

冷链物流配送路径优化研究

——以永辉超市为例

纪加骅

扬州大学马克思主义学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年4月24日; 发布日期: 2025年5月31日

摘要

随着电商行业的蓬勃发展, 冷链物流成为关键环节。本文以永辉超市为例, 深入研究其冷链物流配送路径问题, 如配送距离长、采购中心匮乏、交通堵塞影响配送效率等。为解决这些问题, 文章构建蒙特卡罗模拟算法和模拟退火算法模型进行路径优化。研究表明, 优化后的模型能有效控制配送时间、降低成本, 模拟退火算法模型路径优化效果更优。最后, 提出构建专业物流配送中心、发展直达运输和采用车辆右转配送策略等建议, 为永辉超市及电商冷链物流发展提供参考。

关键词

冷链物流, 配送路径, 模拟退火算法

Research on the Optimization of Cold Chain Logistics Distribution Routes

—A Case Study of Yonghui Supermarket

Jiahua Ji

School of Marxism, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: Apr. 11th, 2025; accepted: Apr. 24th, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

With the vigorous development of the e-commerce industry, cold chain logistics has become a crucial link. Taking Yonghui Supermarket as an example, this paper conducts an in-depth study on the distribution route problems of its cold chain logistics, such as long distribution distances, a shortage of procurement centers, and traffic congestion affecting distribution efficiency. In order to solve

文章引用: 纪加骅. 冷链物流配送路径优化研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(5): 3098-3105.

DOI: 10.12677/ecl.2025.1451622

these problems, this paper constructs Monte Carlo simulation algorithms and simulated annealing algorithm models for route optimization. The research results show that the optimized model can effectively control the distribution time and reduce costs, and the simulated annealing algorithm model has a better route optimization effect. Finally, suggestions such as constructing professional logistics distribution centers, developing direct transportation, and adopting the vehicle right-turn distribution strategy are put forward, providing a reference for the development of cold chain logistics in Yonghui Supermarket and the e-commerce industry.

Keywords

Cold Chain Logistics, Distribution Routes, Simulated Annealing Algorithm

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 冷链物流描述

1.1 冷链物流市场潜力巨大

物流作为服务性行业，需要以公司发展战略为基本目标，通过高质量的服务提高客户满意度，为企业创造利润。中商产业研究院数据显示，2022 年我国冷库总量将达 8492 万吨[1]，世邦魏理仕(CBRE Group, Inc.)则认为 2021~2025 年中国内地高标准冷库需求将维持 13.5%的复合年均增长[2]。此外，2018 年第三季度全国冷藏车总量达到 164,200 辆，全年增加 24,000 辆，同比增长 23%。2020 年全年，我国冷藏车销量为 7.23 万辆，同比增长 47.0%，2021 年我国冷藏车销量为 79,895 辆，同比 2020 年增长 18.9% [3]。而这个数字背后的主要推动力就是冷链物流的迅速发展。冷链物流市场潜力巨大，大力发展冷链物流已成为行业发展的必然趋势。预计到 2035 年，将全面建成现代冷链物流体系，届时设施网络、技术装备、服务质量将达到世界先进水平，行业监管和治理能力也将基本实现现代化。

1.2. 冷链物流政策导向清晰

近年来，随着冷链技术的发展和人民生活水平的提高，对冷链物流的需求日益增强。国家积极出台了一系列相关法律法规，以支持冷链物流业的发展。2021 年 8 月，《商贸物流高质量发展专项行动计划(2021~2025 年)》提出加强冷链物流规划，布局建设一批国家骨干冷链物流基地，支持大型农产品批发市场、进出口口岸等建设改造冷冻冷藏仓储设施，推广应用移动冷库、恒温冷藏车、冷藏箱等新型冷链设施设备，改善末端冷链设施装备，提高城乡冷链设施网络覆盖水平。鼓励有条件的企业发展冷链物流智能监控与追溯平台，建立全程冷链配送系统。2021 年 12 月，国务院办公厅印发《“十四五”冷链物流发展规划》，指出要结合我国国情和冷链产品生产、流通、消费实际，聚焦制约冷链物流发展的突出瓶颈和痛点难点卡点，补齐基础设施短板，畅通通道运行网络，提升技术装备水平，健全监管保障机制，加快建立畅通高效、安全绿色、智慧便捷、保障有力的现代冷链物流体系，为构建新发展格局提供有力支撑。

