

娄世豪, 李丹丹, 孙小晶, 等. 冷鲜肉防腐保鲜技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(8): 358–365. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040197

LOU Shihao, LI Dandan, SUN Xiaojing, et al. Research Progress in Anti-corrosion and Preservation Techniques for Chilled Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(8): 358–365. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040197

· 专题综述 ·

冷鲜肉防腐保鲜技术研究进展

娄世豪¹, 李丹丹^{1,2,*}, 孙小晶¹, 高山¹, 韩雪¹, 李莹³, 修建华³, 王俊峰⁴

(1. 河北科技大学食品与生物学院, 河北石家庄 050000;

2. 河北省山楂产业研究院, 河北承德 067000;

3. 河北省山楂加工技术创新中心, 河北承德 067000;

4. 承德鑫澳食品有限公司, 河北承德 067000)

摘要: 冷鲜肉由于在价格以及营养等方面具有优点, 而广受大众青睐。但其在屠宰、加工、销售等环节易受微生物的污染, 颜色、气味等品质也易发生变化造成货架期短等问题, 制约了冷鲜肉行业的进一步发展。而在人口众多的中国, 肉类消费水平一直处于世界前列, 肉类贮藏、维持肉类及其制品的品质始终是亟需解决的问题。因此, 防腐保鲜技术在我国肉类食品中显得尤为重要, 其在肉类食品行业的发展中, 具有广泛的应用前景。本文综述了冷鲜肉腐败变质的主要原因, 包括微生物的污染、脂质氧化和肌红蛋白的变色, 且对化学保鲜技术如有机酸类、微生物代谢产物类等技术和物理保鲜技术如包装技术、辐照技术等及其防腐机理进行阐述; 另外列举了其在肉类保鲜中的应用现状, 分析了保鲜技术的优点及其在应用中存在的局限性, 并对未来保鲜技术做出展望, 以期冷鲜肉的防腐以及保鲜技术的进一步深入研究提供一定的理论基础。

关键词: 冷鲜肉, 腐败变质, 保鲜技术, 防腐机理, 应用现状

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)08-0358-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040197



本文网刊:

Research Progress in Anti-corrosion and Preservation Techniques for Chilled Meat

LOU Shihao¹, LI Dandan^{1,2,*}, SUN Xiaojing¹, GAO Shan¹, HAN Xue¹, LI Ying³,
XIU Jianhua³, WANG Junfeng⁴

(1. College of Food and Biology, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050000, China;

2. Hebei Hawthorn Industry Research Institute, Chengde 067000, China;

3. Hebei Hawthorn Processing Technology Innovation Center, Chengde 067000, China;

4. Chengde Xin'ao Food Co., Ltd., Chengde 067000, China)

Abstract: Chilled meat is favored by consumers because of its fresh, low price and high nutritive value. However, it is susceptible for microbial contamination in slaughtering, processing, marketing and other links, as well as the change of its color, odor and other qualities, which results in short shelf life, even losing its edible value and other problems of chilled meat, restricting the further development of the fresh meat industry. Therefore, the preservative preservation technology is particularly important in China's meat food, and it has a wide range of application prospects in the development of meat food industry. This paper describes the main reasons for the corruption and deterioration of chilled meat, including microbial contamination, lipid oxidation and discoloration of myoglobin. Besides, it elaborates on chemical preservation technologies such as organic acids, microbial metabolites and physical preservation technologies such as packaging technology, irradiation technology, etc., and their anticorrosion mechanisms. In addition to enumerating the status quo of its application in the preservation of meat, analyzing the advantages of preservation technology and its limitations in the

收稿日期: 2023-04-21

作者简介: 娄世豪 (2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工技术, E-mail: 1798490853@qq.com。

* 通信作者: 李丹丹 (1981-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 81536487@qq.com。

development, and making future research proposals for the development of meat food. In addition, it lists the current status of its application in meat preservation, analyzes the advantages of the preservation technology and its limitations in application, and makes prospects for future preservation technologies, with a view to providing a certain theoretical basis for the further in-depth research on the preservation technology for the preservation of the preservation of cold meat as well as the preservation of fresh meat.

Key words: chilled meat; corruption and deterioration; preservation technology; anti-corrosion mechanism; current status of application

随着国家经济飞速发展,以及国家政策的大力支持,中国生猪产业取得了显著的成效,我国猪肉的产量也处于稳定增长的阶段。另外,我国是全世界最大的生猪生产国和最大的猪肉消费国,我国猪肉的产量和消费量分别占据全球的 44.7%、49.3%^[1]。此外,中国是澳大利亚重要的牛肉出口国之一,且中国已跃居成为澳大利亚牛肉对外出口国排名第三位^[2]。在巴西对外出口的鸡肉、牛肉和猪肉中,中国进口量也稳居前三名。由于疫情冲击,近两年中国肉类市场走势接连下降,但中国猪肉消费依旧占据了全球的一半^[3]。而伴随大量肉类不断地流入市场,降低安全风险、确保食品质量和发展肉类保鲜技术也显得尤为重要。

随着肉制品消费时代的到来,从高温迈向低温,也成为肉类行业发展的共识,冷鲜肉的概念也开始被人们熟知。冷鲜肉也称为冷却肉,是指在低于 0℃ 环境下,将肉中心温度降低到(0~4℃),而不产生冰结晶的肉^[4]。且由于人们收入的增长和生活水平的不断提高,人们对食用冷鲜肉的安全更加看重^[5-6]。消费者对食品的偏好逐渐从诱人的价格和方便演变成健康、安全高质量,这就促使了先进、安全、有效的保鲜技术飞速发展。

