

基于 CiteSpace 的国内外冷链物流热点及趋势探析

黄虹¹, 谢如鹤^{2*}, 杨雅斌¹, 章桂永¹, 乔鹏亮¹

(1. 广州工商学院, 广州 510850; 2. 广州大学, 广州 510006)

摘要: **目的** 旨在深入分析国内外冷链物流领域研究的热点和发展趋势, 为相关研究者提供参考。**方法** 采用 CiteSpace 软件作为研究工具, 以 2006—2023 年 CNKI 和 WOS 数据库中的核心期刊上的冷链物流相关论文作为样本, 通过发文趋势分析、发文机构分析、载文期刊分析、关键词共现、聚类分析、关键词突现和时间图谱等方法, 全面探究冷链物流领域的研究现状、关注热点和演变趋势。**结论** 自 2010 年以来, 冷链物流的研究呈现波动性增长, 国内和国际均已形成核心的研究机构群; 研究热点主线主要集中在农产品电商物流、食品安全、冷链配送优化、冷链物流对策、相变材料和医药冷链 6 个方面; 在国内, “蓄冷剂”和“冷链食品”成为最新的突现词, 而国际上, “phase change material (相变材料)”“fresh agricultural product (生鲜农产品)”和“carbon dioxide (二氧化碳)”成为最新的突现词; 冷链物流的研究阶段可分为初步探索阶段 (2006—2010 年)、快速发展阶段 (2011—2015 年)、电商驱动阶段 (2016—2020 年) 和科技驱动阶段 (2021 年至今) 4 个阶段。当前, 提升冷链物流效率的关键技术、发展低碳冷链物流和冷链物流跨学科融合教育的研究成为新兴趋势。

关键词: 冷链物流; 冷藏运输; CiteSpace; 知识图谱

中图分类号: U29; G252.8

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2024)19-0233-14

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.19.023

Hot Spots and Trends in Cold Chain Logistics at Home and Abroad Explored Based on CiteSpace

HUANG Hong¹, XIE Ruhe^{2*}, YANG Yabin¹, ZHANG Guiyong¹, QIAO Pengliang¹

(1. Guangzhou College of Technology and Business, Guangzhou 510850, China;

2. Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze research hotspots and trends in cold chain logistics globally, to offer insights for researchers. With Citespace as a tool, core journal articles (2006-2023) from CNKI and WOS were analyzed. Through various methods including publication trend analysis, institutional analysis, journal analysis, keyword co-occurrence, clustering analysis, burst term detection, and timeline visualization, the current research status, focus points, and evolutionary trends in the field were comprehensively explored. Key findings include fluctuating growth since 2010, with established research clusters domestically and internationally. Hotspots focus on agricultural e-commerce logistics, food safety, distribution optimization, cold chain strategies, phase change materials, and pharmaceutical cold chains. Emerging terms are "cold storage materials" and "cold chain food" in China, and "phase change material (PCM)," "fresh agricultural product," and "carbon dioxide" globally. Research evolution of cold chain logistics comprises exploration (2006-2010), rapid

收稿日期: 2024-05-24

基金项目: 广东省重点建设学科项目 (2021ZDJS122); 广东省哲学社会科学一般项目 (GD24CGL26); 广东省物流与供应链学会项目 (2023LS017C); 广东省农产品保鲜物流共性关键技术研发创新团队项目 (2021KJ145); 校级立项课题 (KYZD202304)

*通信作者

development (2011-2015), e-commerce-driven (2016-2020), and technology-driven (2021-present) stages. Current trends emphasize efficiency-boosting technologies, low-carbon cold chains, and interdisciplinary education.

KEY WORDS: cold chain logistics; refrigerated transportation; CiteSpace; knowledge map

全球经济发展使得城市化进程不断加快,消费者对生鲜食品的需求量、质量有着更高的要求 and 期望,而冷链物流是满足消费者对生鲜食品质量要求的必要前提和保证^[1]。据国家发展和改革委员会官方公布,全球冷链物流市场规模 2026 年预计增长至 5 851 亿美元,而亚太地区将为全球市场规模持续扩展提供最强驱动力。就全球食品供应链而言,全世界每年损失和浪费 1 万亿美元的食物,因食物浪费额外产生的二氧化碳 (CO₂) 约为 33 亿吨,而食品冷链性能不足为主要原因^[2]。冷链物流成本比普通物流成本高 40%~60%,冷链物流的发展对减少食品浪费,削减经济成本,实现节能减排具有重要意义^[3]。

冷链物流是指冷藏和冷冻食品在生产、储存、运输、销售和消费前始终处于规定的低温环境中,以保证食品质量和减少食品损失的一项系统工程^[4]。学者围绕冷链物流的影响因素、测度、效率和食品安全等开展了大量研究,在政府提供财税政策支持的情况下,冷链企业应积极关注消费者对新鲜度和交付时间等方面的需求,从而提升消费者的支付意愿^[5]。同时,为助力现代物流高质量发展,冷链物流与大数据、区块链和人工智能等信息化技术的结合,能实现食品质量安全风险的有效监控^[6]。国家高度重视冷链物流问题,近年来已陆续出台了一系列政策和应对措施。2021 年国务院办公厅印发《“十四五”冷链物流发展规划》,提出需完善冷链物流设施网络,提高冷链物流质量效率。2022 年中华全国供销合作总社印发《全国供销合作社“十四五”公共型农产品冷链物流发展专项规划》,提出推进县域农产品冷链物流中心建设,完善田间保鲜仓。因此,推进现代化冷链物流高质量发展,需梳理冷链物流的研究脉络和发展态势。本研究采用文献计量分析法,归纳总结冷链物流的研究现状和热点,探讨其前沿动态,提出未来研究的重点方向,旨在为未来冷链物流相关研究提供参考。

1 数据来源与研究工具

1.1 数据来源

本研究的文献数据分别选自中国知网 (CNKI) 和 Web of Science (WOS),检索时段为 2006 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日。CNKI 数据库包括 CSSCI、CSCD、EI 和北大核心来源期刊,检索主题、篇名和关键词为“冷链物流”“冷链”或“冷藏车”,舍弃新闻报道、卷首语、会议稿件及著作不明等文献,共得到相关文献 1 701 篇。国际文献数据选自 WOS 数据库中的核心期刊合集 (SCI&SSCI),以主题、篇名和关键

词为“Cold Chain Logistics” or “Cold Chain” or “Refrigerator Truck/Wagon/Car”进行精准检索,舍弃 review、book 等文献,共得到相关文献 2 455 篇。

1.2 研究工具

CiteSpace 由美国德雷塞尔大学计算机与情报学院的陈美超教授设计,以 Java 语言为底层技术基础,基于共引分析理论和寻径网络算法,对特定领域的文献进行计量分析,且能实现结果可视化,分析和预测既定领域研究进展和热点^[7]。CiteSpace 作为一个强大的科学文献分析工具,其背后的理论基础丰富且多样,主要依托多个关于科学发展、信息科学和网络分析的理论。本文利用 CiteSpace (V.6.1.R6) 软件,对 CNKI 和 WOS 数据库中所检索的文献进行可视化分析。通过发文趋势分析、发文机构分析、载文期刊分析、关键词共现、聚类分析、关键词突现和时间图谱等方法,梳理冷链物流领域的研究现状、研究热点和趋势。

2 冷链物流研究现状

2.1 论文发表数量及期刊分析

由冷链物流研究的年度发文量可知 (图 1),2006—2009 年,国内国际期刊发文量低且平缓,总发文量 276 篇,年均发文量仅 69 篇。2010—2012 年,发文量波动快速增长,总发文量 412 篇,年均发文量 138 篇;国内期刊增长量为国际期刊年均增长量的 1.4 倍。2013—2018 年,发文量小幅度波动增长。2018 年开始,国际期刊发文量超过国内期刊发文量,2019—2023 年,总发文量 1 998 篇,年均发文量 400 篇,其中国内期刊 540 篇,国际期刊 1 458 篇。2021 年达到发文量峰值,国内外总发文量 471 篇,之后国内外发文量皆呈现减少趋势。相较于 2013 年,2023 年发文量增长 86.50%。

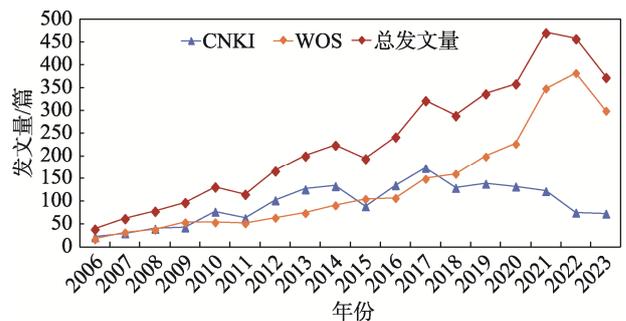


图 1 2006—2023 年冷链物流研究的年度发文量
Fig.1 Annual publications in cold chain logistics from 2006 to 2023

