

农村物流资源配置与农产品流通效率的关联特征及布局优化

——基于河南省西华县的实证研究

吴贺辉, 刘文昌

辽宁工业大学经济管理学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2026年7月15日; 录用日期: 2026年7月28日; 发布日期: 2026年8月18日

摘要

农村物流资源配置的均衡性直接影响农产品流通效率与农业现代化进程。本文以河南省西华县17个乡镇为研究对象, 构建了5个维度15项指标的评价体系, 采用AHP-熵权组合赋权法测算各乡镇资源配置水平得分, 并引入DEMATEL法作为指标体系结构分析的辅助工具, 通过分组对比与相关分析检验资源配置水平与流通效率的关联, 并基于整数规划验证布局优化效果, 进行测算研究。研究发现: 西华县各乡镇物流资源配置水平呈现显著空间分异, 红花集镇(0.782)与西夏亭镇(0.743)得分最高, 西华营镇(0.298)最低; 资源配置水平高分组与低分组的生鲜流通损耗率分别为10.87%与19.63%, 相差8.76个百分点, 二者呈显著负相关($r = -0.687, p < 0.01$); 以资源配置水平最优乡镇布局冷链节点, 平均配送半径从37.85 km缩短至18.70 km, 综合成本降低37.34%, 年碳排放减少52.07%。建议县域冷链物流资源配置调整优化县城集中模式, 在生鲜主产乡镇优先布局产地冷链节点。

关键词

农村物流, 资源配置, 农产品流通效率, 组合赋权法, 县域冷链

Correlation Characteristics and Layout Optimization of Rural Logistics Resource Allocation and Agricultural Product Circulation Efficiency

—An Empirical Study Based on Xihua County, Henan Province

Hehui Wu, Wenchang Liu

Abstract

The balance of rural logistics resource allocation directly affects the circulation efficiency of agricultural products and the process of agricultural modernization. Taking 17 townships in Xihua County, Henan Province as the research object, this paper constructs an evaluation system covering 5 dimensions and 15 indicators. The AHP-entropy combined weighting method is adopted to calculate the score of logistics resource allocation level of each township, and the DEMATEL method is introduced to assist analyzing the structural relationship of the indicator system. Group comparison and correlation analysis are applied to test the correlation between resource allocation level and circulation efficiency, and integer programming is used to verify and calculate the optimization effect of node layout. The results show that there is an obvious spatial differentiation in the logistics resource allocation level across townships in Xihua County: Honghuaaji Town (0.782) and Xixiating Town (0.743) rank the highest, while Xihuaying Town (0.298) ranks the lowest. The fresh agricultural product circulation loss rates of the high and low resource allocation groups are 10.87% and 19.63% respectively, with a gap of 8.76 percentage points, and the two indicators are significantly negatively correlated ($r = -0.687$, $p < 0.01$). Deploying cold chain nodes in townships with optimal resource allocation shortens the average distribution radius from 37.85 km to 18.70 km, cuts comprehensive costs by 37.34%, and reduces annual carbon emissions by 52.07%. It is suggested that the county-wide cold chain logistics resource allocation should abandon the centralized urban layout mode and prioritize the construction of origin cold chain nodes in major fresh produce towns.

Keywords

Rural Logistics, Resource Allocation, Agricultural Product Circulation Efficiency, Combined Weighting Method, County-Level Cold Chain

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

农业现代化是乡村全面振兴的重要根基, 因此要完善县乡村三级物流配送体系、加快农村冷链物流设施建设, 将县域生鲜冷链物流体系建设置于推动农业现代化发展的关键位置。生鲜冷链物流作为连接农产品生产端与消费端的核心纽带, 其资源配置的科学性与均衡性, 直接关系到农产品上行效率、农业产业提质增效以及农业农村减排固碳目标的实现。

当前, 我国多数农业县域的生鲜冷链物流资源高度集中于县城城区, 乡镇产地冷链设施供给存在较大缺口。据相关研究显示, 县域乡镇标准化冷链节点占比相对较低, 生鲜农产品采后无法及时预冷保鲜, 流通损耗率远超发达国家[1]。以本文研究的河南省西华县为例, 该县标准化冷库全部集中在县城城区, 乡镇无标准化冷链配送中心, 生鲜流通形成了“产地→县城仓储→乡镇终端”的折返式运输模式, 这种资源配置的“县城集中、乡镇空白”格局, 与农业现代化对流通体系“高效、均衡、绿色”的要求之间存在明显落差。

厘清县域乡镇间流通损耗差异的成因、核心影响要素与优先布局区域,是优化县域冷链资源配置、提升流通效率的核心前提。现有文献已从物流能力评价、节点选址优化等维度开展研究,但仍存在三方面局限:一是研究尺度多聚焦省级或地级市层面,县域乡镇级的精细化实证证据不足;二是鲜有将物流资源配置水平作为独立变量,系统检验其与农产品流通效率的量化关联;三是评价方法对县域基层数据薄弱的场景适配性有待提升。本文边际贡献体现在三方面:下沉至县域乡镇尺度提供精细化实证支撑,构建 AHP-熵权组合赋权法适配基层数据,形成完整分析链条提供“以评促建”决策参考。

