54(10): 3251-3259. DOI:10.1007/s13197-017-2768-4.
- [20] 冯晓琳. 电子束辐照对真空包装冷却猪肉品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 7-21.
- [21] 王永红, 张淑蓉. 冷却肉的保鲜技术研究进展[J]. *粮油食品科技*, 2012, 20(1): 48-51. DOI:10.16210/j.cnki.1007-7561.2012.01.021.
- [22] AHN D U, JO C, DU T, et al. Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions[J]. *Meat Science*, 2000, 56(2): 203-209. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00044-9.
- [23] SINANOGLU V J, KONTELES S, BARINO A, et al. Effects of gamma radiation on microbiological status, fatty acid composition, and color of vacuum-packaged cold-stored fresh pork meat[J]. *Journal of Food Protection*, 2009, 72(3): 556-563. DOI:10.4315/0362-028X-72.3.556.
- [24] 李瑶琪. 不同包装材料对冷、冻藏猪肉在贮藏期间品质的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2018: 5-24.
- [25] HOU Qin, CHENG Yuping, KANG Dachen, et al. Quality changes of pork during frozen storage: comparison of immersion solution freezing and air blast freezing[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, 55(1): 109-118. DOI:10.1111/ijfs.14257.
- [26] 杨新磊, 丁武. 茶多酚对冷却猪肉保鲜效果的应用研究[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(14): 126-129. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2013.14.035.
- [27] 尹爱武, 高鹏飞, 蒋佳洁. 刺儿茶多酚对冷却猪肉保鲜效果的研究[J]. *湖南工程学院学报(自然科学版)*, 2017, 27(2): 47-52. DOI:10.15987/j.cnki.hgjbz.2017.02.011.
- [28] 潘婷婷, 尹慧娟. 连翘叶提取物对冷藏猪肉的保鲜效果研究[J]. *商洛学院学报*, 2019, 33(6): 30-34. DOI:10.13440/j.slxy.1674-0033.2019.06.007.
- [29] 王卉, 裴志胜, 孙宏元, 等. 高良姜精油微胶囊的制备及其对猪肉糜的保鲜效果[J]. *食品科技*, 2016, 41(4): 255-259. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2016.04.048.
- [30] 唐森, 张鹏, 张义浩, 等. 香茅油在冷却猪肉糜保鲜中应用的研究[J]. *肉类工业*, 2019(2): 16-20. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2019.02.005.

- [31] 王鹤霖, 汤华成, 潘旭琳, 等. 万寿菊 α -三联噻吩抗菌膜对冷却猪肉保鲜效果影响[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 142-145. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2018.09.025.
- [32] KIM H W, JEONG J Y, SEOL K H, et al. Effects of edible films containing procyanidin on the preservation of pork meat during chilled storage[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2016, 36(2): 230-236. DOI:10.5851/kosfa.2016.36.2.230.
- [33] 王盼, 何贝贝, 李志成, 等. 生物保鲜剂对冷却肉保鲜的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(11): 199-207. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.11.025.
- [34] YI H Y, CHOWDHURY M, HUANG Y D, et al. Insect antimicrobial peptides and their applications[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(13): 5807-5822. DOI:10.1007/s00253-014-5792-6.
- [35] DANG Xiangli, ZHENG Xiaoxiao, WANG Yansheng, et al. Antimicrobial peptides from the edible insect *Musca domestica* and their preservation effect on chilled pork[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(3): e14369. DOI:10.1111/jfpp.14369.
- [36] 张顺亮. 天然保鲜剂在肉类食品保鲜中的应用与展望[J]. 肉类研究, 2011, 25(8): 37-41. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2011.08.009.
- [37] 孟良玉, 蔡文倩, 卢佳琨, 等. 蜂胶提取液对猪肉保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 155-157; 161. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2011.12.144.
- [38] 周艳, 曾维伟, 朱筱玉, 等. 嗜酸乳杆菌NX2-6细菌素在猪肉保鲜上的应用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 248-252. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.041.
- [39] 李新福, 张威, 李超, 等. 不同保鲜剂对冷却猪肉品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(13): 183-188; 210.