2.2 研究机构与期刊分析

从发文机构看(表 1), 国内文献的研究机构中, 具有物流特色或食品类的院校处于核心地位, 包括北京物资大学、上海海洋大学和广州大学, 其次是上海海事大学、中国农业大学和北京交通大学等; 国际文献的研究机构中, 美国疾病控制与预防中心(CDC USA)和中国农业大学发文量最多, 其次是世界卫生组织(WHO)发文量 47 篇。

从载文期刊看(表 1), 发文量超过 50 篇的国内期刊有《商业经济研究》《物流技术》《农业经济》和《包装工程》。刊载量排名前 3 的国际期刊分别为 *Vaccine*、*Food Control* 和 *Journal of Food Engineering*, 发文量分别为 155 篇、57 篇和 53 篇, 其他期刊发文量均在 50 篇以下, 与上述期刊相差较大。

3 冷链物流研究热点

3.1 关键词共现分析

论文的关键词是研究主题的高度概括。借助

CiteSpace 软件, 选取“Keyword”选项, 以 2006—2023 年每年作为 1 个时间切片, 进行关键词在不同文献中的共现频率及关联对应分析, 即进行共现分析, 频次越高则成为研究热点的可能性越高, 中心性则表示关键词在网络中的关联作用。

从表 2 可以看出, 国内文献关键词“冷链物流”节点最大, 中介中心性最高, 是最为关键的重要节点。国内文献的研究热点领域可以分为: 1) 农产品冷链物流与电子商务的融合研究。在乡村振兴中, 农产品规模化、品牌化及国际市场拓展需高效的冷链物流体系支撑^[8]。加快农产品电子商务发展可有效推动城乡生产与消费有效对接, 完善农村物流体系, 构建现代农产品流通体系^[9]。而跨境农产品电商与冷链物流融合发展是必然趋势和要求, 两者稳定协调发展能有效提升总体服务水平, 为消费者提供更便捷的服务^[10]。2) 冷链物流的多温共配问题。多温共配包含蓄冷式多温共配和机械式多温共配 2 种模式^[11], 在考虑碳排放、货损及车辆不同配送模式的情形下, 采用遗传算法优化求解, 能降低冷链物流成本, 提高顾客满意度^[12-14]。

表 1 冷链物流研究的发文机构与载文期刊统计
Tab.1 Publishing organizations and journals statistics of cold chain logistics research

来源	发文量前 10 的机构		发文量前 10 的期刊	
	机构名称	发文量	期刊名称	发文量
CNKI 数据库	北京物资学院	50	商业经济研究	135
	上海海洋大学	46	物流技术	129
	广州大学	42	农业经济	56
	上海海事大学	40	包装工程	54
	中国农业大学	37	中国物流与采购	47
	北京交通大学	29	中国流通经济	37
	烟台大学	29	中国输血杂志	37
	上海理工大学	25	保鲜与加工	31
	中南大学	25	农业机械学报	29
	天津商业大学	24	农业工程学报	25
WOS 数据库	CDC USA	59	Vaccine	155
	China Agricultural University	59	Food Control	57
	WHO	47	Journal of Food Engineering	53
	INRAE	42	Sustainability	48
	Stellenbosch University	41	Plos One	46
	University of London	41	Foods	31
	PATH	40	International Journal of Refrigeration	26
	Chineses Academy of Sciences	36	Journal of Energy Storage	26
	Swiss Federal Institutes of Technology	35	Scientific Reports	24
	University of California System	31	International Journal of Pharmaceutics	23

表2 冷链物流研究的高频关键词
Tab.2 High frequency keywords for cold chain logistics research

国内文献					国际文献				
序号	关键词	出现频次	中介中心性	初现年	序号	关键词	出现频次	中介中心性	初现年
1	冷链物流	466	0.48	2006	1	cold chain	519	0.11	2006
2	农产品	122	0.16	2007	2	quality	185	0.03	2008
3	冷链	119	0.25	2007	3	temperature	177	0.09	2008
4	供应链	39	0.07	2008	4	management	169	0.09	2006
5	电子商务	37	0.05	2014	5	storage	152	0.06	2010
6	物流	36	0.04	2006	6	system	143	0.12	2008
7	冷藏车	32	0.09	2007	7	model	121	0.05	2008
8	冷藏运输	30	0.05	2010	8	shelf life	107	0.04	2010
9	遗传算法	30	0.03	2011	9	performance	106	0.04	2009
10	生鲜电商	29	0.03	2015	10	cold chain logistics	104	0.02	2014

3) 生鲜农产品供应链网络的优化研究。生鲜农产品供应链可持续发展是促进农民增收和提升居民生活质量的重要保障^[15], 生鲜农产品供应商和电商平台分别通过直销和转销 2 种模式实现利润最大化^[16]。龚树生等^[17]将生鲜食品的冷链物流网络划分为单个经济体的冷链物流网络、区域内的冷链物流网络和跨区域的冷链物流网络 3 种。张喜才等^[18]依托大数据构建信息平台, 融合“城市大库”与“个人微库”, 形成“网络化、严标准、可追溯、高效率”的全链条农产品冷链物流模式。4) 冷链物流设施设备性能优化研究。冷藏车是冷藏运输的重要运输工具, 不同冷藏运输厢体的结构^[19]、冷藏运输厢内流场与温度场的协同度^[20]和不同相变蓄冷材料的选择^[21]等因素都会影响冷藏车的性能, 而冷藏车的性能是确保冷藏运输中生鲜产品品质的必要条件。

国际文献关键词“cold chain”节点最大, 中介中心性最高, 是最为关键的重要节点。国际文献的研究热点领域可以分为: 1) 冷链物流供应链效率优化研究。供应链节点中的物流供应商内部应专注于流程自动化和冷链流程创新等实践, 以提高冷链效率^[22]。而基于供应链外部影响, 政府补贴导致的差别定价可以实现冷链农产品供应商、零售商和供应链系统的利润帕累托改进, 但不能实现整个供应链的利润最优^[23]。此外, Huang 等^[24]提出“互联网+”背景下农产品冷链物流实时应急管理新模式能有效解决传统农产品冷链物流管理过程中流通松散、信息传递不准确、加工不及时、生鲜农产品损失严重等问题。Si^[25]研究表明冷链物流技术的提高是全要素生产效率提高的主要原因。2) 冷链物流需求的影响因素研究。冷链配送时效是影响冷链物流需求的重要要素, 配送时间越长, 生鲜产品的货架期越短, 且消费者满意度是企业制订多级车辆路径策略的重要影响因素^[26]。Ren 等^[27]研究表明第三产业比重、城镇居民人均可支配收入指数和农产品综合价格指数是影响农产品冷链物流需求的前 3 个因素。3) 新兴冷链技术与冷链物流的融合研究。由于生鲜产品与环境的相互作用, 冷链的断链可能会

加快生鲜产品变质的速度, 使得冷链后续应用失去价值, 因而, 为保持冷链的完整性, 准确监测低温环境和食品质量尤为重要^[28]。这一方面是指冷链信息技术与冷链物流的融合, 大数据、区块链和物联网等信息技术能有效实现生鲜供应链中端对端信息传递和全链条温度监测^[29], 新一代的人工智能技术则可以有效提高运营的准确性、速度和吞吐量^[30]。此外, 自然语言处理是增强和简化人机交互的富有前景的人工智能技术之一, 在生鲜产品新鲜度预测过程中, 通过传感数据的自动无损采集和机器学习算法, 能有效提高生鲜产品的鲜度预测精度和食品质量管理水平^[31]。另一方面是指制冷技术在冷链物流中发挥重要作用, 高性能相变蓄冷材料的研发与选择能满足冷链物流系统稳定高效连续运行的需求, 实现节能减排^[32]。

3.2 关键词聚类分析

采用对数似然率算法对关键词进行聚类分析, 使关系强相关的关键词聚成一类, 以便识别和分析关键词的研究主线。CNKI 数据库模块值为 0.67, 平均轮廓值为 0.89。WOS 数据库模块值为 0.54, 平均轮廓值为 0.81, 两者聚类可信度高 (图 2)。

