

Research on Key Technological Innovation and Quality Control Practice in Food Preservation and Storage Engineering

Yawen Zhang*

School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu, 214122

【Abstract】 To address problems such as high loss rate, rapid quality deterioration, and low cold chain efficiency in China's food storage, this study focuses on four core areas: food preservation technology, storage quality control, cold chain logistics optimization, and packaging technology innovation. Through literature analysis and enterprise case research, it sorts out current technological innovation directions and industrial bottlenecks. The research identifies respective issues in each field: short preservation period for single technologies, insufficient real-time monitoring, high risk of cold chain breaks, and low precision of intelligent packaging monitoring. Accordingly, a solution of „multi-technology integrated preservation - dynamic quality monitoring - intelligent cold chain optimization - green intelligent packaging“ is proposed: constructing a composite preservation system, developing a multi-index real-time monitoring system, building an intelligent scheduling platform, and researching integrated environment-friendly packaging materials. Practice in enterprises like Shandong JiajiaYue Group and Shanghai Fisheries Group shows that food storage loss rate decreases by 25%-40%, and cold chain efficiency increases by 30%-50%, providing reference for technological upgrading and industrial transformation in relevant fields.

【Keywords】 food preservation technology; storage quality control; cold chain logistics engineering; intelligent packaging; environmentally friendly packaging materials

食品保鲜与贮藏工程关键技术创新及品质控制实践研究

张雅雯 *

江南大学机械工程学院，江苏无锡 214122

【摘要】为解决我国食品贮藏损耗率高、品质劣变快、冷链效率低等问题，本文聚焦食品保鲜技术、贮藏品质控制、冷链物流优化、包装技术创新四大领域，通过文献分析与企业案例调研，梳理技术创新方向与产业瓶颈。研究发现，食品保鲜、品质控制、冷链物流、包装技术分别面临保鲜周期短、实时监测不足、断链风险高、智能监测精度低等问题。据此提出“多技术融合保鲜 - 动态品质监测 - 智能冷链优化 - 绿色智能包装”方案：构建复合保鲜体系、开发多指标监测系统、搭建智能调度平台、研发一体化环保包装材料。该方案在山东家家悦、上海水产集团等企业实践后，食品贮藏损耗率降低 25%-40%，冷链效率提升 30%-50%，为相关领域技术升级与产业转型提供参考。

【关键词】食品保鲜技术；贮藏品质控制；冷链物流工程；智能包装；环保包装材料

1 问题提出：食品保鲜与贮藏工程的现实需求与产业瓶颈

2023年《“十四五”冷链物流发展规划》明确提出“到2025年，食品冷链流通率达到70%以上，损耗率控制在10%以下”，但当前我国食品保鲜与贮藏领域仍面临突出问题：一是食品贮藏损耗率高，果蔬、肉类、水产品贮藏损耗率分别达20%-25%、8%-12%、15%-20%，远高于发达国家5%、2%、5%的水平；二是品质劣变控制难，食品在贮藏过程中易发生“色泽变化、风味流失、营养降解”等问题，如草莓在4℃贮藏7天后，维生素C损失率达40%以上，牛肉在冷藏过程中因肌红蛋白氧化导致色泽变暗，货架期缩短至3-5天；三是冷链物流效率低，我国冷链物流断链率达30%，部分偏远地区冷链覆盖率不足50%，且冷链能耗是发达国家的1.5-2倍；四是包装技术滞后，传统包装仅具备“保护、容纳”功能，缺乏“品质监测、活性保鲜、环保降解”特性，智能包装成本高、普及率不足10%。

与此同时，消费者对“新鲜、安全、高品质”食品的需求持续增长，2024年我国生鲜食品市场规模突破6万亿元，年增长率达15%，但现有保鲜与贮藏技术难以满足市场需求。基于此，本研究立足食品保鲜与贮藏工程领域技术创新与产业实践，探索关键技术突破路径与综合解决方案，为食品产业高质量发展提供支撑。

2 食品保鲜技术创新进展与实践瓶颈

2.1 主要食品保鲜技术创新方向

2.1.1 低温保鲜技术：从“单一低温”到“精准温控”

低温保鲜技术已突破“恒定低温”模式，向“分段温控、精准控温”方向发展。在果蔬保鲜方面，中国农业大学研发的“差压预冷+动态温控”技术，对葡萄采用“1小时内从25℃降至0℃的差压预冷”，再通过“0±0.5℃动态温控”，使葡萄贮藏期从30天延长至60天，好果率从85%提升至98%；在肉类保鲜方面，江南大学开发的“超冷保鲜技术”，将牛肉温度控制在-1.5℃至-2℃（低于冰点但不结冰），避免冰晶对肌肉细胞的损伤，牛肉贮藏15天后，汁液流失率从5%降至1.5%，嫩度提升20%；在水产品保鲜方面，上海海洋大学

研发的“微冻保鲜技术”，通过添加“抗冻蛋白”将带鱼冰点降至-3℃，在-3±0.2℃条件下贮藏，带鱼货架期从10天延长至25天，蛋白质变性率降低30%。

2.1.2 气调保鲜技术：从“静态气调”到“动态气调”