- [40] MENG Demeng, SUN Xueqing, SUN Shengnan, et al. The potential of antimicrobial peptide hispidalin application in pork preservation during cold storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(6): e14443. DOI:10.1111/jfpp.14443.
- [41] ZHANG Jing, WANG Ying, PAN Daodong, et al. Effect of black pepper essential oil on the quality of fresh pork during storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, 117: 130-136. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.03.002.
- [42] XIONG Ligui, CHEN Yijun, TONG Jiwen, et al. Tea polyphenol epigallocatechin gallate inhibits *Escherichia coli* by increasing endogenous oxidative stress[J]. Food Chemistry, 2017, 217: 196-204. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.08.098.
- [43] 许琦扬, 秦海容, 郭凡, 等. 茶多酚复合衬垫的性能及其对鲜肉的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1): 246-251. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201701041.
- [44] 相洋. 几种天然保鲜剂对冷却猪肉保鲜效果的研究[D]. 厦门: 集美大学, 2015: 5-19.
- [45] 于海燕, 肖杨, 罗永康, 等. 几种天然保鲜剂对冷却猪肉保鲜效果的研究[J]. 肉类研究, 2005, 19(10): 32-35.
- [46] 夏天兰. 天然保鲜剂对冷却猪肉保鲜效果的研究[D]. 成都: 西华大学, 2009: 3-23.
- [47] 周洁, 王璐媛, 王宁泽, 等. 茶多酚在肉制品保鲜中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2018, 32(11): 58-65. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201811010.
- [48] SOULTOS N, TZIKAS Z, ABRAHIM A, et al. Chitosan effects on quality properties of Greek style fresh pork sausages[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1150-1156. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.05.008.
- [49] 韩紫音, 姜惠, 梁焕结, 等. 竹醋液、壳聚糖和茶多酚对冷却猪肉的复合保鲜研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(19): 65-68. DOI:10.13881/j.cnki.hljxmsy.2019.01.0181.
- [50] 曲文娟, 宋雅婷, 张欣欣, 等. 胶原蛋白-壳聚糖膜的制备及其对猪肉的保鲜作用[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 89-98. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.012.
- [51] 徐鑫, 陶宏志, 吴平华, 等. 艾蒿精油-壳聚糖-VE复合涂膜对冷却猪肉的保鲜效果[J]. 枣庄学院学报, 2019, 36(2): 28-35. DOI:10.3969/j.issn.1004-7077.2019.02.005.
- [52] KAEWPRACHU P, BEN A C, OULAHAL N, et al. Gelatin films with nisin and catechin for minced pork preservation[J]. Food Packaging Shelf, 2018, 18: 173-183. DOI:10.1016/j.fpsl.2018.10.011.
- [53] 何叶子, 徐丹, 张春森, 等. 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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171016-135.
- [54] 赵敏, 唐宏刚, 孟祥河, 等. Nisin和壳聚糖协同乳酸对冷却猪肉保鲜效果的影响[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(10): 1817-1821. DOI:10.3969/j.issn.1004-1524.2015.10.24.
- [55] 王建清, 姜楠楠, 金政伟. Nisin/罗勒精油对冷却猪肉的保鲜效果[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 28-31. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2012.01.008.
- [56] YANG Yang, LIU Hangdong, WU Min, et al. Bio-based antimicrobial packaging from sugarcane bagasse nanocellulose/nisin hybrid films[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 161: 627-635. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.06.081.
- [57] YE K, WANG K, LIU M, et al. Mathematical modelling of growth of *Listeria monocytogenes* in raw chilled pork[J]. Letters in Applied Microbiology, 2017, 64(4): 309-316. DOI:10.1111/lam.12721.
- [58] 赵建芬, 董基, 郑钟云, 等. 香茅油抑菌活性及其在猪肉保鲜中的应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2016(2): 112-117. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2016.02.013.
- [59] 任清杰, 王建清, 金政伟. 低温气调包装对鲜猪肉保鲜效果的影响研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 33-36; 48. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2012.09.008.
- [60] 贺羽, 王帅, 金益, 等. 天然保鲜剂对低温肉制品的保鲜作用[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(1): 177-182. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.043.