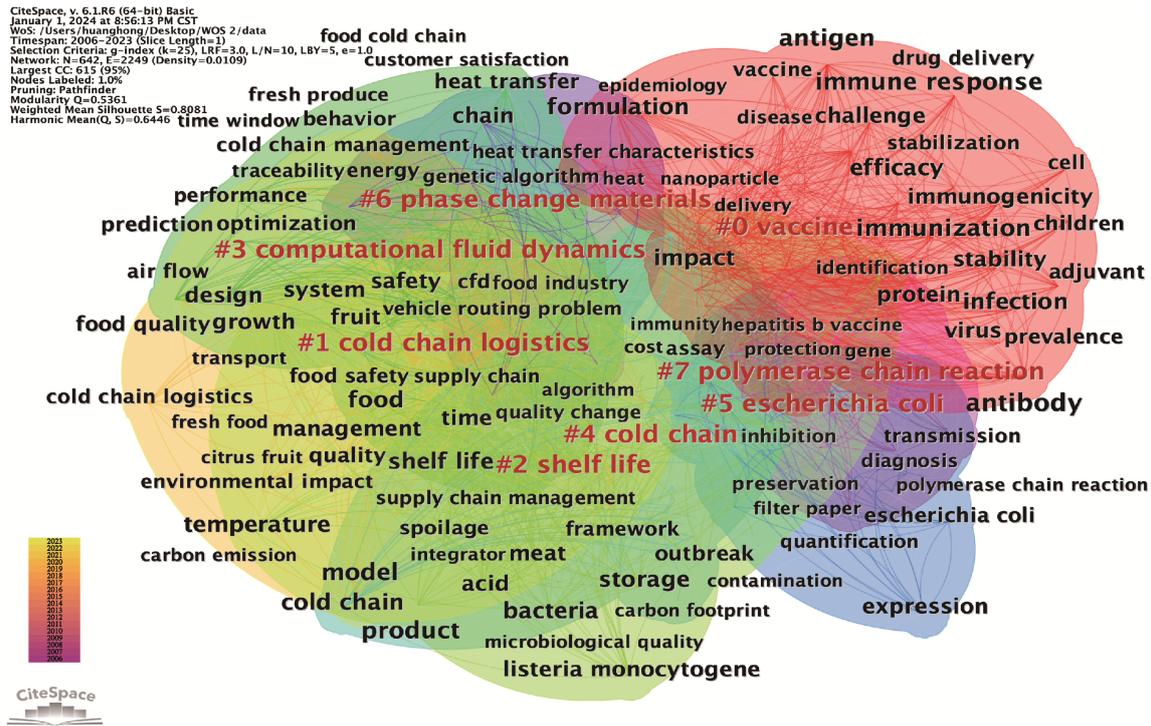
根据冷链物流研究的关键词聚类结果, 围绕农产品电商物流、食品安全、冷链配送优化、冷链物流对策、相变材料和医药冷链 6 个方面, 梳理当前的研究热点主线如下 (图 3)。

1) “农产品、冷链物流 (cold chain logistics)、冷链 (cold chain)”聚类分析

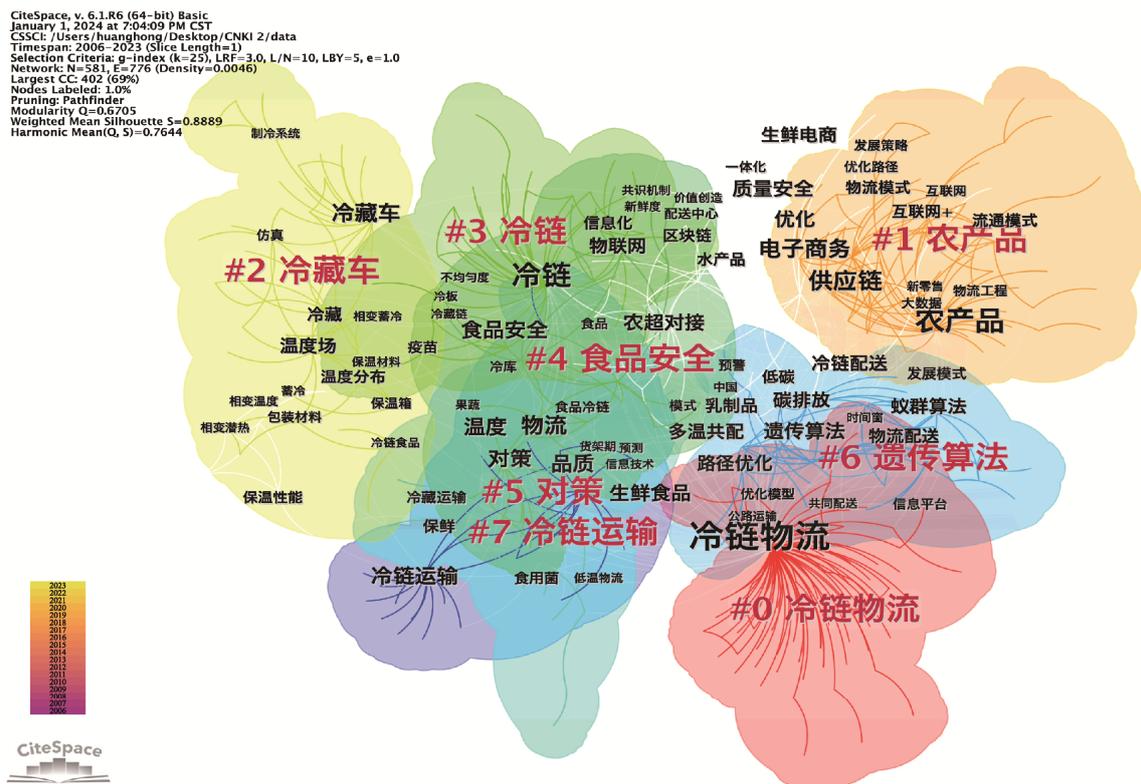
围绕“农产品—冷链物流—冷链—电子商务”开展研究。生鲜电商是实现冷链农产品异地供应的保障, 双方定价策略既会影响双方的收入, 也会影响消费者的支付意愿^[33]。农产品冷链物流与电子商务的结合扩大了居民对生鲜农产品的消费需求, 且在一定程度上降低了生鲜农产品的价格^[34]。

2) “shelf life (货架期)、Escherichia coil (大肠杆菌)、食品安全”聚类分析

围绕“shelf life—Escherichia coil—食品安全—生



a WOS



b CNKI

图 2 冷链物流研究关键词聚类
Fig.2 Clustering map of cold chain logistics research

鲜食品—温度—区块链（物联网）”开展研究。高效且稳定地监控生鲜食品在冷链运输过程中的关键质量参数是确保食品质量和安全的关键,通过无线传感网络（WSN）对冷链温度波动进行实时监测能有效预测生

鲜产品货架期,预防因超保质期使得菌落繁殖而导致食品安全问题^[35]。融合了区块链技术的食品质量安全检测平台能及时预警和实时监测冷链过程中食品质量安全风险问题,提升了食品质量安全管理效果^[25]。

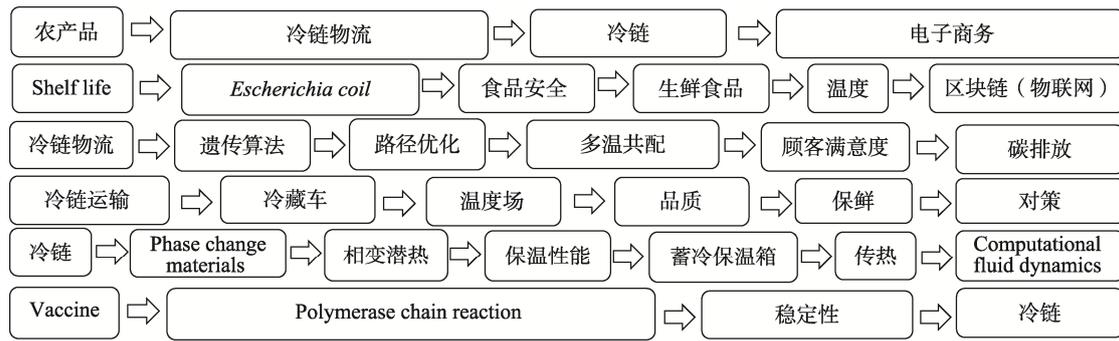


图3 冷链物流的热点研究主线
Fig.3 Hot research threads in cold chain logistics

3) “冷链物流 (cold chain logistics)、遗传算法”聚类分析

围绕“冷链物流—遗传算法—路径优化—多温共配—顾客满意度—碳排放”开展研究。冷链物流作业具有较普通物流作业标准高、环节衔接复杂和流通率低等特点^[36]。为实现“双碳”战略目标，冷链企业低碳转型升级是必然的发展趋势，冷链物流企业在保障食品物流系统安全可靠的前提下，需努力寻求能耗成本和货损成本之间的平衡点^[37]。在冷链多温共配路径优化过程中，综合最小化碳排放成本、配送成本和时间惩罚成本是降低企业总成本、实现节能减排、提高顾客满意度的重要途径^[38-39]，而探究路径优化问题中遗传算法是启发式算法的基础^[40-41]。

4) “冷链运输、冷藏车、对策”聚类分析

围绕“冷链运输—冷藏车—温度场—品质—保鲜—对策”开展研究。冷链运输过程中，车内温度场的精确控制至关重要，不当调控易致使食品腐败或干耗，造成经济损失和能源过度消耗^[42]。充分考虑冷藏车的热特性、通风、空气渗透及货物的堆码或包装形式等因素，合理选择制冷系统，能有效减少经济成本和降低碳排放，保障生鲜食品的品质与安全，实现经济效益与环保效益的双重提升^[43-44]。