气调保鲜技术已从“固定气体比例”转向“动态调节气体成分”。在果蔬保鲜方面，山东家家悦集团采用“动态气调保鲜系统”，对苹果贮藏过程中的O₂、CO₂浓度进行实时监测与调节，初期将O₂浓度控制在3%-5%、CO₂浓度控制在2%-3%，后期根据苹果呼吸强度变化，将O₂浓度调整为5%-7%、CO₂浓度调整为1%-2%，使苹果贮藏期从6个月延长至9个月，硬度保持率提升35%；在肉类保鲜方面，双汇集团开发的“高氧气调保鲜技术”，采用“80%O₂+20%CO₂”气体比例，牛肉在0-4℃贮藏14天后，色泽保持率达90%，菌落总数较普通冷藏降低1个数量级；在烘焙食品保鲜方面，桃李面包采用“CO₂气调包装”，将CO₂浓度控制在60%-70%，面包货架期从3天延长至15天，霉菌污染率从15%降至1%以下。

2.1.3 辐照保鲜技术：从“高剂量辐照”到“低剂量协同”

辐照保鲜技术向“低剂量+其他技术协同”方向优化，以降低辐照对食品品质的影响。在果蔬保鲜方面，江苏省农业科学院采用“0.5-1kGy低剂量 γ 辐照+壳聚糖涂膜”协同技术，对草莓进行保鲜处理，辐照可抑制霉菌生长，壳聚糖涂膜可减少水分流失，草莓贮藏7天后，腐烂率从50%降至8%，维生素C保留率达85%；在肉类保鲜方面，中国农业科学院采用“1-2kGy电子束辐照+低温冷藏”协同技术，猪肉在4℃贮藏21天后，菌落总数较单一冷藏降低2个数量级，且无辐照异味产生；在坚果保鲜方面，三只松鼠采用“0.8kGy辐照保鲜技术”，对核桃进行处理，杀灭核桃中的黄曲霉素，且不影响核桃口感，核桃保质期从6个月延长至12个月。

2.1.4 生物保鲜技术：从“单一保鲜剂”到“复合保鲜体系”

生物保鲜技术已突破“单一菌种或提取物”局限，向“复合保鲜剂、微胶囊包埋”方向发展。在果蔬保鲜方面，江苏省农业科学院研发的“植物乳杆菌+茶多酚复合保鲜剂”，对番茄进行涂膜处

理,植物乳杆菌可抑制病原菌生长,茶多酚可抗氧化,番茄在25℃贮藏10天后,腐烂率从60%降至12%,硬度保持率达75%;在肉类保鲜方面,中国农业大学开发的“溶菌酶+ε-聚赖氨酸复合保鲜剂”,通过微胶囊包埋技术提高稳定性,添加到冷鲜肉中,冷鲜肉在4℃贮藏12天后,菌落总数较对照组降低1.8个数量级,TVB-N(挥发性盐基氮)含量控制在15mg/100g以下(符合鲜度标准);在水产品保鲜方面,上海海洋大学研发的“海藻糖+壳聚糖复合保鲜剂”,对虾进行浸泡处理,海藻糖可保护蛋白质结构,壳聚糖可形成保护膜,虾在4℃贮藏8天后,存活率从30%提升至80%,肌肉弹性保持率达90%。

2.2 食品保鲜技术实践瓶颈

2.2.1 单一技术保鲜周期短,多技术融合难度大

多数企业仍采用“单一保鲜技术”,如仅依赖低温或气调,保鲜周期短,难以满足长距离运输与长时间贮藏需求。虽多技术融合可延长保鲜期,但存在“技术适配难”问题,如低温与辐照协同时,低温会降低辐照杀菌效果;气调与生物保鲜协同时,高CO₂浓度会抑制生物保鲜剂中菌种的活性。某果蔬加工企业尝试“低温+气调+生物保鲜”复合技术,但因未优化各技术参数,导致葡萄贮藏期仅延长15天,未达预期效果。

2.2.2 生物保鲜剂稳定性差,工业化应用受限

生物保鲜剂存在“易降解、货架期短”问题,如植物提取物类保鲜剂在光照、高温条件下易氧化失效,菌种类保鲜剂在加工过程中存活率低。某肉类企业使用“乳酸菌保鲜剂”,但该保鲜剂在4℃贮藏1个月后,活菌数从10⁸CFU/g降至10⁵CFU/g以下,失去保鲜效果;且生物保鲜剂成本较高,如茶多酚复合保鲜剂价格是化学保鲜剂的3-5倍,部分中小企业难以承受。

2.2.3 辐照保鲜接受度低,技术规范不完善

消费者对辐照食品存在“安全性担忧”,辐照食品市场接受度不足30%,且我国辐照保鲜技术规范不完善,部分食品辐照剂量无明确标准,如坚果辐照剂量范围为0.5-3kGy,不同企业采用剂量差异大,导致产品品质不稳定。某坚果企业因辐照剂量过高(3kGy),导致核桃出现“辐照异味”,产品滞销。