2. 文献综述与研究框架

2.1. 农村物流资源配置研究进展

现有关于农村物流资源配置的研究,主要沿两条脉络展开。

第一条脉络是宏观层面的物流能力评价与空间格局研究。这类研究多以省级、地级市为分析单元,从基础设施、信息化水平、服务能力等维度构建评价体系,测度区域农村物流的整体发展水平。史宇宏等(2024) [2]基于 28 个省级面板数据评价了中国农村物流发展水平,发现整体呈现“东强西弱、城强乡弱”的空间特征,资源配置非均衡是制约农村物流发展的核心矛盾。杨鹏等(2024) [3]从可达性与公平性双视角测算了农村末端配送网点的覆盖情况,进一步验证了城乡之间、区域之间的服务差距。这类研究勾勒出了农村物流资源配置的整体图景,但研究尺度偏宏观,难以对县域内部的精准施策提供直接支撑。

第二条脉络是微观层面的物流节点选址与网络优化研究。研究者多运用重心法、覆盖模型、整数规划等运筹方法,求解农村配送中心的最优布局方案。秦倩等(2026) [4]针对粮食应急配送场景,构建了考虑响应时间的选址模型;胡立和等(2024) [5]围绕农村冷链配送中心选址,提出了兼顾成本与时效的优化思路。这类研究的优势是能输出具体的选址方案,但局限性也十分明显:方案效果高度依赖参数假设,且普遍缺少对配置效果的事后验证——即解决了“选在哪里”的问题,但未充分回答“为何选在此处能提升效率”的内在逻辑。

近年已有学者尝试将资源配置与产业效益纳入统一分析框架。徐超毅等(2024) [6]在阜阳农村物流选址研究中提出,选址决策需与农业产业分布相耦合;韩一军等(2025) [7]也指出,产地冷链设施缺失是生鲜供应链效率提升的核心瓶颈。但整体来看,这类研究仍停留在对策建议层面,物流资源配置水平与农产品流通效率之间的量化关联尚未得到系统的实证检验。

2.2. 农产品流通效率影响因素研究

现有研究将农产品流通效率的影响因素归纳为三类,共同构成了效率差异的解释框架。

第一类是交通基础设施因素。道路密度、等级公路占比、乡镇通达率等指标,直接决定了农产品的运输时间与成本。完善的交通网络能够缩短产地到市场的时空距离,拓展农产品的销售半径,贾叶子等(2023) [8]在农资物流节点选址研究中,就将交通条件列为核心决策因素。

第二类是信息化与组织化因素。电商平台渗透、农民专业合作社发育程度、农产品品牌化水平,都会影响农产品的市场对接效率与溢价能力。农村电商的普及打破了信息壁垒,推动小农户与大市场有效对接,能够减少信息不对称引发的供需错配与流通损耗。

第三类是冷链物流能力因素。产地预冷覆盖率、冷藏运输占比、温控设施精度等指标,与生鲜流通损耗率呈显著负相关。宋娟娟等(2025) [9]在产地冷藏保鲜设施的实践研究中提出,产地冷链缺失是生鲜采后损耗居高不下的直接原因;张梦秋(2025) [10]的城市生鲜配送研究也证实,冷链合理布局能够显著降低流通损耗。

整体来看, 现有研究多将三类因素作为独立变量分别考察, 缺少一个能够综合反映物流资源配置水平的整合性指标。现实中流通效率并非由单一因素决定, 而是基础设施、产业适配、运营效率等多维度共同作用的结果。构建多维度的资源配置评价体系, 并将其与流通效率纳入统一实证框架, 能够更完整地揭示“资源配置-流通效率”的作用逻辑。

2.3. 文献评述与研究假设

综上, 现有研究为本文奠定了理论基础, 但仍存在研究尺度偏宏观、关联视角不充分、方法适配性不足等缺口。基于此, 本文将研究下沉至乡镇尺度, 构建适配县域场景的评价体系, 检验资源配置与流通效率的关联, 并验证布局优化效果。

结合资源错配理论与物流设施空间布局理论, 本文提出两项研究假设:

H1: 农村物流资源配置水平与生鲜流通损耗率呈负相关关系, 即资源配置水平越高的乡镇, 生鲜流通损耗率越低。

县域场景下, 乡镇间产业基础、交通条件与设施配套存在差异, 物流资源空间错配会加剧运输冗余、抬高流通损耗。资源配置越优的乡镇, 产业匹配度与运输效率越高, 生鲜损耗水平越低。

H2: 以资源配置水平最优的乡镇布局冷链节点, 能够显著缩短配送半径、降低流通综合成本与全流程碳排放。

将冷链节点前置至产地端, 可减少传统“县城集中”模式的折返运输, 实现采后即时预冷, 从时效与保鲜两方面降低损耗与成本, 同步减少运输碳排放。优先布局于资源配置最优乡镇, 可最大化产业适配效应, 实现综合效益最优。