5) “冷链 (cold chain)、phase change materials (相变材料)、computational fluid dynamics (计算流体力学)”聚类分析

围绕“冷链—phase change materials—相变潜热—保温性能—蓄冷保温箱—传热—computational fluid dynamics”开展研究。相变蓄冷材料是赋予生鲜食品载体保温性能的基础，不同相变材料的相变潜热不同^[45]，相变冷储能技术具有温度稳定、储能密度高的优点，能有效实现食品在交付过程中的温度管理，保障生鲜食品的品质^[46-47]。在探究不同的冷链方案时，通常采用计算流体力学模拟生鲜食品在不同条件下的冷却速率和均匀性差异，冷却速率越快和更均匀则验证了冷链方案的有效性^[48]。

6) “vaccine (疫苗)、polymerase chain reaction (聚合酶链反应)、冷链 (cold chain)”聚类分析

围绕“vaccine—polymerase chain reaction (PCR)—

稳定性—冷链”开展研究。冷链在医药运输中扮演着重要角色^[49]。在基于 DNA 的技术中，聚合酶链式反应是最广泛接受的病原体检测分子工具，试剂的稳定性是影响检测结果准确性的关键因素，因而，采用合理的冷链技术运输和存储是维持试剂或疫苗长期稳定而不改变其灵敏度的关键途径之一^[50]。

4 冷链物流研究前沿与脉络

4.1 冷链物流研究前沿

突现词是指出现频率在短时间内突然增加或者使用频率明显增长的关键性术语^[7]，可以进一步探析冷链物流的研究前沿动态 (表 3)。

1) 国内期刊热点突现词分析

“电子商务”为强度最高的突现词。冷链物流是畅通生鲜农产品销售渠道的制约因素，而生鲜农产品电子商务带动了高效的冷链物流体系建设，提高了农产品流通的质量和效率^[51]。电子商务依托第三方平台实现生鲜电商供应链各节点联盟合作，整合冷链物流配送体系，解决生鲜产品“最后一公里”配送，实现从订单至交付全流程精准服务，为消费者提供优质的生鲜产品和良好的购物体验^[52]。

“冷藏车”为持续时间最长的突现词。冷藏货物的运输多数是长途运输，冷藏车作为冷藏运输的一种工具，在确保食品安全，提升人民生活质量中发挥着重要作用。冷藏车在满足驾驶员舒适性要求的同时，更需控制企业成本和保障货物运输质量，在考虑时间窗和运输距离约束的情况下，采用纯电动冷藏车配送生鲜产品能有效降低运输成本，减少温室气体的排放^[53]。但冷藏车研究更注重外部环境优化和内部性能提升，在冷藏车外部环境优化方面，冷藏车运输过程中车门开启频率越低，车门开启越小，车厢冷量消耗越低^[54]。此外，车厢外有无风、风向及风速等外部因素都会影响冷藏车内温度的波动^[55]。在冷藏车内部性能提升方面，准确计算多温区冷藏车的热负荷，才能满足各车厢的温度要求，从而确保运输中食品的安全和品质^[56]，而冷藏车冷量的不均匀分布则会降低生鲜产品的保

鲜效果^[57]。与此同时, 制冷系统的选择与优化、内部货物的堆垛方式和新技术的运用都进一步优化了冷藏车的性能, 保证了生鲜产品运输的品质和安全^[58]。

“蓄冷剂”和“冷链食品”为最新突现词。每年都有很多食品因为在运输过程中不能长时间保鲜而被丢弃, 造成了巨大的食品和经济损失^[46, 59]。温度对延长食品的保质期尤为重要, 冷链能极大程度维持易腐食品的品质, 满足消费者的质量要求^[60]。冷链运输过程中蓄冷箱相变材料的选择和制冷剂的研发是实现温控的重要保证^[61]。关于冷链食品的保鲜研究, 一方面, 生鲜产品的质量是影响消费者购买意愿的影响因素之一, 即使相同新鲜度的生鲜也会表现出不同支付意愿, 由此带来市场需求的不确定性风险, 因而基于生鲜品质保证引发的供应链利润分配是供应链成员需要重视的问题^[62]。另一方面, 果蔬农产品的冷链物流保鲜技术能有效保持农产品的新鲜度^[63]。

2) 国际期刊热点突现词分析

“phase change material”为强度最高的突现词。相变蓄冷是利用相变材料在固定相变温度发生物态的转变, 实现蓄冷(凝固过程)和释冷(融化过程)的一种技术; 相变材料具有热效率高和储热密度高等特点, 在制冷领域受到广泛关注^[64], 在机械式制冷系统中能克服稳定性低、能耗高及成本高的问题^[65]。但不同相变材料的性能存在差异, 根据不同相变材料的特点研制复合相变材料能有效克服相变储冷材料在实际应用中存在的易渗漏、导热性能差等缺陷^[66-67], 确保药品和食品在冷链运输中温度的适宜性^[68]。

“antibody”为持续时间最长的突现词。灵活和高效的医药冷链供应链对世界上疫苗接种率低的国家的儿童健康和经济至关重要^[69]。维持疫苗冷链是成功的免疫规划的重要组成部分, 尤其是遵循良好的临床实践并保持临床疫苗供应无温度偏差能减少接种者严重的不良事件发生^[70]。

“phase change material”“fresh agricultural product”和“carbon dioxide”为最新突现词。人们对物质需求和生活水平的要求逐渐提高, 消费者对生鲜、水果、蔬菜冷链食品的需求也在不断增加, 要求城市生鲜农产品物流库存配送系统不断优化^[71]。在激烈的市场竞争和低碳经济的需求下, 缩短配送时长能有效保证商品的新鲜度, 提高消费者满意度^[72]。与此同时, 冷链物流企业必须关注生鲜产品的碳排放, 相变蓄冷材料的合理选择也能降低能耗和减少碳排放, 实现冷链供应链的可持续发展^[73-74]。有学者认为农产品冷链物流网络考虑碳排放后, 市场的农产品数量需求上升, 使得参与者的利润也明显增长^[75]。

4.2 冷链物流研究脉络与主题

利用 CiteSpace 绘制时间图谱(图 4), 综合分析图谱中的词频变化、词汇突现度等, 根据热点历时性走向分析研究主题演变, 判断冷链物流研究主题演化

表 3 冷链物流研究的关键词突现

Tab.3 Keywords emerged in cold chain logistics research

类型	关键词	强度	时段
国内文献	冷藏运输	2.76	2006—2011
	冷藏车	4.43	2007—2014
	冷链	3.38	2008—2010
	农超对接	4.71	2010—2013
	食品安全	2.13	2014—2015
	电子商务	6.61	2015—2018
	互联网+	3.08	2016—2019
	碳排放	3.05	2018—2023
	蓄冷剂	2.1	2021—2023
	冷链食品	2.04	2021—2023
国际文献	antibody	6.33	2006—2017
	temperature monitoring	4.01	2007—2011
	cold chain	3.53	2009—2010
	chilled food	2.79	2012—2014
	wireless sensor network	2.86	2015—2017
	quality control	2.16	2016—2019
	temperature fluctuation	2.59	2019—2021
	phase change material	8.69	2021—2023
	fresh agricultural product	3.4	2021—2023
	carbon dioxide	3.11	2021—2023

的整体特征, 并结合发文数量和相关研究^[76-77], 确定研究阶段。

1) 冷链物流初步探索阶段(2006—2010年)

这个阶段是冷链物流研究起步阶段, 区域内生鲜农产品综合配送体系尚未成型, 随着消费者对食品安全和新鲜度的需求增加, 生鲜食品市场不断扩大, 为保证生产者和消费者的根本利益, 增强生鲜农产品的市场竞争能力, 迫切需改变生鲜农产品的物流现状。在冷链运输过程中, 为实现食品冷链过程中的实时可追溯性和冷链监控而开发的射频识别(RFID)智能标签, 提高了冷链物流的服务质量和水平, 而医药冷链过程中疫苗的存储需降低与冷链相关的成本, 以减轻免疫规划的经济和后勤负担。这个阶段的冷链物流主要集中在食品、药品等领域, 服务范围相对较小。

2) 冷链物流快速发展阶段(2011—2015年)

冷链物流行业的集中度低, 且未形成完整体系, 冷链存在严重断链现象和冷链设施设备严重不足问题, 因而需要加强冷链物流技术的研发和推广, 完善基础设施建设。欧美等发达国家已形成了以信息技术为核心, 以储藏、运输、配送、自动化仓储及库存控制等技术为支撑的现代化冷链物流体系。基于云计算冷链物流系统能避免产品销售信息不对称, 提升冷链配送速度, 实现各方利益最大化。同时, 基于多温联合配送系统冷链物流服务模式的出现, 促进了物流服务的创新, 使物流业在易腐货物和温度敏感产品的生鲜市场具有竞争优势。冷链物流相关企业逐步出现, 冷链物流市场规模开始快速扩大。

