

冷链物流过程中畜禽类农产品微生物污染溯源及风险评估分析

王昱文

闽南师范大学

DOI:10.32629/as.v9i2.3742

[摘要] 随着畜禽类农产品消费量与冷链物流规模的持续扩大,微生物污染已成为威胁食品安全与公众健康的重大风险隐患。本文系统分析了畜禽产品冷链物流全链条中包括养殖、屠宰、加工、仓储运输到销售在内各环节的微生物污染来源。探讨了分子生物学与数字信息化等现代溯源技术在污染路径追踪中的应用与集成挑战。在此基础上,构建了一个涵盖风险识别、评估方法及结果应用的全链路风险评估体系,并提出了融合关键技术应用与系统化管理的综合防控策略,旨在为提升我国畜禽类农产品冷链物流的微生物安全控制水平提供理论参考与实践指导。

[关键词] 冷链物流; 畜禽产品; 微生物污染; 溯源技术; 风险评估

中图分类号: S814 文献标识码: A

Traceability and Risk Assessment Analysis of Microbial Contamination in Livestock and Poultry Agricultural Products during Cold Chain Logistics

Yuwen Wang

Minnan Normal University

[Abstract] With the continuous increase in the consumption of livestock and poultry agricultural products and the scale of cold chain logistics, microbial contamination has become a significant risk threatening food safety and public health. This paper systematically analyzes the sources of microbial contamination across the entire cold chain logistics process of livestock and poultry products, spanning from breeding, slaughtering, processing, storage, and transportation to sales. It explores the application and integration challenges of modern traceability technologies, such as molecular biology and digital informatization, in tracking contamination pathways. Building on this, a comprehensive risk assessment framework covering risk identification, assessment methods, and result application is developed. Furthermore, integrated prevention and control strategies combining key technology applications and systematic management are proposed, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for enhancing the microbial safety control of livestock and poultry agricultural products in China's cold chain logistics.

[Key words] Cold chain logistics; Livestock and poultry products; Microbial contamination; Traceability technology; Risk assessment

随着我国居民膳食结构升级与生鲜消费模式转型,畜禽类农产品冷链物流需求急剧增长。然而,产业链条长、环节复杂,使得微生物污染风险贯穿始终,严重威胁食品安全与公共卫生。为保障产品质量、防范系统性风险,亟需对污染来源进行精准追溯,并对全链条风险进行科学评估。

1 畜禽类农产品微生物污染现状及现有风险评估

随着城乡居民生活水平的不断提高,畜禽类农产品消费量的持续攀升,带动了冷链物流规模迅速扩大。我们在感受产业快速发展的同时,由微生物污染引发的食品安全问题却日益凸显,成为威胁消费者健康与公共卫生安全的重大隐患^[1]。近年来的

冷链畜禽产品抽检中,诸如沙门氏菌、李斯特菌及致病性大肠杆菌等食源性致病菌,屡次被检出,这些病菌不仅导致产品腐败变质,更可能引发急性肠胃炎、败血症甚至更严重的健康后果,对公众构成持续性的健康威胁。

现有的研究已经证明,温度控制是影响冷链物流过程中微生物安全的核心因素^[2]。冷链中断或温度波动会显著改变畜禽产品中的微生物群落结构,不仅会加速腐败菌的增殖,缩短产品货架期,更可能会诱发致病菌的大量繁殖^[3-4]。例如,在冷藏鸡肉流通过程中,一旦温度失控超过临界范围(如>4℃),其菌落总数及嗜冷微生物数量可在短时间内迅速超标,极大提升食用风险。

尤其是李斯特氏菌,这是一种常见的耐冷致病菌,可在0-4°C低温环境中存活并缓慢繁殖,多见于未充分加热的乳制品、肉类及即食食品中,对孕妇、新生儿、老年人和免疫缺陷者危害极大。由此可见,冷链控制并非绝对安全,仅仅是一种抑制细菌的手段。为应对上述挑战,国内外学者已积极展开相关研究,主要集中在两大方向:一是开发先进的污染溯源技术,如基于全基因组测序的DNA指纹图谱分析和基于分布式账本技术的区块链溯源系统,旨在实现污染路径的精准追溯与透明化管理^[5];二是构建科学的评估模型,如定量微生物风险评估,通过系统模拟与数学建模,从农场到餐桌全过程中的微生物风险水平进行量化评估^[6]。但现有研究多聚焦于冷链系统中的单一环节或局部过程,缺乏对养殖、屠宰、加工、运输、销售等全链路的系统性、综合性分析框架,这种片段化的研究视角难以揭示微生物在全过程中的动态传播规律与交叉污染机制,制约了整体防控效能的提升。根据2025年上半年国家农产品质量安全例行监测结果,我国畜禽产品总体合格率虽高达97.9%,但即食肉制品中的李斯特菌污染问题依然突出。一项针对中国熟肉产品的定量微生物风险评估研究显示,散装熟肉产品的李斯特菌污染率显著高于预包装产品,且对孕妇等特定人群构成极高的健康风险^[7]。这一数据警示我们,在总体向好的安全形势下,针对特定产品、特定环节和特定人群的精细化风险管控依然至关重要。

