

基于大数据的农产品冷链物流开放式供需匹配平台设计研究

李铭致 胡丽艳^(通讯作者) 赵影

东莞城市学院商学院, 中国·广东 东莞 523419

摘要: 当前农产品冷链物流存在供需失衡的问题, 这导致了成本高企、损耗严重等诸多突出状况, 对此本文给出了构建开放式供需匹配平台的解决办法, 该平台整合大数据、物联网等技术和冷链物流全场景, 从而达到多主体数据共享、精准供需预测以及智能动态匹配, 并且文章系统地阐述了平台的设计原则、三层架构还有四大核心功能模块, 以浙江衢州柑橘冷链作为实证对象进行模拟运行, 结果表明平台可使冷链物流成本降低 16.7%, 农产品损耗率由 9.5% 降至 7.2%, 供需匹配时长缩短 62.5%, 最后研究用图表相结合的形式直观地展示平台的运行逻辑和实际效果, 给农产品冷链物流的数字化升级提供了切实可行的参考路径。

关键词: 大数据; 农产品冷链; 供需匹配; 开放式平台; 物流

Research on the Design of an Open Supply and Demand Matching Platform for Agricultural Product Cold Chain Logistics Based on Big Data

Li Mingzhi, Hu Liyan^(Corresponding author), Zhao Ying

School of Business, Dongguan City University, China Guangdong Dongguan 523419

Abstract: There exists an imbalance between supply and demand in the current agricultural cold chain logistics, which gives rise to prominent problems such as high costs and severe product losses. To address this issue, this paper proposes a solution of constructing an open supply-demand matching platform. Integrating technologies including big data and the Internet of Things with the full scenarios of cold chain logistics, the platform realizes multi-stakeholder data sharing, accurate supply-demand forecasting and intelligent dynamic matching. Furthermore, this paper systematically elaborates on the design principles, three-tier architecture and four core functional modules of the platform. Taking citrus cold chain logistics in Quzhou, Zhejiang Province as the empirical case for simulation operation, the results demonstrate that the platform reduces cold chain logistics costs by 16.7%, cuts the agricultural product loss rate from 9.5% to 7.2%, and shortens the supply-demand matching duration by 62.5%. Finally, this study visually presents the operation logic and practical effects of the platform through a combination of figures and tables, providing a feasible reference path for the digital upgrading of agricultural cold chain logistics.

Keywords: Big data; Agricultural product cold chain; Supply and demand matching; Open platform; Logistics

0 引言

我国是农业生产和消费的大国, 2023 年我国农产品总产量突破 10.5 亿吨, 然而冷链物流发展滞后, 成为制约农产品价值实现的关键难题, 中物联冷链委数据显示, 当前我国农产品冷链流通率仅约 40%, 远远低于发达国家 80% 以上这个水平, 造成流通环节损耗率达 12%, 年经济损失超 3000 亿元。这种滞后性集中体现为“双重困境”: 产地端, 农户缺乏市场预判能力, 易出现“丰收滞销”现象; 销地端经销商面临“缺货断供”难题, 冷链企业空驶率高达 32%, 这既抬高了成本又造成了资源的浪费。

大数据技术虽可为破解该矛盾提供支撑作用, 但现有的应用场景大多为封闭的内部系统, 例如物流企业自己的运力管理系统只调度自家车辆、电商平台的需求预测单靠自身销量数据, 这就形成了“信息孤岛”而难以实现跨主体协作, 而且目前的研究大多专注于单一环节的优化缺少全流程的协同从而很难支持整个行业的全面升级, 据此, 本文遵循“文献梳理—痛点拆解—平台设计—实证验证”的研究路线, 先梳理国内外相关文献确定研究基础, 然后结合 5 家冷链企业和 10 个农产品合作社实地调研的情况找出供需失衡的症结所在, 接着利用大数据技术设计平台的