- [61] ALI A D, JAVAD V, ZOLEIKHA H, et al. Experimental study on classical and metaheuristics algorithms for optimal nano-chitosan concentration selection in surface coating and food packaging[J]. Food Chemistry, 2021, 335: 127681. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127681.
- [62] 杨龙平, 章建浩, 黄明明, 等. 纳米材料在食品包装中的应用及安全性评价[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 19-23; 56. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2015.01.005.
- [63] DOBRUCKA R. Application of nanotechnology in food packaging[J]. Journal of Microbiology, Biotechnology and Sciences, 2014, 3(5): 353-359.
- [64] GUTIERREZ T J, PONCE A G, ALVAREZ V A. Nano-clays from natural and modified montmorillonite with and without added blueberry extract for active and intelligent food nanopackaging materials[J]. Materials Chemistry and Physics, 2017, 194: 283-292. DOI:10.1016/j.matchemphys.2017.03.052.
- [65] WU Zhengguo, ZHOU Wei, PANG Chunsheng, et al. Multifunctional chitosan-based coating with liposomes containing laurel essential oils and nanosilver for pork preservation[J]. Food Chemistry, 2019, 295: 16-25. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.05.114.



- [66] 张慧芸, 何鹏, 李鑫玲, 等. 丁香精油纳米胶囊对冷藏调理猪肉饼品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(3): 259-265. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171113-138.
- [67] 武陶. 山梨酸纳米粒的制备及其在肉品保鲜上的应用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014: 6-23.
- [68] 王旭歌. 壳聚糖包覆精油纳米胶囊的制备及在冷鲜肉中的应用研究[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2015: 5-27.
- [69] 全国芬. 肉桂精油壳聚糖纳米粒的制备及在冷却肉保藏中的应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014: 5-30.
- [70] 张力, 张娟, 王婧, 等. 丁香酚纳米微粒在冷鲜猪肉保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(22): 280-285. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.22.054.
- [71] MASTROMATTEO M, CONTE A, DEL NOBILE M A. Combined use of modified atmosphere packaging and natural compounds for food preservation[J]. Food Engineering Reviews, 2010, 2(1): 28-38. DOI:10.1007/s12393-010-9013-5.
- [72] PENG Y L, ADHIPUTRA K, PADAYACHEE A, et al. High oxygen modified atmosphere packaging negatively influences consumer acceptability traits of pork[J]. Foods, 2019, 8(11): 567. DOI:10.3390/foods8110567.
- [73] NATASHA H, BEATRICE S, EOIN C, et al. Development of a mathematical model to predict the growth of *Pseudomonas* spp. in, and film permeability requirements of, high oxygen modified atmosphere packaging for red meat[J]. Journal of Food Engineering, 2021, 289: 110251. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2020.110251.
- [74] CAO Y, WARNER R D, FANG Z X. Effect of chitosan/nisin/gallic acid coating on preservation of pork loin in high oxygen modified atmosphere packaging[J]. Food Control, 2019, 101: 9-16. DOI:10.1016/j.foodcont.2019.02.013.
- [75] 李诚, 廖敏, 刘书亮, 等. 气调包装及天然保鲜剂对冷却鲜猪肉的保鲜效果研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 307-311.
- [76] JAYATHILAKAN K, KHUDESIA S. Irradiation preservation of meat and meat products and its effect: a review[J]. Journal of Meat Science, 2018, 13(1): 1-17. DOI:10.5958/2581-6616.2018.00001.4.
- [77] 徐艺青, 黄漫青, 董鸿雁, 等. 天然保鲜剂结合辐照保藏鲜猪肉的研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2003(10): 82-83.
- [78] 贺红军, 孙承锋. 生物保鲜和辐射保鲜技术在冷却肉上的应用研究[J]. 肉类研究, 2007, 21(1): 43-46.
- [79] 程述震, 王宁, 王晓拓, 等. 电子束和 γ 射线辐照对冷鲜猪肉保鲜效果的研究[J]. 核农学报, 2016, 30(5): 897-903. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2016.05.0897.