

数字经济下的生鲜冷链物流发展预测分析

——基于灰色 GM(1,1)模型分析

康立富^{1,2}, 王云峰^{1,2}

(云南师范大学太阳能研究所, 昆明, 650500;

云南省高校太阳能供热供冷技术重点实验室, 昆明, 650500)

摘要: 针对当前农产品损耗率大和物流成本高, 同时因缺乏相关冷链仓储物流产业的信息化基础设施, 产业数据无法高效流通, 产品浪费损失大, 产销对接困难大。面对这些问题, 冷链物流发展迫在眉睫。结合 2016-2021 年的数字经济的发展数据, 本文利用灰色分析模型查看当前冷链物流发展现状, 同时使用灰色 GM(1,1)模型预测各个指标情况, 最后给出数字技术在冷链物流中的发展建议。通过数据分析我们发现所有指标都是上升趋势, 说明人民对冷链的需求比较大, 这就需要数字新技术的支持与投入, 才能让冷链行业数字经济快速发展。构建节能环保冷库也是绿色中国的发展需要, 同时加快冷链产业信息化也成为研究的重点内容。模型较好的预测未来 4 年的数据, 为冷链物流数字经济快速发展提供相关参考。

关键词: 冷链物流; 农产品; 数字经济; 灰色关联模型

中图分类号: S214.4

文献标识码: A

0 引言

国内外冷链技术近年已广泛受到学者关注, 如表1所示。可知, 目前国内冷链物流在农产品“最初一公里”源头保鲜冷库基础设施长期滞后, 大量高原特色农产品因缺乏田间冷库保鲜存储条件, 农产品损耗率和物流成本一直高居不下。同时因缺乏相关冷链仓储物流产业的信息化基础设施, 产业数据无法高效流通, 农户多采取被动等待经销商上门收货, 导致耽误采收时机, 产品浪费损失大, 产销对

接困难大, 总体发展规模小、标准低。而独立的农产品冷链体系并未完善, 与国家工业化和城市化发展的进程不匹配, 有的地区甚至与经济社会发展严重脱节。面对这些问题, 冷链物流发展迫在眉睫^[1-11]。对于数字经济的发展, 不管是政府工作报告还是《十四五数字经济发展规划》中都有对其内容描述。数字经济涉及大数据、云计算、物联网、区块链、人工智能、5G通信等技术。对于该部分的文献研究^[12-28]如表2。

基金项目: 云南省科技厅重大科技专项计划“特色农产品光伏冷库冷链物流技术体系构建及关键技术研究与示范”(202202AE090011)。

第一作者简介: 康立富, 男, 1989 年出生, 江西吉安人, 学生, 在读博士, 研究方向为物联网应用, 农业信息化。通信地址: 650500 云南省昆明市呈贡区云南师范大学呈贡校区东区 9 栋, 云南师范大学能源与环境科学学院, Tel: 18213802280, E-mail: 1212tomny@163.com。

通讯作者简介: 王云峰, 男, 1984 年出生, 云南昆明, 教授, 博士生导师, 主要从事太阳能集热、高效转化利用, 太阳能制冷技术及农产品加工中的可再生能源利用。通信地址: 650500 云南省昆明市呈贡区云南师范大学呈贡校区东区能源与环境科学学院, 云南师范大学能源与环境科学学院, Tel: 15912543210, E-mail: wangyf@ynnu.edu.cn。