架构以及功能模块，最后以浙江衢州柑橘冷链为案例，验证平台运行效果，这样既填补了开放式供需协同领域研究的空白也能给行业实践提供参考，研究框架如图 1 所示。

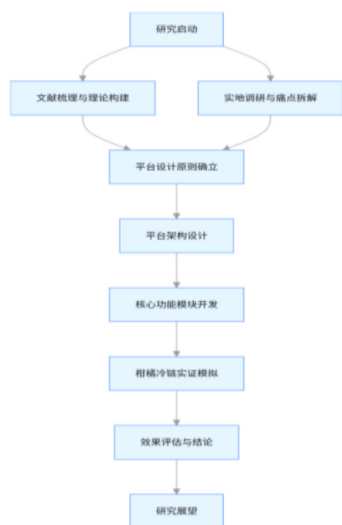


图 1 研究框架图

1 大数据与农产品冷链物流的关联分析

1.1 农产品冷链物流的供需特性

农产品冷链物流供需关系受自然环境、消费习惯等诸多因素的影响，展现出明显的动态性与不确定性，其具体表现有三大特征：

需求端的波动性：季节更替、节假日效应、突发事件等因素对农产品需求有着极为显著的影响，例如夏季水果的需求在旺季比淡季提升 50% 以上，春节之前蔬菜的需求量可翻倍，而像疫情这类突发事件更是会让需求一下子大增或者陡然减少，仅依靠传统经验预测，很难精确地应对这些情况。

供应端的不确定性：农产品生产受自然条件制约且气候灾害、病虫害等会直接影响产量和上市时间，2023 年南方洪涝让柑橘减产了 15% 且 2024 年北方干旱致使蔬菜供应推迟，这都打乱了原本的供需平衡。

匹配端的时效性：采摘后的生鲜农产品需在 24 小时之内进入冷链体系，并且不同种类对温湿度有着严格的要求，例如柑橘要保持在 0 到 5 摄氏度、叶菜类得控制在 2 到 4 摄氏度，若供需匹配滞后，那么即便后续环节都符合规定，损耗率还是会增加。

1.2 大数据技术的支撑作用

大数据技术凭借数据的整合、分析以及应用能够针对上述特性所引发的问题予以解决，在三个维度上展现出其核心的支撑意义：

全链路数据整合：主体间的信息壁垒要被打破，产地

端（种植面积、产量、采摘时间）、物流端（车辆位置、冷藏温度、运力状态）、销地端（订单量、销量、库存）以及环境端（气候、路况）等多个来源的数据需要整合起来以构建起完整的数据链条^[7]。

精准供需预测：历史数据与实时数据相结合，依托组合算法实现短期需求预测和供应预判，例如采用 ARIMA 模型分析趋势，并用随机森林模型修正气候、节假日等突发因素造成的影响，如此一来预测准确率就能达 85% 以上^[8]。

动态智能匹配：实时数据更新与算法迭代被用于实现“需求 - 供应 - 运力”最佳匹配，一旦有区域需求突然大增，平台就能马上调用周边闲置的运力并借助路径优化算法降低空驶率^[9]。

1.3 现有应用的局限性

目前冷链物流中大数据的应用明显不足，不能支撑整个行业的健康发展，封闭性大、资源整合不足，许多系统只服务于单个企业或者某环节，例如部分冷链企业的温控系统只能使用自家车辆，社会上的零散运力无法吸纳，部分电商平台的预测系统没有考虑到产地供应的波动，造成供需错配^[10]。

功能单一、流程覆盖不全：目前的系统大多只对一个环节进行优化，例如仅实现需求预测或者运力调度等单个功能，没有形成从预测到匹配再到跟踪、再到追溯的全流程闭环，因此不能从根本上解决损耗问题^[11]。

操作复杂、落地难度大，一些系统过分强调技术堆砌，忽视了农户、小型物流企业等主体的操作能力，造成实际使用率不足 30%，不能充分发挥其价值^[12]。

2 开放式农产品冷链物流供需匹配平台设计

2.1 平台设计原则

开放性原则，平台使用标准化的 API 接口，农户、物流企业、经销商、监管部门等各个主体都可以接入，保证数据的安全性的同时实现资源的高效流转，因此需要对数据共享范围和权限进行分级。

实用性原则，即操作流程要围绕解决实际问题而简化，例如给农户提供移动端简洁的界面、将需求预测结果以图表的形式呈现出来、为物流企业设计一键接单和路径规划的功能等。

动态性原则就是要建立数据实时更新机制，车辆位置、温湿度等重要数据每 30 分钟更新一次，销量数据每小时更新一次，另外算法模型每月都会根据实际运行数据进行迭代优化。