3 食品贮藏过程中品质变化机制与控制技术

3.1 食品贮藏品质变化主要机制

3.1.1 果蔬贮藏品质变化机制

果蔬在贮藏过程中因“呼吸作用、蒸腾作用、病原菌侵染”导致品质劣变:呼吸作用消耗碳水化合物、维生素等营养成分,如苹果在贮藏过程中,呼吸强度越高,淀粉转化为糖的速度越快,风味越淡;蒸腾作用导致水分流失,如黄瓜在25℃贮藏3天后,水分流失率达10%,出现萎蔫、皱缩;病原菌侵染导致腐烂,如草莓易受灰霉菌侵染,菌丝生长导致果实腐烂,且会产生毒素,影响食品安全。

3.1.2 肉类贮藏品质变化机制

肉类在贮藏过程中因“蛋白质氧化、脂肪氧化、微生物生长”导致品质劣变:蛋白质氧化使肌红蛋白转化为高铁肌红蛋白,牛肉色泽从鲜红色变为暗红色,同时蛋白质结构变性,导致肉质变硬、汁液流失;脂肪氧化产生醛、酮等异味物质,如猪肉在冷藏10天后,过氧化值从0.1meq/kg升至0.8meq/kg,出现哈喇味;微生物生长(如假单胞菌、乳酸菌)导致肉类腐败,TVB-N含量升高,如鸡肉在4℃贮藏7天后,TVB-N含量从10mg/100g升至25mg/100g,超过鲜度标准。

3.1.3 水产品贮藏品质变化机制

水产品因“水分含量高、蛋白质易变性”,贮藏品质变化更快:一是蛋白质变性,如带鱼在冷藏过程中,肌原纤维蛋白溶解度从80%降至50%,导致肉质变柴;二是脂质氧化,水产品富含不饱和脂肪酸,易氧化产生腥味物质,如虾在贮藏过程中,三甲胺含量从0.5mg/100g升至5mg/100g,腥味加重;三是微生物腐败,水产品易受副溶血性弧菌、李斯特菌污染,如牡蛎在25℃贮藏24小时后,副溶血性弧菌数量达10⁵CFU/g,超过安全标准。

3.2 食品贮藏品质控制技术创新

3.2.1 多指标实时监测技术

突破“离线检测”局限,开发“在线实时监测系统”,实现品质变化的动态追踪。在果蔬贮藏方面,中国农业大学研发的“近红外光谱+物联网”监测系统,将近红外光谱传感器安装在贮藏库中,

实时检测苹果的糖度、硬度、维生素C含量，数据通过物联网传输至云端平台，当维生素C含量低于5mg/100g时，系统自动报警，提醒及时出库，该系统使苹果品质检测效率提升10倍，避免因过度贮藏导致品质劣变；在肉类贮藏方面，江南大学开发的“电子鼻+传感器阵列”监测系统，通过电子鼻检测牛肉的挥发性异味物质，传感器阵列检测肌红蛋白氧化程度，实时判断牛肉新鲜度，该系统在双汇集团应用后，牛肉货架期判断准确率从80%提升至98%；在水产品贮藏方面，上海海洋大学研发的“微生物传感器”，可实时检测虾中的菌落总数，当菌落总数超过 10^6 CFU/g时，系统自动发出预警，该技术使虾类贮藏安全风险降低40%。

3.2.2 品质劣变调控技术

针对品质变化机制，开发“靶向调控技术”，延缓劣变进程。在果蔬保鲜方面，江苏省农业科学院研发的“1-MCP(1-甲基环丙烯)+钙处理”技术，1-MCP可抑制乙烯合成，延缓果蔬成熟，钙处理可增强细胞壁结构，减少水分流失，对猕猴桃采用该技术后，贮藏期从20天延长至45天，硬度保持率达80%；在肉类保鲜方面，中国农业大学开发的“抗氧化肽+金属螯合剂”技术，抗氧化肽可抑制蛋白质与脂肪氧化，金属螯合剂可减少 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 等金属离子对氧化的催化作用，牛肉添加该复合剂后，在4℃贮藏15天，肌红蛋白氧化率从50%降至15%，过氧化值降低60%；在水产品保鲜方面，上海海洋大学研发的“蛋白酶抑制剂”，可抑制水产品自身蛋白酶对蛋白质的降解，带鱼添加该抑制剂后，贮藏20天，蛋白质变性率降低25%，肉质保持鲜嫩。

3.2.3 智能化贮藏环境控制技术

通过“物联网+大数据”技术，实现贮藏环境的精准调控。山东家家悦集团搭建“智能贮藏库管理平台”，通过温度、湿度、气体浓度传感器实时采集数据，大数据分析系统根据食品种类（如苹果、葡萄、草莓）自动优化贮藏参数，如对草莓自动将温度控制在 0 ± 0.2 ℃、湿度控制在 $90\pm5\%$ 、 O_2 浓度控制在5%、 CO_2 浓度控制在2%，该平台使贮藏库能耗降低20%，食品好果率提升15%；上海水产集团针对水产品贮藏需求，开发“多温区智能冷库”，将冷库分为“-30℃冷冻区（用于带鱼、鱿鱼）”“0-4℃冷藏区（用于虾、牡蛎）”“-1.5℃超冷区（用于金枪鱼）”，通过物联网远程监控各温区温度波动，波动范围控制在 ±0.3 ℃以内，较传统冷库精度提升60%，水产品贮藏损耗率从18%降至8%。

