

广州市果蔬冷链物流需求预测及影响因素研究

——基于灰色理论

李丽君, 李 林

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年6月11日; 录用日期: 2024年7月30日; 发布日期: 2024年8月6日

摘 要

通过对区域内果蔬冷链物流需求进行细致分析和准确预测,可有效规避冷链物流供给过剩或不足的情况,对于加速推动该区域内果蔬冷链物流的发展具有显著的战略意义。文章一方面利用2013年至2022年广州市果蔬类生鲜农产品人均消费量乘以居民人口数量作为果蔬类生鲜农产品冷链物流需求的预测指标,建立灰色GM(1,1)预测模型并进行预测精度分析,分析未来的发展趋势;另一方面以农产品供给、社会经济水平、冷链支撑水平、居民规模与消费能力4个因素作为一级指标,构建需求影响因素指标体系,采用灰色关联法分析广州市果蔬冷链物流需求发展主要影响因素。结果表明,灰色GM(1,1)预测精度为98.33%,能够较为准确地预测出广州市果蔬冷链物流需求量;灰色关联分析得出社会经济水平与居民规模以及消费能力对果蔬冷链物流需求影响最大,其次是农产品供给,而冷链支撑条件水平的影响则相对最弱。

关键词

果蔬冷链物流需求, GM(1,1)预测模型, 灰色关联分析

Study on Demand Forecast and Influencing Factors of Fruit and Vegetable Cold Chain Logistics in Guangzhou City

—Based on Grey Theory

Lijun Li, Lin Li

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Jun. 11th, 2024; accepted: Jul. 30th, 2024; published: Aug. 6th, 2024

文章引用: 李丽君, 李林. 广州市果蔬冷链物流需求预测及影响因素研究[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(4): 125-133.
DOI: 10.12677/orf.2024.144381

Abstract

By conducting detailed analysis and precise predictions of the demand for cold chain logistics of fruits and vegetables in a specific region, we can effectively prevent situations of oversupply or deficiency in the cold chain logistics system. This approach is crucial for strategically boosting the progression of cold chain logistics for fruits and vegetables within the region. On the one hand, the article takes the per capita consumption of fruits and vegetables and fresh agricultural products multiplied by the number of population in Guangzhou from 2013 to 2022 as the forecast indicator of fruits and vegetables and fresh agricultural products cold chain logistics demand, establishes a gray GM(1,1) forecast model, and carries out the analysis of forecasting accuracy and analyzes the development trend in the future; on the other hand, it takes the four factors of agricultural products supply, socio-economic level, cold chain supporting level, and the population size and consumption capacity as the first-level indicators. On the other hand, the four factors of agricultural products supply, social economic level, cold chain supporting level, population size and consumption ability are used as the first-level indicators to construct the index system of demand influencing factors, and the gray correlation method is used to analyze the main influencing factors of the development of the demand for fruit and vegetable cold chain logistics in Guangzhou. The results show that the gray GM(1,1) prediction accuracy is 98.33%, which can predict the cold chain logistics demand of fruits and vegetables in Guangzhou City more accurately; the gray correlation analysis concludes that the socio-economic level and population size as well as the consumption ability have the greatest impact on the cold chain logistics demand of fruits and vegetables, followed by the supply of agricultural products, while the level of the cold chain supporting conditions has the weakest impact, which provides a feasible paradigm for the research of the related fields.

Keywords

Fruit and Vegetable Cold Chain Logistics Demand, GM(1,1) Forecasting Model, Gray Correlation Analysis

Copyright © 2024 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

随着经济增长和生活水平的提高,人们越来越注重生活品质,果蔬类生鲜农产品因其营养价值、新鲜度和健康属性受青睐,导致市场需求持续增长。果蔬是人体所需多种营养素的重要来源,包含维生素、矿物质和膳食纤维、抗氧化物质等,在维持健康、预防疾病和促进身体功能正常运行方面具有重要作用。广东作为农业大省,2023年蔬菜总产量约4099.3万吨,同比增长2.5%;水果产量约为1929.8万吨,同比增长1.8%。虽然果蔬产量每年都在增加,但果蔬冷链物流仍然存在流通率低、腐损成本高等问题。因此,研究果蔬冷链物流需求预测与影响因素探究对于提升广州市的果蔬冷链产业及其竞争力具有重要理论价值和现实意义。近年来与冷链物流相关研究颇多,主要包含以下3个方向:

(1) 追踪冷链物流技术发展

Li等人[1]设计了一种基于云计算的冷链物流系统,加快了冷链物流的速度。Zheng和Zhou[2]构建了基于区块链技术的农产品物流一体化可持续模型,提出了基于智能区块链的农产品综合物流模型,为

解决农产品流通中的供需错配、质量安全管理、农产品价格波动等问题提供一定帮助。Li 等人[3]基于传统和基于区块链的生鲜农产品供应链,探讨了保鲜度、广告量和区块链采用度的动态优化,结果表明,采用动态区块链可以使得新鲜农产品在供应链中保持新鲜度。Chen [4]等人总结了应用于冷链物流的相变材料以及目前冷藏车集成相变材料的研究进展,研究了车厢内温度场分布的优化,并介绍了未来冷藏车发展的新趋势。Feng 等人[5]围绕车载冰箱,综述了车载冰箱制冷技术的发展现状,分析了不同场景下几种制冷技术的机理和特点,总结了不同制冷技术下车载冰箱的潜在发展和应用方向,对改善冷链物流最后一公里具有一定的现实意义。

(2) 冷链物流配送路径优化

Liu 等人[6]建立了一个联合配送-绿色车辆路线问题(JD-GVRP)模型,冷链物流企业通过考虑碳税政策,相互协作配送冷链商品,结果表明,联合分配与单一分布相比可以降低总成本和碳排放。Guo 等人[7]建立了冷链物流时窗模型的时效性绿色车辆路径问题,并开发了一种两阶段混合搜索算法求解模型,使用自适应大邻域搜索技术来确定车辆路线以及最短路径算法来确定车辆从客户节点出发的时间,最后验证了模型和所提出的混合搜索算法的有效性和优越性。Miao 等人[8]针对易腐农产品运输路径规划过程中的复杂情况,提出了一种基于蚁群优化(ACO)的冷链物流配送路径优化模型,所提路线优化模型具有较好的迭代效率,能够有效生成更短距离的配送路径,为易腐农产品冷链配送路线优化提供了新的技术支撑。Chen [9]等人提出了一种改进的可变邻域搜索(VNS)算法,该算法引入了一种新的扰动平衡机制和一种新的基于内存的局部搜索机制,以提高计算性能,研究了将电动汽车纳入联合配送、考虑不同碳价和调整时间窗口的效果。

(3) 冷链物流需求预测

在冷链物流需求预测方面,学者们大多数采用定量预测,其中包括回归模型、机器学习算法、灰色预测模型等。如郝杨杨[10]采用 BP 神经网络模型对上海生鲜农产品物流需求进行预测,预测精度较高且适用于中长期预测,但对于样本量有着极高的要求。吕靖[11]基于改进的 GM(1,1)模型和 BP 神经网络提出了一种组合预测模型充分发挥两个模型的优势,对大连水产品冷链物流需求进行预测。刘子玲[12]采用 GM(1,6)、主成分-多元回归线性预测模型,对广州市果蔬类生鲜农产品冷链物流需求预测,得出 GM(1,6)预测模型预测精度更高。Xu 等人[13]提出一种具有双层结构的灰色预测模型,该模型根据数据特征进行自适应,并生成相应的背景序列来调整参数,与现有的类似模型相比,所提模型扩展了适用性,精度更高。刘艳[14]提出了一种结合灰色关联分析、野马优化算法和时序卷积网络的组合预测模型,能够实现对农产品冷链物流需求较高的预测精度。

梳理文献可以发现学界对冷链物流的相关研究颇多,但对区域果蔬冷链物流需求预测以及影响因素分析的定量研究较少。在冷链物流需求预测方面,由于果蔬年度统计数据有限,本文采用适用于小样本的灰色 GM(1,1)模型构建果蔬冷链物流需求预测模型进行预测。相较于回归模型和机器学习算法,GM(1,1)具有以下 3 个优点: 1) 可以通过 AGOs 削弱原始时间序列的随机性[15]; 2) 可以预测灰色系统未来的变化行为[15]; 3) 在样本量小,信息量差的不确定信息系统中显示出良好的预测性能[16]。此外,果蔬冷链物流需求往往与诸多因素相关,各种因素的影响程度不明确,而灰色关联分析研究影响因素强弱方面具备良好的适用性,故本文运用灰色关联分析法对广州市果蔬冷链需求发展的相关影响因素进行系统的研究。