安全性原则就是用数据加密、权限控制、区块链溯源

这些技术来保证交易的安全性以及数据的隐私性，并且创建信誉评价体系来约束主体的行为^[13]。

2.2 平台架构设计

平台采用物理层、数据层、应用层三层架构设计，各个层次既可以独立运行，也可以互相配合，如图 2 所示。

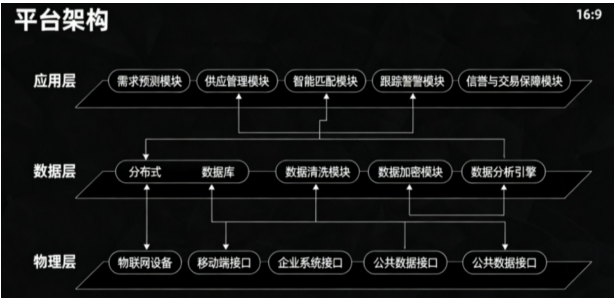


图 2 平台三层架构图

各层级的核心功能与技术组件如下表所示：

表 1 平台三层架构核心功能、技术组件及数据来源表

架构层级	核心功能	关键技术 / 组件	数据来源
物理层	多源数据采集与设备接入	物联网设备（GPS 定位器、温湿度传感器、RFID 标签）、移动端 APP、标准化 API 接口	农户录入、设备监测、企业系统、公共平台
数据层	数据存储、处理与安全保障	分布式数据库（Hadoop）、数据清洗工具、AES 加密算法、数据分析引擎	物理层采集数据
应用层	核心业务功能实现	时间序列算法、GIS 路径优化、边缘计算、区块链溯源	数据层处理后的数据

2.3 核心功能模块设计

2.3.1 需求预测模块

本模块依靠多种数据实现精准需求预测，给供应端的生产和采购端的决策提供支持。

数据维度将近三年的历史销量数据、实时订单数据、节假日安排、气候数据、消费趋势等六个方面的 28 个指标进行整合，气候数据包含温度、降水、湿度等重要参数。

预测逻辑为“随机森林+ARIMA”，用 ARIMA 来把握需求的长期趋势，比如每年夏季柑橘需求会增加 20%，然后用随机森林来修正台风等短期影响因素造成的波动，最后得到未来 7-15 天分地区、分品种的需求预测结果^[14]。

用户交互方面，农户可以借助 APP 了解某一个品种的需求分布和价格走向，经销商可以对销地的需求缺口以及补货建议有所认识，界面用图表的形式去降低理解的难度。

2.3.2 供应管理模块

本模块主要是对供应信息进行规范化的管理以及动态的预警，从而保证供应端与需求端能够准确地对接起来。

数据采集与审核环节中，农产品信息（品种、种植面积、预计产量、采摘时间、品质等级等）由农户或合作社在移动端进行录入，产地监管部门采用实地核查加 RFID 溯源技术的方式对数据的真实性进行验证，从而保证供应信息的可靠性^[15]。

供应预警机制，当某一个品种的预测供需缺口大于 10% 的时候，平台会发出预警信号，如果出现供应过剩的情况，那么就会提醒农户改变采摘节奏，寻找备选销地，并且给出深加工合作渠道的推荐。

品质管理功能就是将农产品生长数据和 RFID 标签联系起来，采摘后的检测信息也一起加入到品质等级中去，以此来给后续的定价和匹配提供依据，比如 A 级柑橘订单优先匹配高端商超的需求。

2.3.3 智能匹配模块

平台核心模块可遵循“效率优先、成本最低、品质保障”这一原则达成“需求-供应-运力”的动态最优匹配，智能匹配模块运行流程如图 3 所示。

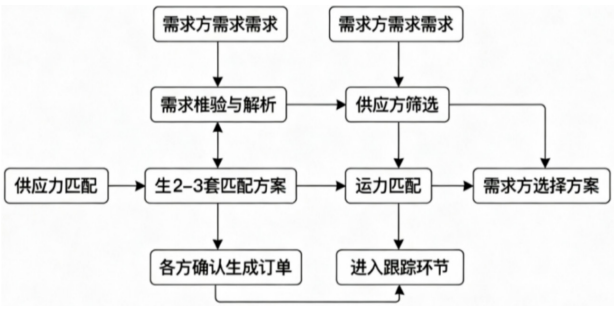


图 3 智能匹配流程图

关键优化策略：运力匹配环节运用 GIS 路径优化算法，让“返程空驶”车辆先调度，例如货车从浙江运送货物到上海后返程时能装上上海需要的柑橘，这样空驶率就能从 30% 降到 5% 以下，并且多订单匹配的时候，把“货架期损失成本”这个概念引进来，让高易腐的农产品优先配上走最短路的运力^[16]。

2.3.4 跟踪预警模块

该模块能保障冷链全程品质稳定并降低流通损耗，靠的是实时监测与异常响应。

实时监测功能：借助物联网设备与边缘计算技术，冷链车辆的位置每隔 30 分钟就更新一次、温湿度数据能以秒为单位采集并上传，而仓储这一环靠着 RFID 技术达到货物出入库自动记录以及库存实时更新的效果^[17]。