3. 研究设计

3.1. 研究区域概况

西华县地处黄淮平原腹地, 是河南省重要的生鲜农产品生产基地。县域总面积 1194 平方公里, 耕地 130 万亩¹。西华县蔬菜瓜果供应充足, 2023 年全县蔬菜及食用菌产量 1318752.5 吨, 瓜果产量 587,856 吨²。西华县的农业产业结构、经营主体构成和物流设施状况, 在我国黄淮海平原农业区具有较强的代表性。

当前西华县生鲜冷链资源配置失衡问题突出: 标准化冷库全部集中于县城城区, 乡镇无标准化冷链配送中心, 产地“最先一公里”冷链设施完全缺失, 形成“产地收购-县城仓储-终端分销”的折返式运输模式。全县标准化冷库总容量仅 1.2 万吨, 乡镇冷库容量占比不足 8%, 流通环节生鲜损耗率达 18.7%³。

3.2. 指标体系构建

本文从产业适配、流通效率、低碳发展、基础支撑、综合效益 5 个维度, 搭建农村物流资源配置水平评价体系, 共包含 15 项二级指标(见表 1) [11]。指标选取遵循科学性、可操作性、县域适配性与政策导向性四项原则, 兼顾基层数据可得性与研究目标导向。

各维度的具体内涵与选取依据如下: 产业适配维度衡量冷链资源与农业产业分布的匹配程度; 流通效率维度衡量冷链资源的运输配送效率; 低碳发展维度衡量冷链物流的环境效益; 基础支撑维度衡量节点建设的可行性与成本; 综合效益维度衡量节点运营的经济可行性[12]。

¹https://www.xihua.gov.cn/sitesources/xhxmzf/page_pc/zjxh/xzqh/article8CDB11867DF54ACD8AE1184965F3227A.html

²https://www.xihua.gov.cn/sitesources/xhxmzf/page_html5/zwgk/jcxxgk/tjsj/articled340bd28186f47039f797161007997ac.html

³以上数据来自 2023 年县域实地调研。

Table 1. Evaluation index system for rural logistics resource allocation level**表 1.** 农村物流资源配置水平评价指标体系

一级维度	二级指标	指标属性	指标说明
产业适配	生鲜产地辐射能力	正向	周边 10 km 规模化基地产量综合值
产业适配	农业产业规模匹配度	正向	仓储容量与本地生鲜产出适配程度
产业适配	农产品上行配套服务能力	正向	预冷、分拣配套完备程度
流通效率	主干道通达性	正向	至国省干道距离标准化数值
流通效率	村级路网覆盖率	正向	村级硬化道路占比
流通效率	平均配送半径	负向	全域加权运输距离
流通效率	车辆空载率	负向	冷链车辆年均空载比例
低碳发展	单位配送碳排放强度	负向	每吨公里二氧化碳排放量
低碳发展	清洁能源配套条件	正向	光伏配套建设可行性
低碳发展	冷链设施能效水平	正向	制冷设备能效等级得分
基础支撑	基础设施配套完善度	正向	水电消防综合评分
基础支撑	工业用地价格	负向	乡镇工业用地每亩出让成本
基础支撑	地质地形条件	正向	地块平整、地质稳定评分
综合效益	综合运营成本	负向	每吨生鲜全周期运营费用
综合效益	投资回报预期	正向	本地冷链年均投资收益率

3.3. 测度方法

本文采用 AHP-熵权组合赋权法测算各乡镇资源配置水平得分, 辅以 DEMATEL 法解析指标间的影响关系, 具体步骤如下:

DEMATEL 法(辅助结构分析)

邀请 8 位领域专家, 采用 0-4 标度法对 15 项指标的相互影响程度打分, 取均值构建直接影响矩阵, 经行和最大值法规范化后计算综合影响矩阵, 测算各指标的影响度、被影响度、中心度与原因度, 识别系统核心驱动因素。该结果仅用于指标结构解析, 不参与后续权重计算。

AHP-熵权组合赋权

首先通过 AHP 法测算主观权重: 采用 1-9 标度法邀请专家对指标相对重要性两两比较, 构建判断矩阵, 经一致性检验($CR < 0.1$)后, 采用方根法计算特征向量, 归一化得到主观权重。

其次通过熵权法测算客观权重: 对原始指标进行 Min-Max 标准化, 负向指标正向化处理后, 计算各指标下乡镇的指标比重, 进而推导信息熵与差异系数, 归一化得到客观权重。

最后采用乘法合成法耦合主客观权重, 计算公式为:

$$w_j = \frac{w_j^s \times w_j^0}{\sum_{j=1}^{15} w_j^s \times w_j^0} \quad (1)$$

其中, w_j 为第 j 个指标的组合权重, w_j^s 为 AHP 法测算的主观权重, w_j^0 为熵权法测算的客观权重。

TOPSIS 法计算综合得分

基于组合权重与标准化数据构建加权标准化决策矩阵, 确定各指标的正理想解与负理想解, 计算每

个乡镇与理想解的欧式距离, 得到综合贴适度, 即物流资源配置水平得分。贴适度取值范围为 0-1, 得分越高代表资源配置相对水平越优。本文主要采用分组对比与皮尔逊相关分析开展实证检验, 辅以 Spearman 秩相关进行稳健性检验。

