

低碳视角下基于层次分析法的生鲜冷链物流发展评价

——以某生鲜农产品冷链物流业为例

费 洋, 袁建林

辽宁工业大学经济管理学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2026年7月1日; 录用日期: 2026年7月30日; 发布日期: 2026年8月7日

摘 要

随着生鲜冷链物流的发展, 高能耗、高排放等问题日益凸显, 低碳转型已成为行业发展的途径。鉴于此, 研究以生鲜农产品冷链物流为研究对象, 基于低碳视角, 采用层次分析法(AHP)对其发展进行评价。结果表明, 低碳运营水平(权重0.423)和基础设施条件(权重0.287)是影响生鲜冷链物流低碳发展的主要因素, 其次为经济效益(0.194)和低碳环境(0.096)。专家评分显示, 新能源冷藏车占比(92.1分)和碳监测机制健全度(90.7分)表现较好, 而冷链流通损耗率(58.4分)、单位周转量碳排放(62.5分)和碳交易收益(42.3分)得分较低, 是当前低碳转型的薄弱环节。模糊综合评价得分为64.15, 等级为“好”, 表明该市生鲜冷链物流低碳转型已取得一定进展, 但在运营降碳和碳交易机制方面仍有较大提升空间。因此, 应加快推进核心装备绿色更新, 依托数字化实现精益化运营, 同时完善碳交易机制与激励政策, 在实现温室气体减排的同时, 推动行业可持续发展。

关键词

低碳, 层次分析法(AHP), 生鲜农产品, 冷链物流

Evaluation of Fresh Agricultural Product Cold Chain Logistics Development from a Low-Carbon Perspective Using Analytic Hierarchy Process (AHP)

—A Case Study of a Fresh Agricultural Product Cold Chain Logistics

Yang Fei, Jianlin Yuan

School of Economics and Management, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: July 1, 2026; accepted: July 30, 2026; published: August 7, 2026

Abstract

With the advancement of fresh agricultural product cold chain logistics, issues such as high energy consumption and significant emissions have become increasingly prominent, making low-carbon transformation an inevitable industry trend. This study focuses on cold chain logistics for fresh agricultural products and employs the Analytic Hierarchy Process (AHP) from a low-carbon perspective to evaluate its development. Results indicate that low-carbon operational efficiency (weight: 0.423) and infrastructure capabilities (weight: 0.287) are the primary factors influencing low-carbon development of fresh agricultural product cold chain logistics, followed by economic benefits (0.194) and environmental sustainability (0.096). Expert evaluations highlight strong performance in new-energy refrigerated vehicle adoption (92.1 points) and carbon monitoring system maturity (90.7 points), while cold chain loss rates (58.4 points), carbon emissions per unit turnover (62.5 points), and carbon trading revenues (42.3 points) remain weak areas requiring improvement. The comprehensive fuzzy evaluation score of 64.15 is classified as “excellent”, indicating partial progress in low-carbon transformation but significant room for enhancement in operational decarbonization and carbon trading mechanisms. Therefore, it is imperative to accelerate the green upgrade of core equipment, leverage digitalization to achieve lean operations, and enhance carbon trading mechanisms and incentive policies, thereby reducing greenhouse gas emissions while promoting high-quality, sustainable development across the industry.

Keywords

Low-Carbon, Analytic Hierarchy Process (AHP), Fresh Agricultural Products, Cold Chain Logistics

Copyright © 2026 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. 引言

在生鲜冷链物流发展过程中,需通过大量的能源消耗,才能在低温的条件下实现生鲜产品的存储与运输,其低碳化发展是现阶段冷链物流领域备受关注的问题。推动经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节,构建绿色低碳的交通运输体系是落实“碳达峰、碳中和”目标的重要举措[1]。在此背景下,如何通过科学的运营管理方法,在确保服务质量的前提下,有效平衡冷链物流的经济效益与环境效益,成为理论与实践中的一个重要的研究问题[2]。某市作为区域中心城市,生鲜农产品消费量巨大。近年来,该市积极推进国家冷链物流基地建设,但整体仍存在“断链”现象,传统柴油冷藏车占比较高,冷库老旧能耗大,低碳转型处于起步期。