2. 研究方法介绍

2.1. 灰色 GM(1,1)模型

灰色预测模型中最典型的是 GM(1,1)模型,其模型建立步骤如下:

设序列 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$, 计算级比值 $\sigma^{(0)}(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}$, 若所有级比值均位于区间 $(e^{(-2/(n+1))}, e^{(2/(n+1))})$ 内, 则通过检验, 说明该数据适合建立 GM(1,1) 预测模型。

对原始序列做一次累加, 得到 $x^{(1)}(k) = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$, 其中 $x^{(1)}(k)$ 如式(1)所示:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

GM(1,1) 的原始形式如式(2)所示:

$$x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b \tag{2}$$

构建累加序列 $x^{(1)}$ 的一阶微分方程, 如式(3)所示:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \tag{3}$$

引入数据矩阵 B , Y_n 并运用最小二乘估计参数 a , b , 如式(4)所示:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} (B^T Y_n), B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2)1 \\ -z^{(1)}(3)1 \\ \vdots \\ -z^{(1)}(n)1 \end{bmatrix}, Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \tag{4}$$

得到 GM(1,1) 模型的时间响应方程如式 5 所示:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \tag{5}$$

2.2. 灰色关联分析

灰色关联分析是指对系统的变化进行定量描述和比较, 基本思想是确定一组参考数据列和对比数据列之间的几何相似程度去判断它们是否密切相关, 其反映了曲线之间的相关程度。灰色关联分析步骤如下: (1) 确定母序列和特征序列; (2) 对数据做无量纲化处理; (3) 求解关联系数值; (4) 求解关联度值; (5) 对关联度值排序, 得出结论。

3. 实证分析

3.1. 果蔬冷链物流需求灰色 GM(1,1) 预测

考虑到冷链流通率数据获取较困难, 本文借鉴以往研究, 用果蔬类生鲜农产品人均消费量乘以居民人口数量作为果蔬类生鲜农产品冷链物流需求的预测指标。数据来源于广州统计年鉴, 见表 1。

Table 1. Demand for fruit and vegetable cold chain logistics in Guangzhou from 2013 to 2022
表 1. 2013~2022 年广州果蔬冷链物流需求量

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
果蔬冷链物流需求量	124.36	127.35	131.88	139.29	144.48	148.31	159.04	162.21	173.71	193.72

首先进行级比检验, 得到原序列级比值都位于区间 $(e^{(-2/(n+1))}, e^{(2/(n+1))})$ 内, 即位于 (0.834, 1.199) 区间内,

通过了级比检验, 说明该数据序列适合构建灰色 GM(1,1) 预测模型。利用 SPASS 软件建立模型, 得到 2013~2022 年广州果蔬冷链物流需求量预测值如表 2 所示。

Table 2. Guangzhou fruit and vegetable cold chain logistics demand forecast from 2013 to 2022

表 2. 2013~2022 年广州果蔬冷链物流需求量预测值

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
GM(1,1) 预测值	124.36	124.43	130.81	137.51	144.56	151.97	159.76	167.95	176.56	185.62

GM(1,1)模型发展系数 $|a| = 0.05 < 0.3$, 说明该模型适用于中长期预测; 经检验, 后验差比值为 0.031, 模型精度高; 平均相对误差为 1.67%, 模型拟合效果良好; 本文向后预测 5 期, 得到灰色预测模型的拟合预测图如图 1 所示, 可以看出, 2023~2027 年广州市果蔬冷链物流需求呈上升趋势, 且增速较快, 预计到 2027 年可达 240 万吨。