表1 国内外冷链物流发展现状对比

目录	美国	日本	欧洲	中国	参考文献
技术体系	以冷藏、冷冻、保鲜技术为主,实现农产品的全程冷链物流	机械化、自动化、智能化水平高	农产品加工、制冷和冷冻技术发达	以人工为主,信息化技术应用率不高	方凯,2013 R.Badia,2015
信息网络	信息平台健全、参与人广、技术服务多样化。保证信息实时监控与跟踪	政府扶植大、运输网络发达、信息设备联通完备、完全实现信息化交易	物流网点联通度高、布局合理、配送体系完善	网络节点多,标准不统一	黄鑫,2003 Jia-wei Han,2021
组织化程度	方式多样,协会和联合体一起合作进入市场	农户自愿加入农协、组织规范、获支持力度大	公司一体化、合作制一体化、合作社一体化	独立的食品冷链体系并未形成	韩春阳,2015 左琳,2020
优势	冷链资源的充足和基础设施建设的晚上、物流分工细致、运输网络发达、政策完善	温度带区间严格划分、冷冻车和保鲜车双车护航、高性能包装材料、精细化冷库管理	交通网络和信息系统完善、农产品供应效率高、农机机械化程度高	规模化配送容易、产业齐全	李碧珍,2009 Wang SY,2018
劣势	服务同质化严重、规模化配送难	人多地少、自然资源稀缺导致难以实现农产品冷链物流的组织化、集约化和规模化	土地小、国家众多,配送需要时间	冷库与冷藏车人均保有量低、企业繁多、市场分散、上下游呈现分散复杂、冷库设施配比不足、冷库利用率低	季园园,2019 Jeemoon PAK,2021

表2 数字技术在冷链物流中的研究情况

数字技术	论文主要内容	参考文献
物联网	通过物联网技术对冷库能源进行管理,实现无人、实时监控冷库数据	毕海婷,2017
	通过物联网对车辆路径进行优化,动态优化数据,多温层冷链配送	唐冰,2021
	用于食品溯源和冷链监控的RFID智能标签,完成数据采集与分析	E. Abad,2009
区块链	设计并实现基于区块链的农作物全产业链信息溯源平台,提出信誉监督机制共识算法CSBFT,保障数据安全	任守纲,2020
	药品供应链中区块链技术采纳的调查与评估,讨论了区块链适应和实现以应对供应链挑战。	Badhotiya G K,2021
	提出了一种面向冷链物流行业的区块链技术解决方案,实现数据安全上链、提高了冷链物流行业的可信性和数据的安全性	张森,2020
大数据	利用大数据近似,提出了考虑价值恶化和协调的托运人和客户冷链选址分配配置决策模型,构建了冷链选址分配决策问题模型	Singh A K,2016
	设计动态仪表盘,对产品旅行数据进行数据索引和需求评估,实时展示数据	Gonzalez-Vidal,2021
	冷链物联网监测数据质量评估与优化研究进展分析	胡金有,2019
云计算	基于云计算的广西农产品物流公共信息平台规划,查看实时交易数据并给出合理建议	李远远,2014
	基于云计算环境下基于最短路径优化控制的冷链物流配送船舶路径在线规划算法。建配送最优路线并保障开销少	Yu X,2019
	设计基于云计算下的冷链物流系统,完成对终端数据的跟踪与更新,实现利益最大化	Li, XF,2012
人工智能	构建了疫情期间的新型响应式绿冷疫苗供应链网络,实现多目标、多周期、多层次的配送分配和选址模型	Goodarzia F,2022
	基于人工智能和能源物联网的冷链物流大数据采集与应用系统的研究,建了"四位一体"的冷链,实现数据共享	Sun X,2019
	基于改进BP神经网络的吉林省生鲜农产品冷链物流需求预测,并给出相应建议	张姣姣,2021

通过上面的文献,数字技术已经在冷链物流领域大规模使用。研究数字技术对冷链物流的发展迫在眉睫,如何构建数字经济和数字社会也是当前行业研究方向,通过现有的数字经济数据预测未来发展。本文分析我国冷链物流当前数字经济发展现状,利用灰色分析模型分析当前冷链物流发展现状,利用灰色GM(1,1)模型预测各个指标情况,最后给出数字技术在冷链物流中的发展建议。

1 灰色关联模型分析

通过调研,我们以生鲜农产品发展、物流发展、冷链基础设施、人民生活、数字经济发展、能源消耗等作为一级指标。本论文研究数据年限从2016年至2021年,具体指标分配情况如下:

表3 指标评价情况

一级指标	二级指标	单位
生鲜农产品发展	农林牧渔生产总值	亿元
物流发展	农产品物流规模	万亿元

表4 参考与比较序列

序列	指标	2016	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
A0	农林牧渔生产总值/亿元	106478.7	109331.7	113579.5	123968	137782.2	147013.4
A1	农产品物流规模/万亿元	3.6	3.7	3.9	4.2	4.6	5
A2	交通运输的货运量/万吨	4386863	4804850.4	5152731.6	4713624.4	4725861.9	5298499.1
A3	冷链物流行业规模/亿元	2250	2550	3035	3391	3832	4184
A4	冷库容量/万吨	4015	4775	5238	6053	7080	8205
A5	食品烟酒支出/元	5151	5373.6	5631.1	6084.2	6397.3	7178.1
A6	人均消费支出/元	17110.7	18322.1	19853.1	21558.9	21209.9	24100.1
A7	区块链企业数量/家	3200	6500	17000	14500	27500	43100
A8	数量经济规模/万亿元	22.6	27.2	31.3	35.8	39.2	45.5
A9	农业数字经济渗透率/百分比	6.2	6.5	7.3	8.2	8.9	9.7
A10	能源消耗总量/万吨标准煤	441492	455827	471925	487488	498314	524000

注:数据来源于国家统计局、中国信息通信研究院、中物联冷链委等

经过SPSSAU软件分析,得到比较序列的关联系数结果,其中数字越大,代表关联性越强。由关联系数进行计算平均值得出,关联度值介于0~1之间,该值越大表示评价项与“参考值”相关性越强,

	交通运输的货运量	万吨
冷链基础设施	冷链物流行业规模	亿元
	冷库容量	万吨
人民生活	食品烟酒支出	元
	人均消费支出	元
数字经济发展	区块链企业数量	家
	数量经济规模	万亿元
	农业数字经济渗透率	百分比
能源消耗	能源消耗总量	万吨标准煤

本实验以农林牧渔生产总值作为参考序列,用A0表示。其他指标确定为比较序列,用Ak(k=1,2,3,...,10)表示,具体数据如表4所示。对于灰色关联分析分四步,首先对各个指标进行无量纲处理,排除数字错误,其次计算差行列,最大差值和最小差值。再次计算指标灰色关联系数,最后就是确定关联度及指标排名^[29]。

关联度越高,意味着评价项与“参考值”之间关系越紧密,因而其评价越高。结合关联度值,针对所有评价项进行排序,得到各评价项排名^[30]。

表5 比较序列的关联系数情况

年份	关联系数结果									
	A1 农产品物流规模	A2 交通运输的货运量	A3 冷链物流行业规模	A4 冷库容量	A5 食品烟酒支出	A6 人均消费支出	A7 区块链企业数量	A8 数量经济规模	A9 农业数字经济渗透率	A10 能源消耗总量
2017	0.998	0.835	0.825	0.840	0.981	0.988	0.461	0.837	0.89	0.886
2018	0.978	0.790	0.989	0.895	0.966	0.922	0.606	0.957	1.000	0.887
2019	1.000	0.953	0.970	0.972	0.981	0.924	0.730	0.967	0.950	0.967
2020	0.972	0.802	0.936	0.934	0.920	0.870	0.841	0.992	0.990	0.888
2021	0.992	0.857	0.890	0.790	0.988	0.971	0.333	0.835	0.946	0.860

表6 各个指标评价情况

关联度结果		
评价项	关联度	排名
A1 农产品物流规模	0.988	1
A5 食品烟酒支出	0.967	2
A9 农业数字经济渗透率	0.956	3
A6 人均消费支出	0.935	4
A3 冷链物流行业规模	0.922	5
A8 数量经济规模	0.918	6
A10 能源消耗总量	0.898	7
A4 冷库容量	0.886	8
A2 交通运输的货运量	0.847	9
A7 区块链企业数量	0.594	10

通过分析，发现农产品物流规模占首位，也就是物流规模影响数字技术的使用，规模太小，不利于数字化技术的推进。其次是居民的食品支出同时影响冷链物流的发展现状，只有居民购买需求大，物流行业才能快速发展。排最后的是区块链企业数量，说明目前冷链行业对区块链技术还在观望中，未来有很大的上升空间。