1.3. 冷链物流路径优化急迫

当前，中国冷链物流运输食品的比例尚不足 30%，相比之下，国外相关国家的比例已高达 95%。此

外, 现有冷链运输过程中食品的损失亦十分巨大, 近年来每年因运输导致的食品损失金额接近 700 亿元人民币[4]。中国冷链物流起步较晚, 相较于部分发达国家, 在冷库建设、制冷设备、交通等基础设施方面, 以及冷链物流配送过程中物联网技术、射频技术、地理信息系统技术的应用上, 均存在一定差距[5]。目前, 中国冷链物流正在快速发展, 但是仍然不能满足人民日益增长的需求。冷链物流配送的多是易腐易变质、对保鲜程度要求较高的产品, 但是, 目前国内冷链物流配送还存在一些问题, 如配送不成体系、对配送路径的规划缺乏战略指导、配送车辆的装载率较低、配送时间控制不合理等[6], 这些配送问题的存在大大影响了配送效率及客户的满意度, 因此, 冷链物流研究显得日益重要, 特别是对冷链物流配送路径优化研究迫在眉睫。

2. 永辉超市冷链物流现状及配送路径问题分析

2.1. 永辉超市冷链物流现状

永辉超市生鲜产品的备货充分, 它建立了自己的蔬菜基地, 以自主品牌的经营方式提高毛利; 其次的就是传统通过批发商的备货方式, 但不同于其他超市的是因为永辉超市的生鲜产品备货量大, 对于某些生鲜商品的价格可以掌握的话语权, 这也是在备货环节就直接降低了成本; 永辉超市还设有大型专业的豆制品生产加工厂、熟食生产加工、活鱼配送基地、蔬菜种植基地、香蕉培育中心等, 保证了永辉超市的生鲜产品货源, 同时不同生鲜产品的加工还有利于永辉超市的差异化经营。

仓储环节是进货环节的延续[7], 永辉超市拥有全国第五大蔬菜基地的四川彭州建设农产品加工配送中心, 它支撑着公司在成渝经济区的部分仓储配送, 但并未涉及专业的生鲜物流配送中心。永辉超市在国内建立了两大采购基地, 分别是福建海鲜采购中心和江西水厂采购中心, 并建立配送中心。自有的生鲜配送车队和专业随车人员以及专业设备提供服务保障, 能够全面提高加工配送能力。

永辉超市生鲜物流配送模式共有三种: 一种是直送, 就是永辉超市门店直接向供应商下订单, 供应商把生鲜产品直接送到门店; 一种是配送, 永辉超市物流部向供应商要货, 然后门店向物流部要货, 由永辉物流部配送到门店; 一种是直通, 门店直接向供应商下单, 供应商把货送到物流部, 物流部再配送给下单的各个门店。但是后两种配送方式都要交一定的配送费用。

2.2. 配送路径问题探讨

2.2.1. 配送距离过长, 物流成本居高

永辉超市冷链物流技术体系完整, 但仍有进步的空间。由于我国农产品冷链运输率不足, 导致农产品在配送过程中腐损率较高[8]。例如, 果蔬、肉类、水产品的腐损率分别达到 15%、8%、10%, 远高于发达国家的平均水平。这不仅影响了农产品的品质和安全, 也增加了配送过程中的损耗。

永辉超市在生鲜物流方面面临挑战, 其生鲜农产品主要通过普通卡车配送, 平均配送距离约为 130 至 140 公里。由于冷藏配送效率较低, 导致在流通过程中损耗较高, 物流费用占到易腐保鲜食品成本的 70%。为了应对这一问题, 永辉超市正在优化供应链管理, 建立稳定的供应链合作伙伴关系, 并寻求通过科学的管理方法来规范费用核算和控制。

2.2.2. 采购中心匮乏, 远程配送烦琐

永辉超市尚未建立专业的物流配送中心, 导致其在物资采购和配送过程中出现了舍近求远的现象。具体而言, 尽管销售地能够从邻近的产地便捷地获取所需物资, 永辉超市却倾向于从较远的地区进行采购, 这一做法显然违背了近产近销的基本原则, 进而引发了不必要的长途运输问题。在生鲜产品的物流配送环节中, 一个高效运作的物流配送中心扮演着至关重要的角色。因此, 永辉超市缺乏专业的物流配