异常预警机制：预先设定多级预警阈值，若温湿度超出范围（例如柑橘冷链温度上升到 8℃）、车辆偏离既定路线或者送达出现延迟等情况，就会以 APP 推送、短信等

形式给物流企业与需求方发送预警并给出解决方案方面的建议（如就近维修站点查询、备用车辆调度等）。

全程追溯功能就是农产品从种植、采摘、仓储、运输到最终销售的全部信息（温湿度记录、物流轨迹、质检报告等）可以被消费者和监管部门扫描查看，从而提高产品信任度。

2.3.5 信誉与交易保障模块

该模块对平台主体行为进行了规范，保证交易安全的同时也提高了用户的黏性。

信誉评价体系从履约及时性、信息真实性、服务质量等几个方面对各个主体进行打分，农户主要考察产量是否准确、品质是否稳定，物流企业主要考察配送速度和温控精准度，经销商主要考察付款是否及时。

激励与约束机制会给予信誉度较好的主体优先匹配、手续费优惠等好处，而对信誉较差的主体的接单权限加以限制，在出现连续差评的情况之后，该主体就会被移除平台之外。

安全交易功能，平台采用在线支付、货到付款等多种交易方式，使用第三方担保机制，供应方只有在买家确认收货、商品质量合格之后才能收到货款，从而降低交易风险。

3 实证分析：以柑橘冷链物流为例

3.1 实证对象与数据来源

选择我国柑橘主产区浙江省衢州市为实证研究对象，2023 年当地 1 万吨柑橘采用冷链物流的方式进行流通，并且由于柑橘的损耗率高达 9.5%、物流成本占售价的比重超过 30%，具有很强的代表性。

参与主体有 5 家柑橘合作社（供应端），3 家冷链物流企业（运力端），8 家长三角地区经销商（需求端）。

数据来源于历史数据，2020 年-2022 年的产量、销量、损耗率、物流成本等数据来自于当地的农业农村局，实时数据（2023 年 10 月采摘旺季期间的供需、运力、温湿度数据）是由参与主体在平台上输入的，对比数据（2022 年同期没有使用平台运营的数据）。

3.2 平台运行模拟与结果分析

3.2.1 需求预测精度

模拟过程中长三角地区柑橘需求预测准确率平台为 86%，上海、杭州等主要城市准确率均超过 90%，较 2022 年依靠经验预判的准确率 65% 提高了 32.3%，预测出现误差主要是由于突发降雨引起的，但是通过实时数据修正可以将短期预测误差控制在 5% 以内。

3.2.2 供需匹配效率

平台在模拟期内共达成 12 笔匹配订单，与 2022 年同期相比，匹配效率和成本均得到了明显的改善，具体的数据如下所示：

表 2 2022 年与 2023 年柑橘冷链物流供需匹配关键指标对比表

指标	2022 年同期（无平台）	2023 年模拟（有平台）	变化幅度
平均匹配时长	8 小时	3 小时	缩短 62.5%
冷链车辆空驶率	32%	18%	下降 43.8%
单趟物流成本	1800 元 / 车	1500 元 / 车	降低 16.7%
订单履约准时率	82%	96%	提升 17.1%

3.2.3 损耗控制效果

柑橘流通损耗率大幅下降，是由匹配效率提高、全程温控预警所导致的，具体的数值如表 4.1 所示。采摘到达的平均时间由原来的 48 小时缩短到现在的 36 小时，温湿度异常的概率由原来的 28.7% 降到现在的 8.3%，损耗率由原来的 9.5% 降到现在的 7.2%，以 2023 年衢州柑橘冷链销量达到 1 万吨为例，可减少损耗量 230 吨，直接减少经济损失约 138 万元（按 6 元 / 斤计算）。

3.2.4 信誉体系成效

平台信誉评价体系有效规范了主体行为，使农户信息填报准确率提升至 95%，物流企业异常履约率降至 4%，经销商付款延迟率也下降到 3%，从而使平台用户满意度达到 92%。

3.3 实证结论

开放式供需匹配平台于柑橘冷链物流里凭借“预测 - 匹配 - 跟踪 - 保障”全流程服务达成了三大价值提升，其一，通过精准预测与供应预警降低供需错配风险；其二，通过智能运力匹配减少物流成本与资源浪费；其三，通过全程监测与信誉管理控制流通损耗和交易风险。该结果验证了平台设计的可行性与有效性，可推广应用至其他生鲜农产品冷链场景。

