

1 问题提出：食品分离与纯化技术的现实需求与产业瓶颈

2023年《“十四五”食品工业发展规划》明确提出“推动食品有效成分高效提取与高值化利用，食品副产物综合利用率提高到80%以上”，但当前我国食品分离与纯化领域仍面临三大突出问题：一是有效成分提取效率低，传统热水提取、乙醇提取等方法对功能肽、多酚的得率普遍低于10%，如从大豆粕中提取大豆肽，传统酶解得率仅8%，远低于国际先进水平的25%；二是纯化精度不足，多数企业采用单一分离技术，目标成分纯度难以突破80%，如从绿茶中提取茶多酚，传统柱层析纯化后纯度仅75%，无法满足保健食品对高纯度原料（≥95%）的需求；三是副产物利用率低，我国食品加工副产物（如大豆粕、苹果渣、葡萄皮）年产量超3亿吨，但综合利用率仅30%，多数被当作饲料或废弃物处理，资源浪费严重。

与此同时，消费者对功能性食品的需求持续增长，2024年我国功能肽、多酚等有效成分市场规模突破800亿元，年增长率达20%，但高端原料依赖进口，如高纯度大豆肽（≥95%）进口占比超60%，核心原因在于国内分离纯化技术滞后。基于此，本研究立足食品分离与纯化技术创新与产业实践，探索关键技术突破路径与副产物资源化方案，为食品产业高质量发展提供支撑。

2 食品有效成分提取分离纯化技术创新进展

2.1 主要食品有效成分提取技术创新

2.1.1 功能肽提取：从“单一酶解”到“多技术协同”

功能肽提取已突破“单一酶解”模式，向“超声辅助-复合酶解-微波协同”方向发展。江南大学研发的“超声辅助复合酶解技术”，对大豆粕采用“20kHz超声预处理30分钟（破坏细胞壁）+碱性蛋白酶与风味蛋白酶复合酶解（酶解温度50℃, pH8.0）”，大豆肽得率从传统酶解的8%提升至22%，且肽段分子量集中在1000-3000Da，易被人体吸收；中国农业科学院开发的“微波-酶解协同技术”，对乳清蛋白进行提取，微波（功率600W）可加速酶解反应，酶解时间从4小时缩短

至1.5小时，乳清蛋白肽得率提升至90%，且活性成分（抗氧化肽）含量增加30%。

在动物源功能肽提取方面，山东凤祥集团采用“低温酶解-超临界CO₂脱脂”协同技术，从鸡肉加工副产物（鸡胸骨、鸡皮）中提取胶原蛋白肽，先在40℃用中性蛋白酶酶解，再通过超临界CO₂（压力30MPa, 温度40℃）去除脂肪，胶原蛋白肽得率达15%，纯度提升至88%，且产品无腥味，已应用于保健食品生产。

2.1.2 多糖提取：从“高温水煮”到“绿色高效”

多糖提取已从传统“高温水煮”转向“超声辅助-酶解-亚临界水提取”等绿色技术。华南理工大学研发的“超声辅助亚临界水提取技术”，对香菇采用“15kHz超声预处理20分钟+亚临界水提取（温度120℃, 压力1.2MPa）”，香菇多糖得率从传统水煮的5%提升至18%，且提取时间从6小时缩短至1小时，能耗降低60%；浙江工业大学开发的“酶解-超声协同提取技术”，对枸杞多糖采用“纤维素酶酶解（温度55℃, pH5.0）+30kHz超声提取”，枸杞多糖得率提升至12%，纯度达85%，且避免高温导致的多糖结构破坏。

在海洋源多糖提取方面，中国水产科学研究院黄海水产研究所采用“复合酶解-超滤纯化”技术，从海带中提取褐藻多糖，先用纤维素酶与果胶酶复合酶解，再通过50kDa超滤膜去除大分子杂质，褐藻多糖得率达20%，纯度提升至92%，该技术已在青岛明月海藻集团应用，年生产褐藻多糖500吨，产值超2亿元。