肉类以及其制品的防腐保鲜,已成为研究的热门话题。冷鲜肉温度和其生物成分的组成以及储存温度、大气氧气、内源酶、自由度、光照和微生物的相互作用,皆会造成冷鲜肉的腐败且影响其货架期^[7]。肉类产业的发展趋势必将是品质佳、卫生好的冷鲜肉。如何延长冷鲜肉的贮藏时间,确保冷鲜肉品质的保鲜技术依旧是现代研究的热点。

本文在总结现代冷鲜肉保鲜技术的基础上,总结现代冷鲜肉的保鲜技术,列举相关技术在应用方面的研究现状和进展进行了综述,以期延长冷鲜肉的货架期,探索更高效的冷鲜肉保鲜方式提供参考依据。

1 冷鲜肉腐败变质的原因

肉类变质在广义上被定义为使肉类不受欢迎或无法食用的动态过程,通常通过物理损坏、化学变质以及质地和外观损失(例如异味、粘液或变色)来判断。

冷鲜肉成分复杂,其中含有碳水化合物、维生素和无机盐,以及较为丰富的蛋白质、脂肪等物质^[8]。脂质的氧化会对冷鲜肉的质量产生不良影响。此外,

蛋白质、脂肪还会不断被作用在其本身上的蛋白酶、脂肪酶降解和氧化生成小分子物质挥发^[9]。而微生物则利用这些营养素进行生长繁殖,破坏冷鲜肉内部环境。这些原因都会影响肉类保鲜,使得肉类腐败。

1.1 微生物污染及生长繁殖

微生物肉类腐败是肉类产品生产、分销和储存过程中巨大损失的原因,约占总食物损失的 21%^[10]。肉类的微生物污染分为内源性和外源性污染,包括自身存在的微生物和加工过程中受环境影响引起的微生物污染^[11]。

冷鲜肉的成分丰富,包括了水分、脂质、蛋白质、碳水化合物、含氮提取物以及少量矿物质和维生素等。而这些丰富的组成成分作为微生物的营养物质,为微生物的生长提供了合适的条件,因此受微生物生长和繁殖的影响,会损害冷鲜肉品质并影响其货架期。

肉类中的微生物种类繁多,各种环境下都可能存在造成肉类腐败变质的微生物。微生物的存在会造成冷鲜肉发生各类化学反应,产生不良影响,例如 pH 的下降,而 pH 下降又反过来为微生物的生存提供适宜的条件。微生物引起的腐败变质是肉类腐败变质的主要原因。防止微生物对肉类的污染,更多的研究应该集中在肉类的整体基质和微生物群的影响上,而不仅仅是包装、温度和单一细菌种类。

1.2 脂肪氧化酸败

脂质氧化是不饱和(含双键)脂肪酸与分子氧的反应,导致脂肪酸败和变质。蛋白质氧化会诱导肉类发生显著变化,影响其营养(例如,蛋白质消化率降低和氨基酸损失)、功能(例如溶解度、持水能力和酶的失活)和感官(例如颜色、风味、质地和多汁性)特性。

冷鲜肉内的蛋白质和脂肪,在自身的蛋白酶和脂肪酶以及不同细菌繁殖产生的蛋白酶和脂酶的作用下,导致挥发性盐基氮增加,形成小分子的多肽、氨基酸、氨、酸和醛等类和其他游离物质^[12]。而这些东西在肉类中积累的同时,使肉释放出臭味等刺激性气味。并且这种氧化的自动开始,需要氧气的耗尽或自由基之间的相互结合而停止。另外微生物自我氧化也是造成脂肪氧化的原因之一。

1.3 肌红蛋白的变色

在选择肉类产品时,颜色是一个非常重要的因素,而肌红蛋白是肉制品中的主要着色物质^[13]。而存

在于线粒体中的脯氨酸羟化酶和低毒性诱导因子对肌红蛋白的表达具有正向调节作用,且线粒体呼吸作用对肌红蛋白的降低具有催化作用^[14]。储存时间的增加可能导致线粒体结构损伤和膜含量的变化,从而导致氧合肌红蛋白含量和肉色的变化。

阻止或延缓肉类腐败,延长肉类及其制品货架期,首要条件是控制微生物的数量,抑制微生物的生长繁殖。其次,辅以合适的贮藏技术,延缓肉类脂肪氧化酸败反应的发生,同时保护肉色以及冷却肉的品质与卫生安全。

2 冷鲜肉的贮藏保鲜技术

2.1 化学保鲜

化学保鲜就是在食品生产和贮运过程中使用食品保鲜剂提高食品的耐贮藏性和尽可能保持它原来品质的措施。而食品保鲜剂是指用于防止微生物繁殖在储存和流通过程中的传播,提高食品货架期而在食品中使用的物质^[15]。随着现代防腐技术的不断发展与更新,保鲜剂的种类越来越繁多。根据其来源,主要分为有机酸类、微生物代谢产物和其他天然保鲜剂三个种类,其中代表性物质及主要优缺点如表 1 所示。

2.1.1 有机酸类 目前,常用于冷鲜肉防腐的有机酸类保鲜剂包括柠檬酸、乳酸、抗坏血酸、山梨酸以及其盐类和硝酸盐类。

李栋等^[16]研究了柠檬酸对冷鲜猪肉的保鲜效果,表明从 1%~3% 质量浓度的柠檬酸作用于冷鲜肉中有显著保鲜效果,可以有效降低冷鲜肉菌落总数、挥发性盐基氮、硫代巴比妥酸,延缓 pH 上升,使冷鲜肉的保持期由 3 d 延长到 7 d。瞿朝霞等^[17]证实了乳酸钠应用于冷鲜肉的冷藏保鲜,可有效延长肉类冷藏保鲜的货架期。且乳酸钠在冷鲜肉中有效保鲜的质量浓度是 3%。李月番等^[18]探究了 D-异抗坏血酸钠可能对冷却牛肉的保鲜效果产生的一些影响,将冷却牛肉放置在不同浓度的 D-异抗坏血酸钠中处理,实验数据显示, D-异抗坏血酸钠能够有效抑制冷却牛肉中微生物的生长繁殖,减缓挥发性盐基氮的升高,阻碍脂质的氧化速度,使得冷却牛肉的货架期得以延长。Jia 等^[19]研究了乳酸链球菌素和山梨酸钾添加量对羊肉脂质和营养品质的影响,通过对两种化学保鲜剂的对比验证,结果表明两种添加剂对羊肉保质期的延长均具有效果。Ogden 等^[20]使用有机酸组

