

畜禽冷鲜肉减菌标准及保鲜技术研究进展

黎梓杭¹, 郑华^{1,2*}, 林捷^{1,2}, 孔晓慧³

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)(2. 畜禽产品精准加工与安全控制国家地方联合工程中心, 广东广州 510450)(3. 温氏食品集团股份有限公司, 广东云浮 527400)

摘要: 畜禽冷鲜肉是指在符合良好作业规范和卫生条件下, 经过严格检验检疫的活畜禽屠宰后, 通过冷却工艺处理, 使肉的中心温度降至 0~4 ℃, 并在运输和贮存过程中始终保持在这一温度范围内的生鲜肉。冷鲜肉因在肉质、营养、口感上最大程度地保持了鲜肉的特性, 而日益受到消费者的青睐。但是, 冷鲜肉的储运温度不能完全抑制微生物的生长, 当其受到外部污染后会快速腐败, 严重制约冷鲜肉的进一步市场化。基于此, 各国政府为提高和保证畜禽冷鲜肉的品质和食用安全, 均制定了相关法规以及作业规范, 并推动科研人员开展相关的冷鲜肉减菌、抑菌、钝化酶等保鲜技术研究, 以延长其保质期。该文综述了国内外冷鲜肉食用安全性和减菌、抑菌等相关标准, 以及保鲜技术的现状与研究进展; 通过对比各组织畜禽冷鲜肉的标准, 总结冷鲜肉保鲜新技术进展, 为国内冷鲜肉产业发展以及标准体系的完善提供参考。

关键词: 冷鲜肉; 安全标准; 消毒技术; 保鲜技术; 靶向抑菌

文章编号: 1673-9078(2026)4-357-369

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.4.1921

Research Progress on Bacterial Reduction Standards and Preservation Technologies for Chilled Poultry and Livestock Meat

LI Zihang¹, ZHENG Hua^{1,2*}, LIN Jie^{1,2}, KONG Xiaohui³

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)
(2. National and local Joint Engineering Center for Precision Processing and Safety Control of Livestock and Poultry Products, Guangzhou 510450, China) (3. Wens Food Group Co. Ltd., Yunfu 527400, China)

Abstract: Chilled poultry and livestock meat refers to meat that, following the slaughter of live animals under stringent inspection and quarantine protocols, undergoes a controlled cooling process to reduce its core temperature to 0~4 ℃. This temperature is consistently maintained during transportation and storage in accordance with good operational practices and hygiene standards. Chilled meat with texture, nutritional value, and taste closely resembling those of fresh meat is becoming increasingly popular among consumers. However, low temperatures during the storage and transportation of chilled meat cannot completely prevent the growth of microorganisms, and contamination from external sources can lead to rapid spoilage. This presents a significant challenge for the broader marketability of chilled meat. To address these issues and ensure the quality and safety of chilled livestock and poultry meat, governments have established relevant regulations and operational standards. Additionally, they encourage research into preservation technologies, including bacterial reduction, bacteriostasis, and enzyme inactivation methods, to extend the shelf life of chilled meat. In this paper, the safety standards for chilled meat, including standards related to bacterial reduction and bacteriostasis,

引文格式:

黎梓杭, 郑华, 林捷, 等. 畜禽冷鲜肉减菌标准及保鲜技术研究进展[J]. 现代食品科技, 2026, 42(4): 357-369.

LI Zihang, ZHENG Hua, LIN Jie, et al. Research progress on bacterial reduction standards and preservation technologies for chilled poultry and livestock meat [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(4): 357-369.

收稿日期: 2024-12-25; 修回日期: 2025-03-26; 接受日期: 2025-04-03

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2023B0202020002); 华南农业大学技术开发项目(H20240820)

作者简介: 黎梓杭(2000-), 男, 硕士, 研究方向: 畜禽产品加工及综合利用, E-mail: 1264518122@qq.com

通讯作者: 郑华(1966-), 博士, 副教授, 研究方向: 畜禽产品加工与控制, E-mail: 951524011@qq.com

have been reviewed, and current preservation techniques are evaluated. By comparing the standards set by various organizations and summarizing recent advancements in preservation technologies, this study provides valuable insights into the development and standardization of the domestic chilled meat industry.

Key words: chilled meat; safety standard; disinfection techniques; preservation technology; targeted bacteriostasis

与传统的鲜肉和冷冻肉相比,冷鲜肉因其肉质细嫩、滋味鲜美以及烹饪方便等特点,在全球范围内受到越来越多消费者的青睐。冷鲜肉生产的全过程如图1所示。早在20世纪初,欧美等发达国家便开始推广冷鲜肉的生产和消费,并逐步普及至各个层面。冷鲜肉产业的成功实践,也使得这种肉类产品逐渐成为市场中重要的一部分。我国的冷鲜肉产业起步相对较晚,尤其是在20世纪90年代以前,由于技术和设备的限制,冷鲜肉的生产和流通并未得到广泛推广。1997年,金锣集团引进了第一条冷鲜肉生产线,标志着我国冷鲜肉产业的正式起步。随后,双汇、温氏等一批企业在2000~2002年间也陆续开始了冷鲜肉生产线的建设和投产,推动了国内冷鲜肉市场的快速发展。香港作为我国冷鲜肉的重要出口市场,成为了冷鲜肉出口的试验田。目前,我国每半年供港的冰鲜家禽重量约为9.33万t,冰鲜猪肉的日供量达到60t^[1]。随着我国经济水平的提升和消费者对食品需求的变化,冷鲜肉的消费量逐年增长。根据数据显示,2023年我国冷鲜肉的日均产量已达10.75万t,累计产量达3923.5万t,累计增长率提高15.3%^[2]。这一变化反映了消费者对肉类食品品质的要求不断提高,尤其是在口感、营养和食品安全方面的关注。

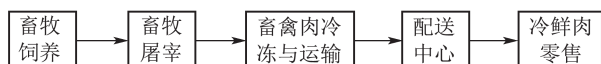


图1 冷鲜肉生产及零售全过程图

Fig.1 Chilled meat production and retail process diagram

全球范围内,随着冷鲜肉的消费热度不断上升,消费者的偏好也在发生转变。与以往注重低价相比,现代消费者越发看重食品的健康性、安全性和营养价值^[3]。因此,各国和相关组织纷纷出台了食品安全法规和标准,以确保冷鲜肉在生产、加工、贮存和运输等环节中的食品安全。与此同时,为了延长冷鲜肉的货架期和保持其食用品质,研究人员在靶向抑菌技术、冷藏保鲜技术等方面进行了大量的研究。本文综述了畜禽冷鲜肉的减菌标准及保鲜技术研究进展,对比不同相关标准、体系和技术,为改进畜禽冷鲜肉储运作业规程、建立供应链危害分析及关键控制点(Hazard Analysis and Critical Control Point, HACCP)体系,提供危害分析和风险分析依据;以

达到提高畜禽冷鲜肉在供应链中的安全性、延长保质期的目的。

1 畜禽冷鲜肉的安全与消毒标准概况

1.1 畜禽冷鲜肉的安全指标

畜禽冷鲜肉的安全性指标主要包括微生物污染、农药残留、兽药残留、重金属污染物质以及其他危害人体健康物质的限量规定。

在微生物指标方面,国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)对食品本身质量标准以及检出方法有着明确的要求,为食品质量检测人员以及各个国家制定食品质量安全标准提供了参考。ISO明确规定了冷鲜肉中致腐微生物残留限量并提供了检出方法,其中ISO 21527-1^[4]和ISO 21527-2^[5]规定了冷鲜肉中酵母菌和霉菌残留限量应 $<10^4$ CFU/g; ISO 4833-1^[6]和ISO 4833-2^[7]则规定了总需氧菌的平板计数(Total Aerobic Plate Counts, APC)应 $<10^6$ CFU/g。在欧盟(European Union, EU)国家中,欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)在(EC) No. 2073/2005^[8]规定冷鲜肉致腐微生物的残留限量,具体规定主要为: APC $<10^6$ CFU/g,酵母菌和霉菌 $<10^4$ CFU/g,并将酵母菌和霉菌定义为冷鲜肉腐败的指示菌;不得检出单核增生李斯特菌和沙门氏菌等致病微生物。美国农业部(United States Department of Agriculture, USDA)侧重于加工和处理指南,通过危害分析和关键控制点系统(Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP)和食品安全和检验服务监督(Food Safety and Inspection Service, FSIS)等计划,针对某些微生物提出要求,其中,要求冷鲜肉中嗜中温好氧微生物和兼性厌氧微生物的数量(Quantity of Mesophilic Aerobic and Facultative Anaerobic Microorganisms, QMAFAnM)少于 10^3 CFU/g,真空或气调包装后的冷鲜肉QMAFAnM $<10^4$ CFU/g,大肠杆菌、单核增生李斯特菌以及沙门氏菌均不得检出^[9]。加拿大食品检验局(Canadian Food Inspection Agency, CFIA)规定的APC限量标准与ISO一致。同时《Standards to identify a meat product as edible-Canada》^[10]明确要求冷鲜肉不得检出大肠杆菌O157:H7、沙门氏菌、空肠