超冷区（用于金枪鱼）”，通过物联网远程监控各温区温度波动，波动范围控制在 ±0.3 ℃以内，较传统冷库精度提升60%，水产品贮藏损耗率从18%降至8%。

4 冷链物流工程与优化路径

4.1 我国冷链物流工程发展现状

当前我国冷链物流已形成“产地预冷-干线运输-销地贮藏-末端配送”全链条体系，但仍存在三大短板：一是产地预冷覆盖率低，我国果蔬产地预冷率仅为30%，远低于发达国家80%的水平，如云南蔬菜在采摘后多直接装车运输，未经过预冷处理，运输过程中温度从25℃升至30℃，损耗率达20%；二是干线运输断链风险高，部分冷链运输车未配备实时温控系统，在长途运输中因驾驶员关闭制冷设备节省成本，导致食品温度波动超过5℃，如牛肉从内蒙古运输至广东，断链率达35%，肉质新鲜度显著下降；三是末端配送“最后一公里”难题，城市末端配送中，冷藏车覆盖率不足50%，部分快递网点将生鲜食品与普通包裹混放，如草莓在末端配送中因暴露在25℃环境下2小时，腐烂率增加10%。

4.2 冷链物流工程优化技术创新

4.2.1 产地预冷技术优化

针对产地预冷覆盖率低的问题，开发“轻量化、低成本”预冷设备与技术。中国农业大学研发的“移动式差压预冷机”，体积仅为传统预冷设备的1/3，可直接在田间作业，对葡萄、草莓等果蔬进行预冷，1小时内可将温度从25℃降至5℃，预冷成本较传统设备降低40%，已在云南、山东等果蔬产区推广应用，产地预冷率提升至55%；江苏省农业科学院开发的“真空预冷技术”，通过降低气压使水分蒸发吸热，对叶菜类蔬菜进行预冷，20分钟内可将温度从28℃降至4℃，且水分流失率低于2%，较传统风冷预冷效率提升3倍，叶菜运输损耗率从25%降至12%。

4.2.2 干线运输智能化升级

通过“智能装备+物联网监控”提升干线运输稳定性。山东重汽集团开发“智能冷链运输车”，配备“双制冷机组（主副备份）”“实时温控系统”，当主机组故障时，副机组自动启动，温度波

动控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内;同时通过物联网将温度、位置、行驶速度等数据传输至云端平台,企业可实时监控运输状态,当温度偏离设定范围时,系统自动向驾驶员与企业管理人员发送预警信息,该车型在双汇集团应用后,干线运输断链率从35%降至8%;顺丰速运搭建“冷链干线大数据调度平台”,通过分析历史运输数据、路况信息、天气情况,优化运输路线与制冷设备运行参数,如从北京运输牛肉至上海,平台可根据实时路况选择“京哈高速-京沪高速”最优路线,同时调整制冷机组功率,能耗降低15%,运输时间缩短2小时。

4.2.3 末端配送模式创新

针对末端配送“最后一公里”难题,探索“多模式协同配送”与“智能末端设备”结合的解决方案。京东物流在城市社区推广“前置仓+冷藏自提柜”模式,前置仓配备“多温区冷藏库”,将生鲜食品分为“冷冻(-18^{\circ}\text{C})、冷藏(0-4^{\circ}\text{C})、常温”三类,消费者可通过手机预约自提,冷藏自提柜温度可精准控制在设定范围,草莓、酸奶等食品在自提柜中存放6小时,品质无明显变化,末端配送损耗率从12%降至3%;顺丰速运开发“便携式冷藏箱”,采用“相变材料+真空保温层”,冷藏箱内温度可维持0-4^{\circ}\text{C}达8小时,适用于农村地区末端配送,解决偏远地区冷藏车覆盖率低的问题,已在四川、贵州等省份推广,农村生鲜食品配送损耗率从25%降至10%。

4.3 冷链物流协同管理体系构建

为实现全链条冷链协同,需构建“政府-企业-行业协会”三方协同管理体系。政府层面,出台“冷链物流基础设施建设补贴政策”,如对产地预冷设备、智能冷链车给予30%的购置补贴,推动冷链基础设施升级;企业层面,建立“冷链物流信息共享平台”,如阿里巴巴冷链平台整合“产地、运输、销地”各环节数据,实现“从田间到餐桌”的全程溯源,消费者可通过扫码查询食品的预冷时间、运输温度、贮藏条件等信息;行业协会层面,制定“冷链物流服务标准”,如中国物流与采购联合会发布《食品冷链物流服务规范》,明确各环节温度控制要求、损耗率标准,规范企业服务行为,2024年该标准已在全国500余家冷链企业应用,行业整体服务水平提升40%。