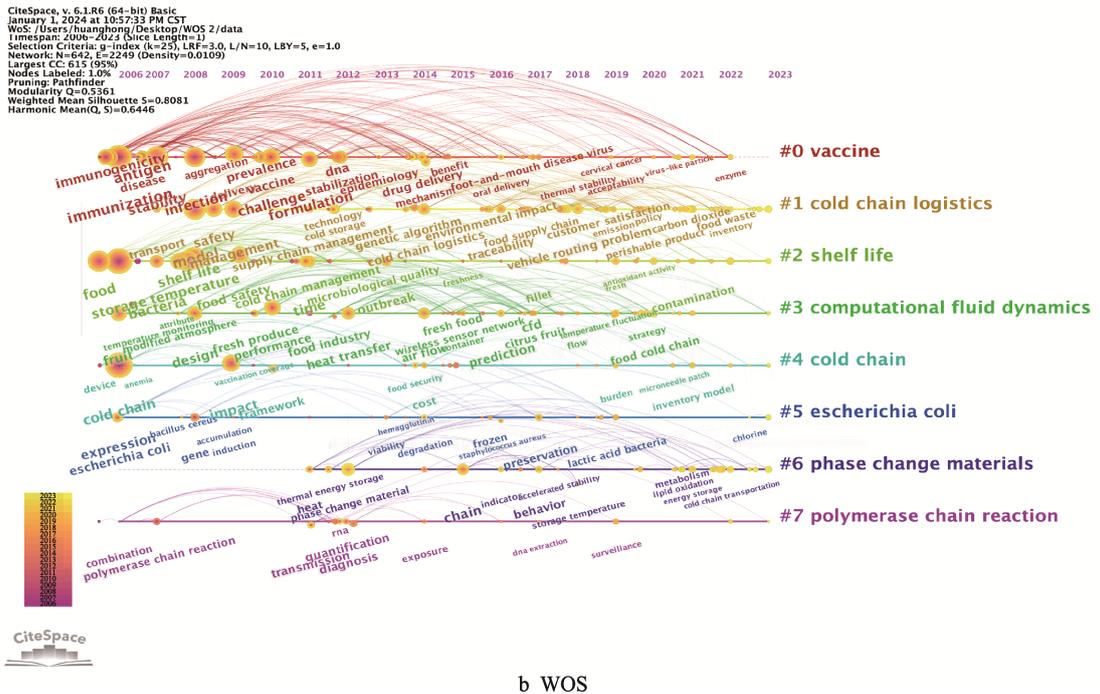
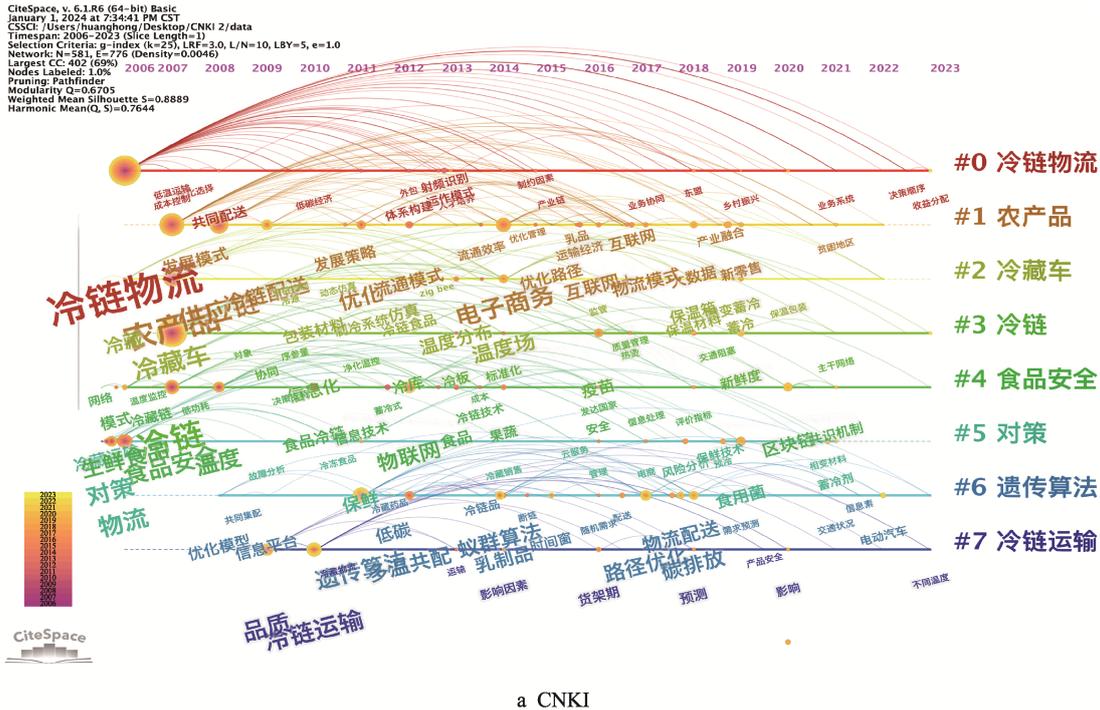


图4 冷链物流研究关键词共现时间轴
 Fig.4 Keyword co-occurrence timeline chart of cold chain logistics research

3) 冷链物流电商驱动阶段 (2016—2020年)

电子商务的快速发展推动了冷链物流的需求增加，传统的冷链物流模式已不能适应以大型生鲜农产品制造或加工企业为主导的企业需求，服务创新成为冷链经济增长的催化剂。在冷链运输过程中，降低生鲜产品的产品损耗和运输消耗，需不断提升供应链的柔性及反应性，从而提高冷链物流企业可持续的核心竞争力。政府也加大了对冷链物流的扶持力度，推动了冷链物流基础设施的建设和技术的

提升，从而提高了食品安全水平，促进了行业发展和居民消费升级。冷链物流企业开始响应政策，完善员工的相关机制，冷链技术中开始研究不同相变冷却剂对生鲜电商农产品配送箱品质的影响，冷链物流中应用潜热蓄热技术可以提高能源利用效率。中国生鲜电商交易规模在此期间保持30%以上的高速增长水平，冷链物流作为生鲜产品的主要流通方式也受到重视。这个阶段冷链物流服务范围进一步扩大，如生鲜食品、医药和化工等。

4) 冷链物流科技驱动阶段(2021年至今)

在医药冷链中,通过冷藏方式保持疫苗完整性以及降低与冷链物流相关的经济负担,对冷藏保存方式的革新提出了新要求,学者们融合新迸发的物联网、区块链和大数据等信息技术,提出利用物联网和大数据分析改善物流,利用实时数据库管理更好地跟踪交付和公共疫苗接种规划,以及利用共享平台更公平地获得疫苗,提高了冷链物流的效率和准确性。物联网和云计算技术在食品冷链物流领域的融合,能有效实现冷链实时监控、安全预警和食品溯源,从原料的储存至最终冷链食品的分销,整条冷链物流供应链都更精准和高效。此外,2021年中国政府出台了《“十四五”冷链物流发展规划》等相关文件,规范了冷链物流市场,推动了冷链物流的标准化和专业化。

随消费者对食品安全和环保的要求不断提高,以及冷链物流技术的不断创新和应用,冷链物流将更加注重绿色、环保和高效等方面的可持续发展^[78-79]。尤其在突发公共卫生事件时,农产品冷链物流具有参与主体多、时空分布广的特点,极易受到冲击,提高农产品冷链物流的韧性对其可持续发展至关重要^[80]。同时,冷链物流追溯监管平台功能持续完善,新业态新模式日益普及,集成创新能力显著提升。

5 结论与展望

5.1 结论

本研究以2006年至2023年CNKI和WOS核心数据库发表的冷链物流论文为基础,借助信息可视化软件CiteSpace,对关键词进行知识图谱可视化处理,系统梳理了冷链物流领域的研究现状、关注热点和演变趋势,研究结论如下。

1) 2010年以来,随着生鲜产品需求与品质要求的提升和政府物流政策的支持,冷链物流研究热度攀升,发文量呈波动增长趋势。国内以北京物资大学、上海海洋大学、广州大学和国内综合性大学为主力。国际则以美国疾病控制与预防中心和中国农业大学为代表引领研究。