合对肉类进行酸处理,结果表明,丙酸和抗坏血酸的结合可以在 25 ℃ 下保持肉类的微生物质量和脂质氧化 3 至 5 d。Giménez 等^[21]研究了化学保鲜剂和高静水压作用下牛肉制品的理化特性和质量参数,开发出新的工艺,将新鲜牛肉浸泡在含有抗坏血酸、亚硝酸钠和氯化钠的化学保鲜剂中,再使用高静水压技术,最终使得牛肉经过高静水压处理而不会对其颜色产生有害的影响,且最大限度地降低亚硝酸钠的浓度,保持微生物的稳定性和增加牛肉的贮藏时间。

由于食品固有特性或微生物污染,食品的质量变差甚至带来安全问题。已经采用了不同的方法来克服这些问题。使用防腐剂就是这样一种方法。有机酸可以方便、高效的达到肉类保鲜和延长货架期的目的,在冷鲜肉保鲜方面应用广泛。但是由于有机酸的种类繁多且适用范围不一,以及不同有机酸的添加量和添加时机等原因,使得有机酸的添加是盲目的,反而使得其对食品本身产生了危害。另外,有机酸还受到食品水分活度、食品成分等条件的影响,大大限制了其本身的发展。且合成防腐剂的安全性和毒理学问题以及消费者的意识,对有机酸的发展是一个很大的挑战。

2.1.2 微生物代谢产物 微生物代谢产物主要是乳酸链球菌肽(Nisin)和细菌素等,具有抗菌性、高效性、天然性及相对安全性等优点。

目前已有很多研究指出,乳酸链球菌素作用于微生物的时候,对它们的生长繁殖产生了具有良好的抑制作用。孙林等^[22]研究了乳酸链球菌素和迷迭香提取物对切片羊肉的保鲜效果,多次实验结果表明,0.50 g/kg Nisin 处理组贮藏至 7 d 时的挥发性盐基氮含量最低,切片羊肉腐败程度也低。Sabo 等^[23]研究评估了乳酸链球菌肽与有机酸联合控制由枯草芽孢杆菌作用引起的肉类腐败的功效。研究提出,使用乳酸链球菌肽-有机酸的混合物可以作为肉类样品中针对枯草芽孢杆菌的可能防腐剂,控制由于储存期间微生物活动引起的肉类变质方面显示出潜在的应用。另外证明了混合物可有效防止处理样品中的大量颜色变化。此外,Wu 等^[24]提出的观点也证明在新鲜肉制品中直接添加游离乳链菌肽的效果明显并被广泛研究。且当抗菌剂组合使用时,在保持肉类样品的微生物质量方面比单独使用具有更强的效果。Kumar 等^[25]提出细菌素不仅对细菌具有抗菌特性,

表 1 主要化学保鲜剂

Table 1 Major chemical preservatives

类别	保鲜剂	优点	缺点
有机酸类	柠檬酸	天然防腐剂,分布范围广	一般不能直接杀死细菌,而是产生抑制作用
	山梨酸	被人体摄入后可以参与正常的氧化代谢,且毒性小	对污染的食品效果不明显,可能作为碳源被微生物利用加速生长
微生物代谢产物	Nisin	在人体中易于水解,不易产生抗性,安全性高	对革兰氏阴性菌和酵母等影响很弱,对于污染严重的原料是无效的,且活性受pH影响较大
其他天然保鲜剂	溶菌酶	化学性质非常稳定,无毒性	抗菌范围有限,单独使用仅限于微生物种类有限的食品
	大蒜提取物	抗菌谱广、抑菌性强,且无毒、无副作用	稳定性差,易降解,提取和保存困难

并且作为肉类防腐保鲜剂的效果比化学保鲜剂更有前途。此外细菌素的另一个趋势则是应用于抗菌包装中。

目前乳酸链球菌素在肉类工业中的应用主要集中在与天然植物保鲜剂的结合上,这可能产生感官变化并与其他化合物相互作用。由于乳酸链球菌素可以与新鲜和加工肉制品中的化合物相互作用并被蛋白酶降解,因此乳酸链球菌素的应用有时受到限制。