2.1.3 多酚提取：从“有机溶剂提取”到“绿色溶剂替代”

多酚提取已突破“乙醇、甲醇等有机溶剂”局限，向“深共熔溶剂-超声辅助”方向发展。中国农业科学院研发的“深共熔溶剂提取技术”，以“氯化胆碱-甘油（摩尔比1:2）”为深共熔溶剂，对苹果渣采用“超声辅助（功率500W）提取30分钟”，苹果多酚得率从传统乙醇提取的6%提升至15%，且溶剂可回收再利用（回收率达90%），避免有机溶剂残留；江南大学开发的“超临界CO₂-乙醇夹带剂提取技术”，对绿茶采用“超临界CO₂（压力35MPa, 温度45℃）+5%乙醇夹带剂”，茶多酚得率提升至20%，纯度达82%，且产品无溶剂残留，符合欧盟有机食品标准。

在葡萄皮多酚提取方面，张裕集团采用“酶解-超声辅助提取技术”，先用果胶酶酶解葡萄皮（破坏细胞壁），再通过超声辅助乙醇提取，葡萄皮多酚得率达12%，其中白藜芦醇含量达5mg/g，已用于红酒品质提升与保健食品开发。

2.1.4 维生素提取：从“化学合成”到“天然提取”

天然维生素提取技术向“高效分离、精准纯化”方向发展。江南大学研发的“超临界CO₂提取-分子蒸馏纯化”联用技术，从棕榈油中提取天然维生素E，超临界CO₂（压力40MPa，温度50℃）提取维生素E粗品，再通过分子蒸馏（温度180℃，压力0.1Pa）纯化，维生素E纯度从粗品的40%提升至98%，得率达85%，且产品安全性高于化学合成维生素E；中国农业科学院开发的“超声辅助-大孔树脂吸附”技术，从枸杞中提取维生素C，超声（功率400W）辅助柠檬酸溶液提取，再用AB-8大孔树脂吸附纯化，维生素C得率达90%，纯度提升至95%，避免传统提取中维生素C的氧化损失。

2.2 食品有效成分纯化技术创新

2.2.1 膜分离技术：从“单一过滤”到“多级联用”

膜分离技术已从“单一微滤、超滤”转向“微滤-超滤-纳滤”多级联用，提升纯化精度。江南大学开发的“三级膜分离技术”，对大豆肽粗提液进行纯化：先用0.22μm微滤膜去除悬浮杂质，再用10kDa超滤膜去除大分子蛋白质，最后用200Da纳滤膜脱盐，大豆肽纯度从粗提液的60%提升至92%，且脱盐率达98%，产品含盐量低于0.5%；在茶多酚纯化方面，浙江工业大学采用“超滤-纳滤联用技术”，先用5kDa超滤膜去除茶多酚粗提液中的大分子杂质，再用150Da纳滤膜浓缩，茶多酚纯度从75%提升至90%，浓缩倍数达5倍，能耗较传统蒸发浓缩降低40%。

在乳清蛋白纯化方面，伊利集团采用“陶瓷膜微滤-超滤联用技术”，陶瓷膜（0.1μm）去除乳清中的脂肪与细菌，超滤膜（10kDa）截留乳清蛋白，乳清蛋白纯度从80%提升至95%，已用于高端婴幼儿配方奶粉生产。

2.2.2 色谱分离技术：从“传统柱层析”到“高效制备”

色谱分离技术向“高效、快速、大规模制备”方向发展。华南理工大学研发的“高效液相色谱

（HPLC）制备技术”，对绿茶多酚中的EGCG（表没食子儿茶素没食子酸酯）进行纯化，采用C18色谱柱，流动相为“甲醇-水（体积比30:70）”，流速10mL/min，EGCG纯度从粗提液的40%提升至98%，制备量达10g/h，较传统柱层析效率提升5倍；中国农业科学院开发的“凝胶过滤色谱技术”，对香菇多糖进行纯化，采用Sephadex G-100凝胶柱，洗脱液为0.1mol/L NaCl溶液，香菇多糖纯度从85%提升至96%，且可分离不同分子量的多糖组分（50kDa、100kDa），满足不同应用需求。