2) 当前研究聚焦于农产品冷链物流与电子商务相结合的发展模式、冷链物流设施设备性能优化、影响冷链物流需求的因素及供应链效率的优化和新兴冷链技术在冷链物流中的运用等冷链相关热点领域。冷链研究呈多元化视角,围绕“农产品—冷链物流—冷链—电子商务”“shelf life—*Escherichia coli*—食品安全—生鲜食品—温度—区块链(物联网)”“冷链物流—遗传算法—路径优化—多温共配—顾客满意度—碳排放”“冷链运输—冷藏车—温度场—品质—保鲜—对策”“冷链—phase change materials—相变潜热—保温性能—蓄冷保温箱—传热—computational fluid dynamics”“vaccine—polymerase chain reaction—稳定

性—冷链”等主线开展。在国内,“蓄冷剂”和“冷链食品”成为最新的突现词,而国际上,“phase change material(相变材料)”“fresh agricultural product(生鲜农产品)”和“carbon dioxide(二氧化碳)”成为最新的突现词。

3) 根据热点历时性走向及年度发文量,可将冷链物流研究划分为初步探索阶段(2006—2010年)、快速发展阶段(2011—2015年)、电商驱动阶段(2016—2020年)和科技驱动阶段(2021年至今)4个阶段。

5.2 趋势与展望

冷链物流属于多学科交融的专业及研究方向,冷链问题研究也受到国家政策、市场需求和科技进步等因素的较大影响。国外的研究虽早于国内,但国内研究的趋势良好,面对多学科背景的冷链物流问题研究需各方研究者的共同参与,各领域应加强沟通和交流,分享研究成果。基于前面的分析基础,在推进农业产业链供应链现代化、数字化科技赋能和节能减排的背景下,提出以下发展方向。

1) 冷链物流效率提升的关键技术研究。随着物联网、5G通信、云计算、人工智能(AI)等技术的快速发展和应用,为打造更安全、更高效的冷链供应链,传统冷链物流正快速向数字化和智能化系统转型升级。在信息技术中,物联网技术可作为一种传感技术,借助不同类型的传感器,如温度、湿度、气体、运动和位置等,结合相关通信技术,如WiFi、蓝牙、5G和RFID等,检测和收集冷链供应链中的多源数据。此外,物联网与云计算技术的结合,也可充分挖掘和利用所收集到的数据,为供应链成员提供一个重要的数据平台,以实时监测、控制、规划和优化业务流程。区块链技术能提高冷链供应链端对端追溯能力,使得消费者能追踪从前端预冷链至末端销售的数字产品信息,同时确保供应链成员数据隐私,防止信息篡改。AI技术则能助力取代物流市场中大量的低技能工作,例如无人仓库、自动化分拣、无接触配送等,其中,自然语言处理技术能有效增强和简化人与人工智能的互动,但AI技术的使用及其对社会产业和人力的影响需保持相对平衡关系,以实现人类与人工智能的可持续合作,而非全行业AI完全取代人工。此类信息技术与冷链物流的融合皆需要大量资金投入,统一的法律规定、国际或行业标准制订也是需要重点关注的问题。

2) 低碳冷链物流研究。冷链物流是能源密集型产业,在快速冷冻、低温保鲜、冷链运输及低温销售过程中会消耗大量能量并产生大量碳排放。同时,冷链监控、食品损耗和交通拥堵等问题也增加了能源消耗和环境污染,因而低碳冷链受到政府及各行各业的关注。从政府层面,政府补贴、碳排放交易和环保政策对冷链物流行业朝绿色可持续方向转型具有导向

作用,社会福利和企业利润应与低碳环境的可持续发展相平衡。从各行各业层面,一方面,在冷链运营管理过程中,可开展冷链库存管理、冷链配送路径优化及运营模式等方面的低碳探索;另一方面,推进冷链设施设备相关的技术研发,如相变材料、制冷系统、制冷剂及节能传感技术,降低冷链能耗。

3) 冷链物流跨学科融合教育研究。冷链物流属于综合性、跨学科的应用学科,涉及食品、计算机、生态学、材料、交通运输等学科,高水平复合型人才的培养是冷链物流行业发展和创新的关键动力,也是实现行业智能化和智能化转型的引擎之一。因而,教育教学方式或模式的革新,以及人才培养方案的设计,都需要国家、各行业和跨学科专家的共同努力。

参考文献:

- [1] ZHAO H X, LIU S, TIAN C Q, et al. An Overview of Current Status of Cold Chain in China[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2018, 88: 483-495.
- [2] AKRAM H W, AKHTAR S, AHMAD A, et al. Developing a Conceptual Framework Model for Effective Perishable Food Cold-Supply-Chain Management Based on Structured Literature Review[J]. *Sustainability*, 2023, 15(6): 4907.
- [3] 姚源果, 贺盛瑜. 基于交通大数据的农产品冷链物流配送路径优化研究[J]. *管理评论*, 2019, 31(4): 240-253.
YAO Y G, HE S Y. Research on Optimization of Distribution Route for Cold Chain Logistics of Agricultural Products Based on Traffic Big Data[J]. *Management Review*, 2019, 31(4): 240-253.
- [4] ZHU X, ZHANG R, CHU F, et al. A Flexsim-Based Optimization for the Operation Process of Cold-Chain Logistics Distribution Centre[J]. *Journal of Applied Research and Technology*, 2014, 12(2): 270-278.
- [5] 蒋云, 李巍. 跨境生鲜农产品供应链: 生产决策, 税收补贴与社会福利[J]. *系统工程理论与实践*, 2023, 43(12): 3587-3607.
JIANG Y, LI W. Cross-Border Fresh Produce Supply Chain: Production Decision-Making, Tax & Subsidy Policy, and Social Welfare[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2023, 43(12): 3587-3607.
- [6] LEBLANC D I, VILLENEUVE S, HASHEMI BENI L, et al. A National Produce Supply Chain Database for Food Safety Risk Analysis[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 147: 24-38.
- [7] CHEN C M. CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359-377.
- [8] 郑辉. 完善我国农村电商物流体系[J]. *宏观经济管理*, 2022(9): 62-68.
ZHENG H. Improve China's Rural E-Commerce Logistics System[J]. *Macroeconomic Management*, 2022(9): 62-68.
- [9] 葛梅, 白丽, 曹君瑞. 乡村振兴战略下农产品电子商务发展问题与策略研究[J]. *农业经济*, 2023(8): 118-121.
GE M, BAI L, CAO J R. Research on the Development Problems and Strategies of Agricultural Products E-Commerce under the Rural Revitalization Strategy[J]. *Agricultural Economy*, 2023(8): 118-121.
- [10] 王俊文. 乡村振兴背景下区域农产品电商与冷链物流协同发展实证及建议[J]. *商业经济研究*, 2023(23): 107-111.
WANG J W. Empirical Analysis and Suggestions on Collaborative Development of Regional Agricultural Products E-Commerce and Cold Chain Logistics under the Background of Rural Revitalization[J]. *Journal of Commercial Economics*, 2023(23): 107-111.
- [11] 王淑云, 孙虹, 牟进进, 等. 冷链品多温共配优化及效益: 基于蓄冷式和机械式的比较研究[J]. *公路交通科技*, 2016, 33(3): 146-153.
WANG S Y, SUN H, MOU J J, et al. Optimization and Efficiency of Multi-Temperature Joint Distribution of Cold Chain Products: Comparative Study Based on Cold Accumulation Mode and Mechanical Refrigeration Mode[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2016, 33(3): 146-153.
- [12] 鲍春玲, 张世斌. 考虑碳排放的冷链物流联合配送路径优化[J]. *工业工程与管理*, 2018, 23(5): 95-100.
BAO C L, ZHANG S B. Route Optimization of Cold Chain Logistics in Joint Distribution: With Consideration of Carbon Emission[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2018, 23(5): 95-100.
- [13] 沈丽, 李成玉, 甘彦, 等. 考虑货损和碳排放的生鲜产品配送路径优化[J]. *上海海事大学学报*, 2021, 42(1): 44-49.
SHEN L, LI C Y, GAN Y, et al. Distribution Route Optimization of Fresh Products Considering Cargo Damage and Carbon Emission[J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2021, 42(1): 44-49.
- [14] 黄虹, 谢如鹤, 罗嵩, 等. 基于公铁联运的多温蓄冷箱全程冷链集配优化[J]. *包装工程*, 2023, 44(17): 237-245.
HUANG H, XIE R H, LUO S, et al. Optimization of Whole Cold Chain Joint Pickup and Distribution Based on Road-Rail Transportation with Multi-Temperature