弯曲杆菌等病原微生物。日本的食物安全管理主要由厚生劳动省（Ministry of Health Labour and Welfare, MHLW）监督，MHLW 强调食品生产安全和实践处理的必要性，该组织建议冷鲜肉中 APC $<10^6$ CFU/g 以及酵母菌和霉菌 $<10^4$ CFU/g。在我国，GB 16869-2005^[11]规定冷鲜畜禽肉中腐败微生物含量：细菌菌落总数（Total Plate Count, TPC） $\leq 1\times 10^6$ CFU/g；大肠菌群 $\leq 1\times 10^4$ CFU/100 g；致病微生物要求沙门氏菌和出血性大肠埃希氏菌（O157:H7）不得检出。

在理化指标方面，ISO 在 ISO 22000 中仅要求了冷鲜肉 pH 值在 5.5~6.2 之间。EFSA 在与 ISO 相同的 pH 值标准下，还建议进口的冷鲜肉水分应保持在 70% 以下。USDA 也要求了冷鲜猪肉水分应在 70% 以下，脂肪含量低于 30%。我国要求了冷鲜肉中 TVB-N ≤ 15 mg/100 g。GB 18394-2020^[12]规定的畜禽肉水分含量限制指标，其中猪肉水分 $\leq 76\%$ 、羊肉 $\leq 78\%$ 、牛肉和鸡肉 $\leq 77\%$ 。

总之，冷鲜肉的安全标准中，各国、组织之间相互借鉴，在微生物和寄生虫的要求方面统一一致。在良好养殖规范和屠宰作业规范的基础上，冷鲜肉的保鲜，主要受微生物的含量和包装、储藏条件的影响。

1.2 畜禽冷鲜肉的减菌剂使用及残留限量标准

在屠宰过程中，胴体被动物毛发、粪便以及加工用水中的微生物污染，因此，屠宰后的胴体减菌处理（如图 2 所示）是冷鲜肉生产过程中的重要一环^[13]。然而，减菌剂虽然可以快速使菌体蛋白变性，达到灭菌的效果，但是过量使用、或者冷鲜肉表面残留量过高，都有可能导致肉的风味和色泽下降，甚至影响消费者的身体健康。因此，国内外研究者提出了针对冷鲜肉中可使用的减菌剂种类及其限量的相关建议^[14,15]。

FDA（Food and Drug Administration）在 21 CFR 182.3640 中批准使用山梨酸钾、山梨酸进行涂抹杀菌，EU 在 (EU) NO 231/2012^[16]中也有类似的要求，规定了清洗后的冷鲜肉表面山梨酸钾残留限量值需在 0.1%~0.3% 以内，山梨酸需在 0.1% 以内。世界卫生组织（Health Surveillance Agency, ANVISA）在 2004 年开始允许使用过氧乙酸（Peroxyacetic Acid, PAA）（ $<2\ 000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ）作为冷鲜肉的消毒剂。USDA 要求红肉在消毒后，表面的 PAA $<2\ 000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，过氧化氢（Hydrogen Peroxide, HP） $<1\ 203\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，羟基乙基 1,1-二膦酸（Hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic Acid, HEDP） $<60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以及二吡啶酸（Dipicolinic Acid, DPA） $<1.64\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ；对禽肉的消毒则更为严格，由于家禽更易被沙门氏菌以及大肠杆菌污染，要求家禽在

消毒后，表面的 PAA $<2\ 000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，HP $<1\ 474\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，HEDP $<100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，以及 DPA $<2.01\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[17]。EU 还允许使用丙酸盐对冷鲜肉进行消毒，清洗后的冷鲜肉表面丙酸浓度要求在 0.3%~0.5%。乳酸喷淋（2%）减菌在欧洲的小型肉加工厂更是得到了广泛使用^[18]。次氯酸钠是我国唯一可以使用的冷鲜肉消毒剂，NY/T1174-2006^[19]规定：使用次氯酸钠消毒时，预冷水中消毒液浓度宜保持在 50~100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。可见，不同国家机构之间对于减菌种类的使用各有千秋，对于残留剂量的限定也有所不同。

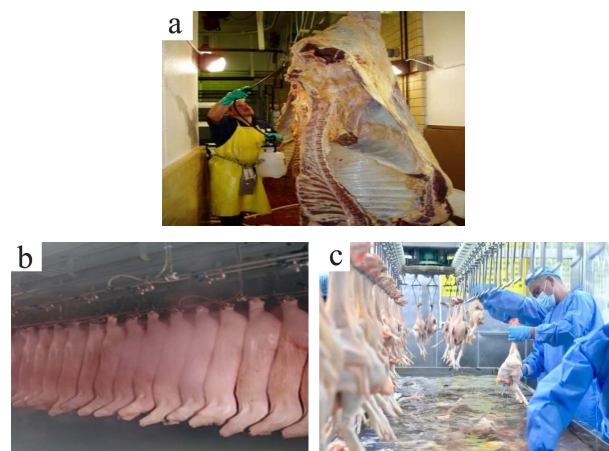


图 2 喷淋和浸没消毒

Fig.2 Spray and immerse disinfection

注：图 a、b 为喷淋消毒技术，图 c 为浸没消毒技术。图 a 来源于 FAO，图 b 来源于百度百科，图 c 来源于澳门特别行政区行政法务司司长办公室。

1.3 畜禽冷鲜肉的保藏温度要求

禽胴体的快速冷却工艺是影响冷鲜鸡食用安全与品质的重要环节之一，保藏温度对冷鲜肉品质因素的影响如图 3 所示。食品法典委员会（Codex Alimentarius Commission, CAC）和 FSIS-GD-2021-13^[20,21]都明确规定，由于在 8℃ 以上的环境下沙门氏菌以及大肠杆菌极易生长，因此鲜鸡经过屠宰后需要在 1 h 内将胴体降温到 10℃，在 24 h 内降低至 7℃ 以下。GB 12694-2016^[22]规定屠宰后胴体和食用副产品应立即预冷。冷却后，畜肉的中心温度应保持在 7℃ 以下，禽肉中心温度应保持在 4℃ 以下。GB/T 40464-2021^[23]规定宰后畜禽冷鲜肉中心温度不应超过 4℃；《内地供港冰鲜禽肉的检验检疫要求》^[24]规定供港冰鲜肉的储运标准是中心温度应于 0~4℃ 之间，任何时候不得高于 8℃。

CAC 对冷鲜肉处理到分销的各个步骤有明确的规定，CAC 要求鲜肉在宰后 1 h 内降到 10℃ 以下，随后在 -1~2℃ 下储存，空间内相对湿度保持在 87%~91%，

在分销过程中温度不高于 7 °C^[21]。FDA 规定冷鲜肉在生产过程中温度应该全过程低于 5 °C。沙特阿拉伯要求冷鲜肉不得超过 4 °C，内脏不得超过 3 °C，其余肉类不得超过 7 °C，同时，冷鲜肉出仓后不允许再冷冻^[25]。

巴西农业部 (Ministério da Agricultura e Pecuária, MAPA) 在《Guidance Document for Beef Exports to Brazil》^[26] 建议, 在良好作业规范的前提下, 冷鲜牛肉可在 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保存 90 d, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下仅能保存 3 d。英国建议冷鲜肉的保质期是 10 d, 欧盟则认为冷鲜肉的保质期应该由企业依据自身的卫生控制和保鲜技术自定义。

不同国家和地区对冷鲜肉的储存和冷却要求存在一定差异，但普遍强调温控对食品安全和品质的关键性。大多数规定要求在屠宰后 1 h 内将肉体降温至 10 ℃ 以下，并在接下来的 24 h 内进一步降温至 7 ℃ 或更低，以防止致病菌如沙门氏菌和大肠杆菌的生长。温度要求方面，欧洲和美国的标准较为严格，强调在整个处理过程中的低温控制，而沙特阿拉伯、巴西等地则对不同肉类的具体温度有更细化的规定。总体而言，冷鲜肉的保存温度越低，保质期和食品安全性越高，但具体的储存条件因地区而异，企业需根据当地法规和技术条件灵活调整。

肉的腐败变质主要由微生物引起^[31-33]。由于动物本身、屠宰加工工艺、包装贮运方式和生产环境不同,特别是表面污染的微生物不同,导致不同冷鲜肉的保质期差异较大。经调研,目前国内市场的冷鲜鸡保质期约为3~4 d,冷鲜猪肉保质期大约为4~6 d^[34,35]。为延长货架期,科学人员主要从以下几个方面展开了研究。

2.1 畜禽冷鲜肉主要污染种类

畜禽冷鲜肉的被污染的过程如图 4 所示,在贮藏过程中,畜禽冷鲜肉受致病微生物和致腐微生物污染。微生物通过代谢活动引发蛋白质降解和脂肪氧化,酶类催化脂肪分子中的不饱和脂肪酸与氧气反应,生成过氧化物和醛类化合物。随后,肉品出现粘腻感、臭味以及颜色变化等显著腐败特征,进一步加速其质量劣化和变质。大多数研究结果显示,禽肉主要的病原菌是空肠弯曲杆菌(*Campylobacter*)和沙门氏菌(*Salmonella*),猪肉的病原菌是沙门氏菌(*Salmonella*),牛肉的病原菌是大肠杆菌(*Escherichia coli*)和单增李斯特菌(*Listeria monocytogenes*),而沙雷氏菌(*Serratia*)则是羊肉的主要病原菌^[36-39]。