目前,国内已有不少学者从很多方面对生鲜农产品冷链物流做了一些研究。

秦莹(2019)研究了农产品供应链质量风险,并提出了相应的风险规避建议[3]。王伊斐等(2021)在其研究中,选择了影响生鲜农产品冷链物流运输服务的几个因素,运用 AHP 进行分析,得出运输效率影响最大[4]。李远航等(2024)以南阳市生鲜农产品为研究对象,采用 AHP 法对其冷链物流发展情况进行分析,研究表明,生鲜农产品冷链物流发展受第三方企业比重较低、发展相对滞后以及冷链物流基础设施不健全等因素的制约[5]。

总体而言, 现有研究是对冷链运行问题的诊断和纾解方案的有效补充, 为相关研究奠定了坚实的理论基础。然而, 现有研究多以“冷链控制”和“风险规避”为切入点, 且研究维度的同质性使得本领域还没有形成完整的研究框架。

2. 基于 AHP 的生鲜冷链物流发展评价

2.1. 指标体系构建

为对生鲜冷链物流发展进行评价, 研究结合文献梳理与专家咨询, 构建低碳视角下生鲜冷链物流发展评价体系。该评价体系主要分为目标层、准则层以及要素层, 具体如图 1 所示。

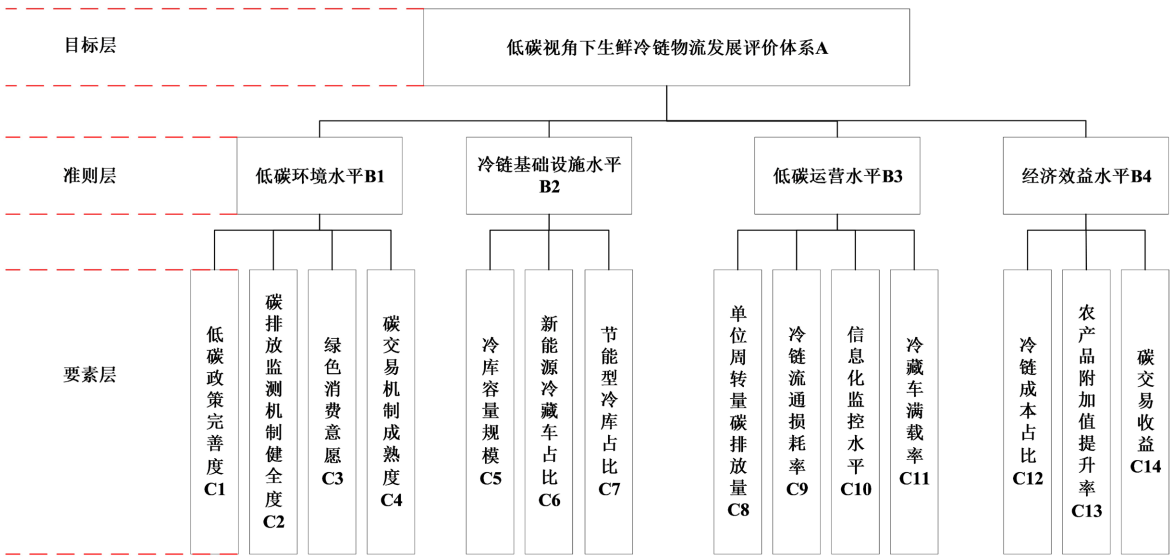


Figure 1. Low-carbon-oriented development evaluation system of fresh cold chain logistics

图 1. 低碳视角下生鲜冷链物流发展评价体系

2.2. 构造判断矩阵

为保证评价结果的科学性与客观性, 本研究邀请了 15 位相关领域的专家进行两两比较打分。专家来源包括冷链物流专家、低碳经济领域专家、企业高管等, 均具有副高级及以上职称或 10 年以上相关工作经验。基于 1~9 标度法, 由专家对不同层次因素的重要性进行判断并赋值, 具体标度含义见表 1。采用几何平均法构建判断矩阵。