- Refrigerated Container[J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44(17): 237-245.
- [15] 舒旭丽. 基于遗传算法的生鲜农产品冷链物流网络优化问题研究[J]. *物流技术*, 2014, 33(21): 347-350.
- SHU X L. Study on Optimization of Fresh Farm Produce Cold Chain Logistics Network Based on Genetic Algorithm[J]. *Logistics Technology*, 2014, 33(21): 347-350.
- [16] 张芳, 刘贺鸣, 武杰. 考虑直播带货的生鲜农产品供应链销售模式比较[J]. *计算机工程与应用*, 2023, 59(23): 293-304.
- ZHANG F, LIU H M, WU J. Comparison of Fresh Produce Supply Chain Sales Models Considering Live Streaming with Goods[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2023, 59(23): 293-304.
- [17] 龚树生, 梁怀兰. 生鲜食品的冷链物流网络研究[J]. *中国流通经济*, 2006, 20(2): 7-9.
- GONG S S, LIANG H L. On the Logistics Network Modes of Fresh Food Cold Chain[J]. *China Business and Market*, 2006, 20(2): 7-9.
- [18] 张喜才, 李海玲. 基于大数据的农产品现代冷链物流发展模式研究[J]. *科技管理研究*, 2020, 40(7): 234-240.
- ZHANG X C, LI H L. Research on Development Mode of Modern Agricultural Cold Chain Logistics Based on Large Data[J]. *Science and Technology Management Research*, 2020, 40(7): 234-240.
- [19] 郭嘉明, 吕恩利, 陆华忠, 等. 冷藏运输厢体结构对流场影响的数值模拟[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(S1): 74-80.
- GUO J M, LYU E L, LU H Z, et al. Numerical Simulation of the Influence of Refrigerated Transport Compartment Structure on Flow Field[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(S1): 74-80.
- [20] 翁卫兵, 房殿军, 李强, 等. 冷藏运输厢内流场和温度场协同控制[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(6): 260-265.
- WENG W B, FANG D J, LI Q, et al. Cooperative Control of Flow Field and Temperature Field in Refrigerated Transport Carriage[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(6): 260-265.
- [21] 李洋, 张欣硕, 李馨男, 等. 纳米复合相变蓄冷材料的制备及蓄冷特性分析[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(23): 284-292.
- LI Y, ZHANG X S, LI X N, et al. Preparation of Nanocomposite Phase Change Cold Storage Materials and Analysis of Cold Storage Characteristics[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(23): 284-292.
- [22] SINGH R K, GUNASEKARAN A, KUMAR P. Third Party Logistics (3PL) Selection for Cold Chain Management: A Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Approach[J]. *Annals of Operations Research*, 2018, 267(1): 531-553.
- [23] XU N R, CAI Z Q. Research on the Mechanism of Cold Chain Logistics Subsidy[J]. *Journal of Chemistry*, 2020, 2020: 4565094.
- [24] HUANG X R, XIE R H, HUANG L J. Real-Time Emergency Management Mode of Cold Chain Logistics for Agricultural Products under the Background of "Internet+" [J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2020, 38(6): 7461-7473.
- [25] SI Y. Agricultural Cold Chain Logistics Mode Based on Multi-Mode Blockchain Data Model[J]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 2022: 8060765.
- [26] WANG Z Q, WEN P H. Optimization of a Low-Carbon Two-Echelon Heterogeneous-Fleet Vehicle Routing for Cold Chain Logistics under Mixed Time Window[J]. *Sustainability*, 2020, 12(5): 1967.
- [27] REN X Y, TAN J, QIAO Q M, et al. Demand Forecast and Influential Factors of Cold Chain Logistics Based on a Grey Model[J]. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2022, 19(8): 7669-7686.
- [28] VERDOUW C N, WOLFERT J, BEULENS A J M, et al. Virtualization of Food Supply Chains with the Internet of Things[J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 176: 128-136.
- [29] WANG J J, ZHANG X S, WANG X, et al. A Data-Driven Packaging Efficiency Optimization Method for a Low Carbon System in Agri-Products Cold Chain[J]. *Sustainability*, 2022, 14(2): 858.
- [30] FADIJI T, BOKABA T, FAWOLE O A, et al. Artificial Intelligence in Postharvest Agriculture: Mapping a Research Agenda[J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2023, 7: 1226583.
- [31] HUANG W T, WANG X P, ZHANG J C, et al. Improvement of Blueberry Freshness Prediction Based on Machine Learning and Multi-Source Sensing in the Cold Chain Logistics[J]. *Food Control*, 2023, 145: 109496.
- [32] ZHAO L, YU Q F, LI M, et al. A Review of the Innovative Application of Phase Change Materials to Cold-Chain Logistics for Agricultural Product Storage[J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2022, 365: 120088.
- [33] ZHANG Y J, RONG F, WANG Z. Research on Cold Chain Logistic Service Pricing—Based on Tripartite Stackelberg Game[J]. *Neural Computing and Applications*, 2020, 32(1):

- 213-222.
- [34] 王奥, 高洁. 冷链物流发展对生鲜农产品消费的影响——基于消费规模与消费价格视角[J]. 商业经济研究, 2023(15): 103-106.
- WANG A, GAO J. The Influence of Cold Chain Logistics Development on the Consumption of Fresh Agricultural Products—Based on the Perspective of Consumption Scale and Consumer Price[J]. Journal of Commercial Economics, 2023(15): 103-106.
- [35] XIAO X Q, HE Q L, LI Z G, et al. Improving Traceability and Transparency of Table Grapes Cold Chain Logistics by Integrating WSN and Correlation Analysis[J]. Food Control, 2017, 73: 1556-1563.
- [36] 谢如鹤, 何佳雯, 邹毅峰, 等. 冷链零担物流前端集货至末端配送全链条优化模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2023, 23(3): 204-213.
- XIE R H, HE J W, ZOU Y F, et al. An Optimization Model of Whole Chain from Front-End Collection to Terminal Distribution of Cold Chain Less-than-Truckload Logistics[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2023, 23(3): 204-213.
- [37] 李苏苏, 谢如鹤. 基于食品安全的冷链物流成本优化分析[J]. 系统工程, 2014, 32(12): 29-34.
- LI S S, XIE R H. Study on Cost Optimization of Cold-Chain Logistics in Food Safety[J]. Systems Engineering, 2014, 32(12): 29-34.
- [38] 陈雨蝶, 干宏程, 程亮. “双碳”背景下联合配送冷链物流模型及其求解算法[J]. 控制与决策, 2023, 38(7): 1951-1959.
- CHEN Y D, GAN H C, CHENG L. Cold Chain Logistics Model Based on Joint Distribution and Its Optimization Algorithm under the Background of Double Carbon[J]. Control and Decision, 2023, 38(7): 1951-1959.
- [39] YANG F, TAO F M. A Bi-Objective Optimization VRP Model for Cold Chain Logistics: Enhancing Cost Efficiency and Customer Satisfaction[J]. IEEE Access, 2023, 11: 127043-127056.
- [40] 王宁, 胡大伟, 徐杰, 等. 基于客户价值和满意度的城市冷链物流时变路径问题[J]. 中国公路学报, 2021, 34(9): 297-308.
- WANG N, HU D W, XU J, et al. Time-Dependent Vehicle Routing of Urban Cold-Chain Logistics Based on Customer Value and Satisfaction[J]. China Journal of Highway and Transport, 2021, 34(9): 297-308.
- [41] WANG S Y, TAO F M, SHI Y H, et al. Optimization of Vehicle Routing Problem with Time Windows for Cold Chain Logistics Based on Carbon Tax[J]. Sustainability, 2017, 9(5): 694.
- [42] 刘广海, 谢如鹤. 冷藏车热性能及能耗分析模型的建立与实验研究[J]. 制冷学报, 2008, 29(3): 47-53.
- LIU G H, XIE R H. Heat Condition and Energy Consumption Model and Experiment on Refrigerator Car[J]. Journal of Refrigeration, 2008, 29(3): 47-53.
- [43] GAO P, WANG L W, ZHU F Q. Vapor-Compression Refrigeration System Coupled with a Thermochemical Resorption Energy Storage Unit for a Refrigerated Truck[J]. Applied Energy, 2021, 290: 116756.
- [44] 刘广海, 谢如鹤, 邹毅峰, 等. 多温区冷藏车气密性能影响参数理论分析与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 289-296.
- LIU G H, XIE R H, ZOU Y F, et al. Theoretical Analysis and Experiment of Air Tightness of Multi-Temperature Refrigerated Truck[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1): 289-296.
- [45] 谢如鹤, 陈欢, 孟祥超, 等. 蓄冷式多温共配箱的研制与传热系数测试[J]. 制冷学报, 2023, 44(3): 142-149.
- XIE R H, CHEN H, MENG X C, et al. Development and Heat Transfer Coefficient Test of Cold Thermal Energy Storage Multi-Temperature Delivery Box[J]. Journal of Refrigeration, 2023, 44(3): 142-149.
- [46] ZHANG Y A, XU Y Q, LU R W, et al. Form-Stable Cold Storage Phase Change Materials with Durable Cold Insulation for Cold Chain Logistics of Food[J]. Postharvest Biology and Technology, 2023, 203: 112409.
- [47] XU X F, ZHOU Y, ZHANG S H, et al. Preparation and Heat Transfer Model of Stereotyped Phase Change Materials Suitable for Cold Chain Logistics[J]. Journal of Energy Storage, 2023, 60: 106610.
- [48] GETAHUN S, AMBAW A, DELELE M, et al. Analysis of Airflow and Heat Transfer Inside Fruit Packed Refrigerated Shipping Container: Part I – Model Development and Validation[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 203: 58-68.
- [49] RANJAN R, BISWAL J K, SAHOO P K, et al. Diagnostic Application of Formalin Fixed Archived Tissues for Detection of Foot-and-Mouth Disease[J]. Journal of Virological Methods, 2023, 318: 114754.
- [50] BECKER S L, CHATIGRE J K, COULIBALY J T, et al. Molecular and Culture-Based Diagnosis of Clostridium Difficile Isolates from Côte d'Ivoire after Prolonged Storage at Disrupted Cold Chain Conditions[J]. Transactions