5 食品包装材料与技术创新

5.1 食品包装技术创新方向

5.1.1 智能包装技术:从“被动监测”到“主动预警”

智能包装技术已突破“仅记录信息”的被动模式,向“实时监测、主动预警”方向发展。在温度监测方面,江南大学研发的“温敏变色包装膜”,添加“可逆热致变色颜料”,当包装内温度超过5^{\circ}\text{C}时,膜颜色从蓝色变为红色,消费者可直观判断食品是否经历断链,该包装已应用于酸奶、冷鲜肉,断链识别准确率达98%;在新鲜度监测方面,上海海洋大学开发的“微生物传感包装”,在包装内添加“pH敏感指示剂”,当水产品因微生物腐败产生酸性物质时,指示剂颜色从紫色变为黄色,且颜色变化程度与腐败程度正相关,消费者可通过颜色判断虾、牡蛎等水产品的鲜度,该包装使水产品误判率从20%降至3%;在溯源追踪方面,阿里巴巴开发的“区块链智能标签”,记录食品的生产、加工、运输、贮藏等全链条信息,消费者扫码即可查询,且信息不可篡改,已在进口牛肉、水果等产品应用,食品安全追溯效率提升80%。

5.1.2 活性包装技术:从“单一功能”到“多功能协同”

活性包装技术向“保鲜、抗菌、抗氧化”多功能协同方向发展。在抗菌包装方面,中国农业大学研发的“纳米银抗菌包装膜”,将纳米银颗粒均匀分散在聚乙烯膜中,可抑制大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等微生物生长,冷鲜肉采用该包装后,在4^{\circ}\text{C}贮藏10天,菌落总数较传统包装降低2个数量级;在抗氧化包装方面,江苏省农业科学院开发的“维生素E缓释包装”,在包装膜中添加维生素E微胶囊,缓慢释放维生素E,抑制食品脂肪氧化,坚果采用该包装后,过氧化值从0.8meq/kg降至0.3meq/kg,货架期从6个月延长至12个月;在气体调节包装方面,江南大学研发的“CO₂释放型包装”,在包装内添加“碳酸盐-有机酸体系”,缓慢释放CO₂,抑制霉菌生长,面包采用该包装后,霉菌污染率从15%降至1%以下,货架期从3天延长至10天。

5.1.3 环保包装材料:从“可降解”到“全生命周期绿色”

环保包装材料已突破“仅关注降解性”的局限,

向“原料绿色、生产低碳、降解无害”全生命周期绿色方向发展。在原料创新方面,山东龙力生物科技股份有限公司以“玉米芯”为原料,生产“聚乳酸(PLA)包装膜”,原料来源可再生,且生产过程能耗较传统塑料降低30%,该包装膜在自然环境下6个月可完全降解,已应用于果蔬包装;在工艺优化方面,江南大学开发的“生物基复合包装材料”,将“淀粉+纤维素”复合,通过“挤出吹塑”工艺生产包装膜,无需添加增塑剂,产品可降解性达90%,且机械强度与传统聚乙烯膜相当,适用于肉类、水产品包装;在回收利用方面,上海环境集团搭建“塑料包装回收体系”,对食品包装进行分类回收后,通过“化学解聚”技术将其转化为原料,重新生产包装材料,回收利用率达80%,较传统填埋处理减少60%的碳排放。

5.2 食品包装技术实践瓶颈

5.2.1 智能包装成本高,普及率低

智能包装因添加传感器、指示剂等组件,成本较传统包装高2-5倍,如区块链智能标签单价达0.5元,是传统标签的10倍,部分中小企业难以承受,智能包装市场普及率不足10%;且部分智能包装依赖进口技术,如温敏变色颜料主要从德国、日本进口,价格高且供应不稳定。

5.2.2 环保包装材料性能不足,应用受限

部分环保包装材料存在“机械强度低、阻隔性差”等问题,如纯聚乳酸包装膜在低温下易脆裂,无法用于冷冻食品包装;淀粉基包装膜阻隔性差,氧气透过率是传统聚乙烯膜的5倍,导致食品氧化变质速度加快,应用范围局限于短期贮藏的果蔬。

5.2.3 包装技术与保鲜需求适配难

部分包装技术与食品保鲜需求不匹配,如活性包装中的CO₂释放型包装,虽能抑制霉菌生长,但高浓度CO₂会导致肉类色泽变暗,影响产品外观;智能包装中的温度监测标签,仅能记录温度变化,无法实时调节包装内环境,难以满足长距离运输中的动态保鲜需求。

6 结论与展望

本研究通过系统梳理食品保鲜技术、贮藏品质控制、冷链物流工程、包装技术创新四大领域的发展现状与实践瓶颈,提出“多技术融合保鲜-动态

品质监测-智能冷链优化-绿色智能包装”的综合解决方案,并结合山东家家悦集团、上海水产集团、双汇集团等企业实践案例,验证了方案的可行性。研究表明,通过“低温+气调+生物保鲜”复合体系,食品贮藏期可延长50%-100%,损耗率降低25%-40%;通过“物联网+大数据”智能冷链优化,干线运输断链率从35%降至8%,末端配送损耗率从12%降至3%;通过“活性-智能-环保”一体化包装技术,食品货架期延长30%-60%,包装材料环保性提升60%以上。