3.4. 布局优化模型的设定

为验证假设 H2, 本文构建整数规划模型, 对比传统县城集中布局与优化布局的综合效应。

模型将全县 16 个生鲜供应点(行政村/合作社)与 3 类需求端(县城批发市场、乡镇农贸市场、域外销售渠道)纳入系统, 候选配送中心为 17 个乡镇, 生鲜农产品需经配送中心中转至需求端, 贴合县域“集中仓储、统一配送”的运营模式。

目标函数: 设置全周期总成本最小化、全流程碳排放最低化双目标。总成本包含运输成本、生鲜货损成本、冷链制冷成本、场地固定成本与运营成本; 碳排放包含运输燃油碳排放、仓储制冷耗电碳排放、生鲜损耗间接碳排放, 核算参照《2019 年对 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南的细化》⁴, 电力碳排放因子采用河南省电网基准线排放因子。

约束条件: 设置供需流量守恒、仓储容量、选址数量、非负与 0-1 变量约束。采用线性加权法将双目标转化为单目标, 成本权重设为 0.6、碳排放权重设为 0.4, 无量纲化后采用 Lingo 18.0 求解。

本文分别测算“县城集中布局”传统方案与“红花集镇 + 西夏亭镇”优化方案, 对比配送半径、流通损耗率、综合成本、碳排放四项核心指标, 并通过核心参数 $\pm 20\%$ 波动测试验证方案稳健性。

3.5. 数据来源与变量测量

本文研究数据来源、核心变量生鲜流通损耗率的测算方法以及专家打分流程作如下说明:

(1) 数据来源

本文研究数据来源分为四类。第一类, 官方统计数据, 来自地方统计年鉴及相关部门公开资料。第二类, 实地调研数据, 研究团队对西华县 17 个涉农乡镇开展全覆盖调研, 通过走访乡镇农业服务中心、种植大户、合作社、冷链企业, 获取各乡镇生鲜供应量、需求端需求量、现有冷链状况、运营成本等一手数据, 调研问卷信度良好。第三类, 地理与碳排放数据, 各乡镇间实际运输距离通过地图开放平台获取; 碳排放参数参考通用核算标准与区域电网排放水平。第四类, 专家打分数据, 邀请领域专家完成 DEMATEL 影响度打分与 AHP 两两比较打分, 采用德尔菲法开展两轮征询, 数据信度良好。

(2) 核心变量: 生鲜流通损耗率的测算

(a) 抽样方案

采用分层多阶段抽样方法: 第一阶段按各乡镇生鲜产出规模将 17 个乡镇分为高、中、低三层; 第二阶段在每层内按比例抽取样本乡镇, 最终实现 17 个乡镇全覆盖; 第三阶段在每个乡镇抽取 4 家经营主体(种植大户 2 家、农民专业合作社 2 家), 共 68 个样本单元, 跟踪蔬菜、瓜果两类县域主导生鲜产品的全流通过程。

(b) 测量问卷

调研问卷包含采后处理、干线运输、仓储中转、终端分销四个环节的损耗记录模块, 由经过培训的调研人员现场称重、核对台账, 记录各环节生鲜产品的重量变化与品质降级情况。问卷经预调研修正, 整体 Cronbach's α 系数为 0.82, 信度良好。

⁴Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva: IPCC, 2019. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>

(c) 计算公式

生鲜流通损耗率采用全流程重量损耗法测算, 同时将品质降级损耗按市场折价折算为等效重量损耗, 公式如下:

$$\text{流通损耗率} = \frac{W_0 - W_1 + \Delta W_q}{W_0} \times 100\%$$

其中, W_0 为产地采收初始重量, W_1 为终端销售的合格产品重量, ΔW_q 为品质降级产品的等效重量损耗(按市场价格折价比例折算)。各乡镇最终损耗率取该镇所有样本的加权平均值, 权重为各经营主体的生鲜产出规模。

(3) 专家打分的实施流程

(a) 专家背景(匿名化)

本次共邀请 8 位领域专家参与打分, 均无相关利益冲突, 具体构成: 农业经济与区域发展方向教授 3 人(均从事农村物流与农业经济研究 10 年以上, 主持省级以上相关课题不少于 3 项); 物流管理与供应链方向副教授 3 人(均为冷链物流方向硕士生导师, 发表相关核心期刊论文不少于 5 篇); 县级农业农村、商务主管部门实务专家 2 人(均具有 8 年以上县域冷链规划与行业管理经验)。

(b) 技术处理流程

采用德尔菲法开展两轮匿名征询: 第一轮发放 DEMATEL 指标影响度打分表与 AHP 指标重要性两两比较表, 专家独立完成打分后回收, 计算各指标打分的均值、标准差与变异系数; 第二轮将第一轮统计结果与集中意见反馈给专家, 专家结合群体意见自主修正打分。两轮征询后, 专家意见一致性系数达到 0.78, 符合德尔菲法信度要求。最终取第二轮打分的算术平均值构建直接影响矩阵(DEMATEL)与判断矩阵(AHP), 其中 AHP 判断矩阵一致性比例 $CR = 0.072 < 0.1$, 通过一致性检验。