送中心，已经成为其在生鲜行业配送问题上的主要障碍。

针对上述问题，本研究认为有必要对配送路径的选择、组合以及优化进行深入探讨。目标是能够为冷藏车快速提供实时最优配送路径，以降低配送成本，提升配送效率，从而解决永辉超市在生鲜产品配送方面所面临的挑战，改善目前存在的舍近求远现象。

2.2.3. 交通堵塞严重，配送效率堪忧

目前，在中国城市道路交叉路口，车辆流通不畅。实地调研结果显示，受信号灯控制及让行规则影响，配送车辆在配送途中频繁遭遇长时间停滞，行进速度近乎为零[9]。这一现象直接导致配送车辆的运营效率大幅下降。

本文以冷链物流园到永辉超市云龙万达配送点里程大约 10 公里、信号周期大约 2 分 25 秒为统一标准进行参考分析。多达十多个信号灯，和平均因让行人停留 5 至 8 次的规则约束，使得配送车辆速度大大降低，过街时间延长。同时，实地统计了配送车辆在交通顺畅与不畅两种情境下通过路口的时间，共收集到五十组有效数据。在五十组数据总体中选取十组数据作为样本，制成配送车辆时间统计表如表 1 所示。

Table 1. Delivery vehicle time statistics
表 1. 配送车辆时间统计

编号	交通顺畅		交通不畅	
	通过路口时间/s	转弯半径/m	通过路口时间/s	转弯半径/m
1	3.4	10.67	5.0	16.20
2	3.5	10.58	7.4	16.20
3	5.5	10.68	8.6	14.16
4	2.0	10.16	4.9	17.20
5	2.0	11.49	5.7	18.46
6	2.6	10.50	5.8	15.34

从表中可以看出，不同的十辆车，若在交通顺畅情况下，每个路口都能节省一定的时间，最终所需通过路口时间普遍要大大少于交通不畅情况下通过路口时间，同时转弯半径也要小于交通不顺情况下的转弯半径。两相结合之下，提升了配送车辆经过路口的平均速度，使得车辆配送总时间减少，效率提高[10]。所以合理地安排配送车辆的轨迹，可以很好地降低信号灯和让行规则对配送造成的影响，进而减少配送时间，降低配送成本，达到提高配送效率的目的。

3. 永辉超市配送路径解决对策

3.1. 配送路径问题

如何将车辆有效地使用并决定其最经济的行驶路线图，在最短的时间内把冷鲜肉送到超市手中将是配送中心作业的重点。显然配送服务的要求将越来越高，为了实现配送成本的降低，必须对配送过程进行合理规划。这就涉及时间、财务、环境及服务质量四方面的因素。在配送过程中，面对众多配送目标

和复杂的城市交通路线，如何规划最佳路线[11]，以及如何实现配装与配送路线的有效匹配，成为配送工作的重点。

3.2. 物流配送问题描述

以永辉超市冷链物流配送环节为研究对象建立路径优化模型其优化模型的最终目标为车辆行驶总时间和配送成本最优。但是连锁超市的实际运营是不确定因素，所以当获取的信息源变化时，其优化模型会有差异[12]。

冷链物流配送路径优化问题可描述为：假设有一个旅行商人要拜访 n 个城市，限制是每个城市只能拜访一次，而且最后要回到原来出发的城市。路径选择的目标是寻找所有可能路径中路程最小的路径，即求解经典的旅行商问题(TSP)。