2 模型预测

灰色系统是一个既包含已知变量又有未知信息的系统。我们通常定义为GM(n,x)模型，其内涵是用n阶微分方程对x个变量进行建模。简单讲离散的序列看成连续的序列，弱化未知量，强化已知量，最后构建一个以时间为变量的微分方程，达到预测目的。使用该模型预测的前提是数据为线性样本，非线性的数据预测效果差。

我们先以A0农林牧渔生产总值来做预测分析。GM(1,1)该模型一般包括四个步骤：对原始数列进行级比检验及可行性分析；对原始数列进行累加得到累加生成数列，并建立微分方程；构造数列矩阵B和向量Yn，利用最小二乘法计算模型的响应方程式；进行模型的检验^[31]。

2.1 构建原始数据

建立农林牧渔生产总值序列{x⁰(1), x⁰(2), x⁰(3), x⁰(4),..., x⁰(n)}。求级比并进行级比的判断： $\lambda_k = \frac{x^0(k-1)}{x^0(k)}$, k=2,3,...n。 $\lambda_k \in (\frac{-2}{e^{n+1}}, \frac{2}{e^{n+1}})$ 。代入上式我们可以得到 ($\lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5$) = (0.963 0.916 0.9 0.937)原序列的所有级比值

都位于区间(0.717, 1.396)内，说明原序列适合构建灰色预测模型。通过一次累加之后得到新的序列{x¹(1), x¹(2), x¹(3), x¹(4),..., x¹(n)}。这样得到GM(1,1)模型的原始形式 x⁰(k)+ax¹(k)=b。

2.2 构建基本形式

设我们有新的序列{z¹(1), z¹(2), z¹(3), z¹(4),..., z¹(n)}。其中：z¹(k)=1/2(x¹(k)+x¹(k-1)) 称为邻值生成序列。故 x⁰(k)+az¹(k)=b 为 GM(1,1)模型的基本形式。求解过程如下：针对 x⁰(k)+az¹(k)=b 这个式子，我们设 $\alpha = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ 且有 Y 和 B。

$$Y = \begin{bmatrix} x^0(2) \\ x^0(3) \\ \vdots \\ x^0(n) \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -z^1(2)1 \\ -z^1(3)1 \\ \vdots \\ -z^1(n)1 \end{bmatrix}$$

于是 GM(1,1)可以表示为：Y=Bα。根据最小二乘法求解得到。 $\alpha = (B^T B)^{-1} B^T Y$

2.3 微分方程形式

根据前面得到的一次累加序列以及邻值生成序列，把 $\frac{dx}{dt} + aX^1 = b$ 为灰色微分方程也就是 x⁰(k)+az¹(k)=b 的白化方程，其中：a 称为发展灰数，b 称为内生控制灰数。

通过公式计算，我们可以得到发展灰色灰度 a=-0.087,内生控制灰数为 99560.68, 后验差比 C 值为 0.006.依据下表，我们可以得出模型精度高。

表7 模型精度对照标准表

模型精度等级	均方差比值 C	相对误差
好	C≤0.35	0.01
合格	0.35<C≤0.65	0.05
勉强	0.5<C≤0.65	0.1
不合格	0.65<C	0.2

求解微分方程，得到预测模型：

$$\widehat{x^1}(k+1) = \left[x^0(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

最后我们的预测值序列将上述的做一次累减序列还原。

$$\widehat{x^0}(k+1) = \widehat{x^1}(k+1) - \widehat{x^1}(k)$$

2.4 模型精度检测

通过计算，得到模型的拟合结果如下：

表8 A0模型拟合结果表

索引项	原始值	预测值	残差	相对误差 (%)
2017年	109331.7	109331.7	0	0
2018年	113579.5	113973.444	-393.944	0.347
2019年	123968	124344.533	-376.533	0.304
2020年	137782.2	135659.346	2122.854	1.541
2021年	147013.4	148003.758	-990.358	0.674

模型平均相对误差为0.573%，小于20%即说明拟合良好。基于上面的预测模型原理，数据也符合规律，可以求出A1至A10的2023-2026年的预测数据。全部预测数据如下表。

