

微生物污染控制视角下的冷链食品安全管理策略

刘 刚

天津环渤新材料有限公司 天津 300200

摘 要：冷链食品在加工、储存、运输及销售全过程中，温度控制不当或卫生管理缺失极易导致微生物生长繁殖，引发食源性疾病。本文从微生物污染控制的角度，探讨了冷链各环节中微生物污染的关键控制点与现存管理短板。随后，提出了基于危害分析与关键控制点原则的全程温度监控体系、清洁消毒标准化作业、微生物预测模型应用、冷链物流从业人员培训以及可追溯体系建设等综合管理策略。本文旨在构建覆盖“从产地到餐桌”全链条的微生物风险防控体系，为提升冷链食品安全水平提供理论依据与实践指导。

关键词：冷链食品；微生物污染；温度控制；食品安全管理

引言

冷链食品市场规模持续扩大，涵盖冷冻肉类、水产品、速冻食品、冷藏乳制品等众多品类。冷链通过持续低温抑制微生物活性，但只能减缓而非杀灭微生物。一旦温度波动、冷链断裂或卫生管理失当，嗜冷菌、致病菌便会迅速增殖，导致腐败变质甚至食物中毒。近年来，国内外由单核细胞增生李斯特菌、沙门氏菌等引发的污染事件频发，暴露出温度监控不连续、交叉污染控制不严、清洁消毒执行不到位、微生物检测滞后等薄弱环节。因此，从微生物污染控制视角系统设计全链条冷链食品安全管理策略，具有重要的公共卫生意义和产业经济价值。

1 冷链各环节微生物污染的风险分析

1.1 加工与预冷阶段

冷链食品的初始微生物负荷取决于原料质量、加工环境清洁度、加热或杀菌工艺效果及冷却速度。加工阶段的常见问题包括：原料未严格检验，带有较高背景菌群；加工设备、传送带、刀具及操作台面清洁不彻底，形成生物膜（如假单胞菌、李斯特菌生物膜），持续污染产品；预冷环节设计不合理，大体积食品中心温度降至规定温度耗时过长，微生物在此期间大量繁殖。此外，速冻装置的效率不足会导致冰晶形成缓慢，刺破细胞膜，使解冻后汁液流失增加并释放营养物，助长后续微生物生长。

1.2 冷藏运输阶段

冷藏运输是冷链中最易发生温度波动的环节。风险来源包括：制冷机组故障或功率不足，无法应对高温环境；车厢门频繁开启，尤其在装卸货过程中冷气大量

流失；货物堆码不当，阻碍冷风循环，导致局部温度升高；温度记录仪缺失或未校准，管理者无法获知真实温度历程。当运输时间超过数小时，即使平均温度达标，短时高温波动也可能使嗜冷菌获得增殖机会。部分运输企业为节约成本，在装货前未进行车厢预冷，或在中途关闭制冷机，严重破坏冷链完整性。

1.3 仓储与中转环节

冷库和配送中心作为冷链枢纽，同样面临微生物污染风险。冷库门频繁开关、除霜周期设置不合理导致温度回升；货物“先进先出”执行不到位，部分产品超期存放；不同批次、不同洁净度要求的食品混放，存在交叉污染可能。在拆零分拣过程中，产品暴露于环境温度下时间过长（如超过 20 分钟），表面冷凝水形成，为微生物附着和繁殖提供有利条件^[1]。此外，冷库的定期清洁消毒往往被忽视，墙壁、地面、货架及风机上可能积累霉菌和细菌，污染外包装甚至内包装破损的产品。

1.4 终端销售与消费环节

超市冷柜、便利店冷藏展示柜及家用冰箱的温度控制是冷链“最后一公里”的薄弱点。开放式展示柜上部和下部存在明显温差，上层温度可能超过 7℃；夜间或非高峰时段，部分商家为省电关闭冷柜电源；消费者购买后未及时放入冰箱，或家用冰箱设定温度偏高（常见为 5-8℃）、食物塞得过满阻碍冷气循环。对于即食冷链食品（如沙拉、刺身、熟肉切片），消费者往往直接食用而不经加热杀菌，一旦在终端环节发生温度滥用或交叉污染（例如使用被污染刀具切配），致病菌摄入风险显著升高。

1.5 交叉污染途径

除温度因素外,微生物污染还可通过直接接触、空气沉降或水媒介传播。冷链食品与其他非食品货物混装、生熟食品未分区存放、人员手部清洁不足、清洁工具交叉使用等,均可将致病菌从高污染载体转移至冷链食品表面。特别是单核细胞增生李斯特菌,可在冷藏潮湿环境中长期存活并形成生物膜,通过冷凝水滴落或操作人员移动散布至整个冷库空间。