3.3. 物流配送模型建立与求解

建立的蒙特卡罗模拟算法，利用 Matlab 软件对模型进行求解，求解得到的模拟图如下图 1 所示。

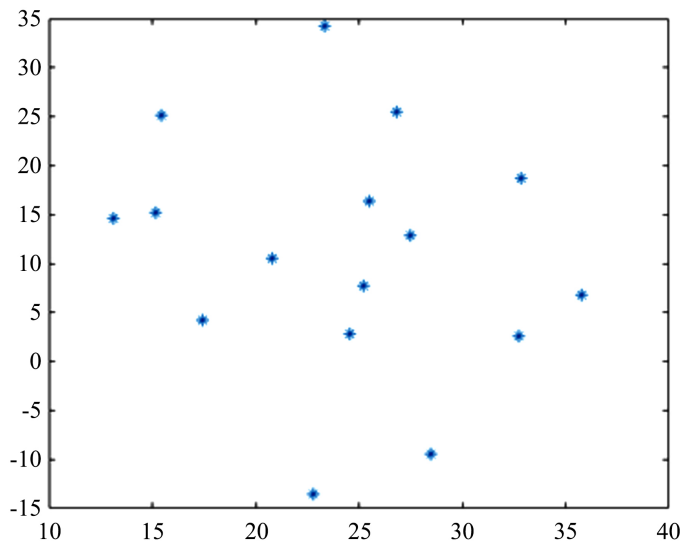


Figure 1. Monte Carlo simulation diagram
图 1. 蒙特卡洛模拟图

图上 15 个点是超市，其中一个为货仓，假设两两超市都有互通路程，且为直线，起点不限。设立城市 i 的横坐标为 x_i ，纵坐标为 y_i ，Matlab 表示为：

$$\begin{aligned} coord_i &= coord(i,:) & x_i &= coord_i(1) & y_i &= coord_i(2) \\ coord_j &= coord(j,:) & x_j &= coord_j(1) & y_j &= coord_j(2) \end{aligned}$$

d 表示为两个城市的距离矩阵，由于图标横竖坐标轴一样，所以表格对称， $d = d'$ 。

设最短的距离为 min_result ，初始化为无穷大，后面只要找到比其小的距离对其更新。为确保实验结果的准确性，将蒙特卡罗模拟次数设定为 1,000,000 次，以防止遗漏极端数据点。即得到蒙特卡洛模拟算法的最小路径图如图 2 所示。

根据蒙特卡罗模拟算法求解结果，求解得到的本文最短路径为 127.23，为进一步提高模型的准确性，本文进行模拟退火算法进行进一步模型优化。

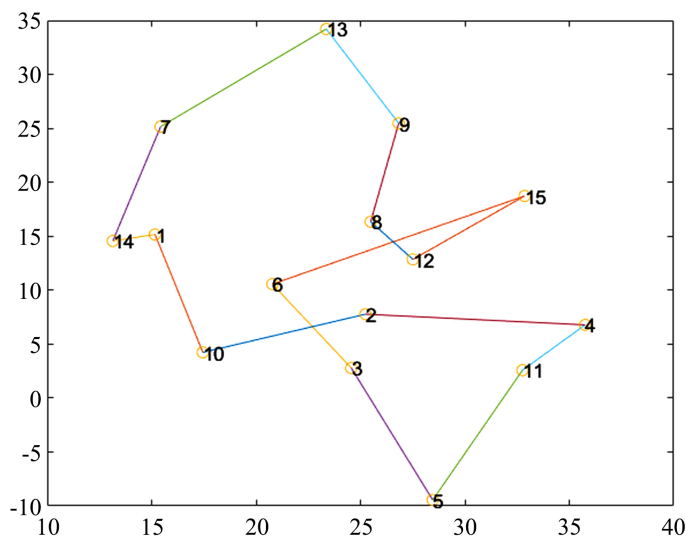


Figure 2. Shortest path diagram of Monte Carlo simulation algorithm
图 2. 蒙特卡罗模拟算法最短路径图

3.4. 优化模型及求解

根据对配送时间和综合成本的分析,可以看出蒙特卡罗模型只是单纯地以距离作为节约的判断依据,没有综合考虑道路状况,将距离节约转化为综合节约。因此,本文引入了模拟退火算法,通过模拟物理退火过程来寻找最优解。