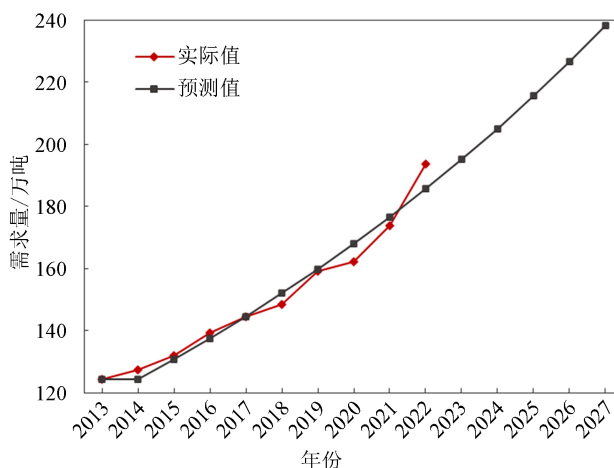


Figure 1. GM(1,1) model prediction results

图 1. GM(1,1)模型预测结果

3.2. 果蔬冷链物流需求影响因素的灰色关联分析

虽然灰色 GM(1,1)模型能够较为准确地预测广州市果蔬冷链物流需求, 但其发展受到多种因素的影响, 除了受到果蔬冷链系统内部的影响, 还受到系统所处环境的制约, 这使得预测结果可能出现误差, 可能出现高估、低估或准确预测三种情况。因此, 对广州果蔬冷链物流需求变化的相关因素进行深入分析和梳理至关重要, 可为相关部门决策提供可靠的量化依据。

3.2.1. 果蔬冷链物流需求影响因素指标体系

果蔬类生鲜农产品冷链物流需求需综合考虑多方面影响。结合已有研究及专家访谈, 将预测指标划分为农产品供给、社会经济水平、冷链物流保障、居民规模与消费能力这四大维度, 具体指标选取如表 3 所示。

(1) 农产品供给的影响

广州市农产品产量决定了其农产品供给水平, 而根据经济学供求理论, 供给水平的高低将直接影响市场对农产品的需求水平。二者相互影响, 农产品需求的增加会衍生出对农产品冷链物流服务的需求, 因此在很大程度上农产品的供需水平会对冷链物流的需求产生影响。本文从农产品产量、农产品生产价

格指数[17]、农产品种植面积进行衡量。

(2) 社会经济水平的影响

近年来, 民众生活水平的提高使得对于果蔬品质和新鲜程度的关注日益增加, 进而推动了对冷链物流的强烈需求。其次, 随着网络普及, 生鲜电商、蔬果宅配等新型经济模式崛起, 为冷链物流带来了重要发展机遇, 与果蔬冷链物流需求直接或间接相关。因此, 本文从地区生产总值、互联网用户数、固定资产投资[18]、社会消费品零售总额[19]进行衡量。

(3) 冷链支撑水平的影响

冷链物流支撑水平的高低, 是评估区域冷链物流发展水平的关键指标, 本文从广州货运量、冷藏车保有量、冷库保有量、货运周转量、冷链流通率去衡量[19]。

(4) 居民规模与消费能力的影响

随着居民规模的增加以及消费能力的提升, 对果蔬的需求也会相应增加, 人们更有可能购买更多样化的果蔬产品, 这将直接促进果蔬冷链物流需求的增长。一些经济发达的地区可能对果蔬的需求更大, 而一些经济欠发达地区则可能更注重基本的果蔬类食材。本文从居民可支配收入、果蔬农产品平均价格、果蔬农产品消费支出、居民人口规模 4 个指标去衡量[19]。

Table 3. Factor indicator system
表 3. 因素指标体系

一级指标	二级指标	变量名	计量单位
农产品供给	蔬菜产量	X ₁	t
	水果产量	X ₂	t
	农产品种植面积	X ₃	kg/hm ²
	农产品生产价格指数	X ₄	—
社会经济水平	生产总值	X ₅	亿元
	互联网用户数	X ₆	万户
	固定资产投资	X ₇	亿元
	社会消费品零售总额	X ₈	亿元
冷链支撑水平	货运量	X ₉	万吨
	冷藏车保有量	X ₁₀	台
	货运周转量	X ₁₁	万吨公里
居民规模与消费能力	居民可支配收入	X ₁₂	元
	果蔬农产品平均价格	X ₁₃	kg/元
	果蔬农产品消费支出	X ₁₄	元
	居民人口规模	X ₁₅	万人

3.2.2. 果蔬冷链物流需求影响因素灰色关联分析

从广州市统计年鉴、广州市统计局、中国冷链物流网收集 2013~2022 年相关指标数据, 采用 SPASS 软件综合评价模块的灰色关联分析进行计算, 得出结果见表 4。关联度值介于 0~1, 该值越大表示相关性越强。由表 4 可知, 所有指标变量的灰关联度均值都大于 0.6, 即所有二级指标变量与果蔬冷链物流需求都存在较强的相关性。关联度的排序为 $r_{14} > r_{15} > r_6 > 0.9 > r_8 > r_5 > r_{13} > r_7 > r_4 > r_2 > r_{12} > r_3 > r_1 > r_9 > 0.8 >$