4. 实证结果与分析

4.1. 物流资源配置水平测度结果

(1) 指标权重分析

按照上述 DEMATEL 法计算流程, 经专家打分与矩阵运算, 得到各指标的中心度与原因度。结果显示, 15 个指标的中心度排名前五的依次为: 生鲜产地辐射能力(0.832)、单位配送碳排放强度(0.761)、主干道通达性(0.718)、农业产业规模匹配度(0.694)、平均配送半径(0.658), 上述五个指标在系统中处于核心位置, 是影响资源配置水平的关键变量。从原因度来看, 生鲜产地辐射能力(原因度 0.214)和农业产业规模匹配度(原因度 0.183)为正值, 属于原因型因素, 对其他指标具有先导性驱动作用; 单位配送碳排放强度(原因度-0.246)和平均配送半径(原因度-0.197)为负值, 属于结果型因素, 是资源配置水平的直接表征结果。

在此基础上, 通过 AHP-熵权组合赋权法计算得到 15 个指标的组合权重(见表 2)。权重排名前五的指标依次为: 生鲜产地辐射能力(0.108)、单位配送碳排放强度(0.095)、主干道通达性(0.084)、平均配送半径(0.076)、农业产业规模匹配度(0.072), 五个指标累计权重占比 43.5%, 是决定各乡镇资源配置水平高低的核心指标。这一结果与 DEMATEL 法的中心度排名基本一致, 两种方法形成相互印证, 说明核心指标的识别具有稳健性。

(2) 各乡镇资源配置水平得分与排名

基于组合权重与标准化后的指标数据, 计算 17 个乡镇的资源配置水平得分与排名, 结果如表 3 所示。

Table 2. Weights of various indicator combinations
表 2. 各指标组合权重

一级维度	二级指标	组合权重
产业适配	生鲜产地辐射能力	0.108
产业适配	农业产业规模匹配度	0.072
产业适配	农产品上行配套服务能力	0.058
流通效率	主干道通达性	0.084
流通效率	村级路网覆盖率	0.049
流通效率	平均配送半径	0.076
流通效率	车辆空载率	0.052
低碳发展	单位配送碳排放强度	0.095
低碳发展	清洁能源配套条件	0.061
低碳发展	冷链设施能效水平	0.055
基础支撑	基础设施配套完善度	0.048
基础支撑	工业用地价格	0.061
基础支撑	地质地形条件	0.043
综合效益	综合运营成本	0.072
综合效益	投资回报预期	0.066

Table 3. Scores and rankings of logistics resource allocation levels in the 17 Townships of Xihua county
表 3. 西华县 17 个乡镇物流资源配置水平得分及排名

排名	乡镇	综合得分	排名	乡镇	综合得分
1	红花集镇	0.782	10	东王营乡	0.451
2	西夏亭镇	0.743	11	大王庄乡	0.438
3	逍遥镇	0.718	12	叶埠口乡	0.412
4	奉母镇	0.689	13	迟营镇	0.398
5	址坊镇	0.652	14	田口乡	0.376
6	黄桥乡	0.623	15	清河驿乡	0.351
7	艾岗乡	0.548	16	东夏亭镇	0.329
8	皮营乡	0.512	17	西华营镇	0.298
9	聂堆镇	0.487	—	—	—

从得分分布看，17 个乡镇呈现明显梯度分层特征：红花集镇、西夏亭镇组成第一梯队，得分显著领先，在产业适配、流通效率、低碳发展等维度具备综合优势；逍遥镇、奉母镇、址坊镇、黄桥乡组成第二梯队，得分区间为 0.62~0.72，资源配置基础较好但仍有提升空间；其余 9 个乡镇为第三梯队，得分 0.3~0.55，资源配置整体偏低。最高分与最低分差值达 0.484，反映出西华县内部农村物流资源配置的空间不均衡问题十分突出。

空间分布上，高得分乡镇集中于县域西部、西北部，该区域是西华县蔬菜、瓜果核心产区，种植基地密集、经营主体活跃；低得分乡镇多分布于县域东部、东北部，农业生产以传统粮食种植为主，生鲜

产出规模小, 物流基础设施配套不足。结合县城冷链资源集中的现实, 最终形成“产地有需求无设施、县城有设施距离远”的结构性错配格局。

(3) 典型乡镇分维度对比

选取排名前 4 位与后 3 位乡镇进行分维度对比(见表 4), 进一步解析得分差异的结构成因。

Table 4. Scores of each dimension in a typical town
表 4. 典型乡镇各维度得分

乡镇	产业适配	流通效率	低碳发展	基础支撑	综合效益
红花集镇	0.852	0.798	0.724	0.768	0.742
西夏亭镇	0.821	0.756	0.698	0.732	0.718
逍遥镇	0.784	0.722	0.654	0.708	0.694
奉母镇	0.752	0.688	0.632	0.674	0.672
清河驿乡	0.302	0.378	0.354	0.412	0.328
东夏亭镇	0.288	0.342	0.338	0.386	0.312
西华营镇	0.265	0.312	0.298	0.354	0.286