2 基于微生物污染控制的冷链食品安全管理策略

2.1 建立基于 HACCP 原则的全链条管控体系

危害分析与关键控制点系统是国际公认的食品安全风险预防性控制方法。针对冷链食品微生物污染,应识别每个环节的显著危害,确定关键控制点并设定关键限值。典型的关键控制点包括原料验收环节对生鲜原料进行微生物指标抽检,拒收菌落总数或致病菌超标的批次;速冻或预冷环节规定产品中心温度在 4 小时内从初温降至-18℃或 4℃以下,并配备自动记录装置;冷藏运输环节要求车厢内温度持续达标,配备实时远程温度监控和报警系统,超出限值时长不得超过 30 分钟;仓储环节控制冷库温度波动在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内,除霜期间温度回升不超过 3℃且持续时间不超过 1 小时;终端展示环节要求开放式冷柜加装玻璃门或夜间盖板,定期测量货架不同位置温度,确保所有区域均符合要求。每个关键控制点均需建立监控程序、纠正措施和验证程序^[2]。例如,当运输温度超出限值时,运营方应立即通知驾驶员调整或检修制冷机,并对该批次产品进行评估,若超温时长超过安全阈值则应判定为不合格,不得销售。

2.2 实施全程连续温度监控与数据追溯

传统温度监控采用单点记录仪,往往无法反映温度波动的真实幅度和持续时间。建议采用多探头无线温度传感器,分别监测回风温度、货物中心温度及车厢最热点温度。数据应实时上传至云平台,并支持移动端报警。对于分销和零售环节,可采用低成本 NFC 温度标签或时间-温度指示器,使消费者和终端经营者能直观判断产品是否曾经历温度滥用。所有温度数据应至少保存至产品保质期后六个月,以便追溯分析。建立冷链温度数据库,运用大数据分析识别高风险路线、时段或节点,针对性改进。

2.3 强化清洁消毒与卫生标准作业程序

微生物污染控制不能仅依赖低温,必须结合严格的卫生管理。针对冷链设施设备应制定清洁消毒标准作业程序。在加工设备方面,每日生产结束后拆卸可接触部件,使用碱性泡沫清洁剂去除有机物,再以含

氯消毒剂或过氧乙酸喷洒,最后用清水冲洗并干燥。冷库内部每周至少一次彻底清扫,去除积冰、污垢和霉菌斑点,每月进行熏蒸消毒,消毒前将食品移出或密封覆盖。运输车厢每次卸货后应清洁内壁、地板和制冷机回风口,防止残留肉屑、汁液滋生微生物,并定期使用消毒剂雾化处理。人员卫生方面,冷链作业人员应穿着专用工作服和防寒手套,进出冷库前对手套表面进行酒精喷洒消毒,禁止在冷藏区域内饮食或存放私人物品。此外,应建立环境微生物监测计划,定期对冷库空气、墙壁、货架、运输车厢内壁进行表面拭子采样,检测菌落总数和指示菌,以验证清洁效果,发现问题及时调整消毒方案。

2.4 应用微生物预测模型与动态风险评估

微生物预测食品微生物学可通过数学模型估算冷链条件下特定微生物的生长或失活动态。常见软件工具如 ComBase、PMP(病原菌建模程序)以及企业自建的数据库。将时间-温度历史数据代入模型,可推算终产品中目标菌的数量增长情况,从而科学判断是否超出安全限值。例如,对于冷藏即食食品,输入从包装到销售的全程温度曲线,结合初始污染水平(通过抽检获得),可预测李斯特菌数量是否超过 100 CFU/g 的法规限量^[3]。这一方法比单纯依赖保质期试验更灵活,能够应对实际冷链波动。建议大中型冷链企业建立预测模型应用能力,并作为批次放行的辅助决策工具。

2.5 完善冷链物流从业人员培训与资质认证

微生物污染控制最终依赖于一线人员的规范操作。当前冷链从业人员普遍存在流动性大、专业知识不足的问题。应建立分层培训体系:管理层需要学习冷链食品微生物安全法律法规、HACCP 原理、温度异常应急处理流程;操作层包括冷库保管员、运输司机、分拣员、销售员,培训内容涉及正确读取和记录温度、装卸货时保持冷链连续性的操作规范、手部卫生与交叉污染预防、清洁消毒剂配制方法等。每年度应进行理论和实操考核,考核不合格者暂停上岗;针对新员工实施岗前培训并指定导师带教。鼓励企业参与第三方冷链物流认证,如 BRCGS 冷链存储与配送标准或 ISO23412,通过外部审核提升管理水平。培训内容还应包括对新兴风险的认知,例如新冠肺炎疫情期间,冷链食品外包装的病毒污染问题虽然不属于细菌范畴,但强化了从业人员对表面卫生重要性的理解,可一并纳入常规培训。