$r_{11} > r_{10}$, 即果蔬农产品消费支出(X_{14})、居民人口规模(X_{15})、互联网用户数(X_6) 3 个二级指标与广州市冷链物流需求的灰关联度最大, 在实际中最应该关注; 货运周转量(X_{11})、冷藏车保有量(X_{10}) 2 个二级指标灰关联度均小于 0.7, 对广州市果蔬冷链物流需求的影响程度则相对最弱; 其余 10 个二级指标影响程度较为密切。

Table 4. Gray correlation of factors influencing the demand for fruit and vegetable cold chain logistics in Guangzhou City
表 4. 广州市果蔬冷链物流需求影响因素灰关联度

一级指标	变量名	灰关联度	灰关联度均值
农产品供给	X_1	0.821	0.845
	X_2	0.861	
	X_3	0.833	
	X_4	0.866	
社会经济水平	X_5	0.883	0.888
	X_6	0.901	
	X_7	0.87	
	X_8	0.896	
冷链支撑水平	X_9	0.809	0.669
	X_{10}	0.534	
	X_{11}	0.663	
居民规模与消费能力	X_{12}	0.843	0.882
	X_{13}	0.873	
	X_{14}	0.91	
	X_{15}	0.903	

4. 结论分析

4.1. 社会经济水平、居民规模与消费能力对广州市果蔬冷链物流需求影响最显著

- (1) 居民规模与消费能力的影响显著。居民人口规模、果蔬农产品消费支出、居民可支配收入、果蔬农产品平均价格等关系到居民规模与消费能力的灰色关联度均大于灰关联度均值, 这表明广州市居民人口规模越大、消费能力增强, 均会显著的增加广州市果蔬冷链物流需求, 这可能是由于消费水平不断提高, 随之消费者对食品的多样性以及需求大幅提升, 其中居民人口规模、果蔬农产品消费支出、果蔬农产品平均价格分别排在第一、第二名、第六名。
- (2) 信息化水平影响突出。计算机互联网用户数可以很好地反映该区域信息化水平, 而计算机互联网用户数关联度排在第三名, 这说明信息化水平的发展对提升广州市果蔬冷链物流水平及扩大需求具有较大的影响力, 随着生鲜电商快速发展, 农产品冷链物流需求明显增加。
- (3) 社会经济水平影响较大。生产总值、固定资产投资社会、消费品零售总额等关系到社会经济水平的因素关联度均大于灰关联度均值 0.83, 分别排在第四名、第五名、第七名, 这表明, 社会经济水平对广州市果蔬冷链物流需求影响突出, 经济水平越发达, 果蔬冷链物流需求越大。

4.2. 农产品供给对广州市果蔬冷链物流需求影响较大

农产品供给影响较大。蔬菜产量以及农产品种植面积、农产品生产价格指数的关联度均大于灰关联

度平均值 0.83, 这些影响指标表明良好的农业生产条件对提升果蔬冷链物流需求发挥着重要作用。与此同时, 水果产量的关联度低于平均值, 很可能是由于当前人们对水果的需求呈现多样化趋势, 广州市水果规模大但是竞争力不强, 使得水果供应结构性过剩, 从而影响了冷链物流需求增长。

4.3. 冷链支撑水平对广州市果蔬冷链物流需求影响较小

冷链支撑水平影响较弱。一般来说, 提高冷链支撑水平会导致冷链物流需求上升, 呈现正相关关系, 然而, 现有关于冷链支撑水平的相关指标所得出的结论并不一致。尽管广州市的冷链基础设施在不断发展, 但尚未形成完备的独立冷链物流体系, 缺乏运用先进信息技术进行冷链物流管理, 技术装备相对滞后是显著问题。

5. 结语

本研究运用 GM(1,1)模型对广州市果蔬冷链物流需求进行了预测, 研究结果指出未来 5 年该需求将呈现稳定增长趋势。然后建立了包括农产品供给、社会经济水平、冷链支撑水平以及居民规模与消费能力在内的需求影响因素指标体系, 并采用灰色关联法对广州市果蔬冷链物流需求发展的主要影响因素进行了分析, 研究表明社会经济水平和居民规模与消费能力对广州市果蔬冷链物流需求具有显著影响。借助定量分析手段, 为研究区域农产品冷链物流需求的发展及受指标因素影响的分析提供一种有效参考方法, 适用于其他地区农产品冷链物流需求预测。只要引入合适的指标数据, 即可进行预测研究和影响因素分析, 为冷链物流企业和政府提供量化参考。