健康动物深层组织、血管等基本不含微生物，肉类的腐败是由于表面微生物沿血管进入内层，并深入到肌肉组织的^[40]。因此，冰鲜肉变质主要是从胴体或分割肉的表面开始。

假单胞菌属是一类最主要的肉品致腐微生物种,也是导致冷鲜肉变质的主要菌群。其中,郑海鹏^[41]总结冰鲜肉中的主要腐败嗜冷菌为:假单胞菌属(*Pseudomonas*)、不动杆菌属(*Acinetobacter*)、肠杆菌属(*Enterobacter*)、乳杆菌属(*Lactobacillus*)和热死环丝菌(*Thermoactinomyces*)等。陈鑫等^[42]则认为浅黄假单胞菌(*Pseudomonas lurida*)和荧光假单胞菌(*Pseudomonas Fluorescens*)对冷鲜鸡胴体的腐败贡献值较大,而液化沙雷氏菌(*Serratia liquefaciens*)和杀鲑气单胞(*Aeromonas salmonicida*)对冷鲜鸡皮的腐败贡献较大。与此同时,Balamatsia等^[43],Pedro等^[44]和Wang等^[45]的结果证实:假单胞菌属(*Pseudomonas*)、肠杆菌科(*Enterobacter*)、乳杆菌(*Lactobacillus*)和热死环丝菌(*Brochothrix thermosphacta*)等为冰鲜鸡肉腐败的优势菌。Guo等^[46]鉴定冷鲜鹅肉优势致腐微生物有假单胞菌属(*Pseudomonas*)和不动杆菌属(*Acinetobacter*)。闫小杰等^[47]总结了冷鲜牛肉的主要致腐微生物,在有氧条件下,主要的微生物是假单胞菌属(*Pseudomonas*)、莫拉氏菌属(*Moraxcella*)、不动杆菌属(*Acinetobacter*)、气单胞菌属(*Aeromonas*),

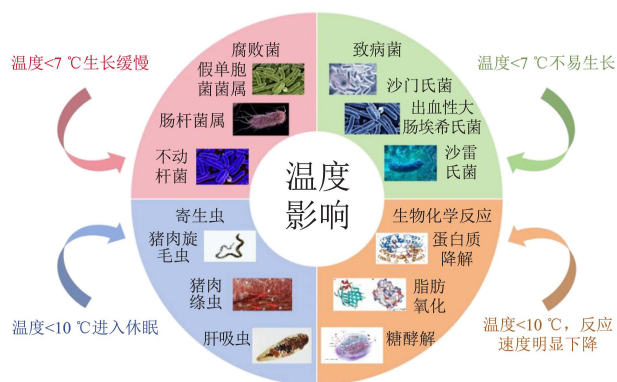


图 3 温度对畜禽冷鲜肉品质的影响

Fig.3 Effect of temperature on quality of chilled meat

2 畜禽冷鲜肉主要致腐菌种类与传统控制措施

食品劣变包括感官质量、营养价值、食品安全等方面发生的改变,从而导致食品质量不符合国内外标准。常见外源性因素包括温度、相对湿度、光照、氧以及污染物的介入^[27,28];食品的成分、水分活度和水分含量、微生物和酶的种类及含量水平、渗透压、pH值等是重要的内源性因素^[29,30]。

食品保质期是通过食品劣变特征来确定。畜禽冷鲜肉的腐败变质,主要表现为 TPC 超标、畜禽肉表面发粘、产生异味等,同时,多个研究已经证实,冷鲜

真空条件下主要是厌氧和兼性厌氧的乳杆菌属 (*Lactobacillus*)、肠杆菌属 (*Enterobacter*)、葡萄球菌属 (*Staphylococcus*) 和热死环丝菌 (*Brochothrix thermosphacta*) 等。刘梦竹等^[48]采用修正的 Gompertz 方程回归, 发现金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 是猪肉的优势腐败菌。刘亚文等^[49]通过分离冷鲜羊肉的优势腐败菌发现嗜水气单胞菌 (*Aeromonas hydrophila*) 数量占优, 肠杆菌属 (*Enterobacter*) 的成膜能力最强。通过对比总结, 大量研究表明假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、肠杆菌属 (*Enterobacter*)、葡萄球菌属 (*Staphylococcus*)、热死环丝菌 (*Brochothrix thermosphacta*) 以及不动杆菌属 (*Acinetobacter*) 为冷鲜畜禽肉中的优势腐败菌。在后续的研究中, 可将这几类微生物作为重点研究对象, 进行靶向灭菌。

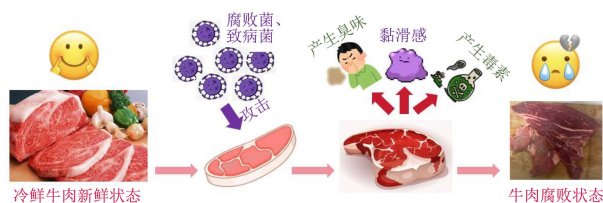


图 4 致病微生物、致腐微生物污染冷鲜牛肉流程图

Fig.4 Flow chart of contamination of chilled beef by pathogenic and rotting microorganisms

2.2 畜禽冷鲜肉抑菌保鲜技术研究进展

目前常见的抑菌技术主要包括物理抑菌技术以及化学抑菌技术。其中, 物理技术主要包括快速胴体冷却、包装技术以及非热杀菌技术; 化学技术主要以消毒剂灭菌为主。

2.2.1 胴体的快速冷却

快速冷却畜禽宰后胴体是确保冷鲜肉中心温度符合标准的关键步骤。常见的冷却方法包括水冷却、风冷却、喷雾冷却和真空冷却。

水冷却是家禽宰后冷却最传统的方法, 该方法将水制成冷却水后通过浸泡或喷淋到胴体表面带走热量, 达到降温的目的。我国要求冷却用水温度必须低于 4℃ 且最终冷却水温度需要保持在 0~2℃, 冷却时间在 45~90 min^[50]。该方法的优点是冷却速度快, 缺点是肉中含水量增加且易污染微生物, 与其他辅助冷却技术联合使用时, 其效果优于单独使用^[51]。

风冷却是通过空气循环系统利用强冷风将胴体冷却至目标温度的一种技术^[52]。相比传统的水冷, 风冷

有助于提升冷鲜畜禽肉的食用质量以及安全性, 减少肠道致病微生物的污染、降低腐败微生物的含量; 缺点是降温速度较其他技术慢。

喷雾冷却是将冷空气和冷水相结合, 在冷却期间, 冷空气与冷却水相继喷洒至畜禽肉表面, 通过水分蒸发达到降温的目的^[53]。该方法冷却得到的肉水分损失以及重量损失少, 缺点是冷却水不能重复利用, 耗水量大, 且容易因为阀门、管道等保养不当造成微生物交叉污染^[54]。

真空冷却是通过制造低压环境强迫畜禽肉中的水分挤出并蒸发带走热量的一种冷却技术^[55]。可以快速降低肉表面的温度, 甚至杀灭微生物, 是工业化中常见的冷却方法之一; 缺点是胴体损失较大, 超过 10%^[56], 实际应用程度低。

2.2.2 畜禽冷鲜肉的包装

包装可防止冷鲜肉在生产、运输及销售等过程中免受机械、化学和生物的危害, 使冷鲜肉在销售时达到所规定的质量标准^[57]。不同包装材料及方式对冷鲜肉品质的影响见表 1。不同包装形式和材料可以有效抑制冷鲜肉中致腐微生物的生长^[58]。目前, 市场上常见的包装形式有气调包装 (Modified Atmosphere Packaging, MAP) 以及真空包装 (Vacuum Packaging, VP)。联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 建议聚乙烯 (Polyethylene, PE)、聚氯乙烯 (Polyvinyl Chloride, PVC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene Terephthalate, PET)、抗菌包装材料以及生物降解材料可用于冷鲜肉保鲜, 这部分材料可以在冷鲜肉表面形成自黏膜以达到防止外部污染的目的, 同时隔绝氧气, 防止水蒸气渗透性^[59]。

MAP 可以隔离外界微生物, 防止二次污染, 也可以抑制肉类产品中细菌、真菌和霉菌的生长繁殖, 降低酶促反应速率, 减缓脂质氧化和产品颜色的不良变化^[60]。目前国际上公认的 MAP 最有效的气体组分主要是 CO₂+O₂+N₂^[61,62]。另外, 在 MAP 的基础上可以结合保鲜新技术, 以提升冷鲜畜禽肉的品质及货架期。例如, Hu 等^[63]采用了中等电场结合高氧气调包装保鲜冷鲜肉, 发现在保存第 9 天冷鲜肉的保水性提高了 3%, 同时货架期也延长了 9 d; Huang 等^[64]通过结合高压介电阻挡放电与 MAP 技术, 使冷鲜肉初始总活菌数下降 0.85 log CFU/g。可见, 气调包装可以有效延缓冷鲜肉表面腐败微生物的生长以及提高肉的食用质量。

表 1 不同包装材料及方式对畜禽冷鲜肉品质的影响

Table 1 Effects of different packing materials and methods on the quality of chilled meat