2 冷链物流过程中畜禽类农产品微生物污染来源与追溯技术

2.1 污染来源的关键环节分析

畜禽类农产品冷链物流包括养殖、屠宰、加工、仓储、运输、销售等多个环节,每个环节都可能引入微生物污染。在养殖阶段,畜禽本身携带的沙门氏菌、大肠杆菌等可通过粪便、饲料传播^[7]。例如,家禽养殖场中,膛洗和清洗环节是微生物交叉污染的主要节点。在屠宰与加工阶段,设备表面、工作人员及清洗不彻底的水样可能成为污染源,导致微生物扩散。在仓储与运输阶段,温度波动、卫生管理不足及交叉污染是主要问题。例如,冷藏车温度若升至5°C以上,沙门氏菌和李斯特菌可能快速增殖;运输工具清洁不彻底则会残留有机物,形成微生物滋生温床。在加工处理环节,中式熟肉制品经过热处理后,在冷却、切片、分装等后续环节中,极易通过人员、工器具、环境空气等途径发生交叉污染。在销售环节,不当的储存温度或处理方式(如生熟混放)也会进一步增加污染风险。此外,包装方式也会影响微生物生长。例如,改良气氛包装(MAP)可抑制好氧菌,但若冷链中断,仍可能导致腐败菌超标。通过识别这些关键环节,可以有针对性地制定控制措施,从源头上减少因加工环境不佳导致的污染风险。

2.2 现代溯源技术的原理与应用

现代溯源技术为精准定位污染源头提供了强大工具。分子生物学溯源技术,如全基因组测序(WGS),通过解析微生物完整的遗传信息,能够以极高的分辨力比对不同环节分离菌株的亲缘关系,从而精确描绘污染传播路径,在食源性疾病暴发调查中

起到“黄金标准”的作用。数字信息化溯源技术,如区块链与物联网传感网络,则构建了产品的“数字孪生”。区块链以其分布式、不可篡改的特性,确保了从养殖到销售各环节记录信息(如检验报告、交接时间)的真实性;可以通过搭建区域性的食品安全溯源云平台,采用统一的数据接口标准,为上下游企业提供低成本、易使用的服务。而物联网传感器实时采集并上传温湿度数据,则为追溯温度滥用导致的微生物增殖提供了直接证据。

2.3 追溯系统的集成应用与挑战

将多种溯源技术集成应用,形成合力,是未来发展的必然趋势。一个高效的集成追溯系统能够将全基因组测序确定的生物污染源,与区块链记录的物流路径、物联网传感器捕捉的环境异常进行时空关联^[8],实现从基因到环节的精准定位。例如,在发生李斯特菌污染事件时,系统可快速锁定源自某一加工批次、并在特定运输车辆中因温度异常而大量增殖的责任环节。然而,这种集成应用仍面临诸多挑战:全基因组测序技术成本较高、数据分析专业性强;区块链技术需要产业链各方共同参与并统一数据标准,初期投入巨大;跨企业、跨部门的数据共享存在壁垒;此外,相关法律法规和监管标准尚不完善,都制约了追溯系统效能的最大化发挥。

3 风险评估体系构建及综合防控策略

3.1 评估体系构建

3.1.1 全链路风险识别与分级

构建风险评估体系的首要步骤是对冷链全链路进行系统性的风险识别与分级^[9]。此过程需基于历史数据、现场调研和专家知识,全面梳理从养殖到销售每一个子环节中潜在的微生物污染危害。例如,在养殖环节重点识别动物自身带菌率与饲料卫生;在屠宰环节关注交叉污染;在物流环节紧盯温度波动。随后,需采用风险矩阵等方法,从“发生的可能性”和“后果的严重性”两个维度对识别出的风险点进行半定量评估与分级。食品安全风险是动态变化的,未来依托大数据、物联网和数字孪生等技术,可以明确区分出高风险点(如长途运输温控)、中风险点(如屠宰器械清洗)和低风险点,为后续的资源优先配置和精准防控提供决策依据,实现风险管理效率的最大化。

3.1.2 基于多源数据的风险评估方法

在风险识别基础上,评估方法需要整合多源数据以量化风险,需要强化对关键指标的动态监测与数据分析^[10]。整个风险评估的核心在于结合物联网实时温湿度数据、定期微生物抽检数据(如菌落总数、特定致病菌阳性率)以及操作记录(如消毒频率、包装完整性),对各个风险点的状态进行综合评价。例如,通过分析某批次产品在物流过程中的温度时间曲线,结合特定致病菌(如李斯特菌)的生长模型,可以预测该批次产品到达消费者时的微生物风险水平。这种基于数据的评估方法,将静态的风险点清单转化为动态的风险预警信号,使风险管理从事后追溯向事前预警、事中干预转变。