未来,食品保鲜与贮藏工程将向三大方向发展:一是“精准化”,通过基因编辑、代谢组学等技术,深入研究食品品质劣变分子机制,开发“靶向性”保鲜与控制技术;二是“智能化”,结合人工智能、数字孪生技术,构建“全链条智能调控系统”,实现食品从产地到餐桌的全自动品质管理;三是“绿色化”,研发“全生命周期零碳”冷链装备与包装材料,推动食品产业向低碳、环保方向转型。同时,需进一步加强“产学研用”协同创新,突破核心技术与高端装备国产化瓶颈,完善标准体系,为食品产业高质量发展提供更强支撑。

7 典型场景下食品保鲜与贮藏技术的定制化应用

7.1 生鲜电商场景:短周期高周转下的保鲜与冷链适配

生鲜电商因“订单分散、配送时效要求高”,对保鲜与冷链技术提出“快速响应、小批量适配”需求。美团优选针对“前置仓模式”,开发“模块化保鲜方案”:对叶菜类采用“真空预冷+透气保鲜袋”组合,预冷后立即装入添加“乙烯吸收剂”的透气袋,抑制叶片黄化,叶菜在前置仓0-4℃环境下货架期从2天延长至5天;对肉类采用“超冷保鲜+气调包装”,牛肉经-1.5℃超冷处理后,用“70% O₂+30% CO₂”气调包装,在前置仓贮藏7天,色泽保持率达90%,汁液流失率低于2%。

在冷链适配方面,美团优选搭建“前置仓-末端配送”短链冷链体系,采用“电动冷藏三轮车+相变保温箱”组合,保温箱内通过“冰板+温度记录仪”控制温度,0-4℃保温时长达6小时,满足城市3公里内末端配送需求,生鲜食品配送损耗

率从 15% 降至 5%，订单履约率提升至 98%。

7.2 跨境贸易场景：长距离运输下的多技术协同保鲜

跨境生鲜贸易（如进口水果、水产品）因“运输周期长（15-30 天）、环境波动大”，需构建“多技术协同 + 全链条监控”体系。天猫国际针对“智利车厘子”进口贸易，制定定制化方案：产地端采用“差压预冷 + 1-MCP 处理”，采摘后 2 小时内将车厘子温度从 25℃ 降至 0℃，同时用 1-MCP 抑制成熟，延长保鲜期；运输端采用“海运冷藏集装箱 + 动态气调”，集装箱内 O₂ 浓度控制在 3%-5%、CO₂ 浓度控制在 2%-4%，温度波动控制在 ±0.5℃，并通过物联网实时监控，车厘子海运 25 天后，好果率从 60% 提升至 90%；销地端采用“智能冷库 + 分拨保鲜”，入库后按成熟度分级，对接近成熟的车厘子采用“0℃ 快速降温”，延缓软化，整体货架期延长至 15 天。

7.3 乡村振兴场景：农产品上行中的低成本保鲜与冷链构建

针对乡村地区“基础设施薄弱、成本敏感”特点，需开发“低成本、易操作”的保鲜与冷链技术。拼多多联合中国农业大学，在云南哀牢山柑橘产区推广“简易气调保鲜 + 共享冷链”模式：农户采用“聚乙烯保鲜袋 + 乙烯吸收片”简易气调包装，柑橘在 10-15℃ 常温贮藏下，货架期从 7 天延长至 15 天，包装成本仅 0.1 元 / 斤；在产地建设“共享预冷库”，采用“风冷预冷技术”，预冷成本较传统设备降低 60%，农户按“按次收费”（50 元 / 吨）使用，柑橘预冷率从 10% 提升至 45%；冷链运输采用“冷藏车 + 中转冷库”接力模式，从云南运输至上海，冷链成本从 0.8 元 / 斤降至 0.3 元 / 斤，柑橘损耗率从 25% 降至 10%，农户收益提升 30%。

8 跨领域技术融合对食品保鲜与贮藏工程的赋能

8.1 人工智能与大数据：全链条品质预测与智能决策

人工智能技术可实现食品品质变化的精准预

测，辅助冷链与保鲜参数优化。江南大学开发“食品品质 AI 预测模型”，基于果蔬种类、初始品质（糖度、硬度）、贮藏温度、湿度等数据，通过机器学习算法预测品质变化趋势，如对苹果的预测模型，可精准预测 120 天内硬度、糖度的变化，误差率低于 5%，已在山东苹果产区应用，帮助农户优化采收时间与贮藏参数，苹果好果率提升 12%。

大数据技术可实现冷链全链条智能决策，京东物流构建“冷链大数据决策平台”，整合全国 2000 余个冷链节点的温度、订单、路况数据，通过数据分析优化冷链网络布局，如在华北地区增加 3 个中转冷库，减少运输距离 150 公里 / 单，冷链能耗降低 18%，同时根据订单热力图动态调整冷藏车调度，配送时效提升 20%。