包装方式	冷鲜肉种类	处理方法	处理效果	文献
MAP	牛肉	气体组合为 80% O ₂ +20% CO ₂ 、60% O ₂ +40% CO ₂ 、50% O ₂ +50% CO ₂ 于 2 ℃ 下储存	肉在三种气调参数储存下，保存期由 3 d 延长至 8 d	[74]
	牛肉	气体组合为 50% O ₂ +30% CO ₂ +20% N ₂ ，于 4 ℃ 下储存	7 d 储存期内，TVC 未超过标准限量且显著低于 VP 处理组	[75]
	鸡肉	气调包装材料为 PVC；气体组合为 70% CO ₂ +30% N ₂ ；1.25% 乳酸处理；于 4 ℃ 下储存	储存至 12 d 后 APC 为 6.07±0.06，显著低于空气组以及乳酸+空气组	[76]
	鸡肉	气体组合为 30% CO ₂ +70% N ₂ ，于 4±0.1 ℃ 下储存	7 d 储存期内，MAP 组中的假单胞杆菌及嗜冷肠杆菌低于 4.5 及 3.0 log CFU/g，在第 10 天，TVC 仍少于 6.5 log CFU/g，低于标准限量	[77]
	猪肉	气体组合为 40% O ₂ +60% CO ₂ ，于 4±0.5 ℃ 下避光保存	7 d 储存期内，猪肉的嫩度与新鲜无异，滴水损失仅为 3.5%	[78]
VP	鸡肉	真空包装材料为聚酰胺（Polyamide，PA）/PE，于 2.2±0.3 ℃ 下储存	储存 9 d 后，MAD 含量为 0.24±0.08 mg MAD/kg，但存在肉色下降，汁液渗出等问题	[79]
	鸵鸟肉	真空包装材料为 PA/PE，真空度为 2.5 kPa，于 2 ℃ 下储存	储存 16 d 后，肉的多不饱和脂肪酸 n-3 表现出最优异的氧化稳定性	[80]
	牛肉	真空包装材料为 PA/PE，于 4±1 ℃ 下储存	脂肪氧化程度低，嫩度以及 α -生育酚含量更高	[81]
	牛肉	真空包装材料为 PA/PE，贴体真空，于 2 ℃ 下储存 12 d	储存 12 d 后滴水损失为 2.6%±0.14%，剪切力为 25.0±1.02 N，MAD 含量为 0.5 mg MAD/kg。	[82]
	猪肉	真空包装材料为 PP/PE/PE-EAM，贴体真空，于 3.4±0.8 ℃ 中储存 20 d	储存至 20 d 时，MAD 为 0.09 mg MAD/kg，但 TVC 高达 7.58 log CFU/g 显著高于其他组	[83]
活性包装	猪肉	包装材料为含肉桂精油的静电纺丝纳米纤维薄膜，于 4 ℃ 中保存	猪肉的储存期延长 3 d，且有效抑制金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的生长	[84]
	牛肉	包装材料为含绿茶提取物改性的 PA 薄膜，于 4 ℃ 中保存 23 d	MDA 在储存期内几乎保持不变，保质期从 6 d 延长至 23 d	[85]
	牛肉	包装材料为含 64.18% 紫甘蓝提取物 /4.36% 甜乳清的淀粉基活性薄膜，于 4 ℃ 下储存 4 d	储存 4 d 后颜色变化不显著，pH 值为 6.55，显著低于对照组	[86]
	鸡肉	包装材料为含黑孜然油的壳聚糖 / 海藻酸钠 PET 薄膜，于 4 ℃ 下储存 5 d	储存 5 d 后抑菌效果不明显，但稳定了肉在储存期的保水性以及色泽变化	[87]
	羊肉	包装材料为含 TiO ₂ 和精油的纳米薄膜，于 4±1 ℃ 下储存 15 d	储存 15 d 后嗜冷细菌总数低于 7 log CFU/g，保存期延长 6~9 d	[88]

VP 依靠低氧环境抑制冷鲜肉中各类生物反应的氧化过程，同时减缓了微生物导致的腐败变质。例如，Rahimeh 等^[65]研究表明，冷鲜肉经过 VP 后，脂肪氧化速率显著降低，储存 14 d 后 TBARs 值无显著变化；Pablo 等^[66]发现牛肉经过 VP 储存 14 d 后，假单胞菌含量显著低于其他组别，但由于在低氧环境下，肌红蛋白极易被合成为氧合肌红蛋白以及高铁肌红蛋白，产生了褐色素，降低了消费者的接受程度。不仅如此，实际上，VP 不能做到 100% 真空，真空设备只能将包装袋中 75%~90% 的空气去除，造成了冷鲜肉表面的兼性厌氧菌如乳酸菌等快速增长，pH 值降低，也会影响冷鲜肉的新鲜度^[67]。

另外，新兴的活性包装材料主要是将试剂涂覆、掺入、固定或表面改性到包装材料上，通过将包装与冷鲜肉紧密接触，使抑菌化合物从聚合物基质扩散到

食品表面^[68]。用于冷鲜畜禽肉活性包装材料中常见的抑菌剂包括丁香（丁香酚）、牛至（香芹酚）、肉桂（肉桂醛）、大蒜（大蒜素）和芥末（异硫氰酸酯）^[69]。这类附着在包装膜上的抑菌剂产生的带电胺与致腐菌细胞膜上的负电荷相互作用，导致腐败菌细胞破损，内容物流出随后凋亡，达到了灭菌的目的^[70]。该类包装目前常见的模式主要是纳米包装、天然复合膜以及食源性碳点保鲜膜。例如，余科金等^[71]采用聚乙烯醇 / 海藻酸钠 / 纳米纤维素水凝胶对猪肉进行包装，发现该处理方法可将猪肉货架期延长 10 d。而 Deng 等^[72]采用季铵盐壳聚糖的直链淀粉抗菌包装膜抑制冷鲜肉表面大肠杆菌生长，提高了肉的货架期。另外，Su 等^[73]采用含硫的铜绿假单胞菌衍生碳点制备的包装膜对冷鲜猪肉进行包裹，结果表面微生物的生长被有效抑制，肉的保藏期延长。

可见, MAP 可有效隔离外界微生物, 延缓腐败过程并改善冷鲜肉品质, 但可能导致氧化相关的颜色变化。VP 通过低氧环境抑制脂肪氧化和微生物生长, 但可能加速肌红蛋白褐变, 影响感官接受度。此外, 活性包装可释放抑菌剂, 有效抑制致病菌, 但其应用成本和材料稳定性仍需优化。

2.2.3 畜禽冷鲜肉的非热灭菌

物理非热杀菌即采用非热的物理方法消除物料、制品或环境中的微生物, 使其满足一定要求的方法。它能有效避免对肉类食品营养破坏、口感变差等不利影响, 保持肉制品本身的天然特性, 适用于冰鲜肉制品的加工生产过程^[89]。已纳入法规的传统化学杀菌技术见 1.2, 值得注意的是, 随着科技的发展, 新的杀菌方法不断被提出和应用, 其中紫外线杀菌和辐照灭菌技术以其优异的灭菌效率首当其冲。2000 年 11 月, 美国 FDA 已允许紫外线作为一种表面的杀菌方式应用于食品方面。紫外线通过短波 UV-C 光破坏微生物 DNA, 抑制其繁殖, 具有较强的杀菌效果, 但其穿透力较弱, 仅能作用于表面微生物。例如, 史易明等^[90]发现 5.0 mW/cm^2 强度短波紫外线照射 3 min 杀菌效果最优, 可降低冷鲜鸡表面菌落总数约 $0.82 \log \text{ CFU/cm}^2$ 。如图 5 所示, 辐照技术(如 γ 射线和 X 射线)利用高能射线直接破坏微生物细胞壁及 DNA, 具有较强的穿透力, 可以杀灭深层微生物。辐照虽然能有效延长肉类保质期, 但可能引发脂肪氧化, 且处理成本较高。FAO 和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)于 1981 年确定冷鲜肉接收低于 10 kGy 以下的辐照剂量时不会造成任何毒理学危害或引起特定的营养或微生物问题。FDA 则列出通用剂量 3 kGy 辐照剂量可以杀灭大多数冷鲜畜产品中的有害微生物。同时, 有研究表明, 2 kGy 的 X 射线辐照冷鲜鸡肉可破坏肉表面腐败微生物的细胞膜, 使内容物流出, 同时辐照处理通过产生的自由基或活性氧(Reactive Oxygen Species, ROS), 降低了脂肪的氧化速率, 延长了冷鲜肉的货架期^[91]。但冷鲜猪肉经过电子束辐照处理后, 脂肪中生成大量的自由基从而导致了脂肪氧化加剧、必须脂肪酸以及其他营养物质流失等, 同时还存在设备贵、操作过程有泄露风险、难以处理大量的肉等问题^[92,93]。

2.2.4 畜禽冷鲜肉的表面消毒

消毒可以减少或消除细菌的载量, 通过对冷鲜肉的生产环境、工器具、操作者以及肉本身进行消毒剂消毒, 可以保障冷鲜肉的品质以及食用者的安全^[94]。就目前而言, 畜禽冷鲜肉常用的表面消毒技术主要包

括化学氧化剂和物理改性水溶液两类, 其作用机制与适用场景存在显著差异。

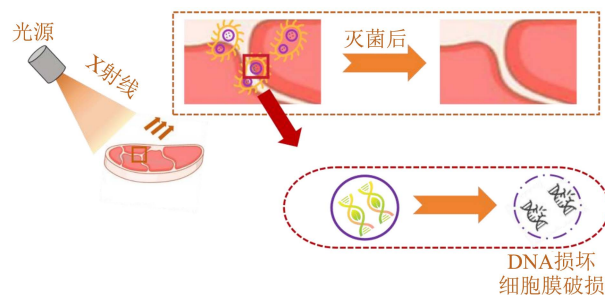


图 5 辐照灭菌原理

Fig.5 Principles of irradiation preservation

含氯化合物如次氯酸钠等, 常用于冷鲜肉生产环境、工器具中的消毒, 该类消毒剂具有强氧化性, 通过使微生物及病毒蛋白发生变性起到消毒的效果^[95]。但含氯化合物具有潜在的腐蚀性、不稳定性以及细菌耐药性等问题。