从配送时间上来看,通过实时交通信息获取车辆行驶中所在路段的实时交通信息。进行配送时间的计算。车辆所在位置路段平均车速 V_i 车道宽度 L_{Ri} 及允许通行车辆的吨位。根据 V_i 的大小判断路段的交通拥堵程度和预测车辆经过所需的时间 $t_{j(j-1)}$ 。当 $V_i = 0$ 时,表示该路段当前处于拥挤状态,只有当车道宽度 L_{Ri} 大于车辆宽度 L 并且允许通行车辆的吨位 Q_{Ri} 大于车辆的总吨位 Q 时,路径 i 才有被选择的可能,因此车辆完成配送的总行驶时间 T 如公式(1)所示。

$$T = \sum_{j=1}^N t_{j(j-1)} \quad (1)$$

从配送成本上来看,运输车辆的固定成本 C_1 ,有驾驶员和押运员的工资和车辆损耗的成本, $C_1 = f$ 为常数。车辆的运输成本 C_2 包括车辆的油耗、维修和保养成本,与车辆行驶的里程数成正比,如公式(2)所示。

$$C_z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

其中 c_{ij} 为冷藏车在路段 (v_i, v_j) 上的运输成本,并且 $c_{ij} = c_{ji}$, 其中 x_{ij} 用 0, 1 表示, $x_{ij} = 1$ 表示冷藏车经过了路段 (v_i, v_j) , 否则 $x_{ij} = 0$ 。

冷藏品的损坏成本包括多种情况:首先,运输和卸货时间的长短可能导致冷藏箱故障,进而引起温度失控,如某船公司承运的冷藏箱在卸货时温度远高于设定值,导致货损。其次,服务顾客时,车厢门的频繁开启会造成车厢内冷空气与外界空气交替流动,导致温度上升,从而损坏冷藏品。最后,路况的好坏程度也会影响冷藏品的损坏情况。冷藏品损坏成本用 C 表示,如公式(3)所示。

$$C_3 = r \sum_{i=0}^n \lambda_j (\alpha_1 t_{ij} + \alpha_1 \beta_2 + \alpha_3 s_{ij}) \quad (3)$$

其中， r 表示产品的单价， λ_j 为 0, 1 变量， $\lambda_j=1$ 表示该冷藏车服务客户 j ，否则 $\lambda_j=0$ ； α_1 为产品运送过程中损坏的比例； t_{ij} 表示客户 i 到客户 j 所用的时间； α_2 表示产品在车厢门开启及装卸过程中损坏的比例； β_j 为客户 j 的货物的数量； α_3 表示车辆运输过程中造成产品损坏的比例； s_{ij} 表示客户 i 到客户 j 之间的里程数。

通过模拟退火算法计算得到的全局最优路线的总距离为：总距离 = 123.7895。模拟退火结果图如图 3 所示。

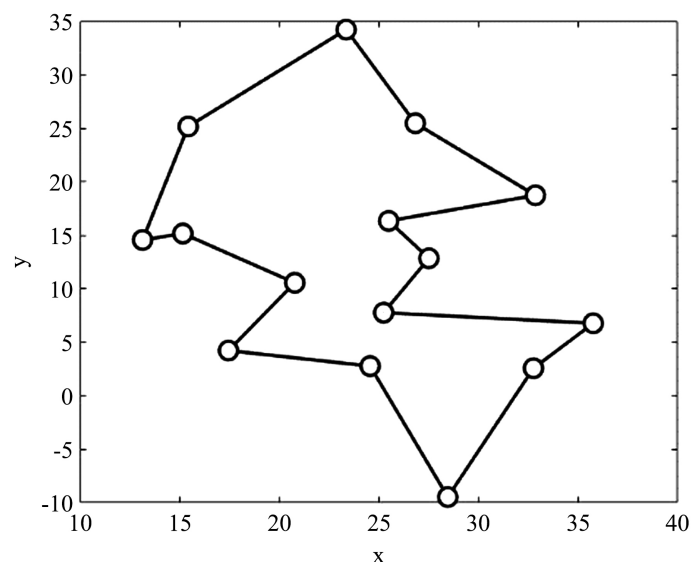


Figure 3. Shortest path diagram of simulated annealing algorithm
图 3. 模拟退火算法最短路径图

4. 研究结果与未来展望

4.1. 研究结论

本研究聚焦于徐州市永辉超市的冷链物流配送路径问题，旨在探讨该连锁超市在冷链物流配送环节中所面临的具体问题。本研究构建的优化模型不仅满足了冷链物流对时效性的严格要求，而且有效地将配送时间控制在规定范围内，减少了因配送时间过长而引发的损失，从而降低了配送成本并减少了不必要的配送车辆使用。该模型显著提升了冷藏车的装载率，使得运输资源得到更为高效的利用。鉴于永辉连锁超市在物流技术方面存在的问题，以及物流环节技术薄弱对超市发展的制约，加之高昂的配送成本和复杂的配送路径，本研究通过路径优化，确定了各个配送点的汇交点。基于蒙特卡洛算法模型和模拟退火算法模型，将配送中心到达各个配送点大的里程明显的减少。总的运输里程来看，优化后的两种方案里程分别是 127.2301 千米、123.7895 千米，综合来看，模拟退火算法模型路径优化更优。