Table 1. Ratio scale

表 1. 比例尺度

含义	取值
1	C2 与 C1 相比同样重要
3	C2 与 C1 相比稍微重要
5	C2 与 C1 相比较为重要
7	C2 与 C1 相比十分重要
9	C2 与 C1 相比绝对重要

注: 2、4、6、8, C2 比 C1 的重要程度介于 1~3、3~5、5~7、7~9; 两要素相比, 若前者重要性低于后者, 则取其相应数值的倒数。

2.3. 模糊综合评价

将各评价指标划分为“优”“好”“一般”“差”“较差”五个等级，并赋予相应的评价分值(100~80、80~60、60~40、40~20、20~0)。邀请 15 位专家对评价体系要素层的各项指标进行评分，并使用公式(1)计算生鲜农产品冷链物流发展综合评价得分 S 。

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot R_i \tag{1}$$

式(1)中， W_i 表示第 i 个评分指标的权重； R_i 表示第 i 个评分指标的专家评分均值(取各等级中值)。

3. 结果与分析

3.1. 准则层资源评价分析

在本研究中，采用几何平均法，对准则层中 B1、B2、B3、B4 的权重进行求取，构造的判断矩阵采用 1~9 标度法及其倒数(1、2、3、……、9 及 1/2、1/3、……、1/9)，具体见表 2。由于该判断矩阵为四阶矩阵，对应的随机一致性指标 RI 取值为 0.89。依据一致性指标计算公式 $CI = (\lambda - n)/(n - 1)$ ，代入相关参数求得 CI 值为 0。进而计算一致性比率 $CR = CI/RI$ ，得到结果为 0，该数值小于 0.10，表明矩阵具有理想的一致性水平。通过分析表 2 得知，B1、B3 权重相对较大，说明低碳运营水平和基础设施水平是决定生鲜冷链物流低碳发展的核心因素；而 B1 权重最小，表明外部政策环境的直接驱动力相对有限，企业内生的运营降碳与设施绿色升级才是转型关键。

Table 2. Judgment matrices A-B_n (n = 1, 2, 3, 4)
表 2. 判断矩阵 A-B_n (n = 1, 2, 3, 4)

A	B1	B2	B3	B4	权重 W	CI	CR
B1	1	1/3	1/4	1/2	0.096	0.007	0.008
B2	3	1	1/2	2	0.287		
B3	4	2	1	3	0.423		
B4	2	1/2	1/3	1	0.194		

3.2. 要素层资源评价分析

通过分析表 3 得知， $CR = 0.008 < 0.10$ ，一致性通过。在低碳环境准则层中，C1 低碳政策完善度权重最大，为 0.391，说明政策引导是构建低碳环境的首要因素；C2 碳监测机制健全度次之，为 0.391；C3 绿色消费意愿最低，为 0.083。

通过分析表 4 得知， $CR = 0.003 < 0.10$ ，一致性通过。在基础设施准则层中，C6 新能源冷藏车占比权重最高，为 0.467，表明运输装备的绿色化是基础设施低碳转型的关键；C7 节能冷库占比次之，为 0.277；C5 冷库容量规模权重最低，仅为 0.078，说明单纯追求规模扩张而不注重设施节能等级，对低碳发展的贡献极为有限。

通过分析表 5 得知， $CR = 0.016 < 0.10$ ，一致性通过。在低碳运营准则层中，C8 单位周转量碳排放权重最高，为 0.419，表明直接控制温室气体排放是低碳运营的核心目标；C9 冷链流通损耗率权重为 0.263，反映出减少农产品损耗带来的间接减排效应不容忽视；C11 冷藏车满载率权重为 0.061，C10 信息化监控水平权重为 0.097，说明提升装载率与数字化运营同样是降低单位能耗的重要手段。

通过分析表 6 得知, $CR = 0.008 < 0.10$, 一致性通过。在经济效益准则层中, C13 农产品附加值提升率权重最大, 为 0.540, 表明通过冷链保鲜实现产品溢价是企业切入低碳经济的最大动力; C12 冷链成本占比次之, 为 0.297; C14 碳交易收益权重最低, 为 0.163, 反映出当前碳市场机制在冷链领域的收益转化仍处于起步阶段, 企业对其依赖度较低。