2.1.3 其他天然保鲜剂 其他天然保鲜剂包括植物源、动物源两大类。

2.1.3.1 植物源保鲜剂 常见植物源保鲜剂包括大蒜、生姜、洋葱、丁香和香辛料等类的提取物以及茶多酚和植物精油等。

崔海燕等^[26]研究了大蒜提取物对冷鲜牛肉的保鲜效果,选取不同浓度的大蒜提取物进行对照实验,结果显示大蒜提取物可以降低冷鲜牛肉储存中的硫代巴比妥酸、挥发性盐基氮及菌落总数,对冷鲜牛肉的贮藏和保鲜有良好作用。且 2% 质量浓度的大蒜提取物效果最佳。张强等^[27]和曹莹莹等^[28]分别研究了洋葱、生姜、大蒜和丁香提取物对猪肉的保鲜效果并提出洋葱、生姜、大蒜和丁香提取物对猪肉的保鲜都具有明显的效果。并有效延长冷鲜肉的货架期,且至少延长 12 d 的保质期。通过多次试验,朱明涛等^[29]得出,丁香、八角和白芷提取物对冷却牛肉贮藏过程中因微生物生长繁殖而产生的腐败变质现象可以进行有效的抑制,并阻碍了挥发性盐基氮和菌落总数的上升,增加了冷却牛肉的贮藏时间,且其中维持冷却牛肉品质具有最好效果的是白芷提取物。Bing 等^[30]探讨微酸性电解水和茶多酚组合用作牛肉保鲜。与对照组相比,茶多酚组合抑制了牛肉中的脂质氧化和微生物生长,此外结果表明,牛肉保质期延长了至少 4 d,与茶多酚结合是延长牛肉冷藏货架期的有前景的方法。通过对比冷藏、过冷藏与天然提取物,Cao 等^[31]发现了过冷与天然提取物相结合的技术可以延缓牛肉的 pH 上升,同时抑制蛋白质和脂质氧化,并降低了总挥发性盐基氮的产生。该贮藏方法将牛肉的保质期延长至 24 d。除此以外,Wang 等^[32]研究制备出增强精油性能的微胶囊化,通过环糊精金属有机骨架微胶囊化丁香精油。结果表明,微胶囊化后的丁香精油稳定性和抗氧化性都有不同程度的提高,且对中式培根(腌制肉制品)的保鲜效果增强。

各种植物提取物都是天然保鲜剂的良好来源,以及它们本身所特有的性质,对食物来说都是优质的保鲜剂。对于保鲜剂来说,植物提供了更好的选择,因为它们大量存在,并且是生物活性化合物的丰富来源,这些化合物可以在各种食品中充当天然防腐剂。基于种种原因,人们也在不断探索新的植物源的自然保鲜剂,并尝试将不同种类的保鲜剂组合,在不影响原有性质的基础上,以提高原有保鲜剂的效果。

2.1.3.2 动物源保鲜剂 壳聚糖、溶菌酶以及抗菌肽

等物质通常作为动物源保鲜剂的代表。卢航等^[33]探讨了鲜猪肉在冷藏期间,添加壳聚糖(Chitosan, CS)和生姜提取物(Ginger Root Extract, GE)对保鲜效果的影响。对理化指标和微生物指标进行了测定,结果表明壳聚糖和生姜提取物均能延缓冷鲜肉的腐败变质,对冷鲜肉的保鲜效果明显且其货架期也得到延长。Rao 等^[34]通过使用壳聚糖辐射产生的低聚糖来增强溶菌酶的抗菌谱。在肉类模型系统中进行测试时,联合处理导致完全消除大肠杆菌、荧光假单胞菌和蜡芽芽孢杆菌,并降低了包装接种和储存研究中金黄色葡萄球菌细胞的数量。结果这证明含有壳聚糖和溶菌酶混合物的羊肉在冷藏温度下保质期延长至 15 d。Meng 等^[35]研究了抗菌肽在猪肉保鲜中的应用潜力。抗菌肽有效抑制了生鲜猪肉在 4 ℃ 贮藏过程中菌群的生长,显著降低了生鲜猪肉 pH、总挥发性碱性氮和硫代巴比妥酸反应物质的增加。因此,新鲜猪肉保持了其理想的感官特性。Przybylski 等^[36]研究了抗菌肽作为防腐保险剂在肉类中的应用,研究结果证实了抗菌肽的抗菌性和作为保鲜剂的潜力,且抗菌肽可以抑制脂质的氧化和阻碍酵母菌、霉菌的生长,同时对大肠菌群的增殖产生影响,保证了肉类在贮藏过程中的良好品质。

动物来源的天然防腐剂,包括壳聚糖、抗菌肽等,这些防腐剂具有抗菌和抗氧化特性,可以延缓腐败变质,维护产品质量和安全,并延长肉类的储存保质期。壳聚糖已成功用于食用涂料、薄膜包装和浸渍解决方案。其他动物源保鲜剂也在满足市场要求的基础上对肉类的防腐保鲜产生了深远影响。

其他天然类的保鲜剂具有安全性高、有益健康和保鲜效果显著等应用特点,适合应用于冷鲜肉保鲜中。然而,不同类型的天然保鲜剂会对冷鲜肉的质量产生不同的影响,包括其颜色、质地和营养成分。且某些条件下对保持冷鲜肉品质的作用会随着时间的推移而减弱。

天然保鲜剂中动物源保鲜剂提取工艺复杂,部分植物源保鲜剂由于自身气味强烈,会对食品本身的风味产生影响。某些天然保鲜剂是直接从生物体中选择和分离的,但作用于冷鲜肉保鲜的物质和结构尚不清楚,且提取得到的保鲜剂存在作用效果单一、与食物成分发生反应等缺点,而使得大部分天然保鲜剂的应用被限制。

2.2 物理保鲜

目前,除了普遍使用的冷冻低温保鲜技术以外,最常用于冷鲜肉的贮藏保鲜研究中的物理保鲜技术还包括了包装技术以及纳米新材料保鲜技术、辐射保鲜技术、超高压保鲜技术等。

2.2.1 包装保鲜技术 食品包装作为传统的保鲜技术对食品具有物理屏障的效果,确保食品在保质期内的安全和质量,保护产品免受不利条件(如光、湿度和温度)的影响,便于运输和储存等阶段,减少食品损

失和浪费,在一定程度上保证了食品的新鲜度,从而延长了食品的货架期。现代包装技术包括了真空包装、气调包装以及其他活性包装等种类。

2.2.1.1 真空包装保鲜技术 真空包装的本质就是从微生物生长条件入手,创造不利于微生物生长的生活条件(降低包装内氧气含量,维持袋内处于高度减压状态),对微生物的生长起到抑制作用,从而保证食品的品质和新鲜度。