参考文献

- [1] Li, X., Wang, Y. and Chen, X. (2011) Cold Chain Logistics System Based on Cloud Computing. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, **24**, 2138-2150. <https://doi.org/10.1002/cpe.1840>
- [2] Zheng, F. and Zhou, X. (2023) Sustainable Model of Agricultural Product Logistics Integration Based on Intelligent Blockchain Technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, **57**, Article ID: 103258. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103258>
- [3] Li, Y., Tan, C., Ip, W.H. and Wu, C.H. (2023) Dynamic Blockchain Adoption for Freshness-Keeping in the Fresh Agricultural Product Supply Chain. *Expert Systems with Applications*, **217**, Article ID: 119494. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119494>
- [4] Chen, Y., Zhang, X., Ji, J. and Zhang, C. (2024) Cold Chain Transportation Energy Conservation and Emission Reduction Based on Phase Change Materials under Dual-Carbon Background: A Review. *Journal of Energy Storage*, **86**, Article ID: 111258. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111258>
- [5] Feng, Y., Zhang, A., Xie, F., et al. (2024) Research Progress on Refrigeration Technologies of Car Refrigerator. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*.
- [6] Liu, G., Hu, J., Yang, Y., Xia, S. and Lim, M.K. (2020) Vehicle Routing Problem in Cold Chain Logistics: A Joint Distribution Model with Carbon Trading Mechanisms. *Resources, Conservation and Recycling*, **156**, Article ID: 104715. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104715>
- [7] Guo, X., Zhang, W. and Liu, B. (2022) Low-Carbon Routing for Cold-Chain Logistics Considering the Time-Dependent Effects of Traffic Congestion. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **113**, Article ID: 103502. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103502>
- [8] Miao, X., Pan, S. and Chen, L. (2023) Optimization of Perishable Agricultural Products Logistics Distribution Path Based on Iaco-Time Window Constraint. *Intelligent Systems with Applications*, **20**, Article ID: 200282. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200282>
- [9] Chen, W., Zhang, D., Van Woensel, T., Xu, G. and Guo, J. (2023) Green Vehicle Routing Using Mixed Fleets for Cold Chain Distribution. *Expert Systems with Applications*, **233**, Article ID: 120979. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120979>
- [10] 郝杨杨, 邹宇. 基于 BP 神经网络的上海生鲜农产品物流需求预测[J]. 上海海事大学学报, 2024, 45(1): 39-45+69.
- [11] 吕靖, 陈宇姝. 大连水产品冷链物流需求影响因素分析及其预测[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(15): 72-80.

-
- [12] 刘子玲, 谢如鹤, 廖晶, 等. 基于灰色回归模型广州市果蔬类生鲜农产品冷链物流需求预测[J]. 包装工程, 2024, 45(3): 243-250.
- [13] Xu, N., Wang, T. and Qin, Q. (2024) Novel Grey Forecasting Model with Bi-Level Structure for Application to Logistic Demand. *Expert Systems with Applications*, **235**, Article ID: 121181. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121181>
- [14] 刘艳, 季俊成. 用于农产品冷链物流需求预测的 GRA-WHO-TCN 组合模型[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(3): 148-158.
- [15] Deng, J.L. (1989) Introduction to Grey System Theory. *Journal of Grey Systems*, **1**, 1-24.
- [16] Xie, N.M. and Wang, R.Z. (2017) A Historic Review of Grey Forecasting Models. *Journal of Grey System*, **29**, 1-29.
- [17] 李小玲. 基于 GM(1,N)模型的广东省生鲜农产品冷链物流需求预测研究[J]. 物流科技, 2022, 45(7): 143-147.
- [18] 徐晓燕, 杨慧敏, 吕修凯, 等. 基于山东省不同模型的物流需求预测比较研究[J]. 包装工程, 2022, 43(23): 207-215.
- [19] 王晓平, 闫飞. 基于 GA-BP 模型的北京城镇农产品冷链物流需求预测[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(21): 17-27.