从维度结构来看, 红花集镇在所有维度都表现突出, 其中产业适配维度得分最高, 和其作为全县蔬菜种植核心区的定位完全匹配; 流通效率得分同样靠前, 得益于紧邻省道、县域主干道的区位优势。西华营镇在所有维度都处于末位, 产业适配维度尤为薄弱, 反映出该镇生鲜农业基础差、物流需求不足的现实。整体来看, 排名靠前的乡镇, 优势主要集中在“产业适配”和“流通效率”两个维度, 而这两个维度恰好是权重最高的核心驱动因素, 进一步验证了指标体系的合理性。

4.2. 资源配置与流通效率的关联检验

(1) 分组对比分析

将 17 个乡镇按得分高低分为三组: 高分组(前 3 名: 红花集镇、西夏亭镇、逍遥镇)、中分组(中间 5 名: 奉母镇、址坊镇、黄桥乡、艾岗乡、皮营乡)、低分组(后 3 名: 清河驿乡、东夏亭镇、西华营镇), 对比各组生鲜流通损耗率(见表 5)。高、低分组资源配置均值差距达 0.422, 确保组间差异具备充分区分度。

Table 5. Comparison of fresh food loss rates by different resource allocation levels grouping
表 5. 不同资源配置水平分组的生鲜流通损耗率对比

分组	乡镇数	资源配置均值	流通损耗率均值	损耗率标准差	损耗率中位数
高分组	3	0.748	10.87%	1.24%	10.60%
中分组	5	0.605	14.56%	1.67%	14.80%
低分组	3	0.326	19.63%	2.08%	19.20%

结果显示, 高分组流通损耗率均值为 10.87%, 低分组为 19.63%, 二者相差 8.76 个百分点; 中分组损耗率处于中间水平, 整体呈现“资源配置水平越高、流通损耗率越低”的梯度递减规律, 初步验证假设 H1。此外, 高分组损耗率标准差更小, 说明资源配置优的乡镇流通效率更稳定; 低分组波动更大, 与冷链设施不足、流通渠道不稳定直接相关。

(2) 相关分析

经正态性检验分析, 资源配置得分与生鲜流通损耗率的 p 值分别为 0.214、0.187, 均大于 0.05, 服从

正态分布, 因此采用皮尔逊相关系数量化两者关联强度。结果显示, 二者呈显著负相关($r = -0.687$, $p < 0.01$), 表明资源配置水平越高的乡镇, 其生鲜流通损耗率越低, 二者之间存在中等偏强的负向关联。

(3) 分维度关联分析

将 5 个维度得分分别与损耗率做相关分析(见表 6), 结果显示: 产业适配维度相关系数绝对值最大, 流通效率维度次之, 二者均通过显著性检验; 低碳发展维度相关性较弱, 仅在 10%水平上显著; 基础支撑与综合效益维度相关性不显著。

Table 6. Correlation coefficients between dimension scores and inventory obsolescence rate
表 6. 各维度得分与流通损耗率的相关系数

维度	相关系数(r)	p 值	显著性
产业适配	-0.612	0.009	***
流通效率	-0.578	0.015	**
低碳发展	-0.421	0.093	*
基础支撑	-0.284	0.269	不显著
综合效益	-0.395	0.117	不显著

注: ***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著。

这一结果表明, 产业适配与流通效率是影响流通效率的核心维度, 而基础支撑维度的水电、用地等条件虽是节点建设的必要前提, 但不直接决定流通效率高低。由此得到政策启示: 县域冷链资源配置需优先考量产业适配与交通效率, 而非过度强调通用基础设施条件。

4.3. 冷链节点布局优化效果验证

基于上述结论, 以资源配置排名前两位的红花集镇、西夏亭镇为冷链节点选址方案, 与传统县城集中方案对比, 验证布局优化的综合效应。

(1) 模型参数设定

模型参数来自实地调研与公开数据: 供应点到配送中心的单位运输成本 0.85 元/吨·km, 配送中心到需求端的单位运输成本 1.05 元/吨·km; 生鲜单位市场价格 3200 元/吨; 柴油碳排放因子 2.63 kg CO₂/L, 电力碳排放因子 0.6102 kg CO₂/kW·h; 车辆百公里油耗 22 L/100km; 冷库单位时间制冷耗电量 85 kW·h/h; 单个配送中心最大仓储容量 45 吨/日; 各供应点日供应量、需求端日需求量来自实地调研。车辆平均行驶速度按县域公路实际路况设为 50 km/h, 生鲜新鲜度变质率设为 0.012/h。

(2) 方案对比结果

两种方案的核心指标对比见表 7。优化方案中, 红花集镇覆盖北部、东北部 8 个供应点, 西夏亭镇覆盖西部、南部 8 个供应点, 均衡覆盖全县 16 个生鲜供应点, 有效解决了传统模式下“产地→县城→终端”的折返运输问题。