PAA 可有效杀灭沙门氏菌以及弯曲杆菌, 被 FDA 允许放入冷鲜肉冷却水或喷淋消毒, 且冷鲜肉中的检出 $<200 \text{ ppm}$ 的量。PAA 酸性高, 氧化能力强, 对冷鲜肉有漂白的作用^[96]。

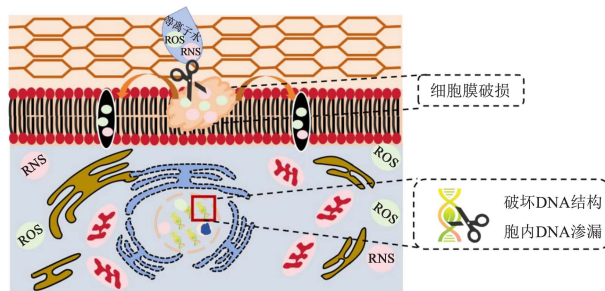


图 6 等离子水消毒原理

Fig.6 Plasma water disinfection principle

等离子活化水(Plasma-activated Water, PAW)是指水被低温等离子体处理后, 水分子离解的产物与等离子体中的活性物质反应产生富含更多种类活性成分的水溶液^[97,98]。其杀菌原理如图 6 所示, 细菌接触 PAW 后细胞壁、细胞膜迅速被破坏, 同时 PAW 产生大量 ROS、活性氮(Reactive Nitrogen Species, RNS)破坏细菌 DNA 结构, 造成 DNA 胞内泄露导致细菌迅速凋亡, 近年来由于杀菌效率高、无化学残留, 已经逐渐开始用于冷鲜肉的减菌保鲜^[99]。例如, Kang 等^[100]使用了 PAW 处理冷鲜鸡胸肉, 200 mL 处理 $(8 \pm 0.05) \text{ g}$ 的鸡胸肉 12 min 后, 发现鸡肉中假单胞菌下降了 $1.05 \log \text{ CFU/g}$ 。而柯志刚等^[101]使用 PAW 耦合生物保鲜剂(ϵ -PLH-Nisin)处理冷鲜牛肉发现 PAW- ϵ -PLH-Nisin 组的 TPC 在第 28 天仅为 $5.1 \log \text{ CFU/g}$, 仍

处于食用安全水平。目前对于 PAW 在冷鲜肉中的应用研究仍然匮乏,在未来可能会成为冷鲜肉杀菌技术的新风向。

2.3 畜禽冷鲜肉靶向抑菌技术现状

靶向抑菌是利用特定抗菌剂或物理方法有效抑制或杀灭微生物,延长冷鲜肉保质期的一种方法,与广谱抑菌相比,靶向抑菌针对性更强,抑菌效果更好,是目前的研究热点^[102]。在 2.1 中总结可知,目前冷鲜肉中常见的主要腐败菌为假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、肠杆菌属 (*Enterobacter*)、葡萄球菌 (*Staphylococcus*)、热死环丝菌 (*Brochothrix thermosphacta*) 以及不动杆菌 (*Acinetobacter*)。该部分将以这几类腐败菌的腐败机制以及靶向抑菌技术进行综述 (表 2)。

2.3.1 假单胞菌属

假单胞菌是一种需氧/兼性厌氧、存在一种或几种鞭毛的含脂肪氧化酶的革兰氏阴性菌,通常能在低于 7 °C 的温度下生长^[103]。生物被膜是假单胞菌属致病能力的重要特征之一。当浮游细菌黏附至冷鲜肉表面进行分裂繁殖合成与分泌生物被膜基质形成微菌落;随后多个微菌落互相融合形成成熟的生物被膜,最后成熟的生物被膜释放出浮游细菌来扩展和播散^[104]。而当肉表面的黏膜层被膜菌数量高达 10^8 CFU/cm² 时,肉就会形成不良的风味,缩短货架期^[105]。

目前常见抑制假单胞菌的原理是添加如香芹酚、肉桂精油等活性物质改变细胞膜的通透性以及抑制氧化酶的产生,从而达到杀死或抑制假单胞菌的目的^[106,107]。例如,张雯等^[108]提取了冠状散囊菌 FS-1 中的乙酸乙酯提取物抑制恶臭假单胞菌,结果显示该提取物破坏了假单胞菌的细胞膜,同时还通过影响细菌中的三羧酸循环从而达到靶向抑菌的目的。申悦等^[109]采用固定化青霉素酰化酶通过降低 N-酰基高丝氨酸内酯 (N-acyl-homoserine Lactones, AHLs) 酶信号传播,减少了 AHLs 的积累从而抑制了铜绿假单胞菌的群体感应,达到抑制铜绿假单胞菌生长的目的。相比于广谱抑菌,靶向抑制假单胞菌更能保证肉类的食用安全性,同时抑菌效果更显著,货架期更长。

2.3.2 肠杆菌属

肠杆菌属是一类由一类兼性厌氧型的棒状革兰氏阴性菌,通过发酵冷鲜肉中的乳糖和气体从而产生毒素,降低冷鲜肉的食用安全性^[110]。肠杆菌能在多种气体环境下生存,在氧气充足的条件下,通过三羧酸循环合成腺嘌呤核苷三磷酸 (Adenosine Triphosphate,

ATP),在无氧条件下可通过底物磷酸化合成 ATP 并通过电子转移链减少还原物质到内部电子受体 (如丙酮酸或乙酰辅酶 A) 以满足氧化还原的平衡^[111]。当肠杆菌产生胺类物质、硫化物和 H₂S 足够多时,冷鲜肉出现变绿、恶臭等现象,食用安全性降低^[112]。

目前主要通过利用乳酸菌或乳酸类似物进行靶向抑制肠杆菌生长。例如,孙家兴等^[113]发现高浓度苯乳酸可破坏肠杆菌细胞结构的完整性以及干扰胞内基因的转录和翻译。同时,乳酸还可以干扰肠杆菌菌体初期的黏附聚集能力和胞外多糖的分泌,对生物膜的形成有明显的抑制作用,达到抑制肠杆菌生长的目的^[114]。

2.3.3 热死环丝菌

热死环丝菌是可以产生硫化氢,水解胞外酶,加速高蛋白冷鲜肉腐败的一类兼性厌氧菌^[115]。热死环丝菌在有氧条件下代谢葡萄糖,无氧条件下代谢氨基酸、甘油和核糖等物质产生二乙酰、3-甲基丁醇、2-乙基-1 己醇和庚醇等异味腐败诱导化合物引起冷鲜肉的腐败变^[116]。

目前主要通过芳樟醇以及配合一部分气调包装技术,通过抑制其呼吸酶活性,导致其 ROS、MDA 等物质含量上升,触发氧化应激机制杀灭细菌^[117]。例如,Wang 等^[118]发现芳樟醇可降低热死环丝菌的膜电位,并诱导细胞内 ROS 的产生,最终导致细菌的死亡。而田凤则发现仅需 0.062 5 g·mL⁻¹ 的八角茴香就可对热死环丝菌生长产生明显的抑制作用^[119]。由此可知,这些天然抑菌成分通过多种机制有效抑制和杀灭热死环丝菌,展现出良好的靶向抑菌潜力。

2.3.4 不动杆菌属

不动杆菌属是一类非发酵条件致病菌,近些年来大量报道不动杆菌属是肉类食品中的腐败菌之一^[120]。与其他优势腐败菌不同的是,不动杆菌无法产生胞外细胞酶、H₂S 以及三甲胺等致腐物质,而是通过群体感应,利用 AHLs 和寡肽作为自诱导剂形成生物膜造成冷鲜肉的食用质量下降^[121]。

目前常见的研究主要是通过添加活性物质抑制不动杆菌属细胞膜的形成达到灭菌的目的。例如,Liu 等^[122]通过机器学习发现一种名为 abaucin 的体外窄谱抗菌化合物可以通过扰乱脂蛋白运输达到抑制不动杆菌生长的目的。Alaaddin 等^[123]发现香豆酸、阿魏酸和对甲氧基肉桂酸抑制不动杆菌属生物膜的形成,并可以穿透细胞膜破坏细菌的完整性,不动杆菌细胞膜的破坏率在 24 h 内达到了 77.5%。可见,通过抑制不动杆菌生物膜的形成和破坏细胞膜,可以有效抑制其生长,提升食品的安全性和保鲜效果。

表 2 靶向抑菌技术表

Table 2 Targeted bacteriostatic technology table

优势腐败菌	靶向抑菌方法	抑菌效果	文献
假单胞菌属	60 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的白藜芦醇	抑制绿脓素的产生，细菌抑制率达到 66.3%	[124]
	0.125 $\mu\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$ 肉桂精油纳米乳	抑制铜绿假单胞菌内氨基酸的合成和能量代谢等生理活动	[125]
	0.125 $\mu\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$ 大蒜精油	破坏菌体完整性导致胞内蛋白质泄露，菌体死亡	[126]
肠杆菌属	偏酸性物质	至少 25 种偏酸性保鲜剂对肠杆菌属有显著抑制作用	[127]
	乳酸菌细菌素	破坏细胞壁，内容物流出，细菌死亡	[128]
	铁盐	细胞膜破损，ROS 水平上升，脂质氧化水平加剧	[129]
热死环丝菌	姜黄素介导的光动力灭活技术	细胞膜破损，ROS 水平上升，可显著杀灭致病菌	[130]
	408 或 2 040 mJ/cm^2 短波紫外线辐照	引起 DNA 损伤，使细胞转录错误导致菌体凋亡	[131]
	抗菌单萜 3-Carene	细胞膜破损，内容物流出，引起 DNA 损伤，使细胞转录错误导致菌体凋亡	[132]
不动杆菌属	后生元 YDFF-3	跨膜转运、能量代谢、DNA 损伤修复、核苷酸结合和氧化还原等能力显著下调	[133]
	TiO_2 -乳酸链球菌素改性壳聚糖薄膜	降低细胞膜 ATP 酶活性，4 $^{\circ}\text{C}$ 储存 12 d 后丰度降低 24%	[134]
	0.62 $\mu\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$ 肉桂精油	抑菌圈直径仅为 29.30 $\pm$ 1.16 mm，与其他精油合用效果更佳	[135]