郭荣珍等^[37]分别研究了真空包装在内的几种包装方式,探究不同的包装在水牛肉冷藏过程中对牛肉品质特性的影响,对以水牛肉为原料的肉样,经过不同形式包装的处理,测定水牛肉在低温冷藏过程中颜色、理化性质、挥发性盐基氮值、羰基含量、菌落总数和大肠菌群数等指标。确定了真空包装对维持水牛肉的色泽和保水性具有良好效果,还能抑制蛋白质的氧化。另外几种包装形式中,对水牛肉的品质保持效果最好的是真空包装。Mikaela等^[38]对真空包装的新鲜肉块在4℃下储存过程中的微生物质量和安全性进行研究,最终得到结论,真空包装的鲜肉结合冷藏技术可以更加有效地限制腐败和致病菌的增加。Duran等^[39]对比研究了真空包装和壳聚糖涂层对牛肉微生物的影响,分别测定了牛肉中的总中温需氧菌、金黄色葡萄球菌、乳酸菌、硫代巴比妥酸值和总挥发性盐基氮含量,发现了真空包装由于环境中氧气的去除,脂质氧化减缓。此外,研究结果也显示壳聚糖涂层和真空包装共同使用比单一真空包装的效果更加明显。Gertzou等^[40]的研究也证实了真空包装对肉类的保鲜作用。

2.2.1.2 气调包装保鲜技术 基于真空包装保鲜技术的原理,气调包装保鲜技术同样是通过改善微生物生长环境来达到抑制微生物生长,延长食品货架期的目的。使用CO₂、N₂等气体或其相互组合,破坏微生物生长条件,从而防腐保鲜。

周立等^[41]和Kandeean等^[42]则是分别探讨了不同气调包装中气体的组成以及含量对保鲜效果的影响,确定了CO₂、N₂和O₂等气体在气调包装中都具有防腐保鲜作用,可以将肉类的保质期延长至15 d,且CO₂对羊肉的保鲜效果最好。Mao等^[43]研究了超声波和气调包装对酱鸭贮藏的影响,结果表明气调包装能抑制酱鸭肉中总活菌数的增长速率和理化参数(硫代巴比妥酸反应性物质、pH和总挥发性碱性氮)的恶化。此外,Bassey等^[44]对气调包装猪肉的微生物技术检测结果也证明了气调包装的作用。

此外,Zhang等^[45]通过将抗菌剂(壳聚糖或溶菌酶)共价固定到聚乳酸薄膜上来开发一种非迁移活性包装材料。用等离子体处理聚乳酸薄膜表面生成羧基,然后将抗菌剂共价固定在改性薄膜表面,可在包装技术中产生抗菌效果。Qian等^[46]首次制备了纳米纤维素混膜,并对其进行了表征。它延缓了微生物的生长,并将冷冻肉的保质期延长至12 d。Zhang

等^[47]采用自由基接枝法制备单宁酸-壳聚糖偶联物。涂层抑制微生物生长、脂质和蛋白质氧化,提高了壳聚糖的抗菌和抗氧化性能。研究表明,涂层显著延长了猪肉片的货架期,在维持鲜肉贮藏质量方面具有相当的前景。Zhu等^[48]研究了玉米淀粉混合薄膜的作用及其理化性质,结果表明其对金黄色葡萄球菌具有抑菌能力和延长了猪肉的保质期。总体而言,复合薄膜可以抑制细菌的生长,并有可能成为一种新型的环保包装材料。

虽然真空包装和气调包装作为包装保鲜技术已经广泛应用,但依旧存在一些缺点和问题。首先,真空包装可以在一定程度上延长肉类及其制品的货架期,但真空条件可能会影响肉类的颜色,增加肉品汁液的损失,降低肉品的食品价值。其次,气调包装的前提是改变气体环境,且对人体无害,不仅需要严格封闭,还需要对所使用的包装气体严格要求。如果封闭有问题,很容易导致内部气体泄漏或外部微生物进入,减少肉类及其肉制品的新鲜度和货架期。另外真空包装和气调包装依赖于先进的包装机械。控制低氧浓度以抑制需氧微生物生长的技术可能导致厌氧微生物生长的开始,所以说,真空和气调两种技术依旧需要对其工艺进行优化改良。

由对环境可持续性的认识不断提高,使用替代包装材料被视为潜在的措施。而食品包装过程中应用的新解决方案活性包装,其主要障碍仍然是包装材料的安全性和有效性。主要技术问题是在添加活性物质后保持包装材料的机械和阻隔性能。

2.2.2 辐射保鲜技术 紫外线辐射作为食品中很有前途的一种微生物灭活的非热技术,它的高效和环境友好性使研究人员能够利用紫外线来绕过传统程序的限制。作为一种有效的灭菌技术,在一定条件下可以有效地破坏致病菌的遗传物质,使DNA分子解离形成嘧啶二聚体,从而使病原体失活。

王国霞^[49]探究了不同辐照处理对冷鲜猪肉微生物的杀灭效果,以及4℃贮藏过程中其理化指标、感官评分和货架期的影响。研究显示,辐照通过灭活冷鲜猪肉中致腐能力强的假单胞菌属来延缓冷鲜猪肉的腐败变质,从而保持冷鲜猪肉贮藏过程中的品质并延长货架期。Yang等^[50]研究了低能电子束辐照对冷藏和超冷藏条件下真空包装猪肉品质和保质期的影响,探讨不同能级(0、8、12 kGy)的低能电子束(0.2 MeV)对真空包装猪肉在冷藏和超冷藏条件下储存30 d的质量和保质期的影响。结果表明辐射与超冷贮藏结合使用,可以保持猪肉品质,延长真空包装猪肉的保质期。Kanatt等^[51]证明了辐射加工对肉制品的保质期和安全性具有影响,辐射处理会导致微生物数量下降和葡萄球菌被完全消除。另外与未辐照的样品相比,3 kGy的辐照使肉制品的储存寿命延长了两周,且3 kGy的剂量被发现是延长保质期的最佳剂量。Hassanzadeh等^[52]研究了鲜肉贮藏过程