2.6 建立产品可追溯与快速召回机制

当冷链食品出现微生物污染隐患(如某批次温度记

录异常、或市场抽检发现致病菌阳性)时,需要能够快速定位问题批次并实施召回。可追溯系统应记录以下信息:原料来源及检验报告、生产日期及班次、速冻/预冷设备编号及参数、运输车辆号牌及温度记录、冷库出入库时间及货位、分销商信息。建议采用 GS1-128 条码或 RFID 标签,实现从生产线到零售端的单品级追溯。追溯系统的响应时间应在 4 小时内确定全部流向^[4]。同时,制定召回演练计划,每年至少进行一次模拟召回,验证数据完整性和联系渠道有效性。

2.7 推广栅栏技术与抑菌包装

在温度控制基础上,可引入抑菌栅栏因子,进一步提高冷链食品的微生物安全性。常见措施包括气调包装,即置换包装内空气为高浓度二氧化碳与氮气混合气体,抑制好氧腐败菌和假单胞菌生长,延长冷藏货架期。在食品表面或包装内衬中添加天然抑菌剂,如乳酸链球菌素、壳聚糖、茶多酚、 ϵ -聚赖氨酸等,有效抑制李斯特菌、沙门氏菌等。使用能释放二氧化硫或乙醇的保鲜垫、吸收乙烯的薄膜等活性包装,控制霉菌和芽孢。对包装后的冷藏即食食品施加超高压杀菌处理,可在非热条件下杀灭致病菌和腐败菌,同时最大程度保留营养成分和口感。上述栅栏技术应与温度控制协同使用,而非替代。企业应根据产品特性和成本效益,选择适宜的抑菌方案,并通过挑战性试验验证抑菌效果。

2.8 完善法规标准与政府监管

政府层面应修订和完善冷链食品微生物限量标准,增加针对特定冷链产品(如冷鲜分割肉、即食沙拉)的李斯特菌、沙门氏菌限量及采样方案。推行冷链物流企业备案或许可制度,要求运输车辆和冷库配备可导出式温度记录仪,并定期校准。监管部门可采用“双随机一公开”方式,对辖区内冷链企业进行飞行检查,重点核查温度记录真实性、清洁消毒执行情况以及微生物抽检结果。对于严重违规企业,可实施停业整顿、列入黑名单并向社会公示。同时,鼓励行业协会制定团体标准,提升行业自律水平。

2.9 消费者教育与家庭冷链管理

消费者作为冷链食品的最终处理者,其行为直接影响微生物风险。应通过食品安全周、短视频、包装标签

提示等方式,向公众传播以下知识:购买冷链食品后应最后放入购物车,回家后立即放入冰箱,避免在室温放置超过 1 小时;家用冷藏室温度应调至 4℃以下,冷冻室调至-18℃以下,定期用温度计监测;生熟分开存放,即食食品置于上层,生肉水产置于下层密闭容器内,防止汁液滴落污染;解冻冷冻食品宜在冷藏室内缓慢解冻,或使用微波炉解冻后立即烹饪,避免室温解冻;已开封的冷链食品应按标签说明在指定天数内食用完毕,不可仅凭感官判断安全性。通过提升消费者的食品安全素养,形成对冷链企业市场倒逼机制,促进全链条质量提升。

3 结语

微生物污染是冷链食品安全的核心威胁,其控制需要突破“唯温度论”的思维局限,构建覆盖加工、运输、仓储、销售及消费全链条的系统性管理策略。本文从微生物生态学角度出发,分析了嗜冷菌、致病菌及腐败菌在冷链环境中的行为特征,识别了各环节的关键风险点,进而提出了以 HACCP 为基础、融合全程温度监控、严格卫生管理、预测模型应用、人员培训、可追溯系统、栅栏技术及法规监管的综合性管理框架。在实施过程中,企业应根据自身产品类型和冷链条件,优先解决最突出风险,逐步推进精细化管理。政府、行业协会、科研机构和消费者应形成合力,推动冷链食品微生物控制从经验型向数据驱动型、从被动响应向主动预防转变。唯有如此,才能在冷链食品需求持续增长的背景下,切实保障公众健康,促进冷链物流行业高质量发展。

参考文献

- [1] 李凤琴,王伟. 冷链食品中单核细胞增生李斯特菌风险评估与控制技术研究进展 [J]. 中国食品卫生杂志,2021,33(5):621-627.
- [2] 杨洁,陈卫. 预测微生物学在冷链食品安全管理中的应用进展 [J]. 食品与生物技术学报,2021,40(8):1-8.
- [3] 刘秀梅,吴永宁. 中国冷链食品微生物安全现状与防控对策分析 [J]. 食品安全质量检测学报,2023,14(2):478-485.
- [4] 王硕,胡文忠. 基于时间-温度指示器的冷链食品品质动态监测技术 [J]. 包装工程,2021,42(11):23-30.