表9 2023-2026各指标数据预测

序列	指标	2023年	2024年	2025年	2026年
A0	农林牧渔生产总值	176164.7	192194.9	209683.8	228764.1
A1	农产品物流规模	5.91	6.42	6.99	7.59
A2	交通运输的货运量	5138986.52	5187616.52	5236706.70	5286261.42
A3	冷链物流行业规模	5214.59	5805.82	6464.1、	7197.01
A4	冷库容量	11052.60	12843.17	14923.83	17341.56
A5	食品烟酒支出	8300.83	8983.97	9723.33	10523.53
A6	人均消费支出	26473.43	28047.64	29715.47	31482.46
A7	区块链企业数量	204120.25	263427.55	333559.82	416492.85
A8	数量经济规模	57.54、	65.01	73.44	82.98
A9	农业数字经济渗透率	11.70	12.84	14.08	15.44
A10	能源消耗总量	557286.51	576473.33	596320.74	616851.48

结合预测数据，我们发现所有指标都是上升趋势，说明人民对冷链的需求比较大，这就需要新技术的支持与投入，才能让冷链行业数字经济快速发展。于此同时大量的冷库的投入也会造成能源的消耗，如何减少碳排放成为突破的主要目的。

3 结果分析与建议

本模型研究结果说明冷链物流中农林牧渔生产总值关联最大的就是冷链物流中物流规模及居民的开支。加大冷链物流产业的投入，为农户增加收入。通过模型预测数字经济的发展规模，加大最新技术的投入与应用，提升运输，储存和保鲜的效率。目前我国冷链物流行业法律规章不够健全。加快运输标准化建设，科技的驱动与赋能是运营标准化提升的核心与动力。

大部分地区冷库高额成本投入。除了基地建设初期的重资产投入外，冷库的日常运营成本也远远高于普通仓库。如何优化冷库的能源消耗，减少能耗成本，这也是重要一环。增加多元的运输方式，发展畅通的海运、陆运和空运综合运输体系来保障，增加码头和铁路延伸线规划建设，让企业和农民有多样的选择模式。通过物联网采集实时数据，

并利用区块链技术和云计算技术，让采集的实时数据上传到各种终端设备上，实现数据的可视化。

本研究的不足之处在于，对数字技术的其他模块没有展开调研，只研究区块链企业规模。研究的数据样本偏少，后期要加大样本的统计研究。

4 结语

当前的冷链发展存在能耗高、成本高，温度异常造成的货损风险高，专业人才匮乏，人力成本偏高，传统冷库监控无法满足客户要求等问题。构建新型冷库新型化，主要围绕全程冷链物流的数据监测，实现压缩机转速、膨胀阀开及风机转速来改善冷链过程中的蒸发温度和冷凝温度。对于冷库的信息化参数主要包括冷库基本信息、出入货情况，冷间设备状态，机组运行状态及设备设定参数，最后通过云平台进行管理。数字技术在冷链领域的应用还有待企业和高校科研等单位共同努力，构建数字化的冷链模式，早日实现数字中国目标。