中辐照与壳聚糖涂层对鲜肉贮藏的影响。结果表明,与对照相比,所有处理样品中保存的鲜肉的质量显著提高,样品的保质分别期延长至 14、21 d。

辐照技术虽已被证明能有效减少肉制品表面的病原微生物,延长保质期,对肉类的新鲜程度影响不大或没有影响。但是,单次使用紫外线处理通常无法穿透食物基质内部。另外,高剂量辐照处理后的肉制品可能会发生一系列氧化过程,影响产品质量。同时,电离辐射处理不适合改变肉类及其制品的物理和化学性质,对感官质量和营养成分(如颜色、味道、质地等)产生些许的不良影响,严重情况下会散发出“辐照味”使人们感到不悦。

2.2.3 超高压保鲜技术 超高压(Ultra-High Pressure, UHP)是一种非热加工技术,以 100~1000 MPa 的压力来灭活食源性酶并实现杀菌。同时,超高压可以改变食品成分的物理化学性质。

锁冠文等^[53]对超高压保鲜在水果、肉类以及乳制品等的应用进行了阐述,说明了超高压技术可以使微生物菌落总数达到国家标准要求,另外对延长鲜肉及肉制品保质期,提高鲜肉质量有很大的作用,同时可以降低蒸煮损失、肌肉乳酸水平,保持胶原含量。王晶^[54]研究了超高压在肉类、水产品以及水果贮藏期间感官特性、菌落总数和理化指标的变化情况,证实了畜产品的最优处理条件为 600 MPa、10 min,能将猪、牛、羊肉货架期从 6 d 分别延长至 21、18 和 21 d。

尽管超高压技术有一定的优点,但它也有一些缺点,因为高压可能会导致蛋白质变性和变色。已有研究表明,经 200~300 MPa 处理的水产品,可能与内源酶和微生物的作用有关,使得其在贮藏后期品质下降。据报道,超高压技术会导致食物的脂质氧化,诱发肉制品的色泽劣变,影响感官质量。另外超高压技术需要大型设备的支持,投入费用较高,不适合大面积普及。且对于保鲜的食品来说,由于组成成分等的不同,对超高压保鲜技术的效果也会产生很大的影响。而在商业上,它涉及分批工艺,这对产品处理不方便。

3 结论与展望

本文综述了现代常用以及热门研究的保鲜技术,除上述保鲜技术外,还有正在研究中的新型材料和综合栅栏技术等。通过应用这些新技术来满足日益增长的需求,通过适当控制产品的卫生条件和温度,以及适当选择和使用保鲜剂,冷鲜肉的储存寿命可以大大延长。但是大多数保鲜技术还处于发展阶段,正在逐步探索,随着科学研究,必将使冷鲜肉保鲜技术更上一层楼。

此外,由于单一技术的局限性,越来越多人们将目光和研究方向放到了两种或多种保鲜技术的结合上来,综合运用,相互补充,以便更快速、更便捷、更高效地实现保鲜的效果。其中 HT(也称为组合方

法,组合过程,组合保存,组合技术或屏障技术)提倡有意识地结合现有和新颖的保鲜技术,以建立一系列防腐因子(障碍),来提高食品的微生物稳定性和感官质量以及它们的营养和经济特性。

作为研究重点的冷鲜肉保鲜技术,虽然正在逐步发展并应用,但仍旧存在许多急需解决的问题,包括新型保鲜剂的提取,新包装材料的开发,复合技术的研究以及相关法规以及措施的制定和标准化等,加快保鲜技术的研究力度,更快、更好地应用于冷鲜肉及其他食品的保鲜。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 汪辉. 生猪屠宰行业趋向集中[J]. 农经, 2019(11): 36-39. [WANG Ye. Hog slaughtering industry tends to be concentrated[J]. Agriculture Economics, 2019(11): 36-39.]
- [2] 国家肉牛牦牛产业技术体系饲料营养价值评定岗位专家万发春团队. 澳大利亚 2018 年肉牛产业发展概况[J]. 中国畜牧业, 2020(13): 51-53. [National beef cattle and yak industry technology system feed nutritional value assessment post expert Wan Fachun team. Overview of the development of beef cattle industry in Australia in 2018[J]. China Animal Industry, 2020(13): 51-53.]
- [3] 石自忠, 李俊茹, 胡向东. 中国猪肉市场供需的疫情冲击效应[J]. 农业技术经济, 2023(3): 4-17. [SHI Zizhong, LI Junru, HU Xiangdong. Epidemic shock effects on supply and demand in the Chinese pork market[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2023(3): 4-17.]
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19480-2009 肉与肉制品术语[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee. GB/T 19480-2009 Meat and meat products terminology[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2009.]
- [5] ZHOU J H, SHEN Y, ZHENG Y Q. Consumers' cognitive bias and willingness to pay for chilled pork: Evidence from science experiments and auctions in China[J]. Food Control, 2022, 141: 109169.
- [6] ZHAO J F, LIU R, SUN Y P, et al. Tracing enterococci persistence along a pork production chain from feed to food in China[J]. Animal Nutrition, 2022, 9: 223-232.
- [7] REN Q S, FANG K, YANG X T, et al. Ensuring the quality of meat in cold chain logistics: A comprehensive review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 119: 133-151.
- [8] MAO X R, BASSEY A P, SUN D F, et al. Overview of Omics applications in elucidating the underlying mechanisms of biochemical and biological factors associated with meat safety and nutrition[J]. Journal of Proteomics, 2023, 276: 104840.
- [9] BEKHIT A A, HOLMAN B, GITERU S G, et al. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 280-302.
- [10] SHAO L T, CHEN S S, WANG H D, et al. Advances in understanding the predominance, phenotypes, and mechanisms of bac-