4.2. 未来展望

构建专业的物流配送中心。对于永辉连锁超市而言，构建一个专业化的物流配送中心，其目的不仅在于降低运营成本，更在于能够显著缩短配送路径，进而提升经营的灵活性与工作效率。通过建立此类配送中心，永辉超市能够依据实时销售数据与市场需求，迅速制定出精确的订货计划。由此，所需商品能够迅速送达各门店，无需绕远路，而是直接从本地配送中心获取物资，确保供应链的高效运作。这种高效的配送模式，使得永辉超市能够更好地应对市场变化，及时调整库存与供货策略，从而在激烈的市

场竞争中保持优势。同时，专业化的物流配送中心还能够提供更为精细化的物流服务，能够在特定时间段内进行快速补货，可以显著提升顾客的购物体验与满意度。

发展直达运输。在冷链配送领域，直达式运输的实施有助于建立更为稳定的产销关系与运输系统，不仅有利于提高运输的计划性与效率，还能确保易腐货物的新鲜度与质量。近年来，直达式运输的比重逐渐增加，它为减少物流中间环节、降低物流成本提供了有力支持。值得注意的是，如同其他合理化的运输方式一样，直达式运输的合理性也是在特定条件下才能体现出来：从用户需求的角度来看，当批量足够大时，直达式运输是合理的选择；而当批量较小时，通过中转站进行配送则更为合理。

车辆右转配送策略。在日常的物流配送活动中，配送车辆的运行效率常常受到交通信号灯控制及让行规则的约束。依据我国现行的交通法规，机动车在执行右转操作时，通常无需等待信号灯的指示。基于此，通过科学规划配送路线，减少左转与直行的频次，转而增加右转的使用，可以有效降低配送车辆在等待信号灯时的停滞时间。实施该优化策略，能够显著提升配送车辆的运行效率，节约配送时间，进而提高整个物流配送系统的效率。

参考文献

- [1] 周婧怡. A 公司冷链物流配送路径优化研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 济南大学, 2019.
- [2] Dantzig, G.B. and Ramser, J.H. (1959) The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, **6**, 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- [3] 韩春阳, 伍景琼, 贺瑞. 国内外冷链物流发展历程综述[J]. 中国物流与采购, 2015(15): 70-71.
- [4] 李义华, 邓梦杰. 数字经济赋能冷链物流绿色化发展机理与路径研究[J]. 财经理论与实践, 2024, 45(6): 131-138.
- [5] Kuo, J. and Chen, M. (2010) Developing an Advanced Multi-Temperature Joint Distribution System for the Food Cold Chain. *Food Control*, **21**, 559-566. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.08.007>
- [6] Hsu, C. and Liu, K. (2011) A Model for Facilities Planning for Multi-Temperature Joint Distribution System. *Food Control*, **22**, 1873-1881. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.04.029>
- [7] Hsu, C., Chen, W. and Wu, W. (2013) Optimal Delivery Cycles for Joint Distribution of Multi-Temperature Food. *Food Control*, **34**, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.003>
- [8] Visser, J., Nemoto, T. and Browne, M. (2014) Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, **125**, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1452>
- [9] 徐泽水, 温晶, 王新鑫, 等. 改进制冷成本的冷链物流低碳车辆路径优化研究——基于 ALNS 遗传算法[J]. 软科学, 2024, 38(1): 92-100.
- [10] 宾厚, 徐晶晶, 王素杰, 等. 生鲜冷链物流配送多车型动态车辆路径优化[J]. 管理现代化, 2025, 45(1): 182-191.
- [11] 张鹏, 周恩毅. 农产品冷链物流供应链质量评价体系构建及实证[J]. 统计与决策, 2022, 38(11): 179-182.
- [12] 张喜才, 霍迪. 中国生鲜农产品冷链物流薄弱环节梳理及对策研究[J]. 农业经济与管理, 2021(3): 93-102.