3 结论

本文总结了畜禽冷鲜肉的保鲜技术及相关法规的发展现状，重点分析了现行食品安全法规对冷鲜肉卫生标准、储运条件和微生物控制的规范要求。近年来，各类监管机构相继制定严格的食品安全法规，不仅涵盖畜禽冷鲜肉的卫生标准，还强调在整个供应链中维持适宜的低温环境（ $<7^{\circ}\text{C}$ ），以防止微生物污染和品质劣变。同时还列举了表面杀菌技术、非热杀菌技术、包装技术以及靶向灭菌技术在畜禽冷鲜肉保鲜中的应用情况，强调了新型杀菌技术的重要性。尽管如此，现有法规在应对新兴保鲜技术方面仍存在不足。如对部分杀菌（抑菌）剂的用量以及残留限量没有明确的要求，新兴保鲜包装材料缺乏安全性评估，新型冷杀菌技术的使用规范等。这些问题的存在会导致新技术在市场上的应用受到阻碍，进而影响整个行业的发展水平。

未来，建议政策制定者与研究者共同合作，构建动态更新的法规框架，确保其与食品科技进步相适应。同时，建立跨行业的标准化委员会，促进信息共享与技术交流，将有助于统一冷鲜畜禽肉的安全标准，推动行业的整体进步。加速冷鲜肉保鲜新技术的应用，可以有效提升冷鲜畜禽肉的质量安全，延长产品保质期，保障消费者权益，促进产业的可持续发展。

参考文献

[1] 对外经济贸易大学 数字经济实验室.中国畜禽类肉产品贸易月度监测报告(2024年1-6月)[EB/OL]. (2024-07-24)[2024-09-18].

https://www.sgpjbg.com/baogao/171110.html.

[2] 中商产业研究院.2024-2025年鲜、冷藏肉产量[EB/OL].(2025-01-22)[2025-01-27]. https://s.askci.com/data/MonthDetail/Index?zblId= a020907&type=2&isYear=1&StartTime=&EndTime=&CityCode=

[3] 姜世豪,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.

[4] International Organization for Standardization. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs-Horizontal Method for the Enumeration of Yeasts and Moulds: ISO 21527-1: 2008(E) [S]. Switzerland: ISO Copyright Office.

[5] International Organization for Standardization. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs-Horizontal Method for the Enumeration of Yeasts and Moulds: ISO 21527-2: 2008(E) [S]. Switzerland: ISO Copyright Office, 2008: 7.

[6] International Organization for Standardization. Microbiology of the Food Chain-Horizontal Method for the Enumeration of Microorganisms-Part 1: Colony Count at 30 $^{\circ}\text{C}$ by the Surface Plating Technique: ISO 4833-1: 2013(E) [S]. Switzerland: ISO Copyright Office, 2013.

[7] International Organization for Standardization. Microbiology of the food chain-Horizontal method for the enumeration of microorganisms-Part 2: Colony count at 30 $^{\circ}\text{C}$ by the surface plating technique: ISO 4833-2: 2013(E) [S]. Switzerland: ISO copyright office, 2013: 5.

[8] European Food Safety Authority. Commission Regulation (EC) No 2073/2005 of 15 November 2005 on Microbiological Criteria for Foodstuffs: (EC) No. 2073/2005 [S]. Parma: Official Journal of European Union, 2005: 15.

[9] United States Department of Agriculture. Meat and Meat Products, Poultry, Eggs and Products of Their Processing: Russia-customs Union Decision 299 [S]. Rockville: Food and drug administration, 2021.

[10] Canadian Food Inspection Agency. Standards to Identify a Meat Product as Edible-Canada: Standards to Identify a Meat Product as

- Edible Safe Food for Canadians Regulations: 125,126,145,146,147,156,157,158,159 [S]. Ottawa: Gouvernement du Canada, 2022.
- [11] GB16869-2005,鲜、冻禽产品[S].
- [12] GB18394-2020,畜禽肉水分限量[S].
- [13] 郝艳杰,张艳珍,朱嘉文,等.喷淋减菌及包装材料对冷鲜牦牛肉品质的影响[J].肉类研究,2020,34(8):63-69.
- [14] 刘树立,王春艳,邹忠义.冷却肉的保鲜技术[J].肉类工业,2007,8:10-12.
- [15] LUCIANO M, HEITOR D, GABRIEL E M, et al. Interactions of preservatives in meat processing: Formation of carcinogenic compounds, analytical methods, and inhibitory agents [J]. Food Research International, 2019, 125: 108608.
- [16] European Union. Laying Down Specifications for Food Additives: (EU) No 231/2012 [S]. Brussels: European University Press, 2012.
- [17] United States Department of Agriculture. Notification No. FCN 2274 [S]. Rockville: Food and Drug Administration, 2023: 1
- [18] The Pennsylvania State University. Antimicrobial Spray Treatments for Red Meat Carcasses Processed in Very Small Meat Establishments [S]. Philadelphia: The Pennsylvania State University, 2005: 12.
- [19] NYT 1174-2006,肉鸡屠宰质量管理规范[S].
- [20] Food Safety and Inspection Service. FSIS Stabilization Guideline for Meat and Poultry Products: FSIS-GD-2021-13 [S]. Washington: Food Safety and Inspection Service, 2021.
- [21] Codex Alimentarius Commission. Code of Hygienic Practice for Meat: CAC/RCP 58-2005 [S]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization, 2005.
- [22] GB 12694-2016,畜禽屠宰加工规范[S].
- [23] GB/T40464-2021,冷却肉加工技术要求[S].
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.质检总局关于发布内地供港冰鲜禽肉、冷冻禽肉和冰鲜猪肉检验检疫要求的公告[S].广州:质检总局,2017:3.
- [25] Food and Drug Administration. Food code: FDA 2017 food code [S]. Rockville: Food and Drug Administration, 2017.
- [26] Ministério da Agricultura e Pecuária. Guidance Document for Beef Exports to Brazil [S]. Brasília: Ministério da agricultura e pecuária, 2021: 3.
- [27] 李娇,毛相朝,姜毓君,等.畜产与海洋食品绿色高质加工及减损增效理论[J].中国食品学报,2024,24(5):30-40.
- [28] 刘嘉琪,王慧平,张鑫,等.原料肉冻藏品质劣变机制及其改善策略[J].食品科学,2024,45(8):321-330.
- [29] 张宜新,刘通,张峰.冷链贮存中生鲜食品劣变的快检技术研究进展[J].食品科学,2024,45(15):295-305.
- [30] 张喜才.石斑鱼冷藏过程中品质评价、蛋白变化以及内源性蛋白酶作用机制研究[D].上海:上海海洋大学,2020.
- [31] 陈倩茹,周艳芳,照那木拉,等.微酸性次氯酸水结合乳化剂酪蛋白酸钠对冷鲜肉主要腐败菌的杀菌作用[J].食品科学,2023,44(7):74-80.
- [32] 王丽,林颖,谭旭,等.冷鲜肉主要致腐微生物及构建微生物预测模型研究进展[J].肉类研究,2023,37(10):42-48.
- [33] 何泽莹,王喆,杨凯,等.冷鲜肉保鲜过程中微生物控制措施研究进展[J].养殖与饲料,2021,20(5):63-65.
- [34] FATEMEH A M, AKRAM S, MARYAM A. Effect of chitosan coating containing Nepeta pogonosperma extract on shelf life of chicken fillets during chilled storage [J]. Food Science and Nutrition, 2021, 9(8): 4517-4528.
- [35] TANG X Y, SUN X H, VIVIAN C H W, et al. Predicting shelf-life of chilled pork sold in China [J]. Food Control, 2013, 32(1): 334-340.
- [36] SAVA B, GEORGE J N, MICHAEL R.F. L, et al. Microbial pathogen control in the beef chain: Recent research advances [J]. Meat Science, 2014, 97(3): 288-297.
- [37] KILONZO-NTHENGE A, NAHASHON S N, CHEN F, et al. Prevalence and antimicrobial resistance of pathogenic bacteria in chicken and guinea fowl [J]. Poultry Science, 2008, 87(9), 1841-1848.
- [38] SHEN W W, CHEN H, GENG J W, et al. Prevalence, serovar distribution, and antibiotic resistance of Salmonella spp. isolated from pork in China: A systematic review and meta-analysis [J]. International Journal of Food Microbiology, 2022, 361(16): 109473.
- [39] LAURA R, JOHN P B, TOM R, et al. Spoilage potential of bacterial species from chilled vacuum-packed lamb [J]. Food Microbiology, 2022, 107: 104093.
- [40] 李虹敏,徐幸莲,周光宏.禽类屠宰加工过程中微生物污染及减菌措施[J].肉类工业,2009,2:7-9.
- [41] 郑海鹏.肉类腐败微生物[J].肉类研究,2008,8:54-59.
- [42] 陈鑫,林捷,孙瑞,等.冰鲜鸡胴体内外表面腐败菌及特性研究[J].食品工业,2018,39(6):206-210.
- [43] BALAMATSIA C C, PALEOLOGOS E K, KONTOMINAS M G, et al. Correlation between microbial flora, sensory changes and biogenic amines formation in fresh chicken meat stored aerobically or under modified atmosphere packaging at 4 °C: possible role of biogenic amines as spoilage indicators [J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 2006, 89: 9-17.
- [44] POLUMIDE A O, OLUWADARA O A, MARIYANA S, et al. Understanding spoilage microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(2): 311-331.
- [45] WANG X X, WANG Z T, SUN Z L, et al. *In vitro* and *in situ* characterization of psychrotrophic spoilage bacteria recovered from chilled chicken [J]. Foods, 2023, 12(1): 95.
- [46] GUO Y J, CAO Z F, WENG K Q, et al. Effect of chilled storage period on the volatile organic compounds and bacterial community in goose meat [J]. Food Chemistry: X, 2024, 23: 101685.
- [47] 闫小杰,白乌日力嘎,康连和,等.冷鲜牛肉贮藏保鲜技术研究进展[J].食品工业,2023,44(12):196-201.
- [48] 刘梦竹,邓森荣,康桦华,等.猪肉优势腐败菌货架期预测模型的构建[J].现代食品,2023,29(9):206-211.
- [49] 刘亚文,刘芳,孙芝兰,等.基于传统培养和高通量测序方法分析羊肉加工过程中的菌群多样性[J].食品工业科技,2020,41(9):95-101,107.
- [50] GB/T 40464,冷却肉加工技术要求[S].
- [51] SHAO L T, CHEN S S, WANG H D, et al. Advances in understanding the predominance, phenotypes, and mechanisms of bacteria related to meat spoilage [J]. Trends in Food Science and Technology, 2021, 118(B): 822-832.
- [52] 崔蓬勃,梁健亲,程天宇,等.日本鲭的保鲜技术研究进展[J].水产学报,2024,48(7):079801.