在功能肽纯化方面，江西汇仁药业采用“离子交换色谱-反相色谱联用技术”，先用离子交换色谱（DEAE-52）去除酸性杂质，再用反相色谱（C8柱）纯化大豆肽，大豆肽纯度提升至95%，其中活性肽（抗氧化肽）含量达80%，已用于口服液生产。

2.2.3 超临界萃取技术：从“单一萃取”到“萃取-分离一体化”

超临界萃取技术已从“单一萃取”转向“萃取-分离一体化”，提升效率与纯度。浙江工业大学研发的“超临界CO₂萃取-精馏一体化技术”，对紫苏籽进行提取，在萃取釜（压力30MPa，温度40℃）中提取紫苏油，再通过精馏柱（压力25MPa，温度45℃）分离不饱和脂肪酸，α-亚麻酸纯度从紫苏油的60%提升至90%，得率达85%，且生产周期从传统方法的8小时缩短至3小时；在辣椒红素提取方面，新疆隆平高科采用“超临界CO₂萃取-分子蒸馏联用技术”，超临界CO₂提取辣椒红素粗品，再通过分子蒸馏去除杂质，辣椒红素纯度从70%提升至95%，产品色泽鲜艳，无溶剂残留。

3 先进分离技术的应用与优化实践

3.1 膜分离技术的工业应用与优化

膜分离技术因“高效、节能、环保”特点，已在食品工业广泛应用，但存在“膜污染、寿命短”等问题。江南大学针对膜污染问题，开发“膜表面改性技术”，在超滤膜表面涂覆“亲水性聚乙二醇（PEG）”，膜表面接触角从80°降至30°，亲水性提升，蛋白质吸附量减少60%，膜清洗周期从3天延长至15天，膜寿命从1年延长至2年；山东招金膜天集团优化“膜组件设计”，将传统平板膜

组件改为“中空纤维膜组件”，膜面积增加50%，处理量提升至100m³/h，且能耗降低20%，已在大豆肽生产企业应用，单条生产线日处理大豆粕100吨，大豆肽产量达5吨。

在乳制品应用中，蒙牛集团采用“超滤-反渗透联用技术”处理乳清废水，超滤膜(10kDa)截留乳清蛋白(回收率达90%)，反渗透膜(100Da)截留乳糖(回收率达85%)，废水COD从10000mg/L降至500mg/L以下，实现“废水资源化”，年回收乳清蛋白1000吨，乳糖5000吨，创造经济效益超亿元。

3.2 色谱分离技术的应用与优化

色谱分离技术在高纯度有效成分制备中不可或缺，但存在“溶剂消耗大、成本高”等问题。华南理工大学优化“流动相回收技术”，对HPLC制备中的甲醇-水流动相采用“减压蒸馏-精馏”回收，甲醇回收率达95%，年节省溶剂成本超200万元；中国农业科学院开发“连续色谱分离技术”，采用多柱串联连续操作，替代传统间歇式柱层析，处理量提升3倍，溶剂消耗减少40%，已在茶多酚纯化中应用，单条生产线日处理绿茶10吨，高纯度茶多酚(≥95%)产量达500kg。

在功能肽纯化中，江西济民可信集团采用“模拟移动床色谱(SMB)技术”，替代传统固定床色谱，大豆肽纯化效率提升4倍，溶剂消耗降低50%，纯度达95%以上，且生产自动化程度高，操作人员减少60%，大幅降低人工成本。

3.3 超临界萃取技术的应用与优化

超临界萃取技术在天然产物提取中优势显著，但存在“设备投资高、能耗大”等问题。浙江工业大学优化“超临界萃取工艺参数”，对枸杞籽油提取采用“响应面法”优化，确定最佳工艺参数为“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±5%、O₂浓度控制在5%、CO₂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%。

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”

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。

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.