Table 3. Judgment matrices B_1-C_n ($n = 1, 2, 3, 4$)

表 3. 判断矩阵 B_1-C_n ($n = 1, 2, 3, 4$)

B1	C1	C2	C3	C4	权重 W	CI	CR
C1	1	1	4	3	0.391	0.007	0.008
C2	1	1	4	3	0.391		
C3	1/4	1/4	1	1/2	0.083		
C4	1/3	1/3	2	1	0.135		

Table 4. Judgment matrices B_2-C_n ($n = 5, 6, 7, 8$)

表 4. 判断矩阵 B_2-C_n ($n = 5, 6, 7, 8$)

B2	C5	C6	C7	权重 W	CI	CR
C5	1	1/4	1/2	0.078	0.002	0.003
C6	4	1	2	0.467		
C7	2	1/2	1	0.277		

Table 5. Judgment matrices B_3-C_n ($n = 8, 9, 10, 11$)

表 5. 判断矩阵 B_3-C_n ($n = 8, 9, 10, 11$)

B3	C8	C9	C10	C11	权重 W	CI	CR
C8	1	2	4	5	0.419	0.014	0.016
C9	1/2	1	3	4	0.263		
C10	1/4	1/3	1	2	0.097		
C11	1/5	1/4	1/2	1	0.061		

Table 6. Judgment matrices B_4-C_n ($n = 12, 13, 14$)

表 6. 判断矩阵 B_4-C_n ($n = 12, 13, 14$)

B4	C12	C13	C14	权重 W	CI	CR
C12	1	1/3	2	0.297	0.005	0.008
C13	3	1	4	0.540		
C14	1/2	1/4	1	0.163		

3.3. 模糊综合评价得分

根据 15 位专家对要素层 14 个指标的评分(各指标评分取均值, 按等级中值转换), 结合各指标综合权重(准则层权重 $\times$ 要素层权重), 计算某市生鲜农产品冷链物流发展综合评价得分, 见表 7。

Table 7. Comprehensive weights of factor layer & expert scores
表 7. 要素层综合权重及专家评分

要素层指标	准则层权重	要素层权重	综合权重	专家评分均值	加权得分
C1	0.096	0.391	0.0375	85.3	3.20
C2		0.391	0.0375	90.7	3.40
C3		0.083	0.0080	78.5	0.63
C4		0.135	0.0130	82.4	1.07
C5	0.287	0.078	0.0224	68.5	1.53
C6		0.467	0.1340	92.1	12.34
C7		0.277	0.0795	76.3	6.07
C8	0.423	0.419	0.1772	62.5	11.08
C9		0.263	0.1112	58.4	6.49
C10		0.097	0.0410	65.2	2.67
C11		0.061	0.0258	68.3	1.76
C12	0.194	0.297	0.0576	70.5	4.06
C13		0.540	0.1048	81.2	8.51
C14		0.163	0.0316	42.3	1.34
合计			1.000		64.15

通过分析表 7 得知，各准则层得分及总得分分别为：低碳环境(B1) = 3.20 + 3.40 + 0.63 + 1.07 = 8.30；基础设施(B2) = 1.53 + 12.34 + 6.07 = 19.94；低碳运营(B3) = 11.08 + 6.49 + 2.67 + 1.76 = 22.00；经济效益(B4) = 4.06 + 8.51 + 1.34 = 13.91；综合评价总得分 = 8.30 + 19.94 + 22.00 + 13.91 = 64.15。根据评价等级划分标准(优：100~80，好：80~60，一般：60~40，差：40~20，较差：20~0)，该市生鲜冷链物流低碳发展综合评价得分为 64.15，属于“好”等级。

4. 某市生鲜冷链物流低碳发展策略

4.1. 加快核心装备绿色迭代，破除设施高碳锁定

为切实推动某市生鲜冷链物流朝着低碳方向发展，有必要进一步加快基础设施的绿色升级步伐。一方面，政府应当加大对新能源冷藏车购置、运营的补贴力度，给予新能源冷藏车在城区路权方面的优先待遇，以此推动新能源装备的普及应用[4]。另一方面，要推行对变频压缩机与高效保温材料改造的补贴政策，提高节能冷库在冷库总数中的占比，同时补齐产地预冷设施方面存在的短板，并通过改善温控技术降低货损率和能耗，降低能耗。