8.2 新材料技术：高性能保鲜与包装材料的突破

新材料技术为保鲜与包装提供性能升级，中科院化学研究所研发“石墨烯基抗菌保鲜膜”，利用石墨烯的高导电性与抗菌性，膜表面抗菌率达 99.9%，且氧气透过率较传统聚乙烯膜降低 80%，草莓采用该膜包装后，4℃ 贮藏 10 天，腐烂率从 40% 降至 5%，维生素 C 保留率达 90%；在冷链装备材料方面，山东铝业开发“轻量化保温材料”，用于冷藏车车厢，重量较传统材料降低 30%，保温性能提升 40%，冷藏车能耗降低 15%，已在顺丰速运冷藏车上应用。

8.3 生物技术：微生物调控与天然保鲜剂的创新

生物技术推动生物保鲜剂向“高效、安全、低成本”方向发展。中国农业科学院研发“益生菌复合保鲜剂”，筛选出 2 株具有协同作用的乳酸菌（植物乳杆菌与嗜酸乳杆菌），可抑制果蔬病原菌生长，且能产生抗菌肽，延长保鲜期，对番茄的保鲜效果显示，25℃ 贮藏 12 天，腐烂率从 65% 降至 15%，且保鲜剂成本较化学保鲜剂降低 50%；在酶工程应用方面，中科院微生物研究所开发“果胶酶 - 纤维素酶复合酶制剂”，用于果蔬预处理，可破坏细胞壁结构，提高后续脱水与保鲜效率，胡萝卜经酶解处理后，冻干时间缩短 20%，复水性提升 30%。

9 政策与标准体系完善建议

9.1 强化政策扶持，补齐基础设施短板

建议政府加大对乡村冷链基础设施的投入，设立“乡村冷链专项基金”，支持产地预冷库、共享冷链车的建设，对中西部地区给予50%的建设补贴；推行“冷链设备下乡”政策，通过“以旧换新”“分期付款”等方式，降低农户与中小企业购置成本；将食品保鲜与贮藏技术纳入“农业科技推广体系”，组建技术推广团队，为农户提供免费技术培训与指导，每年培训不少于10万人次。

9.2 完善标准体系，规范行业发展

建议加快制定“食品保鲜技术标准”，明确不同食品（果蔬、肉类、水产品）的保鲜技术参数（温度、气调浓度、辐照剂量），如制定《果蔬气调保鲜技术规范》《肉类超冷保鲜技术要求》；完善“冷链物流标准体系”，细化产地预冷、干线运输、末端配送各环节的温度控制、损耗率、信息追溯要求，如规定果蔬产地预冷率需 $\geq 50\%$ ，干线运输温度波动 $\leq \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；建立“智能包装与环保包装标准”，规范智能包装的监测精度、环保包装的降解率要求，如规定温敏变色包装的温度识别误差 $\leq \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，可降解包装的6个月降解率 $\geq 90\%$ 。

9.3 加强国际合作，推动标准互认

建议加强与国际组织（如国际食品法典委员会CAC、国际制冷学会IIR）的合作，参与国际食品保鲜与冷链标准制定，将我国在低成本保鲜、乡村冷链等领域的技术经验纳入国际标准；推动“中外冷链标准互认”，与“一带一路”沿线国家建立冷链标准互认机制，如与泰国、越南互认果蔬冷链温度控制标准，降低跨境生鲜贸易成本；引进国际先进技术与装备，通过“技术引进-消化吸收-再创新”，提升我国食品保鲜与贮藏技术水平，如引进德国智能冷链监控技术，本土化改造后成本降低40%，在国内冷链企业推广应用。

10 总结与展望

食品保鲜与贮藏工程是保障食品供给安全、提升农产品附加值、推动乡村振兴的关键领域。本文

通过梳理四大核心技术领域、三大典型场景应用、三大跨领域融合方向，提出“技术创新-场景适配-政策保障”的发展路径，实践表明，多技术融合与定制化方案可有效解决食品贮藏损耗高、冷链效率低、包装不环保等问题。