- of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 2015, 109(10): 660-668.
- [51] CHEN S, WANG Y B, HAN S H, et al. Evaluation of Fresh Food Logistics Service Quality Using Online Customer Reviews[J]. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2023, 26(8): 917-933.
- [52] 石成玉, 陈怪亨, 王妍, 等. 大数据视角下生鲜电商供应链物流服务策略研究[J]. *农业技术经济*, 2023(10): 129-144.
- SHI C Y, CHEN G H, WANG Y, et al. Research on the Logistics Service Strategy of Fresh Food E-Commerce Supply Chain from the Perspective of Big Data[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2023(10): 129-144.
- [53] 冯杰, 史立. 生鲜产品的纯电动冷藏车配送路径问题研究[J]. *计算机工程与应用*, 2019, 55(9): 237-242.
- FENG J, SHI L. Research on Vehicle Routing Problem of Fresh Products with Pure Electric Refrigerator Truck[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2019, 55(9): 237-242.
- [54] 吕宁, 谢如鹤, 刘广海. 冷藏车开门时车内温湿度变化实验研究[J]. *制冷学报*, 2013, 34(2): 85-89.
- LYU N, XIE R H, LIU G H. Experimental Study on the Variations of Temperature and Humidity in a Refrigerated Truck with the Door Opened[J]. *Journal of Refrigeration*, 2013, 34(2): 85-89.
- [55] 李锦, 谢如鹤. 冷藏车开门状态升温影响因素分析[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(6): 254-259.
- LI J, XIE R H. Influence Factors of Air-Temperature Increasing within Refrigerated Trucks during Door-Opening State[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(6): 254-259.
- [56] 谢晶, 徐倩, 方恒和. 多温区冷藏车热负荷计算的研究[J]. *食品与机械*, 2007, 23(4): 98-101.
- XIE J, XU Q, FANG H H. The Calculation of Heat Load in a Multi-Temperature Refrigeration Truck[J]. *Food & Machinery*, 2007, 23(4): 98-101.
- [57] 张哲, 李立民, 田津津, 等. 冷藏车温度场不均匀度对蔬菜保鲜效果的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(15): 309-316.
- ZHANG Z, LI L M, TIAN J J, et al. Effects of Refrigerated Truck Temperature Field Uniformity on Preservation of Vegetables[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(15): 309-316.
- [58] 刘广海, 吴俊章, Alan Foster, 等. GU-PCM2 型控温式相变蓄冷冷藏车设计与空载性能试验[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(6): 288-295.
- LIU G H, WU J Z, FOSTER A, et al. Design and No-Load Performance Test of GU-PCM2 Temperature Controlled Phase Change Storage Refrigerator[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(6): 288-295.
- [59] 皮晓芳, 谢如鹤, 褚力其, 等. 基于外部效应的水果采后预冷节点布局优化研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(19): 121-129.
- PI X F, XIE R H, CHU L Q, et al. Layout Optimization of Pre-Cooling Nodes after Fruit Harvest Based on External Effects[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(19): 121-129.
- [60] JEDERMANN R, RUIZ-GARCIA L, LANG W. Spatial Temperature Profiling by Semi-Passive RFID Loggers for Perishable Food Transportation[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 65(2): 145-154.
- [61] GOELLNER K N, SPARROW E. An Environmental Impact Comparison of Single-Use and Reusable Thermally Controlled Shipping Containers[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2014, 19(3): 611-619.
- [62] 肖敏, 张思宇. 考虑风险态度的生鲜供应链保鲜努力与广告成本分担研究[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2023, 46(11): 1564-1572.
- XIAO M, ZHANG S Y. Research on Fresh Supply Chain Preservation Effort and Advertising Cost Sharing Considering Risk Attitude[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 2023, 46(11): 1564-1572.
- [63] 张德权, 徐毓谦, 宁静红, 等. 二氧化碳制冷技术在农产品冷链物流保鲜中的应用研究进展[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(6): 12-22.
- ZHANG D Q, XU Y Q, NING J H, et al. Research Progress in the Application of CO₂ Refrigeration Technology to Agricultural Product Cold Chain Logistics Preservation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(6): 12-22.
- [64] LIU M, SAMAN W, BRUNO F. Development of a Novel Refrigeration System for Refrigerated Trucks Incorporating Phase Change Material[J]. *Applied Energy*, 2012, 92: 336-342.
- [65] LIU K, HE Z F, LUO Y Y, et al. Massive Fabrication of Flexible, Form-Stable, and Self-Repairing Brine Phase Change Material Gels Toward Smart Cold Chain Logistics[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2023, 15(13): 17091-17102.
- [66] XU X F, ZHOU Y, ZHANG S H, et al. Preparation and Heat Transfer Model of Stereotyped Phase Change

- Materials Suitable for Cold Chain Logistics[J]. *Journal of Energy Storage*, 2023, 60: 106610.
- [67] ZHAO Y, ZHANG X L, XU X F, et al. Development, Characterization and Modification Study of Eutectic Fatty Alcohol for Cold Energy Storage Application[J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2021, 146(3): 1133-1147.
- [68] HUANG L, PIONTEK U. Improving Performance of Cold-Chain Insulated Container with Phase Change Material: An Experimental Investigation[J]. *Applied Sciences*, 2017, 7(12): 1288.
- [69] SARLEY D, MAHMUD M, IDRIS J, et al. Transforming Vaccines Supply Chains in Nigeria[J]. *Vaccine*, 2017, 35(17): 2167-2174.
- [70] ZAMAN K, YUNUS M, EL ARIFEEN S, et al. Methodology and Lessons-Learned from the Efficacy Clinical Trial of the Pentavalent Rotavirus Vaccine in Bangladesh[J]. *Vaccine*, 2012, 30: A94-A100.
- [71] LI X L. Application of Collaborative Optimization in Urban Fresh Product Logistics Inventory and Distribution System[J]. *Scientific Programming*, 2022, 2022: 4516499.
- [72] WU D Q, CUI J Y, LI D, et al. A New Route Optimization Approach of Fresh Agricultural Logistics Distribution[J]. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 2022, 34(3): 1553-1569.
- [73] SHI Y H, LIN Y, LIM M K, et al. An Intelligent Green Scheduling System for Sustainable Cold Chain Logistics[J]. *Expert Systems with Applications*, 2022, 209: 118378.
- [74] YANG Y J, JIANG J D, WANG R, et al. Study on the Application of Activity-Based Costing in Cold Chain Logistics Enterprises under Low Carbon Environment[J]. *Sustainability*, 2023, 15(18): 13808.
- [75] 王永琴, 周叶, 张荣. 考虑碳排放的农产品多级冷链物流网络均衡模型研究[J]. *北京交通大学学报(社会科学版)*, 2017, 16(3): 99-107.
- WANG Y Q, ZHOU Y, ZHANG R. An Equilibrium Model of Multi-Level Cold Chain Logistics Network of Agro Products with Consideration of Carbon Emissions[J]. *Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition)*, 2017, 16(3): 99-107.
- [76] HAN J W, ZUO M, ZHU W Y, et al. A Comprehensive Review of Cold Chain Logistics for Fresh Agricultural Products: Current Status, Challenges, and Future Trends[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 109: 536-551.
- [77] XIE R H, HUANG H, ZHANG Y, et al. Coupling Relationship between Cold Chain Logistics and Economic Development: A Investigation from China[J]. *PLoS One*, 2022, 17(2): e0264561.
- [78] ZHANG G D, DAI L T, YIN X S, et al. Optimization of Multipath Cold-Chain Logistics Network[J]. *Soft Computing*, 2023, 27(23): 18041-18059.
- [79] MA Z C, ZHANG J, WANG H H, et al. Optimization of Sustainable Bi-Objective Cold-Chain Logistics Route Considering Carbon Emissions and Customers' Immediate Demands in China[J]. *Sustainability*, 2023, 15(7): 5946.
- [80] HE Y Z, LIU M F. Research on Sustainable Development of Agricultural Product Cold Chain Logistics under Public Safety Emergencies[J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2023, 7: 1174221.