4.2. 强化数字赋能与全程温控，精益化运营减损降碳

依托物联网与大数据来建立城市级智慧冷链平台，能实现仓、干、配全链路温度透明且可追溯，杜绝因断链产生的损耗，最大程度降低冷链流通损耗率。运用 AI 算法对配送路径与订单撮合加以优化，提高冷藏车满载率，减少空驶造成的无效碳排放。推广动态蓄冷技术，利用夜间低谷电制冰蓄冷，日间释冷，可实现用电侧的“移峰填谷”，达到节能降费的效果，切实降低单位周转量碳排放。

4.3. 提升企业采纳低碳技术的经济激励

尝试把冷链物流归入地方碳普惠和碳交易模式，制定生鲜冷链碳排放核算标准，使采用新能源装备、

环保制冷剂的企业能够经由出售碳配额获取实际的收益。加强碳监测机制建设, 将低碳标准执行度与企业信用评级、税收优惠相挂钩, 促使企业把低碳转型从“成本负担”转变为“资产收益” [6]。

4.4. 提升冷链附加值, 推动产业链绿色共生

一方面借助精细化温控、高品质冷链服务来延长生鲜农产品的货架期, 进而提高农产品附加值溢价率, 凭借高收益去覆盖低碳改造成本。另一方面广泛推广可循环生鲜保温箱、共享托盘等绿色载具, 建立废旧制冷剂回收、无害化处理闭环机制, 建立“资源 - 产品 - 再生资源”的微循环模式, 以此实现经济与生态的协同发展。

5. 结论

为有效促进生鲜农产品冷链物流的低碳发展, 本文基于 AHP 法, 构建了相应的评价体系, 并结合 15 位专家打分对某市生鲜冷链物流发展进行评价, 得出以下结论:

(1) 低碳运营水平的权重值为 0.423, 基础设施条件的权重值为 0.287, 这两者权重值相对较大, 是影响生鲜冷链物流低碳发展的主要因素。其次是经济效益(0.194)和低碳环境(0.096);

(2) 专家评分结果显示, 新能源冷藏车占比(92.1 分)和碳监测机制健全度(90.7 分)得分较高, 表明硬件投入和政策监测基础较好; 而冷链流通损耗率(58.4 分)、单位周转量碳排放(62.5 分)和碳交易收益(42.3 分)得分较低, 说明运营降碳效率和碳市场收益转化是目前的主要短板;

(3) 经过模糊综合评价, 最终得分为 64.15, 评价等级为“好”。这表明某市生鲜冷链物流在低碳转型方面已取得一定进展, 但在运营精细化水平和碳交易机制方面仍有较大提升空间。

因此, 相关部门要尽快推进核心装备的绿色更新换代, 并凭借数字化手段达成精益化运营来降低碳排放。而且要完善碳交易机制、激励政策, 在实现温室气体减排目标的同时, 切实推动生鲜冷链物流实现高质量可持续发展。

参考文献

- [1] 王倩妮. 生鲜电商冷链物流优化研究[J]. 市场周刊, 2025, 38(2): 1-4.
- [2] 赵爽, 李鑫杰. 生鲜农产品冷链物流效率评价研究——以北方地区六省为例[J]. 物流科技, 2025, 48(13): 138-142.
- [3] 秦莹. 基于 AHP 的生鲜农产品供应链质量风险研究[J]. 河南农业, 2019(23): 58-61.
- [4] 王伊斐, 尚猛, 周娟娟, 等. 基于 AHP 的生鲜农产品冷链物流运输服务研究[J]. 中国市场, 2021(21): 127-128.
- [5] 李远航, 李晓东. 南阳市生鲜农产品冷链物流发展问题研究[J]. 食品安全导刊, 2024(8): 10-13.
- [6] 韩兴柱. 生鲜电商冷链物流中的问题 and 对策研究[J]. 中国储运, 2025(10): 119.