- [53] PRADO C S, FELÍCIO P E. Effects of chilling rate and spray-chilling on weight loss and tenderness in beef strip loin steaks [J]. *Meat Science*, 2010, 86: 430-435.
- [54] 曹兵.肉鸡宰后预冷工艺技术优势比较分析[J]. *中国畜牧业*, 2022,15:49-50.
- [55] 宋晓燕,刘宝林.食品真空冷却技术研究进展[J]. *食品科学*, 2014,35(11):319-324.
- [56] ZHENG L Y, SUN D W. Vacuum cooling for the food industry-a review of recent research advances [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2004, 15, 555-568.
- [57] 熊杰,伯朝英,常海军.不同包装方式对冷藏重庆合川黑猪肉品质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*,2021,56(2):160-168.
- [58] 骆双灵,张萍,高德.肉类食品保鲜包装材料与技术的研究进展[J]. *食品与发酵工业*,2019,45(4):220-228.
- [59] FAO. Global Food Losses and Food Waste-Extent, Causes and Prevention [S]. FAO: Rome, Italy, 2011.
- [60] 席丽琴,杨君娜,许随根,等.肉及肉制品气调包装技术研究进展[J]. *肉类研究*,2019,33(9):64-68.
- [61] 田璐,靳雯雯.气调包装冷却猪肉中微生物生长概率模型的研究[J]. *食品工程*,2024,1:60-64.
- [62] 王素,张德权,王卫,等.超快速冷却结合不同包装贮藏对冷鲜猪肉品质的影响[J]. *中国食品学报*,2023,23(10):238-248.
- [63] HU H H, ZHANG L, LU L L, et al. Effects of the combination of moderate electric field and highoxygen modified atmosphere packaging on pork meat quality during chill storage [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, 44: e14299.
- [64] HUANG M M, WANG J M, ZHUANG H, et al. Effect of in-package high voltage dielectric barrier discharge on microbiological, color and oxidation properties of pork in modified atmosphere packaging during storage [J]. *Meat Science*, 2019, 149: 107-113.
- [65] RAHIMEH J, GÜZİN K, and MÜKERREM K. Effects of vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging on physico-chemical and microbiological properties of minced water buffalo meat [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2019, 32(3): 421-429.
- [66] PABLO R, GIANNINA B, JESICA R, et al. Microbiological changes during long-storage of beef meat under different temperature and vacuum-packaging conditions [J]. *Foods*, 2023, 12: 694.
- [67] BENIAMINO T C, MARIA F I, PAOLA S, et al. New trends in meat packaging [J]. *Microbiology Research*, 2020, 11: 56-67.
- [68] SUNIL K J, KENSHI H. Recognition and sensing of organic compounds using analytical methods, chemical sensors, and pattern recognition approaches [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2019, 185(15): 18-31.
- [69] REYHAN I, OZLEM K E. Novel food packaging systems with natural antimicrobial agents [J]. *Food Scientists and Technologists*, 2015, 52(10), 6095-6111.
- [70] FANG Z X, ZHAO Y Y, ROBYN D W, et al. Active and intelligent packaging in meat industry [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2017, 61: 60-71.
- [71] 余科金,张司雨,聂宇婧,等.纳米纤维素水凝胶的制备与表征及其对猪肉的保鲜作用[J]. *农业工程学报*,2024,40(13):253-261.
- [72] DENG B, CHEN J W, LI SH B, et al. An antibacterial packaging film based on amylose starch with quaternary ammonium salt chitosan and its application for meat preservation [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 261(2): 129706.
- [73] SU Z H, ZOHREH R, GYE H S, et al. Pseudomonas aeruginosa-derived carbon dots doped with sulfur as active packaging materials for fresh food preservation [J]. *Food Bioscience*, 2024, 57: 103506.
- [74] CARLOS A, CONTE J, MARIA L G, et al. The Effect of different packaging systems on the shelf life of refrigerated ground beef [J]. *Foods*, 2020, 9(4): 495.
- [75] YANG H B, DAVID L H, ZHANG Y M, et al. Preliminary investigation of the use of Raman spectroscopy to predict beef spoilage in different types of packaging [J]. *Meat Science*, 2020, 165: 108136.
- [76] MUHAMMAD H J, MUAWUZ I, HAFIZ A H, et al. Effect of oregano essential oil or lactic acid treatments combined with air and modified atmosphere packaging on the quality and storage properties of chicken breast meat [J]. *LWT*, 2021, 146: 111459.
- [77] PANAGIOTA T, NIKOLETTA S, LOULOUDA B, et al. Assessment of the spoilage microbiota in minced free-range chicken meat during storage at 4 °C in retail modified atmosphere packages [J]. *Food Microbiology*, 2021, 99: 103822.
- [78] LI S J, GUO X X, SHEN Y Q, et al. Effects of oxygen concentrations in modified atmosphere packaging on pork quality and protein oxidation [J]. *Meat Science*, 2022, 189: 108826.
- [79] CHMIEL M, ROSZKO M, ADAMCZAK L, et al. Influence of storage and packaging method on chicken breast meat chemical composition and fat oxidation [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(6): 2679-2690.
- [80] OLAF K H, MAŁGORZATA M, JOANNA M, et al. The composition of fatty acids in ostrich meat influenced by the type of packaging and refrigerated storage [J]. *Molecules*, 2019, 24(22): 4128.
- [81] MAREK K, PIOTR D, MONIKA Z, et al. Effect of VP, MAP and combined packaging systems on the physicochemical properties and microbiological status of veal from unweaned calves [J]. *Meat Science*, 2024, 216: 109590.
- [82] JOANNA L, ANDRZEJ P, AGNIESZKA W. Effect of MAP, vacuum skin-pack and combined packaging methods on physicochemical properties of beef steaks stored up to 12 days [J]. *Meat Science*, 2016, 119: 147-153.
- [83] BEGONYA M, PAULA Q, MICHELA A, et al. Tailor-made packaging strategies of fresh pork belly with different fat content: Enhancing shelf life while minimizing environmental impact [J]. *Meat Science*, 2024, 217: 109627.
- [84] ZHANG J J, ZHANG J N, HUANG X W, et al. Study on cinnamon essential oil release performance based on pH-triggered dynamic mechanism of active packaging for meat preservation [J]. *Food Chemistry*, 2023, 400: 134030.
- [85] FABRIZIO B, ELENA T, MAGDALENA W, et al. Polyamide modified with green tea extract for fresh minced meat active packaging applications [J]. *Food Chemistry*, 2019, 300: 125242.
- [86] MARCIO A R S, CALLEBE C S, CLEBERYANNE S C, et al. Active packaging with starch, red cabbage extract and sweet whey: Characterization and application in meat [J]. *LWT*, 2021, 135: 110275.
- [87] DILARA K TAKMA, FIGEN K. Active packaging films as a carrier of black cumin essential oil: Development and effect on quality and shelf-life of chicken breast meat [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2019,