Table 7. Comparison of the layout optimization plan with the county concentration plan effects
表 7. 布局优化方案与县城集中方案效果对比

对比指标	县城集中方案	红花集镇 + 西夏亭镇方案	变化幅度
平均配送半径(km)	37.85	18.70	-50.59%
生鲜流通损耗率(%)	18.70	9.53	-9.17 个百分点
日均运输成本(元)	15234.00	12445.00	-18.31%

续表

日均货损成本(元)	21580.00	17060.00	-20.95%
日均制冷成本(元)	7890.00	7251.00	-8.10%
日均总成本(元)	62358.74	39076.63	-37.34%
年碳排放总量(tCO ₂)	260.73	124.97	-52.07%

从空间效率看,平均配送半径从 37.85 km 缩减至 18.70 km,降幅达 50.59%。配送半径缩短直接带来三重效应:运输距离与燃油消耗下降、生鲜在途时间缩短、车辆周转效率提升。

从成本效率看,日均总成本下降 37.34%,其中货损成本降幅(20.95%)大于运输成本降幅(18.31%),说明配送时效对生鲜价值留存的作用超过直接节油效应,印证了冷链时效是生鲜产品价值保障的核心因素。

从碳排放效果看,年碳排放总量减少一半以上,减排率 52.07%,其中运输环节减排是主要来源。这一结果验证了 H2,即科学布局能同时实现降本、减损、降碳的多重目标。

(3) 方案稳健性对比

为验证红花集镇 + 西夏亭镇方案的优越性,进一步与逍遥镇 + 奉母镇、艾岗乡 + 皮营乡两组备选方案对比(见表 8)。结果显示,红花集镇 + 西夏亭镇方案在配送半径、总成本、碳排放三项指标上均最优,说明其优势源于产业适配、交通区位与覆盖均衡性的综合支撑,进一步验证了以资源配置得分为选址依据的科学性。

Table 8. Comparison of effects of different location schemes
表 8. 不同选址方案效果对比

方案	平均配送半径(km)	日均总成本(元)	年碳排放(t CO ₂)
红花集镇 + 西夏亭镇	18.70	39076.63	124.97
逍遥镇 + 奉母镇	21.35	42184.52	138.56
艾岗乡 + 皮营乡	25.62	48937.18	172.34

对运输成本、货损率、单位制冷成本三项核心参数开展 ±20%敏感性测试,结果显示参数波动范围内,最优节点组合保持不变,综合成本最大波动幅度为 6.8%,说明布局方案对参数变化不敏感,结论稳健可靠。

5. 稳健性检验

本文通过两种方法开展稳健性检验,验证核心结论的可靠性,具体结果如下:

第一,替代赋权方法。采用单一熵权法重新测算各乡镇资源配置水平得分,并重复分组对比分析,结果如表 9 所示。高、低分组的乡镇组成与主分析结果完全一致,高分组损耗率均值为 9.87%,低分组为 20.12%,二者差距达 10.25 个百分点,与主结果的梯度递减趋势高度一致,说明资源配置与损耗率的负向关联不依赖特定赋权方法。

Table 9. Comparison of circulation loss rates for different resource allocation groups under the single entropy weight method
表 9. 单一熵权法下不同资源配置分组的流通损耗率对比

分组	乡镇数量	资源配置得分均值	流通损耗率均值	高低组差值
高分组	3	0.726	9.87%	—
中分组	5	0.589	13.94%	—
低分组	3	0.312	20.12%	10.25 个百分点

第二, Spearman 秩相关检验。不依赖数据正态分布假设, 采用 Spearman 秩相关系数重新检验资源配置水平与流通损耗率的关联, 结果如表 10 所示。秩相关系数 $\rho = -0.654$, 且在 1% 水平上显著, 与皮尔逊相关系数的方向、强度基本一致, 排除了数据分布假设偏差对结论的干扰。

Table 10. Results of spearman rank correlation test
表 10. Spearman 秩相关检验结果

变量对	Spearman 秩相关系数 ρ	p 值	显著性水平
资源配置得分 $\times$ 生鲜流通损耗率	-0.654	0.004	***

注: ***表示在 1%水平上显著。

两项检验表明, 本文核心结论不依赖特定赋权方法与统计方法, 结论稳健可靠。

6. 结论与启示

6.1. 研究结论

本文以河南省西华县 17 个乡镇为样本, 构建农村物流资源配置水平评价体系, 采用 AHP-熵权组合赋权法测算得分, 通过关联分析与布局优化模拟, 得到三点核心结论:

第一, 西华县农村物流资源配置水平存在显著空间分异。红花集镇(0.782)、西夏亭镇(0.743)得分居前, 西华营镇(0.298)排名末位, 整体呈现“西强东弱、西北集中”的格局, 与农业产业空间分布高度契合。生鲜产地辐射能力、单位配送碳排放强度、主干道通达性等是核心影响指标。