3.1.3 评估结果的验证与应用

风险评估体系的最终价值在于其指导实践的效果,因此评

估结果的验证与应用至关重要。通过将评估预测的风险趋势与实际检测结果、食品安全事件数据进行对比完成验证,利用验证结果不断修正和优化评估模型与参数。经过验证的评估结果,应直接应用于指导风险管理实践。一方面,它为企业开展针对性的内部审计和供应商管理提供了焦点,例如,对评估出的高风险环节加大监测频次。另一方面,它为监管部门制定分类分级监管策略、确定抽检重点提供了科学依据,能够显著提升监管资源的利用效率和整个行业的安全水平。

3.2综合防控策略

3.2.1微生物污染控制技术策略

控制微生物污染需结合新型技术,覆盖冷链全环节。在养殖与屠宰环节,推广卫生管理规范,减少初始菌源。例如,家禽养殖场通过优化清洗流程,可降低交叉污染风险。在运输与仓储环节,应用智能包装和保鲜技术抑制微生物生长^[11]。例如,改良气氛包装(MAP)可通过调节气体比例延长鸡肉保鲜期;绿色保鲜剂(如植物精油乳液)具有天然抑菌效果,适用于冷鲜肉。此外,新型消毒技术(如紫外线、臭氧)在低温环境下仍能有效灭活微生物,弥补化学消毒剂的不足。针对不同环节的特点,需采取差异化的技术控制策略。在养殖环节,重点推广生物安全措施,如分区管理、全进全出制,并通过益生菌饲料添加剂调节畜禽肠道菌群,从源头降低病原菌携带率。屠宰环节应注重工艺流程优化,先处理健康群体后处理高风险群体,减少交叉污染;同时推广低菌屠宰技术。加工环节应加强接触面管理,推广抗菌材料工作台面与自动化设备,减少人为接触带来的污染。仓储运输环节需完善温度监控系统,实现温度异常的实时报警与自动纠偏。销售环节则应强化消费者终端管理,推广智能售货柜与家用冷链监测设备,确保产品在消费前的全程温控。

3.2.2系统化管理与政策保障

强化全程监控,利用区块链、大数据建立溯源平台,实现数据共享与责任追溯。政府方面,要加强政策监管,制定散装即食食品的微生物限量标准。企业方面,要制定应急预案,建立完善食品安全文化体系,将微生物安全管理纳入企业战略。同时,加强员工培训,特别是关键环节操作人员的卫生规范培训,实行持证上岗;建立供应商审核制度,对冷链服务商实行准入管理;制定详细的应急预案,定期进行模拟演练;应用先进管理工具,如基于大数据分析的预警系统,当监测数据异常时自动触发纠正措施。高校方面,应积极与企业合作,设立“食品安全创新基金”,开展针对中小企业的低成本追溯解决方案、新型抗菌包装材料等应用型研究,推动科技成果的产业化转化。

4 结语

本文对畜禽类农产品在冷链物流过程中的微生物污染问题进行了系统性的再分析,明确了各环节的污染来源与特征,并探讨了现代溯源技术的集成应用与挑战。研究的核心在于构建了一个覆盖风险识别、评估到应用的全链路风险评估体系,为实现风险的精细化、科学化管理提供了框架。在此基础上,提出技术与管理相结合的综合防控策略,旨在形成覆盖全程、多措并举的安全屏障。未来,随着溯源技术的不断成熟、数据融合的深化以及智能化决策的发展,畜禽类农产品冷链物流的微生物安全控制必将迈向更加精准、高效的新阶段,为保障食品安全和公众健康提供更坚实的支撑。

[参考文献]

- [1]王姿力.构建农产品冷链安全追溯体系助力产业良性发展[J].中国商界,2024(4):128-130.
- [2]刘佳,夏晓蕾,王丽娟,等.进口冷链食品追溯管理平台及创新应用[J].农业大数据学报,2022,4(1):8.
- [3]唐衍军,许雯宏,李海洲,等.基于区块链的食品冷链质量安全信息平台构建[J].包装工程,2021,42(11):6.
- [4]沈倩.基于区块链技术的农产品冷链物流追溯系统解决方案[J].物流工程与管理,2024,46(5):60-63.
- [5]贾臻.食品安全视角下的物流配送管理[J].食经,2025(6):0128-0136.
- [6]李润雪,李春保,贾晓楠,等.猪胴体不同冷链运输条件下微生物变化[J].南京农业大学学报,2020,43(5):959-968.
- [7]基于QMRA的中国熟肉产品李斯特菌风险评估研究.食品科学,2023.
- [8]丁丽鑫.乳制品冷链物流配送问题研究[J].中国储运,2024(9):133-133.
- [9]廖威龙,肖斯立,韩琦,等.HACCP体系在水产品冷链物流中的运用[J].粮食流通技术,2021,(006):70-73.
- [10]马婷,李芳,单大亚.基于物联网技术的食品冷链物流跟踪及追溯问题研究[J].上海理工大学学报,2013,35(6):6.
- [11]李丹,杨智源,李中华,等.新型纳米保鲜包装在大肠杆菌指示猪肉新鲜度标签中的应用[J].包装工程,2025,46(S1):52-58.

作者简介:

王昱文(2004--),女,汉族,甘肃兰州人,本科在读,研究方向:食品科学与工程。