- teria related to meat spoilage[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 118(PB): 822–832.
- [11] 武丹, 李晓. 冷鲜肉保鲜过程中的微生物污染及其预防措施[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 320–325. [WU D, LI X. Microorganism contamination in the process of preservation of chilled fresh meat and its preventive measures[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(21): 320–325.]
- [12] 顾赛麒, 鲍嵘斌, 冯媛, 等. 肉类和水产制品脂质光氧化机制及其影响因素[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(24): 271–278. [GU Saiqi, BAO Rongbin, FENG Yuan, et al. Mechanism of lipid photo-oxidation in meat and aquatic products and its influencing factors[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(24): 271–278.]
- [13] MA Guoyuan, WANG Zhuo, YU Qunli, et al. Effects of low-dose sodium nitrite on the structure of yak meat myoglobin during wet curing[J]. Food Chemistry: X, 2022, 15.
- [14] 黄卉, 孙中宇, 魏涯, 等. 红色肉贮藏期间肌红蛋白与肉色变化研究进展[J]. 南方水产科学, 2020, 16(3): 119–124. [HUANG Hui, SUN Shenyu, WEI Ya, et al. Progress of research on myoglobin and meat color changes during storage of red meat[J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(3): 119–124.]
- [15] 肖丽平, 李临生. 抗菌防腐剂(Ⅰ)抗菌防腐剂的历史、定义与分类[J]. 日用化学工业, 2001(5): 55–57. [XIAO Liping, LI Linsheng. Antimicrobial agents(Ⅰ) the history, concept and classification of antimicrobial agents[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2001(5): 55–57.]
- [16] 李栋. 柠檬酸对冷鲜猪肉保鲜效果的研究[J]. 吕梁学院学报, 2016, 6(2): 39–41. [LI Dong. Study on the effect of citric acid on the preservation of chilled pork [J]. Journal of Lüliang University, 2006(2): 39–41.]
- [17] 瞿朝霞, 何伶俐, 陈湘湘, 等. 乳酸钠对冷鲜肉保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(9): 107–111. [QU Zhaoxia, HE Lingjing, CHEN Xiangxiang, et al. Effect of sodium lactate on the preservation effect of cold meat[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(9): 107–111.]
- [18] 李月番, 高莉, 王敬臣, 等. D-异抗坏血酸钠对冷却牛肉的保鲜效果研究[J]. 中国高新技术, 2018, 1(20): 26–28. [LI Yuefan, GAO Li, WANG Jingchen, et al. Study on the effect of sodium D-isoascorbic acid on the preservation of cooled beef[J]. China High and New Technology, 2018, 1(20): 26–28.]
- [19] JIA W, WU X X, LI R T, et al. Effect of nisin and potassium sorbate additions on lipids and nutritional quality of Tan sheep meat[J]. Food Chemistry, 2021, 365: 130535.
- [20] OGDEN S K, TAYLOR A, DODD C, et al. Preservative effect of combined propionic and ascorbic acids on pork meat stored at 25-degrees-c[J]. Journal of Food Protection, 1997, 60(8): 935–942.
- [21] GIMÉNEZ B, GRAIVER N, CALIFANO A, et al. Physico-chemical characteristics and quality parameters of a beef product subjected to chemical preservatives and high hydrostatic pressure[J]. Meat Science, 2015, 100: 179–188.
- [22] 孙林, 闫晓斌, 李诗萌, 等. 乳酸链球菌素和迷迭香提取物对调理切片羊肉保鲜效果研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(2): 147–155. [SUN Lin, YAN Xiaobin, LI Shimeng, et al. Study on the effect of lactic acid streptococcus and rosemary extract on the preservation of seasoned sliced lamb[J]. China Food Additives, 2023, 34(2): 147–155.]
- [23] SABO Y A, SUDARAT R, NAFIU J U, et al. Synergistic effect of Nisin with acetic and propionic acids inactivates *Bacillus subtilis* on meat and potato[J]. Biocatalysis and Agricultural Bio-technology, 2022, 41: 102317.
- [24] WU J J, ZANG M W, WANG S W, et al. Nisin: From a structural and meat preservation perspective[J]. Food Microbiology, 2023, 111: 104207.
- [25] KUMAR D V, MAMTA T, SMITA S, et al. Bacteriocins as antimicrobial and preservative agents in food: Biosynthesis, separation and application[J]. Food Bioscience, 2022, 46: 101594.
- [26] 崔海燕, 牛选民. 大蒜提取物对冷鲜牛肉保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2022, 47(5): 159–164. [CUI Haiyan, NIU Xuanmin. Study on the effect of garlic extract on the preservation of cold beef[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(5): 159–164.]
- [27] 张强, 孙玉军, 蒋圣娟, 等. 洋葱、生姜、大蒜提取物对冷却肉保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 310–314. [ZHANG Qiang, SUN Yujun, JIANG Shengjuan, et al. Study on the effect of onion, ginger and garlic extracts on the preservation of cooled meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(4): 310–314.]
- [28] 曹莹莹, 司旭鹏, 杨明俊. 生姜、洋葱、丁香提取物对猪肉的保鲜效果[J]. 肉类研究, 2021, 35(2): 41–47. [CAO Yingying, SI Xupeng, YANG Mingjun. Preservation effect of ginger, onion and clove extracts on pork[J]. Meat Research, 2021, 35(2): 41–47.]
- [29] 朱明涛, 余俊. 三种香辛料提取物对冷却牛肉的保鲜效果研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(5): 94–96. [ZHU Mingtao, YU Jun. Study on the effect of three spice extracts on the preservation of cooled beef[J]. China Condiment, 2019, 44(5): 94–96.]
- [30] BING S, ZANG Y T, LI Y J, et al. A combined approach using slightly acidic electrolyzed water and tea polyphenols to inhibit lipid oxidation and ensure microbiological safety during beef preservation[J]. Meat Science, 2022, 183: 108643.
- [31] CAO Y J, HAO R, GUO Z L, et al. Combined effects of superchilling and natural extracts on beef preservation quality[J]. LWT, 2022, 153: 112520.
- [32] WANG Y, DU Y T, XUE W Y, et al. Enhanced preservation effects of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil on the processing of Chinese bacon (preserved meat products) by beta cyclodextrin metal organic frameworks (β -CD-MOFs)[J]. Meat Science, 2022, 195: 108998–108998.
- [33] 卢航, 王语嫣, 刘晓燕, 等. 壳聚糖与生姜提取物对冷鲜肉贮藏过程中的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(8): 89–96. [LU Hang, WANG Yuyan, LIU Xiaoyan, et al. Effect of chitosan and ginger extract on preservation of cold meat during storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(8): 89–96.]
- [34] RAO M, CHANDER R, SHARMA A. Synergistic effect of chitoooligosaccharides and lysozyme for meat preservation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1955–2001.
- [35] MENG D M, SUN S N, SHI L, et al. Application of antimicrobial peptide mytichitin-CB in pork preservation during cold storage[J]. Food Control, 2021, 125: 108041.
- [36] PRZYBYLSKI R, FIRDAOUS L, CHÂTAIGNÉ G, et al. Production of an antimicrobial peptide derived from slaughterhouse by-product and its potential application on meat as preservative[J]. Food Chemistry, 2016, 211: 306–313.
- [37] 郭荣珍, 杨锋, 刘纯友, 等. 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 369–377. [GUO Rongzhen, YANG Feng, LIU Chunyou, et al. Effect of different packaging methods on the quality characteristics of buffalo meat during refrigeration[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 369–377.]
- [38] MIKAELA S, PER J, JOHANNA B, et al. Microbiological