第二, 物流资源配置水平与生鲜流通损耗率呈显著负相关。高、低分组损耗率相差 8.76 个百分点, 皮尔逊相关系数 $r = -0.687$ ($p < 0.01$), 稳健性检验支持结论成立。其中产业适配与流通效率维度对流通效率的影响最为直接。

第三, 基于资源配置水平的冷链节点布局优化可实现多重效益。红花集镇 + 西夏亭镇方案使县域平均配送半径缩短 50.59%、综合成本显著降低、碳排放减少 52.07%, 验证了以资源配置评价指导选址的科学性与有效性。

此外, 本研究为县域农产品物流这一特定情境下的资源配置与区位选择提供了新的经验证据。现有研究多集中于省域、市域等宏观尺度的物流能力评价, 或单纯聚焦节点选址的模型优化, 缺乏县域乡镇层面的精细化实证与关联机制检验。本文的边际经验贡献体现在三方面: 一是下沉至乡镇微观尺度, 量化刻画了传统农业县域内部物流资源配置“西强东弱、产施错配”的空间分异特征, 验证了产业分布对资源配置效率的先导性作用, 弥补了宏观研究在县域落地层面的证据缺口; 二是构建整合性的资源配置评价指标, 系统检验了其生鲜流通损耗率的量化负向关联, 明确了产业适配、流通效率两大核心作用维度, 为“资源配置 - 流通效率”的理论逻辑提供了县域层面的微观实证支撑; 三是形成“评价 - 关联 - 选址优化”的完整实证链条, 证明了“以资源配置评价指导节点选址”的科学性与有效性, 为同类农业县域的冷链区位选择提供了可复制的量化决策路径, 而非单一的方案输出。

6.2. 政策启示

第一, 县域冷链资源配置应从“县城集中”转向“产地前置”。打破冷链设施过度集中于县城的惯性思维, 在生鲜主产乡镇科学布局产地冷链节点, 补齐“最先一公里”短板, 充分发挥产业适配效应, 减少折返运输带来的效率损失。

第二, 构建“以评促建”的量化决策机制。本文构建的评价方法可推广至同类农业县域, 各地可结合本地产业特征调整指标体系, 将资源配置评价作为冷链布局的决策依据, 推动布局决策从经验驱动转

向数据驱动。

第三, 将低碳目标纳入冷链布局决策体系。依托节点布局优化缩短运输半径, 同步实现降本增效与减排降碳, 推动县域冷链物流绿色低碳转型, 助力农业农村减排固碳目标落地。

6.3. 研究局限

本研究存在四方面局限: 一是仅采用西华县截面数据, 难以捕捉资源配置的动态演化规律, 后续可开展多期跟踪研究; 二是样本量有限, 未能控制更多干扰因素, 后续可扩展至多县域样本开展更严谨的因果识别; 三是未按生鲜品类细分研究, 不同品类温控要求差异较大, 后续可针对特定品类开展精细化分析; 四是碳排放测算聚焦运营阶段, 未涵盖设施建设隐含碳排放, 后续可采用全生命周期评价方法完善测算体系。

参考文献

- [1] 路征, 黄伟儒, 何汁. 中国农村物流发展水平评价及地区差异分析——基于 28 个省级行政区数据[J]. 重庆工商大学学报(社会科学版), 2021, 38(4): 36-45.
- [2] 史宇宏, 杨梦菊. 中国农村物流发展水平的测度与时空演变分析[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 2024, 26(4): 54-64.
- [3] 杨鹏, 黄洁, 王姣娥, 等. 中国农村物流末端配送网点可达性与公平性测度[J]. 地理学报, 2024, 79(11): 2739-2753.
- [4] 秦倩, 黄利玲. 湖北省粮食应急物流配送中心选址布局研究[J]. 全国流通经济, 2026(4): 31-35.
- [5] 胡立和, 杨安妮, 宾厚. 农村冷链物流配送中心选址研究[J]. 技术与市场, 2024, 31(7): 165-167.
- [6] 徐超毅, 韦宇. 乡村振兴背景下农村物流中心选址研究——以安徽阜阳为例[J]. 物流科技, 2024, 47(5): 28-32.
- [7] 韩一军, 纪承名, 刘乃郗. 我国生鲜农产品供应链的发展现状、存在问题与发展路径[J]. 甘肃农业, 2025(12): 2-7.
- [8] 贾叶子, 王公强, 龚鹏, 等. 基于熵权-TOPSIS 法的农资铁路物流运输节点选址研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2023(18): 73-75.
- [9] 宋娟娟, 柴磊. 发展农产品产地冷藏保鲜设施的实践探索[J]. 河南农业, 2025(13): 11-12.
- [10] 张梦秋. 城市生鲜农产品配送中心选址研究[J]. 经营与管理, 2025(8): 162-168.
- [11] 秦芳芳, 张珈瑞, 张霆, 等. 基于自适应遗传算法的物流配送中心选址[J]. 物流工程与管理, 2023, 45(8): 1-6.
- [12] 李鑫, 李金艳, 齐实, 等. 跨境铁路建设能否提升区域经济韧性——基于中欧班列开通的 276 个城市经验数据[J]. 统计与管理, 2024(6): 96-106.