参考文献

- [1] Jia-Wei Han, Min Zuo, Wen-Ying Zhu, 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.
- [2] Jeemoon PAK. A Study on Cooperation in Cold Chain Logistics of Fresh Foods with ASEAN Regions : Focusing on the Case of Japan-ASEAN Cold Chain Cooperation[J]. Regional industry research, 2021,44(4): 3-22.
- [3] Yu Yang,Sun Hongsheng,Wang Xifu. Comparative study on cold chain logistics distribution of agricultural products between China and other countries[C]//Proceedings of the 2017 International Conference on Economics and Management,Education,Humanities and Social Sciences(EMEHSS 2017): Atlantis Press, 2017: 454-457.
- [4] Shuyun Wang. Developing value added service of cold chain logistics between China and Korea[J].Journal of Korea Trade, 2018.
- [5] 左琳,张桂彬,胡晓立,等. 国外农产品加工产业集群对我国发展路径的启示[J]. 现代农业科技, 2020, (18): 222-223
- [6] 黄鑫. 对我国冷链系统建设的思考[J]. 商品储运与养护, 2003, (3): 12-14
- [7] 李思聪. 我国农产品冷链物流协同发展动因及对策研究[D]. 天津大学, 2014
- [8] 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
- [9] 方凯. 我国农产品冷链物流的发展问题研究[D]. 华中农业大学, 2013
- [10] 季园园,曹桂银. 我国农产品冷链物流发展的问题及对策[J]. 哈尔滨师范大学社会科学学报, 2019, 10(5): 90-92.
- [11] 李碧珍. 农产品物流模式创新研究[D]. 福建师范大学, 2009
- [12] 毕海婷. 基于物联网技术的冷库能源管理系统[D]. 青岛大学, 2017.
- [13] 唐冰. 基于物联网的冷链物流配送动态车辆路径优化研究唐冰[D]. 沈阳工业大学, 2021.
- [14] 毕海婷. 基于物联网技术的冷库能源管理系统[D]. 青岛大学, 2017.
- [15] 唐冰. 基于物联网的冷链物流配送动态车辆路径优化研究_唐冰[D]. 沈阳工业大学, 2021.
- [16] E. Abad, F. Palacio, M. Nuin, et al. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93: 394-399.
- [17] 任守纲,何自明,周正己,等. 基于 CSBFT 区块链的农作物全产业链信息溯源平台设计 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(3): 279-286.
- [18] Badhotiya G K, Sharma V P, Prakash S, et al. Investigation and assessment of blockchain technology adoption in the pharmaceutical supply chain[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 46: 10776-10780.
- [19] 张森,叶剑,李国刚. 面向冷链物流的区块链技术方研究及实现[J]. 计算机工程与应用,2020,56(3):19-27.
- [20] Singh A K, Subramanian N, Pawar K S, et al. Cold chain configuration design: Location-allocation decision-making using coordination, value deterioration, and big data approximation[J]. Annals of Operations Research, 2018, 270: 433-457.
- [21] González-Vidal A, Gómez-Bernal P, Mendoza-Bernal J, et al. BIGcoldTRUCKS: a BIG data dashboard for the management of COLD chain logistics in refrigerated TRUCKS[C]//2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). IEEE, 2021: 2894-2900.
- [22] 胡金有,王靖杰,朱志强等.冷链物联网监测数据质量评估与优化研究进展分析[J].农业机械学报,2019,50(08):1-14.
- [23] 李远远,刘光前,徐斯.基于云计算的广西农产品物流公共信息平台规划[J].南方农业学报,2014,45(06):1117-1120.
- [24] Yu X. On-line ship route planning of cold-chain logistics distribution based on cloud computing[J]. Journal of Coastal Research, 2019, 93(SI): 1132-1137.
- [25] Li X, Wang Y, Chen X. Cold chain logistics system based on cloud computing[J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2012, 24(17): 2138-2150.
- [26] Goodarzian F, Navaei A, Ehsani B, et al. Designing an integrated responsive-green-cold vaccine supply chain network using Internet-of-Things: artificial intelligence-based solutions[J]. Annals of Operations Research, 2022: 1-45.
- [27] Sun X, Gao L, Liang Y. Research on Big Data Acquisition and Application of Cold Chain Logistics Based on Artificial Intelligence and Energy Internet of Things[C]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019, 252(5): 052052.
- [28] 张姣姣. 基于改进 BP 神经网络的吉林省生鲜农产品冷链物流需求预测[D]. 吉林大学, 2021.
- [29] 李佳宇,刘岩峰. 基于区块链的生鲜农产品冷链物流灰色关联模型分析[J]. 南方农机, 2023, 54(02): 15-18.
- [30] 陈海明. 基于关键链技术的 A 企业建筑项目群进度协同管理研究[D]. 北京建筑大学, 2022.
- [31] 姜方桃; 周雨; 印鹏,等. 江苏省冷链物流需求预测分一基于灰色 GM(1,1)模型分析[J]. 物流科技, 2022, 45(14): 155-157.