- quality and safety of vacuum-packaged white-tailed deer meat stored at 4 °C[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2023, 390: 110110.
- [39] DURAN A, KAHVE I H. The effect of chitosan coating and vacuum packaging on the microbiological and chemical properties of beef[J]. *Meat Science*, 2019, 162(C): 107961.
- [40] GERTZOU N I, KARABAGIAS K I, DROSOS E P, et al. Effect of combination of ozonation and vacuum packaging on shelf life extension of fresh chicken legs during storage under refrigeration[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 213: 18–26.
- [41] 周立, 张锐, 王卫, 等. 不同气调包装对冷鲜羊肉保鲜效果研究[J]. *包装工程*, 2022, 43(21): 1–9. [ZHOU Li, ZHANG Rui, WANG Wei, et al. Research on the effect of different air conditioning packaging on the preservation of cold lamb[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(21): 1–9.]
- [42] KANDEEPAN G, AALIYA T, SHASHIKUMAR M. Effect of aerobic and modified atmosphere packaging on quality characteristics of chicken leg meat at refrigerated storage[J]. *Poultry Science*, 2022, 101(12): 102170.
- [43] MAO T T, XIA C L, ZENG T, et al. The joint effects of ultrasound and modified atmosphere packaging on the storage of sauced ducks[J]. *LWT*, 2023, 177: 114561.
- [44] BASSEY A P, CHEN Y F, ZHU Z S, et al. Evaluation of spoilage indexes and bacterial community dynamics of modified atmosphere packaged super-chilled pork loins[J]. *Food Control*, 2021, 130: 108383.
- [45] ZHANG M M, TAO N P, LI L, et al. Non-migrating active antibacterial packaging and its application in grass carp fillets[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022, 31: 100786.
- [46] QIAN Y, BIAN L Y, WANG K Q, et al. Preparation and characterization of curdlan/nanocellulose blended film and its application to chilled meat preservation[J]. *Chemosphere*, 2020, 266: 128948.
- [47] ZHANG H Y, LI X L, KANG H B, et al. Effect of tannic acid-grafted chitosan coating on the quality of fresh pork slices during cold storage[J]. *Meat Science*, 2022, 188: 108779.
- [48] ZHU S Y, UKWATTA R H, CAI X R, et al. The physiochemical and photodynamic inactivation properties of corn starch/erythrosine B composite film and its application on pork preservation[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 225: 112–122.
- [49] 王国霞. X 射线辐照对冷鲜猪肉品质、菌群变化和货架期的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2022. [WANG Guoxia. Effects of X-ray irradiation on the quality, microbiome changes and shelf life of chilled pork[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2022.]
- [50] YANG J, ZHANG Y J, SHI H, et al. Influence of low-energy electron beam irradiation on the quality and shelf-life of vacuum-packaged pork stored under chilled and superchilled conditions[J]. *Meat Science*, 2022, 195: 109019.
- [51] KANATT R S, CHANDER R, SHARMA A. Effect of radiation processing on the quality of chilled meat products[J]. *Meat Science*, 2004, 69(2): 269–275.
- [52] HASSANZADEH P, TAJIK H, ROHANI R M S, et al. Effect of functional chitosan coating and gamma irradiation on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2017, 141: 103–109.
- [53] 锁冠文, 周春丽, 苏伟, 等. 超高压在果蔬、肉类、乳制品保鲜中的应用[J]. *食品工业*, 2021, 42(6): 338–342. [SUO G W, ZHOU C L, SU W, et al. Application of ultrahigh pressure technology in fresh keeping of fruits, vegetables, meat and dairy products[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(6): 338–342.]
- [54] 王晶. 基于超高压技术处理的肉类和果汁安全性与货架期研究[D]. 太原: 山西大学, 2019. [WANG Jing. Study on the safety and shelf life of meat and juice based on ultra-high pressure technology treatment[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2019.]