- 19, 210-217.
- [88] MAHMOOD A S, ESMAIL M, DAVID J M. Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat [J]. Food Chemistry, 2020, 322: 126782.
- [89] 徐幸莲, 王金玉, 王济民. 2014世界鸡肉加工研究和技术发展报告 [J]. 中国家禽, 2015, 10:9-11.
- [90] 史易明, 林捷, 郑华, 等. 紫外线结合生物源膜基抑菌剂保鲜鸡肉技术 [J]. 食品科技, 2016, 12:87-92.
- [91] GAO W X, LI X N, WAN J Q, et al. Influence of X-ray irradiation on quality and core microbiological characteristics of chilled chicken meat [J]. LWT, 2024, 206: 116582.
- [92] ROSSI I, ARIF N I, EDY S. Meat irradiation: A comprehensive review of its impact on food quality and safety [J]. Foods, 2023, 12(9): 1845.
- [93] 吴俊师, 缪承杜, 温晓梅, 等. 辐照技术在肉及肉制品中的应用研究进展 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(12):437-444.
- [94] 刘志昌, 容庭, 彭广辉, 等. 畜禽舍现场消毒技术研究进展 [J]. 养禽与禽病防治, 2021, 8:2-5.
- [95] 付丽, 桂俊, 高雪琴, 等. 冷藏车消毒及运输条件对冷鲜肉保鲜效果的影响 [J]. 肉类研究, 2019, 33(3):59-66.
- [96] HELOÍSA C R, MARIELI L, LÍBIA D S. Peracetic acid application as an antimicrobial and its residual (HEDP): a holistic approach on the technological characteristics of chicken meat [J]. Poultry Science, 2023, 102(10): 103003.
- [97] 唐林, 王松, 郭柯宇, 等. 低温等离子体活化水在食品杀菌保鲜中的应用 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(12):347-357.
- [98] FLORA-GLAD C E, DA-WEN S, JUN-HU C. A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends [J]. Trends in Food Science and Technology, 2017, 69, 46-58.
- [99] ZHANG C Y, LUO Y L, DENG Z Y, et al. Recent advances in cold plasma technology for enhancing the safety and quality of meat and meat products: A comprehensive review [J]. Food Research International, 2025, 202: 115701.
- [100] KANG C D, XIANG Q S, ZHAO D B, et al. Inactivation of *Pseudomonas deceptionensis* CM2 on chicken breasts using plasma-activated water [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56: 4938-4945.
- [101] 柯志刚, 田玉玲, 刘书来, 等. 等离子体活化水耦合生物保鲜剂对牛肉的保鲜作用 [J]. 食品科学, 2025, 46(2):20-29.
- [102] CORAL B, MIROSLAV D, MERCEDES L, et al. Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products [J]. A Systematic Review. Meat Science, 2022, 183: 108661.
- [103] VALERIO M, ANDREA O, LUCIA A. Research progress in the use of lactic acid bacteria as natural biopreservatives against *Pseudomonas* spp. in meat and meat products: A review [J]. Food Research International, 2024, 196: 115129.
- [104] 鲁重, 刘静聪, 吴诗媛, 等. 生鲜食品腐败假单胞菌生物被膜形成及其调控机制研究进展 [J]. 食品科学, 2023, 44(17):278-285.
- [105] WICKRAMASINGHE N N, RAVENSDALE J, COOREY R, et al. The predominance of *Psychrotrophic Pseudomonads* on aerobically stored chilled red meat [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18(5): 1622-1635.
- [106] 李佳玟, 吴轩, 潘雅洁, 等. 香芹酚对恶臭假单胞菌的抑制作用 [J]. 肉类研究, 2024, 38(6):71-75.
- [107] 李波, 郑凯茜, 马云芳, 等. 肉桂精油抑制鸡肉源假单胞菌CM2的作用机制研究 [J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(6): 156-161, 169.
- [108] 张雯, 王梅婷, 王明钰, 等. 冠突散囊菌胞内提取物抑制恶臭假单胞菌的作用机制 [J]. 食品科学, 2023, 44(7):57-64.
- [109] 申悦, 劳敏军, 王当丰, 等. 固定化青霉素酰化酶对荧光假单胞菌群体感应的抑制作用 [J]. 中国食品学报, 2022, 22(10):77-86.
- [110] MLADENović K G, GRUJOVIĆ M Ž, KIŠ M, et al. *Enterobacteriaceae* in food safety with an emphasis on raw milk and meat [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2021, 105(23): 8615-8627.
- [111] 文向圆. 托盘和真空包装生鲜羊肉中腐败菌致腐特性及机制研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2024.
- [112] 张一敏, 朱立贤, 张万刚, 等. 生鲜牛肉中的腐败微生物概述 [J]. 食品科学, 2018, 39(13):289-296.
- [113] 孙家兴, 李秋莹, 崔方超, 等. 苯乳酸对霍氏肠杆菌及其生物被膜的抑制作用 [J]. 中国食品学报, 2024, 24(11):40-49.
- [114] 刘亚文, 靳盼盼, 许晓曦, 等. 乳酸对阴沟肠杆菌生物膜形成的抑制作用 [J]. 食品科学, 2020, 41(7):1-7.
- [115] 方金玉. 冷鲜肉中假单胞菌和热死环丝菌致腐机制及其光动力杀菌控制研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2023.
- [116] ANTHONY P B, LIU P P, CHEN J H, et al. Antibacterial efficacy of phenyllactic acid against *Pseudomonas lundensis* and *Brochothrix thermosphacta* and its synergistic application on modified atmosphere/air-packaged fresh pork loins [J]. Food Chemistry, 2024, 430(1): 137002.
- [117] HE R R, ZHONG Q P, CHEN W J, et al. Antimicrobial mechanism of linalool against *Brochothrix thermosphacta* and its application on chilled beef [J]. Food Research and International, 2022, 157: 111407.
- [118] WANG L T, LIU X, CHEN W X, et al. Studies on the inhibition mechanism of linalyl alcohol against the spoilage microorganism *Brochothrix thermosphacta* [J]. Foods, 2024, 13(2): 244.
- [119] 田凤, 李晓, 崔宇倩, 等. 香辛料提取液对假单胞菌和葡萄球菌及热死环丝菌的抑菌研究 [J]. 北京农学院学报, 2017, 32(2):10-14.
- [120] 史云娇, 刘芳, 孙芝兰, 等. 藏羊肉中优势腐败不动杆菌的分离鉴定及其生物膜形成特性 [J]. 江苏农业学报, 2019, 35(1):195-203.
- [121] ZHU S Q, WU H H, ZHANG C L, et al. Spoilage of refrigerated *Litopenaeus vannamei*: eavesdropping on *Acinetobacter acyl-homoserine lactones* promotes the spoilage potential of *Shewanella baltica* [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55: 1903-1912.
- [122] LIU G, DENISE B C, KHUSHI R, et al. Deep learning-guided discovery of an antibiotic targeting *Acinetobacter baumannii* [J]. Nature Chemical Biology, 2023, 19: 1342-1350.
- [123] ALAADDIN K, SERAP Ö G, ESRA A, et al. Cinnamic acid compounds (p-Coumaric, Ferulic, and p-Methoxycinnamic acid) as effective antibacterial agents against colistin-resistant *Acinetobacter baumannii* [J]. Antibiotics, 2025, 14(1): 71.
- [124] 綦国红, 杨志萍, 王海翔, 等. 白藜芦醇对铜绿假单胞菌群体感应抑制作用 [J]. 食品工业, 2023, 44(5):178-182.
- [125] 赵电波, 马燕青, 王少丹, 等. 基于非靶向代谢组学解析肉桂精油纳米乳抑制假单胞菌CM2作用机制研究 [J]. 食品工业科

技,2023,44(17):168-175.

[126] 欧凯玉.强致腐性猪肉源霉实假单胞菌的分离与大蒜精油对其抑菌机制的研究[D].泰安:山东农业大学,2024.

[127] 郑梦林,刘明芹,闵婷.不同保鲜剂对冷鲜鸭肉中肠杆菌抑菌特性研究[J].食品科技,2015,6:142-146.

[128] 陈卓,张竞嫣,杨露,等.抑制阪崎肠杆菌的乳酸菌筛选及其抗菌物质特性研究[J].食品安全质量检测学报,2023,14(7):113-122.

[129] 冯程远,徐丹,王猷胜,等.铁盐对阪崎肠杆菌的杀菌效应研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2022,43(4):9-17.

[130] LU H X, ZHENG S Z, FANG J Y, et al. Photodynamic inactivation of spoilers *Pseudomonas lundensis* and *Brochothrix thermosphacta* by food-grade curcumin and its application on ground beef [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2023, 87: 103410.

[131] JULIA R CORINNA K, CARSTEN K. Inactivation of *Yersinia enterocolitica* and *Brochothrix thermosphacta* on pork by UV-C irradiation [J]. Meat Science, 2019, 158: 107909.

[132] SHU H Z, CHEN H M, WANG X L, et al. Antimicrobial activity and proposed action mechanism of 3-carene against *Brochothrix thermosphacta* and *Pseudomonas fluorescens* [J]. Molecules, 2019, 24(18): 3246.

[133] ZHANG Z S, ZHAO J S, ZANG J H, et al. The enhanced antibacterial effect and mechanism of PostbioYDFF-3 against *Pseudomonas putida* NBRC 14164 and *Acinetobacter johnsonii* ANC 3681 [J]. Food Bioscience, 2024, 62: 105556.

[134] YAN R N, LIU M X, ZENG X Q, et al. Preparation of modified chitosan-based nano-TiO₂-nisin composite packaging film and preservation mechanism applied to chilled pork [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 269(1):131873.

[135] 岳聪聪,李钰乐,郝小康,等.七种精油对多重耐药鲍曼不动杆菌的抑制作用[J].现代食品科技,2019,35(1):109-113,30.