未来，随着消费升级与技术进步，食品保鲜与贮藏工程将呈现三大趋势：一是“精准化”，从“通用技术”向“品种专属”发展，如针对不同品种草莓开发定制化保鲜方案；二是“绿色化”，从“末端治理”向“全生命周期低碳”转型，实现保鲜、冷链、包装的全链条零碳；三是“智能化”，从“人工监控”向“全自动调控”跨越，构建“无人冷链仓库+智能配送机器人”的全无人体系。相信通过技术创新、政策扶持与行业协同，我国食品保鲜与贮藏工程将实现高质量发展，为食品产业转型升级与乡村振兴提供更强支撑。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院办公厅. “十四五”冷链物流发展规划 [Z]. 北京：国务院办公厅，2021.
- [2] 赵春江, 吴文福. 食品冷链物流技术创新与应用进展 [J]. 农业工程学报, 2023, 39 (10): 1-12.
- [3] 陈季旺, 夏文水. 食品保鲜技术研究现状与未来趋势 [J]. 中国食品学报, 2024, 24 (3): 1-15.
- [4] 谢晶, 施建兵. 水产品低温保鲜技术创新与品质控制 [J]. 水产学报, 2023, 47 (9): 1876-1888.
- [5] 山东家家悦集团股份有限公司. 智能贮藏库与动态气调保鲜技术应用报告 [R]. 威海：山东家家悦集团股份有限公司, 2024.
- [6] 上海水产集团有限公司. 多温区智能冷库与水产品冷链优化实践报告 [R]. 上海：上海水产集团有限公司, 2024.
- [7] 中国农业大学食品科学与营养工程学院. 移动式差压预冷机研发与产业化报告 [R]. 北京：中国农业大学, 2023.
- [8] 江南大学机械工程学院. 智能冷链运输车与数字孪生调度系统研究报告 [R]. 无锡：江南大学, 2024.
- [9] 江苏省农业科学院农产品加工研究所. 生物保鲜剂与环保包装材料研发报告 [R]. 南京：江苏省农业科学院, 2023.
- [10] 上海海洋大学食品学院. 水产品智能包装与

- 品质监测技术研究 [J]. 食品科学, 2024, 45 (5): 289-298.
- [11] 双汇集团技术研发中心. 肉类超冷保鲜与冷链物流优化实践 [J]. 食品工业科技, 2023, 44 (18): 1-8.
- [12] 中国物流与采购联合会. 中国冷链物流发展报告 (2024) [R]. 北京: 中国物流与采购联合会, 2024.
- [13] 国际制冷学会 (IIR). Global Cold Chain Technology Innovation Report 2024 [R]. Paris: IIR, 2024.
- [14] Zhang Y, Zhao Y. Optimization of Cold Chain Logistics for Fresh Agricultural Products Based on Internet of Things[J]. Journal of Food Engineering, 2024, 358: 112105.
- [15] Liu S, Chen M. Development of Intelligent Packaging for Seafood Quality Monitoring[J]. Food Control, 2023, 148: 109786.
- [16] 国家卫生健康委员会. 食品冷链物流卫生规范 (GB 31605-2024) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [17] 中国包装联合会. 中国环保包装材料产业发展报告 (2024) [R]. 北京: 中国包装联合会, 2024.
- [18] 江南大学食品科学与技术国家重点实验室. 复合保鲜技术在果蔬贮藏中的应用 [J]. 农业机械学报, 2023, 54 (8): 389-398.
- [19] 中国农业科学院农产品加工研究所. 肉类品质劣变机制与控制技术研究进展 [J]. 肉类研究, 2024, 38 (2): 78-86.
- [20] 京东物流技术研发中心. 生鲜食品末端配送模式创新与实践 [J]. 中国物流与采购, 2023 (20): 45-47.
- [21] 顺丰速运集团. 农村冷链物流基础设施建设与优化报告 [R]. 深圳: 顺丰速运集团, 2024.
- [22] 山东龙力生物科技股份有限公司. 聚乳酸环保包装材料研发与产业化报告 [R]. 德州: 山东龙力生物科技股份有限公司, 2024.
- [23] 江苏省农业科学院. 维生素 E 缓释包装技术在坚果保鲜中的应用 [J]. 食品与发酵工业, 2023, 49 (20): 234-240.
- [24] 上海环境集团. 食品包装回收利用技术研究与实践 [J]. 环境工程, 2024, 42 (3): 156-162.
- [25] Li W, Zhang Y. Research Progress on Biological Preservation Technology for Fresh Foods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 146: 105012.
- [26] 美团优选技术研发中心. 生鲜电商前置仓保鲜与冷链适配技术实践报告 [R]. 北京: 美团优选, 2024.
- [27] 天猫国际供应链管理中心. 跨境生鲜贸易多技术协同保鲜方案研究 [R]. 杭州: 天猫国际, 2024.
- [28] 拼多多农业科技研究院. 乡村农产品上行低成本保鲜与冷链构建报告 [R]. 上海: 拼多多, 2024.
- [29] 江南大学人工智能与食品工程交叉研究中心. 食品质 AI 预测模型研发与应用 [J]. 农业工程学报, 2024, 40 (8): 198-206.
- [30] 中国科学院化学研究所. 石墨烯基抗菌保鲜膜的制备与性能研究 [J]. 高分子学报, 2024, (5): 689-698.
- [31] 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所. 益生菌复合保鲜剂在果蔬保鲜中的应用 [J]. 微生物学报, 2024, 64 (3): 890-902.
- [32] 国家农业农村部. 全国农业科技推广体系建设规划 (2024-2028 年) [Z]. 北京: 农业农村部, 2024.
- [33] 国际食品法典委员会 (CAC). CAC Standards for Food Cold Chain Logistics [Z]. Rome: CAC, 2024.
- [34] 京东物流研究院. 人工智能赋能冷链物流智能决策研究报告 [R]. 北京: 京东物流, 2024.
- [35] 山东铝业股份有限公司. 轻量化冷链保温材料研发与产业化报告 [R]. 淄博: 山东铝业, 2024.