4 结论与展望

4.1 研究结论

农产品冷链物流存在供需失衡的问题，本文针对这一情况设计了一个基于大数据的开放式供需匹配平台，其主要结论如下：这个平台有三层架构和五大功能模块，在这之下实现多主体数据共享以及全流程业务协同，打破传统封闭系统的局限，更加契合农产品冷链物流的实际需求。实证数据表明，平台能够显著提升冷链物流效率，使物流成本降低 16.7%、损耗率降低 24.2%、匹配时长缩短 62.5%，具备显著经济价值。另外，平台遵循实用化设计原

则并且操作界面简洁,提升了各参与主体的接受度与使用率,有效解决技术落地难这一行业痛点。

4.2 研究局限与展望

本文研究仍存在一定的局限性:实证对象仅包含柑橘这一单一品类以及长三角的部分区域,平台在叶菜、水产品等不同品类还有不同气候条件下的适用性仍有待验证,并且预测算法对消费趋势这类长期因素尚未充分纳入,中长期预测的精准度有待提升。

在将来能朝着三个方向去深入探究,其一,扩大实证范围,覆盖多类农产品与不同区域,优化平台适配性;其二,引入 AI 大模型技术,提升预测算法自学习能力,结合消费升级趋势完善预测维度;其三,新增金融服务模块,依托平台信誉向中小经营主体提供融资服务,进一步完善平台生态。

农产品冷链物流的数字化升级是乡村振兴以及农业现代化的关键支柱,而开放式供需匹配平台为此进程提供可行方案。伴随技术的持续更迭以及生态的不断完备,平台有望在保障农产品品质、降低流通成本、促进农民增收等诸多方面发挥更大作用。

参考文献:

- [1] 张喜才. 中国农产品冷链物流经济特性、困境及对策研究[J]. 现代经济探讨, 2019,35(5):100-105.
- [2] 商业经济研究课题组. 冷链物流绿色创新发展与网络建设的关联特征研究[J]. 商业经济研究, 2023,35(12): 110-116.
- [3] 李娟, 王丽. 基于大数据技术的农产品冷链物流发展路径探索[J]. 物流技术, 2023,42(5):67-72.
- [4] 刘敏, 陈强. 基于大数据的农产品现代冷链物流发展模式研究[J]. 中国物流与采购, 2022,44(18):89-91.
- [5] 孙娜, 赵凯, 刘洋. 生鲜农产品冷链物流需求预测研究[J]. 农业技术经济, 2023,41(3):89-98.

[6] 陈晨, 赵宇. 生鲜行业冷链物流配送体系构建与供应链优化路径[J]. 商业经济研究, 2023,35(10):135-138.

[7] 黄涛, 吴迪. 大数据驱动的农产品冷链物流优化策略[J]. 物流工程与管理, 2022,44(7):45-48.

[8] 张玉华, 王国利. 农产品冷链物流技术原理与实践[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2024:120-150.

[9] Li N, Yao W. Research on Application of Cold Chain Logistics Management Based on Big Data Technology [J]. E3S Web of Conferences, 2021, 253: 02056.

[10] 周明, 郑晓. 基于大数据分析的农产品冷链物流配送效率提升研究[J]. 农业工程学报, 2023,39(4):289-296.

[11] 梁丽, 陆峰. 广西农产品冷链物流中的大数据应用实践[J]. 南方农业学报, 2022,53(8):2105-2112.

[12] 赵强, 孙悦. 农产品冷链物流集散中心信息化平台设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2023,59(12):234-240.

[13] 陈明, 刘杰. 区块链技术在农产品冷链溯源中的应用研究[J]. 计算机应用研究, 2022,39(6):1798-1803.

[14] 王浩, 李静. 基于 ARIMA- 随机森林组合模型的生鲜农产品需求预测[J]. 数学的实践与认识, 2023,53(8): 123-131.

[15] 赵亮, 陈燕. RFID 技术在农产品供应链管理中的应用[J]. 农业机械学报, 2022,53(7):321-328.

[16] 刘峰, 张宇. 基于 GIS 的冷链物流路径优化研究[J]. 测绘通报, 2023,69(3):145-149.

基金项目: 东莞城市学院校级科研项目(编号: 2025 QJ104R; 名称: 基于多技术协同演化博弈的智慧供应链物流信息共享机制研究)。

作者简介: 李铭致, 东莞城市学院物流管理本科在读。

通讯作者: 胡丽艳, 东莞城市学院物流管理系准专任教师, 研究方向: 智慧物流。